



GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria do Planejamento e Gestão

Coletânea de Artigos Científicos CAPP



CENTRO DE ANÁLISE DE DADOS E
AVALIAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS-CAPP

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ-IPECE

ipece

INSTITUTO
DE PESQUISA
E ESTRATÉGIA
ECONÔMICA
DO CEARÁ

Governador do Estado do Ceará

Camilo Sobreira de Santana

Vice-Governadora do Estado do Ceará

Maria Izolda Cela de Arruda Coelho

Secretaria do Planejamento e Gestão – SEPLAG

Ronaldo Lima Moreira Borges - Secretário (Respondendo)

José Flávio Barbosa Jucá de Araújo - Secretário Executivo de Gestão

Flávio Ataliba Flexa Daltro Barreto - Secretário Executivo de Planejamento e Orçamento

Ronaldo Lima Moreira Borges - Secretário Executivo de Planejamento e Gestão Interna

Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE**Diretor Geral**

João Mário Santos de França

Diretoria de Estudos Econômicos – DIEC

Adriano Sarquis Bezerra de Menezes

Diretoria de Estudos Sociais – DISOC

Ricardo Antônio de Castro Pereira

Diretoria de Estudos de Gestão Pública – DIGEP

Marília Rodrigues Firmiano

Gerência de Estatística, Geografia e Informação – GEGIN

Rafaela Martins Leite Monteiro

Coletânea de Artigos Científicos CAPP

2020

João Mário de França, Marília Rodrigues Firmiano,
Ricardo Antônio de Castro Pereira (Organizadores)

ISBN:

1. Economia. 2. Ceará. 3. Social. 4. Meio
Ambiente. 5. Políticas Públicas. I - França,
João, Mário.

398 páginas. Copyright CAPP - IPECE

Os artigos apresentados neste livro são de inteira responsabilidade dos seus autores.

As opiniões neles emitidas não exprimem, necessariamente, o ponto de vista do Centro de Análise de Dados e Avaliação de Políticas Públicas – CAPP; Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - IPECE

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	4
MODELO DE EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEL PARA A ECONOMIA CEARENSE COM MERCADO DE TRABALHO FLEXÍVEL E DIFERENCIADO.....	5
Heitor Gabriel S. Monteiro	
ANÁLISE LONGITUDINAL PARA AVALIAÇÃO DA EDUCAÇÃO DE JOVENS E ADULTOS (EJA) NO CEARÁ.....	34
Gércia Cunha de Lima	
REPERCUSSÕES DA IMPLANTAÇÃO DA REDE CEGONHA NA SAÚDE MATERNO-INFANTIL NO CEARÁ.....	78
Thaís Nogueira Facó de Paula Pessoa	
SUSTENTABILIDADE E POTENCIAL PRODUTIVO DA BOVINOCULTURA NO ESTADO DO CEARÁ.....	136
Mirelle Tainá Vieira Lima	
MATRIZ INSUMO-PRODUTO NO ESTADO DO CEARÁ: UMA ANÁLISE DE ENCADEAMENTOS.....	242
Pedro Avelino de Sousa Martins	
ANÁLISE DE ÓBITOS POR ACIDENTES DE TRÂNSITO COM USO DE MINERAÇÃO DE DADOS.....	259
Renata Adele de Lima Nunes	
APLICAÇÃO DE UM SENSOR LAMBDA CONVENCIONAL PARA DETECÇÃO DE NO_x NA COMBUSTÃO DE GLP.....	331
Caíke Camião Nascimento Silva	

APRESENTAÇÃO

MODELO DE EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEL PARA A ECONOMIA CEARENSE COM MERCADO DE TRABALHO FLEXÍVEL E DIFERENCIADO

Heitor Gabriel S. Monteiro¹

RESUMO

A simulação de choques e intervenções na economia aponta para o uso de modelos de equilíbrio geral computável (EGC). Para melhor adaptação desse instrumental à realidade econômica regional do Ceará, é vital considerar a diferença entre a escolaridade das famílias e a dualidade dos mercados de trabalho, produção e consumo quanto à ocupação: formal e informal. Este trabalho vem, portanto, interpretar a alocação da mão-de-obra considerando a dualidade por meio do Modelo de Lewis; caracterizar a renda, o consumo e a produção por ocupação e setores; construir um modelo EGC com as informações levantadas e aplicar um choque exemplar para simular o período de seca enfrentado pelo semiárido cearense. O levantamento de dados revelou a disparidade entre ocupações na remuneração, na alocação da mão-de-obra, no capital imobilizado e na preferência de consumo. A estimação da Elasticidade de Substituição apontou para o uso complementar das ocupações, ao contrário do esperado pelo modelo. O choque simulado resultou em diminuição do produto agropecuário e industrial, substituição por serviços no consumo e perda de bem-estar para todos os tipos de famílias.

Palavras-chave: Mercado de Trabalho. Informalidade. Equilíbrio Geral Computável.

ABSTRACT

The simulation of shocks and interventions in the economy points to the use of computable general equilibrium (CGE) models. In order to better adapt this instrument to the regional economic reality of Ceara, it is vital to consider the difference between household schooling and the duality of labor, production and consumption markets in terms of formal and informal occupations. This work therefore comes to interpret the allocation of labor considering duality through the Lewis Model; characterize income, consumption and production by occupation and

¹ Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, manufaturado em parceria com Centro de Análise de Dados e Avaliação de Políticas Públicas, do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará, e apresentado à Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de bacharel em Ciências Econômicas. Aprovado em: 6 de dezembro de 2018

sectors; construct an CGE model with the information collected and apply an exemplary shock to simulate the drought period faced by the semi-arid region of Ceara. Data collection revealed the disparity between occupations in pay, labor allocation, fixed capital and consumer preference. The estimation of Elasticity of Substitution pointed to the complementary use of occupations, contrary to what was expected by the model. The simulated shock resulted in a decrease in the agricultural and industrial product, substitution for services in consumption and loss of welfare for all types of families.

Palavras-chave: Labor Market. Informality. Computable General Equilibrium.

1 INTRODUÇÃO

1.1. Problematização

O desafio de modelar cenários macroeconômicos, simular intervenções, choques e seus resultados na economia aponta para usar o instrumental do Equilíbrio Geral Computável (EGC), que permite comparação segundo seus custos de oportunidade. Uma avaliação econômica – segundo o custo de oportunidade - de ações governamentais usa variáveis como o valor agregado (VA) e massa salarial - número de novos postos de trabalho e suas respectivas rendas - para medição de bem-estar e impacto.

Nesse contexto, torna-se indispensável inserir uma melhor especificação dos setores da economia quanto à coexistência da formalidade e da informalidade. Bem como as interações entre ambos no lado da produção e do consumo. Considerar a informalidade é jogar luz no processo de crescimento econômico via realocação da mão-de-obra.

Para tal, o trabalho percorre uma apresentação teórica do instrumental EGC; apresentação do Modelo de Lewis para entender a dualidade na ocupação e seu papel no crescimento econômico; caracterização da alocação de trabalhadores no mercado de trabalho cearense; especificação dos salários e da produção nos diferentes setores.

O trabalho propõe ser uma extensão para o Modelo de Equilíbrio Geral Computável Cearense (MEGC-CE), do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), ao detalhar especificações dos agentes econômicos envolvidos.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Modelar, no instrumental do EGC, a dualidade entre formalidade e informalidade na alocação da mão-de-obra, na produção e no consumo de bens e serviços para a economia cearense.

1.2.2. Objetivos Específicos

- a) Fazer um apanhado da literatura existente sobre modelos EGC e sobre a dualidade de mercados e sua relação com o crescimento econômico;
- b) Na posse de dados regionais, descrever o mercado de trabalho na economia cearense para diferentes níveis de escolaridade e setores econômicos;
- c) Através de pesquisa de dados regionais, descrever a tecnologia de produção cearense, atentando para as diferenças entre setores e ocupações;
- d) Montar e apresentar a estrutura do modelo EGC proposto para a problemática;
- e) De posse da Tabela de Recursos e Usos do Ceará (TRU-CE), fazer uma Matriz de Contabilidade Social que contemple o modelo proposto e estimar a Elasticidade de Substituição entre as ocupações cearenses;
- f) Aplicar um choque exemplar, na produtividade da agropecuária informal, e interpretá-la.

1.3. Hipóteses

- a) O comportamento dos agentes econômicos cearenses pode ser explicado via equações comportamentais e suas maximizações condicionadas.
- b) A função de produção com Elasticidade de Substituição Constante representa matematicamente a dualidade entre ocupações, de acordo com o que versa no Modelo de Lewis, na produção e no consumo da economia cearense.

1.4. Método

O trabalho é composto pelo uso de pesquisa bibliográfica exploratória para mapear o “estado da arte” da discussão teórica e empírica da relação dualística da ocupação do mercado de trabalho, na produção e no consumo. Seguido de pesquisa documental para coleta de dados e consequente estimação da Elasticidade de Substituição e calibração do modelo EGC para

economia cearense. De posse das estimações e modelo, o trabalho seguirá para a fase descritiva do mercado de trabalho cearense, usando uma abordagem quantitativa. Por fim, na simulação de um choque na escala tecnológica da agropecuária informal para simular, por exemplo, uma queda na produção pelas secas.

Serão utilizados dados secundários para a calibração de parâmetros para formar um cenário tal qual descrito na Fundamentação Teórica. Os dados referentes aos rendimentos e mercado de trabalho serão retirados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD-C) para 2013 e a Pesquisa Anual Orçamentária (POF), referente a 2009, sobre a composição da renda e consumo das famílias. A pesquisa de Economia Informal Urbana (ECINF) e a Pesquisa Industrial Anual (PIA), ambos referentes a 2003. Todos dados mencionados são do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Além dos dados fornecidos pelo IPECE de contas regionais, PIB trimestral e da TRU-CE.

A TRU-CE e o MEGC-CE estão construídos sob valores correntes de 2013, assim como a PNAD-C usada no presente trabalho. O uso de fontes de diferentes anos é devido à inexistência dessas pesquisas para 2013, ou mais próximo possível. Delas, são usadas percentuais de participação da composição sob a hipótese de que também são válidas para o ano corrente do modelo. Premissas aceitáveis para variáveis estruturais de produção e preferências de consumo.

Para o tratamento dos dados, estimação da elasticidade, testes de consistência e gráficos ilustrativos foram usados os softwares R Studio, Excel e Stata 14. Para montagem do modelo, calibração dos parâmetros e simulação do choque foi usado o software GAMS.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

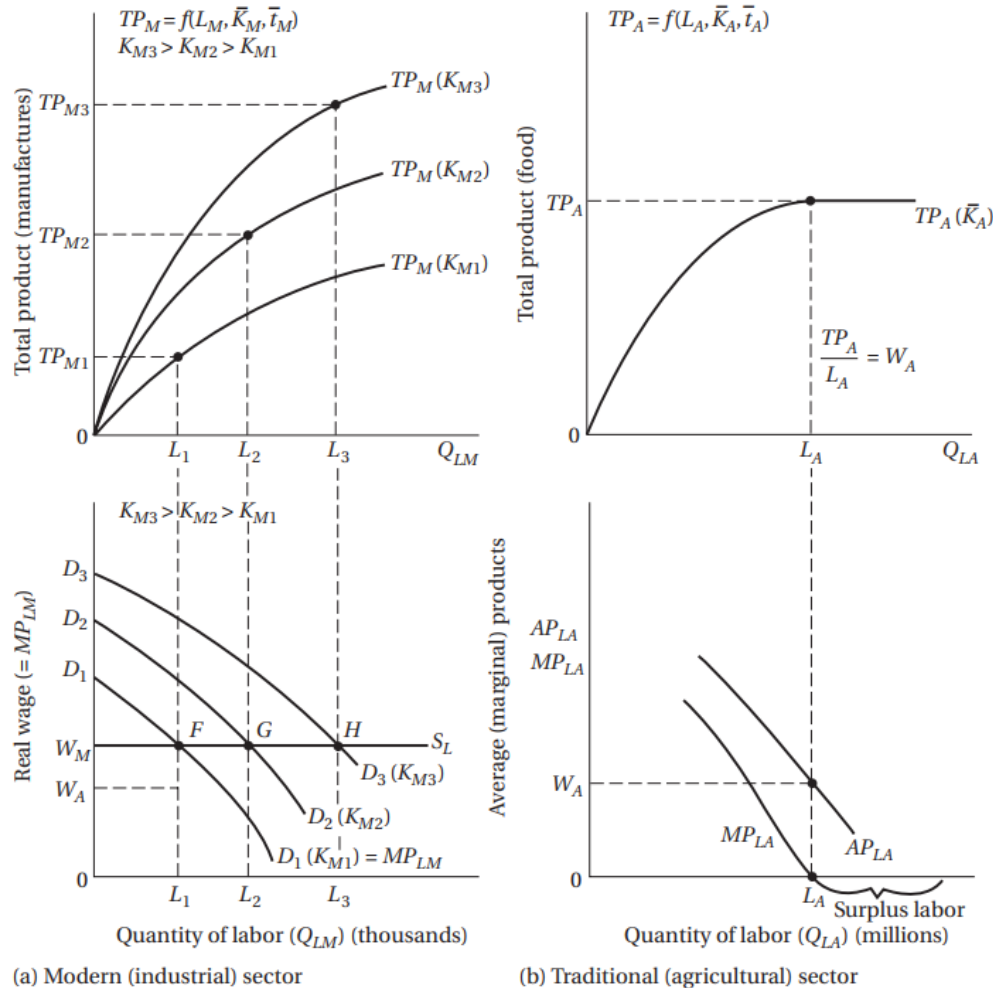
2.1. A Dualidade de Mercados

Existem diferentes métodos de abordagem do setor informal que apontam a atenção para diferentes problemáticas e distintas variáveis em todo o processo informal, desde sua formação no mercado de trabalho até o consumo final do produto, além de resultarem diferentes políticas de resolução.

O modelo pioneiro de abordagem da informalidade foi desenvolvido em 1954 por Sir Arthur Lewis, laureado com o Nobel de Economia, ficou conhecido como “Modelo de Dois

Setores de Lewis” (LEWIS, 1954). Objetivando de explicar o processo de desenvolvimento dos países, o modelo caracteriza subdesenvolvimento como a existência dicotômica de dois setores.

IMAGEM 1 – Modelos de Lewis com crescimento do setor moderno.

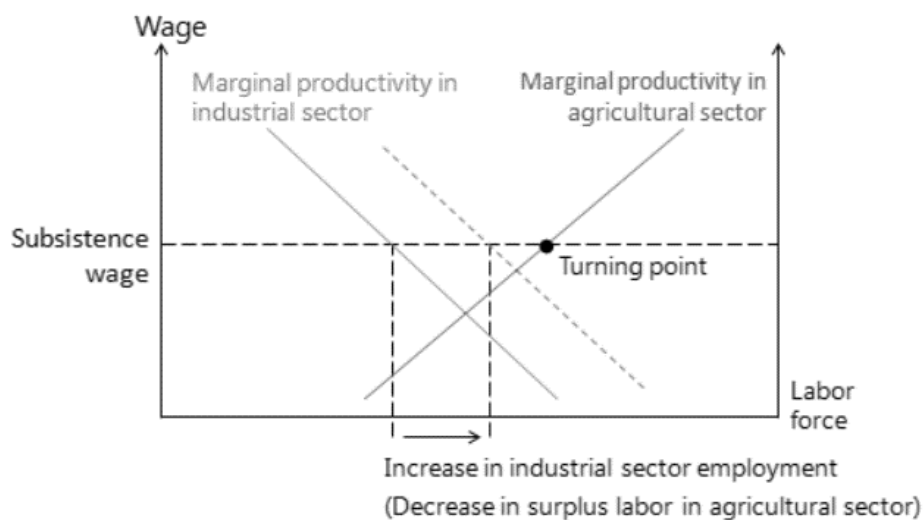


FONTE: (TODARO; SMITH, 2012, p.116)

Segundo Todaro e Smith (2012, p.115) e como representado na Imagem 1, gráfico (b) superior, o primeiro setor é composto de ocupações elementares, possui estoque de trabalhadores - L_A - para além do ponto onde a produtividade marginal do trabalho - MP_{LA} - é nula, com tecnologia - $\bar{t}_A$ - e estoque de capital - $\bar{K}_A$ - constante e salários a níveis de subsistência, por isso é chamado de Setor Ofertante de Trabalho. No trabalho original de Lewis, o setor é representado pelo agropecuário de subsistência. O segundo setor tem alta produtividade, é urbano e moderno, possui acesso ao mercado de crédito, alta taxa de capital por trabalhador além de salários reais fixos, o que faz com que a curva de oferta de trabalho seja perfeitamente elástica. No trabalho original, é representado pelo setor industrial.

O processo de desenvolvimento começa com uma mudança no estoque de capital - K_{M2} - como resultado de reinvestimento dos ganhos de capital. O reinvestimento gera um maior produto do setor moderno - TP_{M2} - e uma maior demanda por mão de obra - D_2 -, já que a produtividade marginal do trabalho eleva-se, mas sob um salário constante - w_M . Como o setor tradicional possui excesso de mão-de-obra, há realocação de trabalho do setor tradicional para o setor moderno sem alterar a estrutura de preços e salários relativos. Com novos níveis de produto, há novos níveis de ganhos de capital, que por sua vez são reinvestidos, gerando um novo nível de produção - TP_{M3} - e demanda por trabalho - D_3 . O processo é de crescimento autossustentado. Esse crescimento via realocação de trabalho se manterá até o ponto em que os preços relativos começam a ser afetados, onde não mais há produtividade marginal do trabalho igual a zero no setor tradicional. Esse estado é conhecido como “Lewis Turning Point”, representado no gráfico a seguir.

GRÁFICO 1 – Representação da realocação de trabalho até o Turning Point.



FONTE: (DAS; N'DIAYE, 2013, p.4)

Fei e Ranis (1964) estenderam o Modelo de Lewis para um dualismo organizacional de firmas no mercado. Harris e Todaro (1970) explicaram o processo de migração para grandes centros urbanos com o arcabouço do modelo estrutural de Lewis adicionando à diferença salarial a esperança de conseguir um emprego formal ou ficar desempregado ao emigrar. Fields (1975) adicionou ao modelo de Harris e Todaro uma terceira opção na ponderação do emigrante: a sua absorção no setor informal.

O modelo não aponta para a extinção dos setores tradicionais, agropecuária de subsistência e informal, mas uma realocação do insumo trabalho em vista de maximizar a

produção total da economia. A sobrevivência teórica dos setores tradicionais explica a sua manutenção e origem. Com efeito, a informalidade torna-se uma opção racional do trabalhador e do empresário frente às exigências legais na produção e na relação trabalhista.

Lengthy registration procedures, complex administrative steps and the costs involved in legalizing an enterprise deter entrepreneurs from operating legally and induce them towards informal activities. Informal sector is viewed as the optimal and coherent response of economic units to government-induced distortions like minimum wages and excessive taxation policies. (CHAUDHURI; MUKHOPADHYAY, 2013 *apud* DE SOTO, 1989, p.7)

Além da coexistência e do tamanho ótimo, “os diferentes modos e formas de produção são vistos não somente como coexistentes mas também inextricavelmente conectadas e interdependentes” (CHAUDHURI; MUKHOPADHYAY, 2013, p. 8, tradução própria)². A relação contratual, chamada de “subcontrato”, entre os tipos de ocupações se caracteriza pela literatura como causada pela vantagem comparativa de um insumo abundante.

Formal sector firms have an advantage over the informal sector firms in the capital (credit) market while the latter [informal] firms enjoy the advantage of cheaper labour supply. If the different cost advantages of the two sectors are combined, the production cost can be minimized. Thus, a possibility of interlinkage between these two sectors arises. Subcontracting is such an interlinkage. (CHAUDHURI; MUKHOPADHYAY, 2013, p. 58)

Deriva, portanto, que no Modelo de Lewis, chega um ponto em que o setor tradicional, no caso, o informal, torna-se um alto custo de oportunidade ante ao emprego formal.

Não obstante, o diferencial de condições de trabalho, a seguridade legal do trabalho formal e o acesso ao crédito fornecem também incentivos à passagem da ocupação informal para a formal. Existe, portanto, uma parte pró-cíclica e outra anticíclica da informalidade, conforme versa Flórez (2002).

2.2. O Modelo de Equilíbrio Geral

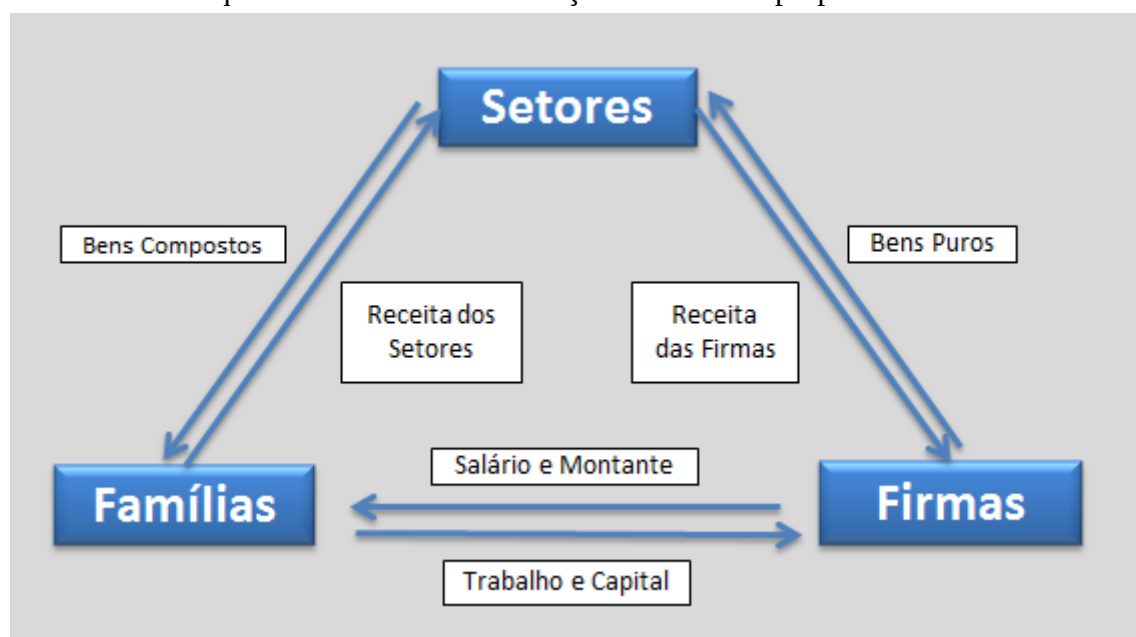
O uso do escopo do Equilíbrio Geral Computável permite visualizar a relação entre as famílias, que são detentoras dos fatores de produção: capital e trabalho. As firmas, transformadoras desses fatores em bens de consumo e remuneradoras do capital e do trabalho. A interação entre os agentes acontece no mercado: um espaço de troca de bens e fatores sob um sistema de determinação de preços. O modelo “soluciona endogenamente para quantidades e

² “The different modes and forms of production are seen not only to co-exist but also to be inextricably connected and interdependent.” (CHAUDHURI, MUKHOPADHYAY; 2013; p. 8)

preços, bem como para renda das instituições envolvidas” (BARROS; CORSEUIL; CURY, 2000, p.159).

O modelo estilizado proposto nesse trabalho conta com uma etapa adicional: a junção dos “bens puros”, produzidos pelas firmas, na confecção de “bens compostos” que, só então, serão consumidos pelas famílias. A etapa foi aqui chamada de “setores”. A esquematização está representada pela Figura 1, a seguir.

FIGURA 1 – Esquema estilizado das transações do modelo proposto.



FONTE: Adaptação de Considera; Ramos; Filgueiras (2009, p.97), elaboração própria.

Os parâmetros das equações comportamentais são obtidos via calibragem, por meio dos valores apresentados na Matriz de Contabilidade Social (SAM³), uma matriz quadrada que representa os valores transferidos de agente a agente. A soma da linha do agente A, portanto, precisa ser igual à soma da coluna do agente A, ou seja, tudo o que A recebeu dos demais agentes, dispendeu, gerando a receita destes demais agentes.

2.2.1 As Famílias

O modelo distingue as famílias em três tipos de acordo com a escolaridade. Assim tem-se a família de baixa escolaridade, média e alta escolaridade. Conforme trabalhado por Cury (1998 apud DEVARAJAN; LEWIS; ROBINSON, 1991), as famílias maximizam sua utilidade adquirindo três bens representativos dos setores - agropecuária, indústria e serviço - conforme

³ Do idioma inglês “Social Account Matrix”.

a restrição orçamentária do retorno de suas dotações ofertadas. A equação comportamental, portanto, é:

$$\text{Maximizar } UU_e(X_{s,e}) = \prod_s X_{s,e}^{\alpha_{s,e}}$$

Sujeito à restrição orçamentária:

$$\sum_s X_{s,e} p_s^X = \sum_r FS_{r,e} w_r^{FS}$$

Onde:

- $X_{s,e}$: s-ésimo bem composto representativo consumido pela e-ésima família;
- $\alpha_{s,e}$: parâmetro de participação do s-ésimo bem na utilidade da e-ésima família, com somatório em s igual à unidade;
- $FS_{r,e}$: r-ésimo fator de produção ofertado pela e-ésima família;
- w_r^{FS} : remuneração do r-ésimo fator de produção;
- p_s^X : preço do s-ésimo bem composto.

Derivada do problema do consumidor, depois de resolvido o sistema de quatro condições de primeira ordem, a demanda pelo produto, X_s^d :

$$X_{s,e}^d = \frac{\alpha_{s,e}}{p_s^X} \cdot w_r^{FS} \cdot FS_{r,e}$$

As condições de fechamento que envolvem as famílias são que a quantidade demandada de produtos seja igual à quantidade ofertada pelos setores e que a quantidade de trabalho e capital ofertados também sejam iguais as demandadas pelas firmas. Os preços compactuados com os setores e remunerações de fatores compactuadas com as firmas se ajustam para que essas condições sejam obedecidas.

2.2.2 As Firmas

O modelo construído possui seis firmas representativas para três setores – agropecuária, indústria e serviço – cada qual com dois tipos de ocupação – formal e informal - produzindo um bem puro representativo. Cada firma usa capital e trabalho na produção sendo que o trabalho é distinguido tal que os níveis de escolaridade sejam insumos distintos e complementares entre si seguindo uma função do tipo Cobb-Douglas.

De acordo com o modelo desenvolvido por Hosoe, Gasawa e Hashimoto (2010, p.17), a firma maximizará o lucro, dado o preço de mercado do bem representativo, sujeito à restrição da função de produção. Assim, tem-se:

$$\text{Maximizar } \Pi_i(Z_i, FD_{r,i}) = p_i^Z Z_i - \sum_r w_r^{FD} FD_{r,i}$$

Sujeito à função de produção do tipo Cobb-Douglas:

$$Z_i = B_i \cdot \prod_r FD_{r,i}^{\beta_{r,i}}$$

Onde:

- $\beta_{r,i}$: elasticidade do r-ésimo fator de produção usado pela i-ésima firma, com somatório em r igual à unidade;
- B_i : parâmetro de escala tecnológica da i-ésima firma;
- Z_i : produto puro da i-ésima firma;
- $FD_{r,i}$: r-ésimo fator de produção demandado pela i-ésima firma;
- p_i^Z : preço do produto Z_i ;
- w_r^{FD} : remunerações ofertadas pelo r-ésimo fator de produção.

Resolvendo o sistema de equações de primeira ordem, tem-se a equação de demanda por insumo:

$$FD_{r,i} = B_i \cdot \frac{p_i^Z}{w_r^{FD}} \cdot \beta_{r,i} \cdot Z_i$$

Nesse cenário, as firmas são freguesas dos setores, que demandam seu produto para formação do produto composto. As condições de fechamento dessa relação são de que a quantidade ofertada pelas firmas seja igual à quantidade demandada pelos setores e que o preço de oferta dos produtos puros seja igual ao preço de demanda dos setores. As firmas também se relacionam com as famílias, como dito anteriormente, remunerações e quantidades de fatores devem igualar-se.

2.2.3 Os Setores

Os Setores operam como uma firma virtual, elas não existem na realidade, mas seu comportamento maximizador no modelo pode ser um bom representante da realidade. A

ponderação que o consumidor faz entre a diferença de qualidade do produto, o diferencial de preços e seu bem-estar ao consumi-los fazem com que as diferentes ocupações – formal e informal – de um setor coexistam e concorram entre si na formação do produto final desse setor.

Além do já mencionado Subcontrato, o ponto ótimo de minimização de custos entre as firmas de diferentes ocupações: o comportamento na margem da distribuição dos insumos trabalhos e capital conferem aos setores uma boa representação através da firma virtual.

A etapa, portanto, é representada por uma maximização de lucros, dado preços e quantidade de produtos puros da etapa anterior, das firmas formal e informal de um mesmo setor:

$$\text{Maximizar } \Pi_s(Z_{i,s}, Y_s) = p_s^Y Y_s - \sum_i p_i^Z Z_{i,s}$$

Sujeito uma função de produção com Elasticidade de Substituição Constante (CES⁴):

$$Y_s = G_s [\theta_{i,s} \frac{(\sigma-1)}{\sigma} Z_{i,s}^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} + \theta_{i,s} \frac{(\sigma-1)}{\sigma}]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}$$

Onde:

- Y_s : s-ésimo bem composto representativo do s-ésimo setor;
- G_s : parâmetro de escala tecnológica do s-ésimo setor;
- $Z_{i,s}$: produto puro da i-ésima firma, agora também distinguido por ser do s-ésimo setor;
- p_i^Z : preço do produto Z_i ;
- p_s^Y : preço do produto Y_s ;
- σ : elasticidade de substituição entre as ocupações;
- $\theta_{i,s}$: parâmetro de participação de insumos, $Z_{i,s}$, do s-ésimo setor ($\sum_i \theta_{i,s} = 1$).

Resolvido o sistema de condições de primeira ordem, tem-se a demanda por Z_i :

$$Z_{i,s}^d = G_s \cdot \left(\frac{p_s^Y \theta_{i,s}}{p_i^Z} \right)^{\sigma} Y_s$$

A CES representa de melhor forma a coexistência cooperativa e de competição no consumo final entre os regimes ocupacionais já que é uma versão generalista: a depender da elasticidade de substituição, a função pode ir de uma forma linear, com substituição perfeita

⁴ Do idioma inglês “Constant Elasticity of Substitution”.

entre fatores, até uma Leontieff, onde não existe Taxa Marginal de Substituição Técnica (MRTS⁵), no lócus formalidade-informalidade.

As condições de fechamento estão no preço e na quantidade, onde todo valor⁶ ofertado é igual ao demandado, isto é, o valor produzido é igual ao consumido. Essa condição cria uma estrutura de equações de fechamento conhecidas como identidade walrasiana (SIMONSEN; CYSNE, 1995, p.200):

$$w_r^{FD} = w_r^{FS} \leftrightarrow \sum_r \sum_i (FD_{r,i} w_r^{FD}) - \sum_r \sum_e (FS_{r,e} w_r^{FS}) = 0 \quad \therefore \sum_i FD_{r,i} = \sum_e FS_{r,e} \quad \forall r$$

para o mercado de trabalho e capital,

$$p_i^Z Z_i - \sum_s (p_i^Z Z_{i,s}^d) = 0 \quad \therefore Z_i = \sum_s Z_{i,s}^d \quad \forall i$$

para o mercado de produtos puros e

$$p_s^Y = p_s^X \leftrightarrow \sum_s \sum_e X_{s,e} p_s^X - \sum_s (Y_s p_s^Y) = 0 \quad \therefore Y_s = \sum_e X_{s,e} \quad \forall s$$

para o mercado de consumo.

2.2.4 A Elasticidade de Substituição

A elasticidade de substituição técnica (ETS⁷), segundo Pauw (2004, p.4) determina o grau de substituíbilidade entre insumos. Mede a mudança no uso proporcional desses insumos, como resposta a uma mudança nos preços relativos de equilíbrio desses insumos. A importância de considerar o equilíbrio vem de que a MRTS se iguala aos preços relativos.

$$MRTS_{1,2} = \frac{-\partial X_1}{\partial X_2} = \frac{W_1}{W_2}$$

Portanto, a Elasticidade de Substituição pode ser descrita como:

$$\sigma = \frac{\% \Delta (X_1/X_2)}{\% \Delta MRTS_{1,2}} = \frac{d(X_1/X_2)}{d MRTS_{1,2}} \cdot \frac{MRTS_{1,2}}{(X_1/X_2)}$$

Considerar a ETS constante significa dizer que a relação proporcional entre insumos varia a uma taxa constante dado uma realocação de insumos num mesmo nível de produção. Ou que a relação proporcional de insumos varia aos preços relativos de equilíbrio a uma taxa fixa.

⁵ Do idioma inglês “Marginal Rate of Technical Substitution”

⁶ Neste ponto, vale lembrar que valor é igual a preço vezes quantidade.

⁷ Do idioma inglês “Elasticity of Technical Substitution”

A ETS na CES descreve seu comportamento. À medida que a ETS tende ao infinito, a MRTS torna-se fixa seja qual for a proporção dos fatores, fazendo com que a isoquanta seja representada por uma função linear negativamente inclinada no lócus dos insumos um e dois.

À medida que a ETS tende a um, seja a partir de zero ou de dois, a função de produção tende ao tipo Cobb-Douglas. À medida que a ETS tende a zero, a função de produção torna-se do tipo Leontief, com proporções de insumos praticamente fixas.

O método usado para a estimação da ETS foi proposto por Kmenta (1967), a Aproximação de Kmenta, que é estimado por Mínimos Quadrados Ordinários:

$$\ln y = \alpha_0 + \alpha_1 \ln x_1 + \alpha_2 \ln x_2 + \frac{1}{2} \beta_{11} (\ln x_1)^2 + \frac{1}{2} \beta_{22} (\ln x_2)^2 + \beta_{12} \ln x_1 \ln x_2$$

Sob as restrições:

$$\beta_{12} = -\beta_{11} = -\beta_{22}$$

$$\sum \alpha_i = 1$$

Que serão utilizadas como hipótese de teste da significância da estimação.

These restrictions can be utilised to test whether the linear Kmenta approximation of the CES function is an acceptable simplification of the translog functional form. If this is the case, a simple *t*-test for the coefficient $\beta_{12} = -\beta_{11} = -\beta_{22}$ can be used to check if the Cobb-Douglas functional form is an acceptable simplification of the Kmenta approximation of the CES function. (HENNINGSEN; HENNINGSEN, 2011, p.7)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Descrições Populacionais

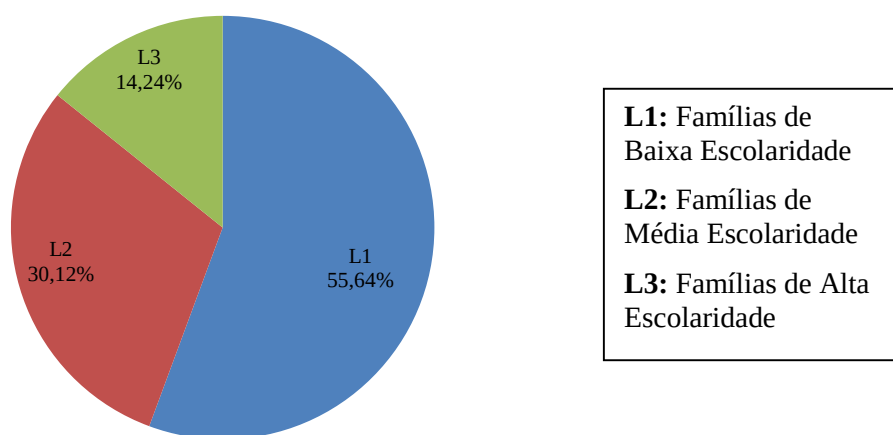
Os dados referentes à descrição populacional e do mercado de trabalho foram extraídos da Pesquisa Nacional por Amostras em Domicílios Contínua (PNAD-C), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), para os anos de 2012 a 2017, trimestralmente. As estatísticas apresentadas serão das pesquisas referentes a 2013 por ser o ano adotado como base para o modelo ser 2013.

Segundo os dados coletados, em 2013, 78,04% dos cearenses estavam em idade apta ao trabalho, a chamada População em Idade Ativa (PIA), a partir de 14 anos. Adicionalmente, o

estado tinha uma razão de dependência⁸ de 43,70%, ou seja, existem por volta de 44 pessoas potencialmente ativas para cada centena de crianças e idosos. Para comparação, a taxa nacional de dependência para 2013 é de 45,2%.

Da PIA deriva-se a População Economicamente Ativa (PEA), parcela que está inserida ou buscando inserção em alguma atividade produtiva. Pelos dados da PNAD de 2013, 60,4% da PIA cearense é também PEA. No contexto nacional, a PEA de 2013 foi 61,3% da PIA. A distribuição de PEA por famílias⁹ está representada pelo Gráfico 2.

GRÁFICO 2 – Proporção de famílias que compõem a PEA cearense de 2013.



FONTE: (PNADC, IBGE, 2013). Elaboração Própria.

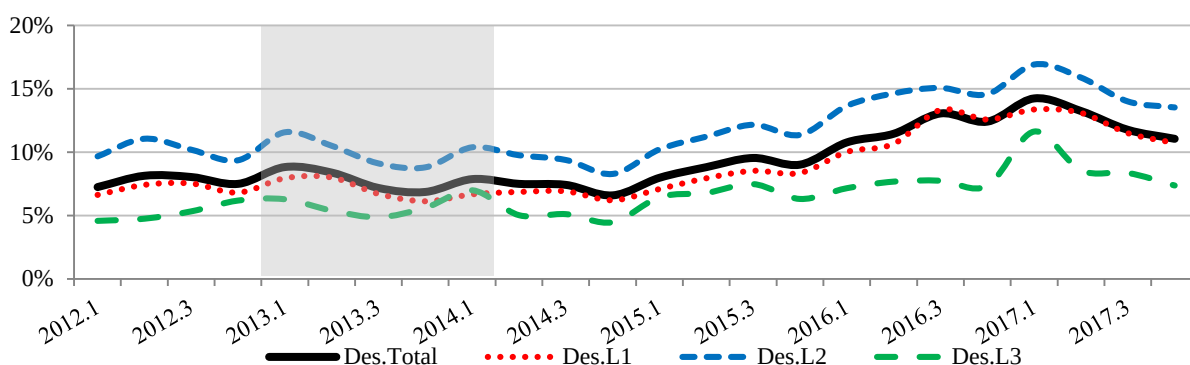
Da PEA decompõe-se a População Ocupada (PO) e, tautologicamente, a População Desocupada (PD). A média de PO sobre a PEA cearense entre os trimestres é de 92,20% para 2013, variando de 91,18% no primeiro trimestre a 93,15% no último. Portanto, a taxa de desocupação média para o ano é de 7,8%.

O nível de ocupação entre as famílias não é linear. Segmentando o mercado de trabalho por família, tem-se as seguintes taxas de desocupação apresentadas pelo histórico do Gráfico 3.

⁸ Número de pessoas abaixo de 14 anos e acima de 65 dividido pelo número de pessoas entre 14 e 65 anos.

⁹ Na divisão por escolaridade para nomeação das famílias, L1 foi considerado pessoas de ensino médio incompleto a sem instrução. Para L2, ensino médio completo e para L3, ensino superior completo ou incompleto.

GRÁFICO 3 – Taxas de Desemprego Populacional e por Família – Ceará – 1tri2012 a 4tri2017. (Ênfase em 2013)



FONTE: (PNADC, IBGE, 2013). Elaboração Própria.

Nota-se que as famílias menos escolarizadas possuem uma taxa de desemprego próxima à populacional justamente por ser a maior oferta proporcional de mão-de-obra, balizando assim a taxa populacional. Um fato curioso é de que L2 possui uma taxa de desemprego maior que a populacional enquanto que L3 é a menor dos grupos de famílias. O fato quebra uma ideia inicial de que uma maior especialização causaria menor mobilidade entre os setores, portanto, maior desemprego. O achado e seus consequentes permanecem como trabalhos futuros propostos.

A PO está dividida, nesse trabalho, em Agropecuária, Grande Indústria e Serviços, sem excetuar os vínculos estatutários. A ideia é de que os serviços estatutários suprem demandas das famílias como educação, saúde e segurança; retirá-los seria distorcer a estrutura econômica que atende a essas demandas sociais. Portanto, o governo foi considerado como uma firma.

Nessas condições, encontra-se o resumo na Tabela 1, abaixo.

TABELA 1 – Proporções percentuais dos setores por famílias – Ceará – 2013.

a. Distribuição entre famílias.

Família	Agropecuária	Indústria	Serviços	Total
Baixa Escolaridade	19,79	25,02	55,19	100,00
Média Escolaridade	2,49	17,53	79,98	100,00
Alta Escolaridade	0,47	3,14	96,39	100,00
Total	11,88	19,63	68,49	100,00

b. Distribuição entre setores.

Família	Agropecuária	Indústria	Serviços	Total
Baixa Escolaridade	93,27	71,41	45,13	56,01
Média Escolaridade	6,15	26,26	34,33	29,40
Alta Escolaridade	0,58	2,33	20,54	14,59
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

FONTE: (PNADC, IBGE, 2013). Elaboração Própria.

Através dos dados da PNAD-C vemos que o setor agropecuário participou com 11,88% da ocupação do Ceará em 2013. Número bem acima do número da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), de caráter censitário que capta a formalidade, para o mesmo ano: 1,73%. Vale destacar que os Serviços é setor que mais emprega mão-de-obra de alta escolaridade, proporcionalmente, empregando 20,54% de L3 na sua composição produtiva. O referido setor também emprega 55,19% do total de L1 e 45,13% de L1 na sua composição produtiva, sendo o setor que menos emprega, proporcionalmente, mão-de-obra de baixa escolaridade.

Partindo para a caracterização da ocupação, foi considerada formalidade os empregos com carteira assinada e contribuição para a Previdência Social quando o reportado fosse trabalhador por conta própria. A Tabela 2 resume as proporções encontradas do número de trabalhadores entre setores, por ocupação e por famílias.

É característica comum em todos os setores a predominância da informalidade. No setor agropecuário, por exemplo, o número de pessoas trabalhando informalmente é 89,93% do total de pessoas ocupadas no setor. A informalidade da agropecuária tem 93,95% da composição de L1, trabalhadores de baixa ou nenhuma escolaridade, e 18,41% de toda a informalidade cearense. O que reforça a utilização do modelo de Lewis para a interpretação do cenário.

TABELA 2 – Proporções percentuais dos setores por famílias e por ocupação – Ceará – 2013.

a. Distribuição entre ocupações.

Família	Agropecuária		Indústria		Serviços		Total
	Formal	Informal	Formal	Informal	Formal	Informal	
Baixa Escolaridade	9,41	90,59	31,94	68,06	28,92	71,08	300,00
Média Escolaridade	17,73	82,27	60,70	39,30	59,53	40,47	300,00
Alta Escolaridade	35,15	64,85	59,21	40,79	70,76	29,24	300,00
Total	10,07	89,93	40,13	59,87	48,02	51,98	300,00

b. Distribuição entre famílias.

Família	Agropecuária		Indústria		Serviços		Total
	Formal	Informal	Formal	Informal	Formal	Informal	
Baixa Escolaridade	1,86	17,93	7,99	17,03	15,96	39,23	100,00
Média Escolaridade	0,44	2,05	10,64	6,89	47,61	32,37	100,00
Alta Escolaridade	0,17	0,30	1,86	1,28	68,21	28,19	100,00
Total	1,20	10,69	7,87	11,75	32,89	35,60	100,00

c. Distribuição entre setores e ocupações.

Família	Agropecuária		Indústria		Serviços		Total
	Formal	Informal	Formal	Informal	Formal	Informal	
Baixa Escolaridade	87,15	93,95	56,84	81,18	27,18	61,72	56,01
Média Escolaridade	10,84	5,63	39,72	17,23	42,56	26,73	29,40
Alta Escolaridade	2,01	0,42	3,44	1,59	30,27	11,55	14,59
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

FONTE: (PNADC, IBGE, 2013). Elaboração Própria.

Vale notar que os serviços informais respondem por 35,60% dos ocupados e ocupam 28,19% dos trabalhadores de alta escolaridade, L3. É o maior setor tanto na categoria informal quanto na formal.

Parte da alocação vista até agora pode ser explicada pelos salários esperados de cada setor, em cada ocupação. Alguns fatores distanciam os salários observados dos salários de equilíbrio, gerando desemprego. Nível de mobilidade da mão-de-obra, política de salários mínimos, custos operacionais da legalidade e nível tecnológico foram os comentados anteriormente. Os salários médios¹⁰ encontrados estão dispostos na Tabela 3. Para comparação, o salário mínimo em 2013 era de 678 reais.

TABELA 3 – Média e desvio padrão do salário real, por setor, ocupação e famílias – Ceará – 2013.

Família	Agropecuária		Indústria		Serviços		Total	
	Formal	Informal	Formal	Informal	Formal	Informal	Formal	Informal
Baixa Escolaridade	646	306	846	561	945	569	896	513
	355	311	448	519	790	677	684	588
Média Escolaridade	1.019	453	961	709	1.180	804	1.139	771
	2.345	529	853	874	1.063	939	1.047	916
Alta Escolaridade	970	1.171	3.024	1.321	2.883	1.796	2.882	1.769
	417	1.371	3.531	1.505	3.158	2.546	3.167	2.503
Total	700	319	967	600	1.632	785	1.484	672
	907	347	993	633	2.088	1.214	1.929	1.027

FONTE: (PNADC, IBGE, 2013). Elaboração Própria.

O maior setor discrepante entre ocupação é a agropecuária, onde o salário formal é, em média, 220% do informal. Seguido pelo setor de serviços onde o salário esperado na formalidade é, em média, 208% o salário informal.

A família com maior discrepância média é a L1, ou seja, L1 tem um maior custo de oportunidade por estar na informalidade. Os salários da formalidade para L1 são, em média, 175% o da informalidade. Resultado puxado pela agropecuária e serviços informais, que possuem as maiores diferenças e abrangem, somados, 57,16% da mão-de-obra de L1. O segundo maior custo de oportunidade entre ocupações está para L3, onde o salário da formalidade é 163% o da informalidade. Por fim, L2 tem o salário formal médio como sendo 148% o do informal.

¹⁰ Foram retirados salários nulos e maiores que 40 mil reais. Após esse primeiro corte, salários com 25 desvios padrões da média foram eliminados. Logo após, a média e desvio padrão foram recalculados.

3.3 Proporções da Matriz de Contabilidade Social

O valor da produção dos setores agropecuário, industrial e de serviços foi retirada SAM do MEGC-CE, bem como o montante salarial pago pelos respectivos setores às famílias. O desafio foi achar as divisões percentuais para a divisão das remunerações e de consumo por famílias; bem como a proporção de produção entre as ocupações, em cada setor.

A simplificação do modelo proposto apontou a necessidade de contornar a presença da atividade do governo, consumo intermediário e setor externo. A demanda e o fisco do governo foram considerados como uma firma, fazendo parte dos serviços, assim como a demanda e a oferta do setor externo. As vendas para consumo intermediário foi somado ao VA e considerado como produto dos setores.

Os dados obtidos pela análise da PNAD-C foram usados para a divisão pela participação na massa salarial entre as ocupações – formalidade e informalidade entre setores - e entre a renda das famílias. A premissa é de que, se um setor com tal ocupação paga às famílias um montante de X% da massa salarial em remunerações, é porque lhe foi comprada essa proporção em bens.

TABELA 4 – Participação da ocupação na massa salarial e no consumo ao setor - Ceará – 2013.

Ocupação	Agropecuária	Indústria	Serviços	Total
Informal	7,25	20,00	72,75	100,00
	77,44	47,11	31,39	35,27
Formal	1,15	12,24	86,61	100,00
	22,56	52,89	68,61	64,73
Total	3,30	14,98	81,72	100,00
	100,00	100,00	100,00	100,00

FONTE: (PNADC, IBGE, 2013). Elaboração Própria.

Já a proporção de consumo de bens dos setores entre as famílias foi extraída da Pesquisa Orçamentária Familiar (POF), realizada em 2009 pelo IBGE. Mesma pesquisa que baseou o vetor de proporções de consumo para a manufatura da TRU-CE.

TABELA 5 – Proporção de consumo de bens entre famílias, por setor - Ceará – 2009.

Setor	Baixa Escolaridade	Média Escolaridade	Alta Escolaridade
Agropecuária	0,38	0,33	0,30
Indústria	0,35	0,30	0,35
Serviços	0,32	0,27	0,41

FONTE: (POF, IBGE, 2009). Elaboração Própria.

Para encontrar a proporção de capital entre as ocupações, necessitou-se de uma pesquisa do setor informal da produção ao lado de uma pesquisa do setor formal. Tal evento pôde ser

encontrado em 2003, quando o IBGE, além das pesquisas estruturais anuais dos setores, também realizou a pesquisa de Economia Informal Urbana (ECINF). Foram comparados a proporção entre a soma de matéria-prima, mercadoria para revenda, aluguel de imóveis, máquinas e equipamentos, formando um uso médio de capital, sobre a receita média, tanto na Pesquisa Industrial Anual (PIA) 2003, quanto na ECINF. A premissa usada é de que, para um real de receita, são gastos X reais em capital. A proporção encontrada é de que as firmas formais usam 4,92 vezes mais capital imobilizado que as informais, gerando uma proporção de 83,13% de capital para as formais, logo, 16,86% de capital para as informais. A referida distribuição de capital foi usada como ponto inicial, sendo modificada para ajustar o equilíbrio da SAM.

Por fim, a proporção de remuneração do capital às famílias foi retirada também da POF: origens de renda por faixas de renda para as famílias cearenses. Verificou-se que a L1, L2 e L3 pertencem, respectivamente, 13,6%, 13,6% e 72,7% das remunerações de capital.

3.4 A Elasticidade de Substituição

Para o cálculo da ETS, imputada na CES de relação entre ocupação, foi considerado o número de pessoas em cada ocupação, capturado pela PNAD-C entre 2012 e 2017. Foram também usados a taxa do PIB trimestral calculado pelo IPECE e o PIB cearense anual, divulgado pelas Contas Regionais do IBGE. Os demais parâmetros de escala e proporção de insumos, G_s e θ_s , respectivamente, foram calculados na calibração do sistema no GAMS. Já a estimação da ETS foi feita no R Software, com o pacote microeconômico “MicEconCES”. O resultado segue abaixo.

TABELA 6 – Resultados da elasticidade de Substituição estimada pelo método de Kmenta.

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
ETS.k	0,5356	0,12	4,38	1,2e-05***

Signif. codes: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

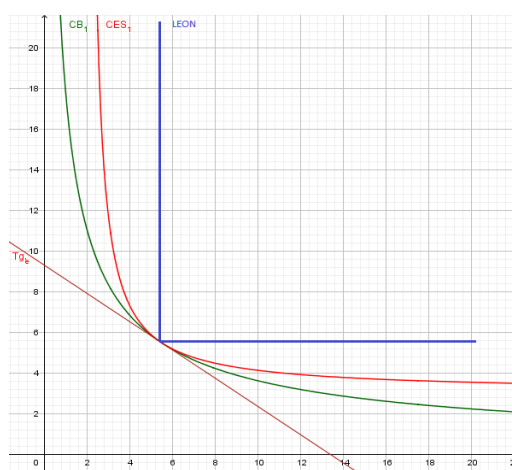
FONTE: Elaboração Própria.

A magnitude encontrada indica uma CES que está entre a curvatura de uma função do tipo Cobb-Douglas – com ETS=1 - e de uma função do tipo Leontief. Isso significa que, no equilíbrio, a proporção de uso entre formalidade e informalidade é inelástica a mudanças no salário relativo. Significa também que para substituir formalidade, é preciso muita quantidade

de postos informais, mas para substituir uma vaga informal, é preciso menos de uma vaga formal¹¹.

A função CES permanece continuamente diferenciável, mas a ETS a esse valor a faz com que a MRTS entre formalidade e informalidade seja extremamente sensível, o que faria o ponto de equilíbrio inicial ou após qualquer choque ficar em áreas geométricas fora das restrições. Por fim, como solução ao problema, o resultado aponta para uso quase que complementar, com proporções fixas, entre as ocupações ante à substituição imperfeita proposta pela teoria do Modelo de Lewis, ou seja, o uso de uma função de produção do tipo Leontief. A diferença entre a Cobb-Douglas, a CES, com $ETS = 0,53$, e a Leontief está representada no Gráfico 4.

GRÁFICO 4 – Representação de uma Cobb-Douglas e uma CES com ETS igual a 0,53.



FONTE: Elaboração Própria.

3.5 O Choque na Produção da Agropecuária Informal

Por fim, foi aplicado um choque exemplar, uma diminuição para 75% no parâmetro de escala tecnológica, B_S , da firma agropecuária informal, simulando queda na produtividade nos tempos de seca enfrentados pelo semiárido cearense¹². A remuneração do capital serviu como *numeraire*, portanto, os preços apresentados são relativos com base no custo do capital. As tabelas com parâmetros calibrados são apresentadas no Anexo B e as variáveis em nível, pré-choque e pós choque, podem ser vistas no Anexo C.

¹¹ Valendo-se de que $MRTS_{1,2} = MRTS_{2,1}^{-1}$ e que a ETS é inversamente proporcional a $MRTS_{1,2}$, portanto, diretamente proporcional a $MRTS_{2,1}$.

¹² Fonte disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/meio-ambiente/ultimas-noticias/redacao/2018/03/03/seca-de-2012-a-2017-no-semiarido-foi-a-mais-longa-da-historia.htm>> Acesso em: 15 de janeiro e 2019.

As variações resultantes para o uso de insumos das firmas estão dispostas na Tabela 5. É importante ter em mente a cadeia de relacionamentos entre os agentes envolvidos: as firmas demandam insumos de acordo com uma substituição do tipo Cobb-Douglas; os setores demandam seus produtos puros de acordo com uma complementariedade do tipo Leontief; que têm seus produtos mesclados demandados com uma substituição do tipo Cobb-Douglas pelas famílias, que vendem seus fatores para as firmas. A apresentação dos resultados do choque seguirá essa linha holística de análise.

Constata-se que, para compensar a baixa na produtividade na firma da agropecuária informal, mais insumos foram canalizados. Já que a demanda dos setores são complementares, houve uma diminuição no uso de insumos da firma agropecuária formal. Todas as demais firmas perderam um pouco de suas mãos-de-obra de baixa escolaridade, L1, remanejados para firma impactada por esta usá-la mais – ver Tabela B.2, no Anexo B - o que fez seu preço aumentar proporcionalmente mais do que os outros insumos.

TABELA 7 – Variações percentuais no uso de insumos pelas firmas, resultantes do choque aplicado.

Fatores	$\Delta\%$ Preço	$\Delta\%$ Quantidade					
		Agr.Frm	Agr.Inf	Ind.Frm	Ind.Inf	Srv.Frm	Srv.Inf
Capital	<i>numeraire</i>	-7,98	23,06	0,20	0,35	0,22	0,30
Baixa Escolaridade	0,74	-8,66	22,15	-0,54	-0,39	-0,52	-0,44
Média Escolaridade	0,29	-8,24	22,70	-0,09	0,06	-0,08	0,00
Alta Escolaridade	0,23	-8,19	22,77	-0,03	0,12	-0,02	0,06

FONTE: Elaboração Própria.

Percebe-se pela Tabela 6 que os preços variaram sensivelmente em relação à quantidade, exceto para a agropecuária informal. Como as proporções de complementariedade da Leontief são lineares, as firmas formais e informais em cada setor receberam a mesma variação na quantidade.

A piora na produtividade na firma agropecuária informal e a manutenção da sua demanda por parte do setor da agropecuária fizeram seu preço subir, o que fez realocar insumos para seu uso, como apresentado na Tabela 5, contudo, o movimento não foi suficiente para manter o patamar de produção, que caiu 8,01%.

TABELA 8 – Variações percentuais no produto das firmas, resultantes do choque aplicado.

Firmas	$\Delta\%$ Preço	$\Delta\%$ Quantidade
Agropecuária Formal	0,03	-8,01
Agropecuária Informal	33,77	-8,01
Indústria Formal	0,24	-0,04

Indústria Informal	0,39	-0,04
Serviço Formal	0,19	0,03
Serviço Informal	0,27	0,03

FONTE: Elaboração Própria.

A queda na produção setorial, como pode ser vista na Tabela 7, predita pela Tabela 6, e a manutenção da demanda por parte das famílias fez o preço subir na agropecuária e sensivelmente nos demais setores. Todos os produtos têm a elasticidade preço da demanda menor que zero, ou seja, a demanda é inelástica a preço.

TABELA 9 – Variações percentuais no produto dos setores, resultantes do choque aplicado.

Setores	$\Delta\%$ Preço	$\Delta\%$ Quantidade
Agropecuária	9,01	-8,01
Indústria	0,30	-0,04
Serviços	0,21	0,03

FONTE: Elaboração Própria.

A remuneração da mão-de-obra de L1 aumentou, consequentemente, sua renda disponível, por isso foi a única família a aumentar o consumo dos demais itens em substituição ao bem agora em falta, como pode ser visto na Tabela 8. O leve aumento nas demais remunerações não foi suficiente para obter mais poder de compra, dado os aumentos nos bens. Como consequência, todas as famílias diminuíram o seu consumo em todos os bens.

TABELA 10 – Variações percentuais na quantidade demandada de bens, por famílias.

Produto	Baixa Escolaridade	Média Escolaridade	Alta Escolaridade
Agropecuária	-7,76	-8,13	-8,17
Indústria	0,24	-0,15	-0,21
Serviços	0,33	-0,07	-0,12

FONTE: Elaboração Própria.

Por fim, as variações no consumo e na renda fizeram com que todas as famílias perdessem bem-estar. As famílias L1, L2 e L3, respectivamente, perderam 0,18%, 0,53% e 0,46% de Utilidade levando em conta a equivalência Hickseana, que retira o efeito substituição, causado pela alteração dos preços relativos.

Uma vez descrito a mecânica do modelo, há de se considerar o paralelismo com a realidade. No modelo, o governo foi considerado como uma firma, dentro da agregação dos serviços. Mas a função de seguridade social não foi levada em conta, como as transferências unilaterais de renda e as políticas de apoio no semiárido. Num momento de seca como o simulado, não ocorre tanto êxodo como os vistos antigamente por toda assistência local

recebida. Fato que ajuda a manter o trabalhador na zona rural e diminui a mobilidade entre os setores.

A complementariedade dos produtos puros na formação dos produtos compostos fez a agropecuária formal perder produção e recursos serem concentrados na produção agropecuária informal, uma espécie de *insistência* na função agora mais improdutiva. Realmente, não é empírico a queda da produtividade informal causar uma queda da formalidade, firmas essas que têm acesso a água encanada para irrigação, fertilizantes e defensivos. Pode-se considerar que políticas de incentivo ao produtor agropecuarista familiar seja uma espécie de *insistência* no referido setor de baixa produtividade comparativa, mas nada via complementariedade das ocupações.

4 CONCLUSÕES

O presente trabalho relevou a importância de considerar a dualidade existente na economia nas ocupações, formal e informal, na construção de um modelo de equilíbrio geral para a economia cearense. Propôs ser uma extensão do modelo MEGC-CE, considerando diferentes famílias na escolaridade e a dualidade na produção e consumo. Segundo o modelo de Lewis, considerar as diferenças entre as ocupações, as tecnologias de produção e alocação de mão-de-obra no mercado de trabalho é considerar, dado um choque, os ganhos no PIB via realocação de recursos de um setor menos produtivo para outro mais produtivo.

As pesquisas conduziram a uma vasta descrição da população, do consumo e da produção. Dentre os principais dados obtidos, tem-se que a PEA corresponde a 60,40% da PIA cearense, com uma taxa de dependência de 43,70%. A PEA é composta por 55,64% de famílias do tipo L1, de baixa escolaridade, 30,12% de L2 e 14,24% de L3. A média de PO sobre a PEA cearense entre os trimestres é de 92,20% para 2013. O setor de serviços é o maior dos três grandes setores, respondendo por 68,49% do total de ocupados, sendo também o setor que mais emprega L3, com 96,49% do grupo. Já a informalidade responde por 58,04% do total de trabalhadores ocupados no Ceará. Destes, 61,34% estão nos serviços e 18,41% na agropecuária.

A agropecuária informal é a menor renda média dos grupos analisados. A proporção média entre o salário real médio da formalidade é de 2,21 o salário médio da informalidade.

No intuito de ratear os dados presentes na SAM do MEGC-CE, foram também achados a participação dos setores, pelas diferentes ocupações, na massa salarial da economia; a caracterização do consumo dos bens dos grandes setores por família; a composição da

remuneração de capital para as diferentes famílias e a proporção de capital usado entre a firma formal, que é 4,92 vezes maior que o capital imobilizado na informalidade.

Foi também estimado a Elasticidade de Substituição entre formalidade e informalidade para a economia cearense, que é 0,53. O resultado mostra que a taxa de mudança entre a proporção de insumos usados é menor que a taxa de mudança nos salários relativos entre formalidade e informalidade. Um indicativo de uma relação de complementariedade entre as ocupações, ao contrário do visto no Modelo de Lewis, de substituíbilidade entre a dualidade.

O choque no parâmetro de escala tecnológica fez com que mais recursos fossem realocados para a firma da agropecuária formal. Como o produto das firmas são mesclados nos setores de forma complementar, a firma que mais perdeu relativamente recursos foi a agropecuária formal. Como resultado, o setor agropecuário diminuiu sua produção em 8,01% e aumentou o preço em 9,01%. Os demais setores tiveram leves variações na produção e no preço.

As famílias de média e alta escolaridade diminuíram seu consumo em todos os produtos. A família de baixa escolaridade, por ter um aumento salarial maior que as demais, substituiu o consumo do bem agropecuário por bens industriais e serviços. Mas a troca não foi suficiente para conter a queda na utilidade, que caiu para todas as famílias.

Para trabalhos futuros, propõe-se adicionar os agentes externos, governo e investimentos; calcular CES compostas levando em consideração as famílias por escolaridade; usar sofisticções do Modelo de Lewis, como o Modelo Harris-Todaro e adicionar o desemprego involuntário.

5 REFERÊNCIAS

ARAÚJO; SANTOS. As Desigualdades Regionais e Nordeste em Formação Econômica Do Brasil. In: ARAÚJO (Org); VIANNA (Org); MACAMBIRA (Org). **50 Anos de Formação Econômica do Brasil**. Ensaio sobre a Obra Clássica de Celso Furtado. Rio de Janeiro: Ipea, 2009. p. 177-200.

BARROS; CORSEUIL; CURY. **Salário Mínimo e Pobreza no Brasil**: Uma Abordagem de Equilíbrio Geral. Pesquisa de Planejamento Econômico Rio de Janeiro, v.30, n.2, p. 157-182, agosto de 2000.

BARROS; MENDONÇA. **Flexibilidade do Mercado de Trabalho Brasileiro**: Uma Avaliação Empírica. Texto Para Discussão Número 452. Rio de Janeiro: IPEA, 1997.

BARROS; MENDONÇA. **Os determinantes da desigualdade no Brasil**. Texto Para Discussão Número 377. Rio de Janeiro: IPEA, 1995.

BARUFI, A.M.B.; HADDAD, E.A.; NIJKAMP, P. **New Evidence on the Wage Curve - Non-linearities, urban size, and spatial scale in Brazil**. - -

BLANCHARD O.; LAWRENCE F.K. **Wage Dynamics: Reconciling Theory and Evidence**. Massachusetts: Aea Papers And Proceedings, 1999.

BLANCHFLOWER D.G.; OSWALD A.G.. **The Wage Curve Reloaded**. Working Paper 11338. Massachusetts: National Bureau of Economic Research, 2005.

BLANCHFLOWER D.G.; OSWALD A.G.. **The Wage Curve**. Massachusetts: National Bureau of Economic Research, 1989.

CARLSSON M.; MESSINA J.; SKANS O. N. **Wage Adjustment and Productivity Shocks**. 6th ECB/CEPR Labor Market Workshop, 2010.

CHAUDHURI, S.; MUKHOPADHYAY, U. Capítulo Um: “Genesis of Informal Sector”. **Revisiting the Informal Sector - A General Equilibrium Approach**. Universidade de Calcutá, Behala College. Kolkata, 2009.

COELHO; CURY. **Um Modelo de Equilíbrio Geral Computável para Analisar Aspectos Distributivos no Brasil**. Rio de Janeiro: IPEA, 2003.

CONSIDERA; RAMOS; FILGUEIRAS. **Macroeconomia I: As contas Nacionais**. 1 ed. Niterói :Atlas, 2009.

CORTEZ M. R. **Os Impactos das Mudanças na Demanda por Trabalho Qualificado Sobre o Desemprego por Nível de Qualificação Durante os Anos Noventa no Brasil**. Rio de Janeiro: FGV/RBE, 2006.

CURY. **Modelo de equilíbrio geral para simulação de políticas de distribuição de renda e crescimento no Brasil**. São Paulo: FGV/EESP, 1998.

GERSBACH, H.; SCHNIEWIND, A. **Imperfect Competition, General Equilibrium and Unemployment**. Center of Economic Research at ETH Zurich. Zurich, 2007.

GINSBURGH; KEYSER. Capítulo Um: “Basic Concepts”. **The Structure of Applied General Equilibrium Models**.

HOSOE; GASAWA; HASHIMOTO. **Textbook of Computable General Equilibrium Modelling: Programming and Simulations**. 1 ed. Londres: Palgrave Macmillan, 2010.

HENNINGSEN A.; HENNINGSEN G. **Econometric Estimation of the Constant Elasticity of Substitution Function in R: Package micEconCES**. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios** - 2013. Rio de Janeiro: IBGE, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema de contas nacionais**: Brasil 2015. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.

KELLEY, B. **The Informal Sector and the Macroeconomy - A Computable General Equilibrium Approach for Peru**. Florida International University. Miami, 1994.

LAKATOS; MARCONI. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LOPES (Org); VASCONCELLOS (Org). **Manual de Macroeconomia**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2008.

NIJKAMP P.; POOT J. **The Last Word On The Wage Curve?** A Meta-Analytic Assessment. Amsterdam: Tinbergen Institute, 2003.

BARROS; MENDONÇA; DUARTE. **Bem-estar, pobreza e desigualdade de renda**: uma avaliação da evolução histórica e das disparidades regionais. Texto Para Discussão Número 454. Rio de Janeiro: IPEA, 1997.

Notas do Curso de Equilíbrio Geral Computável e do Modelo Cearense de Equilíbrio Estático. Ipece.

SIMONSEN, M. H.; CYNE, R. P. **Macroeconomia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Alas, 1995.

PAUW, K. **Functional Forms Used in CGE Models**. PROVIDE Project. Elsenburg, 2004.

PESSÔA. **Economia Regional, Crescimento Econômico e Desigualdade Regional de Renda**. Ensaio Econômico Número 355. Rio de Janeiro: FGV/EPGE, março de 1999.

TOURINHO; SILVA; ALVES. **Uma Matriz de Contabilidade Social para o Brasil em 2003**. Texto para Discussão Número 1242. Rio de Janeiro: IPEA, dezembro de 2006.

ANEXO A – Matriz de Contabilidade Social do Modelo Proposto

	AGR1	AGR2	IND1	IND2	SRV1	SRV2	CAP	L1	L2	L3	F1	F2	F3	SOMA
AGR1											2.151	1.973	1.578	5.702
AGR2											780	715	572	2.067
IND1											16.141	16.750	15.985	48.876
IND2											10.760	11.166	10.656	32.582
SRV1											15.577	16.580	21.105	53.262
SRV2											7.127	7.586	9.656	24.368
CAP	5.420	1.100	26.054	12.254	22.787	10.425								78.040
L1	221	864	11.333	15.390	4.797	6.090								38.696
L2	52	88	9.033	4.200	9.380	3.908								26.661
L3	9	15	2.456	738	16.298	3.944								23.461
F1							13.842	38.695						52.536
F2							28.106		26.664					54.770
F3							36.088			23.464				59.551
SOMA	5.702	2.067	48.876	32.582	53.262	24.368	78.036	38.695	26.664	23.464	52.536	54.770	59.551	

ANEXO B – Parâmetros Calibrados pelo Modelo

TABELA B.1 – Alpha: Parâmetro de participação na função de utilidade das famílias.

Produto	L1	L2	L3
Agropecuária	0,0558	0,0491	0,0361
Industrial	0,5121	0,5097	0,4474
Serviços	0,4322	0,4412	0,5165

FONTE: Elaboração Própria.

TABELA B.2 – Beta: Parâmetro de participação da função de produção das firmas.

Fatores	Agr.Frm	Agr.Inf	Ind.Frm	Ind.Inf	Srv.Frm	Srv.Inf
CAP	0,9506	0,5320	0,5331	0,3761	0,4278	0,4278
L1	0,0387	0,4180	0,2319	0,4724	0,0901	0,2499
L2	0,0091	0,0425	0,1848	0,1289	0,1761	0,1604
L3	0,0016	0,0075	0,0502	0,0226	0,3060	0,1619

FONTE: Elaboração Própria.

TABELA B.3 – B: Parâmetro de escala tecnológica da função de produção das firmas.

Firmas	B
Agr.Frm	1,26
Agr.Inf	2,39
Ind.Frm	3,12
Ind.Inf	2,92
Srv.Frm	3,48
Srv.Inf	3,66

FONTE: Elaboração Própria.

TABELA B.4 – Coef. L: Coeficientes setoriais de Leontief.

Firmas	Coef. L
Agr.Frm	0,7339
Agr.Inf	0,2661
Ind.Frm	0,6000
Ind.Inf	0,4000
Srv.Frm	0,6861
Srv.Inf	0,3139

FONTE: Elaboração Própria.

ANEXO C – Variáveis em Nível Antes e Depois do Choque

TABELA C.1 – Nível de Insumos Utilizados pelas Firms, Antes e Depois do Choque.

Insumo	Agropecuária Formal		Agropecuária Informal		Indústria Formal		Indústria Informal		Serviço Formal		Serviço Informal	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
Capital	5.420	4.988	1.100	1.353	26.052	26.105	12.254	12.298	22.785	22.836	10.425	10.456
Baixa Escolaridade	221	202	864	1.055	11.333	11.272	15.390	15.331	4.797	4.772	6.090	6.063
Média Escolaridade	52	47	88	108	9.034	9.024	4.200	4.202	9.381	9.373	3.909	3.908
Alta Escolaridade	9	9	15	19	2.456	2.455	738	739	16.300	16.295	3.945	3.947

FONTE: Elaboração Própria.

TABELA C.2 – Nível de Produto Fabricado pelas Firms, Antes e Depois do Choque.

Produto Puro	Antes	Depois
Agr.Frm	5.702	5.245
Agr.Inf	2.067	1.902
Ind.Frm	48.875	48.856
Ind.Inf	32.582	32.569
Srv.Frm	53.263	53.276
Srv.Inf	24.369	24.375

FONTE: Elaboração Própria.

TABELA C.3 – Nível de Produto Fabricado pelos Setores, Antes e Depois do Choque.

Produto	Antes	Depois
Agropecuária	7.769	7.147
Industrial	81.457	81.425
Serviços	77.632	77.651

FONTE: Elaboração Própria.

TABELA C.4 – Nível de Consumo das Famílias, por Produto, Antes e Depois do Choque.

Produto	Baixa Escolaridade		Média Escolaridade		Alta Escolaridade	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
Agropecuária	2.931	2.704	2.688	2.470	2.149	1.974
Industrial	26.902	26.968	27.915	27.872	26.640	26.586
Serviços	22.705	22.779	24.166	24.148	30.761	30.723

FONTE: Elaboração Própria.

ANÁLISE LONGITUDINAL PARA AVALIAÇÃO DA EDUCAÇÃO DE JOVENS E ADULTOS (EJA) NO CEARÁ

Gércia Cunha de Lima¹³

RESUMO

O desempenho diferenciado dos estudantes pertencentes à Educação de Jovens e Adultos (EJA) em exames de proficiência como ENEM, Prova Brasil e SPAECE vem gerando interesses por parte de pesquisadores na área de Economia da Educação. Este estudo, tem o objetivo de fazer uma análise microeconômica do desempenho escolar da EJA (no Ceará) *vis-à-vis* o Ensino Médio regular, tentando inferir a efetiva diferença entre o perfil dos alunos pertencentes às duas modalidades de ensino, controlando os estudantes por meio de suas características individuais, bem como seu desempenho prévio. Para isso, utilizou-se micro dados do SPAECE – disponibilizados pela SEDUC – e do Censo Escolar 2014, para os anos de 2012 e 2014, totalizando uma amostra de 45.736 observações. No pareamento entre o grupo de tratados (EJA) e de controle (Ensino Regular), utilizou-se o método *Coarsened Exact Matching* (CEM), pois ele propicia a correspondência aplicada aos dados observados e reduz o desequilíbrio entre os grupos anterior à escolha da modalidade educacional dos estudantes. Buscou-se a correspondência de um tratado para cada cinco alunos de controle, reduzindo a amostra para 1.347 observações. Os resultados evidenciam que o aluno da Educação de Jovens e Adultos mantém um desempenho de 8,11 pontos abaixo do estudante da escola regular quando há o controle das variáveis observáveis e o devido pareamento no desempenho prévio e idade. Este pareamento mostrou-se relevante à medida em que este diferencial teve uma queda de aproximadamente 55% em comparação ao modelo linear de mínimos quadrados ordinários para a amostra total. Este estudo contribui para a avaliação dos fatores que impactam os rendimentos em Matemática, pois observa as características do aluno, o *background* educacional, a renda familiar, o ambiente de aprendizagem e ressalta até que ponto a infraestrutura escolar impacta no rendimento acadêmico destes alunos. A partir dos resultados observados, espera-se que a gestão escolar tente equalizar as disparidades existentes entre estas modalidades de ensino proporcionando um

¹³ Monografia apresentada para graduação no Curso de Finanças da Universidade Federal do Ceará – Campus de Sobral, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Finanças. Orientadora: Prof.^a Dr.^a Alesandra de Araújo Benevides. Sobral-2018

desempenho com maior equidade.

Palavras-chave: Educação de Jovens e Adultos (EJA), Ensino Regular, desempenho.

ABSTRACT

The differentiated performance of students belonging to the education of youth and Adults (EJA) in proficiency exams such as ENEM, Prova Brazil and SPAECE has been generating interests by researchers in the field of economics of education. This study aims to make a microeconomic analysis of the school performance of EJA (in Ceará) vis-à-vis the regular high school, trying to infer the effective difference between the profile of the students belonging to the two teaching modalities, controlling the Students by means of their individual characteristics, as well as their previous performance. For this, we used micro data from SPAECE – made available by SEDUC – and the school census 2014, for the years 2012 and 2014, totaling a sample of 45,736 observations. In the pairing between the group of Treaties (EJA) and control (Regular education), we used the method coarsened Exact matching (CEM), because it provides the correspondence applied to the observed data and reduces the imbalance between the groups prior to the choice of Educational modality of students. The correspondence of one treatise was sought for each five control students, reducing the sample to 1,347 observations. The results show that the student of youth and adult education maintains a performance of 8.11 points below the regular school student when there is control of the observable variables and the due pairing in the previous performance and age. This pairing was shown to be relevant to the extent that this differential had a decrease of approximately 55% in comparison to the linear model of ordinary least squares for the total sample. This study contributes to the evaluation of the factors that impact the income in mathematics, as it observes the characteristics of the student, the educational background, the family income, the learning environment and emphasizes to what extent the school infrastructure Academic achievement of these students. From the observed results, it is hoped that school management should try to equalize the disparities between these teaching modalities, providing a performance with greater equity.

Keywords: Youth and Adult Education (EJA), Regular Education, performance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Proporção de pessoas por nível de instrução (%) (2000 – 2010)

Figura 2: Abrangência da oferta de EJA + Qualificação Profissional em 2017

Figura 3: Índice de Ambiente de Aprendizagem (IAA)

Figura 4: Densidade Kernel das médias de proficiência em matemática

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Descrição das variáveis

Tabela 2: Estatísticas descritivas da amostra 1 com 45.736 observações

Tabela 3: Estatísticas descritivas da amostra 2 com 1.179 observações

Tabela 4: Resultados econométricos

1. INTRODUÇÃO

À evolução do convívio social dos indivíduos, por meio do desenvolvimento de hábitos, valores e costumes de determinada cultura, dá-se o nome de **educação**. Esse termo é proveniente do latim ‘*educere*’ e significa dizer “*conduzir e/ou direcionar*”, podendo ser definido também como o acesso à instrução, sabedoria e polidez. É um direito assegurado e garantido pela Constituição Federal de 1988¹⁴ e, sendo um dever do Estado, deve ser incentivado pela coletividade de modo que colabore para o desenvolvimento da sociedade, bem como, atue na preparação dos indivíduos para o mercado de trabalho (HADDAD, 2006).

No Brasil, a educação é regida por meio de normatizações instituídas pelo Ministério da Educação (MEC)¹⁵, que estabelece programas educacionais utilizando recursos financeiros oferecidos pelo Governo Federal. É dividida em três níveis educacionais e composta por

¹⁴ **Constituição Federal de 1988, Art. 205:** A educação, direito de todos e dever do Estado e da família, será promovida e incentivada com a colaboração da sociedade, visando ao pleno desenvolvimento da pessoa, seu preparo para o exercício da cidadania e sua qualificação para o trabalho.

¹⁵ O Ministério da Educação é um órgão do Governo Federal do Brasil fundado no decreto n.º 19.402, em 14 de novembro de 1930 e tem como área de competência a política nacional de educação.

diversos graus em cada divisão. O primeiro nível educacional, chamado de Ensino Fundamental, é obrigatório para crianças com idades entre seis e quatorze anos, sendo gratuito para todos os indivíduos, incluindo adultos, e é dividido em dois ciclos denominados Ensino Fundamental I (1º ao 5º ano) e Ensino Fundamental II (6º ao 9º ano). O Ensino Médio também é obrigatório e oferecido gratuitamente pelo Estado. Possui uma duração de três anos, sendo, neste tempo, ministrada uma carga horária de, no mínimo, 2.200 horas/aula. O terceiro nível corresponde ao Ensino Superior e refere-se a uma educação realizada em instituições e universidades que garantem o acesso a diplomas acadêmicos e profissionais. Todos os níveis educacionais podem ser ofertados por institutos particulares (privados) de ensino.

A constante preocupação com o mercado de trabalho leva, muitas vezes, jovens e adultos a abandonar ou mesmo evadir do Ensino Médio Regular. Estudos feitos por Neri (2009) apontam três causas para a evasão escolar, a saber: insipiência dos gestores de políticas públicas, que restringem a divulgação da oferta de serviços educacionais; falta de interesse por parte de pais e alunos e a necessidade de geração de renda, dadas as condições financeiras precárias do meio social em que vivem.

No intuito de expandir os níveis educacionais, jovens e adultos se matriculam na **Educação de Jovens e Adultos** (Fundamental ou Médio) (**EJA**). A EJA é uma categoria de ensino que ocorre em paralelo à Educação Básica regular do país e destina-se, principalmente, a jovens e adultos que não tiveram o acesso ao Ensino Fundamental e/ou Médio regular, não dando continuidade a seus estudos na idade apropriada, ou seja, antes dos 18 anos de idade (SCORTEGAGNA e OLIVEIRA, 2006).

No Ceará, a rede de ensino possuía 2.427 instituições que ofertavam a EJA, com 189.527 alunos matriculados em 2011. Em 2013, caiu para 2.253 o número de escolas ofertantes dessa modalidade de ensino, com apenas 186.796 matrículas. Em 2015, esse número voltou a cair para 1.851 escolas, tendo apenas 162.683 discentes matriculados, fechando o ano de 2017 com 1.717 instituições de ensino e 169.164 registros nesse tipo de instrução¹⁶. Essas reduções ao longo do tempo podem ser explicadas por meio das proposições atendidas pela EJA, que correspondem à redução dos altos índices de analfabetismo e à ampliação dos níveis de escolaridade da população que não concluíram a Educação Básica na idade apropriada (GOMES, 2011).

De acordo com o IBGE (2010), apesar da significativa redução dos índices de analfabetismo, ainda existe uma grande quantidade de pessoas que não tem acesso a uma

¹⁶ Dados do Censo Escolar fornecidos pelo INEP. Disponibilizado em: <http://qedu.org.br>.

educação de qualidade na idade apropriada. Esses números são compostos por pessoas que tiveram frustrações na vida escolar decorrentes da falta de estímulo para dar continuidade à atividade acadêmica, ansiedade para ingressar no mercado de trabalho, ou mesmo, a percepção de que os conteúdos aprendidos na vida escolar não são úteis à vida prática (NERI, 2009).

Pesquisas feitas pelo IBGE evidenciam que, em 1940, 56% das pessoas com 15 anos ou mais de idade eram analfabetas¹⁷. Em, 1960, esse número cai para 39,6%. Em 1980, reduz para 25,5%, decresce para 13,6% em 2000 e chega aos 9,6% no ano de 2010. Segundo dados da PNAD¹⁸, no período que vai de 1999 a 2011, tem-se um notável aumento no número de estudantes do país, alterando-se de 50,4 milhões em 1999, para 55,5 milhões em 2011 (TORRES *et. al.*, 2013).

Estudos publicados nos EUA mostram uma modalidade educacional com objetivos semelhantes à EJA. O *General Educational Development* (GED) é uma prova aplicada a indivíduos que não obtiveram o diploma do ensino médio, que os certifica, dando-lhes o poder de ingressar em uma universidade e/ou obter melhores rendimentos no mercado de trabalho.

Estudos de Willett e Boudett (1995) apontam que, apesar de os certificados emitidos pelo GED possuírem resultados inferiores aos expelidos pelo ensino tradicional, os beneficiários desses certificados têm uma dinâmica no mercado de trabalho melhor que os estudantes que se evadiram do Ensino Médio (OLIVA, 2014).

Sob essa ótica, a EJA permite a conclusão do Ensino Médio aos jovens e adultos afastados da escola que pretendem retomar a vida acadêmica, garantindo a eles a flexibilidade do tempo, a absorção de conhecimentos e a capacidade de se tornarem mais competitivos no mercado de trabalho. A EJA é uma modalidade alternativa à educação regular e está disponível nos níveis fundamentais e médio, sendo que, para ingressar na EJA Fundamental, é necessário ter, no mínimo, 15 anos e a condição para ingressar na EJA Médio é ter uma idade igual ou superior a 18 anos.

Apesar de, no Brasil, ainda serem escassos os estudos referentes a essa modalidade de ensino (EJA Médio), a mesma vem gerando interesses por parte dos pesquisadores, como Neto e Fernandes (2000), Neri (2009), Oliva (2014) entre outros, o que pode contribuir de forma crescente para a literatura brasileira de Economia da Educação. Esse trabalho, tem o intuito de fazer uma análise microeconômica do desempenho escolar da EJA (no Ceará) *vis-à-vis* o Ensino

¹⁷ Indivíduos que não participam de atividades nas quais a alfabetização é solicitada para um desempenho eficiente da comunidade. Pode ser definido também, como aquele que não possui instrução primária.

¹⁸ Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios realizada anualmente com o intuito de colher informações sobre as características demográficas e socioeconômicas da população.

Médio regular, tentando inferir qual a efetiva diferença na performance acadêmica entre os dois tipos de alunos, controlando-os por suas características pessoais e por seu desempenho prévio. Visando atingir o objetivo proposto, utilizou-se a metodologia de pareamento denominada *Coarsened Exact Matching* (CEM) para comparar o rendimento entre tratados (alunos da EJA) e o grupo de controle (alunos do Ensino Regular). Os alunos partem, em 2012 (9^a ano do Ensino Fundamental e 1^a série do Ensino Médio), em condições de rendimento acadêmico e idade semelhantes e são comparados, dois anos depois, em 2014, sendo que 275 migraram para a EJA e o restante permaneceu no ensino regular. Por meio do equilíbrio eficiente entre os grupos, é possível conhecer os atributos destas modalidades, analisar o desempenho dos estudantes ao longo do tempo e ter uma melhor visão de proficiência ou equidade sobre o perfil de seus beneficiários.

O trabalho divide-se em cinco seções, iniciando-se com esta introdução. Na segunda seção, fez-se uma análise histórica do desenvolvimento da Educação de Jovens e Adultos, além da revisão da literatura sobre o tema em questão. Na terceira, são detalhados os procedimentos metodológicos adotados, como a descrição do modelo e fontes de dados. Na quarta seção são apresentados os resultados dessa investigação. Na quinta e última, são apresentadas as considerações finais acerca do que foi estudado.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

As políticas sociais na área da educação sempre possuíram, no Brasil, traços bastante descentralizados, isto é, o Ensino Infantil é responsabilidade dos municípios, o Ensino Fundamental é de obrigação simultânea de estados e municípios, enquanto o Ensino Médio fica sob ocupação dos estados. A partir da Constituição de 1891¹⁹, foi consagrado o princípio da universalização da educação básica gratuita para todos, que contribuiu para melhorar a provisão de serviços educacionais por parte dos entes municipais, estaduais e federais do país (CURY, 2003, *apud* TORRES *et. al.*, 2013).

Ao longo do tempo, foram lançados modelos federativos de políticas sociais e, a partir da Constituição de 1988, foi consagrado o princípio de descentralização na provisão de serviços educacionais, como atribuições mais acentuadas aos poderes públicos. Um dos principais instrumentos para a ocorrência disto foi a instauração do Fundo de Manutenção e Desenvolvimento do Ensino Fundamental e de Valorização do Magistério - FUNDEF (1996),

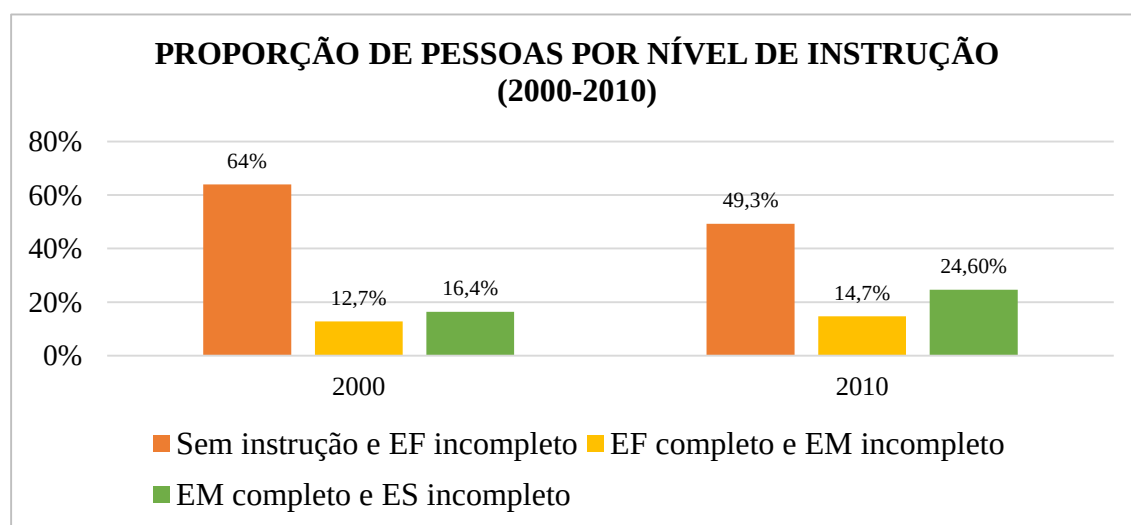
¹⁹ Foi a primeira Constituição após a Proclamação da República, promulgada em 24 de fevereiro de 1891.

que vinculou a capacidade financeira de estados e municípios com Educação com a possibilidade de atender a demanda educacional como direito social, aumentando substancialmente a cobertura do sistema, facilitando o acesso e atingindo níveis de excelência no que tange à universalização (CURY, 2002).

Em 2006, o FUNDEF difundiu-se e foi criado o Fundo de Manutenção e Desenvolvimento da Educação Básica e de Valorização dos Profissionais da Educação (FUNDEB), que expandiu as fontes de receitas e o percentual de alocação dos recursos, incluindo a pré-escola, o Ensino Médio e a Educação de Jovens e Adultos. Militão (2011) *apud* Carneiro e Irffi (2016) reconhece que as mudanças pulverizaram os recursos e foram essenciais para o financiamento do ensino básico, afinal, houve uma gestão mais eficiente das receitas a partir do estabelecimento de padrões mínimos de gastos.

Dados do IBGE evidenciam que a proporção de pessoas com instrução (Ensino Fundamental, Ensino Médio e Ensino Superior) de 25 anos ou mais de idade, vem se elevando no intervalo 2000-2010, em relação ao total de pessoas com idade igual ou superior a 25 anos (Figura 1). De 2000 a 2010 houve uma redução, de 64% para 49,3%, respectivamente, do número de pessoas sem instrução e com Ensino Fundamental incompleto. Ao passo que houve um aumento, de 12,7% para 14,7%, na proporção de pessoas com Ensino Fundamental completo e Ensino Médio incompleto e houve também um incremento de 16,4% para 24,6% na proporção de pessoas que possuem Ensino Médio completo e Ensino Superior incompleto.

Figura 1 – Proporção de pessoas por nível de instrução (%) (2000-2010).



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do IBGE.

Dados da PNAD revelam que, no período de 1999 a 2011, o número de estudantes

elevou-se significativamente, alterando-se de 50,4 milhões em 1999 para 55,5 milhões em 2011.

No entanto, este incremento populacional estudantil não foi acompanhado pelo aumento proporcional da população brasileira estudantil (matrículas). Enquanto essa taxa proporcional era de 31,4% em 1999, esse indicador caiu para 28,5%, em 2011. Vale ressaltar que a queda nessa proporção não reflete obrigatoriamente uma piora nas condições educacionais do país, mas pode decorrer de fatores como mudanças na estrutura etária da população e um melhor fluxo do sistema educacional. Ainda segundo a PNAD, em 2011, pouco mais de três milhões de jovens com idades correspondentes entre 15 e 17 anos cursam o ensino fundamental. Uma quantidade equivalente a 659 mil jovens nesse grupo etário constitui-se de indivíduos que trabalham e abandonaram a escola (TORRES *et. al.*, 2013).

É possível que o abandono escolar esteja ligado a fatores externos, como a inserção no mercado de trabalho ou questões relacionadas às relações familiares, como: gravidez na adolescência ou mesmo, pessoas que deixam a vida estudantil para cuidar dos afazeres domésticos (BORJA e MARTINS, 2014). Outros elementos preponderantes para a evasão escolar referem-se a fatores internos à própria escola, como infraestrutura do local e/ou problemas relacionados à linguagem do professor, que resultam em dificuldades de entendimento dos conteúdos estudados e se agravam pela falta de estímulo dos membros familiares e do ambiente de trabalho (SILVA, 2009).

No Brasil, a faixa etária que vai de 18 a 24 anos tem, em sua maioria, uma população de não estudantes que foi de 66,1%, em 1999, para 71,5%, em 2011. A elevada descontinuidade na proporção de estudantes com 18 anos sugere essa idade como ponto de partida à inserção no mercado de trabalho. Em 1999, 8,4% destes jovens cursavam o ensino fundamental, 13,9% o ensino médio e 7,5% a universidade. O atraso escolar mostrava aí sua expressão mais intensa, pois a proporção de jovens no Ensino Fundamental era substancialmente maior que na graduação. Em 2011, este cenário já havia sido alterado, sendo que 2,4% dos jovens de 18 a 24 anos cursavam o Ensino Fundamental, 9,9% o Ensino Médio e 14,9% o Ensino Superior (TORRES *et. al.*, 2013).

Devido, em parte, ao atraso escolar, o Governo Federal está sempre buscando melhorias para a Educação de Jovens e Adultos com o intuito de facilitar o acesso à instrução e oferecer possibilidades de estudos àqueles que não tiveram acesso ao Ensino Fundamental e Médio na idade regular (MEC, 2016). Enfim, a EJA pretende dar oportunidades de ensino as pessoas que não tiveram a possibilidade de alfabetizar-se na idade certa e não está preocupada apenas em reduzir números e índices de analfabetismo. Ocupa-se com a cultura dos educandos tentando

reparar, qualificar e equalizar o ensino de forma que o indivíduo tenha uma melhor preparação para o mercado de trabalho (LOPES e SOUZA, 2005).

2.1 Educação de Jovens e Adultos no Brasil: uma análise histórica

O ato de difundir o ensino, também conhecido como alfabetização, possui uma evolução histórica ligada à trajetória da educação, pois seu desenvolvimento reflete o contexto econômico, político, cultural e social do ambiente em que está inserido. A Educação de Jovens e Adultos (EJA) é um meio de acesso à cidadania para todos aqueles que, por vivenciarem alguma dificuldade, se encontram à margem do processo educativo (OLIVA, 2014).

Ao lançar visão para as políticas educacionais do país, é possível conceituar os objetivos e a maneira como se desenvolveu a trajetória de alfabetização, já que as experiências iniciais são datadas do período imperial, com a existência de aulas noturnas para adultos. Sendo a educação um direito de todos, a Constituição Brasileira de 1824²⁰ já defendia o acesso eficiente e equitativo da alfabetização a todos os cidadãos. Entretanto, este fato não foi consolidado devido às desigualdades presentes entre os diversos grupos, pois só eram considerados cidadãos uma pequena quantidade da população pertencente à elite econômica (SCORTEGAGNA e OLIVEIRA, 2006).

No período Republicano, iniciaram-se campanhas que visavam o apoio sistemático e parcial das diferentes instâncias sociais da época, refletindo o descompasso das autoridades governamentais em criar uma política pública educacional regular que atendesse às necessidades da população. As primeiras intervenções deste período estendem-se até os anos 1930, em que foram criados regimes de códigos alfabéticos com o objetivo de equipar a população com ferramentas de leitura e escrita, preparando os indivíduos para exercer suas responsabilidades éticas e sociais (SCORTEGAGNA e OLIVEIRA, 2006).

Em meados de 1930, uma nova Constituição foi promulgada, porém não obteve êxito, pois Getúlio Vargas, então presidente da República, criou um regime denominado de “Estado Novo” e se fez ditador por meio de um golpe de Estado. A Constituição Brasileira de 1937, em pleno Estado Novo, mudou a característica das relações entre Estado e o serviço educacional, em que o papel do Estado se tornou subsidiário e não central como propunha a Constituição firmada anteriormente, o que resultava em um menor acesso à educação por parte da população e a tornava vulnerável, facilmente coagida e disposta a aceitar tudo que lhes é imposto. A nova

²⁰ Foi a primeira e única constituição do Brasil Imperial, outorgada por D. Pedro I em 25 de março de 1824.

Constituição não tinha interesse na propagação do conhecimento e favorecia apenas o ensino profissionalizante, capacitando os jovens e adultos, unicamente, para o trabalho nas indústrias (GHIRALDELLI, 2008 *apud* MARQUES, 2010).

Paulo Freire foi um dos pioneiros a favorecer a alfabetização de jovens e adultos no Brasil, buscando assegurar uma maior cobertura deste tipo de ensino àqueles que não obtiveram acesso à educação fundamental e média no nível regular. Em 1938, foi criado o Instituto Nacional de Estudos Pedagógicos (INEP), que permitiu a instituição, em 1942, do Fundo Nacional do Ensino Primário que ampliou o ensino da educação primária e estendeu Instrução Supletiva a adultos e adolescentes. Em 1947, foi criado o Serviço Nacional da Educação de Adultos (SNEA), que buscava capacitar a sociedade para a intensa urbanização e industrialização que o país estava vivenciando (ARANHA, 1996).

A intenção de suprimir o analfabetismo fez com que o governo militar, em 1967, criasse o Movimento Brasileiro de Alfabetização (MOBRAL), que viabilizava atividades de alfabetização e programas nas áreas de saúde, educação e civismo. A história da Educação de Jovens e Adultos é vigorosa e, em seus primórdios, foi criada para capacitar a mão-de-obra dos trabalhadores que migravam da zona rural para a urbana e para aumentar a base eleitoral na época do regime militar, já que o voto era um direito assegurado apenas para homens instruídos ou alfabetizados (MEC, 2008).

O passo seguinte foi a implantação da Lei de Diretrizes e Bases da Educação, LDB 5692/71, que especificava a instauração de Centros de Estudos Supletivos (CES), havendo a introdução de novas tecnologias como possíveis soluções para os problemas educacionais vividos no tempo. Após um turbulento período ditatorial, programas como o MOBRAL não tiveram condições para continuar sua existência e logo foi substituído pela Fundação Educar, que trabalhava com a alfabetização e pós alfabetização e ampliava o dever do Estado com a Educação de Jovens e Adultos (MEC, 2008). A partir da década de 1990, a história da EJA passa a ser registrada no Boletim da Ação Educativa²¹ e, em 1988, com a Constituição assegurando como dever do estado a universalização da educação, o ensino passa a ser obrigatório inclusive para aqueles que não tiveram acesso na idade apropriada.

No Ceará, apesar dos esforços do Governo Federal na área de alfabetização, 27,8% dos jovens com 15 anos ou mais do estado eram analfabetos em 1999, contra 13,3% do índice de analfabetismo nacional para a mesma faixa etária. Em 1985, houve o processo de redemocratização do país, onde teve início um movimento político-econômico denominado

²¹ É uma associação civil, fundada em 1994, que atua nos campos da educação, cultura e juventude.

*Mudancismo*²², que se opunha ao *Coronelismo*²³, e foi marcado por diversas reformas de estado nas áreas administrativas e fiscais (1986-1990), saúde (1986-1990), infraestrutura e privatizações (1991-1999) e educacional (1995-2000) (NASPOLINI, 2001).

As propostas de melhorias educacionais buscavam assegurar uma educação de qualidade para todos, dado que foram atestadas a importância da Educação de Jovens e Adultos para ampliação de oportunidades educacionais, principalmente no Ceará (PEREIRA, BRITO e LIMA, 2016). Um dos principais desafios da reforma da Educação Básica cearense foi alcançar a credibilidade de um sistema educacional precário que não conseguia atender mais de 65% da população do estado em 1995. Outro importante desafio era a captação de recursos financeiros para atender a nova proposta. Inúmeros avanços foram registrados no Ceará, no período de 1995-2000: houve a universalização do acesso de crianças e adolescentes de 7 a 14 anos no Ensino Fundamental, melhoria no acesso da população de 15 e 17 anos à escola, expansão da EJA, cujo número de matrículas cresceu 232,69% entre 1996 e 2000 (NASPOLINI, 2001).

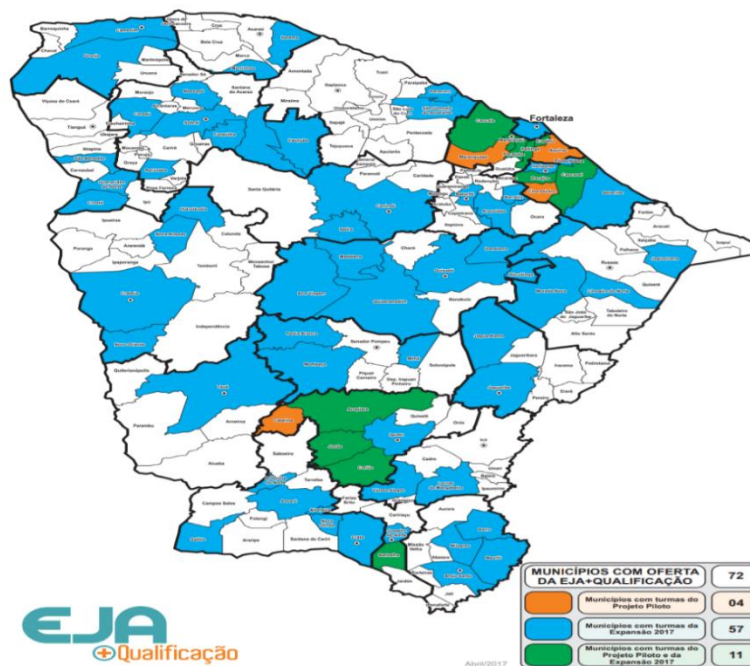
Apesar de existirem poucos trabalhos que explorem a Educação de Jovens e Adultos no Ceará, o estado assumiu a criação do EJA + Qualificação Profissional²⁴ que propõe uma reorganização da oferta da EJA com alternativas que incluem nas atividades acadêmicas espaços voltados para qualificação profissional. O projeto-piloto foi uma iniciativa do Governo do Estado, em 2016, e foi ofertado nas Coordenadorias Regionais do Desenvolvimento da Educação (CREDE) de Horizonte, Iguatu, Juazeiro do Norte e Maracanaú, atingindo 25 escolas e 15 municípios abrangidos pelas regionais. A Figura 2 evidencia o mapa de abrangência da oferta do projeto no Ceará. As regiões de coloração laranja mostram os quatro municípios com turmas do Projeto-Piloto, a cor verde sinaliza os municípios que abrangeram o programa e a cor azul evidencia os municípios que expandiram as turmas de EJA + Qualificação Profissional no referido ano.

²² Mudanças nas áreas políticas e sociais do estado desencadeada por um grupo de jovens empresários do Centro Industrial do Ceará (CIC), ao qual Tasso Ribeiro Jereissati foi presidente.

²³ É uma prática frequente no meio rural e em pequenas cidades do interior, que floresceu durante a Primeira República (1889-1930) e que pode ser definida como o domínio de uma elite sobre os meios de produção, o poder econômico e social e a política local.

²⁴ SEDUC, 2018. EJA + Qualificação Profissional. Disponibilizado em: <https://www.seduc.ce.gov.br/-eja-qualificacao-profissional>.

Figura 2 – Abrangência da oferta de EJA + Qualificação Profissional em 2017.



Fonte: Secretária de Educação do Estado do Ceará (SEDUC).

O objetivo desta política é garantir a aprendizagem aliada ao direito dos indivíduos em se qualificarem profissionalmente e deverá beneficiar jovens entre 18 e 29 anos que se encontram fora da escola ou evadiram-se do Ensino Médio. Com uma carga horária de 1.600 horas/aulas, sendo 1.200 horas destinadas aos componentes acadêmicos curriculares e 400 horas destinadas à Preparação para o Trabalho e Práticas Sociais (PTPS) e Informática ou Técnicas Administrativas e Vendas (TAV), o desempenho dos estudantes foi considerado satisfatório para a Secretaria de Educação do Governo do Estado do Ceará (SEDUC), que afirmou que o programa contribuiu para a redução dos índices de abandono escolar, estimulando jovens e adultos a regressarem ao ensino público.

2.2 Educação de Jovens e Adultos *versus* Ensino Regular

Considerada uma das principais causas do crescimento e desenvolvimento econômico, a educação tem sido alvo de estudos e pesquisas relacionadas a políticas públicas que garantam melhorar sua qualidade, principalmente em países que tenham desempenho considerado baixo em relação a outros, como o Brasil (MARIANO, ARRAES e BARBOSA, 2016). Por desempenhar um papel fundamental na atividade econômica, há uma correlação positiva entre o número de anos de escolaridade e/ou o tipo de instrução que cada indivíduo recebe e a renda *per capita* do mesmo. Existem, portanto, diversos debates acerca de possíveis externalidades a ela associadas.

Mariano, Arraes e Barbosa (2016) afirmam, com base nas diretrizes do Relatório da OECD²⁵ (2016) referentes ao baixo desempenho educacional, que os gestores de políticas públicas devam tratar a educação como prioridade de modo que os sistemas de ensino ofereçam o acesso à Educação Infantil para todos, identificando os alunos e instituições de baixa performance para poder, assim, intervir com políticas sociais adequadas e melhorar significativamente o desempenho geral de um sistema de educação.

Dentre os tipos de políticas voltadas para a melhoria da educação pública, encontra-se uma forma alternativa ao Ensino Regular, a Educação de Jovens e Adultos (EJA). O Ensino Regular pode ser definido como o estabelecimento educacional, público ou privado, de educação continuada ao longo dos anos até completar a faculdade. Já a EJA, antes conhecida como Supletivo, é uma modalidade de ensino voltada para alunos que não concluíram o ensino básico na idade oportuna e que optaram seguir este segmento de ensino por motivos como: a falta de interesse dos pais, dificuldades de acesso à escola, necessidade de trabalho e geração de renda (NERI, 2009). O que as instituições de ensino regulares têm que as diferenciam das instituições destinadas ao acesso à educação de jovens e adultos? Quais fatores podem contribuir para o melhor desempenho do ensino regular em relação a EJA? A renda? O nível de escolaridade dos pais? Infraestrutura domiciliar? Ambiente de aprendizagem?

Existem três motivos que levam os gestores a direcionar políticas públicas voltadas para a especialização da mão de obra, ao invés da educação formal. O primeiro motivo refere-se ao melhor desempenho de um país ao participar de mercados internacionais competitivos; o segundo diz respeito a reduções nos níveis de desemprego, principalmente entre jovens; e o terceiro, remete a qualificação da mão de obra à evolução da economia de países em desenvolvimento de uma situação de equilíbrio causada pela produção de *commodities* de valor agregado inferior que resulta da utilização de mão de obra barata e pouco produtiva para situações de equilíbrios mais qualificadas, com maior valor agregado e garantindo assim uma melhor distribuição da renda (CROUCH *et. al.*, 2009 *apud* MARIANO, ARRAES e BARBOSA, 2016).

Estudos feitos por Oliveira e Silva (2015) corroboram o trabalho de Neri (2009) que avaliou a transição do ingresso e/ou migração do Ensino regular para a EJA e descreveu as características principais do aluno da EJA como, em sua maioria, adultos que trabalham no mínimo oito horas por dia e que foram marginalizados pelo sistema educacional de modo que

²⁵ Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico que promove políticas visando o desenvolvimento econômico e o bem-estar social.

não tiveram condições de concluir o Ensino Médio em tempo hábil. As desigualdades entre Ensino Regular e a EJA são notáveis, em decorrência das distinções entre conteúdos apresentados em sala de aula, visto que, uma modalidade ocupa-se em fazer um elo entre as experiências vivenciadas pelos alunos e as metodologias ensinadas (OLIVEIRA e SILVA, 2015). Já a outra modalidade, Ensino Regular, é composta por estudantes que não possuem uma vasta experiência de vida e necessitam de uma formação pessoal e profissional adequada, indispensável a um melhor desempenho em processos seletivos para ingresso em universidades públicas, como vestibulares e o Exame Nacional do Ensino Médio – ENEM (FARIAS, 2012).

Apesar das políticas públicas voltadas para a Educação de Jovens e Adultos, no Brasil, ainda são escassos os estudos quantitativos que avaliam as diferenças relacionadas ao desempenho de alunos que cursam a educação regular em paralelo àqueles que participam da EJA. Alguns autores como Scortegagna e Oliveira, 2006; Bezerra e Santana, 2011; Oliveira e Silva, 2015, verificaram os fatores históricos. A literatura existente analisa também os impactos da EJA e Educação Regular no desempenho da qualificação profissional e técnica dos indivíduos, bem como os retornos financeiros para os beneficiários desta política educacional, mas não avalia, em termos comparativos, a proficiência dos níveis médios de desempenho das pessoas adeptas a cada determinado tipo de instrução.

Neto e Fernandes (2000) usaram dados da PNAD para o ano de 1995 e, considerando como universo de análise o Brasil, excluindo-se a Região Norte, especificaram a equação básica de rendimentos por intermédio da captura do efeito sobre a renda de se cursar as quatro primeiras séries do 1º grau, os efeitos de se cursar as quatro últimas séries do 1º grau pelo supletivo e o efeito de se cursar todo o supletivo de segundo grau empregando o método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). Os resultados mostraram que o programa tem um baixo grau de cobertura, mas, em comparação aos retornos econômicos, os resultados foram divergentes entre o supletivo de 1º grau e o de 2º grau. O supletivo de 2º grau apresentou retornos inferiores em relação ao programa regular. Já o supletivo de 1º grau, quando comparado ao 1º grau regular, apresentou um retorno absoluto equivalente a uma taxa de crescimento da renda duas vezes maior.

Oliva (2014) utiliza dados da Pesquisa Mensal de Emprego (PME) realizada pelo IBGE, para o período de janeiro de 2002 a dezembro de 2013 para as regiões metropolitanas de Recife, Salvador, Belo Horizonte Rio de Janeiro, São Paulo e Porto Alegre. A utilização do Método de Diferenças em Diferenças (DID) permitiu analisar o impacto que a conclusão da EJA ou de cursos de qualificação profissional tem no mercado de trabalho. Os resultados mostram que a

EJA impacta significativamente o mercado de trabalho, no que concerne à ocupação e rendimentos, principalmente entre trabalhadores do setor público. Em relação aos cursos de qualificação profissional, os principais efeitos estão associados a respostas positivas nos salários, principalmente para aqueles que declaram terem concluído o curso frequentado. Em análise comparativa, os cursos de qualificação profissional geram resultados superiores em participação e ocupação do mercado de trabalho no setor privado. No entanto, a EJA produz resultados superiores nos rendimentos de quem trabalha no setor público.

Hottz (2015) fez uso de dados do Sistema de Avaliação da Educação do Estado do Rio de Janeiro (SAERJ) e SAERJINHO para avaliar a proficiência média em Língua Portuguesa e Matemática do primeiro semestre de 2013 ao segundo semestre de 2014, com base na Teoria de Resposta ao Item (TRI)²⁶ dos participantes da EJA e alunos do Ensino Médio Regular. A estruturação da base de dados permitiu a estimação por meio de MQO com efeitos fixos e apresentou resultados positivos na proficiência dos alunos concluintes da EJA, uma vez que estes mostraram-se um pouco melhores que os resultados investigados para alunos do Ensino Médio Regular em distorção idade-série.

No âmbito internacional, Bhalalusesa (2004) mostra que a educação para adultos, especificamente adultos mais velhos, tornou-se um dos principais enfoques sobre as políticas educacionais na Tanzânia. Por meio de análises literárias, este trabalho traça as preocupações relacionadas à prestação de serviços educacionais e avalia as necessidades de políticas públicas que garantam a oferta efetiva de oportunidades de aprendizagem para adultos mais velhos. O autor conclui que é imprescindível que sejam feitas reformas para incentivar e ampliar o acesso à educação e oportunidades de trabalho a adultos mais velhos no país como forma de garantir que os indivíduos se engajem na sociedade como cidadãos ativos e conscientes.

O Ministry of Education (2011), em seu estudo intitulado *“Strategy of adult education and learning in Mozambique”*, afirma o papel central da alfabetização nos esforços do governo de Moçambique para combater a pobreza e aumentar as oportunidades para jovens e adultos, por meio da redução das taxas de analfabetismo. A análise aos documentos políticos do governo revela o interesse da administração em ampliar a educação não-formal, por meio do estabelecimento de ações estratégicas, como: a provisão de programas de alfabetização para jovens e adultos, o alcance a materiais didáticos e políticas públicas voltadas não só para o acesso, mas para a qualidade do ensino. Os resultados enfatizam que o aumento no número de

²⁶ É o conjunto de modelos matemáticos que representam a probabilidade de um indivíduo acertar a resposta de um item com base na habilidade (ou habilidades) do aluno avaliado.

peças alfabetizadas contribui para a participação dos indivíduos no processo de desenvolvimento socioeconômico de Moçambique.

Luis (2014) faz uso de dados do mapeamento da educação de jovens e adultos fornecidos pelo governo nacional de Moçambique, nos anos de 2010 e 2011, com o intuito de investigar a prestação de serviços educacionais para formá-los bem como verificar as instituições eficazes e as estratégias de colaboração que podem ser empregadas para melhorar a qualidade do ensino. Os resultados indicaram que o programa de jovens e adultos de Moçambique não possui uma estrutura capaz de atingir os objetivos educacionais do país até 2015, principalmente em decorrência da acentuada exclusão de jovens e adultos do projeto governamental.

Manuel *et. al.* (2017) corroboram os resultados do Ministério da Educação (2011) ao fazer uma pesquisa sobre como a educação de adultos pode ser considerada o caminho para o desenvolvimento social e econômico de Moçambique. A análise qualitativa de documentos relacionados às políticas educacionais de Moçambique em um período compreendido entre 2001-2005 e 2010-2015, revela que a qualidade da educação de jovens e adultos é de significativa importância para o desenvolvimento de conhecimentos funcionais e habilidades contínuas de aprendizagem, sendo considerada um meio fundamental para a inclusão social e redução dos níveis de pobreza deste país.

Di Pierro (2008) analisou a situação da Educação de Pessoas Jovens e Adultas (EPJA) na América Latina, com base em uma pesquisa inédita desenvolvida em 20 países do continente entre os anos de 2000 e 2007. A investigação teve o intuito de resgatar a história e traçar a representação da EPJA na região por meio da análise de políticas e programas governamentais no início do terceiro milênio. Os resultados indicam que a EPJA é um programa destinado a populações em situação de pobreza e tem a responsabilidade de elevar a escolaridade e capacitar os indivíduos para o mercado de trabalho. Outros programas que visam satisfazer as necessidades de aprendizagem de jovens e adultos, favorecendo a formação geral de valores e habilidades essenciais ao acesso de novas tecnologias, são o Modelo de Educación para la Vida y el Trabajo (MEVyT), do México, e o programa chileno Chilecalifica.

Em um outro estudo, Di Pierro (2013) fez uma análise histórica sobre a educação básica de jovens e adultos nos Estados Unidos, com base nos censos demográficos pelo cômputo dos indivíduos com idade igual ou superior a 16 anos que não cursam ou não possuem certificação do ensino médio. A pesquisa tem como foco a elevação dos níveis de escolaridade básica de jovens e adultos necessárias para adquirir a certificação de ensino secundário que está condicionada à aprovação em provas padronizadas, como o *General Educational Development*

(GED)²⁷, utilizada para obter a certificação de Ensino Médio e assegurar aos jovens o direito de poder cursar uma faculdade nos EUA. Os resultados enfatizam que a educação de jovens e adultos é necessária à aquisição de valores e habilidades para o mercado de trabalho, mas, se afasta de perspectivas de bem-estar social, progresso individual e equalização de oportunidades.

3. METODOLOGIA E DADOS

Este estudo tem por objetivo identificar se há diferencial de desempenho entre os estudantes do Ensino Médio regular e da Educação de Jovens e Adultos. Desse modo, para compreender se o fato de estar na modalidade de ensino EJA é um fator que explica uma performance menor em testes como o ENEM, Prova Brasil ou SPAECE, é preciso que o aluno seja comparado a outro, desde que estejam em condições de desempenho iguais, ou seja, que a diferença seja apenas a modalidade de ensino que os indivíduos fazem parte.

A literatura apresenta inúmeros estudos sobre avaliação de desempenho escolar. Alguns analisam a relação entre os *inputs* educacionais e os níveis de aprendizagem dos alunos (PRITCHETT, 2013; GLEWWE *et al.*, 2011 *apud* BENEVIDES, 2016), e analisam o impacto de variáveis acerca das características dos alunos, dos professores, das escolas e dos municípios. No Brasil, em décadas passadas, o fracasso escolar foi atribuído aos altos índices de repetência e evasão (MARTINELLI e GENARI, 2009). Atualmente, estudos como o de Menezes Filho (2007) mostram que as variáveis mais significantes para explicar o desempenho escolar são as características familiares e do aluno, tais como: nível de instrução da mãe, atraso escolar, número de livros e/ou computador à disposição do aluno ou mesmo se o aluno trabalha fora de casa. Outras variáveis importantes dizem respeito à qualidade da escola, como: número de computadores da instituição de ensino, processos de seleção de diretores e o número de horas-aula, isto é, o tempo de permanência do estudante na escola.

Apesar de ser vasta a literatura referente ao desempenho escolar, a análise da performance escolar dos alunos da Educação de Jovens e Adultos e Ensino Regular, para o Brasil, ainda é pequena. Existem estudos comparando EJA e Ensino regular, mas não foram feitas ainda pesquisas que levam em consideração o desempenho dos alunos antes de pertencerem a modalidade de ensino EJA e suas respectivas idades. Em virtude disso, será feita uma adaptação aos estudos de Benevides (2016), que utilizou dados do Sistema Permanente de Avaliação da Educação Básica do Ceará (SPAECE) com o objetivo de entender os motivos que

²⁷ Prova que avalia cinco matérias básicas, a saber: interpretação textual, redação, ciências sociais, ciências da natureza e matemática.

fazem a diferença no desempenho entre os alunos das escolas militares e aqueles que estudam em instituições de ensino não-militarizadas.

Como em Benevides (2016), utilizou-se o método de pareamento denominado *Coarsened Exact Matching* (CEM) e, posteriormente, foi usado MQO para fazer as estimações, onde foi possível ver o perfil dos alunos que pertencem ao grupo de tratamento e dos que fazem parte do grupo de controle. No presente estudo, serão usados dados do SPAECE para avaliar o desempenho dos estudantes de instituições de ensino regulares em comparação aqueles que fazem parte da EJA. Avaliou-se também outras variáveis que impactam esses resultados, tais como: sexo, raça, educação da mãe, qualidade do ambiente de aprendizagem e infraestrutura da escola.

O manejo das variáveis observadas e o pareamento entre jovens e adultos integrantes da EJA (tratados) e Ensino Regular (grupo de controle) exige que seja feita uma seleção minuciosa da amostra para esclarecer o que ocorre quando se trata do desempenho acadêmico entre os dois grupos. Para se estimar o efeito que a Educação de Jovens e Adultos tem sobre a baixa proficiência média em Matemática é necessário fazer uma comparação entre alunos de desempenho parecidos. As semelhanças são aproximadas pelo próprio desempenho dos alunos em séries anteriores (9º ano do Ensino Fundamental e 1ª série do Ensino Médio), esperando-se que eles tenham aptidões similares e que quaisquer diferenças observadas entre esses nas séries seguintes possam ser decorrentes da modalidade de ensino.

Há vários métodos de seleção por amostragem que visam o melhor entendimento dos impactos causados pelo grupo de tratamento (EJA) sobre os possíveis resultados. Alguns métodos baseiam-se em escores de propensão, onde o pareamento pode ser feito por meio de estratificação ou características de desempenho mais próximas, por exemplo. Estes métodos vêm sendo utilizados para estimar os efeitos médios de tratamento em bases de dados não experimentais, sob a suposição de que as informações das variáveis acessíveis são capazes de estipular a demanda por participação no grupo de tratados e os resultados advindos desse impacto (AUSTIN, 2011 *apud* BENEVIDES, 2016). No entanto, Benevides (2016) afirma que fatores não observados, como competências adquiridas ao longo do processo de aprendizagem e a metodologia de seleção dos alunos podem afetar as estimativas feitas por meio dessa técnica.

Já o método de pareamento CEM tem a finalidade de comparar os resultados entre duas coortes ao longo do tempo (LACUS *et. al.*, 2009, 2011 *apud* SIDNEY *et.al.*, 2014). Projetado para aperfeiçoar as estimativas de efeitos causais, o CEM propicia a correspondência aplicada aos dados observados e reduz o desequilíbrio entre os grupos de tratamento e controle anterior a escolha da modalidade educacional dos estudantes. O intuito da correspondência é garantir que os dados

restantes tenham um equilíbrio mais eficiente entre tratados e controle, o que significa que as distribuições empíricas das variáveis nos grupos apresentam semelhanças. O CEM garante que o ajuste de desequilíbrio de uma variável não tem efeitos sobre desequilíbrios de quaisquer outras e levam a uma dependência menor do modelo, bem como a redução do viés quando se considera o modelo sem pareamento (BLACKWELL, *et. al.*, 2009).

O CEM possui inúmeras vantagens quando comparado a outros métodos, pois ele não estima a probabilidade de o sujeito ajustar-se ou não ao tratamento e classifica as variáveis utilizadas no pareamento, controlando aquelas que mais se aproximam do tratado. Uma desvantagem existente neste método é a acentuada redução do tamanho da amostra, devendo os resultados obtidos serem analisados com prudência (BENEVIDES, 2016).

3.1 Base de dados

Antes da descrição da estratégia de seleção da amostra, é necessário conhecer a base de dados utilizada no estudo. É sabido que uma educação de qualidade é um direito constitucional assegurado aos jovens e é indispensável a inserção na vida adulta. Logo, o Sistema Permanente de Avaliação da Educação Básica do Ceará – SPAECE, implementado em 1992, obtém informações acerca do desempenho de alunos pertencentes a rede pública de ensino por meio de avaliações das habilidades dos alunos do Ensino Fundamental – 2º, 5º e 9º anos — e Ensino Médio – 1ª, 2ª e 3ª séries — em Língua Portuguesa e Matemática, onde as informações coletadas indicam o nível e a evolução da proficiência dos indivíduos²⁸.

A partir de dados do SPAECE fornecidos pela SEDUC-CE²⁹ foi montada uma base de dados para este estudo que inclui uma coorte de alunos do 9º ano do Ensino Fundamental e da 1ª série do Ensino Médio, que prestaram o SPAECE em 2012 e, que acompanha o desempenho dos estudantes ao longo do tempo, observando a proficiência dos mesmos em 2014. Além das variáveis de proficiência em Matemática, o banco de dados do SPAECE inclui questionários contextuais dos alunos, como gênero, raça, nível de escolaridade da mãe etc. Em conjunto, essas variáveis possibilitaram a investigação de dados socioeconômicos, hábitos de estudo dos alunos e perfil do corpo docente, fatores fundamentais para o fornecimento de informações necessárias à formulação de políticas públicas na área da educação, bem como indispensáveis para viabilizar uma melhor observação da situação da Educação Básica da Rede Pública de ensino do Ceará. As variáveis utilizadas no modelo econométrico estão listadas na Tabela 1.

²⁸ SEDUC, 2014. Sistema Permanente de Avaliação da Educação Básica do Ceará – SPAECE. Disponível em: <http://www.spaece.caedufjf.net/avaliacao-educacional/o-programa>.

²⁹ Secretaria de Educação do Ceará.

Tabela 1 – Descrição das variáveis.

VARIÁVEIS	DESCRIÇÃO
Proficiência em Matemática em 2012 (Profic_2012)	Nota de desempenho em Matemática do estudante no 9º ano do Ensino Fundamental ou 1ª série do Ensino Médio em 2012.
Proficiência em Matemática em 2014 (Profic_2014)	Nota de desempenho em Matemática do estudante em 2014.
EJA	<i>Dummy</i> que indica que o aluno cursa a EJA.
Sexo	<i>Dummy</i> que indica o gênero do aluno (Feminino = 1).
Idade	Idade calculada pelo ano de nascimento do aluno.
Raça	<i>Dummy</i> indicativa de que o aluno é negro.
Trabalho remunerado (Worksalary)	<i>Dummy</i> indicativa que o aluno trabalha e é remunerado.
Trabalho não remunerado (Work)	<i>Dummy</i> indicativa que o aluno trabalha, mas não é remunerado.
Livros	<i>Dummy</i> que indica se o aluno costuma ler livros.
Computador	<i>Dummy</i> que indica se o aluno possui computador com acesso à internet.
Bolsa Família	<i>Dummy</i> que indica se algum familiar que reside com o aluno é beneficiário do Programa do Bolsa Família.
Índice Socioeconômico (ISE)	<i>Dummy</i> que representa a quantidade de bens que a família possui (geladeiras, veículos automotores, TV's etc.).
Lowschooling_mother	<i>Dummy</i> que indica escolaridade baixa da mãe, tendo como referência a responsável que nunca estudou ou não completou a 4ª série do Ensino Fundamental.
Highschooling_mother	<i>Dummy</i> que indica escolaridade alta da mãe, tendo como referência a responsável que concluiu o Ensino Superior.
Lowschooling_father	<i>Dummy</i> que indica escolaridade baixa do pai, tendo como referência o responsável que nunca estudou ou não completou a 4ª série do Ensino Fundamental.
Highschooling_father	<i>Dummy</i> que indica escolaridade alta do pai, tendo como referência o responsável que concluiu o Ensino Superior.
InfraD_asfalto	<i>Dummy</i> que indica se o aluno reside em uma via asfaltada.
InfraD_energia	<i>Dummy</i> que indica se a residência do aluno possui energia elétrica.
Índice de Ambiente de Aprendizagem (IAA)	Indica se há distúrbios e interrupções em sala de aula.
InfraE_esgoto	<i>Dummy</i> que indica se a escola do aluno possui rede de esgoto.
InfraE_labciências	<i>Dummy</i> que indica se a escola do aluno possui laboratório de ciências.
InfraE_bandalarga	<i>Dummy</i> que indica se a escola do aluno possui acesso à internet banda larga.
InfraE_refeitório	<i>Dummy</i> que indica se a escola do aluno possui refeitório.

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do SPAECE fornecidos pela SEDUC-CE, exceto as variáveis relacionadas a infraestrutura das escolas, obtidas no Censo Escolar 2012 e 2014.

A *dummy* indicativa de EJA toma valor igual a um se o aluno cursou o Ensino Médio na Educação de Jovens e Adultos (EJA) em 2014 e zero, caso contrário. São ao todo 275 alunos cursando a modalidade de ensino EJA na coorte. As características do aluno são obtidas por meio do sexo, que recebe valor um se a estudante for mulher e zero, caso contrário, e raça, que toma valor um se o aluno é negro e zero, caso contrário. A Idade é uma variável obtida via Censo Escolar 2012 e é calculada pelo ano de nascimento do aluno. As variáveis referentes à ocupação, ligadas ao fato de os estudantes exercerem, ou não, atividades remuneradas, possuem valores iguais a um em caso positivo e zero, caso contrário. Se os discentes possuem computador com acesso à internet e/ou leem livros com frequência, a *dummy* indicativa dessas variáveis tomam valores iguais a um em caso positivo e zero, caso contrário.

O conjunto de variáveis que refletem o *background* educacional da família do estudante é apresentado por meio de um conjunto de variáveis *dummies*, na qual tem como referência a mãe que nunca estudou ou tem menos de quatro anos de estudo, não completando a 4ª série do Ensino Fundamental e, a mãe que concluiu o Ensino Superior. As outras *dummies* referem-se aos pais que possuem escolaridade baixa e nunca estudaram ou possuem o Ensino Fundamental incompleto. Os níveis de escolaridade altos do pai são indicados pela *dummy* que indica se este possui Ensino Superior completo. Os estudantes que não sabiam o nível de escolaridade dos pais foram incluídos em dados perdidos para esta variável.

O índice socioeconômico (ISE)³⁰ refere-se aos alunos que têm acesso a bens como geladeiras, veículos automotores, computadores e, relaciona esses bens ao desempenho dos estudantes no SPAECE. A *dummy* indicativa do Bolsa Família toma valor um se o discente morar com algum beneficiário do programa e zero, caso contrário. As variáveis correspondentes a infraestrutura domiciliar é um conjunto de *dummies* que indicam se o aluno reside em um local com acesso a vias asfaltadas e/ou possuem energia elétrica em casa. As variáveis que contemplam a infraestrutura escolar tomam valores iguais a um se a escola dispõe de alguns itens condizentes a uma infraestrutura adequada, sejam eles: saneamento básico, acesso à internet banda larga, possuir laboratório de ciências e ter refeitório. Essas variáveis encontram-se dispostas no Censo Escolar.

³⁰ Variável calculada pelo SPAECE com base na Teoria de Resposta ao Item (TRI), segundo o modelo de respostas graduadas de Samejima. Entende-se por respostas graduadas, a distinção dos entrevistados que apresentam diferentes quantidades de um mesmo bem de consumo, como: itens de conforto (geladeira, automóvel, etc.), itens de caráter cultural (computadores, livros, etc.), variáveis relacionadas aos níveis de escolaridade dos pais e aquelas relacionadas as condições socioeconômicas do indivíduo (recebimento de Bolsa Família, por exemplo). Uma vantagem do modelo utilizado é que se um determinado item significar pouco para a discriminação do sujeito na escala social, o índice é capaz de diminuir a importância desse bem no cálculo do score geral.

Uma cartilha elaborada pelo UNICEF³¹, PNUD³² e INEP³³, em 2004, afirma que ambientes físicos adequados é um dos indicadores de qualidade da educação, pois permite a prestação de serviços de qualidade e boas condições de trabalho aos funcionários do local. Além disso, é necessário observar se os recursos disponíveis estão sendo bem aproveitados, porém os dados só possibilitam a mensuração da quantidade de equipamentos disponíveis na escola e não seu bom aproveitamento.

O ambiente de aprendizagem é uma variável importante para os resultados acadêmicos dos discentes. As escolas eficazes são aquelas que influenciam o aumento dos níveis de desempenho médio dos estudantes, independentemente de suas condições socioeconômicas. A tentativa de agrupar diversas variáveis relacionadas ao efeito do ambiente de aprendizagem, foram essenciais para a elaboração de um índice multidimensional difuso, denominado *Fuzzy Set*. Lelli (2001), Lemi e Betti (2006), Berenger e Verdier-Chouchane (2007), *apud* Gómez *et. al.* (2015) o definem como a construção de um índice que irá medir a qualidade e excelência do ambiente escolar, determinando-a por meio de funções de associação para a fácil interpretação dos pesos de cada variável agrupada.

Em sua formulação matemática, seja X o conjunto dos indivíduos da amostra que tem um vetor de cinco atributos para calcular a importância do ambiente de aprendizagem, a saber: *i*) a exigência por parte dos professores que os alunos estudem e prestem atenção nas aulas, *ii*) a disponibilidade dos mesmos na retirada de dúvidas acerca do conteúdo explicado, *iii*) o controle a entrada e saída de alunos durante a aula, *iv*) a presença de barulho e desordem na classe e, *v*) se há necessidade, por parte do professor, de esperar muito tempo até que os estudantes façam silêncio. Gómez *et. al.* (2015) afirmam que, para calcular o grau de privação dos indivíduos a cada atributo, o grau de pertinência é expresso por uma função μ_A , sendo este um subconjunto difuso se tomar valores no intervalo [0,1]. A função que irá definir o grau de pertinência será definida como:

$\mu_A(x_{ij}) = 0$, caso não pertença ao subconjunto A.

$\mu_A(x_{ij}) \in (0,1)$, caso pertença em parte ao subconjunto A, ou seja, haja privação de alguns atributos, porém não todos eles.

$\mu_A(x_{ij}) = 1$, caso pertença totalmente ao subconjunto A.

Onde, μ_A é uma medida de privação para o indicador. Segundo Lelli (2001) *apud* Gómez *et. al.*,

³¹ Fundo das Nações Unidas para a Infância.

³² Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento.

³³ Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira.

(2015) é recomendável o uso da função de distribuição acumulada, uma vez que isso evita definições arbitrárias para definir a associação e facilita a obtenção das pontuações de cada dimensão. De acordo com Cheli e Lemmi (1995) *apud* Gómez *et. al.*, (2015), a função é dada por:

$$\mu_A(x_{ij}) = \begin{cases} 0, & \text{se } x_{ij} = x_i^j; k = 1 \\ \mu_A(x_j^{k-1}) + \frac{(F_j^k) - (F_j^{k-1})}{1 - F(x_j^1)}, & \text{se } x_{ij} = x_i^j; k > 1 \\ 1, & \text{se } x_{ij} = x_i^j; k = K \end{cases} \quad (1)$$

Onde $k=1, \dots, K$ são as categorias ou atributos da variável, sendo K a melhor situação da variável e, $F(x_j)$ é a distribuição acumulada da variável calculada de acordo com k . Uma vez obtidas as funções e analisadas sua pertinência, calcula-se se o Índice de Ambiente de Aprendizagem (IAA), como segue a expressão abaixo:

$$IAA = \frac{\sum_{j=1}^T \mu_A(x_{ij}) W_j}{\sum_{j=1}^T W_j} \times 100 \quad (2)$$

Onde, T representa o número total de dimensões e W_j sua respectiva ponderação, que pode ser calculada como:

$$W_j = \ln \left(\frac{1}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mu_A(x_{ij})} \right) \quad (3)$$

Por fim, o denominador da expressão (3) representa a proporção de indivíduos com um certo grau de qualidade de proficiência que pode ser causada pelo efeito do ambiente de aprendizagem (j). A importância desse tipo de ponderação reside na sensibilidade da variável a frequência de cada atributo, resultando em um índice de qualidade que enriquece a análise. Vale salientar que, os conjuntos difusos representam uma metodologia mais eficiente quando as variáveis são discretas. Neste caso, é possível saber se o ambiente escolar é um fator que influencia positivamente a proficiência dos estudantes em Matemática.

3.1.1 Validação dos dados

A base de dados foi montada a partir da disponibilização dos dados de proficiência em Matemática, disponibilizadas pela SEDUC, com um total de 54.574 estudantes (depois de serem eliminadas as observações sem valor de proficiência). Após a exclusão dos alunos que cursavam Educação Especial (17), Aceleração do Ensino Fundamental (7), Multi Ensino Fundamental (163), Multi Ensino Fundamental de Educação Especial (1) e Multi Etapa (1), restaram 54.385 observações, em 2012. Foram excluídas também oito observações que estavam na Educação Especial em 2014. Os dados contextuais adicionados no banco de dados foram cruzados com os dados de proficiência em 2014, para os mesmos alunos. Após a eliminação das observações que não possuíam código de turma, em 2012, a amostra sai de 54.373 observações para 53.245. Na amostra, há 74 alunos que cursavam o 9º ano do Ensino Fundamental e 201 estudantes que estavam na 1ª série do Ensino Médio regular, em 2012, e passaram para o 2º período da EJA em 2014.

Após a identificação dos alunos pertencentes a mesma turma em 2012, para fazer o pareamento foi deixada na amostra apenas os que cursavam a 1ª, 2ª e 3ª séries do Ensino Médio regular e 2º período da EJA, em 2014. Depois da checagem dos dados foram excluídas 14 observações que estavam cursando o 5º ano, em 2012, 5.868 alunos pertencentes as escolas profissionalizantes e 74 que estavam no ensino regular em 2012 e passaram para o Ensino Médio Normal, em 2014. Foram retiradas também 1.230 observações que cursavam a 2ª série e 76 indivíduos que estavam na 3ª série do Ensino Médio, em 2012, bem como uma observação contraditória em que o aluno cursava o 9º ano em 2012 e, dois anos depois, passava para a 3ª série do Ensino Médio, resultando em 45.736 observações. Destas, 275 pertencem ao grupo de tratamento EJA. Do total da amostra, tem-se que 50,5% cursavam o 9º ano e 49,5% estavam na 1ª série do Ensino Médio, em 2012. Em 2014, 12,0% da amostra estava na 1ª série, 43,6% cursava a 2ª série, 43,8% estava na 3ª série e apenas 0,6% estudava o 2º período da EJA.

3.2 Estratégias de seleção da amostra

A amostra 1 contém 45.736 observações provenientes do cruzamento das bases de dados do SPAECE entre os anos de 2012 e 2014. A primeira estratégia eliminou, para o ano de 2012, os alunos pertencentes a Educação Especial, Aceleração do Ensino Fundamental, MultiEnsino Fundamental, MultiEnsino Fundamental de Educação Especial, MultiEtapa e Ensino Profissionalizante. Para 2014, foram excluídos os estudantes da EJA que estavam no 1º período e aqueles que estavam no Ensino Médio Normal, resultando apenas os alunos que cursam o ensino

regular e o 2º período da EJA.

A amostra 2, resultante da segunda estratégia de seleção, contém 1.347 observações obtidas após o pareamento entre o grupo de tratamento (EJA) e o grupo de controle (Ensino Médio Regular), denominado *Coarsened Exact Matching* (CEM), sendo que 11 alunos tratados não obtiveram pareamento. Segundo Blackwell *et. al.* (2009), o CEM diminui significativamente os desequilíbrios entre os grupos de tratados e controle, permitindo que o equilíbrio entre os dados reduza o viés, se considerado o modelo sem correspondência. O pareamento foi aplicado cinco vezes, de modo que para cada aluno da EJA, há cinco alunos do Ensino Médio regular. É sabido que o CEM escolhe aleatoriamente os estudantes pareados entre os tratados e grupo de controle e, portanto, uma observação de um aluno já escolhido pode novamente participar de uma outra rodada de pareamento. Segundo Benevides (2016), em comparação a outros métodos, o CEM possui vantagens como a não estimação da probabilidade de um indivíduo pertencer ao grupo de tratamento e o fato de dividir as variáveis utilizadas no pareamento em estratos, pinçando as variáveis de controle que mais se aproximam dos tratados.

No presente trabalho, os grupos foram pareados pela proficiência em Matemática dos alunos em 2012, quando estes estavam no ensino regular, permitindo o isolamento do efeito de estudantes que tinham um bom desempenho antes de chegarem ao Ensino Médio Regular/ 2º período do EJA Médio. Os alunos partem, em 2012, com condições semelhantes de desempenho e idade e são comparados, dois anos depois (em 2014), com a diferença de que uns fazem parte da EJA e outros estão no Ensino Médio regular. O pareamento de estudantes com desempenhos parecidos pode resultar na possibilidade de nem todos os tratados terem pares, causando a exclusão de observações não pareadas (IACUS, KING E PORRO, 2008; *apud* BENEVIDES, 2016). Portanto, os resultados dos modelos estimados devem ser analisados com cautela.

3.3 Modelo empírico

Para a amostra definida anteriormente, há dois modelos em que a principal diferença entre eles é a proficiência média em Matemática, em 2012. Dado que o conhecimento se acumula com o passar do tempo, esta variável absorve o impacto de o aluno ter um bom desempenho no passado sobre sua performance no futuro. Neste estudo, o desempenho prévio é de fundamental importância para examinar o efeito da seleção de estudantes sobre a proficiência média em Matemática no Ensino Médio Regular/ 2º período da EJA. A equação a seguir mostra o modelo que irá ser empregado para as amostras 1 e 2.

$$\begin{aligned}
Profic_{2014} = & \alpha + \beta_1 EJA + \beta_2 sexo + \beta_3 idade + \beta_4 ra\c{a} + \beta_5 worksalary + \beta_6 work + \\
& \beta_7 livros + \beta_8 computador + \beta_9 ISE + \beta_{10} Bolsa Fam\i{lia} + \beta_{11} lowschooling_mother + \\
& \beta_{12} highschooing_mother + \beta_{13} lowschooling_father + \beta_{14} highschooing_father + \\
& \beta_{15} infraD_asfalto + \beta_{16} infraD_energia + \beta_{17} infraE_esgoto + \beta_{18} infraE_labci\~{e}ncias + \\
& \beta_{19} infraE_bandalarga + \beta_{20} infraE_refeit\~{o}rio + \varepsilon
\end{aligned}$$

(Modelo 1)

A variável dependente é o desempenho em Matemática do aluno no SPAECE, em 2014. O modelo faz uma série de controle para variáveis que representam as características do aluno, controla também pelo fato do aluno exercer algum tipo de trabalho, seja este remunerado ou não e indica se o aluno possui computador com acesso à internet e/ou se o mesmo tem o hábito de leitura. As variáveis socioeconômicas são representadas pelo ISE e pelo Bolsa Família. O modelo também agrupa variáveis que refletem os níveis de escolaridades dos pais ou responsáveis pelo aluno, as características da infraestrutura da residência do aluno bem como da escola em que este estuda.

$$\begin{aligned}
Profic_{2014} = & \alpha + \beta_1 Profic_{2012} + \beta_2 EJA + \beta_3 sexo + \beta_4 idade + \beta_5 ra\c{a} + \beta_6 worksalary \\
& \beta_7 work + \beta_8 livros + \beta_9 computador + \beta_{10} ISE + \beta_{11} Bolsa Fam\i{lia} + \\
& \beta_{12} lowschooling_mother + \beta_{13} highschooing_mother + \beta_{14} lowschooling_father + \\
& \beta_{15} highschooing_father + \beta_{16} infraD_asfalto + \beta_{17} infraD_energia + \beta_{18} infraE_esgoto + \\
& \beta_{19} infraE_labci\~{e}ncias + \beta_{20} infraE_bandalarga + \beta_{21} infraE_refeit\~{o}rio + \varepsilon
\end{aligned}$$

(Modelo 2)

O modelo 2 difere do modelo anteriormente retratado porque capta o desempenho prévio dos alunos, por meio da inserção da variável $Profic_{2012}$, que é a proficiência em Matemática do aluno na prova do SPAECE, em 2012. O método utilizado para as estimações foi de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO).

4. RESULTADOS

O que motiva as diferenças de desempenho entre os alunos? Quais variáveis explicam estes resultados? O objetivo principal deste estudo é entender por que os alunos pertencentes à EJA se saem, em média, com desempenho inferior aos seus colegas do Ensino Regular. Portanto, para saber se o fato de estar na modalidade de Educação de Jovens e Adultos é

suficiente para que o estudante não se sobressaia em exames como o ENEM, a Prova Brasil e/ou SPAECE, é indispensável que o aluno seja comparado a outro nas mesmas condições, ou seja, que a única diferença persistente entre eles seja apenas fazer parte da EJA. A resposta para as perguntas feitas anteriormente se deve a várias variáveis que serão analisadas nesta seção, que está dividida em três subseções, a saber: os resultados inerentes ao Índice de Ambiente Aprendizagem (IAA), as estatísticas descritivas das amostras 1 e 2 para tratamento e grupo de controle – EJA e Ensino Regular, respectivamente – e, os resultados econométricos dessa investigação.

4.1 Índice de Ambiente de Aprendizagem (IAA)

As cinco dimensões utilizadas na elaboração do Índice de Ambiente de Aprendizagem (IAA), a saber: *i*) a exigência por parte dos professores que os alunos estudem e prestem atenção nas aulas, *ii*) a disponibilidade dos mesmos na retirada de dúvidas acerca do conteúdo explicado, *iii*) o controle a entrada e saída de alunos durante a aula, *iv*) a presença de barulho e desordem na classe e, *v*) se há necessidade do professor esperar muito tempo até que os estudantes façam silêncio, estão agrupadas em conjuntos que refletem a qualidade do ambiente de aprendizagem escolar.

O método *Fuzzy Set*, ou conjuntos difusos, foi utilizado para construir o IAA, em que um valor maior do índice indica um melhor ambiente de aprendizagem.

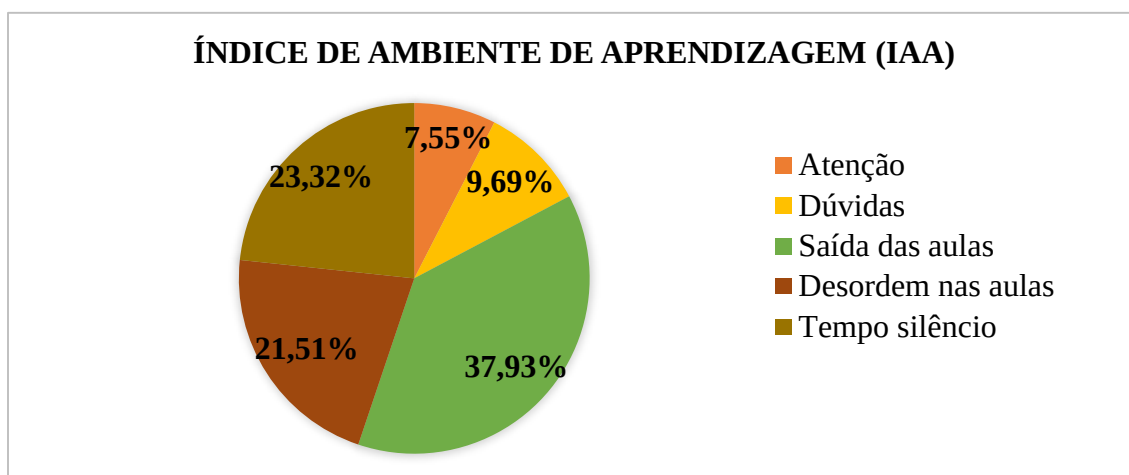
Analizando os resultados relacionados em termos de representatividade para cada atributo, observa-se que a dimensão com maior peso no IAA está ligada à falta de controle, por parte dos professores, à entrada e saída de alunos da classe, que possui uma influência de 37,93% na constituição do índice. O fato de que os professores precisam de muito tempo para que os alunos façam silêncio, corresponde a um peso de 23,32% na composição do índice multidimensional difuso. Em sequência, vem a “existência de barulho e desordem em sala de aula” com uma importância de 21,51% na qualidade do ambiente de aprendizagem, a disponibilidade dos professores para retirar dúvidas acerca do conteúdo explicado, tem um peso de 9,69%, seguido pela exigência, por parte dos mesmos, que os estudantes prestem atenção nas aulas com 7,55%, como evidencia a Figura 3.

Em relação aos resultados do Índice de Ambiente de Aprendizagem – IAA para as cinco dimensões, pode-se dizer que o ambiente escolar teve uma média razoável de 57,92 e uma mediana de 57,02, de um total de 100 pontos possíveis. O valor da mediana inferior à média revela que não há valores muito discrepantes no índice (*outliers*), evidenciando uma forte simetria nos dados, indicando que o ambiente em sala aula tende a ser bom, com menos

distúrbios e interrupções das aulas, dado que o valor médio do índice é superior a 50 pontos.

Na amostra 1, a diferença entre as médias do Índice de Ambiente de Aprendizagem para os grupos de tratamento e controle, é de 1,07 pontos. Após o pareamento ser efetivamente realizado, onde pode-se comparar os ambientes de aprendizagem dos estudantes, em 2014, somente com seus pares que tinham notas e idades semelhantes dois anos antes, verifica-se que a diferença entre as médias foi de, aproximadamente, 1,12 pontos negativos. Na amostra 1, os números indicam que há menores perturbações nas aulas em escolas ofertantes da modalidade EJA. Já na amostra 2, as escolas de Ensino Regular apresentam menores distúrbios em sala de aula, ou seja, o ambiente de aprendizagem para estas instituições pode ser considerado melhor, se comparado ao ambiente das escolas da EJA. Ambas as variáveis são estatisticamente insignificantes.

Figura 3 – Índice de Ambiente de Aprendizagem – IAA.



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do SPAECE fornecidos pela SEDUC-CE.

4.2 Estatísticas descritivas

Nesta seção, serão expostas as características descritivas para as amostras 1 e 2, condicionada ao fato de o estudante ser demandante da modalidade EJA, capturando as diferenças médias da distribuição das características entre tratados e controle – EJA e Ensino Regular, respectivamente. A tabela 2 mostra as médias aritméticas e os desvios para cada um dos grupos, levando-se em consideração a amostra 1, com 45.736 observações. Já a tabela 3, explicita as estatísticas descritivas utilizadas no modelo após o pareamento efetivo dos dados, com 1.179 observações. As tabelas estão explanadas ao final desta subseção.

Há algumas variáveis que chamam atenção por conta das diferenças de perfil entre os grupos. A proficiência em Matemática, em 2012, apresenta uma diferença de 23,41 pontos e, em 2014, essa diferença sobe para aproximadamente 28,30 pontos, ambas estatisticamente

significantes (5%). Após o pareamento CEM, pode-se comparar a performance em matemática dos estudantes da EJA, em 2014, apenas com seus colegas que tiveram desempenho semelhante no SPAECE dois anos antes, em 2012. A diferença de nota entre os dois grupos foi de 0,76 pontos em 2012 e cresceu para 9,45 pontos em 2014. Um fato esperado, uma vez que este é o objetivo principal do pareamento, em 2012, evidenciando que os alunos que estudam em instituições de Ensino Regular possuem uma vantagem de desempenho superior aos alunos pertencentes a modalidade EJA.

A proporção de alunos com idades elevadas para a série cursada apresenta uma média 15,49 pontos para o grupo de controle e, 19,49 pontos para o grupo de tratamento. Os resultados mostram que 54,91% dos alunos da EJA tinham idades iguais ou superiores a 18 anos, enquanto 6,37% dos alunos de Ensino Regular estavam com a idade mais avançada em relação à série. Após o pareamento, essa diferença entre as médias é uniformizada, no entanto, os alunos da EJA (18,37 pontos) ainda apresentam uma distorção de idade superior aos alunos do Ensino Regular (16,52 pontos).

Em relação ao fato de o aluno trabalhar, 28% dos alunos da EJA exercem atividades remuneradas, se comparado aos 11% dos estudantes do Ensino Regular que possuem essa característica. Após os dados serem pareados, a quantidade de alunos que trabalham de forma remunerada mais uma vez é maior para os estudantes da EJA (13%), em comparação aos do Ensino Regular (28%). Já em relação a atividades não remuneradas, apenas 6% dos indivíduos do grupo de controle trabalham sem receber remuneração, ao passo que 12% dos alunos da EJA possuem esse atributo. Posteriormente à aplicação do CEM, os números indicam que a média de alunos que trabalham de forma não remunerada é maior para os estudantes da EJA do que para os estudantes do Ensino Regular, 11% e 8%, respectivamente.

O perfil de escolaridade da mãe do aluno é uma variável que deve ser analisada com cautela. Enquanto 20% dos estudantes da EJA tinham mães que nunca haviam estudado ou não tinham completado a 4ª série do Ensino Fundamental, a proporção para alunos pertencentes ao Ensino Regular é de 21%. Por outro lado, 7% das mães dos alunos do grupo de tratamento possui Ensino Superior completo enquanto, somente 5% das mães dos alunos do Ensino Regular concluíram a faculdade. Após a seleção da amostra, via CEM, verifica-se que a proporção de mães com escolaridade baixa para os alunos da EJA é inferior aos do Ensino regular, 19% e 23%, respectivamente. Os alunos da EJA também possuem o maior número de mães que cursaram a universidade, 7%, se comparadas aos 3% das mães dos discentes que pertencem ao Ensino Regular.

Para a amostra 1, o percentual de alunos que possuem pais que nunca estudaram ou não completaram a 4ª série do Ensino Fundamental é o mesmo para tratados e grupo de controle (30%). Já com relação a níveis educacionais elevados, 30% dos alunos da EJA possuem pais com Ensino Superior completo, um número inferior ao dos alunos do Ensino Regular, que é de 40%. Na amostra 2, o teste de média mostra que 28% dos pais de alunos do grupo de tratamento possuem escolaridade baixa, em comparação ao número apresentado pelos pais de alunos do Ensino Regular (32%). Para níveis de escolaridade altos, a quantidade de pais que possuem Ensino Superior é maior para os demandantes da modalidade EJA (4%) do que para os adeptos do Ensino Regular (2%).

No tocante às variáveis relacionadas à renda familiar, os dados trazem o Bolsa Família, que é uma *proxy* que evidencia essa característica. Um total de 65% dos alunos do grupo de tratamento afirmou que algum familiar recebia o benefício do governo, ao passo que 72% dos estudantes de Ensino Regular residem com algum beneficiário do Programa. Após o pareamento, observa-se que esses números são de 64% e 72%, respectivamente. Em relação à infraestrutura escolar, observa-se que, para a amostra 1, apenas 64% das escolas ofertantes da EJA possuem laboratório de ciências, enquanto 72% das escolas de Ensino Regular possuem essa estrutura. Para a amostra 2, verifica-se que o número de escolas da EJA (64%) que possuem laboratório de ciências é menor que as do Ensino Regular (71%). Diante do exposto, as estatísticas descritivas apontam para uma desvantagem da EJA em comparação ao Ensino Regular no que diz respeito ao desempenho dos alunos em Matemática, à idade, às questões relacionadas ao trabalho, seja ele com ou sem remuneração e a infraestrutura escolar.

Tabela 2 – Estatísticas descritivas da amostra 1 com 45.736 observações

Variáveis	OBS.	Média EJA	Média Ensino Regular	Desvio EJA	Desvio Ensino Regular
Proficiência em 2012	45.736	222,96	246,37	44,58	46,95
Proficiência em 2014	45.736	226,90	255,19	34,03	49,62
Sexo (ref = feminino)	44.763	0,40	0,51	0,49	0,50
Idade	45.717	19,49	15,50	6,02	2,38
Raça (ref = negro)	44.732	0,14	0,12	0,35	0,33
Trabalho					
Work salary (ref = trabalho remunerado)	43.917	0,28	0,11	0,45	0,31
Work (ref = trabalho não remunerado)	43.917	0,12	0,06	0,32	0,24
Livros	44.557	2,04	2,09	0,68	0,70
PC_net (ref = computador com acesso à internet)	43.920	0,28	0,29	0,45	0,45
Bolsa Família	44.523	0,65	0,72	0,48	0,45
ISE	44.887	0,07	-0,04	0,81	0,84
Escolaridade da Mãe					
Lowschooling_mother (ref = nunca estudou ou não completou a 4ª série do EF)	35.545	0,20	0,21	0,40	0,41
Highschooling_mother (ref = completou o ES)	35.545	0,07	0,05	0,25	0,22
Escolaridade do Pai					
Lowschooling_father (ref = nunca estudou ou não completou a 4ª série do EF)	30.880	0,30	0,30	0,46	0,46
Highschooling_father (ref = completou o ES)	30.880	0,03	0,04	0,20	0,20
Infraestrutura domiciliar					
Acesso a vias asfaltadas	44.636	0,65	0,56	0,48	0,50
Acesso à energia elétrica	44.634	0,97	0,98	0,17	0,15
IAA	42.689	56,86	57,93	18,17	19,46
Infraestrutura escolar					
Acesso à rede de esgoto	45.736	0,52	0,61	0,50	0,49
Acesso à laboratório de ciências	45.736	0,64	0,72	0,48	0,45
Acesso à internet banda larga	45.431	0,84	0,81	0,37	0,39
Acesso à refeitório	45.736	0,20	0,16	0,40	0,37

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do SPAECE fornecidos pela SEDUC-CE e dados do Censo Escolar 2012 e 2014.

Tabela 3 – Estatísticas descritivas da amostra 2, com 1.179 observações³⁴.

Variáveis	OBS.	Média EJA	Média Ensino Regular	Desvio EJA	Desvio Ensino Regular
Proficiência em 2012	1.344	221,65	222,41	44,69	46,03
Proficiência em 2014	1.344	227,46	236,91	33,50	43,27
Sexo (ref = feminino)	1.298	0,37	0,52	0,48	0,50
Idade	1.344	18,37	16,52	3,32	2,04
Raça (ref = negro)	1.299	0,15	0,11	0,36	0,31
Trabalho					
Work salary (ref = trabalho remunerado)	1.273	0,28	0,13	0,45	0,34
Work (ref = trabalho não remunerado)	1.273	0,11	0,08	0,07	0,06
Livros	1.289	2,03	2,08	0,67	0,70
PC_net (ref = computador com acesso à internet)	1.270	0,27	0,27	0,44	0,44
Bolsa Família	1.288	0,64	0,72	0,48	0,45
ISE	1.301	0,08	-0,13	0,81	0,84
Escolaridade da Mãe					
Lowschooling_mother (ref = nunca estudou ou não completou a 4ª série do EF)	1.037	0,19	0,23	0,39	0,42
Highschooling_mother (ref = completou o ES)	1.037	0,07	0,03	0,26	0,18
Escolaridade do Pai					
Lowschooling_father (ref = nunca estudou ou não completou a 4ª série do EF)	932	0,28	0,32	0,45	0,47
Highschooling_father (ref = completou o ES)	932	0,04	0,02	0,19	0,15
Infraestrutura domiciliar					
Acesso a vias asfaltadas	1.295	0,65	0,54	0,48	0,50
Acesso à energia elétrica (IAA)	1.295	0,97	0,97	0,18	0,17
	1.241	56,17	56,05	17,99	19,81
Infraestrutura escolar					
Acesso à rede de esgoto	1.344	0,54	0,61	0,50	0,49
Acesso à laboratório de ciências	1.344	0,64	0,71	0,48	0,45
Acesso à internet banda larga	1.340	0,84	0,81	0,37	0,39
Acesso à refeitório	1.344	0,20	0,16	0,40	0,37

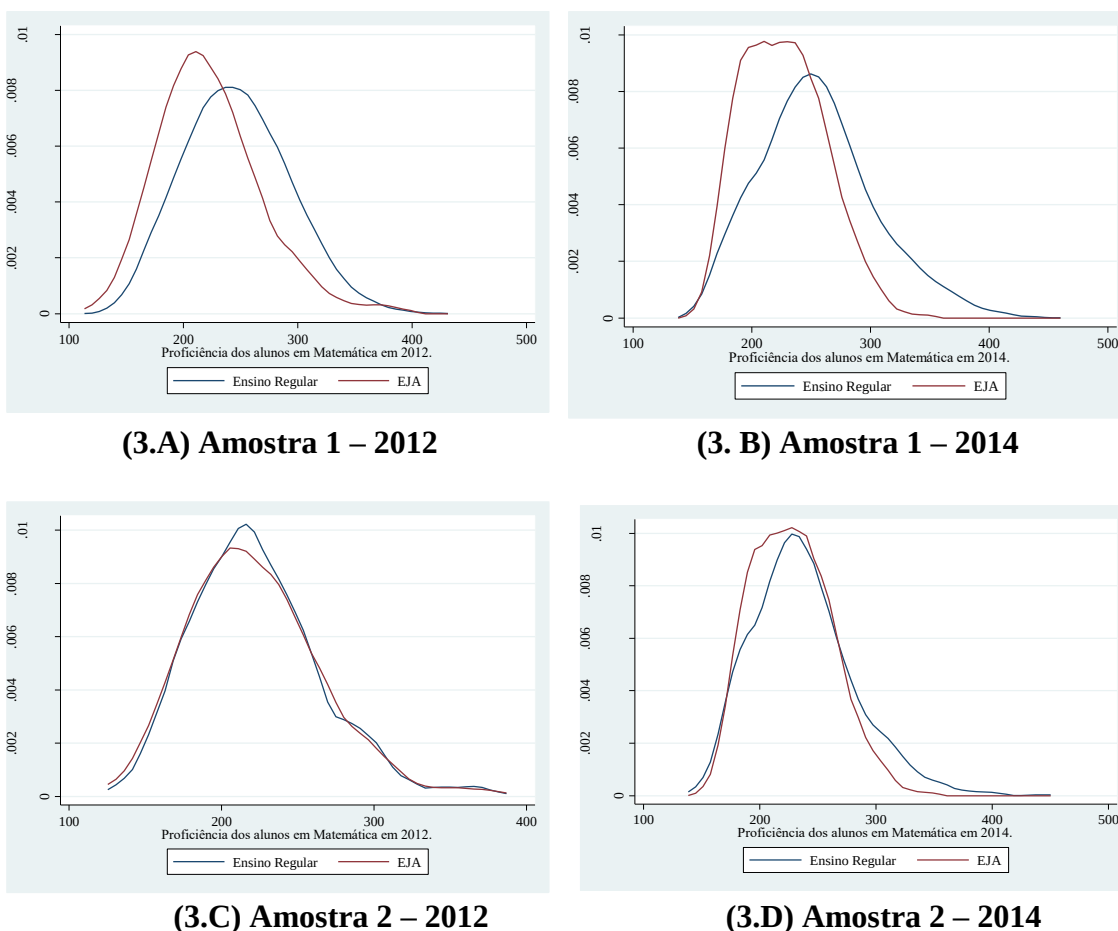
Fonte: Elaboração própria com base nos dados do SPAECE fornecidos pela SEDUC-CE e dados do Censo Escolar 2012 e 2014.

³⁴ O número de observações de tratados e grupo de controle é superior ao tamanho da amostra, porque um aluno já escolhido pode, novamente, participar de outra rodada de pareamento.

4.3 Resultados econométricos

A estratégia de seleção da amostra, neste estudo, iguala as condições de desempenho prévio dos alunos, dado que o conhecimento é cumulativo e os estudantes podem ser comparados sem o viés de seleção comuns em pesquisas *cross-section*. A figura 4 mostra a densidade de Kernel para os anos de 2012 e 2014 da amostra 1 (45.736 observações), – gráficos 3.A e 3.B, respectivamente – e evidencia também o que acontece com a performance dos estudantes da modalidade EJA e do Ensino Regular nos períodos, após o pareamento (amostra 2, com 1.179 observações) – gráficos 3.C e 3.D, respectivamente, que pinçou os indivíduos com desempenho semelhante em Matemática e deixou a distribuição mais uniforme à medida que as amostras vão ficando mais selecionadas.

Figura 4 - Densidade *Kernel* das médias de proficiência de matemática³⁵.



Os resultados econométricos retratados na tabela 4 evidenciam as variáveis e apontam os resultados de impacto dos modelos 1 e 2, para as amostras 1 (colunas 1 e 2) e 2 (colunas 3 e 4), respectivamente. Os modelos de uma mesma amostra diferenciam-se pela presença da

³⁵ Gráficos elaborados pelo (a) autor (a) com base nos dados do SPAECE fornecidos pela SEDUC-CE.

variável que reflete o desempenho prévio em 2012, que controla a performance acadêmica do estudante, ou seja, o aluno que é bom hoje é porque teve um bom rendimento em anos anteriores. Na primeira coluna, os adeptos da modalidade EJA possuem um desempenho em Matemática de 17,89 pontos abaixo dos estudantes de Ensino Regular. Considerando que os níveis de referência de desempenho do SPAECE modificam-se a cada 50 pontos³⁶, esta diferença pode significar a distinção entre uma performance crítica e uma intermediária ou entre uma performance intermediária e uma adequada.

As variáveis que refletem as características do aluno tiveram uma considerável magnitude de impacto no modelo 1, para a amostra completa. As mulheres possuem proficiência em Matemática mais baixa que os homens (-5,02 pontos). O negro tem um desempenho inferior (-6,65 pontos) aos alunos de outras raças e, quanto maior a idade do aluno, maior o prejuízo acadêmico (2,92 pontos). O fato de o aluno trabalhar afeta a eficiência de desempenho em 2,10 pontos e, se aluno não for remunerado, a proficiência do estudante é reduzida (-4,82 pontos). O discente que possui o hábito de ler livros com frequência tem sua nota elevada em 7,34 pontos. Fonseca e Cardoso (2005) *apud* Rock (2018) aponta que métodos de trabalho didáticos que envolvam a leitura tem a capacidade de desenvolver o conhecimento matemático e interpretativo do educando.

Em termos de variáveis socioeconômicas, uma maior provisão de bens, ou seja, um Índice Socioeconômico (ISE) maior tem influência positiva para a performance do estudante (3,53 pontos). Já o discente da modalidade EJA que se beneficia do Programa Bolsa Família tem um desempenho menor (-1,72 pontos) do que os adeptos do Ensino Regular. Isso se justifica pelo fato de a variável não captar se os alunos assíduos – requisito importante para fazer parte do Programa – prestam atenção nas aulas e dedicam-se a assimilar o máximo possível do conteúdo exposto em sala de aula. O recebimento do benefício não está condicionado ao bom rendimento acadêmico dos indivíduos.

³⁶ Se o nível de proficiência em Matemática no 9º ano é de até 225 pontos, o desempenho do aluno é muito crítico. Entre 225 e 275 pontos, este possui um desempenho crítico. De 275 a 325 pontos, o nível de desempenho é intermediário. Se o padrão de proficiência ficar acima de 325 pontos, ele é adequado.

Tabela 4 - Resultados econométricos.

	Proficiência de Matemática em 2014			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Proficiência de Matemática em 2012		0,64*** (0,000)		0,45*** (0,000)
EJA	-17,89*** (0,000)	-8,38** (0,010)	-5,71 (0,121)	-8,11** (0,028)
Sexo (Feminino)	-5,02*** (0,000)	0,68 (0,162)	-2,54 (0,395)	-0,03 (0,991)
Idade	-2,92*** (0,000)	-1,31*** (0,000)	-2,00*** (0,001)	-1,15** (0,043)
Raça (Negro)	-6,65*** (0,000)	-1,31* (0,077)	-2,50 (0,601)	-1,36 (0,740)
Work salary (Trabalho remunerado)	-2,10** (0,028)	-2,17*** (0,005)	-1,91 (0,633)	1,23 (0,734)
Work (Trabalho não remunerado)	-4,82*** (0,000)	-2,56** (0,010)	-17,41*** (0,000)	-10,72** (0,015)
Livros (Leitura)	7,34*** (0,000)	2,44*** (0,000)	5,28** (0,014)	4,46** (0,014)
PC (Computador com acesso à internet)	1,17 (0,133)	1,43** (0,021)	2,48 (0,503)	2,65 (0,434)
Bolsa Família	-1,72** (0,016)	-0,31 (0,591)	-1,90 (0,570)	-0,07 (0,981)
ISE	3,53*** (0,000)	-0,18 (0,678)	2,99 (0,203)	1,97 (0,366)
Lowschooling_mother (Nunca estudou ou não completou a 4ª série do EF)	-1,50* (0,072)	-0,01 (0,983)	-3,32 (0,374)	-0,05 (0,988)
Highschooling_mother (Ensino Superior)	8,69*** (0,000)	5,43*** (0,000)	-5,77 (0,479)	-1,47 (0,852)
Lowschooling_father (Nunca estudou ou não completou a 4ª série do EF)	0,13 (0,860)	0,17 (0,784)	3,89 (0,272)	3,27 (0,309)
Highschooling_father (Ensino Superior)	-2,59 (0,138)	0,06 (0,962)	-8,08 (0,378)	-7,49 (0,369)
InfraD_asfalto	-0,47 (0,481)	-0,93* (0,082)	-3,71 (0,245)	-3,90 (0,171)
InfraD_energia	19,48*** (0,000)	3,73** (0,034)	2,67 (0,743)	-1,96 (0,775)
IAA	0,33*** (0,000)	0,10*** (0,000)	0,23** (0,002)	0,10 (0,132)
InfraE_esgoto	-1,38** (0,029)	-2,15*** (0,000)	-0,53 (0,865)	0,49 (0,862)
InfraE_labciências	1,45** (0,035)	1,64*** (0,003)	3,17 (0,314)	2,54 (0,375)
InfraE_bandalarga	-3,23*** (0,000)	-1,64** (0,013)	-0,87 (0,815)	-2,47 (0,446)
InfraE_refeitório	-0,40 (0,633)	-1,68** (0,011)	-2,48 (0,491)	-2,25 (0,484)
Constante	257,30*** (0,000)	104,45*** (0,000)	251,13*** (0,000)	145,21*** (0,000)
Número de observações	26.719	26.719	811	811

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do SPAECE fornecidos pela SEDUC-CE e dados do Censo Escolar 2012 e 2014. Desvio padrão robusto entre parêntesis. *p < 0.10, **p < 0.05, ***p < 0.01.

O *background* educacional da família do estudante indica que o desempenho em

Matemática cresce 8,69 pontos à medida que a mãe completou o Ensino Superior e, tem-se uma redução de 1,50 pontos ao passo que a responsável nunca tenha estudado ou não possua o Ensino Fundamental completo. Esse resultado já era esperado, pois, mães mais escolarizadas possuem, em média, melhores condições socioeconômicas, potencializando o efeito da escolaridade sobre a proficiência dos filhos via melhores condições socioeconômicas. Ademais, é importante destacar que o efeito da educação das mães, nos níveis educacionais mais baixos, é expressivamente menor para o rendimento dos filhos em Matemática.

No tocante à infraestrutura domiciliar, o fato da residência do aluno ter energia elétrica aumenta seu desempenho em Matemática em 19,48 pontos, refletindo a apropriação dessa estrutura pelos estudantes para cumprir suas atividades acadêmicas. Em relação à variável que capta o efeito do ambiente de aprendizagem, ela indica que o ambiente em que os alunos prestam atenção nas aulas, que o professor controla a saída destes da classe e tira as dúvidas com frequência possui um impacto positivo de 0,33 pontos sobre a proficiência acadêmica. E, em relação às variáveis que dizem respeito à infraestrutura da escola, o fato de a instituição possuir laboratório de ciências aumenta a produtividade em Matemática em 1,45 pontos.

Curiosamente, as variáveis que retratam que a estrutura física escolar possui rede de esgoto e acesso à internet banda larga se mostraram contrárias ao esperado, possivelmente por não captarem a maneira que estes recursos estão sendo utilizados pelos alunos.

Na segunda coluna, ao adicionar a variável de desempenho prévio, observa-se um aumento de 0,64 pontos no rendimento acadêmico em Matemática. Quando se controla pela performance do aluno em 2012, o efeito da EJA tem um impacto negativo significativo de -8,31 pontos. Ou seja, o aluno da Educação de Jovens e Adultos tem um desempenho abaixo de seus colegas do Ensino Regular, mesmo com o controle da variável de desempenho prévio. Entretanto, a magnitude do impacto da modalidade de ensino é aproximadamente 55% menor no modelo 2. Sobre as variáveis que caracterizam o aluno, houve uma mudança na magnitude do impacto, embora permaneçam significantes. O aluno negro tem uma desvantagem de rendimento de 1,31 pontos em relação aos de outras raças e, ter mais idade também impacta negativamente a proficiência em Matemática do aluno em 1,31 pontos.

Se o aluno trabalhar de forma remunerada, sua performance acadêmica é reduzida em 2,17 pontos. Impacto semelhante para o caso de o estudante trabalhar e não receber nenhum tipo de remuneração (-2,56 pontos). A leitura de livros continua com efeito positivo sobre rendimento (2,44 pontos) e, se o aluno possuir computador com acesso à internet, sua proficiência aumenta em 1,43 pontos. A respeito das variáveis socioeconômicas, o ISE deixou

de ser significativo. A variável indicativa de escolaridade alta da mãe foi significativa. O impacto sobre a proficiência daqueles alunos cuja mãe concluiu o nível superior é de 5,43 pontos. Levando-se em consideração a heterogeneidade dos impactos educacionais de mães e pais, percebe-se que o efeito da educação da mãe em todos os modelos possui maior influência sobre a nota dos filhos na disciplina de Matemática, principalmente quando se trata de níveis educacionais mais elevados (Ensino Superior completo).

No que diz respeito à infraestrutura do local onde o aluno mora, se este ambiente possuir energia elétrica seu rendimento acadêmico é elevado em 3,73 pontos. O IAA continua positivo e significativo, indicando que um ambiente com menores distúrbios e interrupções das aulas afeta em 0,10 pontos a proficiência em Matemática. Sobre as variáveis que retratam a infraestrutura escolar, se a instituição tiver laboratório de ciências, a performance acadêmica aumenta em 1,64 pontos. Já as variáveis referentes ao fato de a escola ter refeitório, rede de esgoto e acesso à internet banda larga continuaram significativas e contrárias ao que se esperava.

Embora este estudo faça um controle para o desempenho prévio no modelo 2, a amostra 2 é que coloca os alunos em condições iniciais de igualdade de maneira efetiva, quando se trata de proficiência em Matemática. Na coluna 3, embora o efeito da EJA seja negativo (-5,71 pontos), este deixa de ser significativo. Um ano a mais na idade reduz a performance em 2,00 pontos. O trabalho não remunerado tem um impacto negativo expressivo de 17,41 pontos e um ambiente de aprendizagem sem perturbações aumenta o desempenho em 0,23 pontos.

O modelo 2 da segunda amostra indica que o próprio desempenho prévio tem efeito positivo sobre o desempenho atual (0,45 pontos). Os resultados evidenciam que, quando há um controle mais seletivo no modelo de forma que não haja diferenças de desempenho entre alunos dos grupos de tratados e controle, ser da EJA impacta negativamente o rendimento acadêmico em Matemática dos discentes (8,11 pontos). A idade continua tendo um papel significativo na proficiência em Matemática, reduzindo-a em 1,15 pontos. Levando-se em consideração a influência de o aluno trabalhar de forma não remunerada, a performance é prejudicada em 10,72 pontos – em ambos os modelos das amostras 1 e 2 o efeito é negativo. A leitura de livros aumenta o rendimento dos alunos em 4,46 pontos. Essa variável possui magnitude de impacto positiva nos modelos para as duas amostras.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É visível o destaque das escolas públicas de Ensino Regular em provas como o ENEM, a Prova Brasil e/ou SPAECE uma vez que os alunos destas escolas se sobressaem em média de desempenho em Matemática quando comparadas à proficiência dos alunos da Educação de Jovens e Adultos (EJA). Apesar de, no Brasil, ainda serem escassos os estudos quantitativos que entendam o que ocorre entre os tratados (EJA) e porque estes se saem piores nos testes quando comparados ao grupo de controle (Ensino Regular), este trabalho consiste em fazer uma análise microeconômica do rendimento escolar da EJA (no Ceará) *vis-à-vis* o Ensino Médio regular, inferindo a efetiva diferença na performance acadêmica entre os dois tipos de alunos.

Este estudo faz uso de informações extraídas do SPAECE – disponibilizadas pela SEDUC – e do Censo Escolar para os anos de 2012 e 2014. Desse modo, contribui com a literatura de Economia da Educação ao estimar, de forma mais acurada, os fatores que impactam as diferenças de desempenho entre o grupo de tratamento e o grupo de controle, traçando um perfil comparativo entre os estudantes e observando suas características, tais como: o *background* educacional dos pais e/ou responsáveis, a renda familiar, a infraestrutura doméstica e ressaltar até que ponto a infraestrutura escolar impacta no rendimento acadêmico destes jovens.

Visando atingir o objetivo proposto, utilizou-se da metodologia *Coarsened Exact Matching* (CEM) para fazer o pareamento balanceado e analisar os impactos sobre a proficiência em Matemática em 2014. Pode-se afirmar que a avaliação da performance do Ensino Regular estará sobrevalorizada se o desempenho prévio e a idade destes alunos não forem considerados. Esta seleção discriminará o aluno bom, que ingressará na instituição, daqueles que não estão bem preparados. Desse modo, os modelos 1 e 2, referentes à amostra 2, tem um ganho de qualidade ao parar os alunos da EJA com aqueles do Ensino Regular que tinham desempenho semelhante em 2012. O rendimento acadêmico dos tratados (EJA) tem uma magnitude de impacto negativo de 17,89 pontos (modelo 1) ao compará-los ao grupo de controle. Diferente dos -8,38 pontos estimados para os adeptos da EJA (modelo 2) quando é considerado o desempenho prévio para a amostra 1, com 45.736 observações.

A amostra 2 possui 1.179 observações e é mais restrita, pois leva em consideração o processo seletivo dos alunos, tomando os 275 estudantes da EJA que pertenciam ao Ensino Regular em 2012 e, comparando a seus colegas que tinham perfil de desempenho parecido. Isto significa dizer que os alunos partem em condições semelhantes e têm sua proficiência comparada dois anos depois, em 2014. A limitação das conclusões ligadas à amostra 2 deve-se ao pequeno número de

observações, o que não permite maior robustez na análise. Ainda assim, os resultados indicam que os alunos da EJA têm uma diferença de desempenho inferior aos do Ensino Regular em 8,11 pontos, quando se considera o desempenho prévio (modelo 2), indicando uma sobrevalorização do Ensino Regular em cerca de 55% quando se leva em consideração o conhecimento acumulado em anos anteriores e a idade.

As estimações também mostram que o impacto no rendimento acadêmico se deve, em parte, à distorção idade-série, captada pela variável de idade do estudante, ao fato de os estudantes exercerem atividades não remuneradas e por conta da frequência com que estes leem livros. Essas variáveis foram estatisticamente significantes a 5% em todos os modelos, para as amostras 1 e 2. Diante do exposto, espera-se que a gestão escolar tente equalizar as disparidades existentes entre estas modalidades de ensino proporcionando um desempenho com maior equidade.

O tempo possibilitará o acréscimo de novas coortes que deverão enriquecer a base de dados. Esta é, portanto, uma pesquisa futura que poderá avaliar o desempenho dos estudantes da EJA e/ou da modalidade EJA + Qualificação Profissional, uma proposta inovadora que se dispõe a reorganizar a modalidade EJA com alternativas que incluam nos espaços de aprendizagem perspectivas de qualificação profissional. Os resultados deste possível estudo irão ratificar ou retificar os resultados aqui encontrados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARANHA, M. L. **História da Educação**. 2 ed. rev. e atual. São Paulo: Moderna, 1996.

ARELLANO *et. al.* **Sistemas de evaluación del desempeño para organizaciones públicas: Como construirlos efectivamente?** México, D.F: Centro de Investigación y Docencia Económicas, 2012.

BENEVIDES, A, A. **Diferencial de desempenho das escolas militares: bons alunos ou boa escola?**, 2016.

BEZERRA, F. G.; SANTANA, R. S. M. **Educação de jovens e adultos: notas históricas e proposições críticas**. Interfaces da Educ., Paranaíba, v.2, n.5, p. 93-103, 2011.

BELLO. J. L. P. **Práticas Educativas na Educação de Jovens e Adultos**. Petrópolis: Pedagogia em Foco, 2002.

BHALALUSESA, E. **Towards sustainable development through reflect methodology in Tanzania: Major trends and lessons**. Adult Education and Development, 6, 51-61, Tanzânia, 2004.

BLACKWELL, M.; IACUS, S.; KING, G. e PORRO, G. **CEM: coarsened exact matching in Stata**. *The Stata Journal*, v. 9, n. 4, p. 524-546, 2009.

BORJA, I. M. F. S.; MARTINS, A. M. O. **Evasão escolar: desigualdade e exclusão social**. *Revista Liberato*, Novo Hamburgo, v. 15, n. 23, p. 01-104, 2014.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Promulgada em 05 de outubro de 1988. Brasília, DF: Senado. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/ConstituicaoCompilado.html, 2014. Acesso em: 28 de março de 2018.

BRASIL. **Ação Educativa. Sobre nós**. Disponibilizado em: <http://acaoeducativa.org.br/>. Acesso em 28 de março de 2018.

BRASIL. **Dados do Censo Escolar fornecidos pelo INEP**. Disponibilizado em: <http://academia.qedu.org.br/censo-escolar/notas-tecnicas/>. Acesso em 28 de março de 2018.

BRASIL. **Ministério da Educação. Lei de Diretrizes e Bases da Educação**. Disponível em: <http://www.mec.gov.br>, 2008. Acesso em 28 de março de 2018.

BRASIL. **Ministério da Educação. Política Nacional de Educação De Jovens e Adultos (EJA)**. Disponível em: <http://inovaeja.mec.gov.br/documento-base.pdf>, 2016. Acesso em 28 de março de 2018.

CARNEIRO, D. e IRFFI, G. **Avaliação comparativa das leis de incentivo à educação no Ceará**. In: **XXII Encontro Regional de Economia**, Fortaleza, 2016.

CEARÁ. Secretaria da Educação. **Boletim do Sistema de Avaliação (SPAECE)**. Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Educação, CAEd, 2010.

CEARÁ. **Secretaria da Educação. EJA + Qualificação Profissional**. Disponibilizado em: <https://www.seduc.ce.gov.br/-eja-qualificacao-profissional>. Acesso em: 19 de novembro de 2018.

CEARÁ. Secretaria da Educação. **Sistema Permanente de Avaliação da Educação Básica do Ceará – SPAECE**. Disponível em: <http://www.spaece.caedufjf.net/avaliacao-educacional/o-programa>, 2014. Acesso em: 28 de março de 2018.

COSTA, M., DE ANGELIS, L. **The Multidimensional Measurement of Poverty**. Bolonha – Itália, 2008.

CURY, C. R. J. **Direito à educação: direito à igualdade, direito à diferença.** Cadernos de Pesquisa, n.116, p.245-262, 2002.

DI PIERRO, C. M. **Educação de Jovens e Adultos na América Latina e Caribe: trajetória recente.** São Paulo, 2008.

DI PIERRO, C. M. **Histórico e políticas públicas contemporâneas de Educação de Jovens e Adultos nos Estados Unidos da América.** São Paulo, 2013.

EDUCATIVA, Ação et. al. PNUD; INEP-MEC (Coord.) Indicadores da qualidade na educação. **São Paulo: Ação Educativa**, 2004.

FARIAS, D. L. P. **Comparações entre EJA e Ensino Regular.** Rio Grande do Sul, 2012.

FRAGA, L. S. et. al. **Uma Análise da Pobreza Multidimensional dos Estados Brasileiros - Construção do Índice Fuzzy.** Santa Maria – Rio Grande do Sul, 2017.

FREIRE, P. **Educação como prática da liberdade.** Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1983.

GADOTTI, M. **Alfabetizar e Politizar: Angicos, 50 anos depois.** Revista de Informação do Seminário – RISA, Angicos, RN, v. 1, n.1, p. 47-67. Edição Especial, 2013.

GOMES, A. V. **A Educação de Jovens e Adultos no PNE 2001-2010.** Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados. Brasília – DF, 2011.

GOMEZ, M. S. et. al. **Calidad de vida laboral en colombia_un índice multidimensional difuso.** Publicado em Banco de la República – Sucursal Cartagena. Colômbia, 2015.

HADDAD, L. **Políticas integradas de Educação e cuidado infantil: desafios, armadilhas e possibilidades.** Cadernos de Pesquisa, v.36, n.129, p. 519-546, 2006.

HOTTZ, D. A. **Educação de Jovens e Adultos: uma análise voltada à interpretação dos resultados do Ensino Médio no Sistema de Avaliação da Educação do Estado do Rio de Janeiro (SAERJ) em 2014.** Juiz de Fora, 2015.

IBGE. **Educação no Brasil.** Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <https://teen.ibge.gov.br/biblioteca/274-teen/mao-na-roda/1721-educacao-no-brasil>. Acesso em: 28 de março de 2018.

LOPES, P. S.; SOUZA, S. L. **EJA: uma educação possível ou mera utopia?** Revista Alfabetização Solidária (Alfasol), São Paulo, v. 5, 2005. Disponível em: http://www.cereja.org.br/pdf/revista_v/Revista_SelvaPLopes.pdf. Acesso em: 28 de março de

2018.

LUIS, R. **Youth and Adult Learning and Education in Mozambique.** *Open Society Initiative for Southern África.* Mozambique, 2014.

MANUEL, M. A. A. *et. al.* **Adult education in Mozambique: between expectations and possibilities.** Gabinete dos Ministros, 2011.

MARIANO, Z. F.; ARRAES, A. R.; BARBOSA, B. R. **Análise Longitudinal para Avaliação do Ensino Profissionalizante.** In: **XXII Encontro Regional de Economia**, Fortaleza, 2016.

MARQUES, E. C. **A construção do conhecimento na educação de jovens e adultos.** Disponível em: <http://www.unifan.edu.br/files/pesquisa/EJA>. Aparecida de Goiânia, 2010. Acesso em: 28 de março de 2018.

MARTINELLI, C. S; GENARI, M. H. C. **Relações entre desempenho escolar e orientações motivacionais.** *Estudos de Psicologia* p. 13-21, 2009. Disponível em: <http://www.redalyc.org/html/261/26118733003/>. Acesso em: 28 de março de 2018.

MENEZES, E. T.; SANTOS, T. H. **Verbetes MEC (Ministério da Educação).** *Dicionário Interativo da Educação Brasileira - Educabrazil.* São Paulo: Midiamix, 2001. Disponível em: <<http://www.educabrazil.com.br/mec-ministerio-da-educacao/>>. Acesso em: 28 de março de 2018.

MENEZES FILHO, N. **Os determinantes do Desempenho Escolar do Brasil.** *Instituto Futuro Brasil, Ibmecc-SP e FEA-USP.* São Paulo, 2007.

MINISTRY OF EDUCATION. **Strategy of adult education and learning in Mozambique.** Maputo: Ministry of Education, Mozambique, 2011.

MPOKI, J. M., MUSHI, P. A. K. **Education for older adults in Tanzania: Trends, issues and concerns.** *International Journal on Ageing in Developing Countries.* Tanzania – África, 2017.

NASPOLINI, A. **A reforma da educação básica no Ceará.** *Estudos Avançados*, 2001. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/eav/article/view/9798/11370>. Acesso em: 28 de março de 2018.

NERI, M. **Motivos da Evasão Escolar.** *Centro de Políticas Sociais/IBRE, REDE e EPGE. Fundação Getúlio Vargas.* Rio de Janeiro, 2009.

NETO, A. F.; FERNANDES, R. **Grau de Cobertura e Resultados Econômicos do Ensino Supletivo no Brasil.** *Revista Brasileira de Economia*, Rio de Janeiro, 2000.

NJONG, A. M., NINGAYE, P. **Characterizing weights in the measurement of multidimensional poverty: Na application of data-driven approaches to Cameroonian data.** Dschang – Camarões, 2008.

OYEKALE, T. O. *et. al.* **Fuzzy Set Approach to Multidimensional Poverty.** Ibadan- Nigéria, 2009.

OLIVA, T. B. **Três ensaios de Economia da Educação.** Escola de Economia de São Paulo, 2014.

OLIVEIRA, A. M.; SILVA, S. N. **Educação de Jovens e Adultos versus Ensino Regular: mitos e realidades.** *WEB artigos*, 2015. Disponível em: <https://www.webartigos.com/artigos/educacao-de-jovens-e-adultos-x-ensino-regular-mitos-e-realidades/137615>. Acesso em: 28 de março de 2018.

PACIEVITCH, T. **Analfabetismo.** *Infoescola: navegando e aprendendo.* Disponível em: <https://www.infoescola.com/educacao/analfabetismo/>. Acesso em: 28 de março de 2018.

PEREIRA, S.; BRITO, M. M. C.; LIMA, B. M. T. **A Educação de Jovens e Adultos no Ceará (2000-2011): entre desafios e esperanças.** *VIII Fórum Internacional de Pedagogia (FIPED)*, 2016.

PRITCHETT, L. **The Rebirth of Education; Schooling ain't learning** Washington. DC: Center for Global Development, 2013.

PUCHALE, C. L. *et. al.* **Pobreza multidimensional e a técnica Fuzzy: uma primeira aproximação.** Santa Maria – Rio Grande do Sul, 2015.

ROCK, G. G. T, SABIÃO, R. M. **A Importância da Leitura e Interpretação na Matemática.** *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento.* Ed. 02, Vol. 01, pp. 63-84. São Paulo, 2018.

SCORTEGAGNA, A. P.; OLIVEIRA, S. C. R. **Educação de Jovens e Adultos no Brasil: uma análise histórico-crítica.** *Revista Eletrônica de Ciências da Educação, Campo Largo*, v. 5, n. 2, p.15, 2006.

SIDNEY, J. A. *et. al.* **Extending coarsened exact matching to multiple cohorts: na application to longitudinal well-being program evaluation within na employer population.** *CrossMark*, 2014.

SIGNIFICADOS. **Significado de Coronelismo.** Disponível em: <https://www.significados.com.br/coronelismo/>. Acesso em: 28 de março de 2018.

SILVA, R. M. **Causas e consequências da evasão escolar na Escola Normal Estadual Professor Pedro Augusto de Almeida – Bananeiras/PB.** Paraíba, 2009.

SOUZA P. A. **Fatores associados ao fluxo escolar no ingresso e ao longo do ensino médio no Brasil.** *Escola de Economia.* São Paulo, 2012.

TASSO. **Perfil ampliado Senador Tasso Jereissati.** Disponível em: <https://www.senadortasso.com.br/perfil-ampliado/>. Acesso em: 28 de março de 2018.

TORRES, G. H. *et. al.* **O que pensam os jovens de baixa renda sobre a escola.** *Projeto de pesquisa desenvolvido pelo CERAP com o apoio da Fundação Victor Civita.* São Paulo, 2013.

REPERCUSSÕES DA IMPLANTAÇÃO DA REDE CEGONHA NA SAÚDE MATERNO-INFANTIL NO CEARÁ

Thaís Nogueira Facó de Paula Pessoa³⁷

RESUMO

A Rede Cegonha foi lançada por meio da Portaria nº 1459 de 24 de junho de 2011, surgindo da necessidade de combater os elevados índices de mortalidade materna e infantil no Brasil. O desenvolvimento de ações da Rede Cegonha se desenha em torno de quatro componentes: pré-natal, parto e nascimento, puerpério e atenção integral à saúde da criança e sistema logístico, incluindo transporte sanitário e regulação. Especificamente no componente parto e nascimento uma das principais iniciativas da Rede Cegonha e que surge como importante estratégia de redução das elevadas taxas de cesáreas é a implantação dos Centros de Parto Normal (CPN), que tem como finalidade prestar atendimento à mulher e ao recém-nascido no momento do parto e do nascimento de risco habitual. O presente trabalho tem como objetivos analisar a repercussão da implantação da Rede Cegonha no comportamento dos indicadores de mortalidade materno-infantil no Ceará e verificar o impacto da implantação dos Centros de Parto Normal sobre número de partos cesáreas no Ceará. Os resultados deste trabalho são apresentados em formato de dois artigos científicos, elaborados a partir da análise das bases de dados do Sistema de Informações sobre Mortalidade – SIM, do Sistema de Informações sobre Nascidos Vivos – SINASC e do Sistema de Informações Hospitalares – SIH, obtidas por meio do DATASUS e Secretaria de Saúde do Ceará. Ambos consideraram a série histórica de 2007 a 2017, admitindo 2012 como o ano base para a análise visto que marcou o início da implantação da Rede Cegonha no Ceará. O primeiro artigo apresenta uma análise temporal de indicadores de mortalidade materno-infantil com vistas a identificar a repercussão da implantação da Rede Cegonha no comportamento dos mesmos. A série histórica analisada será de 2007 a 2017, considerando 2012 como o ano base para a análise visto que marcou o início da implantação da Rede Cegonha no Estado do Ceará. Já o segundo artigo aprofunda a análise acerca do impacto da implantação da Rede Cegonha no quantitativo de partos cesáreas no Estado, na medida em que define os Centros de Parto Normal (CPN) como o equipamento de

³⁷ Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Saúde Coletiva do Programa de Pós-Graduação em Saúde Coletiva do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Saúde Coletiva. Área de Concentração: Saúde Coletiva. Orientador: Prof. Dr. Antônio Rodrigues Ferreira Júnior. Aprovada em: 13 de maio de 2019

saúde específico da Rede a ser avaliado. Para esta análise adotou-se o método Diferenças em Diferenças que possibilita a comparação entre municípios beneficiados e não beneficiados com o CPN em relação ao percentual de cesáreas. Destacamos aqui o apoio do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) na realização das análises estatísticas que culminaram nos importantes resultados deste estudo. Como resultados destaca-se no primeiro artigo uma importante redução da mortalidade materna e infantil no período pós implantação da Rede Cegonha, apresentando, entretanto, recrudescimento desses indicadores nos dois últimos anos da série histórica analisada. No segundo artigo observou-se a redução do percentual de cesáreas entre os municípios beneficiados com o CPN, o que impactou em um declínio de 4,6 pontos percentuais deste percentual no Ceará no período pós implantação dos CPN. Conclui-se, portanto, que ambos os produtos deste trabalho indicam, de maneiras diferentes, a efetividade desta importante política pública nacional implantada em 2012 no Ceará e que, para além de resultados numéricos, teve como mais relevante resultado a reformulação e organização da atenção à saúde materno-infantil no Estado. Diante dos achados, recomenda-se a ampliação da Rede Cegonha no Estado, mais especificamente dos CPN para outros municípios cearenses, como também a sistematização do monitoramento de indicadores como forma de acompanhamento do desempenho das intervenções em saúde e a realização de mais pesquisas acerca da avaliação de políticas públicas em saúde.

Palavras-chave: Rede cegonha. Parto normal. Cesárea. Política pública.

ABSTRACT

The Rede Cegonha programme was launched through Ordinance No. 1459 of June 24, 2011, arising from the need to combat the high rates of maternal and infant mortality in Brazil. The development of actions of the Rede Cegonha programme is designed around four components: prenatal care, childbirth and birth, puerperium, and integral logistic of child health care, including sanitary transportation and regulation. Specifically in the childbirth and birth component, one of the main initiatives of the Rede Cegonha programme and which emerges as an important strategy to reduce the high rates of cesarean delivery is the implementation of the Centros de Parto Normal (CPN) (or Normal Delivery Centers), which aims to provide care for women and newborn at the time of childbirth, and for the birth at normal risk. The current study aims to analyze the effects of the implantation of the Rede

Cegonha programme in the maternal and child mortality indicators in Ceará and to verify the impact of the implantation of the Centros de Parto Normal (CPN) on cesarean delivery in Ceará. The results of this work are presented in the form of two scientific articles, based on the analysis of the databases of the Sistema de Informações sobre Mortalidade (Mortality Information System), the Sistema de Informações sobre Nascidos Vivos (SINASC) (Information System on Live Births) and the Sistema de Informações Hospitalares (Hospital Information System) through DATASUS and the Secretariat of Health of the Ceará State Government. Both considered the historical series from 2007 to 2017, admitting 2012 as the base year for the analysis since it marked the beginning of the implementation of the Rede Cegonha programme in Ceará. The first article presents a temporal analysis of indicators of maternal and child mortality in order to identify the repercussion of the implantation of the programme. The historical series analyzed will be from 2007 to 2017, considering 2012 as the base year for the analysis since it marked the beginning of the implantation of the programme in the State of Ceará. The second article further analyzes the impact of the implementation of the Rede Cegonha programme on cesarean deliveries in the state of Ceará, insofar as it defines the Centro de Parto Normal as the specific health policy of the programme to be evaluated. For this analysis, the Differences in Differences method was adopted, which makes it possible to compare the municipalities benefited and not benefited with the Centro de Parto Normal regarding the percentage of cesarean births. We highlight here the support of the Research and Economic Strategy Institute of Ceará (IPECE) in the accomplishment of the statistical analyzes that culminated in the important results of this study. As a result, the first article highlights an important reduction in maternal and infant mortality in the post-implementation period of the Rede Cegonha programme showing, however, a recrudescence of these indicators in the last two years of the historical series analyzed. In the second article, it was observed a reduction in the percentage of cesarean births among the municipalities benefited with Centros de Parto Normal, which impacted in a decline of 4.6 percentage points of this percentage of such indicator in Ceará in the period after policy intervention. It is concluded, therefore, that both essays of this work indicate, in different ways, the effectiveness of this important national public policy implemented in 2012 in Ceará and that, in addition to numerical results, the most relevant result was the reformulation and organization of the attention maternal and child health in the state. In view of these findings, it is recommended to expand the Rede Cegonha programme in Ceará, more specifically the Centros de Parto Normal to other municipalities of Ceará, as well as to

systematize the monitoring of indicators as a way of monitoring the performance of health interventions and conducting more research on the evaluation of public health policies.

Keywords: Stork net. Normal birth. Cesarean section. Public policy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

ARTIGO 1

Gráfico 1 – Razão de mortalidade materna. Ceará, 2007 a 2017

Gráfico 2 – Taxa de mortalidade infantil. Ceará, 2007 a 2017

Gráfico 3 – Número de óbitos infantis segundo componentes. Ceará, 2007 a 2017

Gráfico 4 – Taxa de mortalidade perinatal. Ceará, 2007 a 2017

ARTIGO 2

Tabela 1 – Habilitações de Centros de Parto Normal no Ceará entre 2007 a 2017

Gráfico 1 – Proporção de partos normais em CPN em relação ao total de partos realizados pelo Sistema Único de Saúde no Ceará, 2013 a 2017

Gráfico 2 – Proporção de nascidos vivos via parto cesárea para municípios de regiões de saúde beneficiadas com CPN e para municípios de regiões de saúde não beneficiadas. Ceará, 2007 a 2017

Tabela 2 – Média e desvio padrão das variáveis explicativas para municípios beneficiados e não beneficiados com CPN entre 2007 a 2012

Tabela 3 – Estimativas do MLP para municípios de regiões de saúde beneficiadas com CPN entre 2012 a 2017

Tabela 4 – Estimação do efeito da implantação dos CPN sobre a proporção de nascidos vivos via parto cesárea no Ceará

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APN	Assistência Pré-Natal
CIB	Comissão Intergestores Bipartite
CNES	Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde
CNS	Conselho Nacional de Saúde
CPN	Centro de Parto Normal
DATASUS	Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde
ESF	Estratégia Saúde da Família
ETM	Efeito Tratamento Médio
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
MIF	Mulheres em Idade Fértil
MLP	Modelo Linear de Probabilidade
MS	Ministério da Saúde
ODM	Objetivos do Desenvolvimento do Milênio
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PACS	Programa de Agentes Comunitários de Saúde
PAISM	Programa de Assistência Integral à Saúde da Mulher
PHPN	Programa de Humanização do Pré-natal e Parto
Pnae	Programa Nacional de Alimentação Escolar
PSF	Programa de Saúde da Família
PDR	Plano Diretor de Regionalização
RAS	Redes de Atenção em Saúde
RMM	Razão de Mortalidade Materna
SIM	Sistema de Informações sobre Mortalidade
SINASC	Sistema de Informações sobre Nascidos Vivos
SUS	Sistema Único de Saúde
TMF	Taxa de Mortalidade Fetal
TMI	Taxa de Mortalidade Infantil
WHO	World Health Organization
VIVA	Vigilância das Violências e Acidentes

1 INTRODUÇÃO

Ao longo de quase três décadas do Sistema Único de Saúde (SUS) o Brasil percebeu incontestáveis avanços na melhoria da qualidade de vida e saúde da população. A redução da morbidade e mortalidade por doenças infecciosas e parasitárias, boa parte decorrente do êxito das ações de imunizações, e o considerável declínio da mortalidade prematura (antes dos 20 anos de idade), especialmente da mortalidade infantil, estão entre as mudanças no perfil epidemiológico advindas do período pós implantação deste sistema, que se tornou um marco para consolidação da saúde como direito e para a garantia de sua oferta universal a todo o povo brasileiro (DUARTE; BARRETO, 2012; BRASIL, 2016).

O Movimento da Reforma Sanitária deixou um legado ideológico importante que culminou na criação do SUS, discutindo amplamente a concepção de modelos assistenciais baseados na atenção primária em saúde com foco na prevenção de doenças e principalmente na promoção da saúde, em resistência ao modelo curativo e hospitalocêntrico preponderante até os dias atuais.

Nessa perspectiva, a Estratégia Saúde da Família (ESF) tem sido o modelo de atenção primária em saúde adotado pelo SUS desde a década de 1990 em todo o território nacional, produzindo vários resultados favoráveis à saúde da população. No entanto, em um país de dimensões continentais como o Brasil, a inserção desta estratégia deu-se de modo distinto nos mais complexos e diversificados cenários, permeados por interesses políticos, econômicos e sociais, do modo que a implantação da ESF em cada município brasileiro é resultado de um processo de adaptação local do modelo originalmente proposto (ARANTES; SHIMIZU; MERCHÁN-HAMANN; 2016, ANDRADE, 2016a).

O SUS tem como princípio constitucional a descentralização, que se dá como resultado da integração das ações e serviços públicos em rede regionalizada e hierarquizada (SANTOS; CAMPOS, 2015). Entretanto, o processo de municipalização, movimento essencial para a efetivação do princípio da descentralização, produziu um cenário complexo de limitação financeira, organizacional e de autonomia, o que repercutiu diretamente na capacidade de gestão e na oferta da idealizada saúde universal, equânime e integral pelos municípios.

Diante desta conjuntura, apesar de todos os progressos alcançados desde a criação do SUS, a fragmentação da assistência à saúde ainda se coloca como um grande desafio a ser suplantado, resultando no não atendimento ao princípio da integralidade.

Sob o mote de oferecer elementos para a superação desta agenda inconclusa, surge o debate acerca da implantação das Redes de Atenção à Saúde (RAS). Definidas por Mendes (2011) como organizações poliárquicas de conjuntos de serviços de saúde, vinculados entre si por uma missão única, por objetivos comuns e por uma ação cooperativa e interdependente, as RAS permitem ofertar uma atenção contínua e integral a determinada população, sendo coordenada pela atenção primária à saúde e com responsabilidade sanitárias e econômicas por esta população.

Amparadas em dispositivos legais como a Portaria nº 4279 de 30 de dezembro de 2010 (BRASIL, 2010b) e o Decreto Federal nº 7508 de 28 de junho de 2011 (BRASIL, 2011b), as RAS configuram-se, pelo menos em tese, como um modelo de organização compartilhado e pactuado coletivamente, solidário, eficiente, com garantia de acesso e atendimento integral a todos os usuários e a premissa da qualidade na prestação do cuidado em todos os níveis de atenção à saúde.

O Brasil avançou consideravelmente no processo de construção das RAS, embora ainda haja necessidade de aperfeiçoar componentes importantes como o reconhecimento de determinantes do processo saúde-doença da população, a análise e monitoramento da situação de saúde, o fortalecimento dos mecanismos de pactuação interfederativa e o enfrentamento das intempéries ocasionadas pela conjuntura político-eleitoral, entre outras (REIS et al, 2017).

Dentro do contexto das RAS e objetivando garantir uma atenção diferenciada aos grupos populacionais mais vulneráveis e áreas de atuação mais sensíveis, ambos identificados a partir da análise do perfil de morbimortalidade no Brasil, o Ministério da Saúde (MS) passa a formular as chamadas Redes Temáticas ou Redes Prioritárias (BRASIL, 2014).

Seguindo as mesmas diretrizes operacionais das RAS, as Redes Temáticas estabelecem protocolos de atendimento, com fluxos e linhas de cuidado para cada grupo populacional ou área de atuação específicos. São exemplos de Redes Temáticas priorizadas pelo Ministério da Saúde a Rede de Atenção às Urgências e Emergências, a Rede de Atenção Psicossocial, a Rede de Atenção às Doenças e Condições Crônicas (iniciando-se pelo câncer com foco nos *situs* mama e colo de útero), a Rede de Cuidado à Pessoa com Deficiência e a Rede Cegonha (BRASIL, 2014).

Pano de fundo do presente projeto, a Rede Cegonha foi lançada por meio da Portaria nº 1459 de 24 de junho de 2011, surgindo da necessidade de combater os elevados índices de mortalidade materna e infantil no Brasil, sobretudo no Nordeste e Amazônia Legal (BRASIL,

2011a).

Esses indicadores comportam-se como *proxy* da situação de saúde, uma vez que apontam indiretamente o nível de saúde geral de determinada população. Por este motivo são considerados indicadores prioritários nas mais diversas pactuações oficiais, destacando-se, inclusive, entre os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), iniciativa das Organizações das Nações Unidas (ONU) que definiu metas referentes ao período de 2000 a 2015, e entre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), mesma estratégia de pactuação da ONU até 2030 (UN, 2017).

Alguns importantes programas voltados à saúde materno-infantil já haviam sido lançados anteriormente pelo Ministério da Saúde, a exemplo do Programa de Assistência Integral à Saúde da Mulher (PAISM) elaborado em 1983 e que se destacou por contemplar pela primeira vez o planejamento familiar no escopo da saúde integral da saúde da mulher; e do Programa de Humanização no Pré-natal e Nascimento (PHPN) lançado em 2000 com o objetivo principal de reduzir a morbimortalidade materna e neonatal a partir do atendimento humanizado e melhoria no acesso, na cobertura e na qualidade do acompanhamento do pré-natal, da assistência ao parto e puerpério das gestantes e do recém-nascido (CASSIANO et al, 2014).

Em virtude do desenvolvimento destes programas, à época do lançamento da Rede Cegonha o país já havia apresentado declínio considerável da mortalidade materna e infantil, muito embora esses índices ainda permanecessem aquém de outros países também em desenvolvimento como o Brasil (CASSIANO et al, 2014).

A Razão de Mortalidade Materna (RMM) que no ano de 1990 atingiu 143 por 100 mil nascidos vivos passou para 66 no ano de 2010, representando um decréscimo de 54%. No entanto, a partir do ano de 2001 esta redução tornou-se bastante lenta, permanecendo praticamente inalterada até o final do período analisado (JANNOTTI, SILVA, PERILLO; 2013).

Já a Taxa de Mortalidade Infantil (TMI) apresentou resultados mais significativos. Entre 1990 e 2010, a TMI do Brasil reduziu de 47,1 para 16,0 óbitos infantis por mil nascidos vivos, representando um decréscimo de 66% (BRASIL, 2016).

Nesse contexto, a mortalidade fetal, apesar de não constar na maioria das pactuações oficiais, apresenta um contexto preocupante. A Taxa de Mortalidade Fetal (TMF) apresentou tendência crescente entre os anos de 1996 e 2001, saindo de 8,1 óbitos por mil nascidos para 9,3 respectivamente. A partir de 2001 até 2010 a TMF se manteve em torno de

9,5 óbitos fetais por mil nascimentos (LANSKY, 2013).

Sabe-se que mais da metade dos óbitos neonatais e fetais, que juntos indicam a mortalidade perinatal, partilham do mesmo caráter evitável de suas causas, geralmente relacionadas ao pré-natal, ao manejo obstétrico e às horas que antecedem o parto. Com o adendo de que no Brasil os óbitos fetais acontecem em maior número do que os óbitos neonatais precoces (SILVA et al, 2016).

Com vistas ao enfrentamento deste panorama, a Rede Cegonha surge como política pública definida como uma rede de cuidados que visa assegurar à mulher o direito ao planejamento reprodutivo e à atenção humanizada à gravidez, ao parto e ao puerpério, bem como à criança o direito ao nascimento seguro e ao crescimento e desenvolvimento saudáveis; com a finalidade maior de enfrentar a realidade das mortes evitáveis, mas também recuperar o sentido transformador da gravidez e do nascimento para a mulher e a família (BRASIL, 2011a; PASCHE, et al, 2014).

São objetivos da Rede Cegonha: fomentar a implementação de novo modelo de atenção à saúde da mulher e à saúde da criança com foco na atenção ao parto, ao nascimento, ao crescimento e ao desenvolvimento da criança de zero aos vinte e quatro meses; organizar a Rede de Atenção à Saúde Materna e Infantil para que esta garanta acesso, acolhimento e resolutividade e reduzir a mortalidade materna e infantil com ênfase no componente neonatal (BRASIL, 2011a).

Para o alcance desses objetivos, o MS desencadeou uma ação organizada de caráter nacional, com vistas a ampliar o acesso e melhorar a qualidade do pré-natal, garantir a vinculação da gestante à unidade de referência para o parto, com direito ao transporte seguro, bem como a implementação de boas práticas na atenção ao parto e ao nascimento. As principais diretrizes são constituídas pelo acolhimento em rede e com classificação de risco/vulnerabilidade, a cogestão, o direito à acompanhante de livre escolha da mulher, as melhorias na ambiência, a defesa dos direitos sexuais e reprodutivos e cuidado para com crianças de até 2 anos de idade, além de mudanças no modelo de gestão da rede de atenção ao parto e ao nascimento (COSTA et al, 2016).

O desenvolvimento de ações da Rede Cegonha se desenha em torno de quatro componentes: pré-natal, parto e nascimento, puerpério e atenção integral à saúde da criança e sistema logístico, incluindo transporte sanitário e regulação (BRASIL, 2011a).

Especificamente no componente parto e nascimento uma das principais iniciativas da Rede Cegonha e que surge como importante estratégia de redução das elevadas taxas de cesáreas

é a implantação dos Centros de Parto Normal (CPN), que tem como finalidade prestar atendimento à mulher e ao recém-nascido no momento do parto e do nascimento de risco habitual. Tendo como premissa a atenção humanizada ao parto e nascimento, com respeito ao parto como experiência pessoal, cultural, sexual e familiar, fundamentada no protagonismo e autonomia da mulher, que participa ativamente com a equipe das decisões referentes ao seu parto (BRASIL, 2015).

O Ceará destacou-se como um dos primeiros Estados a iniciar a implantação da Rede Cegonha a partir do ano de 2012 mediante a elaboração e implementação dos Planos de Ação da Rede Cegonha para as Regiões de Saúde (BRASIL, 2011c), em consonância com o Plano Diretor de Regionalização (PDR) vigente e com a Resolução nº 18/2012 da Comissão Intergestores Bipartite (CIB), que homologou o Plano Estadual de Estruturação da Rede Cegonha no Estado do Ceará para o período de 2012 a 2014 (CEARÁ, 2012). A partir de então se iniciou a implantação e habilitação de equipamentos de saúde, a exemplo dos CPN, além do desenvolvimento de atividades de avaliação, planejamento, gestão e capacitação específicas da Rede Cegonha no Estado.

O ano de 2017 marca o quinquênio da implantação da Rede Cegonha no Ceará, período no qual já é possível, e necessário, realizar avaliação das repercussões dessa importante política pública no comportamento dos indicadores de saúde materno-infantil no Estado.

Serapioni, Lopes e Gurgel (2018) destacam a importância da avaliação em saúde como ferramenta indispensável para a tomada de decisões, no sentido de oferecer aos gestores todas as informações necessárias para aprimorar o processo de planejamento e de gestão dos programas, serviços e políticas públicas de saúde.

Como etapa importante do planejamento em saúde, o monitoramento e avaliação de indicadores permitem verificar a eficiência de intervenções em saúde, além de possibilitar o ajuste destas, em tempo oportuno, para o alcance dos resultados almejados.

Neste sentido, as principais perguntas hipóteses deste estudo são as de que a implantação da Rede Cegonha teve repercussão no comportamento dos indicadores de mortalidade materno-infantil no Estado; e que a implantação dos Centros de Parto Normal impactou no quantitativo de partos cesárea no Ceará.

Diante da necessidade de desenvolvimento de mais pesquisas que respondam às lacunas na produção destas informações, propomos a realização do presente estudo que pretende verificar as repercussões da implantação da Rede Cegonha na saúde materno-

infantil no Ceará.

Para Furtado (2016) assim como a finalidade do planejamento em saúde é produzir saúde, a função primordial da avaliação de programas e serviços em nosso setor também é produzir saúde. Por isso, acredita-se que os achados deste estudo podem contribuir para a identificação de potencialidades e fragilidades no processo de organização e funcionamento da Rede Cegonha do Ceará, fornecendo subsídios para o aprimoramento desta em busca de seu objetivo maior: a melhoria da saúde materno-infantil no Estado.

2 OBJETIVOS

- a) Analisar a repercussão da implantação da Rede Cegonha no comportamento dos indicadores de mortalidade materno-infantil no Ceará;
- b) Verificar o impacto da implantação dos Centros de Parto Normal sobre o quantitativo de partos cesáreas no Ceará.

3 MÉTODO

3.1 DESENHO DO ESTUDO

Para a construção do artigo 1 foi realizado um estudo de tendência temporal dos indicadores de mortalidade materno-infantil objetivando analisar a repercussão da implantação da Rede Cegonha no comportamento destes. O estudo de tendência temporal é considerado como um subtipo dos estudos ecológicos, onde o objetivo é a descrição, ao longo de um dado período e em determinado grupo populacional, do comportamento de medidas agregadas como taxas, proporções, indicadores ou qualquer outra estatística de interesse ao pesquisador. Tal como acontece com os desenhos exploratórios, este tipo de avaliação pode ser feito por simples visualizações gráficas (LOPES, 2018; MORGENSTERN, 1995). Seguindo a linha da avaliação de políticas públicas, e com a proposta de afinar a análise do impacto da Rede Cegonha, no artigo 2 também realizou-se um estudo de tendência temporal visando estimar o impacto dos Centros de Parto Normal sobre o número de nascimentos por cesariana no Ceará.

Desse modo, o estudo configura-se com desenho metodológico de uma “Pesquisa Estratégica”, classificação de Pesquisa Social proposta por Bulmer (1978) *apud* Minayo

(2010, p. 50) que se baseia nas teorias das ciências sociais, mas orienta-se para problemas concretos, focais, oriundos da sociedade, mesmo que não caibam, ao investigador, as soluções práticas para os problemas que aponta.

Ainda segundo o autor, o objetivo deste tipo de pesquisa é lançar luz sobre determinados aspectos da realidade, sendo seus instrumentos os mesmos com que a pesquisa básica atua, tanto em termos teóricos como metodológicos, mas sua finalidade é a ação governamental ou da sociedade, tornando-se, portanto, a modalidade mais apropriada para o conhecimento e a avaliação de problemas e políticas de saúde.

3.2 PERÍODO

Neste estudo foi considerada a série histórica de 2007 a 2017, admitindo 2012 como referência para análise do comportamento dos indicadores de mortalidade materno-infantil no caso do artigo 1 e dos nascimentos por cesariana no caso do artigo 2; visto que neste ano iniciou-se o processo de implantação da Rede Cegonha no Estado do Ceará, como também o início da habilitação dos Centros de Parto Normal. Este período foi escolhido pois permite conhecer o comportamento dos indicadores no intervalo de 5 anos antes e 5 anos após a implantação da Rede Cegonha no Estado.

A coleta e tabulação de dados ocorreram no mês de março de 2019.

3.3 FONTE DE DADOS

No caso do artigo 1, como fontes de dados para o cálculo dos indicadores foram utilizados os dados do Sistema de Informação sobre Mortalidade (SIM) e Sistema de Informação sobre Nascidos Vivos (SINASC) obtidos junto ao Núcleo de Informação e Análise em Saúde da Secretaria de Saúde do Ceará.

Especificamente para o cálculo dos indicadores relacionados à mortalidade materna foram utilizados ainda os dados do Módulo de Investigação de Óbitos Prioritários do SIM local da Secretaria de Saúde do Ceará, visto que este oferece informações complementares sobre os óbitos maternos identificados a partir da investigação dos óbitos de mulheres em idade fértil (MIF). Este procedimento garante que uma maior veracidade da informação, uma vez que um percentual considerável dos óbitos maternos não é assim declarado diretamente na DO, sendo identificado somente após a investigação de óbitos de MIF.

Os dados utilizados no artigo 2 foram obtidos junto ao site do Departamento de Informática do SUS (DATASUS) o qual reúne dados administrativos de diversos sistemas de informação do Ministério da Saúde. Particularmente, para este estudo as variáveis são oriundas do Sistema de Nascidos Vivos (SINASC) e do Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES).

3.4 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

O Módulo de Investigação dos Óbitos Prioritários não produz relatório gerencial com número absoluto dos óbitos investigados. Logo, foi necessária a confecção de planilha com dados consolidados de todas as fichas síntese de investigação dos óbitos de MIF no período para complementar as informações sobre mortalidade materna.

Os indicadores relacionados à mortalidade infantil e perinatal foram calculados a partir de dados coletados diretamente do SIM.

Os dados de nascidos vivos provenientes do SINASC foram utilizados como denominador no cálculo de indicadores de mortalidade materna, infantil e perinatal no artigo 1, como também para traçar um perfil dos nascimentos por cesariana no artigo 2.

Para o cálculo de todos os indicadores deste estudo foram considerados dados acerca de nascimentos e óbitos de residentes no Ceará.

3.5 ORGANIZAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Para tabulação dos dados, cálculo de indicadores e construção de gráficos e tabelas foi utilizado o programa Excel. A análise de tendência temporal foi feita considerando a série histórica de 2007 a 2017, destacando o ano de 2012 como referência para avaliar a repercussão da implantação da Rede Cegonha no comportamento dos indicadores.

No artigo 2 utilizou-se o método de Diferenças em Diferenças para análise de dados sobre tipos de parto entre grupo de municípios com Centro de Parto Normal implantado e o grupo de municípios que não tem este equipamento. A análise foi feita utilizando o programa Stata.

3.6 ASPECTOS ÉTICOS

Atendendo aos parâmetros contidos na Resolução nº 466/2012 (BRASIL, 2012), do

Conselho Nacional de Saúde (CNS), que dispõe sobre pesquisas envolvendo seres humanos, este estudo foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual do Ceará obtendo parecer favorável à sua execução (Parecer nº 2.687.035 em anexo).

Em virtude da necessidade de acesso as fichas síntese de investigação de óbitos de MIF provenientes do Módulo de Investigação de Óbitos Prioritários (sistema este de acesso restrito às secretarias municipais e estaduais de saúde) e à base de dados do ano de 2017 considerado em aberto pelo Ministério da Saúde, estas informações somente foram cedidas mediante assinatura de Termo de Fiel Depositário (em anexo).

Conforme a Lei de Acesso à Informação – Lei nº 12.527, de 18 de novembro de 2011, as informações pessoais são aquelas relacionadas à pessoa natural identificada ou identificável, para o qual devem guardar-se respeito à intimidade, vida privada, honra e imagem das pessoas (BRASIL, 2011d). Assim sendo, foi garantido o sigilo de todas as informações pessoais, o uso exclusivo das mesmas para a pesquisa e o retorno dos achados à comunidade sob a forma de evidência científica que possibilite o conhecimento da realidade e ampare a formulação de estratégias para a melhoria da saúde materno-infantil e fetal no Estado.

4 RESULTADOS

Os resultados deste trabalho são apresentados em formato de dois artigos científicos, elaborados a partir da análise da mesma base de dados dos sistemas de informação mencionados no método. Acredita-se que este formato favorece a divulgação dos achados da pesquisa por meio da produção científica a ser publicada em periódicos de interesse e representatividade para a saúde coletiva. O primeiro artigo apresenta uma análise temporal de indicadores de mortalidade materno-infantil com vistas a identificar a repercussão da implantação da Rede Cegonha no comportamento dos mesmos. A série histórica analisada será de 2007 a 2017, considerando 2012 como o ano base para a análise visto que marcou o início da implantação da Rede Cegonha no Estado do Ceará. Os achados foram confrontados com literatura científica atualizada e com o cenário de crise econômica do país e suas consequências para o financiamento do Sistema Único de Saúde (SUS) e para a continuidade das políticas públicas.

Já o segundo artigo aprofunda a análise acerca do impacto da implantação da Rede Cegonha no quantitativo de partos cesáreas no Estado, na medida em que define os Centros

de Parto Normal (CPN) como o equipamento de saúde específico da Rede a ser avaliado. Destacamos aqui o apoio do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) na realização das análises estatísticas que culminaram nos importantes resultados deste estudo.

Trata-se, portanto, de duas produções complementares que oferecem subsídios para o esclarecimento das questões norteadoras desta pesquisa, podendo ainda revelar mais lacunas de conhecimento acerca de tão relevante temática.

4.1 ARTIGO 1

Repercussão da implantação da Rede Cegonha no comportamento dos indicadores de mortalidade materno-infantil no Ceará³⁸

Resumo

Objetivo: analisar a repercussão da implantação da Rede Cegonha no comportamento de indicadores de mortalidade materno-infantil no Ceará. Métodos: estudo ecológico de tendência temporal de indicadores de mortalidade materno- infantil entre 2007 a 2017, utilizando como fontes de dados o Sistema de Informação sobre Mortalidade (SIM), Módulo de Investigação de Óbitos Prioritários do SIM e Sistema de Informação sobre Nascidos Vivos (SINASC). Resultados: os achados apontam que a razão de mortalidade materna (RMM), taxa de mortalidade infantil (TMI) e taxa de mortalidade perinatal (TMP) apresentaram tendência decrescente entre 2007 a 2017 no Estado. Observou-se uma elevação desses indicadores no ano seguinte à implantação da Rede Cegonha (2013), podendo ser atribuída ao aumento da sensibilidade das notificações de óbitos decorrente do movimento de capacitações de profissionais de saúde. Entre 2014 e 2015 houve redução dos indicadores, no entanto, a partir do ano de 2016 a RMM e a TMI voltaram a ascender. Conclusões: os indicadores de mortalidade materno-infantil estudados apresentaram tendência decrescente no período analisado, indicando um importante declínio após a implantação da Rede Cegonha; no entanto, a elevação desses a partir do ano de 2016 pode estar associada ao momento de austeridade fiscal e irregularidade de financiamento destinado às importantes políticas públicas sociais e de saúde.

³⁸ Artigo a ser submetido ao periódico “Revista Brasileira de Saúde Materno Infantil”. Qualis B1 na Saúde Coletiva.

Palavras-chave: Rede Cegonha. Mortalidade materna. Mortalidade infantil. Mortalidade perinatal. Saúde materno-infantil.

Introdução

Nos últimos 30 anos, o Brasil apresentou profundas mudanças em distintas esferas, com marcado impacto sobre a saúde de mães e crianças. Determinantes sociais como a pobreza, a baixa escolaridade, as más condições de moradia e saneamento, e a exclusão social, foram enfrentados através de políticas sociais intersetoriais e da redistribuição da riqueza. Percebeu-se queda na fecundidade e rápida urbanização. Programas verticais de saúde, como o Programa Nacional de Imunização, contribuíram para controlar doenças imunopreveníveis e outras infecciosas como a diarreia e a pneumonia. A universalização da assistência médica foi assegurada pelo SUS, com marcada redução das desigualdades de acesso e cobertura (LEAL et al, 2018).

É indiscutível o enorme progresso ocorrido nas últimas três décadas na saúde reprodutiva e materna, tanto em termos de cobertura como de redução da desigualdade (FRANÇA et al, 2016).

A saúde da criança no Brasil vem apresentando melhora expressiva nos principais indicadores de saúde a partir da década de 1980. Nesse mesmo período, especialmente na última década, o país tem experimentado desenvolvimento econômico e tecnológico significativo, o que tem impactado positivamente nos determinantes sociais das doenças e na organização dos serviços de saúde (LEITE; CUNHA; VICTORA, 2018).

Além disso, investimentos em políticas públicas adotadas nas últimas décadas, principalmente nas áreas de saúde, educação e combate à pobreza, tornam mais favoráveis os indicadores sociais, econômicos e de saúde (LIMA; et al, 2017).

Apesar da notória redução da mortalidade infantil no Brasil, estudos sobre as principais causas de mortalidade infantil apontam um cenário preocupante, uma vez que um elevado percentual de óbitos de crianças menores de um ano, especialmente no período neonatal, ocorrem por causas consideradas evitáveis, ou seja, aquelas sensíveis às ações efetivas dos serviços de saúde (LOURENÇO, BRUNKEN, LUPPI, 2013; LANSKY, et al, 2014; NASCIMENTO, 2014; SARTORELLI, et al, 2017).

No caso da saúde materna, o Brasil também apresentou declínio de aproximadamente de 20% da razão de mortalidade materna entre 1990 e 2015, embora não tenha alcançado a meta dos Objetivos do Desenvolvimento do Milênio (ODM) (GBD, 2016). Além disso, discrepâncias foram demonstradas também em estudo sobre a evolução temporal e espacial

da mortalidade materna no país, onde as regiões Sul e Sudeste mostraram as menores taxas, na medida em que as regiões Norte e Nordeste mostraram as maiores taxas no período entre 2009 a 2012 (RODRIGUES, 2016).

Diante deste cenário, a Rede Cegonha surge como política pública definida como uma rede de cuidados que visa assegurar à mulher o direito ao planejamento reprodutivo e à atenção humanizada à gravidez, ao parto e ao puerpério, bem como à criança o direito ao nascimento seguro e ao crescimento e desenvolvimento saudáveis; com a finalidade maior de enfrentar a realidade das mortes evitáveis, mas também recuperar o sentido transformador da gravidez e do nascimento para a mulher e a família (BRASIL, 2011a; PASCHE, et al, 2014).

Lançada por meio da Portaria nº 1459 de 24 de junho de 2011 (BRASIL, 2011a), esta importante política pública se apresenta como uma estratégia de enfrentamento da mortalidade materno-infantil no país, na medida em que oferece orientação e suporte financeiro aos municípios brasileiros para a implementação de um escopo mínimo de ações de atenção à saúde materno-infantil a serem desenvolvidas desde a gestação até 24 meses após o parto (MARTINELLI; et al, 2014; RODRIGUES; et al, 2016).

O Ceará destacou-se como um dos primeiros Estados a iniciar a implantação da Rede Cegonha a partir do ano de 2012 mediante a elaboração e implementação dos Planos de Ação da Rede Cegonha para as Regiões de Saúde (BRASIL, 2011c), em consonância com o Plano Diretor de Regionalização (PDR) vigente e com a Resolução nº 18/2012 da Comissão Intergestores Bipartite (CIB), que homologou o Plano Estadual de Estruturação da Rede Cegonha no Estado do Ceará para o período de 2012 a 2014 (CEARÁ, 2012).

Após cinco anos do início do processo de implantação da Rede Cegonha no Ceará no ano de 2012, é possível e necessário, realizar avaliação das repercussões dessa importante política pública no comportamento dos indicadores de saúde materno-infantil no Estado, sendo este o objetivo deste estudo.

Método

Trata-se de estudo ecológico de tendência temporal de indicadores de mortalidade materno-infantil objetivando analisar a repercussão da implantação da Rede Cegonha no comportamento destes. Foi considerada a série histórica de 2007 a 2017, admitindo 2012 como referência para análise do comportamento dos indicadores de mortalidade materno-infantil, visto que neste ano iniciou-se o processo de implantação da Rede Cegonha no Estado

do Ceará.

A coleta e tabulação de dados ocorreram no mês de julho de 2018. No entanto, em virtude de o ano de 2017 ainda não ser considerado fechado pelo Ministério da Saúde, estando passível de alterações de informações, optou-se por gerar uma base de dados mais atualizada no mês de março de 2019, garantindo assim, mais fidedignidade à análise dos indicadores. Para tabulação dos dados, cálculo de indicadores e construção de gráficos foi utilizado o programa Excel. A análise de tendência temporal foi feita considerando a série histórica de 2007 a 2017, destacando o ano de 2012 como referência para avaliar a repercussão da implantação da Rede Cegonha no comportamento dos indicadores.

Como fontes de dados para o cálculo dos indicadores foram utilizados os dados do Sistema de Informação sobre Mortalidade (SIM) e Sistema de Informação sobre Nascidos Vivos (SINASC) obtidos junto ao Núcleo de Informação e Análise em Saúde da Secretaria de Saúde do Ceará.

Especificamente para o cálculo dos indicadores relacionados à mortalidade materna foram utilizados ainda os dados do Módulo de Investigação de Óbitos Prioritários do SIM local da Secretaria de Saúde do Ceará, visto que este oferece informações complementares sobre os óbitos maternos identificados a partir da investigação dos óbitos de mulheres em idade fértil (MIF). Este procedimento garante que uma maior veracidade da informação, uma vez que um percentual considerável dos óbitos maternos não é assim declarado diretamente na DO, sendo identificado somente após a investigação de óbitos de MIF.

O Módulo de Investigação dos Óbitos Prioritários não produz relatório gerencial com número absoluto dos óbitos investigados. Logo, foi necessária a confecção de planilha com dados consolidados de todas as fichas síntese de investigação dos óbitos de MIF no período para complementar as informações sobre mortalidade materna.

Os indicadores relacionados à mortalidade infantil e perinatal foram calculados a partir de dados coletados diretamente do SIM.

Os dados de nascidos vivos provenientes do SINASC foram utilizados como denominador no cálculo de indicadores de mortalidade materna, infantil e perinatal. Para o cálculo de todos os indicadores deste estudo foram considerados dados acerca de nascimento e óbitos de residentes no Ceará.

Atendendo aos parâmetros contidos na Resolução nº 466/2012 (BRASIL, 2012), do Conselho Nacional de Saúde (CNS), que dispõe sobre pesquisas envolvendo seres humanos, este estudo foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual do Ceará

obtendo parecer favorável à sua execução (Parecer nº 2.687.035 em anexo).

Em virtude da necessidade de acesso as fichas síntese de investigação de óbitos de MIF provenientes do Módulo de Investigação de Óbitos Prioritários (sistema este de acesso restrito às secretarias municipais e estaduais de saúde) e à base de dados do ano de 2017 considerado em aberto pelo Ministério da Saúde, estas informações somente foram cedidas mediante assinatura de Termo de Fiel Depositário (em anexo).

Conforme a Lei de Acesso à Informação – Lei nº 12.527, de 18 de novembro de 2011, as informações pessoais são aquelas relacionadas à pessoa natural identificada ou identificável, para o qual devem guardar-se respeito à intimidade, vida privada, honra e imagem das pessoas (BRASIL, 2011d). Assim sendo, foi garantido o sigilo de todas as informações pessoais, o uso exclusivo das mesmas para a pesquisa e o retorno dos achados à comunidade sob a forma de evidência científica que possibilite o conhecimento da realidade e ampare a formulação de estratégias para a melhoria da saúde materno-infantil e fetal no Estado.

Resultados

Mortalidade

Materna

O óbito materno é um evento sentinela que indica o nível de qualidade da assistência à saúde de determinado território, mais especificamente da atenção à saúde materno-infantil. O Ministério da Saúde conceitua óbito materno como a morte de mulher, ocorrida durante a gestação ou até um ano após o seu término, devida a quaisquer causas relacionadas com o seu desenvolvimento ou agravada no seu curso, inclusive por medidas adotadas durante a gravidez, independentemente de sua duração ou da localização, excluídas as acidentais ou incidentais (BRASIL, 2008).

A Razão de Mortalidade Materna (RMM), definida como o número de óbitos maternos por 100 mil nascidos vivos, é o indicador de saúde utilizado para dimensionar a magnitude da mortalidade materna como também para avaliar as tendências espaço-temporais (SZWARCOWALD, 2014).

Em virtude dos elevados índices de mortalidade materna observados no Brasil,

principalmente em relação aos países mais desenvolvidos, a redução deste indicador tornou-se um dos principais objetivos da estratégia da Rede Cegonha nos Estados (BRASIL, 2011a).

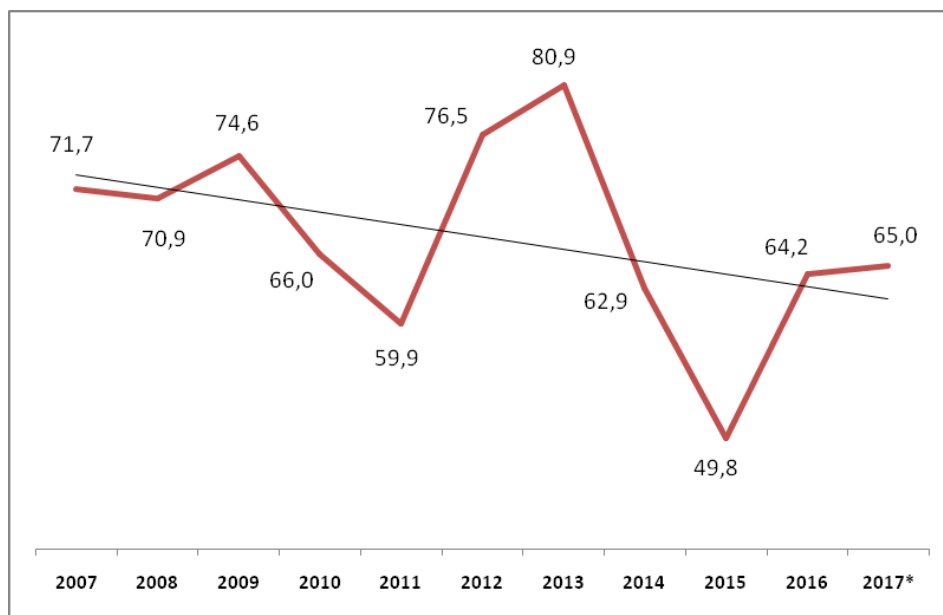
A partir da análise dos dados coletados neste estudo observou-se uma linha de tendência decrescente da RMM entre os anos de 2007 a 2017. Verificou-se ainda que o período pré-implantação da Rede Cegonha foi marcado por valores elevados de RMM, que certamente justificaram a implantação desta política pública no Estado (Gráfico 1).

Foi possível observar que em 2012, ano de implantação da Rede Cegonha, a razão de mortalidade materna (RMM) era de 76,5 por 100 mil nascidos vivos, maior valor no período pré-implantação. Já no ano seguinte (2013) este índice alcançou 80,9 por mil nascidos vivos, maior valor de toda a série histórica estudada. Elevação que pode ser atribuída ao aumento da sensibilidade das notificações de óbitos maternos decorrente do movimento de capacitações de profissionais de saúde entre as atividades da Rede Cegonha (Gráfico 1).

Alguns indicadores, a exemplo da mortalidade materna e de mulheres em idade fértil são exemplos de que a maior atenção ao problema pode ocasionar melhor notificação e, portanto, aparentar maior ocorrência do que quando o problema não é informado (ALBUQUERQUE, MARTINS, 2017). Sinalizando, inclusive, uma provável subnotificação previa.

Nos anos subsequentes 2014 e 2015 percebeu-se um declínio considerável dos valores de RMM, chegando a 49,8 por 100 mil nascidos vivos neste último ano, menor valor de toda a série histórica analisada. Contudo, nos últimos anos do período, 2016 e 2017, a RMM apresentou elevação, surgindo com 64,2 e 65,0 por 100 mil nascidos vivos respectivamente (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Razão de Mortalidade Materna. Ceará, 2007 a 2017*



Fonte: Sistema de Informação sobre Mortalidade – SIM. (Sistema Web e Módulo de Investigação).

*2017 – Dados sujeitos à alteração.

Mortalidade Infantil

A mortalidade na infância (ou mortalidade em menores de 5 anos) é um importante indicador de acompanhamento das condições de vida da população. Contudo, como a mortalidade infantil é o principal subconjunto da mortalidade na infância (representado atualmente 86% dos óbitos de menores de 5 anos no Brasil), esta vem ocupando lugar de destaque entre as pactuações oficiais, inclusive por permitir comparações internacionais (BRASIL, 2016).

No presente estudo a taxa de mortalidade infantil (TMI) apresentou comportamento similar a RMM no período analisado, com linha de tendência igualmente decrescente (Gráfico 2).

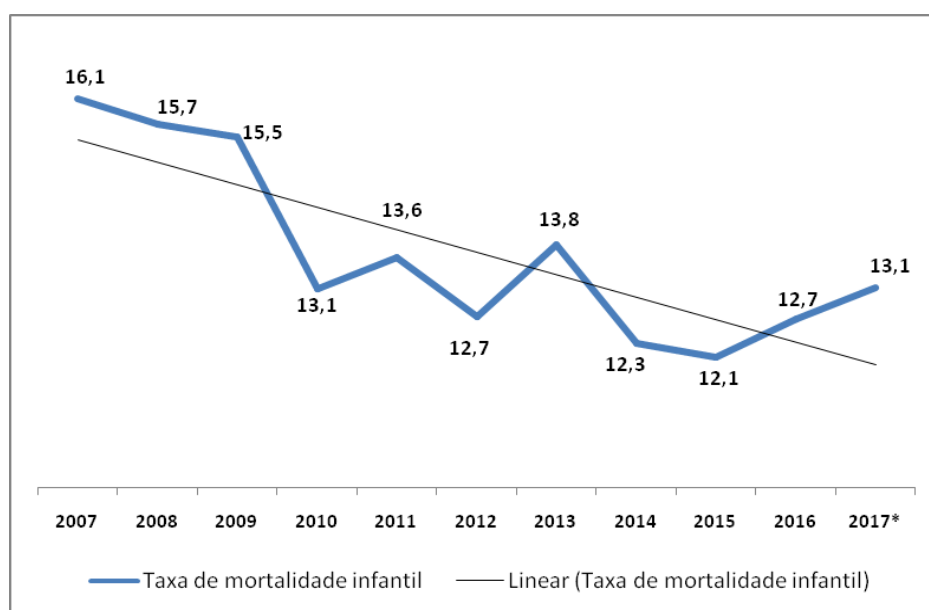
No Gráfico 2, pode se verificar que o valor da TMI no ano de 2013, ano seguinte a implantação da Rede Cegonha, também apresentou elevação, chegando a 13,8 por mil nascidos vivos; reforçando a hipótese de melhoria na qualidade das informações produzidas após a implantação de protocolos de notificação e investigação de óbitos abordados nos treinamentos da Rede Cegonha (ALBUQUERQUE, MARTINS, 2017).

Entre os anos 2014 e 2015, este indicador também sofreu redução, apresentando a menor taxa da série estudada neste último ano, com 12,1 por mil nascidos vivos. Já nos anos 2016 e 2017

a TMI apresentou novo acréscimo, com 12,7 e 13,1 por mil nascidos vivos respectivamente (Gráfico 2).

É possível que este valor do ano de 2017 ainda sofra novos aumentos, baseado em estudos que contextualizam o impacto dos cortes de recursos nas políticas públicas (COLLUCCI, 2018) e também no fato de a base de dados deste ano ainda estar sujeita à alterações.

Gráfico 2 - Taxa de mortalidade infantil. Ceará, 2007 a 2017*



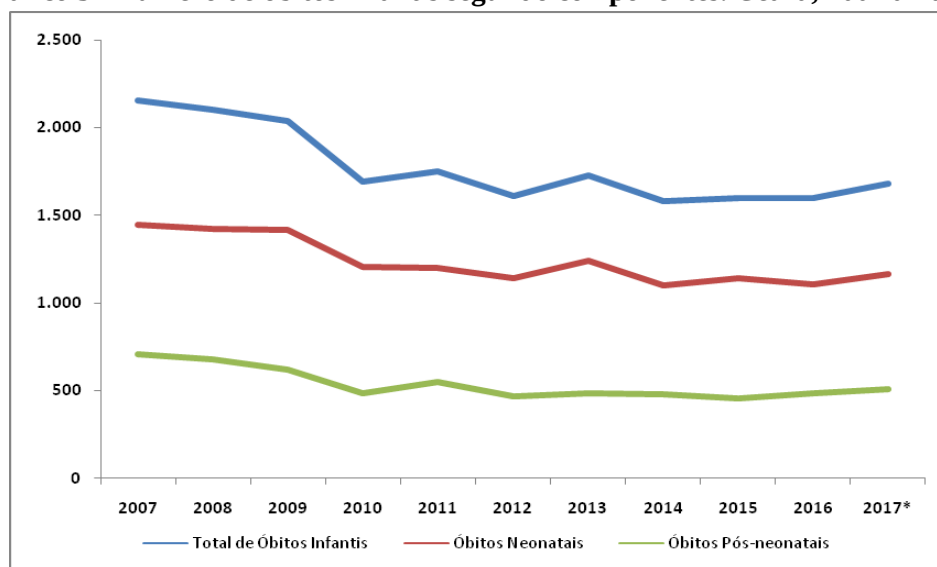
Fonte: Sistema de Informação sobre Mortalidade – SIM.

*2017 – Dados sujeitos à alteração.

O Gráfico 3 apresenta os números de óbitos infantis segundo componentes e demonstra a predominância dos óbitos neonatais em todo o período analisado. Os dois componentes, neonatal e pós-neonatal, apresentaram discreto aumento no último ano do estudo.

Em todo o mundo, o componente neonatal vem sendo o mais representativo na análise da mortalidade infantil. O estudo da Carga Global de Doenças indica que no ano de 2015 a taxa de mortalidade neonatal foi de 18,62 por mil nascidos vivos, enquanto o componente pós-neonatal apresentou uma taxa de 12,16 por mil nascidos vivos. Apesar da tendência de redução global da mortalidade infantil, no componente neonatal este decréscimo vem acontecendo em ritmo mais lento (GBD, 2016).

Gráfico 3 - Número de óbitos infantis segundo componentes. Ceará, 2007 a 2017*



Fonte: Sistema de Informação sobre Mortalidade – SIM.

*2017 – Dados sujeitos à alteração.

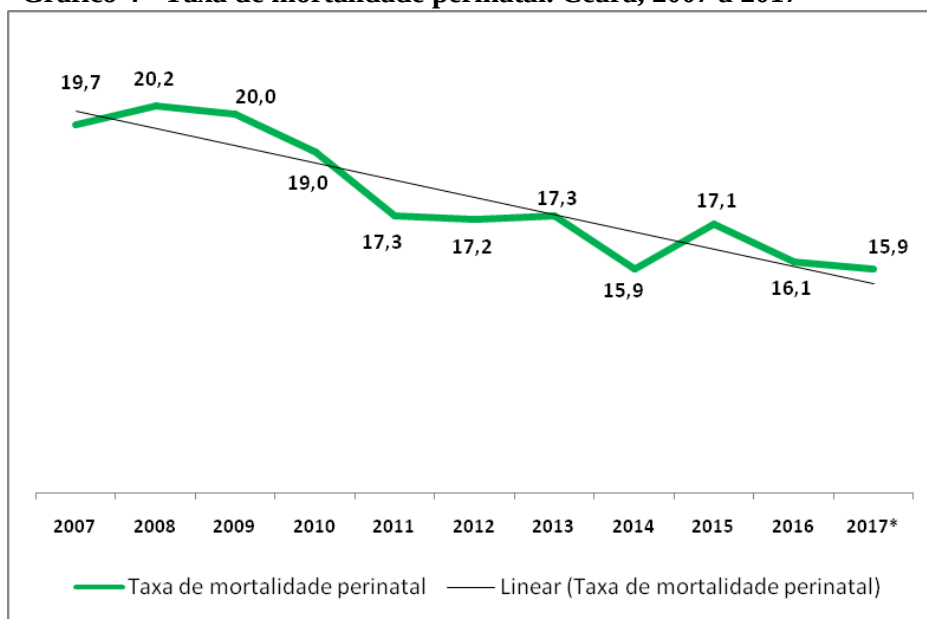
Mortalidade Perinatal

A mortalidade perinatal é composta pelo somatório do número de óbitos fetais e o número de óbitos neonatais precoces, visto que estes guardam relação causal direta. Representa uma medida de extrema importância, uma vez que está intimamente relacionada à atenção pré-natal e ao parto (REGO et al, 2018).

Apesar de apresentar valores superiores ao da TMI, a tendência da taxa de mortalidade perinatal foi decrescente no período analisado. No entanto, o comportamento deste indicador oscilou bastante após a implantação da Rede Cegonha, apresentando o pico de 17,3 por mil nascimentos em 2015 e os menores valores de 15,9 por mil nascimentos nos anos de 2014 e 2017 (Gráfico 4).

Sabe-se que mais da metade dos óbitos neonatais e fetais partilham do mesmo caráter evitável de suas causas, geralmente relacionadas ao pré-natal, ao manejo obstétrico e às horas que antecedem o parto. Com o adendo de que no Brasil os óbitos fetais acontecem em maior número do que os óbitos neonatais precoces (SILVA et al, 2016).

Gráfico 4 - Taxa de mortalidade perinatal. Ceará, 2007 a 2017*



Fonte: Sistema de Informação sobre Mortalidade – SIM.

*2017 – Dados sujeitos à alteração.

De modo geral, foi possível observar uma tendência decrescente dos indicadores analisados após o período de implantação da Rede Cegonha. No entanto, destacamos o recrudescimento principalmente da mortalidade materna e infantil nos últimos dois anos do estudo.

Discussão

Os achados deste estudo apontam que houve uma redução dos indicadores de mortalidade materno-infantil analisados nos anos subsequentes à implantação da Rede Cegonha. Os indicadores que demonstraram maior declínio foram mortalidade materna e infantil. Embora tenha sido levado em consideração somente a variável tempo, de modo a analisar o período antes e depois de sua implantação, é possível inferir que a Rede Cegonha teve repercussão positiva no comportamento dos indicadores analisados. Apesar de a redução de indicadores poder ser decorrente de multifatorialidade de programas sociais associados à Rede Cegonha.

Na última década alguns programas foram fundamentais para a melhoria da saúde de crianças e adolescentes no país, como o Programa Nacional de Alimentação Escolar (Pnae), com garantia de acesso à alimentação saudável de crianças pobres na pré-escola, expansão da Estratégia Saúde da Família, Mais Médicos, Bolsa Família, Programa Saúde na Escola,

articulando ações das equipes de atenção básica e educação, o Plano Juventude VIVA, no enfrentamento dos homicídios contra jovens negros, a estruturação da Vigilância de Violências e Acidentes (VIVA), com a notificação compulsória das violências domésticas e as redes de proteção à infância e, especificamente voltada para a atenção à saúde materno-infantil, a Rede Cegonha. Essas ações resultaram em melhorias de indicadores, como o alcance das metas do milênio de redução em dois terços da mortalidade infantil em 2015 (MALTA, 2019).

Um estudo realizado no semiárido brasileiro demonstra que programa de transferência de renda (Programa Bolsa Família) e a garantia para a população de acesso aos serviços públicos de saúde (ESF) também tiveram um papel significativo sobre a redução da mortalidade infantil, o que decorreu em função do aumento da cobertura de ambos os programas. As intervenções governamentais, o aumento da cobertura de consultas pré-natal e a redução dos níveis de fecundidade têm contribuído, significativamente, para a diminuição da mortalidade infantil no Semiárido brasileiro. Para manter o quadro de redução, é imprescindível que sejam reforçadas medidas, tais como: redução do analfabetismo de pessoas com 15 anos ou mais, e maior atenção ao fornecimento de água e condições de saneamento dos domicílios (SILVA e PAES, 2019).

Entretanto, nos últimos anos, os indicadores retrocederam em função da crise econômica/política, as medidas de austeridade fiscal, os cortes nos programas de proteção social.

O aumento do desemprego e da pobreza impactaram imediatamente as crianças, com o retorno de doenças imunopreveníveis, como o sarampo, o aumento da mortalidade infantil em 2016, após um ciclo de 15 anos ininterruptos de queda (MALTA, 2019; RASELLA, 2018).

A mortalidade infantil no Brasil subiu pela primeira vez em mais de um quarto de século em 2016, mesmo ano em que um aumento da mortalidade materna foi observada. A literatura internacional mostra que a mortalidade materna e infantil são sempre os primeiros indicadores desencadeados nestes tempos de crise (COLLUCCI, 2018).

Comportamento semelhante ocorreu na série histórica analisada no presente estudo, quando os indicadores de mortalidade materna e infantil apresentaram crescimento, mais especificamente nos anos de 2016 e 2017.

Pesquisas demonstraram que a redução da mortalidade infantil decorre da atuação de vários setores. Por outro lado, ao estabelecer o fornecimento de uma renda regular mínima

para famílias pobres mediante certas condicionalidades, possibilitaram-se importantes avanços em áreas essenciais da vida das pessoas do semiárido, tendo como consequência, uma importante redução nos níveis da TMI (SILVA e PAES, 2019).

Um importante estudo desenvolveu e validou um modelo de simulação a partir da análise de todos os 5.507 municípios brasileiros entre os anos 2017 a 2030 projetando os efeitos da pobreza e das reduções de cobertura do Programa Bolsa Família e Estratégia Saúde da Família devida à atual austeridade fiscal. Os achados indicaram que a atual crise econômica, juntamente com o pacote de medidas de austeridade, pode comprometer novos ganhos na redução da pobreza e as melhorias nos resultados de saúde entre os brasileiros pobres, concluindo, portanto, que a implementação de medidas de austeridade fiscal poderia contribuir para um grande número de mortes infantis evitáveis e hospitalizações em Brasil, ameaçando o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) relacionados à saúde e desigualdades infantis (RASELLA et al, 2018).

Distorções no financiamento das ações da Rede Cegonha também podem ser apontadas como justificativa para este recrudescimento dos indicadores nos últimos anos no Estado.

Uma análise do financiamento das Redes Temáticas observa que dos quatro componentes que compõem a rede, dois não tem financiamento determinado nas portarias da Rede Cegonha – o Puerpério e Atenção Integral à Saúde da Criança e o Sistema Logístico, Transporte Sanitário e Regulação. Já o financiamento previsto para os componentes Pré-natal e Parto e Nascimento são na maior parte direcionados às ações específicas e especializadas (DUARTE, MENDES, 2018).

Esse modelo de financiamento da Rede Cegonha pode ser fator causal da observada baixa qualidade da atenção à gestante, com o não cumprimento do mínimo preconizado pelo PHPN, especialmente nas regiões mais pobres do Brasil.

Estudos demonstram que, apesar da alta cobertura da atenção pré-natal (APN) e de sua institucionalização há muitos anos, em normas e protocolos, no Brasil, ainda persistem problemas de diversas naturezas, principalmente relacionados à qualidade, com potenciais prejuízos à saúde materno-infantil. Estes problemas que devem ser alvo de iniciativas governamentais que garantam atenção integral e de qualidade no ciclo gravídico-puerperal, para que repercutam na melhoria dos indicadores de saúde materno-infantil (MARIO et al, 2019; DUARTE, MENDES, 2018; LUZ, AQUINO, MEDINA, 2018).

Alguns fatores podem contribuir para o alcance de patamares adequados de atenção

à saúde materno-infantil, como o exemplo da experiência bem sucedida do modelo cubano, que destaca a vontade política, a gestão centralizada saúde, a garantia de cobertura universal e equânime, a vigilância em saúde, a intersetorialidade, a participação social, o investimento em saneamento básico e proteção social e o uso de evidências científicas como lições aprendidas ao longo da construção do seu sistema de saúde (SANTANA ESPINOSA, 2018). Salvo as particularidades locais, o Brasil ganharia em investir na implementação e fortalecimento desses fatores.

Por fim, admite-se que, para que a Rede Cegonha consiga atingir plenamente seus objetivos, faz-se necessário uma ação conjunta entre a sociedade civil, profissionais da saúde e o poder público, agindo com o propósito de melhorar a qualidade da assistência prestada à mulher no período gravídico puerperal (NASCIMENTO et al, 2018).

Considerações Finais

Constatou-se neste estudo que os indicadores de mortalidade materno- infantil apresentaram tendência decrescente no período analisado, indicando um importante declínio após a implantação da Rede Cegonha. Esta queda perdurou por aproximadamente dois anos, entre 2014 e 2015. A partir do ano de 2016 a RMM e a TMI voltaram a ascender. Confrontado com a literatura atual, é possível relacionar este achado, entre outros fatores, ao momento de austeridade fiscal e irregularidade de financiamento destinado às importantes políticas públicas sociais e de saúde.

É importante frisar, que a Rede Cegonha é uma estratégia relativamente recente e, por essa razão, não existem muitos trabalhos abordando essa temática.

Assim, faz-se necessário que outros estudos possam ser realizados para que se possa avaliar a qualidade da assistência materno-infantil prestada (NASCIMENTO et al, 2018). Entre os estudos de impacto da Rede Cegonha, já é possível apontar sua efetividade em alguns pontos, como na garantia de melhor diagnóstico de patologias durante o pré-natal, número de consultas e encaminhamento para a assistência pré- natal de alto risco, bem como o aumento de nascimentos dos bebês de risco em hospital de referência. Em detrimento dessas ações, a prematuridade permanece como principal fator de hospitalização em unidade de terapia intensiva neonatal (ANDRADE et al, 2016).

Outro ponto importante aqui colocado como recomendação é a necessidade de sistematizar uma rotina de monitoramento e avaliação de indicadores, com estratégias

analíticas de longo prazo e mais robustas permitiriam a tomada de decisão informada e a ação sobre alguns pontos críticos à prestação de um cuidado efetivo, seguro, adequado, centrado no paciente, equânime e igualmente eficiente no uso dos recursos (ALBUQUERQUE, MARTINS, 2017), para que as políticas públicas possam ser constantemente monitoradas e avaliadas. Destacamos, portanto, a importância da coleta regular e adequada de dados e do monitoramento e avaliação sistemática de indicadores como indicativo da evolução das intervenções em saúde.

Espera-se que os achados deste estudo possam promover a avaliação e aperfeiçoamento das políticas de atenção à saúde materno-infantil no Estado, em especial a Rede Cegonha, para onde direcionamos as análises, com vistas ao resgate do perfil positivo dos indicadores de saúde materno-infantil.

Referências

ALBUQUERQUE, C.; MARTINS, M. Indicadores de desempenho no Sistema Único de Saúde: uma avaliação dos avanços e lacunas. *Saúde debate* [online], vol.41, n.spe, pp.118-137, 2017.

ANDRADE, S. M. A. S., et al. Impacto da implantação da Rede Cegonha nas hospitalizações em Unidade de Terapia Intensiva Neonatal. *Rev Rene*, v. 17, n. 3, p. 310-317, mai/jun 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância de Doenças e Agravos Não Transmissíveis e Promoção da Saúde. *Saúde Brasil 2015/2016: uma análise de saúde e da epidemia pelo vírus Zika e por outras doenças transmissíveis pelo Aedes aegypti*. Brasília: Ministério da Saúde, 2016. 386p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. Portaria nº 1.459, de 24 de junho de 2011. Institui, no âmbito do Sistema Único de Saúde - SUS - a Rede Cegonha. Brasília: Ministério da Saúde; 2011a.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Lei nº 12.527, de 18 de novembro de 2011 – Lei de Acesso à Informação. Brasília: Casa Civil, 2011d.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 1.119, de 5 de junho de 2008. Regulamenta a

Vigilância de Óbitos Maternos. Brasília: Ministério da Saúde, 2008.

CEARÁ, Secretaria da Saúde, Governo do Estado do Ceará. Resolução n.º 18/2012 – CIB, de 03 de fevereiro de 2012. Homologa o Plano Estadual de Estruturação da Rede Cegonha do Estado do Ceará no período de 2012 a 2014. Ceará, 2012.

COLLUCCI C. Brazil's child and maternal mortality have increased against background of public spending cuts. *BMJ*, v. 362, 2018.

DUARTE L. S., MENDES A. N. Questão territorial, processo de regionalização do SUS e financiamento das redes temáticas. *Revista Brasileira em Promoção da Saúde*, v. 31, n. 4, p. 1-12, out./dez., 2018.

FRANÇA, G. V. A. et al. Coverage and equity in reproductive and maternal health interventions in Brazil: impressive progress following the implementation of the Unified Health System. *International journal for equity in health*, v. 15, n. 1, p. 149, Nov, 2016.

GBD 2015 Maternal Mortality Collaborators. Global, regional, and national levels of maternal mortality, 1990–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *The Lancet*, v. 388, n. 10053, p.1775–1812, oct. 2016.

LANSKY, S.; et al. Pesquisa Nascer no Brasil: perfil da mortalidade neonatal e avaliação da assistência à gestante ao recém-nascido. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 30, suppl.1, p. S192-S207, 2014.

LEAL, M. C. Parto e nascimento no Brasil: um cenário em processo de mudança. [Editorial] *Cadernos de Saúde Pública*, v. 34, n. 5, 2018.

LEAL, M. C. et al. Saúde reprodutiva, materna, neonatal e infantil nos 30 anos do Sistema Único de Saúde (SUS). *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 23, n. 6, p. 1915-1928, 2018.

LEITE, A.J.M.; CUNHA, A.J.L.A.; VICTORA, C.G. Epidemiologia da Saúde da Criança. In: ROUQUAYROL, Z.; SILVA, M.G.C. (Orgs.) *Epidemiologia & Saúde*. 8ª ed. Rio de Janeiro: MedBook, 2018. 752p.

LIMA, J.C.; et al. Estudo de base populacional sobre mortalidade infantil. *Ciência e Saúde Coletiva*, v. 22, n. 3, p. 931-939, 2017.

LOURENÇO, E.C.; BRUNKEN, G.S.; LUPPI, C.G. Mortalidade infantil neonatal: estudo das causas evitáveis em Cuiabá, Mato Grosso, 2007. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 22, n. 4, p. 697-706, 2013.

LUZ, L. A., AQUINO, R., MEDINA, M. G. Avaliação da qualidade da Atenção Pré- Natal no Brasil. *Saúde debate* [online], v. 42, n.spe2, p.111-126, 2018.

MALTA, D. C. Children and Adolescents, austerity policies and the commitments of the 2030 Agenda. [Editorial] *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 24, n. 2, p. 348, 2019.

MARIO, D. N. et al. Quality of Prenatal Care in Brazil: National Health Research 2013. *Ciênc. saúde coletiva*, v. 24, n. 3, p. 1223-1232, mar, 2019.

MARTINELLI, K.G.; et al. Adequação do processo da assistência pré-natal segundo os critérios do Programa de Humanização do Pré-natal e Nascimento e Rede Cegonha. *Revista Brasileira de Ginecologia e Obstetrícia*, v. 36, n. 2, p. 56-64, 2014.

NASCIMENTO, J. S. et al. Assistência à Mulher no Pré-Natal, Parto e Nascimento: Rede Cegonha. *Revista Portal: Saúde e Sociedade*, v. 3, n. 1, p. 994-709, 2018.

NASCIMENTO, S.G.; et al. Mortalidade infantil por causas evitáveis em uma cidade do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Enfermagem*, v. 67, n. 2, p. 208-212, 2014.

PASCHE, D. F.; et al. Rede Cegonha: desafios de mudanças culturais nas práticas obstétricas e neonatais. *Divulgação em Saúde para Debate*, n. 52, p. 58-71, 2014.

RASELLA D., et al. Child morbidity and mortality associated with alternative policy responses to the economic crisis in Brazil: A nationwide microsimulation study. *PLoS Med*, v. 15, n. 5, e1002570, 2018.

REGO, M. G. S., et al. Perinatal deaths preventable by intervention of the Unified Health System of Brazil. *Revista Gaúcha de Enfermagem* [online], v. 39, e2017- 0084, 2018.

RODRIGUES, N.C.P.; et al. Temporal and spatial evolution of maternal and neonatal mortality rates in Brazil, 1997-2012. *Jornal de Pediatria*, v.92, n.6,p. 567-573, 2016.

SANTANA ESPINOSA M. C., et al. Atención a la salud maternoinfantil en Cuba: logros y desafíos. *Rev Panam Salud Publica*, v. 42, e27, 2018.

SARTORELLI, A.P.; et al. Fatores que contribuem para a mortalidade infantil utilizando a mineração de dados. *Revista Saúde e Pesquisa*, Maringá (PR), v. 10, n. 1, p. 33-41, 2017.

SILVA E. S. A., PAES N. A. Programa Bolsa Família e a redução da mortalidade infantil nos municípios do Semiárido brasileiro. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 24, n. 2, p. 623-630, 2019.

SILVA, A.V.S.; et al. Impacto da mortalidade infantil na atenção à saúde da criança e da mulher. In: MOREIRA, T.M.M.; et al. (Orgs.). *Manual de Saúde Pública*. Salvador: SANAR, 2016. 419p.

SZWARCWALD, C.L. et al. Estimação da razão de mortalidade materna no Brasil, 2008-2011. *Cadernos de Saúde Pública*, vol.30, suppl.1, p.S71-S83, 2014.

4.2 ARTIGO 2

Avaliação de impacto da implantação dos Centros de Parto Normal sobre o parto cesárea no Ceará³⁹

Resumo

O objetivo deste estudo é o de avaliar o impacto da implantação dos Centros de Parto Normal (CPNs) da Rede Cegonha sobre a proporção de partos cesárea no Ceará. Explorando a expansão dessa infraestrutura voltada para o parto humanizado em diferentes regiões de saúde do Ceará entre 2013 e 2017, foi possível estimar o efeito tratamento médio por meio do método de Diferenças em Diferenças. Os resultados mostram uma redução média de aproximadamente 2,8 pontos percentuais na proporção de nascimentos via parto cesárea em decorrência da implantação de sete CPNs no Ceará. Além disso, a análise de custo-benefício para a disponibilização dos CPNs sugere que tal infraestrutura de saúde é viável economicamente para o orçamento público, gerando uma economia anual de R\$ 431 mil. Desta forma, a expansão da Rede Cegonha no Ceará através da implantação de CPNs nas demais regiões de saúde poderia mudar positivamente o atual cenário de epidemia de cesáreas no Estado.

Palavras-chave: Rede Cegonha, Política Pública, Parto Normal, Cesárea

Introdução

Acompanhando o cenário mundial, o Brasil vem apresentando nos últimos anos o comportamento crescente do número de cesáreas, especialmente de procedimentos sem indicação clínica. Um recente estudo internacional analisando dados de 169 países indica que o número de nascimentos por cesáreas no ano de 2015 foi quase o dobro do número de nascimentos por este método em 2000; destacando o Brasil no ano de 2015 com 56% dos nascimentos por esta via de parto (BOERMA et al, 2018), sendo registrado o maior percentual no setor privado de saúde (BETRÁN et al, 2018). Esse valor encontra-se bem acima do preconizado pela Organização Mundial de Saúde (OMS) que indica como taxa ideal de cesárea entre 10 a 15% (WHO, 2018).

³⁹ Artigo a ser submetido ao periódico “Cadernos de Saúde Pública”. Qualis A2 na Saúde Coletiva.

É indiscutível que uma cesariana, quando indicada clinicamente, é uma intervenção que pode salvar vidas. No entanto, o uso crescente e indiscriminado deste procedimento também pode levar a complicações de saúde para mulheres e crianças. Estudos demonstram que pode haver um maior risco de desfecho materno grave (incluindo óbito materno) com cesárea do que com parto vaginal, especialmente com a sua realização eletiva; sugerindo, portanto, que devem ser realizadas quando há indicação clara e quando os seus benefícios superem os riscos à saúde materno-infantil e os custos mais elevados do procedimento (FAHMY, CRISPIM, CLIFFE, 2018; SANDALL et al, 2018; MASCARELLO et al, 2018).

Além das repercussões clínicas para a saúde materno-infantil, as cesáreas representam um impacto financeiro considerável no âmbito do Sistema Único de Saúde. Estimativas comprovam que a taxa de cesarianas em excesso projetada de 2016 a 2020 geraria um impacto de mais de US\$ 80 milhões ao ano no SUS (ENTRINGER et al, 2018a). Análises de custos e de impacto orçamentário do parto vaginal e da cesariana eletiva revelam que o procedimento cirúrgico possui um custo 38% superior ao do parto vaginal, sendo os recursos humanos o principal direcionador desse custo nos dois procedimentos (ENTRINGER et al, 2017).

Entre as políticas públicas que visam contribuir para o aperfeiçoamento da rede de atenção à saúde materno-infantil no país destaca-se a Rede Cegonha, lançada por meio da Portaria nº 1459 de 24 de junho de 2011, e que traz em seu escopo o desenvolvimento de ações em quatro componentes: pré-natal, parto e nascimento, puerpério e atenção integral à saúde da criança e sistema logístico (transporte sanitário e regulação) (BRASIL, 2011).

Especificamente no componente parto e nascimento uma das principais iniciativas da Rede Cegonha e que surge como importante estratégia de redução das elevadas taxas de cesáreas é a implantação dos Centros de Parto Normal (CPN), que tem como finalidade de prestar atendimento à mulher e ao recém nascido no momento do parto e do nascimento de risco habitual, tendo como premissa a atenção humanizada ao parto e nascimento, com respeito ao parto como experiência pessoal, cultural, sexual e familiar, fundamentada no protagonismo e autonomia da mulher, que participa ativamente com a equipe das decisões referentes ao seu parto (BRASIL, 2015).

Desse modo, CPN representam uma alternativa viável para mulheres com gravidez de risco habitual, uma vez que estudos conseguem identificar desfechos favoráveis para este público assistido pelo equipamento, além de atender a uma demanda cada vez mais crescente de mulheres que buscam um parto normal humanizado (FAHMY, CRISPIM, CLIFFE, 2018;

TEIXEIRA, PINHEIRO, NOGUEIRA, 2018). Logo, os CPN, juntamente como o Projeto Parto Adequado que visa a valorização do parto normal e a redução o percentual de cesarianas sem indicação clínica na saúde suplementar (BRASIL, 2016), são considerados importantes apostas do Ministério da Saúde em busca da redução das taxas de cesáreas no país (BARROS et al, 2015).

Fazendo jus a seu histórico de pioneirismo, o Estado do Ceará, reconhecido nacionalmente pela primeira iniciativa de implantação do Programa de Agentes Comunitários de Saúde (PACS), que futuramente seria ampliado para o Programa de Saúde da Família (PSF), além da constituição de um exitoso sistema de regionalização em saúde (MENDES, 2010); se destaca mais uma vez como um dos primeiros a iniciar o processo de implantação da Rede Cegonha mediante a elaboração do Plano Estadual de Estruturação da Rede Cegonha no Estado do Ceará - 2012 a 2014 (CEARÁ, 2012). A partir de então o Estado iniciou a implantação e habilitação dos Centros de Parto Normal, que até o ano de 2017 contava com uma rede composta por sete destes equipamentos em funcionamento.

Neste sentido, diante da necessidade e da importância da avaliação de políticas públicas para o aperfeiçoamento das mesmas, o presente trabalho objetivou verificar o impacto da implantação dos CPN sobre número de partos cesárea no Estado do Ceará.

Método

Modelo Empírico

No intuito de estimar o impacto dos Centros de Parto Normal (CPN) sobre os nascimentos via parto cesárea, o presente estudo explora a implantação não simultânea desta infraestrutura da Rede Cegonha em diferentes anos e regiões de saúde do Ceará.

A estrutura de organização em redes de atenção voltadas primordialmente para o fortalecimento da atenção primária em saúde, aliados ao avançado processo de desenvolvimento da Rede Cegonha, justificam a escolha do Ceará como cenário do presente estudo.

A Tabela 1 apresenta as portarias do Ministério da Saúde, as quais habilitam a operação de sete CPN na respectiva unidade da federação entre 2013 e 2017. Um total de 53 dos 184 municípios passaram a usufruir dos serviços ofertados pelos CPN, sendo assim considerados como municípios “tratados”.

Tabela 1 - Habilitações de Centros de Parto Normal no Ceará entre 2013 e 2017.

Região de Saúde (RS)	Data da Habilitação	Nº da Portaria MS	Municípios da RS
Tauá (14ª)	05/11/2013	2623	4
Limoeiro do Norte (10ª)	02/10/2015	1673	11
Maracanaú (3ª)	05/10/2015	1649	8
Itapipoca (6ª)	05/10/2015	1649	7
Tianguá (13ª)	05/10/2015	1649	8
Crateús (15ª)	05/10/2015	1649	11
Fortaleza (1ª)	16/06/2017	1491	4

Fonte: Biblioteca Virtual em Saúde do Ministério da Saúde.

Os demais 131 municípios das regiões de saúde sem CPN formam o grupo “controle”. Nesse sentido, o efeito tratamento médio (ETM) da implantação dos CPN sobre a proporção de partos cesárea no Ceará pode ser estimado via método de Diferenças em Diferenças (DD) (ANGRIST, PISCHKE, 2009). Tal método se adequa perfeitamente ao propósito do presente estudo, pois permite estimar o efeito causal a partir da comparação entre municípios de regiões de saúde beneficiadas e não beneficiadas com a infraestrutura de apoio ao parto humanizado, antes e depois da intervenção, ou seja, antes e depois da habilitação dos CPN. Segundo o método DD, pode-se explicar a proporção de nascimentos via parto cesárea através da seguinte forma linear, isto é,

$$Y_{mt} = \alpha + \rho CPN_{mt} + X_{mt}\Gamma + Tempo + \lambda_m + (\lambda_m \times Tempo) + \varepsilon_{mt} \quad (1)$$

onde Y_{mt} é a proporção de nascidos vivos via partos cesárea do município m no ano t . A variável de interesse é variável explicativa CPN_{mt} , a qual assume valor 1 para municípios das 7 regiões de saúde beneficiadas (ou tratados) a partir do ano de habilitação, e 0 para os municípios de regiões de saúde não beneficiadas (ou controle). Logo, o coeficiente ρ captura o ETM da implantação dos CPNs na proporção de partos cesárea no Ceará.

Assume-se, então, que na ausência da intervenção (isto é, da implantação dos CPN), as diferenças na proporção de parto cesárea entre municípios tratados e controle deveriam manter-se constantes.

Ademais, o termo *Tempo* captura mudanças na tendência histórica da proporção de partos cesáreas no Ceará entre 2007 e 2017. Já o termo λ_m captura os fatores não observáveis dos municípios, os quais são fixos no tempo e explicam as diferenças na proporção de parto

cesárea. A interação entre os termos λ_m e *Tempo* captura mudanças específicas para municípios com respeito à variável dependente. Finalmente, o termo ε_{mt} é o erro aleatório, o qual é assumido ser normalmente distribuído com média zero e variância finita.

Todavia, a proporção de nascimentos via parto cesárea nas regiões de saúde do Ceará pode ser explicada por fatores externos à implantação dos CPN, mas cuja omissão pode levar a estimativas incorretas devido ao problema de supressão de variáveis. No Brasil, o número de partos cesárea está associado não somente às características socioeconômicas e demográficas das gestantes, como também à disponibilidade de infraestrutura de saúde dos municípios (BARROS et al, 2015). Logo, o vetor de variáveis explicativas é X_{mt} , o qual inclui: a proporção de crianças com baixo peso ao nascer (peso ao nascer < 2.500 g), a proporção de recém-nascidos de mães com idade menor do que 20 anos, a proporção de recém-nascidos de mães com menos de 8 anos de estudos, proporção de recém-nascidos de mães casadas ou em união consensual, número de equipes do programa Saúde da Família por habitante, e número de leitos neonatais (hospitalares) por nascido vivo.

Os dados utilizados no estudo provêm do Departamento de Informática do SUS (DATASUS), que reúne dados administrativos de diversos sistemas de informação do Ministério da Saúde. Particularmente, a maior parte das variáveis é oriunda do Sistema de Nascidos Vivos (SINASC) e do Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES). As variáveis foram geradas para os 184 municípios do Ceará entre os anos de 2007 e 2017, resultando em 2.024 observações.

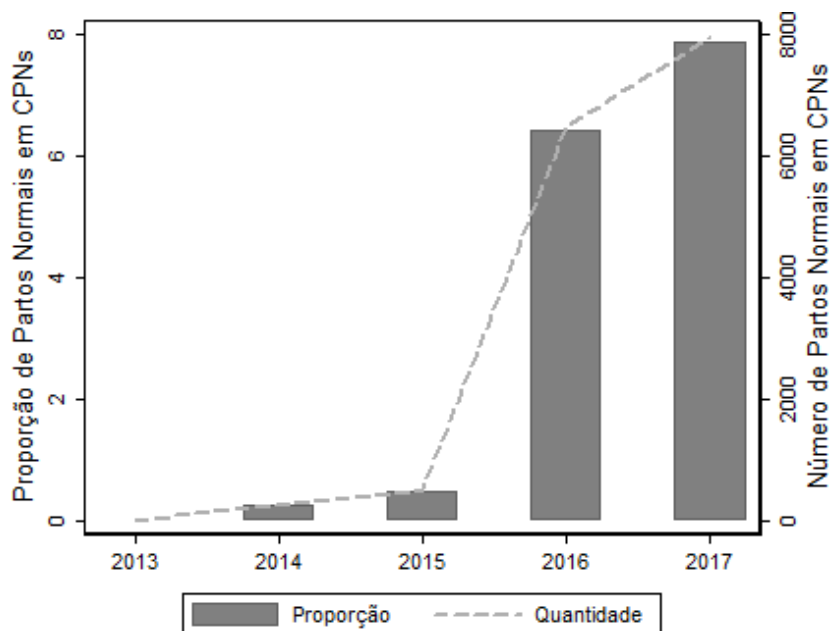
Resultados

Como uma das principais estratégias da Rede Cegonha, a implantação dos Centros de Parto Normal no Ceará se deu a partir da organização e estruturação da Rede em 2012. O CPN do município de Tauá foi o primeiro a ser habilitado à Rede Cegonha no ano de 2013. Desde então, o número de partos normais realizados em CPN no Estado apresentou aumento considerável, passando de 261 no ano de 2014 para 7.967 partos normais no ano de 2017, representando 8% do total de partos realizados pelo SUS neste último ano (Gráfico 1).

Este achado indica que os CPN vêm alcançando a adesão das gestantes de risco habitual e repercutindo positivamente no comportamento de nascimentos por parto normal no Estado. Ressaltando que o CPN instalado no município atende a demanda de toda a região de saúde do mesmo, possibilitando a capilaridade da oferta do serviço a um maior número de

gestantes.

Gráfico 1 - Proporção de partos normais em CPNs em relação ao total de partos realizados pelo Sistema Único de Saúde no Ceará, 2013 a 2017



Fonte: Sistema de Informação Hospitalar – SIH/DATASUS

Além do resultado discutido acima associado à produção dos CPN, o Gráfico 2 apresenta a comparação do comportamento da proporção de partos cesárea entre os municípios das regiões de saúde beneficiadas com CPN e municípios de regiões de saúde não beneficiadas com CPN entre os anos de 2007 e 2017.

A análise demonstra o comportamento similar ascendente da proporção de cesáreas em ambos os grupos até o ano de 2012, período anterior a habilitação do primeiro CPN no Ceará; ocasião em que a diferença na proporção de nascidos vivos de parto cesárea entre municípios beneficiados e não beneficiados variou de 8,4 a 11,6 pontos percentuais (Gráfico 2).

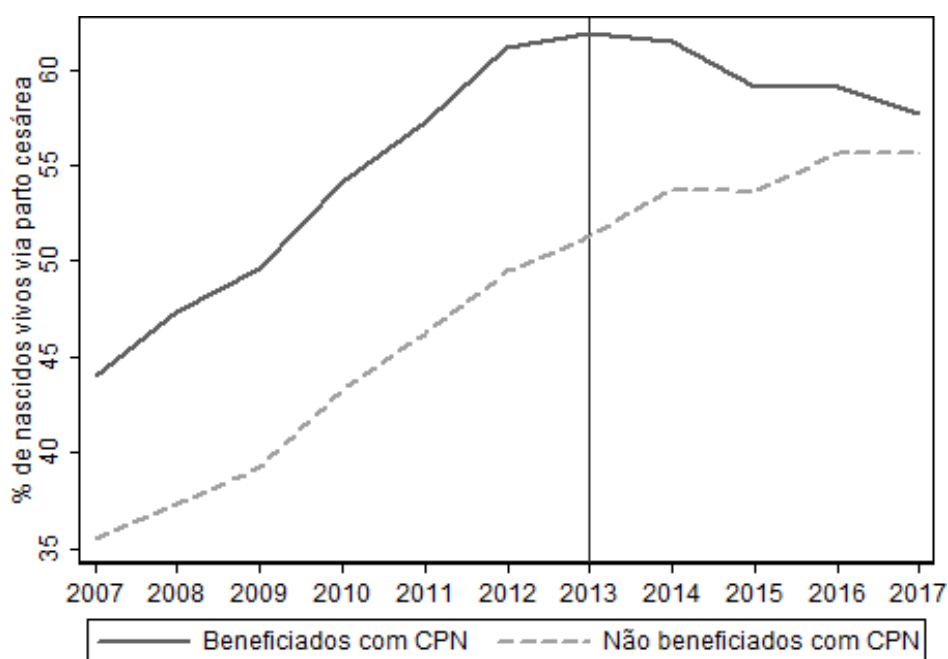
A partir de então, no período pós implantação dos CPN, observa-se um evidente decréscimo desta proporção entre os municípios beneficiados com o CPN, ao mesmo tempo em que a tendência permanece ascendente entre os municípios não beneficiados; o que levou a uma queda na diferença de 10,6 para 2,0 pontos percentuais entre 2013 e 2017 (Gráfico 2).

Destacamos a nítida mudança na tendência temporal da proporção de nascidos vivos via parto cesárea em municípios de regiões de saúde com CPN, passando de crescente (2007-2013) para decrescente (2013-2017); ao mesmo tempo em que tendência temporal deste

indicador permanece crescente para municípios de regiões de saúde sem CPN ao longo de todo o período analisado (2007-2017) (Gráfico 2).

Este importante resultado indica que os CPN são capazes de repercutir na proporção de partos cesáreas em todo o Estado, a partir da oferta de um serviço qualificado e humanizado de atenção ao parto de gestantes de risco habitual, como também promovendo um movimento de sensibilização de profissionais de saúde e usuários voltados à assistência humanizada, gerando assim, uma maior aceitação à via de parto vaginal.

Gráfico 2 - Proporção de nascidos vivos via parto cesárea para municípios de regiões de saúde beneficiadas com CPN, e para municípios de regiões de saúde não beneficiadas. Ceará, 2007 a 2017.



Fonte: Sistema
SINASC/DATASUS

A Tabela 2, por sua vez, apresenta a média e desvio padrão para o conjunto de variáveis controle do estudo, correspondendo ao período anterior a habilitação do primeiro CPN no Ceará (2007-2012). Nessa tabela, algumas diferenças são estatisticamente significativas, podendo explicar em parte as diferenças na proporção de nascidos vivos via parto cesárea entre municípios de regiões beneficiadas com CPN e municípios de regiões não beneficiadas no período pré-intervenção. Por exemplo, os municípios de regiões beneficiadas possuem menor proporção de mães menos escolarizadas, menor proporção de mães casadas ou vivendo em união consensual, e menor cobertura das equipes do Programa Saúde da Família em relação ao total de nascidos vivos da localidade.

Tabela 2 - Média e desvio padrão das variáveis explicativas para municípios beneficiados e não beneficiados com CPNs entre 2007 e 2012.

	Todos	Beneficiados (A)	Não Beneficiados (B)	Diferença (A-B)
% de nascidos vivos com baixo peso ao nascer	5,98 (1,78)	6,01 (1,79)	5,97 (1,78)	0,04
% de nascidos vivos de mães com menos de 7 anos de estudos	49,21 (11,02)	47,93 (10,79)	49,84 (11,08)	-1,91***
% de nascidos vivos de mães com menos de 20 anos de idade	22,91 (3,37)	23,16 (3,34)	22,79 (3,37)	0,37
% de nascidos vivos de mães casadas ou vivendo em união consensual	41,79 (16,71)	38,62 (15,91)	43,37 (16,89)	-4,75***
Equipes de saúde da família por 1.000 nascidos vivos	20,62 (8,23)	19,88 (9,87)	20,99 (7,26)	-1,11**
Número de leitos neonatal por 1.000 nascidos vivos	14,18 (15,04)	13,41 (15,68)	14,56 (14,71)	-1,15
Observações	1.104	366	738	

Desvio padrão entre parênteses.

** p-valor < 0,05, *** p-valor < 0.01.

Outro importante aspecto a ser discutido no presente estudo diz respeito aos fatores que influenciaram a alocação dos CPN nas regiões de saúde do Ceará, a escolha das regiões beneficiadas não se deu de maneira aleatória. A Tabela 3 apresenta o Modelo *Logit*, cuja variável dependente é se o município foi beneficiado com CPN em sua região de saúde () entre 2012 e 2017. O intuito deste modelo é o de verificar se a alocação dos CPNs no Ceará está associada: i) às mudanças prévias na proporção de nascidos vivos via parto cesárea; ii) às características sociodemográficas e de saúde dos nascidos vivos e de suas respectivas mães anteriores à intervenção (2007 a 2012); iii) ao nível de desenvolvimento humano, taxa de fecundidade e urbanização dos municípios em 2010; e iv) ao alinhamento partidário entre municípios e governo estadual entre 2012 e 2013.

Tabela 3 - Estimativas do MLP para municípios de regiões de saúde beneficiadas com CPNs entre 2012 e 2017.

	Efeito Marginal	IC95%
Mudanças pré-habilitação dos CPNs		
% de nascidos vivos via parto cesárea (Δ_{t-1})	-0,0013	(-0,0052;0,0026)
Características sociodemográficas e de saúde entre 2007 e 2012		
% de nascidos vivos via parto cesárea	0,0018	(-0,0021;0,0058)
% de nascidos vivos com baixo peso ao nascer	-0,0197	(-0,0472;0,0078)
% de nascidos vivos de mães com menos de 7 anos de estudos	0,0004	(-0,0040;0,0048)
% de nascidos vivos de mães com menos de 20 anos de idade	0,0177***	(0,0061;0,0292)
% de nascidos vivos de mães casadas ou em união consensual	-0,0008	(-0,0028;0,0011)
Equipes de saúde da família por 1.000 nascidos vivos	-0,0097**	(-0,0180;-0,0013)
Número de leitos neonatal por 1.000 nascidos vivos	-0,0009	(-0,0035;0,0017)
Características dos municípios em 2010		
Taxa de urbanização	-0,0029**	(-0,0058;-0,0001)
Taxa de fecundidade	-0,0157	(-0,1268;0,0954)
Índice de Desenvolvimento Humano	0,7307	(-0,4321;1,8935)
População entre 10.0000 e 20.0000 habitantes	0,0701	(-0,0236;0,1638)
População entre 20.0000 e 50.0000 habitantes	0,0162	(-0,0842;0,1166)
População acima de 50.000 habitantes	0,0161	(-0,1209;0,1530)
Alinhamento partidário entre prefeituras e governo do estado	0,0076	(-0,0984;0,1137)
Tendência linear	0,0939***	(0,0518;0,1360)
Teste de significância conjunta		
Características sociodemográficas e de saúde(2007-2012)		23,26***
Características dos municípios em 2010		10,51
Pseudo-R ²		0,33
Teste Wald		106,89***
Observações		1.104

Erro padrão ponderado pelo número de nascidos vivos dos municípios por ano.

** p-valor < 0,05, *** p-valor < 0,01.

Os resultados mostram que a alocação de CPN é influenciada pela maior proporção de mães jovens em municípios com menor cobertura das equipes do programa Saúde da Família em relação ao total de nascidos, e com baixa taxa de urbanização. A tendência linear positiva mostra que ao longo dos anos há um crescimento da probabilidade dos municípios serem beneficiados com CPN no Ceará.

Diante do exposto, a Tabela 4 apresenta a estimativa para o efeito tratamento médio da implantação dos CPN sobre a proporção de nascimentos via parto cesárea no Ceará com base na estimação da equação (1).

Tabela 4 - Estimação do efeito da implantação dos CPNs sobre a proporção de nascidos vivos via parto cesárea no Ceará

	Coefficientes	IC95%
Implantação dos CPNs	-4,6205***	(-6,3044;-2,9365)
% de nascidos vivos com baixo peso ao nascer	0,1163***	(0,0284;0,2041)
% de nascidos vivos de mães com menos de 7 anos de estudos	-0,1334**	(-0,2411;-0,0256)
% de nascidos vivos de mães com menos de 20 anos de idade	-0,1038	(-0,2288;0,0213)
% de nascidos vivos de mães casadas ou em união consensual	0,1078***	(0,0562;0,1595)
Equipes de saúde da família por 1.000 nascidos vivos	0,0377	(-0,0860;0,1614)
Número de leitos neonatal por 1.000 nascidos vivos	0,1373**	(0,0219;0,2528)
Alinhamento partidário entre prefeituras e governo do estado	2,4698	(-0,0544;4,9939)
<i>Teste de significância conjunta</i>		
Controles adicionais		77,443***
R ² Ajustado		0.933
Observações		2.024

Erro padrão ponderado pelo número de nascidos vivos anualmente nos municípios, e clusterizados em nível de município. Além das variáveis explicativas descritas acima, a regressão inclui os efeitos fixos dos municípios, a tendência temporal linear e sua interação com os efeitos fixos dos municípios.

** p-valor < 0,05, *** p-valor < 0.01.

É importante notar que o R² ajustado indica que 93% da variabilidade da proporção de nascidos vivos é explicada pelas variáveis explicativas do modelo. Os coeficientes estimados indicam que a proporção de nascidos vivos via parto cesárea está positivamente associada à proporção de nascidos vivos com baixo peso ao nascer, à proporção de mães formalmente casadas ou vivendo em união consensual, e a um maior número de leitos neonatais por nascidos vivos. Por outro lado, a proporção de nascidos vivos via parto cesárea relaciona-se negativamente com a proporção de mães com baixo nível de escolaridade. A proporção de nascidos vivos de mães jovens, a cobertura das equipes de Saúde da Família, bem como o alinhamento partidário entre prefeituras municipais e governo do estado não se mostraram estatisticamente significantes ao nível de 5%.

O resultado de interesse na Tabela 4 mostra que a implantação dos CPN no Ceará entre 2013 e 2017 foi capaz de reduzir, em média, a proporção de nascidos vivos via parto cesárea em 4,6 pontos percentuais. Esse resultado indica que a estruturação da Rede Cegonha a partir da implantação de Centros de Partos Normais contribuiu para a reversão na tendência

de crescimento dos partos cesárea nos municípios beneficiados vis-à-vis os municípios não beneficiados como sugerido pelo Gráfico 2.

Discussão

O elevado percentual de cesáreas eletivas no país tem se apresentado como um importante desafio para a saúde pública, tanto na perspectiva dos potenciais danos causados à saúde materno-infantil (FAHMY, CRISPIM, CLIFFE, 2018; MASCARELLO et al, 2018; SANDALL et al, 2018; YE et al, 2015) como em relação aos elevados custos para o Sistema Único de Saúde (ENTRINGER et al, 2018a; ENTRINGER et al, 2018b; ENTRINGER et al, 2017).

Entre as principais estratégias de enfrentamento desta problemática em âmbito nacional destaca-se a implantação dos Centros de Parto Normal, pertencente ao escopo de ações do componente parto e nascimento da Rede Cegonha.

Por hipótese, o crescimento do número de partos normais realizados pelo SUS nos CPN (Gráfico 1) resultaria em uma redução da proporção de partos cesárea em municípios de regiões de saúde beneficiadas (Gráfico 2). Adotou-se, portanto, o modelo de Diferenças em Diferenças para tal propósito. Esse método foi utilizado, por exemplo, para estimar o impacto das privatizações dos serviços de abastecimento de água e coleta de esgoto sobre a mortalidade infantil na Argentina na década noventa (GALIANI, GERTLER, SCHARGRODSKYE, 2005), para avaliar o efeito da expansão do Programa Saúde da Família na mortalidade infantil no Brasil entre 1994 e 2004 (ROCHA, SOARES, 2010), bem como para analisar fusões ocorridas no setor hospitalar brasileiro (GHIRADINI, 2015).

A estimativa de impacto (ver Tabela 4) indica uma redução média de 4,6% na proporção de nascidos vivos via parto cesárea em municípios de regiões de saúde beneficiadas com CPN no Ceará. Vale salientar ainda que este impacto mede a intenção do tratamento (ou “*intention-to-treat*”), pois mensura o impacto da oferta do serviço de parto humanizado por meio dos CPN no Ceará independentemente se a gestante realizou o parto na rede pública ou privada.

Outra importante evidência do estudo diz respeito à escolha das regiões de saúde a serem beneficiadas com e, conseqüentemente, seus municípios. As estimativas do modelo *Logit* (ver Tabela 3) mostram que tal alocação independe de choques passados sobre a proporção de nascidos vivos via parto cesárea, bem como em relação ao nível médio de partos

cesárea dos municípios em anos anteriores à habilitação do primeiro CPN. Ademais, a alocação dos CPN no Ceará independe do nível de desenvolvimento humano e da fecundidade nos municípios, assim com do alinhamento partidário entre prefeituras municipais e governo do estado.

Após a aplicação do método descrito, os achados da pesquisa demonstraram o impacto positivo destes equipamentos a partir da perceptível redução do número de partos cesárea em municípios cearenses assistidos pelos mesmos. Trata-se de uma evidência essencialmente quantitativa, mas que tem repercussões importantes na qualidade da assistência obstétrica no Estado.

A maior parte dos estudos envolvendo análises acerca dos CPN aborda temáticas como humanização da assistência e a percepção das usuárias a respeito desta, caracterização de parturientes e avaliação das práticas assistenciais prestadas (GARCIA, TELES, BONILHA, 2017).

Como exemplo podemos citar pesquisa recente acerca dos resultados maternos e neonatais em Centro de Parto Normal Intra-hospitalar que apresenta desfechos clínicos favoráveis para as parturientes de baixo risco, indicando que as práticas assistenciais dos CPN vêm sendo conduzidas de acordo com as diretrizes de assistência ao parto normal e com as políticas de humanização do parto e nascimento (TEIXEIRA, PINHEIRO, NOGUEIRA, 2018).

Teixeirensen e Santos (2018) em estudo qualitativo realizado a partir de narrativas de experiências de parto em hospitais e CPN, identificaram que estes últimos são melhores avaliados quanto à humanização do atendimento e respeito ao protagonismo das mulheres, em oposição ao modelo biomédico atualmente presente em instituições de assistência materno-infantil tradicionais. Além disso, indica o CPN como uma opção segura e acessível tanto às usuárias como aos profissionais capacitados e sensíveis ao estímulo ao parto humanizado.

É indiscutível que o conjunto de práticas obstétricas adotadas nos CPN está em consonância com o preconizado pela política da Rede Cegonha, garantindo mais adesão e satisfação de mulheres em relação à assistência ao parto. Todavia, o impacto financeiro da implantação desses serviços a partir da redução de partos cesárea também precisa ser estudado e discutido com mais profundidade.

A epidemia de cesáreas observada ao longo dos anos no Brasil vem gerando um custo adicional ao Sistema Único de Saúde. No entanto, este custo mais elevado do parto cesárea

em relação ao parto vaginal não necessariamente se reflete em melhor efetividade do procedimento. Estudo recente realizado em três maternidades brasileiras acerca do custo-efetividade do parto vaginal espontâneo e da cesariana eletiva para gestantes de risco habitual evidenciou que o parto vaginal é mais eficiente para gestantes primíparas com menor custo (R\$ 1.709,58) que a cesariana (R\$ 2.245,86), além de apresentar melhor efetividade (ENTRINGER et al, 2018b).

Uma avaliação de impacto orçamentário do parto vaginal espontâneo e da cesariana eletiva sem indicação clínica no Brasil aponta que o incentivo ao parto vaginal, além de ser condizente com a política pública brasileira e internacional, geraria economia para o SUS (ENTRINGER et al, 2018a). Correlacionando este achado com o resultado do estudo aqui desenvolvido de redução da proporção de cesáreas a partir da implantação dos CPN é possível pressupor que este efeito também possa ter contribuído com a redução de custos ao SUS no Ceará, hipótese a ser examinada posteriormente.

Vale destacar que apesar da proporção de partos cesárea apresentar considerável declínio entre os municípios beneficiados com CPN, esta queda poderia ser ainda maior se a rede de atenção à saúde materno-infantil do Estado dispusesse de mais equipamentos como este implantados. Em todo o Brasil o número de Centros de Parto Normal é bastante pequeno em comparação com o número de hospitais, o que limita muito o acesso de mulheres, principalmente as de baixa renda, ao parto humanizado (TEIXEIRENSE, SANTOS 2018).

Em recente avaliação da implantação dos Centros de Parto Normal no âmbito do SUS em todo o país, a autora identificou que a maneira pela qual os CPN têm sido implementados evidencia uma construção lenta buscando superar algumas dificuldades, tais como a quantidade de enfermeiros obstetras e obstetrizes existentes, o financiamento insuficiente e a oposição de parte significativa de médicos obstetras. O estudo indica que não se pode desconsiderar a força do modelo ainda vigente, caracterizado por uma cultura cesarista que descarta o reconhecimento das evidências científicas que suportam a segurança e benefícios do parto vaginal humanizado, gerando uma verdadeira epidemia de cesáreas (DE VICO, 2017).

Tendo em vista que o Brasil assumiu compromissos internacionais dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável para 2030 de redução das taxas de mortalidade materna e neonatal, com enfoque na garantia de atendimento adequado e de qualidade ao parto humanizado; o Ministério da Saúde lança mão de medidas estratégicas do para a redução da taxa de cesáreas no país, destacando a implantação da Rede Cegonha como uma das mais

importantes políticas públicas voltadas à reestruturação da rede de cuidados de saúde materno-infantil e a proposta de investimentos financeiros para incentivar gestores locais de saúde a capacitar e motivar profissionais com vistas ao estímulo aos partos mais naturais (OCCHI et al, 2018). Neste sentido, os CPN se configuram como os serviços mais preparados para atender e efetivar estas medidas.

Considerações Finais

Verificou-se que os municípios assistidos pelos Centros de Parto Normal no Ceará apresentaram significativo declínio da proporção de partos cesárea a partir da implantação destes equipamentos, representado uma redução de 4,6 pontos percentuais nos nascimentos por esta via de parto em todo o Estado entre os anos de 2013 e 2017.

Diante desta relevante evidência recomenda-se a ampliação da rede de Centros de Parto Normal para outros municípios como estratégia potencialmente eficiente para a redução da elevada taxa de cesáreas observada em todo o Estado.

Sugere-se ainda a realização de novos estudos de avaliação do impacto dos CPN, como também de outras políticas públicas de saúde voltadas à saúde materno-infantil com vistas ao aperfeiçoamento das mesmas.

Referências

ANGRIST J. D., PISCHKE J. S. Mostly harmless econometrics: an empiricist's comparison. Princeton University Press. 2009.

BARROS F. C., et al. Cesarean sections in Brazil: will they ever stop increasing? Rev Panam Salud Publica, v. 38, n. 3, p. 217-225, 2015.

BETRÁN A. P., et al. Interventions to reduce unnecessary caesarean sections in healthy women and babies. The Lancet, v. 392, n. 10155, p. 1358-1368, 2018.

BOERMA T., et al. Global epidemiology of use of and disparities in caesarean sections. The Lancet, v. 392, n. 10155, p. 1341-1348, 2018.

BRASIL. Agência Nacional de Saúde Suplementar (ANS). Cartilha nova organização do

cuidado ao parto e nascimento para melhores resultados de saúde: Projeto Parto Adequado - fase 1 / Agência Nacional de Saúde Suplementar, Sociedade Beneficente Israelita Brasileira Hospital Albert Einstein, Institute for Healthcare Improvement. – Rio de Janeiro: ANS, 2016. Disponível em: <http://www.ans.gov.br/gestao-em-saude/projeto-parto-adequado>. Acesso em: 25/03/2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. Portaria nº 11 de 7 de janeiro de 2015. Redefine as diretrizes para implantação e habilitação de Centro de Parto Normal (CPN), no âmbito do Sistema Único de Saúde (SUS), para o atendimento à mulher e ao recém-nascido no momento do parto e do nascimento, em conformidade com o Componente Parto e Nascimento da Rede Cegonha, e dispõe sobre os respectivos incentivos financeiros de investimento, custeio e custeio mensal. Brasília: Ministério da Saúde; 2015.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. Portaria nº 1.459, de 24 de junho de 2011. Institui, no âmbito do Sistema Único de Saúde - SUS - a Rede Cegonha. Brasília: Ministério da Saúde; 2011.

CEARÁ, Secretaria da Saúde, Governo do Estado do Ceará. Resolução n.º 18/2012 – CIB, de 03 de fevereiro de 2012. Homologa o Plano Estadual de Estruturação da Rede Cegonha do Estado do Ceará no período de 2012 a 2014. Ceará, 2012.

DE VICO, A. F. Avaliação da Implantação dos Centros de Parto Normal no Sistema Único de Saúde. 2017. 79 p. Dissertação (Mestre em Saúde da Criança e da Mulher)

– Fundação Oswaldo Cruz. Instituto Nacional de Saúde da Mulher, da Criança e do Adolescente Fernandes Figueira, 2017.

ENTRINGER, A.P.; et al. Impacto orçamentário do parto vaginal espontâneo e da cesariana eletiva sem indicação clínica no Brasil. Revista Panamericana de Salud Pública, v. 42, e116, 2018a.

ENTRINGER, A.P.; et al. Análise de custo-efetividade do parto vaginal espontâneo e da cesariana eletiva para gestantes de risco habitual no Sistema Único de Saúde. Cad. Saúde

Pública, v. 34, n.5, e00022517, 2018b.

ENTRINGER A. P., et al, Análise de custos da atenção hospitalar ao parto vaginal e à cesariana eletiva para gestantes de risco habitual no Sistema Único de Saúde. CienSaude Colet. 2017, [Citado em 24/03/2019]. Está disponível em: <http://www.cienciaesaudecoletiva.com.br/artigos/analise-de-custos-da-atencao-hospitalar-ao-parto-vaginal-e-a-cesariana-eletiva-para-gestantes-de-risco-habitual-no-sistema-unico-de-saude/16340?id=16340>.

FAHMY W.M., CRISPIM C. A., CLIFFE S. Association between maternal death and cesarean section in Latin America: A systematic literature review. Midwifery, v. 59, p. 88-93, 2018.

GALIANI S., GERTLER P., SCHARGRODSKYE. Water for Life: The Impact of the Privatization of Water Services on Child Mortality. Journal of Political Economy, v. 113, n. 1, p. 83-12, 2005.

GARCIA L. V., TELES J. M., BONILHA A. L. L. O centro de parto normal e sua contribuição para atenção obstétrica e neonatal no Brasil. Revista Eletrônica Acervo Saúde, vol. sup. 7, S356-S363, 2017.

GHIRADINI, P. P. B. Regressão diferenças em diferenças: uma análise de fusões no setor hospitalar brasileiro. 2015. 65p. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade de Brasília, 2015.

MASCARELLO K. C., et al. Early and late puerperal complications associated with the mode of delivery in a cohort in Brazil. Rev. bras. epidemiol., v. 21, e180010, 2018.

MENDES, E.V. As redes de atenção à saúde. 3ª ed. Brasília: Organização Pan- Americana da Saúde, 2011.

OCCHI G. M., et al. Strategic measures to reduce the caesarean section rate in Brazil. The Lancet, v. 392, n. 10155, p. 1290-1291, 2018.

ROCHA R., SOARES R. R. Evaluating the impact of community-based health interventions:

evidence from Brazil's family health program. *Health Economics*, v. 19, p. 126-158, 2010.

SANDALL J., et al. Short-term and long-term effects of caesarean section on the health of women and children. *The Lancet*, v. 392, n. 10155, p. 1349-1357, 2018.

TEIXEIRA C. S., PINHEIRO V. E., NOGUEIRA I. S. Resultados maternos e neonatais em Centro de Parto Intra-hospitalar. *Enferm. Foco*, v. 9, n. 1, p. 71-75, 2018.

TEIXEIRENSE M. M. S., SANTOS S. L. S. From expectation to experience: humanizing childbirth in the Brazilian National Health System. *Interface*, v. 22, n. 65, p. 399-410, 2018.

WHO – World Health Organization. WHO recommendations non-clinical interventions to reduce unnecessary caesarean sections. 2018. Disponível em: <https://www.who.int/reproductivehealth/publications/non-clinical-interventions-to-reduce-cs/en/>. Acesso em: 02/03/2019.

YE, J.; et al. Association between rates of caesarean section and maternal and neonatal mortality in the 21st century: a worldwide population-based ecological study with longitudinal data. *BJOG*, v. 123, n. 5 p. 745-573, ago. 2015.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O percurso da construção desta dissertação revelou vertentes importantes na avaliação de políticas públicas em saúde.

O Artigo 1 propôs uma análise temporal dos principais indicadores de mortalidade materno-infantil com vistas a verificar a repercussão da implantação da Rede Cegonha sob os mesmos. Os resultados demonstraram um comportamento positivo com declínio da mortalidade materna e infantil no período pós-implantação da Rede. No entanto, destaque especial deve ser dado ao recrudescimento desses indicadores nos dois últimos anos analisados, que podem estar associados ao momento de austeridade fiscal vivenciado pelo país.

Já o Artigo 2 apresenta um nível de especificidade maior, quando se propõe a verificar o impacto da implantação dos Centros de Parto Normal sobre número de partos cesáreas no Ceará.

A escolha de um equipamento específico da Rede Cegonha com tamanha representatividade dentro do contexto de saúde materno-infantil do Estado garantiu a identificação de importantes achados, como a redução da proporção de nascimentos por cesáreas entre os municípios beneficiados pelo serviço e a queda de 4,6 pontos percentuais desta mesma proporção em todo o Estado a partir da implantação dos mesmos.

Ambos os produtos deste trabalho indicam, de maneiras diferentes, a efetividade desta importante política pública nacional implantada em 2012 no Ceará e que, para além de resultados numéricos, teve como mais relevante resultado a reformulação e organização da atenção à saúde materno-infantil no Estado.

Destacamos a pesquisa de avaliação de políticas públicas em saúde como um recurso de monitoramento, avaliação e redirecionamento destas, mas, sobretudo, como uma forma de resgatar a historicidade das construções e conquistas no âmbito do Sistema Único de Saúde e a valorização das microrrevoluções de seus atores sociais.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C.; MARTINS, M. Indicadores de desempenho no Sistema Único de Saúde: uma avaliação dos avanços e lacunas. **Saúde debate**, [S.l.], v.41, n.spe, p.118-137, 2017.

ANDRADE, S. M. A. S. et al. Impacto da implantação da Rede Cegonha nas hospitalizações em Unidade de Terapia Intensiva Neonatal. **Rev Rene**, [S.l.], v.17, n.3, p.310-317, maio/jun. 2016.

ANGRIST J. D.; PISCHKE J. S. **Mostly harmless econometrics**: an empiricist's comparison. New Jersey, USA: Princeton University Press. 2009.

ARANTES, L.J.; SHIMIZU, H.E.; MERCHÁN-HAMANN, E. Contribuições e desafios da Estratégia Saúde da Família na Atenção Primária à Saúde no Brasil: revisão de literatura. **Ciência e Ciência & Saúde Coletiva**, [S.l.], v.22, n.5, p.1499-1509, 2016.

BARROS F. C. et al. Cesarean sections in Brazil: will they ever stop increasing? **Rev Panam Salud Publica**, [S.l.], v.38, n.3, p.217-225, 2015.

BETRÁN A. P. et al. Interventions to reduce unnecessary caesarean sections in healthy women and babies. **The Lancet**, [S.l.], v.392, n.10155, p.1358-1368, 2018.

BRASIL. Agência Nacional de Saúde Suplementar. Sociedade Beneficente Israelita Brasileira Hospital Albert Einstein. Institute for Healthcare Improvement. **Cartilha nova organização do cuidado ao parto e nascimento para melhores resultados de saúde: projeto parto adequado - fase 1**. Rio de Janeiro: ANS, 2016. Disponível em: <<http://www.ans.gov.br/gestao-em-saude/projeto-parto-adequado>>. Acesso em: 25 mar. 2019.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância de Doenças e Agravos Não Transmissíveis e Promoção da Saúde. **Saúde Brasil 2015/2016: uma análise de saúde e da epidemia pelo vírus Zika e por outras doenças transmissíveis pelo Aedes aegypti**. Brasília: MS, 2016. 386p.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. **Portaria nº 11, de 7 de janeiro de 2015**. Redefine as diretrizes para implantação e habilitação de Centro de Parto Normal (CPN), no âmbito do Sistema Único de Saúde, para o atendimento à mulher e ao recém-nascido no momento do parto e do nascimento, em conformidade com o Componente Parto e Nascimento da Rede Cegonha, e dispõe sobre os respectivos incentivos financeiros de investimento, custeio e custeio mensal. Brasília: MS, 2015.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. **Implantação das Redes de Atenção à Saúde e outras estratégias da SAS**. Brasília: MS, 2014. 160p.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. **Portaria nº 1.459, de 24 de junho de 2011**. Institui, no âmbito do Sistema Único de Saúde a Rede Cegonha. Brasília: MS, 2011.

_____. Presidência da República. Casa Civil. **Decreto Federal nº 7508 de 28 de junho de 2011**. Regulamenta a Lei no 8.080, de 19 de setembro de 1990, para dispor sobre a organização do Sistema Único de Saúde, o planejamento da saúde, a assistência à saúde e a articulação interfederativa, e dá outras providências. Brasília: Casa Civil, 2011.

_____. Presidência da República. **Lei nº 12.527, de 18 de novembro de 2011**. Lei de Acesso à Informação. Brasília: Casa Civil, 2011.

_____. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 4.279, de 30 de dezembro de 2010**. Estabelece diretrizes para a organização da Rede de Atenção à Saúde no âmbito do Sistema Único de Saúde. Brasília: MS, 2010.

_____. Ministério da Saúde. **Portaria nº 1.119, de 5 de junho de 2008**. Regulamenta a Vigilância de Óbitos Maternos. Brasília: MS, 2008.

BOERMA T. et al. Global epidemiology of use of and disparities in caesarean sections. **The Lancet**, [S.l.], v.392, n.10155, p.1341-1348, 2018.

CASSIANO, A. C. M. et al. Saúde materno infantil no Brasil: evolução e programas desenvolvidos pelo Ministério da Saúde. **Revista do Serviço Público**, [S.l.], v.65, n.2, p.227-244, 2014.

CEARÁ. (Estado). Secretaria da Saúde. Governo do Estado do Ceará. **Resolução n.º 18/2012 – CIB, de 03 de fevereiro de 2012**. Homologa o Plano Estadual de Estruturação da Rede Cegonha do Estado do Ceará no período de 2012 a 2014. Fortaleza: CESA, 2012.

COLLUCCI C. Brazil's child and maternal mortality have increased against background of public spending cuts. **BMJ**, [S.l.], v.362, 2018.

DUARTE L. S.; MENDES A. N. Questão territorial, processo de regionalização do SUS e financiamento das redes temáticas. **Revista Brasileira em Promoção da Saúde**, [S.l.], v.31, n.4, p.1-12, out./dez. 2018.

DUARTE, E. C.; BARRETO, S. M. Transição demográfica e epidemiológica: a Epidemiologia e Serviços de Saúde revisita e atualiza o tema. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, [S.l.], v.21, n.4, p.529-532, 2012.

ENTRINGER, A. P. et al. Impacto orçamentário do parto vaginal espontâneo e da cesariana eletiva sem indicação clínica no Brasil. **Revista Panamericana de Salud Pública**, [S.l.], v.42, p.e116, 2018.

ENTRINGER, A. P. et al. Análise de custo-efetividade do parto vaginal espontâneo e da cesariana eletiva para gestantes de risco habitual no Sistema Único de Saúde. **Cad. Saúde Pública**, [S.l.], v.34, n.5, p.e00022517, 2018.

ENTRINGER A. P. et al. Análise de custos da atenção hospitalar ao parto vaginal e à cesariana eletiva para gestantes de risco habitual no Sistema Único de Saúde.

Cien. Saude Colet., [S.l.:s.n.], 2017. Disponível em:

<<http://www.cienciaesaudecoletiva.com.br/artigos/analise-de-custos-da-atencao-hospitalar-ao-parto-vaginal-e-a-cesariana-eletiva-para-gestantes-de-risco-habitual-no-sistema-unico-de-saude/16340?id=16340>>. Acesso em: 24 mar. 2019.

FAHMY, W.M.; CRISPIM, C. A.; CLIFFE, S. Association between maternal death and cesarean section in Latin America: A systematic literature review. **Midwifery**, [S.l.], v.59, p.88-93, 2018.

FRANÇA, G. V. A. et al. Coverage and equity in reproductive and maternal health interventions in Brazil: impressive progress following the implementation of the Unified Health System. **International journal for equity in health**, [S.l.], v.15,n.1, p.149, nov. 2016.

FURTADO, J. P. Avaliação de Programas e Serviços em Saúde. In: CAMPOS, G.W.S. et al (Orgs.). **Tratado de saúde coletiva**. 2.ed. São Paulo: Hucitec, 2016. 968p.

GALIANI, S.; GERTLER, P.; SCHARGRODSKYE. Water for Life: The Impact of the Privatization of Water Services on Child Mortality. **Journal of Political Economy**, [S.l.], v.113, n.1, p.83-12, 2005.

GARCIA L. V.; TELES J. M.; BONILHA A. L. L. O centro de parto normal e sua contribuição para atenção obstétrica e neonatal no Brasil. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, [S.l.], v.7, n.sup., p.S356-S363, 2017.

GBD MATERNAL MORTALITY COLLABORATORS. Global, regional, and national levels of maternal mortality, 1990–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. **The Lancet**, [S.l.], v.388, n.10053, p.1775-1812, oct. 2016.

GHIRADINI, P. P. B. **Regressão diferenças em diferenças: uma análise de fusões no setor hospitalar brasileiro**. 2015. 65 f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

JANNOTTI, C. B.; SILVA, K. S.; PERILLO, R. D. Vulnerabilidade social e mortalidade materna no mundo e no Brasil. In: BITTENCOURT, S.D.A.; DIAS, M. A. B.; WAKIMOTO, M. D. (Orgs.). **Vigilância do óbito materno, infantil e fetal e atuação em comitês de mortalidade**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2013.

LANSKY, S. Mortalidade fetal: mortes invisíveis e evitáveis. In: BITTENCOURT, S.D.A.; DIAS, M. A. B.; WAKIMOTO, M. D. (Orgs.). **Vigilância do óbito materno, infantil e fetal e atuação em comitês de mortalidade**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2013.

LANSKY, S. et al. Pesquisa Nascir no Brasil: perfil da mortalidade neonatal e avaliação da assistência à gestante ao recém-nascido. **Cadernos de Saúde Pública**, [S.l.], v.30, suppl.1, p.S192-S207, 2014.

LEAL, M. C. Parto e nascimento no Brasil: um cenário em processo de mudança. **Cadernos de Saúde Pública**, [S.l.], v.34, n.5, 2018.

LEAL, M. C. et al. Saúde reprodutiva, materna, neonatal e infantil nos 30 anos do Sistema Único de Saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, [S.l.], v.23, n.6, p.1915-1928, 2018.

LEITE, A. J. M.; CUNHA, A. J. L. A.; VICTORA, C. G. Epidemiologia da Saúde da Criança. In: ROUQUAYROL, Z.; SILVA, M. G. C. (Orgs.). **Epidemiologia & saúde**. 8.ed. Rio de Janeiro: MedBook, 2018. 752p.

LIMA, J. C. et al. Estudo de base populacional sobre mortalidade infantil. **Ciência e Saúde Coletiva**, [S.l.], v.22, n.3, p.931-939, 2017.

LOURENÇO, E. C.; BRUNKEN, G. S.; LUPPI, C. G. Mortalidade infantil neonatal: estudo das causas evitáveis em Cuiabá, Mato Grosso, 2007. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, [S.l.], v.22, n.4, p.697-706, 2013.

LOPES, M. V. O. Desenhos de pesquisa em epidemiologia. In: ROUQUAYROL, M.Z; SILVA, M.G.C. (Orgs.). **Epidemiologia & SAÚDE**. Rio de Janeiro: Medbook, 2018. 752p.

LUZ, L. A.; AQUINO, R.; MEDINA, M. G. Avaliação da qualidade da Atenção Pré-Natal no Brasil. **Saúde Debate**, [S.l.],v.42, n.spe2, p.111-126, 2018.

MALTA, D. C. Children and Adolescents, austerity policies and the commitments of the 2030 Agenda. **Ciência & Saúde Coletiva**, [S.l.], v.24, n.2, p.348, 2019.

MARIO, D. N. et al. Quality of Prenatal Care in Brazil: National Health Research 2013. **Ciênc. Saúde Coletiva**, [S.l.], v.24, n.3, p.1223-1232, mar. 2019.

MARTINELLI, K. G. et al. Adequação do processo da assistência pré-natal segundo os critérios do Programa de Humanização do Pré-natal e Nascimento e Rede Cegonha. **Revista**

Brasileira de Ginecologia e Obstetrícia, [S.l.], v.36, n.2, p.56- 64, 2014.

MASCARELLO, K. C., et al. Early and late puerperal complications associated with the mode of delivery in a cohort in Brazil. **Rev. Bras. Epidemiol.**, [S.l.], v.21, p.e180010, 2018.

MENDES, E.V. **As redes de atenção à saúde**. 3.ed. Brasília: OPAS, 2011.

MINAYO, M. C. S. **O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde**. 14.ed. São Paulo: Hucitec, 2014. 408p.

MORGENSTERN, H. Ecologic studies in epidemiology: concepts, principles, and methods. **Annual Review of Public Health**, [S.l.], v.16, p.61-81,1995.

NASCIMENTO, J. S. et al. Assistência à Mulher no Pré-Natal, Parto e Nascimento: Rede Cegonha. **Revista Portal: Saúde e Sociedade**, [S.l.], v.3, n.1, p.994-709, 2018.

NASCIMENTO, S. G. et al. Mortalidade infantil por causas evitáveis em uma cidade do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Enfermagem**, [S.l.], v.67, n.2, p.208- 212, 2014.

OCCHI G. M. et al. Strategic measures to reduce the caesarean section rate in Brazil. **The Lancet**, [S.l.], v.392, n.10155, p.1290-1291, 2018.

PASCHE, D. F.; et al. Rede Cegonha: desafios de mudanças culturais nas práticas obstétricas e neonatais. **Divulgação em Saúde para Debate**, [S.l.], n.52, p.58-71, 2014.

RASELLA, D. et al. Child morbidity and mortality associated with alternative policy responses to the economic crisis in Brazil: A nationwide microsimulation study. **PLoS Med**, [S.l.], v.15, n.5, p.e1002570, 2018.

REGO, M. G. S. et al. Perinatal deaths preventable by intervention of the Unified Health System of Brazil. **Revista Gaúcha de Enfermagem**, [S.l.], v.39, p.e2017- 0084, 2018.

REIS, A. A. C. et al. Reflexões para a construção de uma regionalização viva. **Ciência & Saúde Coletiva**, [S.l.], v.22, n.4, p.1045-1054, 2017.

ROCHA R., SOARES R. R. Evaluating the impact of community-based health interventions: evidence from Brazil's family health program. **Health Economics**, [S.l.], v.19, p.126-158, 2010.

RODRIGUES, N. C. P. et al. Temporal and spatial evolution of maternal and neonatal mortality rates in Brazil, 1997-2012. **Jornal de Pediatria**, [S.l.], v.92, n.6, p.567-573, 2016.

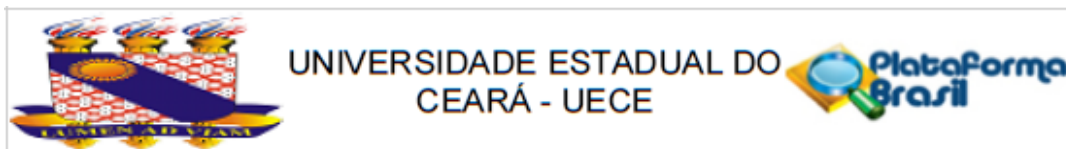
SANDALL, J. et al. Short-term and long-term effects of caesarean section on the health of women and children. **The Lancet**, [S.l.], v.392, n.10155, p.1349-1357, 2018.

SANTANA ESPINOSA, M. C. et al. Atención a la salud materno-infantil en Cuba: logros y desafíos. **Rev. Panam. Salud. Pública**, [S.l.], v.42, p.e27, 2018.

- SANTOS, L.; CAMPOS, G. W. S. SUS Brasil: a região de saúde como caminho. **Saúde e Sociedade**, [S.l.], v.24, n.2, p.438-446, 2015.
- SARTORELLI, A. P. et al. Fatores que contribuem para a mortalidade infantil utilizando a mineração de dados. **Revista Saúde e Pesquisa**, Maringá, PR, [S.l.], v.10, n.1, p.33-41, 2017.
- SERAPIONI, M.; LOPES, C. M. N.; SILVA, M. G. C. Avaliação em Saúde. In: ROUQUAYROL, Z.; SILVA, M.G.C. (Orgs.). **Epidemiologia & saúde**. 8.ed. Rio de Janeiro: MedBook, 2018. 752p.
- SILVA E. S. A.; PAES N. A. Programa Bolsa Família e a redução da mortalidade infantil nos municípios do Semiárido brasileiro. **Ciência & Saúde Coletiva**, [S.l.], v.24, n.2, p.623-630, 2019.
- SILVA, A. V. S. et al. Impacto da mortalidade infantil na atenção à saúde da criança e da mulher. In: MOREIRA, T. M. M. et al. (Orgs.). **Manual de Saúde Pública**. Salvador: SANAR, 2016. 419p.
- SZWARCWALD, C. L. et al. Estimação da razão de mortalidade materna no Brasil, 2008-2011. **Cadernos de Saúde Pública**, [S.l.], v.30, n.1, p.S71-S83, 2014.
- TEIXEIRA C. S.; PINHEIRO V. E.; NOGUEIRA I. S. Resultados maternos e neonatais em Centro de Parto Intra-hospitalar. **Enferm. Foco**, [S.l.], v.9, n.1, p.71- 75, 2018.
- TEIXEIRENSE, M. M. S.; SANTOS, S. L. S. From expectation to experience: humanizing childbirth in the Brazilian National Health System. **Interface**, [S.l.], v.22, n.65, p.399-410, 2018.
- UN, United Nations. **The sustainable development agenda**. 2017. Disponível em: <<http://www.un.org/sustainabledevelopment/development-agenda/>>. Acesso em: 09 nov. 2017.
- VICO, A. F. **Avaliação da implantação dos centros de parto normal no Sistema Único de Saúde**. 2017. 79 p. Dissertação (Mestre em Saúde da Criança e da Mulher) – Pós-Graduação em Saúde da Criança e da Mulher, Fundação Oswaldo Cruz, Instituto Nacional de Saúde da Mulher, da Criança e do Adolescente Fernandes Figueira, Rio de Janeiro, 2017.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Recommendations non-clinical interventions to reduce unnecessary caesarean sections**. Geneva: WHO, 2018. Disponível em: <<https://www.who.int/reproductivehealth/publications/non-clinical-interventions-to-reduce-cs/en/>>. Acesso em: 02 mar. 2019.
- YE, J.; et al. Association between rates of caesarean section and maternal and neonatal mortality in the 21st century: a worldwide population-based ecological study with longitudinal data. **BJOG**, [S.l.], v.123, n.5 p.745-573, ago. 2015.

ANEXOS

ANEXO A - Parecer Consubstanciado do CEP



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: REPERCUSSÃO DA IMPLANTAÇÃO DA REDE CEGONHA NA MORTALIDADE MATERNO-INFANTIL E FETAL NO CEARÁ

Pesquisador: ANTONIO RODRIGUES FERREIRA JUNIOR

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 87764218.3.0000.5534

Instituição Proponente: Centro de Ciências da Saúde

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.687.035

Apresentação do Projeto:

Será realizada uma análise de tendência temporal dos indicadores de mortalidade materno infantil e fetal objetivando analisar a repercussão da implantação da Rede Cegonha no comportamento destes. Complementamente realizar-se-á ainda uma pesquisa de base documental com o intuito de conhecer a historicidade acerca da implantação da Rede Cegonha no Estado do Ceará. Será considerada a série histórica de 2007 a 2017, admitindo 2012 como referência para análise do comportamento dos indicadores de mortalidade materno-infantil e fetal, visto que neste ano iniciou-se o processo de implantação da Rede Cegonha no Estado do Ceará. Como fontes de dados para o cálculo dos indicadores serão utilizados os dados do Sistema de Informação sobre Mortalidade (SIM) e Sistema de Informação sobre Nascidos Vivos (SINASC), obtidos através do site do Departamento de Informática do SUS (DATASUS) do Ministério da Saúde. Especificamente para o cálculo dos indicadores relacionados à mortalidade materna serão utilizados ainda os dados do Módulo de Investigação de Óbitos Prioritários do SIM local da Secretaria de Saúde do Ceará, visto que este oferece informações complementares sobre os óbitos maternos. Para a pesquisa documental serão consideradas as atas de reuniões e resoluções da Comissão Intergestores Bipartite – CIB referentes à implantação da Rede Cegonha no Ceará, bem como Planos de Ação Regionais (BRASIL, 2011c) da mesma no Estado. Além disso, poderão ser utilizados ainda manuais, notas técnicas e outros documentos produzidos pela Secretaria de Saúde do Ceará à época. Para tabulação dos dados quantitativos, cálculo de indicadores e construção de gráficos e tabelas será

Endereço: Av. Silas Munguba, 1700

Bairro: Itaperi

CEP: 60.714-903

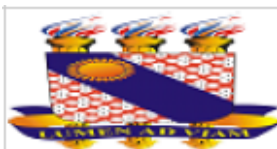
UF: CE

Município: FORTALEZA

Telefone: (85)3101-9890

Fax: (85)3101-9906

E-mail: oep@uece.br



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO
CEARÁ - UECE



Continuação do Parecer: 2.687.035

utilizado o programa Excel. Estes serão analisados quanto aos resultados do Estado e de suas 5 macrorregiões de saúde. Contemplada a análise preliminar dos documentos, procede-se à análise dos dados, momento no qual se reúnem todas as partes, fornecendo ao pesquisador uma interpretação coerente, tendo em conta o tema e o questionamento inicial. Em virtude da necessidade de acesso as fichas síntese de investigação de óbitos de MIF provenientes do Módulo de Investigação de Óbitos Prioritários que contém informações pessoais, estas somente serão cedidas mediante assinatura de Termo de Fiel Depositário.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário:

Analisar a repercussão da implantação da Rede Cegonha na mortalidade materno-infantil e fetal no Ceará.

Objetivo Secundário:

- Descrever o processo de implantação e implementação da Rede Cegonha no Estado do Ceará;
- Averiguar o comportamento dos indicadores relacionados à mortalidade materna a partir da implantação da Rede Cegonha no Ceará.
- Verificar o comportamento dos indicadores relacionados à mortalidade infantil e seus componentes a partir da implantação da Rede Cegonha no Ceará.
- Examinar o comportamento dos indicadores relacionados à mortalidade fetal a partir da implantação da Rede Cegonha no Ceará.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Quanto aos riscos da pesquisa o autor do projeto apresenta: Em virtude da necessidade de acesso as fichas síntese de investigação de óbitos de MIF provenientes do Módulo de Investigação de Óbitos Prioritários que contém informações pessoais, estas somente serão cedidas mediante assinatura de Termo de Fiel Depositário, desse modo, considera-se que os riscos associados a esta pesquisa serão mínimos, configurando apenas risco de manuseio inadequado, extravio ou rasuras dos documentos, porém o pesquisador estará atento e se responsabilizará por qualquer dano.

Como benefício são apresentados: O retorno dos achados à comunidade sob a forma de evidência científica possibilita o conhecimento da realidade e ampara a formulação de estratégias para a melhoria da saúde materno-infantil e fetal no Estado.

Endereço: Av. Silas Munguba, 1700

Bairro: Itaperi

CEP: 60.714-903

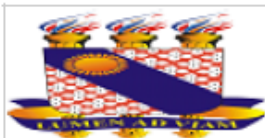
UF: CE

Município: FORTALEZA

Telefone: (85)3101-9890

Fax: (85)3101-9906

E-mail: cep@uece.br



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO
CEARÁ - UECE



Continuação do Parecer: 2.687.035

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Reconhecendo a importância da análise de situação de saúde como subsídio ao planejamento e avaliação de ações, bem como para a elaboração de políticas públicas voltadas às reais necessidades de saúde da população em questão. Como etapa importante do planejamento em saúde, o monitoramento e avaliação de indicadores permitem verificar a eficiência de intervenções em saúde, além de possibilitar o ajuste destas, em tempo oportuno, para o alcance dos resultados almejados.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

O estudo dispensa apresentação de TCLE;

Apresentou a folha de rosto devidamente assinada;

Apresentou a carta de anuência do órgão ao qual será realizada a coleta de dados;

O Termo de Fiel Depositário está preenchido com as informações necessárias;

O cronograma precisa de reajuste para início da coleta após aprovação do CEP;

O orçamento está condizente com o método e o financiamento será próprio.

Recomendações:

Recomenda-se a adequação do cronograma para início da coleta de dados após aprovação do CEP e, na conclusão da pesquisa apresentar o relatório final.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Considera-se o projeto aprovado

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1092810.pdf	16/04/2018 23:57:25		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	ProjetoRedeCegonhaComite.pdf	16/04/2018 23:56:18	THAIS NOGUEIRA FACO DE PAULA PESSOA	Aceito
Brochura Pesquisa	ProjetoRedeCegonhaCEP.pdf	16/04/2018 23:54:52	THAIS NOGUEIRA FACO DE PAULA PESSOA	Aceito

Endereço: Av. Silas Munguba, 1700

Bairro: Itaperi

CEP: 60.714-903

UF: CE

Município: FORTALEZA

Telefone: (85)3101-9890

Fax: (85)3101-9906

E-mail: cep@uece.br



TERMO DE FIEL DEPOSITÁRIO

Eu, Roberta de Paula Oliveira, respondendo pela Coordenadora de Promoção e Proteção à Saúde, fiel depositário da base de dados dos sistemas de informação sob responsabilidade da Coordenadoria de Promoção e Proteção à Saúde (COPROM) da Secretaria de Saúde do Estado do Ceará (SESA), situada na cidade de Fortaleza – Ceará, declaro que os pesquisadores Antônio Rodrigues Ferreira Júnior e Thaís Nogueira Facó de Paula Pessoa, estão autorizados a realizar nesta instituição o projeto de pesquisa: **REPERCUSSÃO DA IMPLANTAÇÃO DA REDE CEGONHA NA MORTALIDADE MATERNO-INFANTIL E FETAL NO CEARÁ**, cujo objetivo geral é analisar a repercussão da implantação da Rede Cegonha na mortalidade materno-infantil e fetal no Ceará. Nesse projeto serão analisados indicadores calculados a partir de dados do Sistema de Informações sobre Mortalidade – SIM (Sistema e Módulo de Investigação de Óbitos Prioritários) e Sistema de Informações sobre Nascidos Vivos – SINASC durante o mês de março de 2018.

Ressalto que estou ciente de que serão garantidos os direitos, dentre outros assegurados pela resolução 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde de:

1. Garantia da confidencialidade, do anonimato e da não utilização das informações em prejuízo dos outros.
2. Emprego dos dados somente para fins previstos nesta pesquisa.
3. Retorno dos benefícios obtidos por meio deste estudo para as pessoas e a comunidade onde o mesmo foi realizado.

Informo-lhe ainda, que a pesquisa somente será iniciada após a aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa – CEP da Universidade Estadual do Ceará, para garantir a todos os envolvidos os referenciais básicos da bioética, isto é, autonomia, não maleficência, benevolência e justiça.

Fortaleza, 16 de abril de 2018.

Roberta de Paula Oliveira
Roberta de Paula Oliveira
Coordenadora de Promoção e Proteção à Saúde

Roberta de Paula Oliveira
Coordenadora de Promoção e Proteção
à Saúde - Respondendo

RESUMO

O impacto do setor agropecuário na a economia brasileira é indiscutível, visto que vem colaborando com resultados positivos na balança comercial anualmente, devido ao excelente desempenho nas exportações. Dessa forma, visando a importância da bovinocultura na cadeia agropecuária, sobretudo no Nordeste do Brasil, o presente estudo propõe um panorama da pecuária bovina no estado do Ceará quanto à sustentabilidade envolvida nesta atividade dentro do estado e o seu potencial produtivo. Esse diagnóstico foi alcançado por meio da construção de mapas e indicadores relativos às dimensões ambiental, socioeconômica e institucional. A capacidade ambiental foi determinada pelo clima, relevo, índice de vegetação, uso e ocupação do solo, pluviosidade, dentre outros. Haja vista a inerência das dimensões econômica e social, estas foram analisadas pelo aspecto socioeconômico, a partir de indicadores da capacidade de geração de renda para os municípios e produtores e a manutenção do homem no campo. Por sua vez, a visão institucional foi avaliada a partir das ações desempenhadas pelo estado a fim de fomentar a atividade, como investimentos em Pronaf e disponibilidade de Assistência Técnica Rural gratuita. Para tal, foram utilizados recursos de SIG e modelos matemáticos capazes de gerar mapas que demonstram esses fatores, bem como estatísticas, gráficos e a descrição verbal deste mapeamento. A espacialização permitiu uma análise mais dinâmica e clara das nuances presentes entre cada região. O estudo apresentou uma fração reduzida de áreas com boa aptidão para a pecuária nas regiões das principais bacias leiteiras do estado. Pode-se observar uma grande inconsistência na agropecuária cearense em não reconhecer nas localidades dentro de seu território a real aptidão e capacidade agrária. Em algumas situações, produz-se onde não há uma relação sustentável entre o meio e a atividade desenvolvida e ignoram-se regiões com maiores potenciais produtivos. Em alguns municípios, preponderantemente naqueles com economias mal desenvolvidas, o leite apresenta-se como um importante meio de sustentação para um grande número de famílias que vivem no meio rural. Pode-se observar a baixa disponibilidade de assistência técnica rural no estado frente ao grande número de DAPs ativas.

Palavras-chave: Geoprocessamento. Sensoriamento Remoto. Zoneamento. Agropecuário.

⁴⁰ Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável da Universidade Federal do Cariri, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Desenvolvimento Regional Sustentável. Área de concentração: Ciências Ambientais. Crato-2020
Orientador: Prof. Dr. Carlos Wagner Oliveira. Coorientadora: M.^a Ana Cristina Lima Maia.

ABSTRACT

The agricultural sector huge impact on the Brazilian economy is a fact, year after year, it has been preventing negative results in the trade balance of the country, also because of the excellent performance in exports. Thus, aiming at the importance of dairy activity in the agricultural chain, especially in the Brazil Northeast, this study proposes an overview of cattle ranching in the state of Ceará, regarding the sustainability behind this activity and the productive potential. This diagnosis was achieved through the construction of maps and indicators related to the environmental, socioeconomic and institutional dimensions. Environmental capacity was determined by climate, relief, vegetation index, land use and occupation, rainfall, among others. Given the inherence between the economic and social dimensions, these were analyzed like socioeconomic aspect, based on data about the capacity of income generation and maintenance of men in the countryside. In turn, the institutional vision was evaluated by the governmental actions to promote the activity, as Pronaf investments and availability of free Rural Technical Assistance. For this, were used GIS resources and mathematical models capable of generating maps to demonstrate these factors, as well as statistics, graphs and verbal description of this mapping. Spatialization allowed a more dynamic and clear analysis of the differences between each region. The study presented a small fraction of areas with good agricultural aptitude in the regions of the main dairy basins of the state. It is possible to observe a great inconsistency in Ceará's agriculture in not recognizing in the localities the real aptitude and agrarian capacity. In some situations, it occurs where there is no sustainable relationship between the environment and the activity developed and regions with higher productive potential are ignored. In some municipalities, particularly those with poorly developed economies, milk is an important means of support for a large number of families living in rural areas. The low availability of rural technical assistance in the state can be observed due to the large number of active PADs.

Keywords: Geoprocessing. Remote Sensing. Agricultural Zoning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização das estações meteorológicas em relação à hipsometria (Relevo) do Ceará

Figura 2 - Fluxograma das etapas para a obtenção das temperaturas de superfície

Figura 3 - Mapa de Temperatura média do Ar, estimada para o Estado do Ceará

Figura 4 - Espacialização do Erro Absoluto

Figura 5 - Mapa de localização das estações meteorológicas do INMET, utilizadas neste estudo.

Figura 6 - Estações Pluviométricas da Funceme com dados contínuos entre 1989 e 2018

Figura 7 - Espacialização da Pluviosidade Média Mensal do estado do Ceará entre 1989 e 2018, com base nos dados disponibilizados pela Funceme

Figura 8 - Mapa de Umidade Relativa do Ar (%), estimada para o Estado do Ceará

Figura 9 - Mapeamento do Índice de Temperatura e Umidade – ITU no estado do Ceará

Figura 10– Padrões para classificar uso do solo como: floresta (A), vegetação arbustiva (B) vegetação rasteira (C), solo exposto (D), água (E) e zona urbana (F)

Figura 11– Mapa Litológico do Ceará, classificado conforme a escala de vulnerabilidade à denudação das Rochas de Crepani et al. (2001)

Figura 12– Mapa da Pedologia do estado do Ceará, classificada de acordo com a escala de vulnerabilidade à denudação das Rochas determinadas por Crepani et al. (2001)

Figura 13 – Espacialização do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI no estado do Ceará

Figura 14 - Mapa de declividade do Estado do Ceará

Figura 15 – Mapa de uso e ocupação do solo no estado do Ceará

Figura 16 – Mapa de Erosividade das Chuvas no estado do Ceará

Figura 17 - Mapa final de susceptibilidade à Erosão no Estado do Ceará

Figura 18 - Fluxograma da análise ambiental

Figura 19 - Mapa Geral da Dimensão Ambiental

Figura 20 - Distribuição espacial do rebanho bovino no Estado do Ceará

Figura 21 - Estatística zonal da avaliação ambiental em função do desempenho médio dos municípios

Figura 22- Ranking dos 10 maiores PIB total do estado do Ceará

Figura 23 - Ranking dos 10 maiores PIB agropecuário do estado do Ceará – 2016

Figura 24 - Municípios com maior representatividade da agropecuária no PIB total – 2016..

Figura 25 - Mapeamento do PIB total A, agropecuário B e da representatividade do PIB agropecuário sobre o PIB total, obtida pela razão entre eles, em porcentagem C

Figura 26 - Ranking de municípios com maior número de estabelecimentos agropecuários do Ceará

Figura 27 - Número de estabelecimentos agropecuários com bovinos (A), Número de estabelecimentos agropecuários que produziram leite de vaca (B); Número de estabelecimentos agropecuários que venderam leite de vaca cru (C) e Número de estabelecimentos agropecuários com mais de 50 cabeças de bovinos que venderam bovinos para abate (D)

Figura 28 - Número de estabelecimentos agropecuários que produziram bovinos sobre o número total de estabelecimentos agropecuários

Figura 29 - Número de cabeças de bovinos nos estabelecimentos agropecuários (Cabeças) sobre o número de estabelecimentos agropecuários com bovinos (Unidades)

Figura 30 - Número de cabeças de bovinos nos estabelecimentos agropecuários sobre a área dos estabelecimentos, em hectares

Figura 31 - Quantidade produzida de leite de vaca (Mil litros) dividido pelo número de estabelecimentos agropecuários que produziram leite de vaca (Unidades)

Figura 32 - Valor da venda de leite de vaca cru (Mil Reais) dividido pelo número de estabelecimentos agropecuários que venderam leite de vaca (Unidades)

Figura 33 - Valor da venda de cabeças de bovinos para abate nos estabelecimentos agropecuários com mais de 50 cabeças, sobre o número de estabelecimentos nas mesmas condições que venderam bovinos para abate

Figura 34 - Soma do valor da venda de cabeças de bovinos para abate nos estabelecimentos agropecuários com mais de 50 cabeças (Mil Reais) e do valor da venda de leite de vaca cru (Mil Reais) dividido pelo PIB agropecuário municipal

Figura 35 - Representatividade do PIB agropecuário sobre o PIB total dos municípios (%)

Figura 36 - A importância econômica da bovinocultura nos municípios do estado do Ceará.

Figura 37 - Mapeamento do número total de contratos de financiamentos pelo PRONAF (A), valor total dos contratos (B) e a razão entre o valor total de financiamentos pelo número de financiamentos (C)

Figura 38 - Número de DAPs ativas (A) e inativas (B) no Estado do Ceará, por município.

Figura 39 - Mapeamento do número de profissionais de ATER disponibilizados pela Ematerce (A) e o índice de cobertura de assistência técnica, obtido pela proporção entre o número de DAPs ativas e o número de técnicos disponíveis (B)

Figura 40 - Ranking de municípios com as piores coberturas de Assistência Técnica Rural em 2018.

Figura 41 - Grau de escolaridade dos produtores

Figura 42 – Visão do apoio institucional à bovinocultura no estado do Ceará

Figura 43 - Resultado Final

Figura 44- Divisão Política do Estado do Ceará

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classificação de conforto térmico para bovinos através do ITU, segundo diversos autores

Tabela 2 - Lista das imagens de satélite utilizadas no estudo, referenciadas pelo Caminho (Path) e Linha (Row), Data da fotografia, Horário de passagem do satélite no centro da cena, Porcentagem de cobertura de nuvem (%), Dia juliano (DOY)

Tabela 3 - Análise de Variância do modelo – Anova

Tabela 4 - Base de dados para a validação do modelo de temperatura, a partir da normal climatológica do Inmet de 1990-2010 (valor observado)

Tabela 5 - Resultado da validação do modelo gerado para estimativa da temperatura média anual

Tabela 6 - Classificação proposta do Índice de Temperatura e Umidade – ITU.

Tabela 7 - Valores de vulnerabilidade dos solos

Tabela 8 - Escala de vulnerabilidade à denudação das Rochas mais comuns

Tabela 9 - Classes de declividade com os respectivos valores da escala de vulnerabilidade

Tabela 10 - Classificação do índice de erosividade e índice modificado de Fournier - IMF, conforme Salazar & Quintero (2015)

Tabela 11 – Pesos das variáveis utilizadas

Tabela 12 - Variáveis sociais, econômicas e institucionais analisadas, obtidas do novo censo agropecuário do IBGE, referente ao ano de 2017

Tabela 13 - Variáveis analisadas na dimensão Econômica

Tabela 14 - Índices obtidos por município cearense em cada dimensão analisada

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATER	Assistência Técnica Rural
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DAP	Declaração de Aptidão ao Pronaf
DS	Desenvolvimento Sustentável
EUA	United States of America
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
ITU	Índice de Temperatura e Umidade
SIG	Sistema de Informação Geográfica
PIB	Produto Interno Bruto
PRONAF	Programa Nacional de apoio à Agricultura Familiar
USDA	United States Department of Agriculture
UR	Umidade Relativa do Ar

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
R\$	Reais
US\$	Dólar

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

Há um dilema clássico entre a produção de alimentos em larga escala e a manutenção da sustentabilidade dos sistemas, visto que, ao longo dos anos, ambos os conceitos têm sido vistos como separados, permanentemente opostos e impossíveis de caminharem juntos. Ao passo que o gado é apontado como um dos principais responsáveis pela emissão de gases do efeito estufa e pela degradação ambiental, a demanda crescente por alimentos, como carne e leite, impulsiona esta produção. De fato, a pecuária pode degradar ambientes após certo tempo de exploração, preponderantemente, se essa exploração tiver sido conduzida de maneira inapropriada ou em um ambiente não compatível. Obstante disto, a agropecuária vem sustentando a economia brasileira, impedindo os resultados negativos da balança comercial há anos. Deste modo, cabe aos produtores, pesquisadores e extensionistas pensar em ações e tecnologias que possam viabilizar este impasse.

Para a região semiárida do Nordeste brasileiro, a atividade pecuária é de extrema importância, sobretudo a criação de ruminantes, a qual tem se constituído, ao longo do tempo, na atividade básica das populações rurais distribuídas nos 95 milhões de hectares da região semiárida nordestina (NÓBREGA et al, 2011). Isto se dá em função das condições edafoclimáticas dessa região serem desfavoráveis à agricultura, de modo que as lavouras têm sido consideradas apenas como um subcomponente inexpressivo dos sistemas de produção predominantes, face à sua maior vulnerabilidade às limitações ambientais (NÓBREGA et al, 2011).

Conforme Souza & Souza (2016), para considerar a ação antrópica faz-se necessário elucidar a natureza incorporada ou recriada pelo mesmo. O autor afirma que a humanidade tem sido uma força dominante na evolução dos ambientes naturais que temos atualmente, gerando transformações que tanto podem degradar severamente um local, como promover o retorno a um estado altamente produtivo e diversificado.

Nesse contexto, as atividades econômicas como a urbanização, a criação bovina e a agricultura afetam a cobertura de vegetação devido às mudanças no uso da terra e ao desmatamento intensivo, gerando impactos no clima local, regional e global (MARENGO et al, 2011).

No conceito de Galvão et al. (2015), o desenvolvimento de pesquisas voltadas ao conhecimento da estrutura e da distribuição espacial da pecuária é importante para a definição de políticas de infraestrutura, transporte, logística, análise de viabilidade de projetos de desenvolvimento regional e de programas de colonização e assentamento.

Sabendo da complexidade de fatores que envolvem a atividade pecuária, é importante gerar panoramas e zoneamentos para analisar como está o avanço da atividade, se existem locais com aptidão que não estão sendo utilizadas para tal, se existem áreas em que a produção é incompatível com a capacidade, bem como a identificação de áreas degradadas. A elaboração do zoneamento de

determinadas regiões tornou-se possível graças à maior disponibilidade de dados meteorológicos e ao avanço de sistemas de informações geográficas (SIG). O mapeamento dos dados permite transformar informação em conhecimento.

Desta forma, o presente estudo tem por principal objetivo gerar um panorama da pecuária bovina no estado do Ceará quanto aos aspectos: ambiental, socioeconômico e institucional, visando relacioná-los com os paradigmas do desenvolvimento sustentável.

Com a finalidade de alcançar os objetivos propostos, a pesquisa foi realizada por meio de fontes secundárias que usam os dados já coletados como fonte de informações por meio eletrônico, portanto conta de um procedimento bibliográfico e documental. Quanto à abordagem, trata-se de uma pesquisa tanto quantitativa, pela análise de dados numéricos, como qualitativa, pela busca em abstrair conclusões e compreender ou interpretar fatores sociais em sua totalidade.

Quanto à natureza, é uma pesquisa aplicada, por lidar com dados secundários e aos objetivos trata-se de uma pesquisa exploratória e descritiva.

1.1 Objetivos Específicos

- Alcançar um diagnóstico do território cearense quanto a sua capacidade produtiva para a bovinocultura (determinada pelo clima, relevo, tipo de vegetação, disponibilidade de água, nível de degradação ambiental, número de produtores, etc.).
- Comparar o potencial produtivo cearense com a real produção existente, a fim de determinar se há uma relação sustentável entre os termos. Ou seja, se os locais onde se estabelecem maiores produções possuem capacidade em seu meio físico, para tal. Ou, se os locais onde há boa capacidade produtiva são devidamente explorados.
- Analisar o impacto econômico e social que esta atividade gera no estado, bem como, as políticas públicas de ATER e Pronaf.
- Identificar e explorar os resultados obtidos a partir da construção de mapas e gráficos, relativos às dimensões: ambiental, social, econômica e institucional.
- Realizar uma análise dinâmica acerca das nuances presentes entre cada região, através da espacialização dos resultados.

1.2 Hipótese

A bovinocultura no estado do Ceará é uma atividade com bastante potencial de geração de emprego, renda, manutenção do homem no campo, desenvolvimento regional e segurança alimentar. No estado do Ceará, existem locais com potencial produtivo onde o desenvolvimento da atividade, desde que executado de maneira sustentável, traria muitos retornos econômicos e sociais. Por fim, supõe-se que a atividade precisa de maior apoio institucional e respeito ao meio ambiente.

1.3 Justificativa

É sabida a grande multiplicidade de ambientes presentes no estado do Ceará, no que corresponde aos tipos de solo; clima; vegetação; habilidades, costumes e saberes dos produtores rurais de cada região, etc. Nesta diversidade, existem áreas exploradas e inexploradas, onde em ambos os casos podem ser áreas com grande capacidade produtiva ou seriamente degradadas.

Para o melhor desenvolvimento do setor é importante zelar pela responsabilidade legal e social do produtor em conservar seu território e mantê-lo produtivo, bem como o papel crucial das instituições governamentais de fomentar a produção. As instituições de pesquisa podem contribuir na compreensão dessa dinâmica rural, a fim de encontrar soluções para os problemas. Entretanto, este último fator precisa ser complementado pela extensão e assistência técnica rural para que haja a difusão deste conhecimento, visto que, muitas vezes a pesquisa não chega até o seu alvo principal, que são os produtores.

Da mesma forma, o mapeamento permite um melhor conhecimento sobre o que a sociedade tem realizado dentro de uma determinada área, lugar, território, região, do que compõe determinada extensão de terra, diagnosticando o que acontece na sua dinâmica natural ou social, dos processos aos quais foi submetido ao longo dos anos e, sobretudo, as formas que podem ser pensadas para a sua utilização e transformação futura.

O estudo e mapeamento desta atividade tão importante para o semiárido pode auxiliar na compreensão e na tomada de decisão por parte da gestão pública e sociedade para o planejamento e desenvolvimento do setor.

CAPITULO II - UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE SUSTENTABILIDADE E PECUÁRIA BOVINA

2.1 Dimensões da Sustentabilidade e Desenvolvimento Sustentável

Há algumas décadas atrás, o conceito de desenvolvimento não instigava reflexões que fossem além da compreensão de crescimento econômico. Com o passar dos anos, no entanto, a intensificação e a velocidade da globalização, junto às preocupações sobre os impactos causados por esse crescimento, dentre outros fatores, contribuíram para a expansão deste ponto de vista. Não se pode mais pensar o desenvolvimento de forma tão unilateral, visto que não há mais sentido pensá-lo longe das dimensões ambientais, sociais, culturais, institucionais e demais aspectos que abraçam a pluralidade das atuais sociedades humanas.

De acordo com Feil & Schreber (2017), os termos sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, apesar de serem usados de forma sinônima, possuem conceitos diferentes. Para os

mesmos, o termo sustentabilidade tem origem e foco no viés ambiental, que decorre das preocupações ambientais acerca da deterioração da ecologia global em prol do desenvolvimento econômico, tendo relação com a solução da escassez de recursos naturais vinculados a questões energéticas e recursos naturais. Enquanto que, o desenvolvimento sustentável objetiva o crescimento econômico sem agredir o meio ambiente, propondo mudanças em longo prazo que vão além da perspectiva ambiental, mas que também envolvem o comportamento da humanidade, através de estratégias, processos e práticas.

A evidente crise ambiental instalada no planeta desencadeou, a partir da década de 1970, o início de inúmeras reuniões conduzidas pela ONU, a fim de analisar os limites do crescimento das sociedades. Neste contexto, o primeiro relatório da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da ONU, elaborado em 1987 com o título de: “Nosso futuro Comum”, formulou a definição clássica para o desenvolvimento sustentável como “aquele que atende as gerações atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem suas necessidades e aspirações”. Fala reforçada de forma concisa por Sachs (2008). Entretanto, é suposto que o conceito de sustentabilidade surgiu no século XVI, quando a Alemanha se preocupava com a responsabilidade do uso da floresta de forma que permitisse sua regeneração e sua perenidade. Na visão da ecologia, todo ecossistema possui algum grau de sustentabilidade ou resiliência, que é a capacidade do ecossistema de se regenerar após desequilíbrios externos sem comprometer suas funções (CARVALHO & BARCELLOS, 2009).

Nesse sentido, Boff (2014) diz que a sustentabilidade em termos ecológicos é a dinâmica desempenhada pela Terra para manter o ecossistema equilibrado e evitar sua ruína. Para o mesmo autor, uma sociedade sustentável é aquela que se organiza e se comporta de tal forma que, através das gerações, consegue garantir a vida dos cidadãos e dos ecossistemas nos quais está inserida, junto com a comunidade de vida. O autor completa que quanto mais a sociedade se funda sobre recursos renováveis, mais sustentável se torna.

Para Carvalho & Barcellos (2009), a distinção entre os recursos renováveis e os não-renováveis, embora correta, induz a preocupação exclusiva com os recursos não-renováveis, entretanto, ambos são recursos exauríveis e devem ser preservados. Citam o exemplo do petróleo que é finito por não ser produzida na nossa escala de tempo e da água doce que pode ser consumida a taxas superiores a reposta pela natureza.

Por outro lado, conforme Benetti (2006), após a Revolução Industrial, ocorrida em meados do século XVIII, a história da humanidade passou a ser voltada quase que exclusivamente ao fenômeno do crescimento econômico. Segundo o mesmo autor, a consciência quanto aos problemas ambientais apenas se tornou um fenômeno politicamente significativo nos preparativos para a Conferência de Stockholm, na década de 70.

Até os dias atuais é perceptível que a primeira associação feita pelos membros da sociedade quando se fala em desenvolvimento é ao conceito de crescimento econômico, visto que este deriva

da ideia de progresso, onde se encontra a chave do pensamento capitalista. Contudo, desenvolvimento não é sinônimo de crescimento. De acordo com Silva et al. (2009), “o crescimento refere-se aos níveis de produção e renda de uma população, ou seja, direciona-se apenas aos aspectos econômicos, enquanto que desenvolvimento se direciona à elevação do nível de [qualidade de] vida da população”.

Acredita-se que o primeiro documento a conceituar o termo “desenvolvimento sustentável” foi gerado no encontro internacional denominado ‘Estratégia de Conservação Mundial’ (The World Conservation Strategy), que foi uma publicação conjunta entre a instituição “International Union for Conservation of Nature and Natural Resources” (IUCN) com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), durante a década de 1970 e 1980 (IUCN et al., 1980).

Neste novo paradigma, o desenvolvimento não é mensurado apenas em função do crescimento econômico, mas também dos avanços sociais, institucionais e da sustentabilidade ambiental, ressaltando a conservação da natureza e o bem-estar social a longo prazo, visando sempre o compromisso e a preocupação com as condições de vida das gerações vindouras (IBGE, 2004). Tendo em vista que a degradação ambiental e as constantes mazelas sociais vistas na atualidade são claros sinais do fracasso alcançado pelo modelo de desenvolvimento dominante (SILVA et al, 2009).

De acordo com o IBGE (2004), o objetivo do desenvolvimento sustentável é integrar e harmonizar as ideias e conceitos ligados ao crescimento econômico, à justiça e ao bem-estar social, à preservação ambiental e o uso racional dos recursos naturais, ponderando as dimensões social, ambiental, econômica e institucional.

Sachs (2008) estabeleceu alguns critérios para chegar à sustentabilidade que se referem às três dimensões base desse estudo: a dimensão social, que se encarrega do alcance de igualdade social razoável, distribuição justa de renda, emprego com qualidade de vida e acesso igualitário aos recursos e serviços sociais; a dimensão ambiental engloba o respeito e realça a capacidade de autodepuração dos ecossistemas naturais; e a dimensão econômica onde cabe o desenvolvimento econômico equilibrado entre setores, segurança alimentar, capacidade de inovação e autonomia da pesquisa científica e tecnológica.

Aprofundando o conceito de cada dimensão de acordo com a publicação do IBGE (2004) “Vocabulário Básico de Recursos Naturais e Meio Ambiente”, entendemos que o desenvolvimento sustentável, na perspectiva ambiental, propõe o uso moderado dos recursos naturais (não-renováveis) ou abaixo da capacidade de renovação, além da preservação de parcelas do ambiente natural, a fim de garanti-lo às futuras gerações. Em termos sociais, o desenvolvimento sustentável propõe a igualdade, tanto na distribuição das riquezas produzidas, como na garantia do acesso à educação e à saúde, à equidade de gêneros, etnias, classes sociais e religiões, etc., de forma que haja melhoria na qualidade de vida da população e justiça social (IBGE, 2004).

Quanto ao aspecto econômico, o desenvolvimento sustentável propõe o crescimento fundamentado no aumento da eficiência de uso da energia e dos recursos naturais, diminuição do

consumismo e desperdício e uma maior consciência acerca dos impactos causados pelo uso dos recursos naturais (IBGE, 2004).

Por sua vez, “a dimensão institucional trata da orientação política, da capacidade e do esforço despendido pela sociedade para que sejam realizadas as mudanças necessárias à efetiva implementação deste novo paradigma de desenvolvimento” (IBGE, 2004, p. 101). Segundo a mesma fonte, o DS em termos institucionais, avalia o grau de participação e controle da sociedade sobre as instituições públicas e privadas, de engajamento em acordos internacionais, de disponibilidade de ferramentas do estado para tratar questões ambientais, de investimento em proteção ao meio ambiente, ciência e tecnologia, bem como do acesso à inovação (IBGE, 2004).

É importante que uma sociedade disposta a avaliar seu desenvolvimento e eficiência de seus mecanismos tenha uma base de informações que lhe possibilite fazer uma análise da situação em que se encontra, de forma a garantir um suporte adequado para a realização de avaliações que direcionem as decisões políticas em prol do desenvolvimento e sirvam para acompanhar o impacto gerado no contexto socioambiental.

Com isso, cabe pensar como uma sociedade sustentável pode diferir da sociedade de hoje. Mais do que uma questão técnico-científica, a sustentabilidade é uma questão ética (BURSZTYN et al, 2001). A sociedade precisa ter sabedoria e ética para lançar objetivos que estabeleçam a sustentabilidade, ter vontade para alcançá-los e maturidade de julgamento para percebê-las.

2.2 Breve panorama econômico da pecuária bovina na atualidade

A importância do setor agropecuário para a economia brasileira é indiscutível, visto que vem contribuindo para os resultados positivos na balança comercial anualmente, devido ao excelente desempenho nas exportações.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), o PIB total brasileiro em 2016 foi de 6,27 trilhões de reais, em que o agronegócio representou 1,48 trilhões de reais, um percentual correspondente a 23% do total. Onde, dentro da porteira, a agropecuária gerou R\$ 357.352 milhões. Os termos “antes da porteira”, “dentro da porteira” e “depois da porteira” se referem à cadeia do agronegócio, respectivamente, aos insumos necessários ao início produção e que devem ser adquiridos, a produção de fato e à armazenagem e comercialização.

Quanto às exportações brasileiras em 2017, conforme o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2018), o agronegócio arrecadou US\$ 96 bilhões (44%), enquanto que a indústria e a mineração foram responsáveis por US\$ 121 bilhões (56%). O Nordeste é a região com maior crescimento de exportações (2016-2017), correspondente a 27,2%, sendo que os principais compradores brasileiros são a China, União Europeia e EUA (PORTO, 2018).

Apesar disso, o estado do Ceará não tem participação considerável neste resultado. No Ceará, o PIB total em 2016 foi de R\$138.378 milhões e o agropecuário R\$6.509 milhões. Dessa forma, podemos concluir que 4,7% do PIB cearense deve-se a atividade agropecuária (IPECE, 2018).

Nesse contexto, a cadeia agroindustrial do leite e da carne bovina tem papel de destaque no agronegócio brasileiro sob o ponto de vista econômico e social, abrangendo todo o território nacional, tendo grande importância no suprimento de alimentos e na geração de emprego e renda (SILVA et al, 2017).

A alta produção brasileira é intensificada por diversos fatores favoráveis, presentes nas dimensões ambientais, socioeconômicas e culturais (CNA, 2017). Conforme Silva et al (2017), devido à grande extensão de terras agricultáveis e clima tropical e subtropical, o Brasil tem grande capacidade para produzir leite e carne, já que basicamente os animais são criados em sistema extensivo a base de pasto, proporcionando um custo relativamente menor do que em outros países. Segundo o mesmo autor, o Brasil possui potencialidade para a longo ou médio prazo, tornar-se um importante exportador de leite e seus derivados, como já ocorre com a carne bovina.

Segundo o departamento da agricultura dos EUA, o USDA (2018), o Brasil é o maior produtor e exportador de carne bovina do mundo, em 2018 produziu cerca de 9,9 milhões de toneladas de carne, exportou mais de 2 milhões de toneladas e obteve o segundo maior consumo do mundo, com 7.9 milhões de toneladas.

Quanto à produção leiteira, de acordo com o USDA (2018), o Brasil é o 6º (sexto) maior produtor e o 5º maior consumidor de Leite e o Terceiro maior produtor e consumidor de queijo do mundo. Em 2018, o Brasil produziu 85 mil toneladas de manteiga gastos internamente e importou mais 5 mil toneladas para completar o consumo, sendo que este também importou aproximadamente 25 mil toneladas de Leite Seco Desnatado. Produziu 585 mil toneladas de Leite Integral em Pó, dos quais exportou 2 mil toneladas, entretanto, consumiu 643 mil toneladas, sendo necessária a importação de mais 60 mil toneladas do mesmo produto. Segundo esses dados divulgados pelo USDA (2018), nota-se que o ramo brasileiro de leite bovino ainda é um setor que pode ser bastante explorado e intensificado.

Conforme dados do IBGE referentes à produção brasileira de Leite, no ano de 2017 foram adquiridos 24.116.947,35 litros de leite em todo território nacional e desse total 99,71% (24.080.265 litros) foram industrializados. Podemos afirmar, portanto, que quase todo o leite adquirido no Brasil passa por algum processo de industrialização e apenas 528.973,00 litros não sofreram o processo ou não foram registrados no total (IBGE, 2017).

Em 2017, o Brasil exportou mais de US\$ 112,5 milhões de dólares, que correspondem a mais 38,5 milhões de quilogramas de leite para o exterior, em contrapartida, importou um total de US\$ 561,9 milhões de dólares, equivalentes a mais de 169 milhões de kg de leite (USDA, 2018).

2.3 Aspectos históricos e sociais da Bovinocultura

A história da colonização do Ceará tem muito a dizer sobre as atuais condições de desenvolvimento social e cultural do estado, esta é marcada por longos embates e disputas de poder. Nesse contexto, o gado bovino está presente no Brasil desde os primeiros anos da colonização portuguesa (SILVA, BOAVENTURA e FIORAVANTI, 2012).

Conforme Schlesinger (2017), historiadores indicam a pecuária bovina como a principal responsável por desenhar os contornos da atual extensão territorial do Brasil, devido a sua importância econômica ao longo do tempo. Inicialmente, a produção bovina no Brasil tinha o objetivo de subsidiar a produção de cana de açúcar, que ocorria paralelamente como a primeira monocultura comercial no país e muito presentes no litoral do Ceará. A carne e o leite eram utilizados para alimentação dos trabalhadores das lavouras que ocupavam o atual litoral de Pernambuco e Bahia (SCHLESINGER, 2017).

De acordo com Martins (2010), a partir de 1637 os holandeses dominaram o Ceará, fato marcado pela conquista do Forte de São Sebastião, durando até o ano de 1644 quando foram expulsos pelos índios. Ao longo dos sete anos de dominação holandesa, os portugueses, expulsos, foram obrigados a emigrar para o interior do estado, quando começaram a instalar vários currais de criação de gado. O que pode justificar o fato das principais bacias leiteiras atualmente estarem localizadas na região central do estado.

Como explica detalhadamente o economista Leopoldo Costa (2011) em seu artigo “História da criação de gado no Ceará”, foram registradas duas frentes principais de ocupação do território cearense: a do ‘sertão de fora’, liderada por pernambucanos vindos do litoral, e a do ‘sertão de dentro’, guiada por baianos que navegavam o rio São Francisco e que conquistaram o sertão do sudoeste. O principal objetivo destas frentes era a criação de gado, em que os currais foram sendo instalados buscando identificar as raras fontes de água existentes no estado. “A técnica usada na construção era, portanto, regida pelo tempo social do criatório, marcado pela escassez de mão de obra, pela urgência da fixação, em um meio natural plasmado pela terra rachada, pela agressividade climática, pela falta de chuva, pela rara presença de pastagens, pela quase inexistência de rios perenes” (JUCÁ NETO, 2012, p.135).

A pecuária se constituiu numa atividade de tanta importância para o sertanejo que os historiadores começaram a falar que o Ceará havia se transformado numa “Civilização do Couro”, visto que o couro fazia parte de todos os objetos necessários à vida dessa população, incluindo vestimentas, revestimento de móveis, artesanatos, etc. (COSTA, 2011). Chaves (2016) apresenta também a contribuição das charqueadas como atividade econômica que fortaleceu a concentração de poder dos criadores de gado, proporcionando o desenvolvimento de vilas como: Icó, Sobral, Granja, Camocim e Acaraú.

O Ceará sempre foi um estado marcado pela pobreza, que, ao longo de sua ocupação passou por secas severas que dizimaram tanto populações quanto produções agropecuárias. Como explica Chaves (2016), há uma vertente de historiadores que afirma que a escravidão foi pouco expressiva no estado do Ceará – e que liga o fato de ter sido a primeira província a libertar os escravos, antes mesmo da Lei Áurea, com o fato de os fazendeiros não disporem na época de recursos para alimentar nem os escravos nem o gado, que eram caros para se comprar e manter. Entretanto, Chaves (2016) afirma que o trabalho escravo foi fortemente estabelecido no Ceará, especialmente em lavouras de algodão.

2.4 Importância do apoio institucional e programas de fomento ao Desenvolvimento Rural Sustentável

A mudança na compreensão acerca do papel que espaço rural desempenha sobre a conservação e proteção dos recursos naturais é imprescindível. O espaço rural está cada vez mais sendo caracterizado por sistemas complexos, diversificados, integrados e interdependentes, em que o produtor rural se consolidou como protagonista no gerenciamento destes recursos (FERREIRA et al, 2012).

O desenvolvimento rural sustentável é essencial para a valorização das múltiplas funções desempenhadas pelas atividades agrícolas. Pesquisas realizadas por Gavioli et. al., (2011), destacam quatro expressões da multifuncionalidade da agricultura familiar: Garantir a renda das famílias rurais; Promover a segurança alimentar das próprias famílias e da sociedade; Manter o tecido social e cultural; Preservação dos recursos naturais e da paisagem rural.

A consolidação do desenvolvimento rural de uma localidade exige não apenas a expansão física de suas áreas exploradas, mas requer o aprimoramento das qualidades e oportunidades, para assim estabelecer os ganhos sociais, econômicos, ambientais, políticos e culturais, sem excluir a ética da solidariedade (COSTABEBER e CAPORAL, 2003).

Deste modo, faz-se necessário fomentar metodologias educativas e gerenciais, através da avaliação do desempenho econômico, social e ambiental dos estabelecimentos rurais, a fim de auxiliar o processo de tomada de decisões. A partir da análise da sustentabilidade de uma produção agropecuária, torna-se possível realizar um planejamento técnico com visão holística entre os sistemas de produção e a conservação ambiental de acordo com os parâmetros da legislação vigente (FERREIRA et al., 2012).

De acordo com Lopes e Brienza Junior. (2017), os produtores rurais, em especial os agricultores familiares, apresentam dificuldades nos processos de regularização ambiental de suas propriedades à legislação ambiental e às demais dimensões da sustentabilidade (econômica e social). Nesse sentido, os instrumentos das políticas ambientais federais e estaduais apontam caminhos ao produtor rural de conciliar a eficiência econômica com a responsabilidade social e ambiental.

Atualmente, observa-se uma tendência pela falta de interesse das novas gerações em permanecerem no campo para o exercício de atividades rurais, visto que configura um trabalho árduo, que oferece riscos, exige dedicação, tempo e muitas vezes apresenta menor lucratividade que as oportunidades de emprego nos centros urbanos, incentivando, assim, o êxodo e a pressão dos grandes centros para suportar o aumento populacional em estrutura e geração de empregos.

Contrapondo-se aos retornos mais rápidos e maiores dos investimentos urbanos, as áreas rurais geralmente carecem de um maior apoio em termos de seu desenvolvimento organizacional e territorial. E como qualquer outra atividade econômica, requer investimento, inovação e a presença de projetos que fomentem esse desenvolvimento, sendo essencial o apoio de políticas públicas ou privadas (ROVER et al., 2016) que, por sua vez, constitui uma das principais deficiências. Conforme o IBGE, os valores investidos em financiamento às propriedades produtoras ainda não atingem a maior parte dos estabelecimentos no país, financiando apenas 15% dos estabelecimentos.

Simões et al. (2009), estudando diferentes sistemas de produção leiteira no Mato Grosso do Sul, identificaram que a pouca especialização da atividade acarreta em perdas para a Cadeia Produtiva do Leite, associadas à alta sazonalidade de produção e, consequente, volatilidade de preços; deficiências de gerenciamento e planejamento; desestímulo dos produtores por não receberem melhor remuneração por um leite de melhor qualidade; difusão de práticas de manejo não adequadas para a produção de leite e o desconhecimento de técnicas adequadas e carência do controle zootécnico.

No tocante ao amparo técnico e financeiro das atividades agropecuárias no estado do Ceará, a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará - Ematerce - é um dos órgãos responsáveis pelo desenvolvimento do setor. A Ematerce é um órgão público estadual, de direito privado, sem fins lucrativos, vinculada à Secretaria do Desenvolvimento Agrário do estado do Ceará – SDA. Os serviços de Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) são essenciais para o desenvolvimento sustentável da agricultura familiar, principalmente, no que se refere à inserção e viabilização de novas práticas agroecológicas.

2.5 Dinâmica ambiental sobre a produção Bovina

2.5.1 *Influência do clima Semiárido no Bem-estar e Adaptação de Bovinos Leiteiros*

O Brasil é privilegiado pela vasta disponibilidade de terras e clima favorável a produção da maioria dos alimentos. Neste contexto, pecuária bovina no país é, de longe, a atividade econômica que ocupa a maior extensão de terras (SCHLESINGER, 2017). Sua grande diversidade climática é atribuída, dentre vários outros fatores, à sua fisionomia geográfica, à extensão territorial, ao relevo e à dinâmica das massas de ar (SAMPALIO et al, 2011).

Basicamente, a produção de bovinos na pecuária brasileira se dá por sistemas extensivos de criação. Que, para Cattellam (2013), este fator pelo qual os animais são submetidos torna-os bastante susceptíveis aos problemas decorrentes das intempéries climáticas. No caso do estado do Ceará,

predomina o clima tropical semiárido, onde as temperaturas são elevadas durante todo o ano, as chuvas concentram-se num curto período de três ou quatro meses em média e a umidade varia de acordo com a pluviosidade. Esse ambiente pode ser limitante à produção, visto que a temperatura do ar é considerada o principal fator climático com influência sobre o ambiente físico do animal (MCDOWELL, 1974), bem como a umidade atmosférica, que é fator de grande influência sobre o equilíbrio térmico (YOUNG, 1988).

Este quadro se agrava, pois, o aumento da produtividade das fazendas leiteiras no Brasil deve-se principalmente a difusão de material genético oriundo da Europa e América do Norte (BOND, 2012). Ou seja, são animais adaptados a climas temperados, o que agrava a limitação produtiva em algumas regiões do país.

Apesar da região semiárida do Nordeste brasileiro ter a criação de ruminantes como a principal parcela da produção animal, a zona de clima semiárido é caracterizada por altas taxas de radiação solar e temperatura na maior parte do ano, causando desconforto térmico a estes animais, sobretudo às raças mais produtivas oriundas de clima temperado (SOUSA JÚNIOR et al., 2008).

Com isto, houve a necessidade de utilização de raças Zebuínas, naturalmente adaptadas, e a preservação de raças nativas menos produtivas, mas que podem constituir um instrumento para melhorar a rusticidade de bovinos de alta produtividade, mas de baixa capacidade de adaptação. A maior parcela da produção de leite no Brasil tem origem de bovinos mestiços de zebuínos, dentre os quais os resultantes do cruzamento Holandês x Gir ocupam posição de destaque (FACÓ et al., 2005). De acordo com Costa (2014), a bovinocultura no estado do Ceará é voltada à produção leiteira, com animais mestiços, especialmente da raça Girolando, com os cruzamentos $\frac{1}{2}$ Holandês $\frac{1}{2}$ Gir e $\frac{3}{4}$ Holandês $\frac{1}{4}$ Gir.

A produtividade e a expressão do máximo potencial genético do animal é limitado pelas condições do ambiente no qual está inserido. Por mais que tenham em sua composição genética características de alta produção, a manifestação do fenótipo é determinada pelo genótipo associado às condições do ambiente. Ou seja, o animal só pode desenvolver o seu máximo potencial produtivo se lhes for dado condições necessárias para tal, as quais envolvem boa alimentação, clima adequado, bom manejo e controle da sanidade, dentre outros fatores (ALENCAR e POTT, 2003).

Atualmente, nos países desenvolvidos, e também no Brasil, cada vez mais a sociedade exige dos criadores medidas que aliviam o estresse e o sofrimento dos animais. Existe uma demanda do mercado consumidor por processos criatórios que sejam ecologicamente corretos, eticamente defensáveis, socialmente justos e importantes para a comunidade que pretendem atender (FRASER & BROOM, 1990). Os produtos derivados de animais criados com bem estar possuem valores agregados, tanto nos aspectos éticos, quanto econômicos, atendendo a um público específico de consumidores (BOND et al., 2012). Para Costa (2004), é possível desenvolver práticas de criação que aliem bons índices de produtividade e alta qualidade do produto ao bem-estar dos animais.

O bem-estar pode ser medido a partir de indicadores fisiológicos e comportamentais, e que está associado ao estresse de forma inversamente proporcional (SOUSA JÚNIOR et al., 2008). No entanto, o uso da climatização artificial reduz o estresse térmico e adequa o meio para minimizar as perdas produtivas e/ou incrementar a produtividade (CATTELAM, 2013).

A adaptação de um animal se refere às modificações nas características morfológicas, anatômicas, fisiológicas e de conduta de um animal em resposta a ação de fatores ambientais. À medida que o ambiente impõe desafios ao animal, maior será a sua dificuldade em se adaptar e, conseqüentemente, menor será seu grau de bem-estar (BOND et al., 2012). A adaptabilidade de um animal é medida pela sua capacidade de se regular a um ambiente de clima adverso, mantendo o desempenho produtivo, reprodutivo, no baixo índice de mortalidade e na resistência às doenças (HAFEZ, 1973).

Para Bond et al. (2012), a viabilidade da pecuária leiteira nacional com vista para a qualidade de vida dos animais no Brasil, ainda é um assunto desconhecido pela escassez de publicações nesta área. É preciso aprofundar o conhecimento sobre a biologia da espécie de interesse e definir limites éticos, visto que grande parte da discussão acerca do bem-estar animal está em torno da responsabilidade humana, de suas ações praticadas e o que poderia fazer a respeito, o que constitui, portanto, uma questão ética.

2.5.1.1 Índice de temperatura e umidade – ITU

Os principais elementos climáticos que influenciam o estresse térmico em bovinos leiteiros são a temperatura do ar (TA) e a umidade relativa do ar (UR). Esses fatores foram incluídos no modelo matemático desenvolvido THOM (1959), denominado índice de temperatura e umidade – ITU, que é ainda hoje um dos modelos de medição de bem estar animal mais utilizados em todo o mundo, pela sua simplicidade e eficiência.

Diversas pesquisas indicam a queda da produção de leite com o aumento do índice de ITU. Conforme Costa (2014), há certa aproximação de valores do ITU para indicar conforto ou estresse térmico entre os pesquisadores, como pode ser observado na tabela 1 a seguir.

Tabela 1- Classificação de conforto térmico para bovinos através do ITU, segundo diversos autores.

Autor	Conforto	Alerta	Perigo	Emergência
Rosenberg <i>et al.</i> (1983)	< 75	75 – 78	79 – 83	> 83
Hahn (1985)	< 71	71 – 78	79 – 83	> 83
Baêta (1985)	< 74	74 – 78	79 – 84	> 84
Du Prezz <i>et al.</i> (1990)	< 72	72 – 78	79 – 82	> 82
Junior (2001)	< 70	70 – 72	72 – 82	> 82
Brown-Brandl <i>et al.</i> (2005)	< 74	74 – 78	78 – 84	> 84
Assís <i>et al.</i> (2016)	< 74	74 – 78	78 – 84	> 84

Fonte: Pesquisa própria.

A sensibilidade de vacas de leite ao estresse térmico está bem evidenciada, e índices como o ITU auxiliam na detecção de perdas na produção, deficiências reprodutivas e distúrbios na aclimação dos animais (COLLIER et al., 2006; CERUTTI et al., 2013).

2.5.2 *Influencia dos aspectos geomorfológicos na produção bovina*

De acordo com Bertolini e Valadão (2009), a Geomorfologia é o ramo da ciência que estuda as formas dos relevos terrestres, seus processos de formação e transformação, bem como, a maneira como a sua interferência se manifesta na organização socioespacial e a dinâmica espaço-temporal. O relevo também está associado a fatores como litologia, clima e vegetação.

Conforme Mabessone (1978), algo que se destaca nas formas de relevo presentes nos sertões semiáridos do Nordeste brasileiro é a enorme extensão de áreas planas ou quase planas. Onde, nessas regiões, as áreas planas se estendem da costa para o interior, com elevação gradual de altitude à medida que sai de áreas sedimentares, denominadas superfícies dos tabuleiros, para o cristalino chamado de superfície sertaneja, em que apresenta maior aridez, com topos predominantemente arredondados em forma de montanhas isoladas, serras e chapadas. Na superfície sertaneja também são inseridas as depressões periféricas, que constituem áreas baixas localizadas ao lado dos relevos positivos.

Contextualizando à produção bovina, a declividade do terreno gera impacto na produtividade do leite e qualidade da carne, considerando que a atividade se dá basicamente por sistema extensivo onde os animais ficam soltos no pasto, um relevo muito acidentado iria demandar um maior esforço destes animais para sua locomoção, que geraria cansaço e uma maior demanda energética gasta em função do esforço físico gerado, levando, conseqüentemente, a perda de produtividade, lucratividade e bem-estar animal. BRÁZ (2001) sugeriu que a declividade interfere no comportamento do animal. Além disso, relevos mais acidentados ou montanhosos são mais susceptíveis a erosão, que constitui o carregamento de partículas do solo pela chuva de lugares mais altos para lugares mais baixos e planos (tabuleiros) onde são depositadas, cujo fator é responsável por aumentar a fertilidade dos vales em detrimento da diminuição da fertilidade do solo em áreas com grande declividade, quando expostas ao intemperismo e com ausência de cobertura vegetal (AMORIM et al, 2001).

2.5.3 *Degradação Ambiental x Conservação de Pastagens*

Considerando que a produção de bovinos na pecuária brasileira se dá basicamente por sistemas extensivos de criação, por ser a forma mais econômica e prática de produzir e oferecer alimentos para os bovinos (DIAS-FILHO, 2014), decorre a necessidade de formação de pastos que, por sua vez, é limitado pelo fator da chuva ou disponibilidade de água, o qual representa um grande desafio no estado do Ceará. O pasto é a forma mais barata de suprir as necessidades nutricionais de ruminantes.

Além disso, em ecossistemas tropicais, a degradação das pastagens é um fator relativamente comum, que corresponde à queda acentuada e contínua da produtividade da pastagem, no decorrer do tempo (DIAS-FILHO, 2014; DIAS-FILHO, 2016). No Brasil, a degradação de pastagens ocorre em todas as regiões, fazendo com que grande parte das áreas tenha um aproveitamento muito abaixo do seu potencial (DIAS-FILHO, 2017). Apesar desses fatores, a maior parte dos estabelecimentos agropecuários no Brasil é ocupada por pasto.

No Ceará, de acordo com o IBGE (2017), dos 6.895.412,529 hectares existentes 34% é ocupado por pastagem, 26% por Matas/Florestas, 14% por Lavouras e 25% por outros tipos de ocupação.

De acordo com Dias-Filho (2017), a forma mais prática de saber se a pastagem está em processo de degradação é observar a sua “capacidade de suporte” no decorrer do tempo. Segundo o mesmo autor, a capacidade de suporte refere-se ao número de animais que é possível ser mantido em uma determinada área de pasto sem ocasionar prejuízo no desempenho dos animais (perda de peso ou produção de leite) nem no desenvolvimento da pastagem.

Dessa forma, se em determinada área a capacidade de alimentar os animais por certo período de tempo estiver diminuindo a cada ano, é possível que essa pastagem esteja em processo de degradação. Outros indícios da degradação da pastagem são o aumento no percentual de plantas daninhas, de áreas do solo descoberto (sem vegetação) e a consequente diminuição no percentual de capim (ou de leguminosas forrageiras) na área da pastagem (DIAS-FILHO, 2017).

Dentre as principais causas de degradação de pastagens estão as práticas inadequadas de pastejo, de manejo e estabelecimento da pastagem, que incluem: as altas taxas de lotação, a não adoção de períodos de descanso para sua renovação, uso excessivo do fogo, ausência de reposição da fertilidade do solo; preparo da área, não realizar o plantio em época adequada de semeadura, uso de sementes de baixa qualidade e fatores ambientais diversos, como: doenças, pragas, problemas fisiológicos, excesso ou falta de chuvas e baixa fertilidade natural, drenagem deficiente do solo (DIAS FILHO, 2011).

Apesar das condições escassas das regiões semiáridas, das altas temperaturas, dos solos pouco profundos e da baixa capacidade produtiva, nota-se a adoção de sistemas agrícolas totalmente extrativistas, por exemplo, na pecuária há o superpastoreio, enquanto que na agricultura se dá a base de desmatamentos, queimadas e curtos períodos de pousio, além da intensa extração de lenha e madeira, que reduz da vegetação da caatinga (AGUIAR et al., 2006).

O desmatamento corrobora para a degradação do ambiente, redução da biodiversidade e do potencial agrícola do solo, bem como para o agravamento de questões sócio-políticas que leva ao crescente êxodo do meio rural (VILLELA, 2016). Dessa forma, a conservação dos ecossistemas, bem como a recuperação de áreas degradadas é uma necessidade urgente e o único caminho para a continuidade da produção agropecuária e garantia de alimentos para presentes e futuras gerações (JACOBI, 2003). É eminente a necessidade de intervenção do estado na implantação de práticas

conservacionistas e na conscientização do produtor quanto sua responsabilidade sobre o meio ambiente.

2.5.4 Modelos Sustentáveis da Bovinocultura

Uma alternativa racional e viável para o uso e recuperação de áreas degradadas são os sistemas agroflorestais (SAF's), onde Nair (1993) e Abdo et al. (2008), definem como o conjunto de sistemas de uso e ocupação da terra e tecnologias, nos quais espécies perenes produtoras de madeira (árvores, arbustos, palmeiras) e similares são deliberadamente utilizadas, na mesma unidade de área, com outros cultivos agrícolas e/ou forrageiras e/ou animais, de acordo com um arranjo espacial e uma sequência temporal pré-definidos, contendo grande diversidade de espécies e interações ecológicas entre seus componentes.

Para Abdo et al. (2008), o Sistema Agroflorestal é uma opção interessante e extremamente viável para ser utilizada pelo pequeno produtor. O autor argumenta que há uma maior diversificação da economia e garantia de renda ao longo do ano e o aumento da diversidade proporciona maior estabilidade sobre o ecossistema. As árvores podem ser utilizadas como pasto, forragem, fonte de proteína animal, sombreamento, adubação verde e para diversas outras finalidades econômicas. O mesmo autor alerta que algumas dificuldades estão propostas para a implantação do sistema, como: a necessidade de mão-de-obra capacitada, maior custo de implantação, maior dificuldade para a mecanização, a falta de tradição e muitas vezes a frustração por não conseguir melhores resultados de imediato.

No Brasil, aplicações dos sistemas agroflorestais têm sido recomendadas não só como alternativa econômica, mas também na recuperação de solos degradados (ALVES, 2009). É preciso resgatar a importância da complexidade dos sistemas para sua manutenção. Contudo, a instalação de sistemas agroflorestais requer tempo, pois os caminhos que levam ao desenvolvimento sustentável, nem sempre trazem soluções imediatas. É preciso estabelecer e solidificar as relações naturais do meio.

Os sistemas de integração entre lavoura, pecuária e floresta, podem ser utilizados para intercalar os períodos de chuva e remonta a importância de voltar à complexidade nos sistemas da natureza. O Código Florestal brasileiro garante a possibilidade de implantação de sistemas agroflorestais em pequenas propriedades e manejo sustentável na área da reserva legal, que corresponde a, pelo menos, 80% de propriedades agrícolas na Amazônia Legal, 35% no Cerrado da Amazônia Legal e 20% nas demais localidades (ABDO et al, 2008).

De acordo com Moreira et al. (2007), a produção animal no semiárido foi por muito tempo sustentada pelo uso da vegetação nativa da caatinga na alimentação dos animais. Entretanto, no transcorrer das últimas cinco décadas, tem-se observado um esforço para se produzir a alimentação do rebanho através dos cultivos de plantas forrageiras, tais como a Palma forrageira, fortemente adaptada e constitui uma rica reserva de água.

No sentido de incrementar novas técnicas à produção, a Embrapa desenvolveu um sistema que consiste no emprego dos métodos de: raleamento, rebaixamento e enriquecimento de pastagens (ARAUJO FILHO; BARBOSA, 1999). Esse método, versa, respectivamente, sobre o corte seletivo de espécies de pouco valor forrageiro e madeireiro, a fim de reduzir sua densidade e competição com outras espécies de maior importância; no corte da parte mais alta do arbusto para aumentar a oferta de forragem, e na introdução de novas espécies perenes de boa produtividade.

2.6 *Uso de Índices e Indicadores na Avaliação e Construção da Sustentabilidade*

Os índices e indicadores foram utilizados nesta pesquisa, preponderantemente, no estudo das dimensões socioeconômica e institucional. De acordo com Carvalho & Barcellos (2009), a partir dos anos 80, os indicadores ambientais começaram a ser desenvolvidos em vários países europeus; Canadá e Nova Zelândia, que se consolidou no acordo gerado entre 179 países durante a Agenda 21, onde se afirmou a necessidade de se desenvolverem indicadores de desenvolvimento sustentável (IDS) por parte dos países signatários.

Para Abramovay (2010), esta ferramenta tem importante papel como via para a governança, onde a sistematização de indicadores de sustentabilidade implica na construção de um modelo capaz de refletir a cadeia causal das ações antrópicas (CARVALHO & BARCELLOS, 2009).

Quanto à concepção atribuída aos indicadores, pode se tratar de uma medida quantitativa ou qualitativa que carrega um valor intrínseco capaz de medir ou expressar informações sobre algum aspecto da realidade ou conceito. Fortalecendo esse conceito, Carvalho & Barcellos (2009), afirmam que os indicadores podem representar valores absolutos (quantidade real) ou relativos (porcentagem); bem como ser uma média de vários outros indicadores (indicador composto ou índice); podem ter caráter objetivo e quantitativo ou qualitativo e subjetivo; podem ter uma relação inversamente ou diretamente proporcional entre fatores ou a mensuração sobre a efetividade social de determinada ação.

Conforme o IBGE (2014), os indicadores de desenvolvimento sustentável são “estatísticas, que podem ser valores absolutos, razões ou outros índices, utilizadas na mensuração do nível de sustentabilidade social, ambiental, econômica e institucional de uma sociedade ou território”. Ou seja, buscam representar um elemento do mundo real através de um valor.

Segundo Silva et al. (2009), embora seja dificultoso eleger e reunir os principais fatores que influenciam no desenvolvimento, eles estão presentes em inquietações expressas relacionadas ao estilo de vida atual e futuro, à qualidade de vida, à prosperidade econômica e, de forma generalizada, ao futuro do planeta terra. Índices ou indicadores de sustentabilidade são meios úteis e de grande importância para descrever a sustentabilidade de sistemas, entretanto, faz-se necessário considerar seu real significado e alcance (SICHE et al., 2007).

CAPÍTULO III – ANÁLISE DOS ASPECTOS AMBIENTAIS DO ESTADO DO CEARÁ SOB O OLHAR DA VIABILIDADE E POTENCIAL PARA A BOVINOCULTURA

3.1 Estimativa da temperatura média do ar no estado do Ceará por meio do sensoriamento remoto

3.1.1 Contextualização

De acordo com Medeiros et al. (2005), a temperatura do ar é o fator climático que mais exerce influência de forma direta e significativa sobre os processos fisiológicos de seres vivos. Sendo assim, seu conhecimento é imprescindível na execução de planejamentos agrícolas ou pecuários, a fim de reconhecer a adaptação de cada cultura em diferentes regiões.

Nesse contexto, o zoneamento climático das regiões, ou seja, a divisão da área em unidades individualizadas segundo as suas características, contribui para registrar e delimitar o potencial físico e biológico para a manutenção dos recursos naturais, existentes em cada localidade.

A estimativa de informações meteorológicas - incluindo outras variáveis climáticas e geográficas na análise de regressão - constitui uma metodologia prática e eficiente, sobre a qual já foram realizados diversos estudos no Brasil (Medeiros et al., 2005).

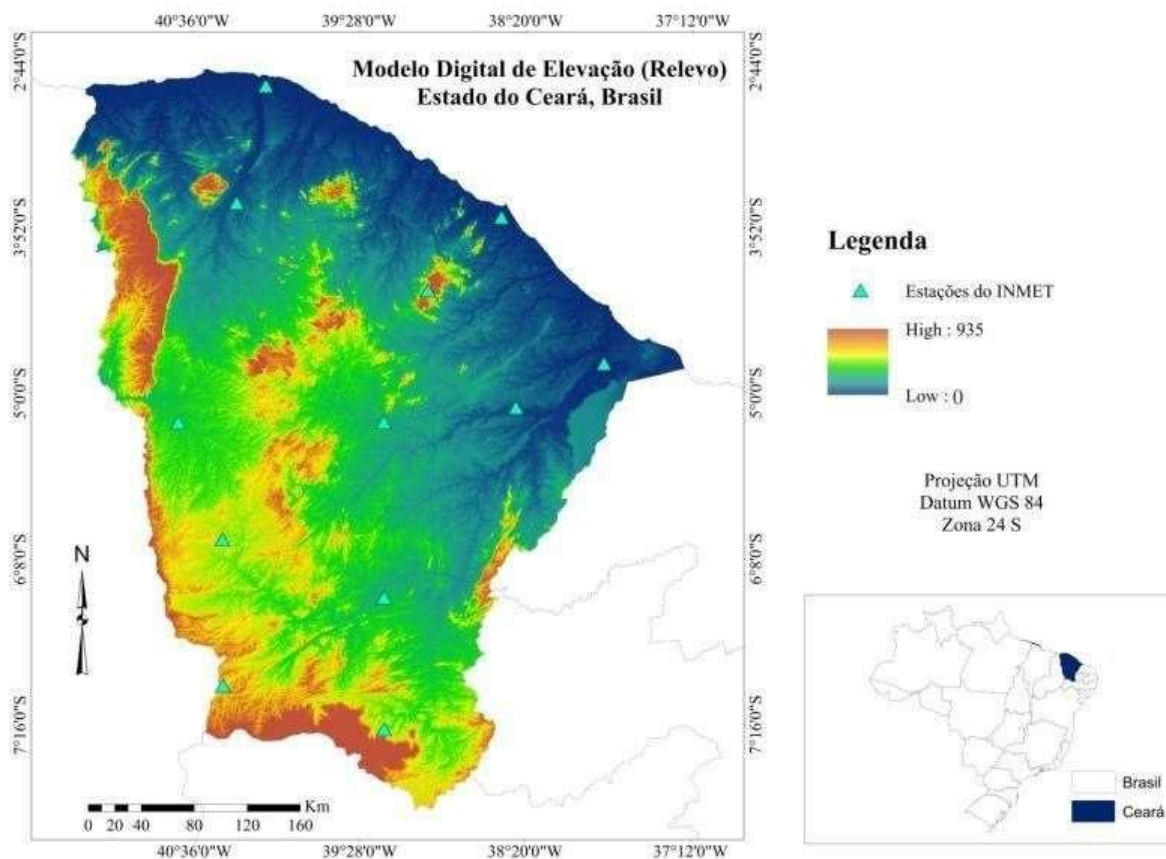
A utilização de Sistemas de Informação Geográficas (SIG) aplicados à espacialização de informações acerca de um território auxilia a compreensão e discussão de diversos fatores. Esta tecnologia permite uma melhor organização espacial das informações ambientais, otimizando a implantação de novas atividades socioeconômicas, identificação de áreas propícias a produção e exploração de diversas áreas (LIMA et al., 2018).

Dessa forma, pretende-se estimar por meio desta metodologia as temperaturas médias do ar no estado do Ceará. O modelo utilizado para a estimativa foi gerado a partir de equações de regressão múltipla, com ajuste quadrático, fruto da correlação das normais climatológicas de temperatura média do estado e algumas variáveis independentes. Em seguida, foi realizada a geração de mapa temático de temperatura do estado por meio do modelo obtido (Equação 15).

3.1.1 Procedimentos

Inicialmente, foram coletados da plataforma do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET os dados mensais de temperatura média do ar, correspondentes à normal climatológica de 1981-2010, e os dados geográficos (Latitude, Longitude, Altitude) das 12 estações meteorológicas presentes no estado do Ceará (Figura 1).

Figura 1 - Localização das estações meteorológicas em relação à hipsometria (Relevo) do Ceará.



Fonte: Elaboração própria, utilizando imagens SRTM do INPE e dados de localização das Estações do INMET.

Para o desenvolvimento da pesquisa foram adquiridas imagens da plataforma Earth Explorer do U.S. Geological Survey (USGS), correspondentes aos sensores Operational Land Imager (OLI)/Thermal Infrared Sensor (TIRS) a bordo do satélite Landsat 8. Este satélite possui resolução espacial de 30 metros por pixel nas bandas curtas (OLI) e 120 metros por pixel nas ondas longas (TIRS). Foram utilizados 11 recortes para cobrir o estado, com datas entre 2013 e 2015, correspondentes ao período seco (Agosto a Outubro) e com a menor quantidade de nuvem (Tabela 2).

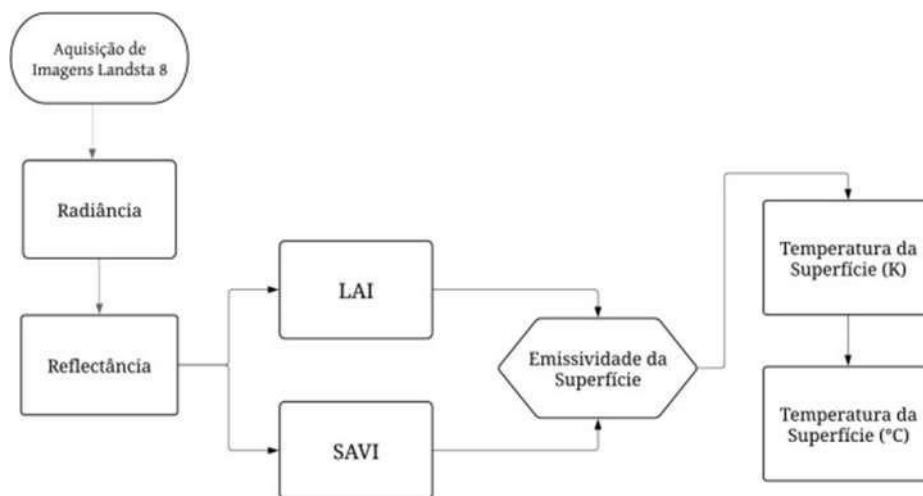
Tabela 1 - Lista das imagens de satélite utilizadas no estudo, referenciadas pelo Caminho (Path) e Linha (Row), Data da fotografia, Horário de passagem do satélite no centro da cena, Porcentagem de cobertura de nuvem (%), Dia juliano (DOY).

Caminho	Linha	Data	Hora	Nuvem (%)	DOY
218	065	10/09/2013	12:55:47	2,20	253
218	064	12/08/2014	12:53:26	0,00	224
	063	26/09/2013	12:54:51	0,44	269
218	062	25/08/2013	12:54:38	2,56	237
217	065	19/09/2013	12:49:33	0,22	262
217	064	19/09/2013	12:49:09	0,11	262
217	063	27/10/2015	12:46:54	3,91	300
217	062	02/08/2013	12:48:25	7,60	214
216	065	12/09/2013	12:43:25	3,15	255
216	064	15/09/2014	12:41:10	0,00	258
216	063	15/09/2014	12:40:46	3,21	258

Fonte: Adaptado de USGS.

O processamento das imagens selecionadas e a obtenção da temperatura de superfície foram realizados na versão profissional do software Erdas 2014 gratuito para testes. Foram utilizadas as metodologias de Chander, Markham, Helder (2009) e Allen *et al.* (2007), em que as etapas estão esquematizadas na Figura 2. Ressalta-se que, o modelo utilizado para a estimativa da temperatura de superfície foi gerado a partir de equações de regressão múltipla, com ajuste quadrático, fruto da correlação das normais climatologias de temperatura média do estado e demais variáveis independentes (Lat., Long., Alt.). Em seguida, foi realizada a geração de mapa temático de temperatura do estado por meio do modelo obtido (Figura 2). O software de SIG utilizado para confeccionar os mapas ou figuras foi o ArcMap 10.2.G utilizado para confeccionar os mapas ou figuras foi o ArcMap 10.2.

Figura 2 - Fluxograma das etapas para a obtenção das temperaturas de superfície.



Fonte: Autoria própria.

O processamento das etapas sequenciais do modelo tem início com o empilhamento das imagens correspondentes as bandas 1 a 6, 10 e 7 de cada cena, obrigatoriamente nessa ordem. Em seguida, com o objetivo de atenuar os efeitos da atmosfera, foi realizada a calibração radiométrica por meio do cálculo da radiância espectral (L_b). As radiâncias espectrais constituem a energia solar emitida e refletida pelas superfícies, as quais são medidas e armazenadas como dados digitais pelos satélites. A radiância constitui uma das medidas radiométricas mais precisas em sensoriamento remoto, cuja finalidade é calcular para cada banda de ondas curtas, o número digital de cada pixel, de acordo com a equação (1).

$$L_b = \left(\frac{L_{MAX} - L_{MIN}}{QCALMAX - QCALMIN} \right) \times (DN - QCALMIN) + L_{MIN} \quad (1)$$

Onde; DN é o número digital de cada pixel presente na imagem, L_{MAX} e L_{MIN} são constantes de calibração encontradas no arquivo MTL associado ao download da imagem. $QCALMAX$ e $QCALMIN$ são, respectivamente, o maior e menor intervalo de valores para radiância redimensionada em números digitais – DN, que também são encontrados no arquivo MTL. As unidades para L_b são $W/m^2/sr/\mu m$.

A partir da radiância calcula-se a refletividade, que é definida pela relação entre o fluxo de radiação refletida e o fluxo de radiação incidente sobre a superfície. As reflectâncias para cada banda são calculadas em duas etapas: Primeiro, a reflectância espectral planetária no topo da atmosfera - como é "vista" pelo satélite - é calculada através da relação entre a

radiância (L_b) medida no satélite e a energia que incide na mesma banda de onda curta. Em seguida, a energia refletida “no satélite” é corrigida para a energia refletida “na superfície”, através do ajuste da atenuação atmosférica da radiação de onda curta incidida na banda específica (entrada) e a atenuação da radiação refletida na banda ao passo que ela viaja da atmosfera para o satélite. A refletância do satélite ($\rho_{t,b}$) é computada segundo Allen *et al.* (2007), Tasumi *et al.* (2008) e Silva *et al.* (2016), conforme a equação 2.

$$\rho_{t,b} = \frac{\pi \times L_b}{ESUN_b \times \cos\theta \times d_r} \quad (2)$$

Onde, o t subscrito em $\rho_{t,b}$ representa a energia refletida no topo da atmosfera (no satélite) e o b subscrito indica o número específico da banda de ondas curtas, L_b é a radiação espectral para cada banda computada no primeiro modelo, $ESUN_b$ é a média solar da irradiância exo-atmosférica para banda b ($W/m^2/m$), $\cos\theta$ é o cosseno do ângulo de incidência solar (de nadir), e d_r é o quadrado inverso da relativa distância terra-sol. Os valores de $ESUN$ foram calculados conforme Silva *et al.* (2010). O termo d_r é definido como $1/d_{es}^2$ onde d_{es} é a distância relativa entre a terra e o sol em unidades astronômicas. O d_r é computado usando a seguinte equação de Duffie e Beckman (1980), que também foi usada por Allen *et al.* (2007):

$$d_r = 1 + 0.033 \times \cos\theta \left(DOY \times \frac{2\pi}{365} \right) \quad (3)$$

Onde: DOY é o dia Juliano do ano e o ângulo é dado em radianos.

A radiação de ondas longas de saída é o fluxo de radiação térmica emitida a partir da superfície para a atmosfera (W/m^2). É calculado estimando a emissividade térmica da superfície e temperatura da superfície. A partir desse passo, calcula-se o SAVI, que significa “Índice de Vegetação Ajustado para o Solo”, semelhante ao NDVI, que é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada”descrito por Allen *et al.* (2007), mas que tenta subtrair o efeito da umidade do solo. O SAVI é calculado conforme a equação abaixo (ALLEN et. al, 2007):

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{t,ivp} - \rho_{t,vm})}{(L + \rho_{t,ivp} + \rho_{t,vm})} \quad (4)$$

Onde: L é uma constante para o SAVI. Se L for igual a zero, o SAVI se tornará igual ao NDVI. O valor de L pode variar de 0,25 a 1 dependendo da cobertura do solo e $\rho_{t,ivp}$ e $\rho_{t,vm}$ são os valores da refletância das bandas infravermelho próximo e vermelho, nesta mesma ordem.

Por sua vez, o Índice de Área Foliar – IAF (LAI – Leaf Area Index) é um índice biofísico definido pela razão entre a área total de todas as folhas de uma planta (um lado das folhas) e a área do solo ocupada pela planta, e varia de 0 a 6. O LAI é um indicador da resistência da biomassa e do dossel ao fluxo de vapor, e pode ser calculado segundo Allen *et al.*, (2007) pela equação 5 e 6:

$$\text{Para } \text{SAVI} \leq 0,81 \{ \text{LAI} = 11 \times \text{SAVI}^3 \} \quad (5)$$

$$\text{Para } \text{SAVI} > 0,817 \{ \text{LAI} = 6 \} \quad (6)$$

A temperatura de superfície do solo foi calculada conforme Chander *et al.* (2009), com a correção da emissividade da superfície, proposta por Allen *et al.* (2007):

$$T_s = \frac{K_2}{\left(\frac{\epsilon_{NB} \times K_1}{R_c} + 1 \right)} \quad (7)$$

Onde: TS é a temperatura da superfície (K); ϵ_{NB} corresponde à emissividade térmica da superfície; R_c é o brilho térmico corrigido da superfície e K_1 e K_2 são constantes para imagens Landsat no arquivo MTL. Unidades para R_c devem ser os mesmos que para K_1 (W / m² / sr / m). Em seguida, os valores de temperatura obtidos em Kelvin foram convertidos para Celsius. A emissividade térmica da superfície (ϵ_{NB}) é expressa pela equação abaixo (Allen *et al.*, 2007): A correção para a radiação térmica da superfície (R_c) é calculada por Wukelic *et al.* (1989) como:

$$R_c = \frac{L_{TIRS} - R_p}{\tau_{NB}} - (1 - \epsilon_{NB}) * R_{sky} \quad (10)$$

Onde, TIRS é a banda do sensor termal infravermelho do Landsat 8 (10.600-11.190 nm); R_p é a radiância na faixa de 10,4 a 12,5 μm (W/m²/sr/ μm), R_{sky} é a banda estreita radiação térmica descendente de um céu claro (W/m²/sr/ μm). R_p e R_{sky} podem ser vistos detalhadamente em Allen *et al.* (2007).

Foi utilizada a ferramenta Mosaic Wisard no software Erdas. Essa ferramenta realiza uma equalização automática do brilho de cada cena fazendo com que se assemelhem a uma única imagem. Pois, dependendo do dia em que foi tirada a fotografia, elas podem ter diferenças no brilho, umas mais claras que as outras.

Os valores da temperatura de superfície da imagem, presentes em cada pixel que coincidiam com a localização de cada estação climática, de acordo com as coordenadas disponibilizadas pelo INMET, foram agregadas ao banco de dados. Na análise de regressão, cada uma das médias mensais

presentes numa mesma estação foi correlacionada com o mesmo valor de pixel correspondente àquele ponto.

A equação de regressão encontrada para estimar os valores de temperatura média do ar foi determinada por meio do software SAS University Edition, após a correlação entre a variável dependente: normais mensais da temperatura do ar; e as independentes: temperatura do satélite (Tsat), latitude (δ), longitude (λ) e altitude (ϕ). Assim foi composta base de dados com 144 conjuntos de valores mensais normais de temperatura do ar e as variáveis independentes, os quais foram observados nas 12 estações meteorológicas do estado ao longo do ano.

Em seguida, com o objetivo de validar a eficiência da equação, realizou-se a comparação entre os dados de temperatura média anual disponibilizados pelo INMET e o valor médio anual estimado pelo modelo proposto. Isto é, comparou-se a média anual de cada uma das 12 estações do INMET com o valor estimado para cada estação. A validação estatística dos dados foi realizada por meio dos métodos estatísticos: Desvio absoluto médio - MAD (Mean Absolute Deviation), Erro médio quadrado - MSE (Mean Square Error), Raiz do erro médio quadrado - RMSE (Root Mean Square Error) e Média do erro absoluto percentual- MAPE (Mean Absolute Percentage Error), calculado através das equações 11 a 14.

Onde, A_t representa o valor médio anual de temperatura observado, conforme a normal climatológica, F_t o valor estimado, n o número de observações, neste caso 12.

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n} \quad (11)$$

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n} \quad (12)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (13)$$

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right|}{n} \times 100 \quad (14)$$

3.1.2 Resultados e Discussão

As variáveis independentes analisadas foram escolhidas pelo fato de poderem ser amplamente determinadas em todo o território analisado e obtiveram um bom índice de correlação (R^2). O índice proposto para aferir a temperatura média mensal anual do estado (Tar) alcançou um $R^2 = 0.9614$ e é composto da seguinte expressão:

$$T_{ar} = -15,59818 - (T_{sat} * 0,14406) - (\lambda * 1,18551) - (\delta * 0,76993) - (\varphi * 0,01186) \quad (15)$$

Na equação 15, o F tabelado para 4 graus de liberdade e 7 residual é igual a 4,1203, entretanto o valor do F calculado nessa estatística é igual a 43,59. Como o F calculado é maior que o F tabelado, rejeita-se a hipótese nula e se aceita a hipótese alternativa (Tabela 3). Ou seja, a estatística realizada indica que há uma forte correlação entre a temperatura observada nas estações e a temperatura estimada por meio do modelo.

Tabela 3 - Análise de Variância do modelo – Anova.

	Gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	4	53.55265	13.38816	43.59	<.0001
Resíduo	7	2.14985	0.30712		
Total	11	55.70250			

Fonte: Autoria própria.

Antonini *et al.* (2009), formularam um modelo matemático para estimativa da temperatura média diária do ar no Estado de Goiás correlacionando a temperatura média diária com as variáveis independentes: altitude, latitude e longitude, através de regressão linear.

Filgueiras *et al.* (2016), estimando a temperatura do ar na estação meteorológica da Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNESP (Universidade Estadual Paulista), campus de Botucatu-SP, concluíram que a regressão linear de dados de temperatura de superfície, com dados de temperatura do ar no momento da passagem do satélite, e temperatura média do ar, apresentaram forte coeficiente de determinação, indicando a possibilidade do uso do sensor TM na estimativa e espacialização da temperatura média diária do ar.

As menores e maiores temperaturas médias estimadas para o Estado do Ceará conforme a Figura 3 foram, respectivamente, 18°C e 30,46 °C e o valor médio de temperatura foi 25,78 °C. É notável a influência da altitude na temperatura, onde as regiões serranas se destacaram por apresentar os menores valores de temperatura de superfície e de temperatura estimada do ar.

De acordo com Maciel *et al.* (2012), a atmosfera pode ser estudada a partir de seus elementos constituintes e variáveis atmosféricas. Em que os elementos constituintes são os gases, aerossóis e materiais particulados em suspensão, enquanto as variáveis atmosféricas são representadas pela temperatura, umidade e pressão. Segundo o mesmo autor, essas variáveis são influenciadas pela

posição atmosférica, aspectos geográficos da localidade, configuração do território, altitude, relevo, por sua proximidade com o mar, pela vegetação e pelos efeitos da continentalidade, além das interferências antrópicas.

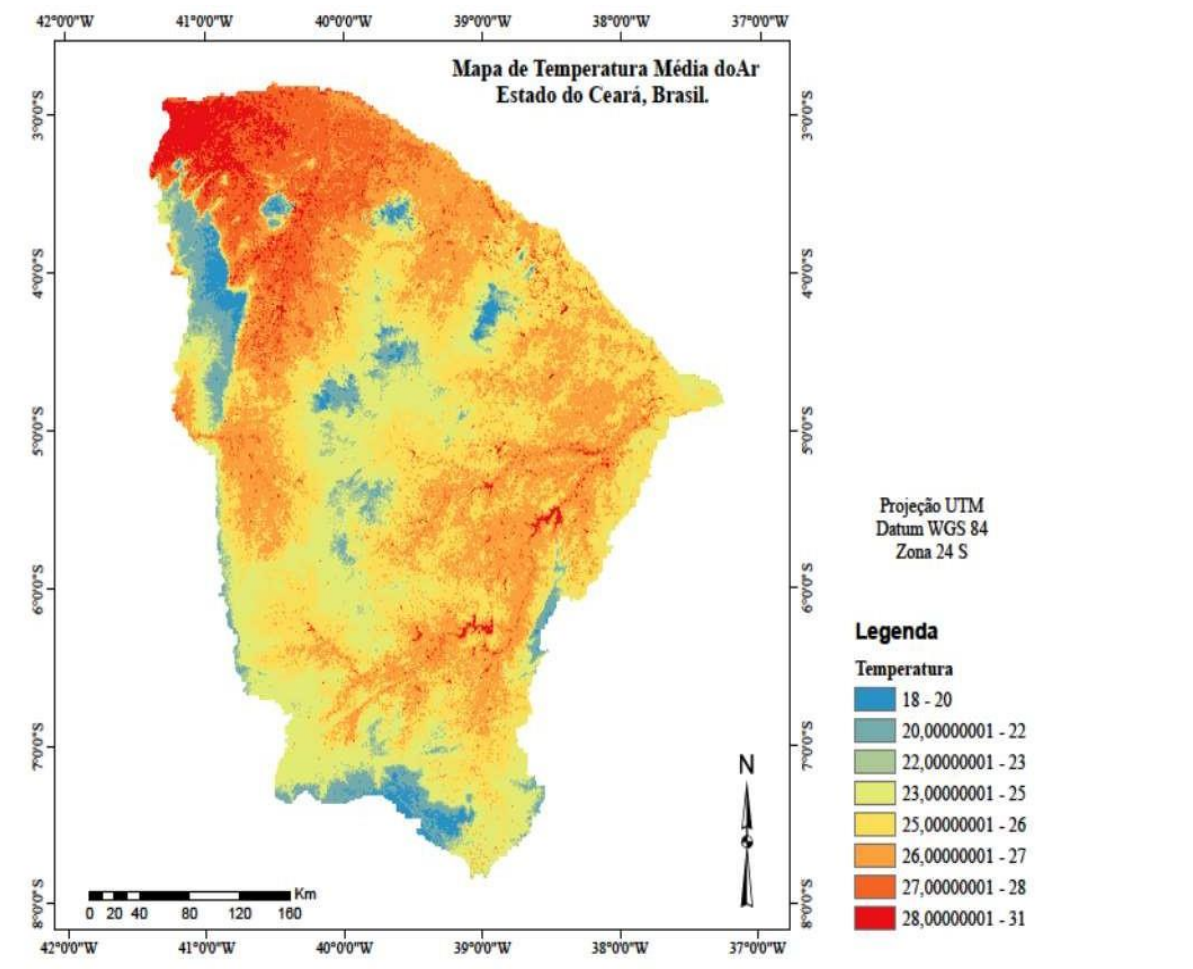
A influência da altitude sobre a temperatura na troposfera pode ser explicada, apesar de ser um fenômeno bastante complexo. Um dos fatores que influenciam nesse processo é a pressão atmosférica sobre as partículas do ar. Quanto maior a coluna de ar sobre uma superfície, maior a pressão e, conseqüentemente, maior a temperatura. Outro fator é o efeito da gravidade que concentra as moléculas do ar nas regiões mais próximas da superfície terrestre, o que promove uma maior concentração de ar e pressão em altitude mais baixa e a sensação de ar rarefeito em altitudes elevadas. Dessa forma, a menor densidade de partículas em lugares altos dificulta a transferência de calor na atmosfera e irradiação solar. Já em lugares baixos, a expansão das partículas devido à maior incidência de energia solar e a maior quantidade de partículas, promove o aumento da pressão atmosférica e o conseqüente aumento da temperatura.

Em estudo realizado por Cargnelutti Filho *et al.*(2006), verificaram que a temperatura mínima média do ar, no Estado do Rio Grande do Sul, analisada em intervalos de 10 dias em vários locais do estado, poderia ser estimada por meio das coordenadas geográficas. Segundo os mesmos autores, a altitude e a latitude, nessa ordem, foram os fatores que exerceram maior efeito sobre a temperatura mínima média decendial do ar. Cargnelutti Filho *et al.* (2006), incluem a longitude como uma coordenada geográfica capaz de estimar as temperaturas máxima e média do ar.

Valladares *et al.* (2005), propuseram um método para a estimativa da temperatura do ar baseado em um modelo de elevação digital MDE originário de dados do radar SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Os autores executaram análises de regressão linear múltipla para cada região do país, tendo como variável dependente a temperatura média do ar e como variáveis independentes a latitude, a longitude e a altitude.

Os locais destacados em azul no mapa (Figura 3) representam as menores temperaturas, como no município de Guaramiranga, localizado em uma região serrana, na área de proteção ambiental da Serra de Baturité, às coordenadas -38,95 Oeste e -4,24 Sul e com atitudes que variam de 240 a 1.093 metros e uma média 798 metros de altura, distante 105,5 km da capital – Fortaleza. O município de Guaramiranga é considerado um dos mais frios do estado e de todo o Nordeste, constituindo o menor em extensão territorial do estado, com pouco mais de quatro mil habitantes, conforme o censo do IBGE de 2010 (LIMA *et al.*, 2019).

Figura 3 - Mapa de Temperatura média do Ar, estimada para o Estado do Ceará.



Outros municípios da mesma Serra se destacam, como: Palmácia, Pacotí, Mulungu e Aratuba. Alguns municípios no interior do estado apresentaram baixas temperaturas, como: Meruoca, Alcântaras, Monsenhor Tabosa, Redenção, Pedra Branca, dentre outros. No entanto, a maior porção do estado se manteve na faixa entre 26°C e 27°C.

A serra da Ibiapaba, também conhecida como Serra Grande, está localizada ao extremo oeste do estado do Ceará, limitando-se com o estado do Piauí. Possui uma altitude média elevada, superior a 700 metros, mas com uma declividade bastante suave e gradual.

Possui uma vegetação densa, com características de Mata Atlântica. Suas condições climáticas são bastante favoráveis em relação ao restante do estado, onde também se pode desfrutar de uma das temperaturas mais amenas.

A região do Cariri, localizada ao extremo sul do estado, comporta a chapada do Araripe que compreende a Floresta Nacional do Araripe – FLONA, a primeira floresta nacional reconhecida por lei do Brasil. Possui um ambiente privilegiado por estar situado em uma bacia sedimentar com três aquíferos de águas milenares e centenas de fontes que jorram ao pé da chapada. Muitas vezes a região é reconhecida como o “Oásis do Sertão”. Também possuem destaque no estado pela boa taxa de pluviosidade e que contribuem para as baixas temperaturas no topo da chapada.

Ferreira (2005) estimou a temperatura da superfície terrestre por meio de imagens infravermelhas do satélite NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) e correlacionou estes resultados com os dados de temperatura do ar, e concluiu ser uma ferramenta muito útil aos estudos de monitoramento agrometeorológico.

No tocante a validação estatística dos dados, foi realizada por meio dos métodos estatísticos: MAD, MSE, RMSE e MAPE, com base nos dados da Tabela 4.

Tabela 2 - Base de dados para a validação do modelo de temperatura, a partir da normal climatológica do Inmet de 1990-2010 (valor observado).

Localidade	Valor Observado	Valor Estimado	Erro	Valor Absoluto do Erro	Erro ao quadrado	Erro absoluto/ Valor observado
	A_t	F_t	$A_t - F_t$	$ A_t - F_t $	$(A_t - F_t)^2$	$ (A_t - F_t)/A_t $
Acaraú	27,3	28,5	-1,273	1,273	1,622	0,0467
Barbalha	25,9	26,4	-0,453	0,453	0,205	0,0175
Campos Sales	25,0	24,3	0,741	0,741	0,549	0,0296
Crateús	27,4	26,9	0,537	0,537	0,289	0,0196
Fortaleza	26,9	27,9	-1,016	1,016	1,033	0,0378
Guaramiranga	20,9	20,8	0,118	0,118	0,014	0,0056
Iguatu	27,3	26,9	0,386	0,386	0,149	0,0141
Jaguaruana	27,5	28,0	-0,526	0,526	0,277	0,0191
Morada Nova	27,4	28,3	-0,853	0,853	0,727	0,0311
Quixeramobim	27,2	27,7	-0,532	0,532	0,283	0,0196
Sobral	27,2	28,2	-0,967	0,967	0,935	0,0355
Tauá	27,1	26,1	0,952	0,952	0,906	0,0351
Médias	26,4	26,7	-0,241	0,696	0,582	0,026

Fonte: Autoria própria.

O Erro Quadrático Médio (MSE) calcula a média dos erros do modelo ao quadrado, dessa forma, diferenças menores têm menos importância, enquanto diferenças maiores recebem mais peso. A Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) representa o desvio padrão da amostra das diferenças entre os valores previstos e os valores observados. E, conforme Hallak e Pereira Filho (2011) é utilizada para expressar a acurácia dos resultados numéricos com a vantagem de apresentar os valores do erro nas mesmas dimensões da variável analisada. O Erro Absoluto Médio (MAD) indica a média do erro absoluto.

A Média do Erro Absoluto Percentual (MAPE) possui a vantagem de utilizar termos percentuais (%) que fornecem um rápido entendimento, e a desvantagem de acentuar a discrepância quando os valores observados forem muito pequenos (CAMELO *et al*, 2017). Nesse caso (Tabela 5), o Erro Absoluto em Percentual (MAPE) apresentou 2,6% de discrepância entre os dados reais e estimados. Interpreta-se seu valor como aceitável.

Tabela 5 - Resultado da validação do modelo gerado para estimativa da temperatura média anual.

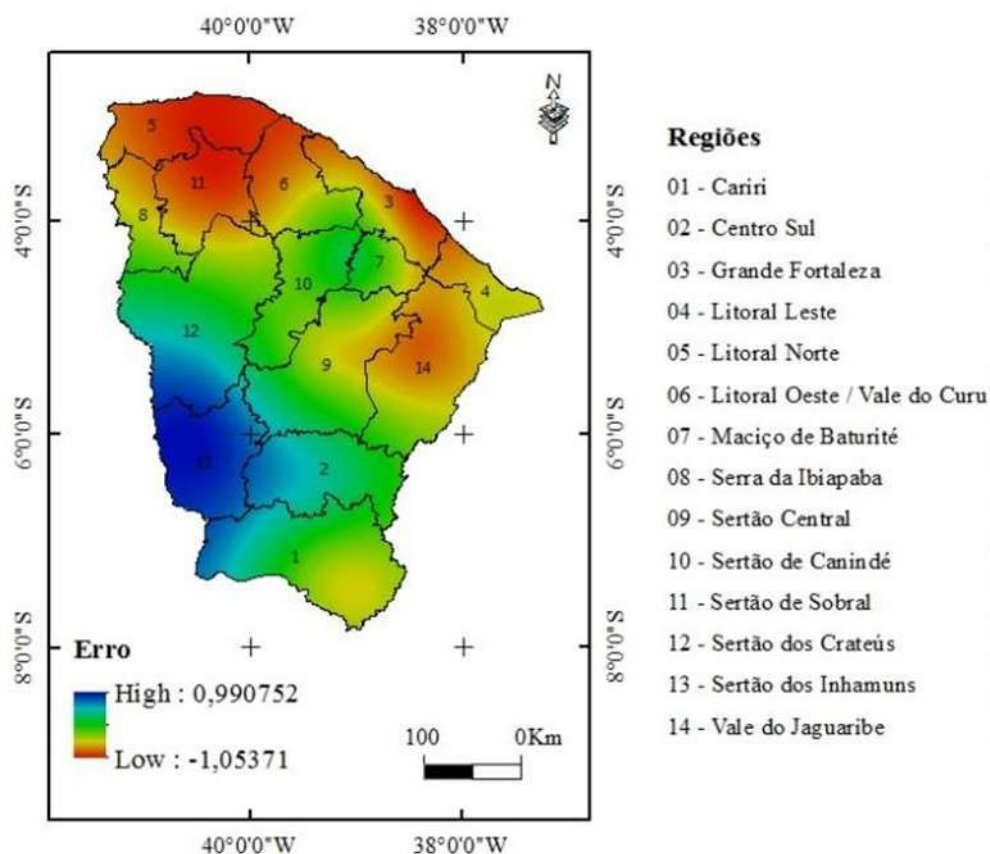
N	12
MSE	0,582
MAD	0,696
RMSE	0,763
MAPE	2,60

Fonte: Autoria própria.

De acordo com Kao (2013), que encontraram respectivos valores de RMSE e MAPE de 3.9 e 2.18, concluíram que os valores indicavam que o método representava eficácia nos resultados e quanto menor o valor, mais aceitável.

Foi realizada a espacialização do erro no mapa do estado do Ceará, obtido pela diferença entre o valor observado e o estimado, conforme a Figura 4. O erro da estimativa variou de -1,05 a 0,99. A estimativa tende a errar para menos na região dos Inhamuns e acentuar a temperatura nas áreas próximas ao litoral. As áreas identificadas com verde no mapa são as áreas em que a temperatura estimada mais se aproximou da temperatura observada nos postos do INMET. Em contrapartida, as áreas em vermelho correspondem aos valores com maior discrepância.

Figura 4 - Espacialização do Erro Absoluto.



Fonte: Autoria própria.

Pode-se observar que os maiores erros foram encontrados na região do litoral, ao noroeste do estado e ao leste, nas proximidades da região dos Sertões dos Inhamuns, representada pela estação localizada no município de Tauá. Os valores mais próximos foram identificados na estação presente no município de Guaramiranga e ao sul do estado.

3.2 Predição e Espacialização da Umidade Relativa do Ar no Estado do Ceará

3.2.1 Contextualização

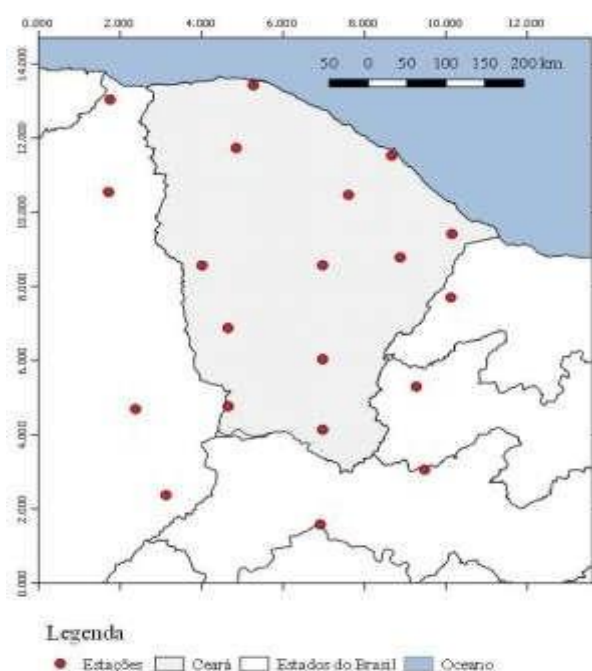
O estudo da umidade relativa do ar contribui para o entendimento de outros fenômenos climatológicos de uma região, além de poder nortear o planejamento estratégico do uso e ocupação do solo. A umidade do ar, juntamente com a temperatura e outros componentes climáticos, é um dos fatores responsáveis pela formação das paisagens naturais, do clima e do comportamento das sociedades humanas.

Dessa forma, a seguinte metodologia tem a finalidade de estimar a Umidade Relativa do Ar para o estado do Ceará por meio da correlação com fatores geográficos (latitude, longitude e altitude) e temperatura do ar.

3.2.2 Procedimentos

Através da plataforma do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET foram coletados os dados climáticos e geográficos das 12 estações meteorológicas presentes no estado do Ceará e das 8 estações próximas, localizadas em estados circunvizinhos (Figura 5).

Figura 5 - Mapa de localização das estações meteorológicas do INMET, utilizadas neste estudo.



Fonte: Elaboração própria, utilizando dados do INMET.

Elaborou-se um banco de dados contendo as médias históricas mensais de temperatura, umidade relativa do ar e pluviosidade, correspondentes à normal climatológica de 1981-2010. A temperatura do satélite (Tsat), a latitude (δ), a longitude (λ) e a altitude (φ) foram repetidas para cada um dos valores mensais de uma mesma estação.

As estações foram divididas em dois grupos heterogêneos. O primeiro grupo, contendo as informações dos 12 postos de coleta, teve a finalidade de encontrar a equação de regressão capaz de modelar o comportamento da umidade relativa média do ar, através da comparação com as variáveis independentes. O segundo conjunto de dados, contendo 8 estações, foi utilizado para validação do desempenho do modelo encontrado no primeiro grupo. O critério utilizado para dividir as estações em dois grupos foi estabelecido com base na mediana da média normal de umidade relativa. Nesse caso, cada grupo possuía uma quantidade proporcional de dados abaixo e acima da mediana.

A análise de regressão múltipla fora efetuada com os dados descritos anteriormente, no SAS University Edition, onde foram elencados os elementos que melhor se relacionavam entre si. Nesse momento, foi percebida a relação estreita entre os parâmetros: Umidade Relativa do ar e Precipitação. Com isso, resolveu-se incluir uma outra variável à análise, que unisse os dois componentes, a fim de aumentar o coeficiente de correlação R. A nova variável foi identificada como UR_PPT, obedecendo ao seguinte modelo quadrático geral, Onde, PPTi corresponde à precipitação pluviométrica mensal de cada posto:

$$UR_{PPT} = \sqrt{PPT_i} \times 1,7141387 + 57,406825 \quad (16)$$

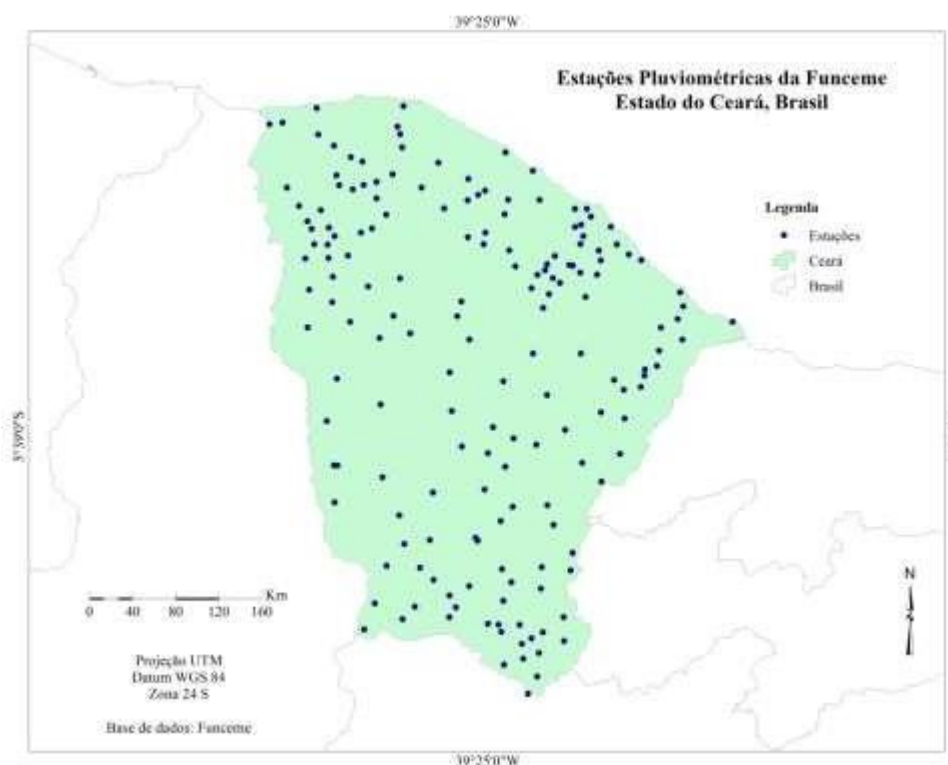
Após o ajuste realizado entre umidade e precipitação, fora novamente executado o processo de regressão incluindo a nova variável. O critério utilizado para a seleção da nova equação foi priorizar as variáveis que melhor se ajustavam aos dados disponíveis em todo o território e que resultasse em um bom coeficiente de correlação. Sendo assim, o modelo selecionado é expresso pela seguinte fórmula, onde, UR%: Umidade relativa do ar, φ : latitude, Tmed: temperatura média do ar, UR_PPT: modelo de ajuste:

$$UR\% = 172,84593 + (0,76993 * UR_{PPT}) - (5,5287 * Tmed) - (0,03934 * \varphi) \quad (17)$$

Um dos grandes problemas encontrados ao buscar estabelecer um zoneamento climático de uma localidade é a falta de informação. O estado do Ceará possui ao todo 12 estações do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) que dispõem de médias históricas de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação (ou, pelo menos, são as únicas facilmente encontradas nas plataformas digitais e foram utilizados neste o cálculo de regressão). Sendo assim, considerando a extensão territorial do estado, podemos supor que estes dados são insuficientes por si só, para projetar com clareza a realidade de todo o território cearense, mesmo que por interpolação de dados, por exemplo.

Apesar dos dados de umidade e temperatura não serem tão abrangentes, a Funceme possui algumas centenas de estações pluviométricas no estado, das quais são disponibilizados os dados de chuva. Destas estações, foram extraídos e interpolados os dados de precipitação utilizados para o cálculo da UR_PPT, em detrimento das normais do INMET, tendo em vista a maior disponibilidade das informações. Para tal, foi realizado o download em formato de texto (.txt) de todos os dados das estações da Funceme por meio do site e agrupados em um único arquivo do Excel. A partir desse ponto, foram selecionadas em tabela dinâmica apenas as estações que possuíam dados ininterruptos entre 1989 e 2018, contabilizando 30 anos de coleta (Figura 6).

Figura 6 - Estações Pluviométricas da Funceme com dados contínuos entre 1989 e 2018.



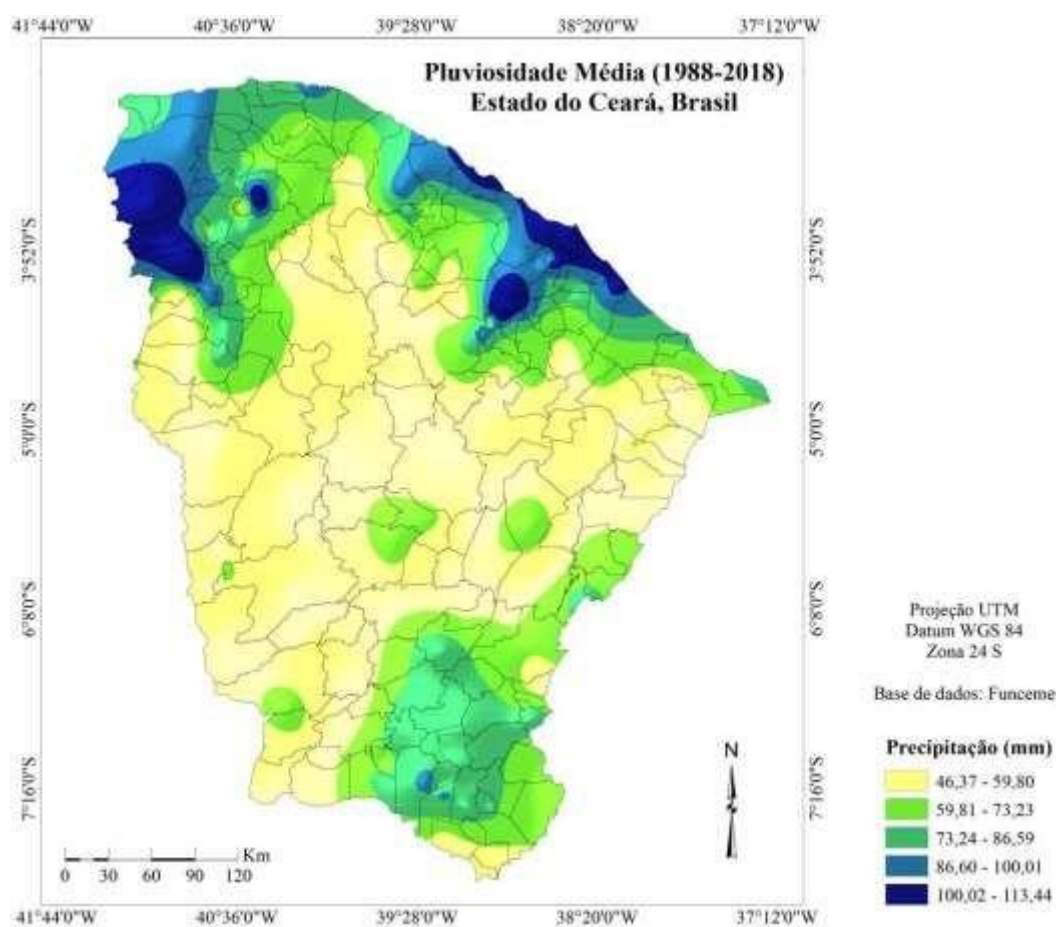
Fonte: Autoria própria.

Do total de 746 postos disponíveis, foram selecionados 181 destes para compor o mapa de pluviosidade média do estado, dispostos da Figura 6 acima. Que foram espacializados por interpolação dos dados, através do método Multilevel B-Spline, no software Qgis 2.14.

3.2.3 Resultados e Discussão

A pluviosidade média do estado do Ceará entre 1989 e 2018 (Figura 7), para as 181 estações selecionadas, que possuem dados ininterruptos entre os anos citados, apresentou uma média mensal anual de 70,6 mm para todo o estado. A menor e a maior média mensal anual foram, 35,5 mm e 140,4 mm, respectivamente para os municípios de Irauçuba e Ibiapina.

Figura 7 - Espacialização da Pluviosidade Média Mensal do estado do Ceará entre 1989 e 2018, com base nos dados disponibilizados pela Funceme.

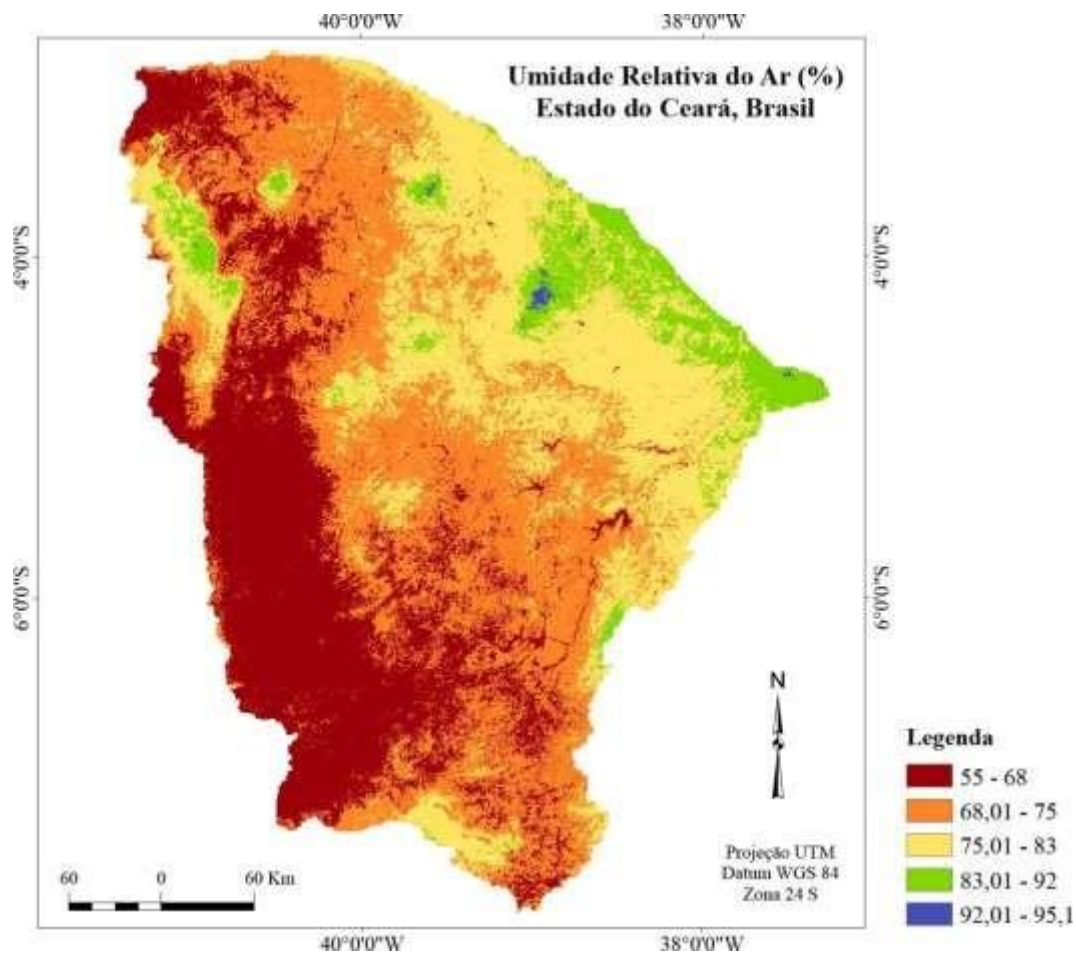


Fonte: Elaboração própria, utilizando dados do INMET.

Da mesma forma, a temperatura média mensal calculada com base na normal climatológica (1981-2010) do INMET, foi substituída na construção do mapa de umidade pela temperatura média estimada por satélite, disposta na figura 3 e encontrada por meio da equação 15. A decisão tem como justificativa o fato das imagens de satélite constituir instrumentos detalhados e precisos da realidade.

O resultado final apontou um valor médio de umidade relativa do ar no estado de 73,31%, com valores mínimo e máximo, encontrados no histograma da imagem, de 55 e 95%. As regiões que obtiveram destaque pelos maiores índices de umidade foram: a região metropolitana de Fortaleza, a Serra da Ibiapaba e Serra de Baturité (Figura 8).

Figura 8 - Mapa de Umidade Relativa do Ar (%), estimada para o Estado do Ceará.



Fonte: Elaboração própria.

A umidade Relativa do Ar é definida pela relação entre a quantidade de água existente no ar e a capacidade máxima que poderia haver na mesma temperatura. Sendo que, é fortemente associada à outros fatores ambientais, como: temperatura do ar, vegetação, precipitação, aspectos geográficos, dentre outros.

A vegetação promove um microclima capaz de reter a umidade e por, meio da evapotranspiração, movimenta a água do solo para o ar. Quanto maior a umidade relativa do ar, menor a amplitude térmica, todavia, pode tornar maior a sensação de calor e abafamento.

Um fator de grande influência na formação da umidade do ar é a movimentação de massas de ar que, dependendo da umidade presente nela promove a precipitação da chuva. Dentro deste fator estão a influência do mar (como no caso do litoral cearense) e das ondas da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A ZCIT é uma movimentação de ar responsável por transferir calor e umidade das regiões inferiores da atmosfera para a atmosfera de regiões de latitude médias e altas. A ZCIT do Atlântico Oeste exerce grande influência na convecção e precipitação no Nordeste do Brasil, e conseqüentemente, na umidade relativa do ar (%) – IAG (Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas)/USP (Universidade de São Paulo). A umidade média correspondente aos limites impostos pela literatura para o bem-estar animal está geralmente entre 50-70% (BRETTAS *et al.*, 2017; VINHAL *et al.*, 2017; ALMEIDA NETO *et al.*, 2014; FURTADO *et al.*, 2012).

3.3 Predição e espacialização Índice de Temperatura e Umidade (ITU) para o estado do Ceará

3.3.1 Contextualização

De acordo com Furtado *et al.* (2012), vários índices foram desenvolvidos, a fim de avaliar o nível de conforto térmico dos animais com relação ao ambiente. O mais utilizado foi o índice de temperatura e umidade (ITU), primeiramente desenvolvido por THOM (1959), e adaptado posteriormente por diversos autores, para a avaliação de animais de produção, cuja fórmula relaciona os efeitos da temperatura e umidade relativa do ar sobre o bem-estar animal.

O estudo da bioclimatologia busca entender como o animal interage e responde às diferentes condições de ambiente, sendo uma ferramenta para definir as condições de manejo ideais de produção. Por sua vez, o zoneamento bioclimático pode auxiliar na determinação de áreas favoráveis a produção, na otimização da criação e na tomada de decisão dos produtores sobre os rebanhos. A elaboração do zoneamento de determinadas regiões tornou-se possível graças à maior disponibilidade de dados meteorológicos e o avanço de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

O procedimento utilizado a seguir utiliza os resultados alcançados anteriormente e pretende unificar os dados de temperatura e umidade encontrados, a fim de indicar as áreas mais ou menos favoráveis à produção bovina quanto ao conforto térmico animal nos limites da área de estudo.

3.3.2 Procedimentos

O ITU foi estimado pelo modelo matemático desenvolvido para analisar o nível de bem-estar de vacas em lactação, e constitui um método eficaz e prático, largamente utilizado em todo o

mundo para estudos de bioclimatologia. Para o cálculo do ITU são utilizadas a temperatura ambiente (TA) e a umidade relativa do ar (UR%), visto que a temperatura e umidade relativa do ar são os principais elementos climáticos que influenciam o estresse térmico em bovinos leiteiros, de acordo com a equação 18, adaptada por Buffington (1981), onde, TA: Temperatura do ambiente, °C; UR: Umidade relativa do ar (%).

$$ITU = (0,8 \cdot TA + (UR\%) \cdot (TA - 14,4) + 46,4) \quad (18)$$

Ponderando os dados da literatura acerca da classificação de ITU para bovinos, neste trabalho foi assumida de acordo com a Tabela 6.

Tabela 3 - Classificação proposta do Índice de Temperatura e Umidade – ITU.

Faixa de ITU	Característica
Inferior a 70	Normal (os animais encontram-se numa faixa de temperatura e umidade ideal para seu desempenho produtivo);
Maior que ou igual a 70 e menor que ou igual a 72	Alerta (as condições climáticas estão no limite para o bom desempenho produtivo)
Maior que 72 e menor que ou igual a 78	Alerta e acima do índice crítico para a produção de leite (nesta faixa, o desempenho produtivo está comprometido)
Maior que 78 e menor que ou igual a 84	Perigo (todas as funções orgânicas dos animais estão comprometidas)
Superior a 84	Emergência (providências urgentes devem ser tomadas).

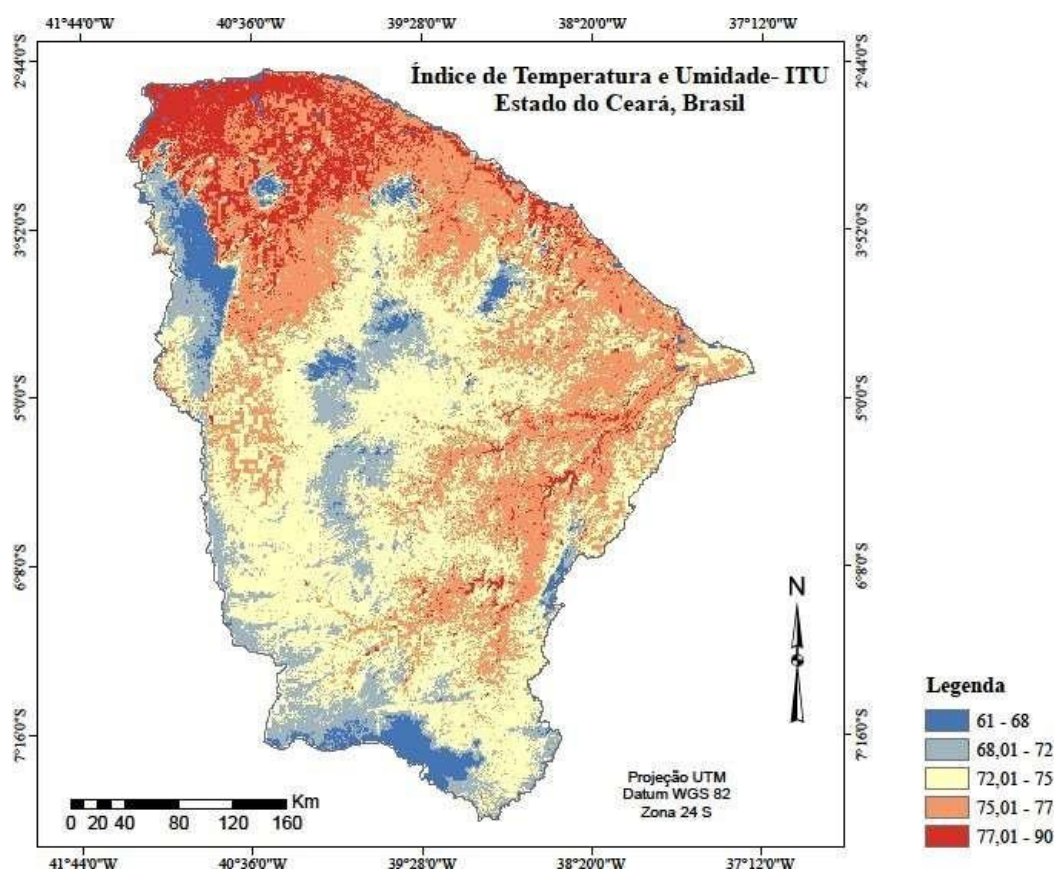
Fonte: Elaboração baseada nos autores citados na Tabela 1.

Os valores de Temperatura e Umidade utilizados foram no cálculo do ITU foram os obtidos nos procedimentos anteriores e demonstrados, respectivamente, nas figuras 4 e 8.

3.3.3 *Resultados e Discussão*

O ITU é utilizado para estimar a sensação de conforto térmico em diferentes temperaturas ambiente e umidades relativas, com baixa velocidade de ventos. Através dele pode-se integralizar os valores de Temperatura do bulbo seco e Umidade relativa do ar (%), correlacionando os dois fatores para estimar o nível de conforto térmico animal. Dessa forma, os dados estimados submetidos à fórmula apresentam o resultado exposto na Figura 9.

Figura 9 - Mapeamento do Índice de Temperatura e Umidade – ITU
no estado do Ceará.



Fonte: Elaboração própria.

As áreas representadas de azul indicam os locais onde o ITU apresenta os menores valores e que, portanto, são aqueles mais favoráveis à produção bovina. As áreas em vermelho destacam os locais onde há maiores riscos de estresse animal e perda de produtividade devido aos elevados índices de temperatura.

A média anual de ITU em todo o território cearense permaneceu na faixa maior que 72 e menor que ou igual a 78, que denota estado de alerta para o rebanho, visto que esta faixa está acima do índice crítico para a produção de leite, onde o desempenho produtivo encontra-se comprometido.

3.4 Aplicação do geoprocessamento no estudo da susceptibilidade à erosão no estado do Ceará

3.4.1 Contextualização

A erosão do solo é um dos estágios finais da degradação de um ambiente natural, e constitui um grave problema que pode ser decorrente da produção pecuária. Em linhas gerais, a erosão é o processo pelo qual as partículas do solo são carregadas para outros locais, devido aos processos naturais e/ou antrópicos, até expor a rocha matriz.

A partir do momento em que uma pastagem passa a ser explorada e não é realizada a reposição dos nutrientes, esta começa a perder gradativamente vigor e produtividade. Futuramente, caso continue sem a devida manutenção, haverá a perda da qualidade, acentuada pelas plantas daninhas, pragas e doenças. Nesse processo, o pisoteio gerado pelos animais em pastejo por longos períodos de tempo resultará na compactação da terra, perda da pastagem, exposição do solo e a erosão.

Processos erosivos podem ocorrer de forma natural ou antrópica (ação do homem), sendo que a erosão natural ocorre de maneira lenta e é facilmente recuperada pelos próprios mecanismos do ambiente, tendo, portanto, poucos efeitos. No entanto a erosão causada pela ação do homem pode ter consequências irreversíveis ou que serão necessários vários anos para a sua recuperação.

Dessa forma, pretende-se mensurar o nível de susceptibilidade à erosão antrópica presente no território cearense, através da análise dos fatores ambientais envolvidos no processo, como: pedologia, litologia, declividade, intensidade de chuva, nível de cobertura vegetal do solo e seus tipos de ocupação. Para isso serão utilizadas ferramentas do geoprocessamento e sensoriamento remoto.

3.4.2 *Procedimentos*

Foram utilizadas imagens de satélite em todo o estado e processadas em ambiente SIG para a espacialização das informações. Cada componente do estudo foi reclassificada de acordo com o grau de vulnerabilidade à erosão por meio das ferramentas “r.reclass” e “r.recode” do software QGIS 2.14 na escala de 1 a 3, indo do menor para o maior risco à erosão. As variáveis analisadas foram: aspectos geológicos – que incluem a declividade do terreno, pedologia e litologia; a agressividade das chuvas, estimada através do índice modificado de Fornier; os tipos de uso e ocupação do solo e o índice de vegetação por diferença normalizada – NDVI.

O mapa pedológico (mapa das classes de solo) do estado do Ceará foi fornecido em formato shapefile pelo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE e classificado de acordo com a susceptibilidade de cada solo, conforme Crepani *et al.* (2001), sendo atribuídos pesos de acordo com a Tabela 7.

Tabela 4 - Valores de vulnerabilidade dos solos.

CLASSE DE SOLO	SIGLA	VU
LATOSSOLOS:AMARELO	LA	1
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO	LV	
LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO	LE	
LATOSSOLO ROXO	LR	
LATOSSOLO BRUNO	LB	
LATOSSOLO HÚMICO	LH	
LATOSSOLO BRUNO-HÚMICO	LBH	
PODZÓLICO AMARELO	PA	2
PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO	PV	
PODZÓLICO VERMELHO-ESCURO	PE	
TERRA ROXA ESTRUTURADA	TR	
BRUNO NÃO-CÁLCICO	NC	
BRUNIZÉM	B	
BRUNIZÉM AVERMELHADO	BA	
PLANOSSOLO	PL	2,5
CAMBISSOLOS	C	
SOLOS LITÓLICOS	R	3
SOLOS ALUVIAIS	A	
REGOSSOLO	RE	
AREIA QUARTZOSA	A	
VERTISSOLO	V	
SOLOS ORGÂNICOS	HO	
SOLOS HIDROMÓRFICOS	HI	
GLEI HÚMICO	HGH	
GLEI POUCO HÚMICO	HGP	
PLINTOSSOLO	PT	
LATERITA HIDROMÓRFICA	LH	
SOLOS CONCRECIONÁRIOS	CL	
LATERÍTICOS		
RENDZINAS	RZ	
AFLORAMENTO ROCHOSO	AR	

Fonte: Crepani et al. (2001).

A caracterização litológica (tipos de rocha) do estado foi obtida a partir da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM e classificados de acordo com Crepani *et al.* (2001), conforme a Tabela 8.

Tabela 5 - Escala de vulnerabilidade à denudação das Rochas mais comuns.

Classe Litológica	Pontuação
Quartzitos ou metaquartzitos	1,0
Riólito, Granito, Dacito	1,1
Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,2
Migmatitos, Gnaisses	1,3
Fonólito, Nefelina, Sienito, Traquito, Sienito	1,4
Andesito, Diorito, Basalto	1,5
Anortosito, Gabro, Peridotito	1,6
Milonitos, Quartzo muscovita, Biotita, Clorita xisto	1,7
Piroxenito, Anfíbolito, Kimberlito, Dunito	1,8
Hornblenda, Tremolita, Actinolita, xisto	1,9
Estaurolita xisto, Xistos granatíferos	2,0
Filito, Metassilito	2,1
Ardósia, Metargilito	2,2
Mármore	2,3
Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	2,4
Conglomerados, Subgrauvacas	2,5
Grauvas, Arcózios	2,6
Siltitos, Argilitos	2,7
Folhelhos	2,8
Calcários, Dolomitos, Margas, Evaporitos	2,9
Sedimentos Inconsolidados: Aluviões, Colúvios etc.	3,0

Fonte: Crepani et al. (2001).

O mapa digital de elevação do Ceará (Figura 2) foi convertido em declividade (%) por meio da ferramenta “Slope” presente no software QGIS 2.14. A declividade do terreno foi classificada conforme a Embrapa (1979) e reclassificada de acordo com o nível de vulnerabilidade à erosão de 1 a 3, conforme Crepani *et al.* (2001), como mostra a Tabela 9.

Tabela 6 - Classes de declividade com os respectivos valores da escala de vulnerabilidade.

CLASSES MORFOMÉTRICAS	DECLIVIDADE (%)	VALORES DE VULNERABILIDADE
Muito Baixa	< 2	1
Baixa	2 – 8	1,5
Média	8 – 20	2
Alta	20 – 45	2,5
Muito Alta	> 45	3

Fonte: Crepani et al. (2001).

A erosividade das chuvas foi calculada com base nos dados das estações pluviométricas da Funceme, entre 1989 e 2018 (Figura 6), através do índice proposto por Salazar & Quintero (2015). De acordo com essa metodologia, a erosividade anual histórica das chuvas pode ser calculada utilizando-se a Equação 20, que tem como variável independente o IMF do ano correspondente.

$$IE_{30} = \sum_1^{12} 38,4(IMF) + 28,3 \quad (20)$$

Onde, IE30 = Índice de Erosividade, calculado por 30 anos; MFI = Índice Fournier Modificado, calculado conforme a equação a seguir:

$$IMF_j = \frac{\sum_{i=1}^{12} (P_{ij})^2}{P_j} \quad (21)$$

Onde, MFIj = Índice de Fournier modificado no ano j, Pij = Precipitação do mês i, no ano j, Pj = precipitação total do ano j.

O Índice de Erosividade (Equação 20) foi calculado individualmente para cada um dos 30 anos estudados, em cada estação pluviométrica, onde a partir da média mensal foi obtida a média anual histórica de cada estação meteorológica, bem como o IMF, calculado de acordo com a equação 21. Os dados obtidos foram interpolados através do método multilevel- b-spline no Qgis 2.14 e classificados de acordo com a Tabela 10.

Tabela 7 - Classificação do índice de erosividade e índice modificado de Fournier - IMF, conforme Salazar & Quintero (2015).

Erosividade (MJ.mm.ha-1)	Classificação	Score	IMF	Classificação	Score
<1.000	Natural	1	<60	Muito baixa	1
1.000 – 5.000	Muito baixa	1,3	60-90	Baixa	1,5
2.500 – 5.000	Baixa	1,5	90-120	Moderada	2
5.000 – 7.500	Moderada	1,8	120-160	Alta	2,5
7.500 – 10.000	Alta	2,0	>160	Muito alta	3
10.000 – 15.000	Muito alta	2,3			
15.000 – 20.000	Severa	2,5			
> 20.000	Muito severa	3			

Fonte: Salazar & Quintero (2015).

O nível de cobertura vegetal do solo foi obtida com base no Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), contido numa escala de valores entre -1 e 1, capazes de identificar o tipo de cobertura da superfície. Em que, valores negativos correspondem a água, valores muito próximos ao zero, podem ser identificados como solo exposto e qualquer valor acima de 0,2 corresponde a algum nível de vegetação, cujos valores de radiância e reflectância foram os propostos por Allen *et al* (2007), conforme a equação 22.

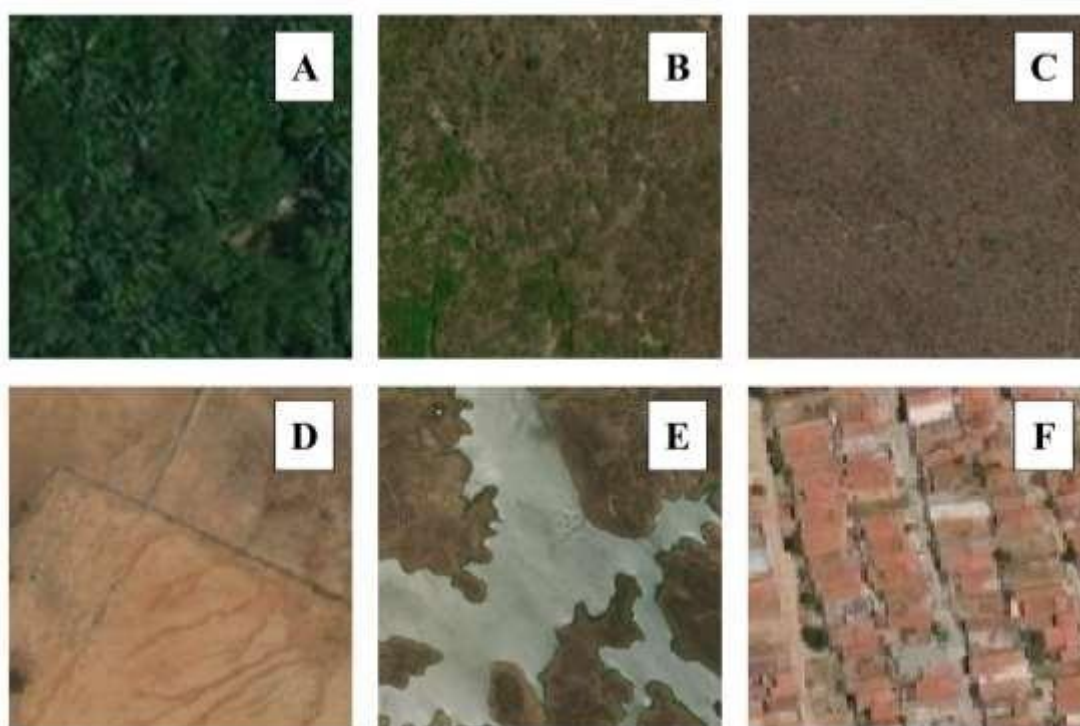
$$NDVI = \frac{\rho_{t,ivp} - \rho_{t,vm}}{\rho_{t,ivp} + \rho_{t,vm}} \quad (22)$$

Onde: $\rho_t, \rho_{vpe}, \rho_{vm}$ são refletâncias em satélite para as bandas do infravermelho próximo (850-880 nm) e vermelho (640-670 nm), respectivamente.

Os valores de NDVI foram identificados como: água (<0), solo exposto (0-0,2); vegetação rala ou esparsa (0,21-0,36) e vegetação densa (>0,36). Posteriormente, a imagem foi reclassificada atribuindo pesos as classes conforme risco de erosão, do maior para o menor: água: 0, solo exposto:3; vegetação rala ou esparsa: 2 e vegetação densa: 1.

A classificação supervisionada do uso e ocupação do solo foi realizada dentro do software QGIS 2.14 através do complemento Supervisioned Classifier Plugin - SCP plugin. As classes atribuídas ao uso do solo e suas respectivas pontuações foram: nuvem ou água: 0; floresta: 1; caatinga arbustiva: 1,5; vegetação rasteira: 2,5; e solo exposto e urbanização:3, conforme Figura 10.

Figura 10– Padrões para classificar uso do solo como: floresta (A), vegetação arbustiva (B) vegetação rasteira (C), solo exposto (D), água (E) e zona urbana (F).



Fonte: Autoria própria.

O sistema viário do estado (rodovias), obtido em formato vetorial, foi contornado com um buffer de 10 metros e transformado em imagem raster para a composição do mapa final. A conexão dos parâmetros analisados foi realizada com base no método de ponderação analítica AHP (Analytic Hierarchy Process). O processo de hierarquia analítica (AHP) foi desenvolvido com o objetivo de apoiar a tomada de decisão quando variáveis qualitativas e quantitativas precisarem ser

consideradas.

O método foi introduzido por Saaty (1991) e atualmente é empregado em análises de diversos campos do conhecimento. Através da plataforma AHP Online Calculator, disponível no domínio: https://bpmmsg.com/ahp/ahp_calc.php, foram elencados os critérios e comparados mutuamente quanto a sua importância. Em seguida foram obtidos os percentuais a serem atribuídos a cada um, conforme a prioridade exigida em formato de tabela e inserida no software Qgis 2.14, especificamente na calculadora Raster, onde foi realizada uma média ponderada estabelecendo os seguintes pesos (Tabela 11) para cada um dos componentes analisados.

Tabela 11 – Pesos das variáveis utilizadas.

Variável	Peso (%)
Declividade do Terreno	25%
Cobertura Vegetal (NDVI)	25%
Uso e Ocupação do Solo	15%
Erosividade das Chuvas	15%
Pedologia	10%
Litologia	8%
Rodovias	2%

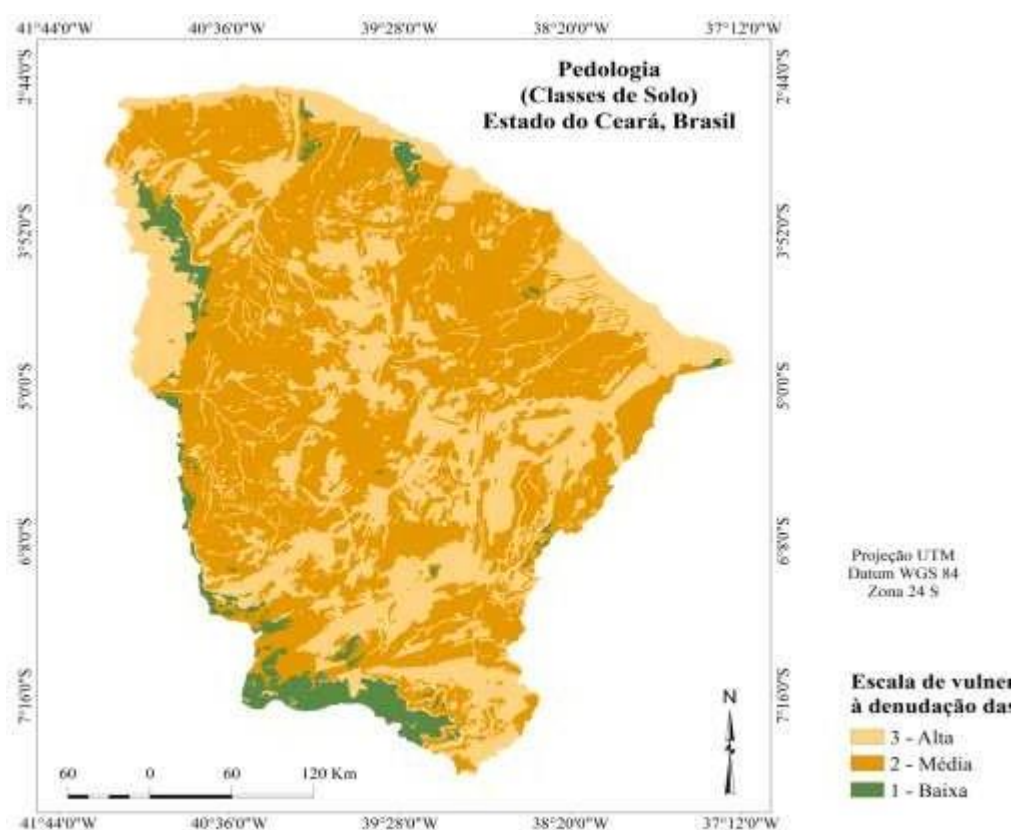
Fonte: Autoria própria.

3.4.3 **Resultados e Discussão**

Conforme Fantinel e Benedetti (2016), as rochas, os minerais e os depósitos sedimentares responsáveis pela formação dos solos, ao passar dos anos, sofrem com processos de intemperismo e acabam sendo lixiviados ou solubilizados. “Esse desgaste pode ocasionar a erosão principalmente quando o solo fica exposto, seja pelo desmatamento, queimadas ou pelo pisoteio dos animais e, com a ação gradativa das chuvas seus materiais vão sendo arrastados ocasionando erosões” (FANTINEL; BENEDETTI, 2016, p.161).

A litologia compreende o estudo especializado em rochas, no que se refere às suas camadas, processos de litificação, classificações e aos tempos geológicos em que ocorreram. Por motivos diversos, aos quais a litologia se dedica saber, rochas diferentes podem dar origem a solos mais vulneráveis ou mais resistentes à erosão. Crepanni *et al.* (2001) sugeriram um grau de susceptibilidade à cada tipo de rocha, onde o estado do Ceará se comporta como mostra a Figura 11.

Figura 11– Mapa Litológico do Ceará, classificado conforme a escala de vulnerabilidade à denudação das Rochas de Crepani *et al.* (2001).



Fonte Dados da CPRM; Classes de Crepani *et al.* (2001).

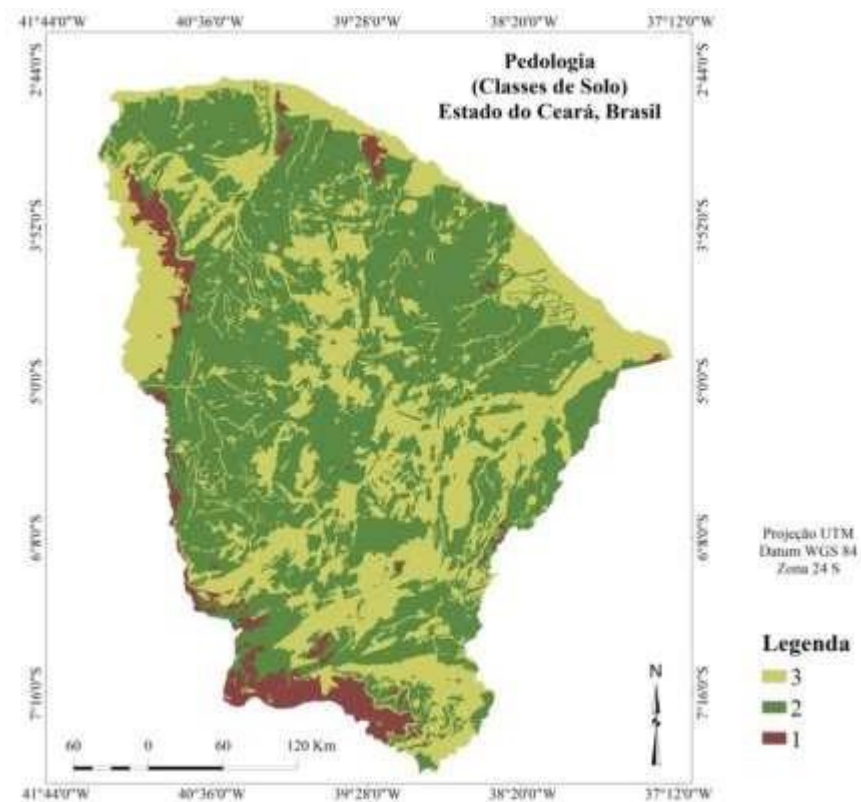
Conforme Claudino-Sales e Lira, o Estado do Ceará em sua uma grande diversidade de paisagens geomorfológicas, é coberto basicamente por rochas sedimentares e cristalinas de idades variadas, responsáveis por modelar o seu relevo. As rochas do embasamento cristalino cobrem a maior parte dos limites territoriais do Ceará. Essas rochas possuem grande capacidade de infiltração da água, pelas fraturas, o que impede a retenção da água da chuva, que sofrem rapidamente o processo de evaporação. Somam-se a isso as elevadas temperaturas, o baixo índice pluviométrico, a vegetação rala das depressões sertanejas que agravam o problema das secas e susceptibilidade à degradação ambiental.

Normalmente, os solos na região semiárida são pouco desenvolvidos devido à escassez das chuvas, que gera a mitigação dos processos químicos, os neossolos (litólicos ou flúvicos) são um bom exemplo. A vegetação está adaptada ao clima e pode funcionar como uma esponja para a retenção de água por mais tempo, entretanto, por ser rala e muito espaçada, deixa o solo nu e suscetível à erosão mecânica do vento e da água, que carregam as partículas do solo. A degradação é intensificada pelas queimadas e desmatamentos, feitos para obtenção de lenha e execução de atividades agropecuária, cujo fator contribui para o desaparecimento de diversas espécies, e caracteriza uma perda considerável da biodiversidade deste ecossistema (ARAÚJO, 2011).

Para Coelho *et al.* (2014), uma das causas de impactos em áreas naturais causados pelo uso de solo, é a exploração intensa de áreas em função da agricultura e pecuária familiar, muito presente na região semiárida do Nordeste brasileiro. Podendo causar perda da biodiversidade, infertilidade do solo e avanço da erosão (VANZELA *et al.*, 2010).

A pedologia constitui uma vertente da ciência do solo responsável por estudar a origem, a forma e as classes dos solos, que tem um papel essencial para a determinação do potencial e das limitações de uma região. A Figura 12 apresenta uma classificação do grau de vulnerabilidade pedológica à erosão no estado.

Figura 12– Mapa da Pedologia do estado do Ceará, classificada de acordo com a escala de vulnerabilidade à denudação das Rochas determinadas por Crepani *et al.* (2001).

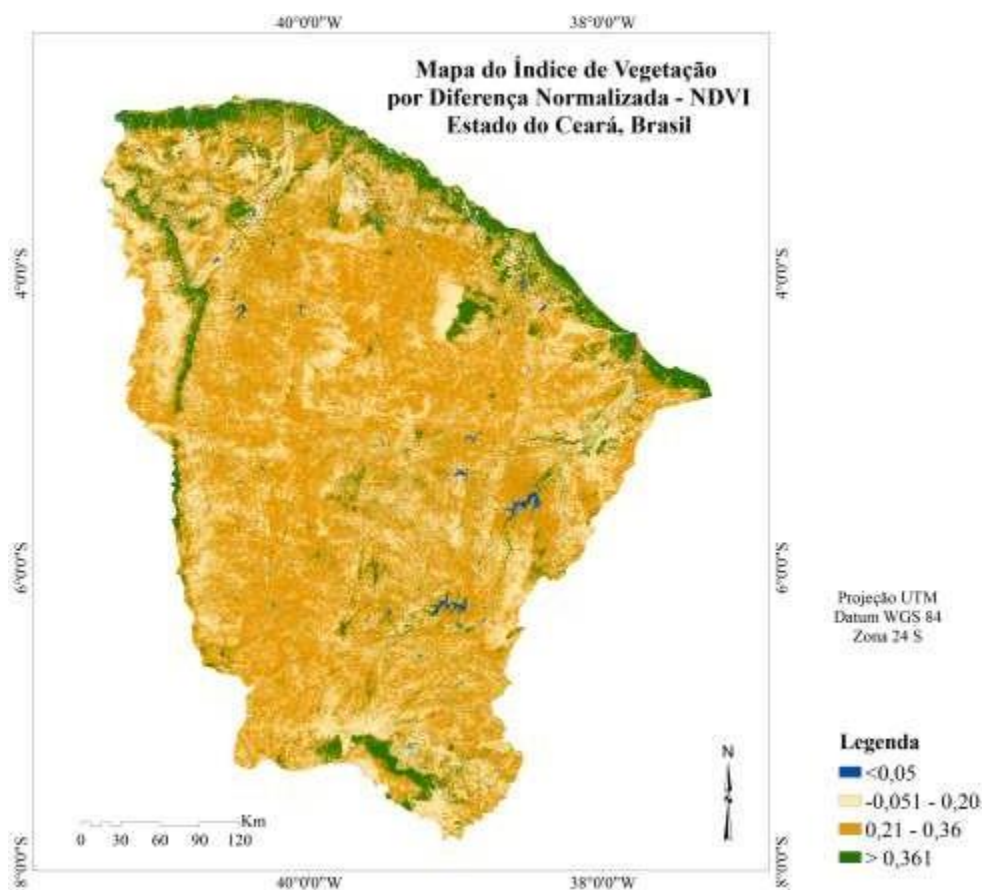


Fonte: Dados da CPRM; Classes de Crepani *et al.* (2001).

A pedologia é um ponto importante a ser considerado quando se estuda a viabilidade técnica e econômica de uma atividade em determinada região, bem como o planejamento de uso do solo. Conforme apresenta estudo realizado pela Embrapa, dos autores Lima *et al.* (2002), o Estado do Ceará apresenta 150.630 km², deste total, 8,5% da área é ocupada por espelhos d'água, restando uma área de 137.825 km² ocupada por solos. Destes solos, 9,7% dos solos são enquadrados no grau de limitação Nulo, 15,6% como grau de limitação Ligeiro, 54,1% como grau de limitação Moderado, 6,7% como grau de limitação Forte e 13,9% como grau de limitação Muito Forte.

A vegetação é outro importante componente natural capaz de impedir um processo de erosão. Nesse estudo, o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), obtido por meio de imagens de satélite, representa o nível de cobertura vegetal e será utilizado como um indicador de vulnerabilidade à erosão, conforme apresenta a Figura 13.

Figura 13 – Espacialização do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI no estado do Ceará.

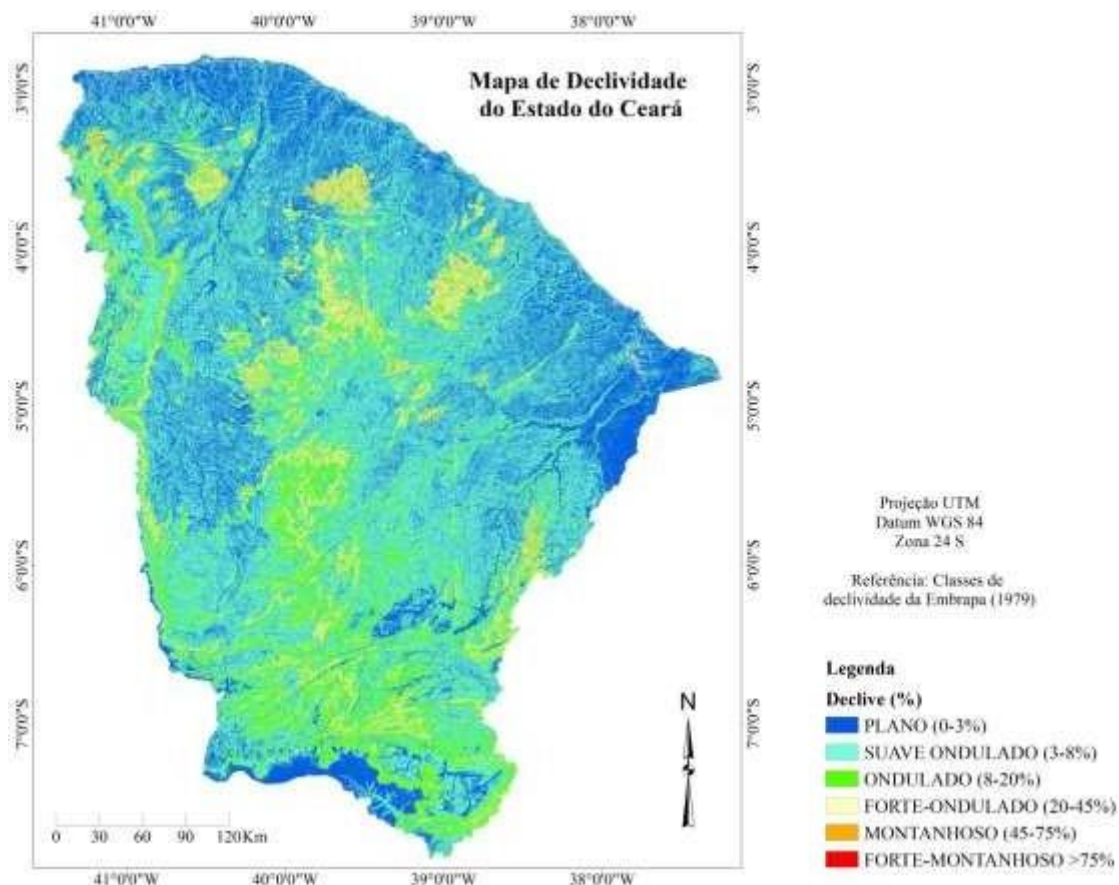


Fonte: Autoria própria.

As vegetações mais adensadas e vigorosas começaram a ser identificadas a partir do índice de NDVI igual a 0,34 até 1,05. O solo exposto foi identificado de 0 a 0,2, a partir de onde surgiram os primeiros níveis de vegetação entre 0,21 e 0,36, que caracteriza a maior parte do território cearense, ou seja, vegetação rala e esparsa. Os valores encontrados abaixo de zero representaram a água.

Conforme Oliveira (2016), o relevo terrestre é o resultado da interação entre os processos geológicos internos e externos à crosta terrestre, sobre a qual a ação antrópica pode modificar sua gênese natural e possibilitar a instalação de processos erosivos. A Figura 14 apresenta o relevo do estado do Ceará classificado de acordo com a sua declividade e conforme as classes propostas pela Embrapa (1979).

Figura 14 - Mapa de declividade do Estado do Ceará.



Fonte: Autoria própria.

Nota-se que quase todo o território cearense é composto por declividades que vão do Plano ao ondulado (até 20% de declividade), poucas vezes encontra-se áreas com declive forte-ondulado e raras vezes montanhoso. As planícies ocupam grande parte do litoral e das chapadas do Apodi e Araripe.

De acordo com Régis Filho (2008), a classificação de um território tem por objetivo a organização do espaço, a fim de responder e harmonizar as necessidades humanas com base na compreensão espacial do território. Dessa forma, são avaliadas as diversas estruturas que compõem o mesmo, procurando compor acertadamente as pretensões do uso racional do solo disponível. Completa que esta análise permite o planejamento, o estabelecimento das aptidões, vocações, capacidades e potencialidades do território para cada uso do solo. Visto que para planejar o bom uso de um ambiente, antes, é preciso conhecê-lo.

A fim de se conhecer as interferências antrópicas realizadas no estado, a classificação do uso e ocupação do solo no território cearense apresenta-se na Figura 15.

Figura 15 – Mapa de uso e ocupação do solo no estado do Ceará.

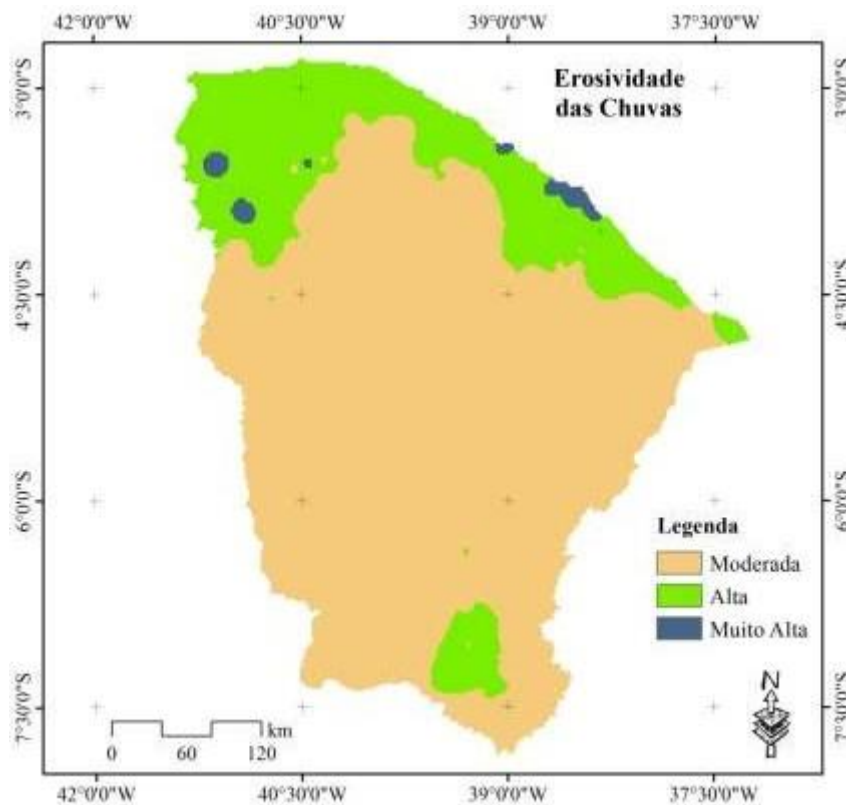


Fonte: Autoria própria.

Nota-se que a maior parte do território é ocupada por vegetação rala ou esparsa. O comprimento de onda refletido pelo solo exposto ao satélite muito se assemelha aos comprimentos de onda refletidos pelas áreas urbanizadas. Provavelmente, por conta do material que são feitos os telhados. Esse motivo dificultou algumas vezes a identificação de áreas urbanizadas, confundidas por vezes com solo exposto.

A intensidade das chuvas é outro fator de grande potencial erosivo. A espacialização do Índice de Erosividade das Chuvas, descrito por Salazar e Quintero (2015), no Ceará encontra-se na Figura 16, onde a chuva atua de forma moderada na maior parte do estado, tendo nas regiões litorânea e Cariri as maiores concentrações de Chuva.

Figura 16 – Mapa de Erosividade das Chuvas no estado do Ceará.

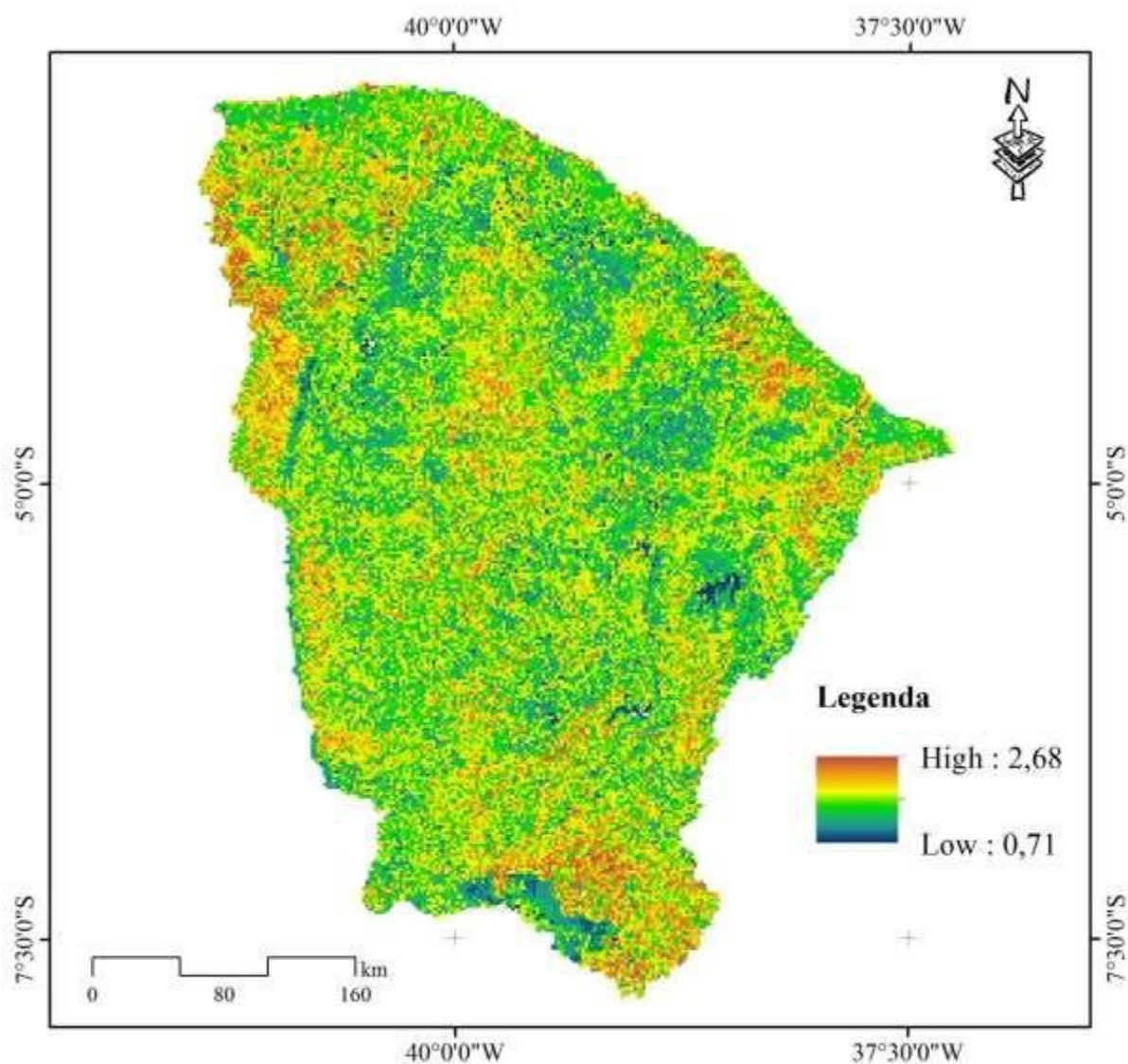


Fonte: Autoria própria.

A chuva apresenta duas concepções em relação à erosão do solo. No caso deste estar descoberto e, preponderantemente, se apresentar acentuada declividade, constitui um fator de risco. Por outro lado, regiões com regularidade e intensidade de chuva constituem em geral, locais com maior quantidade de vegetação e que, por sua vez, representa um fator positivo no controle da erosão.

Com base nas variáveis apresentadas, foi gerado o mapa final deste estudo, onde as áreas destacadas em vermelho na Figura 17 representam as localidades com maior susceptibilidade à erosão e, portanto, áreas que necessitam de maior cuidado no manejo e uso do solo.

Figura 17 - Mapa final de susceptibilidade à Erosão no Estado do Ceará.



Fonte: Autoria própria.

A fisionomia dos ambientes presentes no estado do Ceará apresenta grande diversidade. Há locais que apresentam alta vulnerabilidade aos processos erosivos, e outros com riscos mínimos. Pode-se observar o topo da chapada do Araripe, ao extremo sul, como um ponto seguro, porém não indicado à exploração pecuária por se tratar de uma área que deve ser preservada.

3.5 Visão Geral do potencial ambiental do Ceará para a bovinocultura

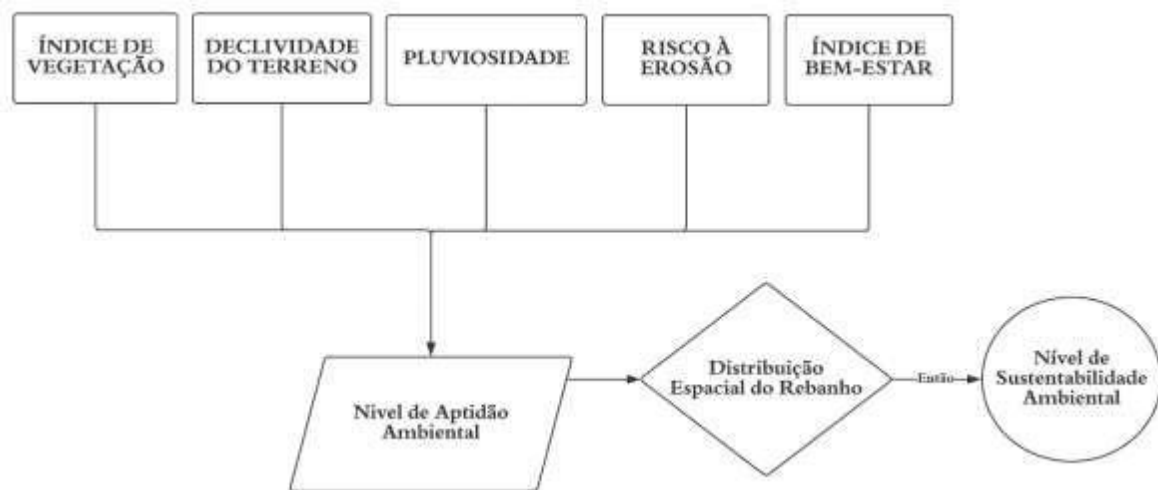
Os fatores considerados nesta pesquisa como influentes na atividade bovina dentro do contexto ambiental, foram: a temperatura e a umidade, posteriormente compiladas no Índice de

Temperatura e Umidade – ITU; a Declividade do terreno; a Susceptibilidade à erosão; o Índice de cobertura vegetal, representado pelo NDVI, e a pluviosidade média. Esses fatores foram recalculados em valores de 0 a 1 - por meio das equações 23 e 24 - e utilizados para a construção do mapa de aptidão ambiental do Ceará para a bovinocultura. Dessa forma, foi realizada a soma dos componentes, onde quanto maior a pontuação obtida, melhor a condição do local para exercer a atividade bovina (Figura 18).

A estatística Zonal apresentada ao fim da Dimensão Ambiental foi efetuada por meio do Plugin Estatísticas Zonais, presente no Software Qgis versão 3.4, que também está incluído em outras versões do programa, cuja função é realizar estatísticas em uma imagem matricial (raster) a partir de um arquivo vetorial. Nesse caso, foi realizada a média dos valores de pixel da avaliação ambiental dentro de cada limite municipal.

Em contraponto às características ambientais do estado, a distribuição espacial do rebanho pode auxiliar no estudo do tipo de relação que essa atividade exerce com o meio. Ou seja, com a finalidade de alcançar um dos resultados esperados, realizou-se a comparação entre potencial produtivo cearense, obtido na análise geral da dimensão ambiental, e a real produção existente no estado, a fim de determinar se o tamanho da produção condiz com as condições do meio.

Figura 18 - Fluxograma da análise ambiental.

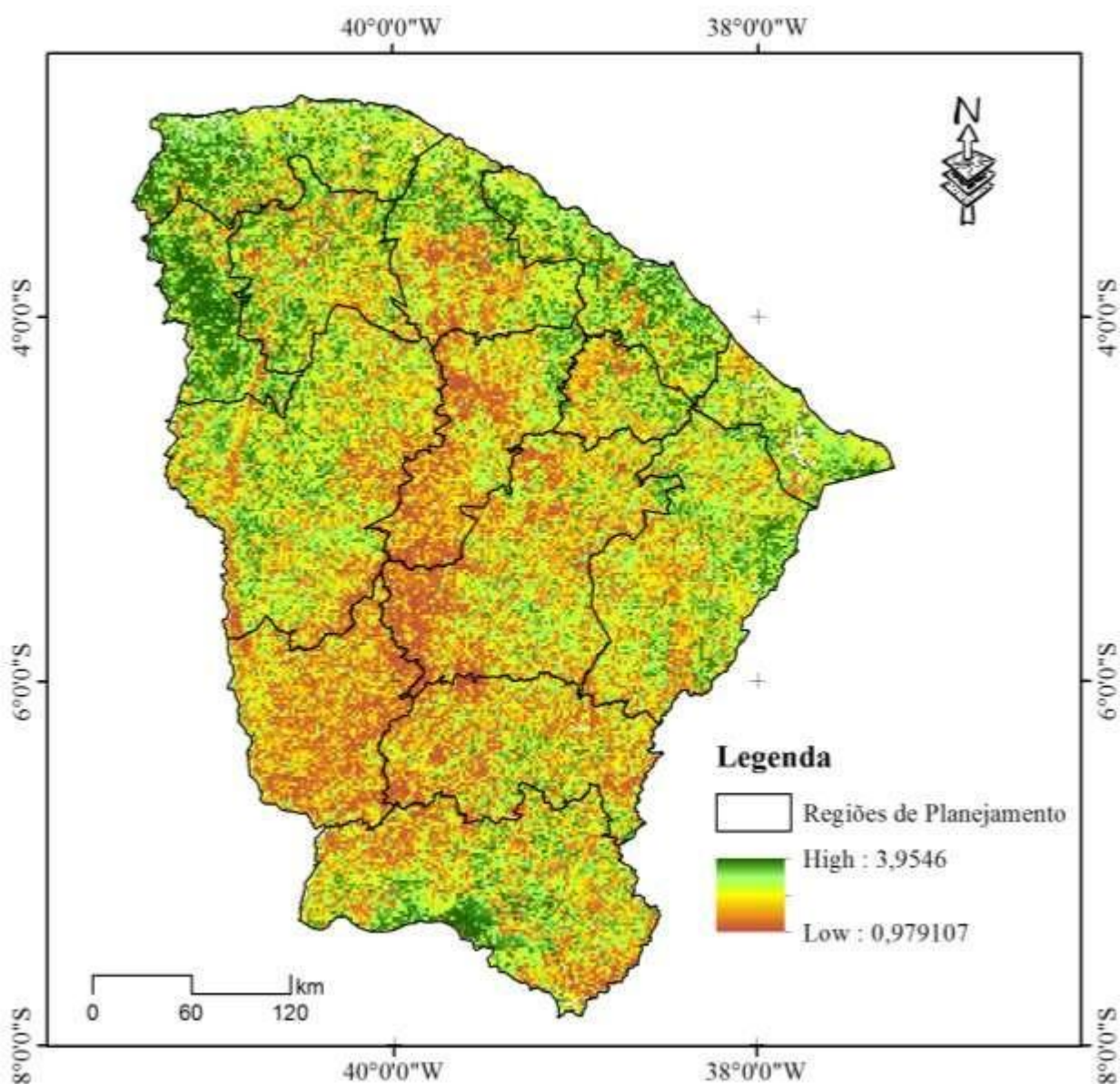


Fonte: Elaboração própria.

No estado do Ceará, é sabida a grande multiplicidade de ambientes dentro do território, no que se refere às condições ambientais. Observar as potencialidades de um território pode ser uma ferramenta de grande utilidade para a gestão governamental na hora de planejar o investimento de seus recursos. A Figura 19 mostra onde há maior potencial para a atividade bovina dentro do estado

do Ceará, na perspectiva da adequação ambiental.

Figura 19 - Mapa Geral da Dimensão Ambiental.



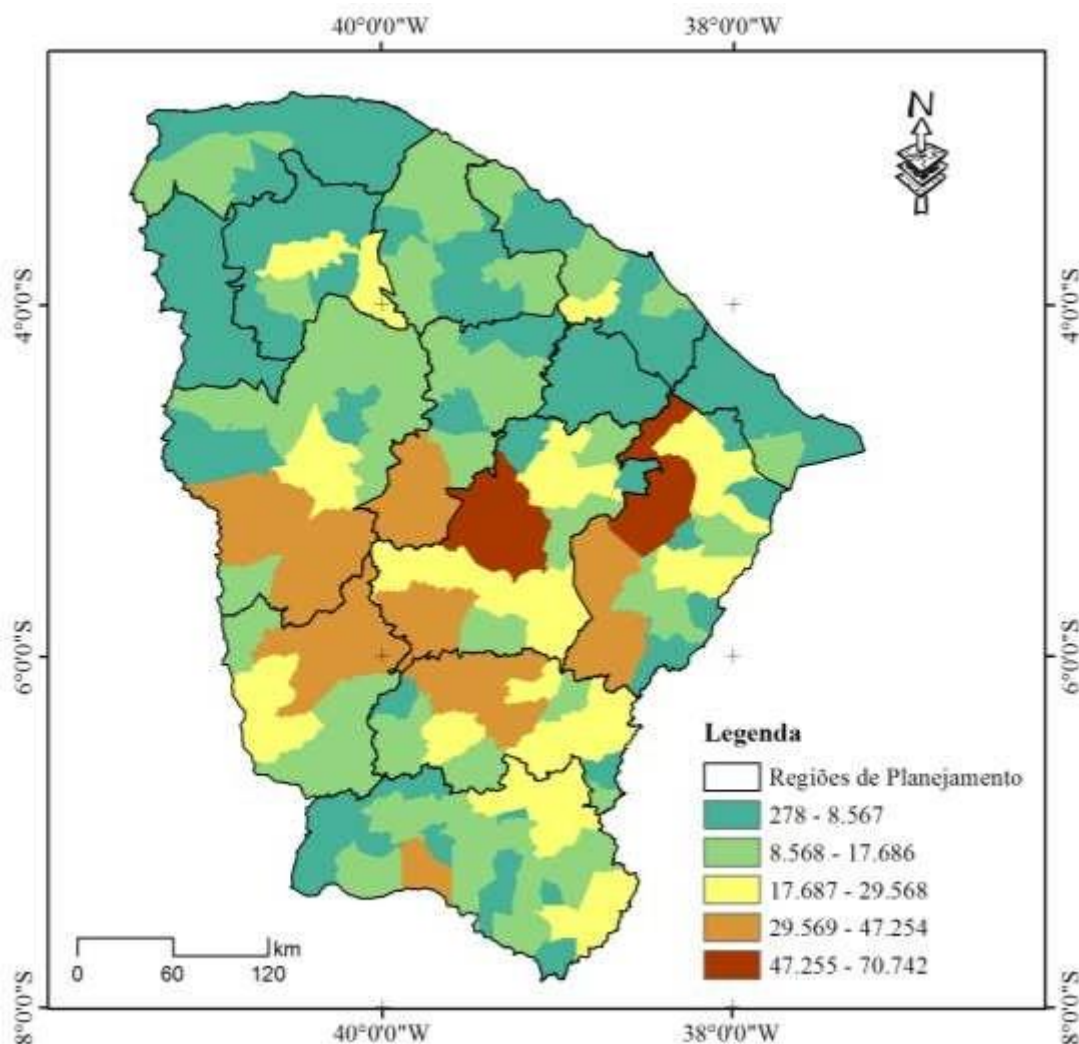
Fonte: Elaborado pelo Autor.

No norte do estado, nas proximidades do litoral, encontram-se as regiões de planejamento: Serra da Ibiapaba e Litoral Norte que, especialmente a primeira, apresentaram um maior percentual de áreas indicadas como favoráveis à bovinocultura. O litoral norte apresenta altas temperaturas, mas é compensada pelos demais aspectos positivos, como o alto índice pluviométrico.

No extremo sul do Ceará, não exatamente sobre o topo da chapada, também se destaca uma considerável porção de áreas favoráveis à produção. Bem como, no vale do Jaguaribe e Litoral Leste, na porção em que faz divisa com o Rio Grande do Norte.

Nos sertões: Central, de Canindé e dos Inhamuns apresentam grandes áreas com baixa capacidade de suporte ao setor. Mas, que como pode ser observado na Figura 20, apresentam grande quantidade de rebanho bovino.

Figura 20 - Distribuição espacial do rebanho bovino no Estado do Ceará.



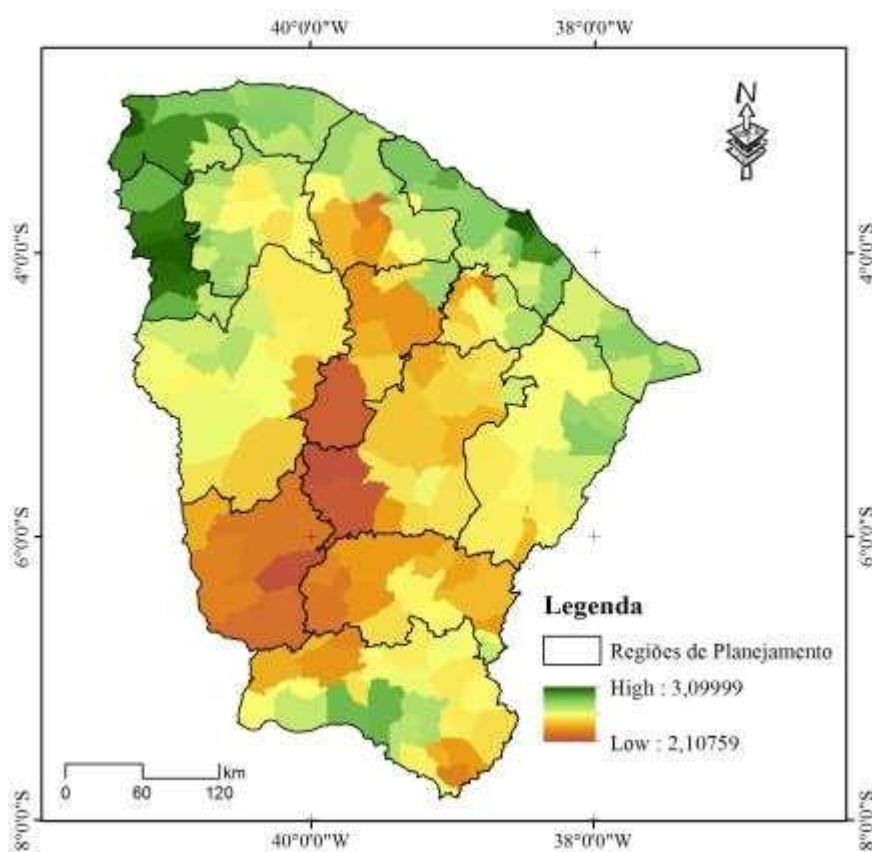
O número de rebanho bovino tem maior intensidade no centro do estado, onde Quixeramobim é o município com maior número de cabeças de gado (70.742 cabeças), seguido de Morada Nova (47.255 cabeças). Quixeramobim encontra-se situado sobre uma área onde predominam rochas do embasamento cristalino e que, portanto, não possuem capacidade o suficiente para a retenção de água, sofre com a sazonalidade das chuvas, que são esporádicas, e ainda possui temperatura média bastante elevada (33,3°C).

De acordo com a CPRM (1998), o município de Quixeramobim encontra-se dentro do denominado Polígono das Secas, o seu regime pluviométrico é marcado pela extrema irregularidade

de chuvas no tempo e no espaço e sofreu com períodos de secas ao longo da história que causaram grandes limitações ao seu desenvolvimento regional. A água é, portanto, escassa e constitui um bem natural de elevada limitação ao desenvolvimento socioeconômico e subsistência da população.

A fim de obter uma melhor comparação entre a distribuição espacial de bovinos e a capacidade ambiental de cada município, foi realizada a estatística zonal da Figura 19, com base na média de valores presentes em cada município, como é apresentada na Figura 21. O procedimento de Estatística Zonal foi realizado no software Qgis 3.4.

Figura 21 - Estatística zonal da avaliação ambiental em função do desempenho médio dos municípios.



Fonte: Autoria própria.

Nota-se que a Região metropolitana de Fortaleza apresenta boas condições ambientais de clima e relevo para a produção bovina, embora não seja possível o aprimoramento da atividade nessa região, devido ao acentuado nível de urbanização.

As regiões centrais, onde mais se concentram bovinos são as menos recomendadas, enquanto que há regiões menos exploradas e que apresentam melhores condições, de acordo com esse estudo, como: o Sul do Cariri, Serra da Ibiapaba e zonas litorâneas.

CAPÍTULO IV – ASPECTOS ANTRÓPICOS DA CRIAÇÃO BOVINA NO ESTADO DO CEARÁ: UMA VISÃO ECONÔMICA, SOCIAL E INSTITUCIONAL

4.1 Contextualização

Quando as sociedades humanas se deparam com um obstáculo ou um fator limitante, costumam utilizar os recursos e o potencial de cada meio para moldar os territórios de acordo com o que estejam necessitando. Este processo pode ser definido como antropização, que remete ao processo de transformação do meio ambiente através da ação humana. Uma área antropizada é aquela com a presença da sociedade exercendo atividades sociais, econômicas e culturais sobre o meio. Ao exemplo das primeiras civilizações, que foram estabelecidas à margem dos rios, que possuíam os recursos e potencialidades que as sociedades necessitavam para a sua sobrevivência e para iniciar as transformações dos espaços (FABER, 2011).

No presente trabalho, serão apresentadas diversas maneiras de se mensurar o desenvolvimento sustentável por meio de índices e indicadores, mesmo sabendo que, pelo atual estado da arte, a sustentabilidade é imensurável. Carvalho & Barcellos (2009), explicam em duas vertentes o porquê de a sustentabilidade ser imensurável. Primeiramente, afirmam que não há uma definição universal para sustentabilidade que possa ser aceita em todas as situações, não generalizada e precisa. Ou seja, não há um consenso acerca do conceito deste termo, considerando que o mesmo encontra-se em constante construção e mudança.

Para Silva *et al.* (2009), os indicadores de sustentabilidade se distinguem dos demais por demandarem uma visão holística do mundo, em que é preciso relacionar simultaneamente fatores econômicos, ambientais e sociais de determinada comunidade. Enquanto que um Índice (ou indicador sintético) é a junção de variáveis capazes de sintetizar um conceito abstrato e complexo, em um único valor, para facilitar a comparação entre localidades e grupos distintos, possibilitando ações de gestão e monitoramento (SESI-PR, 2010).

Dessa forma, o presente capítulo tem por objetivo analisar o nível de desenvolvimento econômico, social e apoio institucional atribuído à atividade agropecuária no estado do Ceará, por meio de geoprocessamento, avaliando o impacto econômico gerado pela atividade frente a aplicação de políticas públicas e investimentos no setor.

4.2 Procedimentos Metodológicos

Inicialmente, foram coletados da plataforma do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) os dados do censo agropecuário de 2017, a nível municipal, cujas variáveis são apresentadas

na Tabela 12.

Tabela 8 - Variáveis sociais, econômicas e institucionais analisadas, obtidas do novo censo agropecuário do IBGE, referente ao ano de 2017.

Variável	Unidade
Número de estabelecimentos agropecuários	Unidades
Número de estabelecimentos agropecuários com bovinos	Unidades
Número de estabelecimentos agropecuários que produziram leite de vaca	Unidades
Número de estabelecimentos agropecuários que venderam leite de vaca cru	Unidades
Número de estabelecimentos agropecuários com mais de 50 cabeças de bovinos que venderam bovinos para abate	Unidades
Área dos estabelecimentos agropecuários	Hectares
Área total dos municípios	Hectares
Quantidade produzida de leite de vaca	Mil litros
Quantidade vendida de leite de vaca cru	Mil litros
Valor da produção de leite de vaca	Mil Reais
Valor da venda de cabeças de bovinos para abate nos estabelecimentos agropecuários com mais de 50 cabeças	Mil Reais
Valor da venda de leite de vaca cru	Mil Reais
Número de cabeças de bovinos nos estabelecimentos agropecuários	Cabeças
Vacas ordenhadas nos estabelecimentos agropecuários	Cabeças
Número de cabeças de bovinos para abate vendidas nos estabelecimentos agropecuários com mais de 50 cabeças	Cabeças
PIB total dos municípios	Mil Reais
Escolaridade dos produtores rurais	Anos de estudo
Quantidade de contratos do Pronaf	Unidades
Valor dos contratos do Pronaf	Mil Reais
Número de DAPs ativas	Unidades
Número de Técnicos da Ematerce	Unidades

Fonte: Autoria própria.

Os dados da tabela foram relacionados e utilizados para gerar novas variáveis, conforme a Tabela 13.

Tabela 9 - Variáveis analisadas na dimensão Econômica.

Variável	Descrição
Média de animais por propriedade.	Número de cabeças de bovinos nos estabelecimentos agropecuários dividido pelo número de estabelecimentos agropecuários que produziram bovinos.
Afinidade com a produção bovina	Número de estabelecimentos que produziram bovino dividido pelo número total de estabelecimentos.
Rendimento econômico médio do Leite nos estabelecimentos	Valor médio adquirido pela venda do leite dividido pelo número de estabelecimentos agropecuários que produziram leite.

Produtividade média dos estabelecimentos	A quantidade média de leite produzida dividida pelo número de estabelecimentos agropecuários que produziram leite.
Densidade de cabeças bovinas por área	Número de cabeças bovinas por área de estabelecimentos agropecuários que produziram bovino.
Rendimento econômico médio do Abate nos estabelecimentos	Valor médio adquirido na venda de cabeças bovinas para o abate dividido pelo número de estabelecimentos agropecuários que venderam bovinos para o abate.
Representatividade da bovinocultura no PIB agropecuário do município.	Soma do valor adquirido pela venda do leite e das cabeças bovinas para o abate sobre o PIB total do município.

Fonte: Autoria própria.

As variáveis anteriormente citadas, juntamente com o número de pessoal ocupado na atividade bovina foram classificadas de 0 a 1 e, em seguida, submetidas a uma média aritmética simples, a fim de identificar os municípios do estado do Ceará em que a bovinocultura exerce maior importância.

O método utilizado para transformar os valores brutos, com unidades de medida diferentes, em valores de índice corresponde de 0 a 1, segue a metodologia utilizada por Waquil (2010) e foi operacionalizado a partir das equações 23 e 24, para normalização:

$$\text{Se a relação é positiva: } I = \frac{x-m}{M-m} \quad (23) \quad \text{Se a relação é negativa: } I = \frac{M-x}{M-m} \quad (24)$$

Em que, I = índice calculado referente a cada variável, para cada município analisado; x = valor observado específico para aquela variável e município; m = valor mínimo observado; M = valor máximo observado.

Da mesma forma, foram transformados os valores brutos em índices normalizados: o número total de contratos do Pronaf e o valor dos investimentos, nível de escolaridade dos produtores e o Índice da Cobertura de ATER, obtido a partir do número total de técnicos agropecuários que prestam assistência de forma pública e do total de DAPs ativas, comparando-se os resultados dos municípios entre si a fim de identificar o nível de apoio institucional recebido.

O número total de contratos do Pronaf foi obtido no site do Banco Central do Brasil, correspondente ao período entre Janeiro e Dezembro de 2018, para cada um dos municípios do estado. Foram contabilizados os investimentos totais, que incluem financiamento para custeio de atividades, comércio, investimentos e indústria, dentro das atividades agrícolas e pecuárias. O nível de escolaridade dos produtores foi estabelecido pela razão entre o número de indivíduos que alcançaram algum tipo de acesso à educação, sobre o número total de produtores, que inclui aqueles

que nunca frequentaram a escola.

Os dados referentes ao número total de técnicos disponibilizados pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural - Ematerce para cada um dos municípios foram solicitados por meio do e-SIC - Sistema Eletrônico do Serviço de Informação ao Cidadão, cuja solicitação foi atendida em tempo ágil. A Declaração de Aptidão ao Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar - DAP é o documento de identificação da agricultura familiar. O número de DAPs ativas pode ser consultado facilmente por meio do site da Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário SEAD, solicitando o Extrato DAP como pessoa física.

Com a finalidade de analisar o nível de oferta de assistência técnica rural, foi utilizado o percentual da cobertura de ATER, obtido conforme a equação abaixo:

$$IC_{ater} = \frac{N_{tec}}{N_{DAP}} \times 100 \quad (25)$$

Onde: ICater é o Índice da Cobertura de ATER; Ntec é o número de técnicos extensionistas; NDAP é o número de DAP ativas.

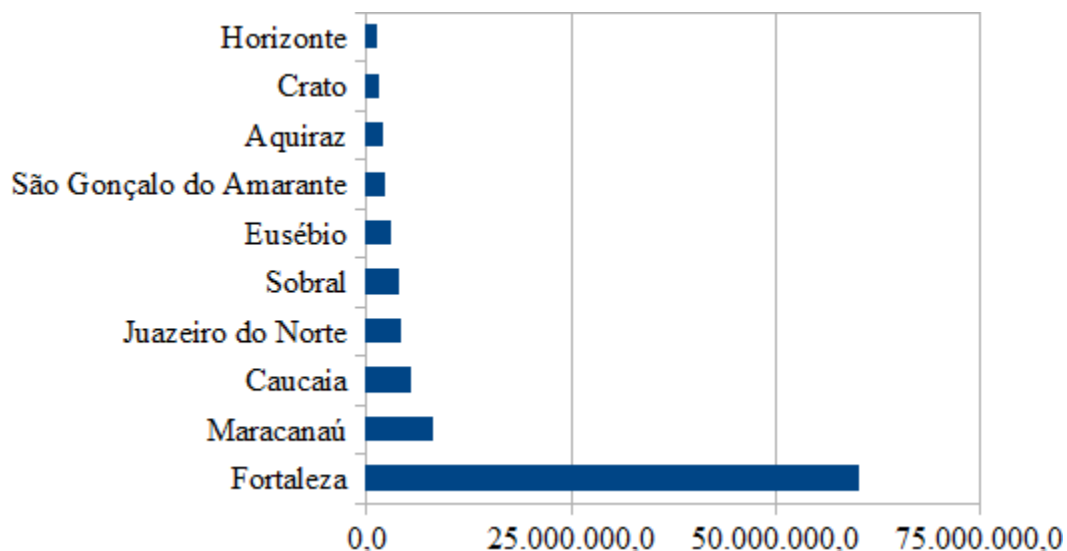
Para a confecção dos mapas temáticos foram utilizados os softwares QGIS e ArcGis 10.2, onde a simbologia foi realizada de acordo com as classes, que por sua vez foram calculadas com base no método quebras naturais (natural jenks). O método quebras naturais (Jenks) ou Natural Breaks Jenks, usa uma fórmula estatística para determinar grupos naturais de valores de atributos. Desse modo, o método minimiza a variação dentro de uma classe, agrupando os valores similares, e maximiza a variação entre classes distintas.

4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Desempenho econômico geral e agropecuário dos municípios

Inicialmente, analisando o desenvolvimento econômico cearense, pode-se observar que os 10 municípios com menor participação do setor agropecuário sobre o PIB, conforme dados do IBGE 2016, foram: Fortaleza 0,08%, Maracanaú 0,09%, Juazeiro do Norte 0,39%, Eusébio 0,63%, Sobral 0,79%, Caucaia 1,01%, Pacatuba 1,09%, Iaitinga 1,29%, Jijoca de Jericoacoara 1,81% e São Gonçalo do Amarante 1,94%. Dentre estas, encontram-se algumas das maiores economias do estado Figura 22.

Figura 22- Ranking dos 10 maiores PIB total do estado do Ceará.



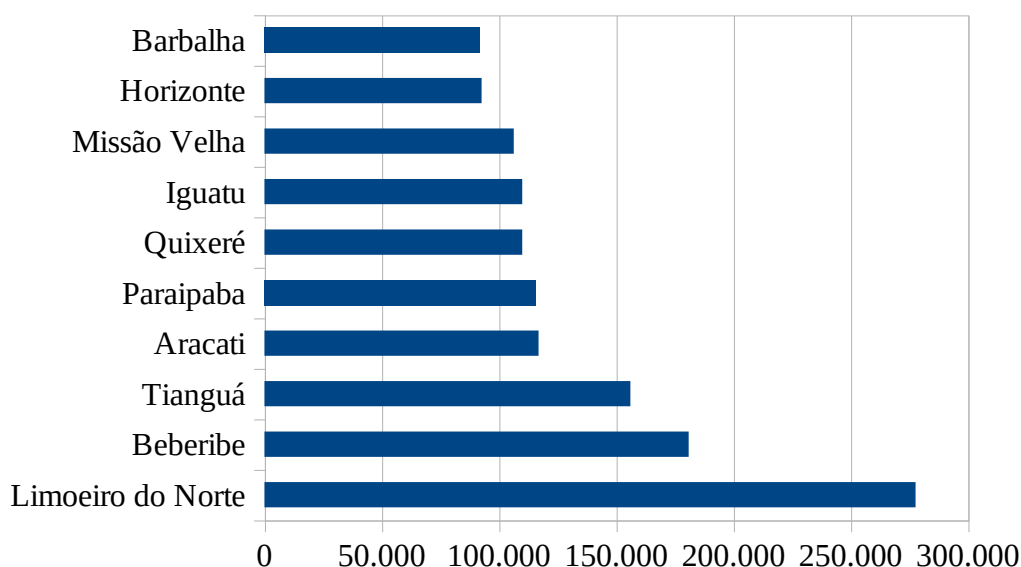
Fonte: Adaptado de SIDRA – IBGE 2016.

De acordo com os dados do IBGE, em 2016, a capital Fortaleza apresenta de longe o maior PIB do estado, um total R\$ 60.141.145,00 mil (os dados estão em mil) onde destes a agropecuária correspondeu a R\$ 47.368,00 (mil). Podemos identificar, portanto, que, fora das grandes fronteiras agrícolas, a economia gerada pelo setor agropecuário tem maior representatividade naqueles municípios em que o PIB total do município é inferior.

Como explica Brugnaro & Bacha 2009, com o crescimento da renda per capita, as pessoas passam a demandar outros tipos de bens além dos alimentos, visto que o nível de renda permite a satisfação das necessidades alimentares. Dessa forma, completa o autor, como os outros setores da economia crescem mais que a agropecuária, esta tende a reduzir sua participação na composição do PIB. O crescimento de outros setores da economia é possibilitado pela liberação de mão-de-obra para os setores urbanos, devido ao êxodo rural.

Limoeiro do Norte se destaca por arrecadar o maior montante do estado no setor agropecuário, R\$ 277.638,00 (mil) (Figura 23), que representa 29,93% de sua economia total. Além disso, Limoeiro do Norte apresenta o 20º maior PIB do estado, correspondente a R\$ 927.621,00 (mil).

Figura 1 - Ranking dos 10 maiores PIB agropecuário do estado do Ceará – 2016.

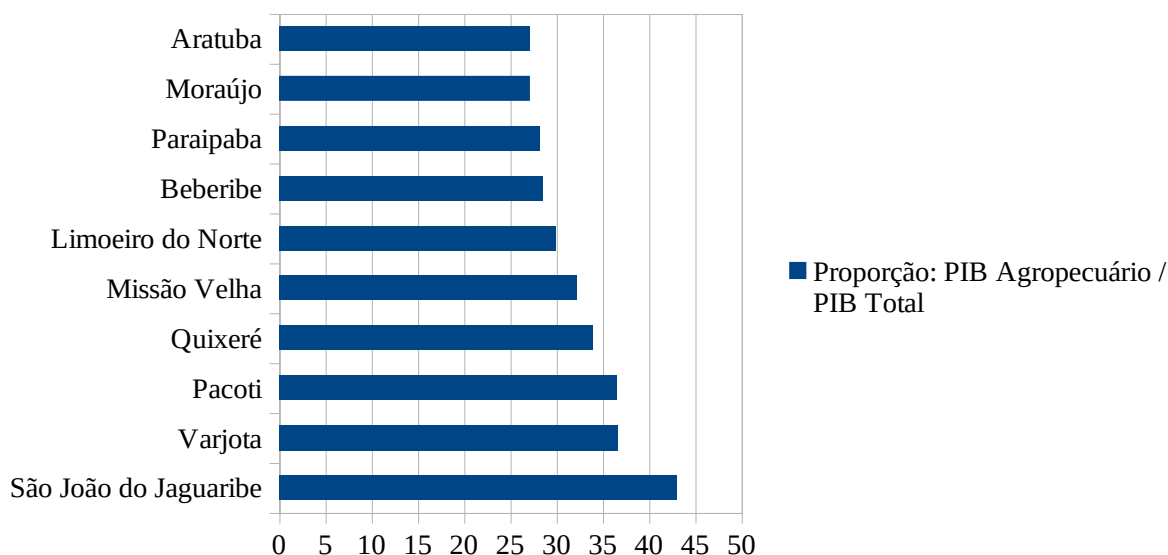


Fonte: Adaptado de SIDRA – IBGE 2016.

No cálculo do PIB de um país soma-se a produção de bens tangíveis e intangíveis, em que o produto final leva em consideração apenas os bens e serviços finais produzidos e realizados pelas empresas no ambiente interno do país. Conforme Araújo & Pontes (2018), o PIB traz a dimensão do volume de atividades econômicas, mas não a efetividade positiva ou negativa que essas atividades trazem para a população.

No estado do Ceará, os três municípios em que a agropecuária apresentou maior importância na formação do PIB municipal foram: São João do Jaguaribe 42,97%, Varjota 36,64% e Pacoti 36,52%, nestes municípios foram informados a presença de um único profissional para assistência técnica rural, conforme a Figura 24.

Figura 2 - Municípios com maior representatividade da agropecuária no PIB total – 2016.

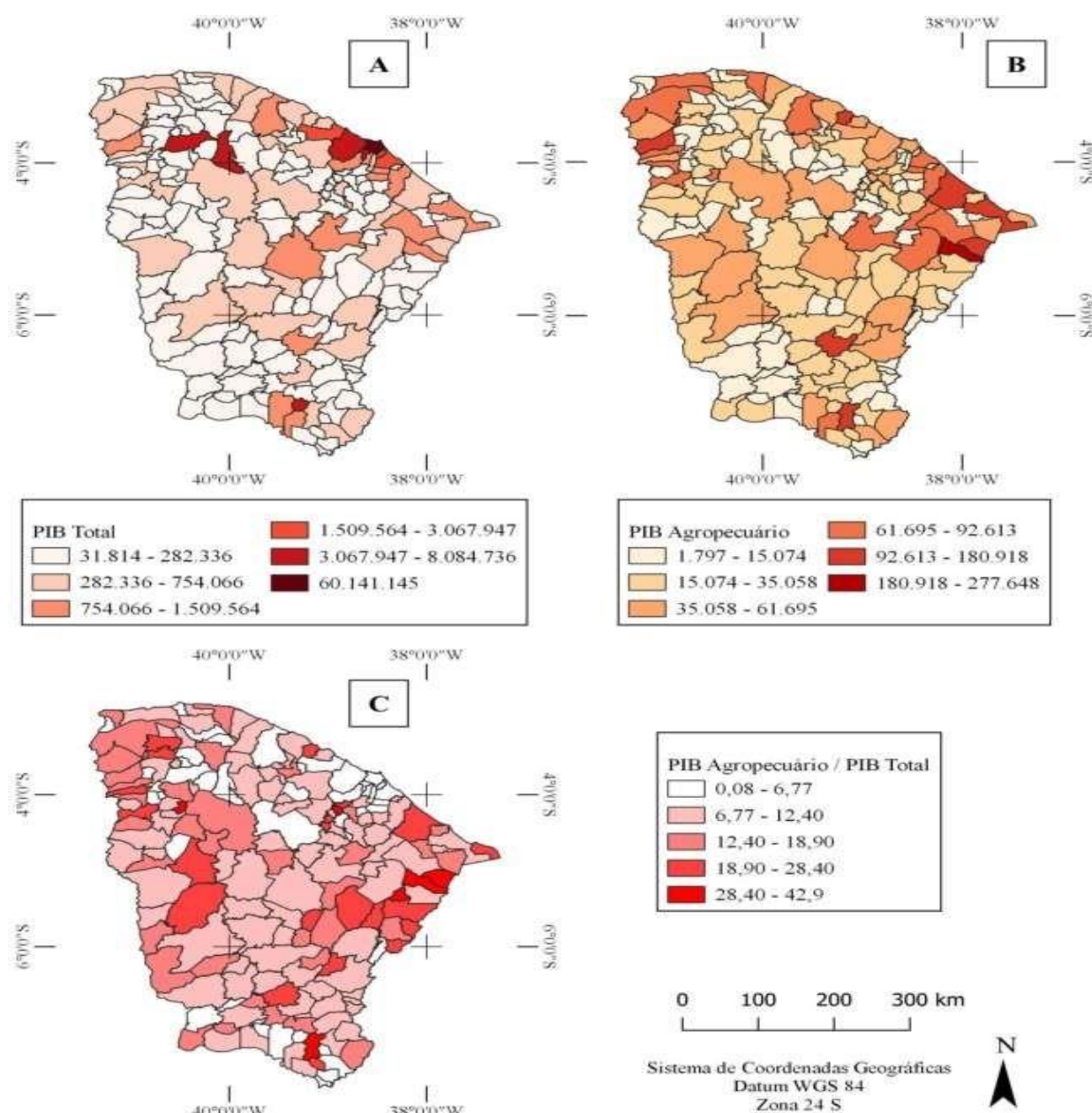


Fonte: Adaptado de SIDRA – IBGE 2016.

São João do Jaguaribe apresenta uma das menores economias cearenses, visto que se encontra na posição 138 de 184 no ranking dos maiores PIBs do estado, onde o setor agropecuário corresponde a 42,97% de seu PIB total. Verifica-se a ocorrência de 1 profissional de assistência técnica rural disponibilizado pela Ematerce, para um total de 934 DAPs ativas.

Com base nesses dados, que podem ser comparados na Figura 25, é possível afirmar a importância dos produtores rurais na economia de municípios com menor porte econômico, influenciando consideravelmente no desenvolvimento local. O espaço rural está cada vez mais sendo caracterizado por sistemas complexos, diversificados, integrados e interdependentes, em que o produtor rural se consolidou como protagonista no gerenciamento destes recursos.

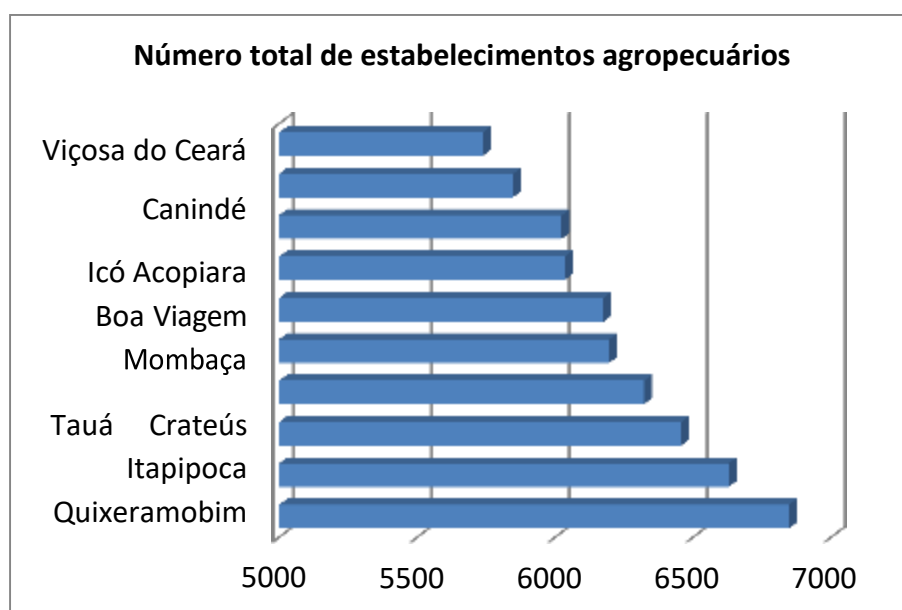
Figura 25 - Mapeamento do PIB total A, agropecuário B e da representatividade do PIB agropecuário sobre o PIB total, obtida pela razão entre eles, em porcentagem C.



4.3.2 *Perfil dos estabelecimentos produtores de bovinos no território cearense*

De acordo com o IBGE 2017, há mais de 2,5 milhões de estabelecimentos agropecuários espalhados ao longo do território brasileiro. Deste total, mais de 100 mil - cerca de 4,5% - pertencem ao estado do Ceará. Onde Quixeramobim destaca-se por ser o município com maior número de estabelecimentos agropecuários (Figura 26).

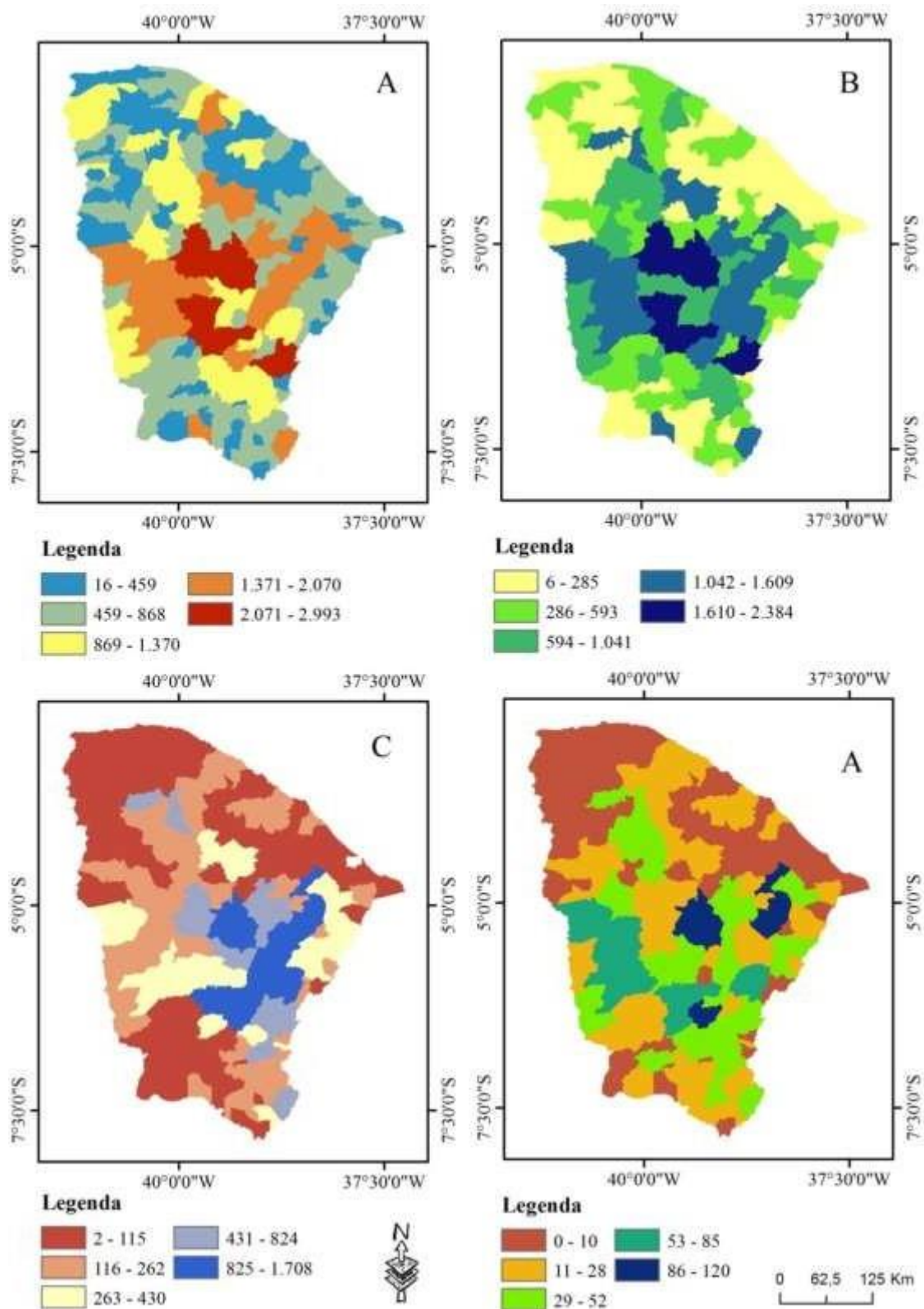
Figura 26-Ranking de municípios com maior número de estabelecimentos agropecuários do Ceará.



Fonte: Adaptado do Censo Agropecuário de 2017 – IBGE.

O censo agropecuário 2017 do IBGE contempla uma detalhada caracterização dos estabelecimentos rurais, como o número total de unidades e subdividida por tipos de atividade, em que a Figura 27 apresenta dados relacionados à pecuária bovina no Ceará, a nível municipal.

Figura 27 - Número de estabelecimentos agropecuários com bovinos (A), Número de estabelecimentos agropecuários que produziram leite de vaca (B); Número de estabelecimentos agropecuários que venderam leite de vaca cru (C) e Número de estabelecimentos agropecuários com mais de 50 cabeças de bovinos que venderam bovinos para abate (D).



O município com maior número de estabelecimentos com bovinos é Quixeramobim, com um total de 2.993 unidades. Em seguida, nesta mesma ordem, Acopiara (2.596), Mombaça (2.478), Boa Viagem (2.295), Icó (2.081), Morada Nova (2.067), Tauá (2.004), Santana do Cariri (1.880), Independência (1.773) e Crateús (1.764) (IBGE, 2017).

Dos municípios cearenses, os que mais apresentam estabelecimentos produtores de leite são: Quixeramobim (2.384), Acopiara (2.059), Mombaça (2.015), Boa Viagem (1.747), Icó (1.614), Tauá (1.560), Morada Nova (1.473), Independência (1.425), Iguatu (1.395) e Jaguaretama (1.366) (IBGE, 2017).

Quixeramobim, Jaguaretama e Morada Nova contam com os maiores números de estabelecimentos com venda de leite, onde o total representa um 71,64%, 90,34% e 74,13% dos estabelecimentos com bovinos totais. Apesar de obter destaque no número de estabelecimentos produtores, Independência apresenta apenas 184 estabelecimentos que declaram vender o leite produzido. Enquanto que, Jaguaribe e Solonópole não estão entre os 10 maiores produtores de leite, mas ocupam a 4º e 5º colocação entre os municípios com maior número de estabelecimentos que venderam leite bovino (IBGE, 2017).

Dos estabelecimentos que produziram bovinos, aqueles com mais de 50 cabeças bovinas que venderam desses animais para abate são encontrados em maior quantidade nos municípios de Quixeramobim (120), Jaguaretama (103), Morada Nova (86), Jaguaribe (77), Solonópole (74), Acopiara (70), Iguatu (660), Quixeló (63), Icó (53) e Quixadá (51) (IBGE, 2017). Esses estabelecimentos se apresentam em uma quantidade bastante inferior àquelas que se declaram produtoras de leite, indicando a maior presença da bovinocultura leiteira no estado, em detrimento à bovinocultura de corte.

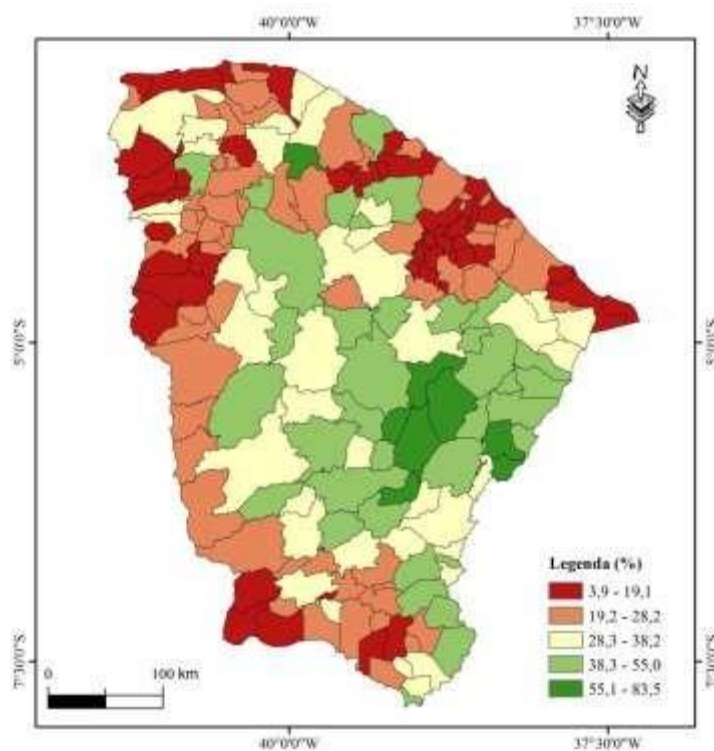
Esses dados podem indicar a importância econômica da atividade bovina para cada município e de cada ramificação do setor. Por exemplo, em Quixeramobim, o número de estabelecimentos que produzem leite apresenta uma quantidade 19,86 vezes maior do que os que produzem cabeças bovinas para o abate. Conforme o IBGE 2017, dos 394.330 estabelecimentos agropecuários cearenses, 114.714 produzem leite e apenas 2.900 produzem cabeças bovinas para o abate. Dessa forma, observa-se a predominância da atividade bovina leiteira sobre a bovinocultura de corte, no estado do Ceará.

De acordo com Ferreira *et al.* (2009), a pecuária leiteira aparece como uma das poucas opções nas regiões semiáridas, em especial no Nordeste do Brasil, em que a alimentação dos rebanhos é baseada na utilização de subprodutos de agroindústrias locais, forrageiras cultivadas e no uso da vegetação nativa, predominantemente a caatinga, aspecto que imprime características estacionais à produção nesta região.

A preferência pela bovinocultura leiteira pode ser justificada pelo fato da irregularidade e escassez das chuvas serem limitantes à produção de pastagem necessária à engorda dos animais criados para corte. Neiva *et al.* (2006) identificaram que nos estados do Ceará e Pernambuco o efetivo do rebanho bovino leiteiro é superior ao de corte, e levantaram a possibilidade do aproveitamento dos machos leiteiros para a pecuária de corte.

Com o objetivo de identificar o quanto as propriedades se dedicam à atividade bovina nos municípios cearenses, a Figura 28 apresenta o percentual das propriedades que declaram a criação de bovinos no censo agropecuário do IBGE (2017).

Figura 28 - Número de estabelecimentos agropecuários que produziram bovinos sobre o número total de estabelecimentos agropecuários.



Fonte: Elaboração própria, utilizando dados do IBGE (2017).

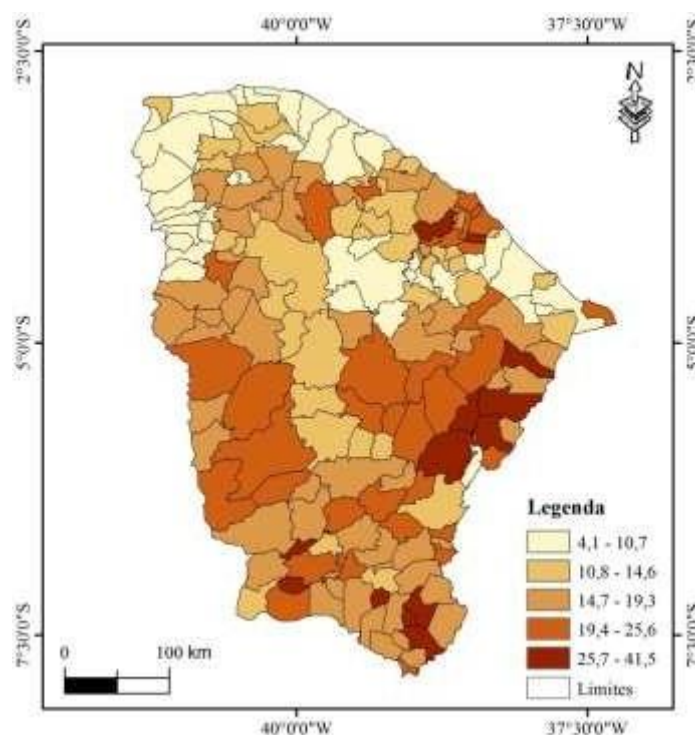
Jaguaretama destaca-se por 83,5% de seus estabelecimentos rurais apresentarem a criação de bovinos. Em seguida, destacam-se Miraíma (67,2%), Iracema (63,2%), Milhã (62,7%), Banabuiú (62,6%), Ererê (59,5%), Solonópole (58,7%), Quixelô (55,1%), Deputado Irapuan Pinheiro (53,6%) e Baixio (52,4%).

Conforme Costa (2014), e a maioria das propriedades leiteiras no estado do Ceará é composta de pequenos produtores, os quais não possuem boa estrutura de manejo, não praticam o controle zootécnico, não são assistidos tecnicamente e possuem baixos índices produtivos e reprodutivos.

Obstante de estar presente ou não nas propriedades, a concentração de bovinos por

estabelecimento constitui outro importante parâmetro a ser analisado. Visto que, em geral, apesar de presentes, os produtores cearenses caracterizam-se por serem de pequeno porte e exercerem a atividade como um meio de subsistência. Os locais onde há maior densidade ou quantidade média de bovinos por estabelecimento pode ser observada na Figura 29.

Figura 29 - Número de cabeças de bovinos nos estabelecimentos agropecuários (Cabeças) sobre o número de estabelecimentos agropecuários com

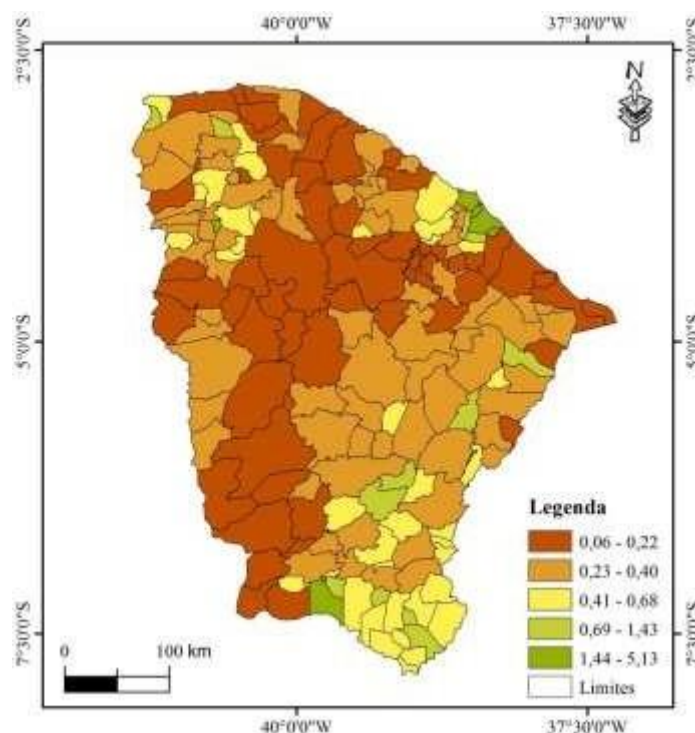


bovinos (Unidades).

Fonte: Autoria própria, adaptado de dados do IBGE.

A concentração de cabeças por fazenda tem destaque no município de Maranguape. Provavelmente, neste município encontram-se os maiores produtores dentro do Estado. Brejo Santo (38,7%), Juazeiro do Norte (33,5%), Horizonte (33,0%), Iracema (30,4%), Abaiara (28,0%), Potengi (27,9%), Alto Santo (27,5%), Jaguaribe (26,8%), Jaguaribara (26,6%). A concentração de cabeças em Juazeiro do Norte, conhecido pelo elevado crescimento urbano no interior do estado, foi elevada pela pequena quantidade de estabelecimentos – 7.717 cabeças em 230 propriedades. A concentração de cabeças também pode ser analisada em função da área disponível para a produção, como pode ser observado na Figura 30.

Figura 30 - Número de cabeças de bovinos nos estabelecimentos agropecuários sobre a área dos estabelecimentos, em hectares.



Fonte: Adaptado de dados do IBGE.

Nesse caso, o município de Eusébio destaca-se pela maior população bovina por área, equivalente a 5,14 cabeças por hectare. Seguido de Pacujá (3,81), Fortaleza (3,09), Aquiraz (1,72), Pindoretama (1,44), Chaval (1,28), Horizonte (1,22), Martinópolis (1,1), Itaitinga (1,09) e Brejo Santo (1,07).

De acordo com Lira *et al.* (2013), é fundamental que o produtor limite a quantidade de animais de acordo com a quantidade de forragem produzida e com o período do ano, visto que a capacidade de suporte varia com a sazonalidade das chuvas. De acordo com os mesmos autores, vegetação nativa da caatinga do Nordeste é predominantemente de estrato arbustivo-arbóreo, composto por plantas de baixo potencial forrageiro e que constituem a base da alimentação da maioria do rebanho dessa região.

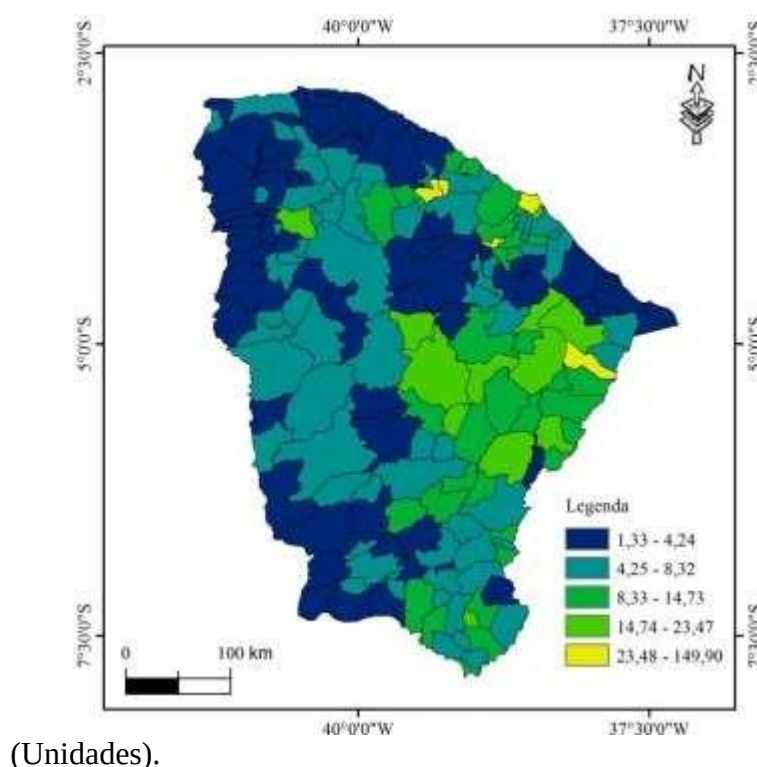
Quanto à capacidade de suporte do semiárido nordestino, é baixa (12 –15 ha/UA/ano), causando um baixo rendimento animal (6-8 kg de peso vivo/ha/ano), onde considerando apenas a época chuvosa do ano, a capacidade de suporte da caatinga fica em torno de 4 - 5 ha/UA/ano (LIRA *et al.*, 2013).

Algumas alternativas viáveis constituem as técnicas de rebaixamento, raleamento, enriquecimento com outras forrageiras, e armazenamento da forragem por meio da silagem e fenação.

4.3.3 Desempenho Econômico da pecuária bovina no Ceará

Nas últimas décadas, a produção leiteira no Brasil evoluiu progressivamente até posicionar o país como um dos principais do setor mundial. Conforme a Embrapa Gado de Leite (2018), de 1974 a 2014, passou de 7,1 bilhões para mais de 35,1 bilhões de litros de leite. O declínio do desempenho do setor começou a apresentar queda de 2015/2016, estimulados pelo recuo do preço do leite pago ao produtor no setor primário e pelo aumento do custo de produção – associado à quebra da safra brasileira de grãos no mesmo período (Embrapa Gado de Leite, 2018). O estado do Ceará ocupa o 11º lugar no ranking dos estados brasileiros produtores de leite bovino, conforme dados do IBGE (2017), com 606.764 mil litros de leite produzidos. A média de leite produzido por propriedades é apresentada na Figura 31.

Figura 31 - Quantidade produzida de leite de vaca (Mil litros) dividido pelo número de estabelecimentos agropecuários que produziram leite de vaca



Fonte: Adaptado de dados do IBGE.

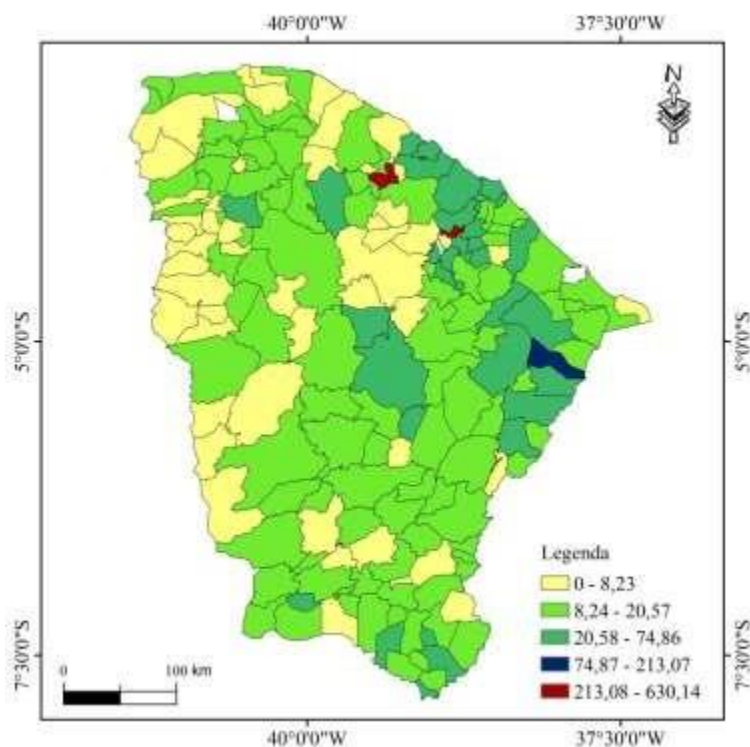
Bastante evidenciada nesse quesito, em comparação com outros municípios do estado, a localidade de Palmácia é a com maior produtividade leiteira, e apresenta 149,9 litros de leite por estabelecimento produtor. Na sequência, destacam-se: Umirim (48,06), Limoeiro do Norte (39,98), São Luís do Curu (36,030), Fortaleza (23,89), Milhã (21,85), Iracema

(21,51), Morada Nova (19,75), Quixeramobim (19,38) e Jaguaribe (17,16).

Conforme Carvalho Filho (2011), o semiárido concentra as principais bacias leiteiras do Nordeste do Brasil, onde predomina a produção de pequenas explorações de base familiar, revestidas de inquestionável relevância socioeconômica. A produtividade por vaca pode ser um indicativo de desenvolvimento da pecuária leiteira (ABREU *et al.*, 2017).

A fim de identificar o quanto o leite representa na renda dos estabelecimentos agropecuários produtores de leite bovino, a Figura 32 apresenta o valor médio adquirido, em mil reais por unidade agropecuária.

Figura 32 - Valor da venda de leite de vaca cru (Mil Reais) dividido pelo número de estabelecimentos agropecuários que venderam leite de vaca (Unidades).



Fonte: Adaptado de dados do IBGE.

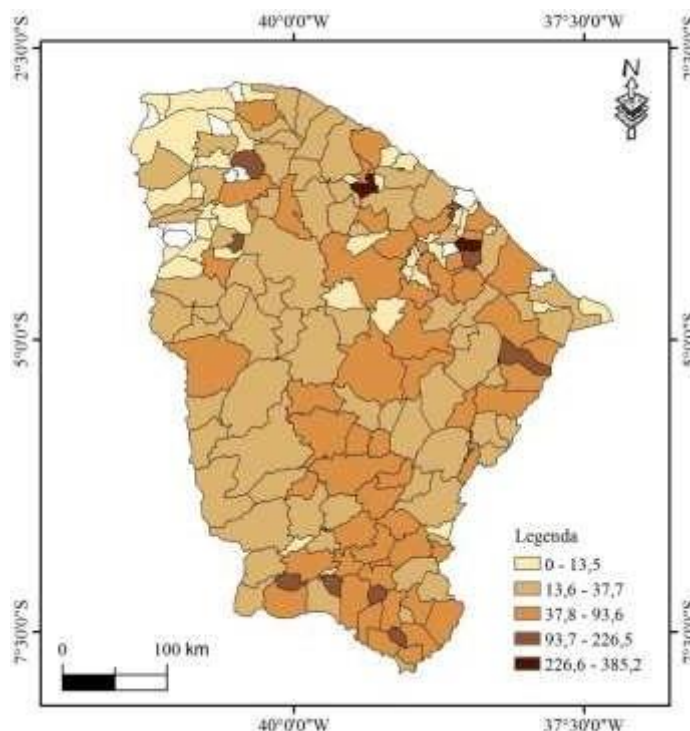
Palmácia e Umirim produziram os maiores valores pela venda do leite, por propriedade, respectivamente, R\$ 630.143,00 e R\$ 215.100,00. Também destacam-se: Limoeiro do Norte (76.231), Fortaleza (57.500), Madalena (43.379), Russas (41.138), Eusébio (38.731) e Mulungu (32.500).

CARVALHO FILHO (2011) defende que:

“Com efeito, nenhuma outra atividade assegura os benefícios aportados pela atividade leiteira em uma pequena propriedade: fluxo de caixa semanal, menores riscos, alta liquidez do capital imobilizado em animais e, frequentemente, a principal forma de capitalização e inserção no mercado para centenas de milhares de produtores familiares sertanejos, para quem poucas opções de reconversão econômica são viáveis, face à inconsistência climática dessa região” (CARVALHO FILHO, 2011, p.107).

Com o propósito de identificar o quanto a produção de carne bovina representa na renda dos estabelecimentos agropecuários produtores que vendem cabeças para o abate, a Figura 33 apresenta o valor médio adquirido com a venda, em mil reais por estabelecimento.

Figura 33 - Valor da venda de cabeças de bovinos para abate nos estabelecimentos agropecuários com mais de 50 cabeças, sobre o número de estabelecimentos nas mesmas condições que venderam bovinos para abate.

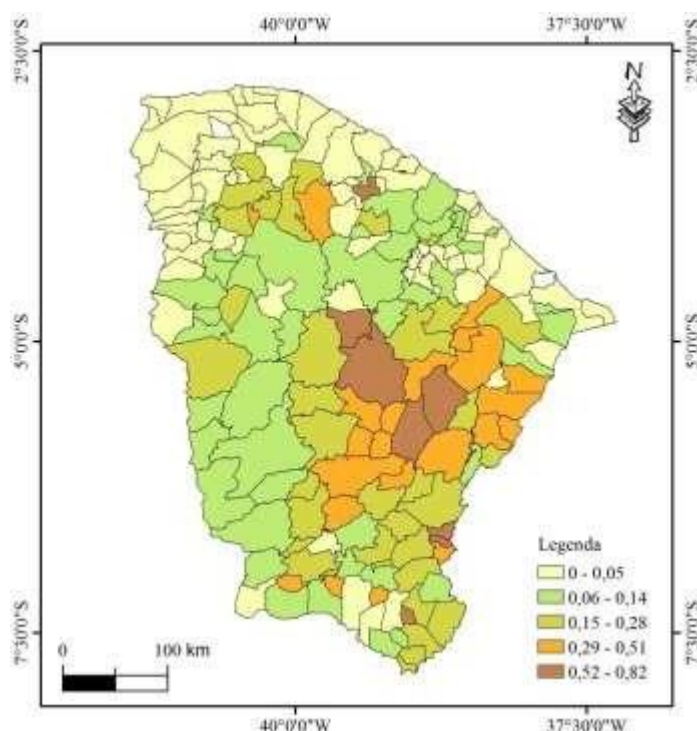


Fonte: Adaptado de dados do IBGE.

Umirim (385,167), Pacajus (228,000), Massapê (182,111), Juazeiro do Norte (155,211), Potengi (147,563), Varjota (131,750), Chorozinho (121,000), Nova Olinda (117,769), Maracanaú (115,667) e Limoeiro do Norte (104,926) foram os municípios que obtiveram maior receita com a venda de bovinos para o abate. Vale ressaltar que os animais vendidos em determinado município podem ter sido produzidos em outros municípios.

Somando-se o valor adquirido com a venda do leite ao valor da venda das cabeças bovinas para o abate e racionando pelo valor adicionado arrecadado no setor agropecuário municipal, podemos ter uma ideia da representatividade da atividade bovina na economia agropecuária de cada município. Na Figura 34, podemos observar em quais municípios a bovinocultura tem maior impacto sobre o PIB agropecuário local.

Figura 34 - Soma do valor da venda de cabeças de bovinos para abate nos estabelecimentos agropecuários com mais de 50 cabeças (Mil Reais) e do valor da venda de leite de vaca cru (Mil Reais) dividido pelo PIB agropecuário municipal.

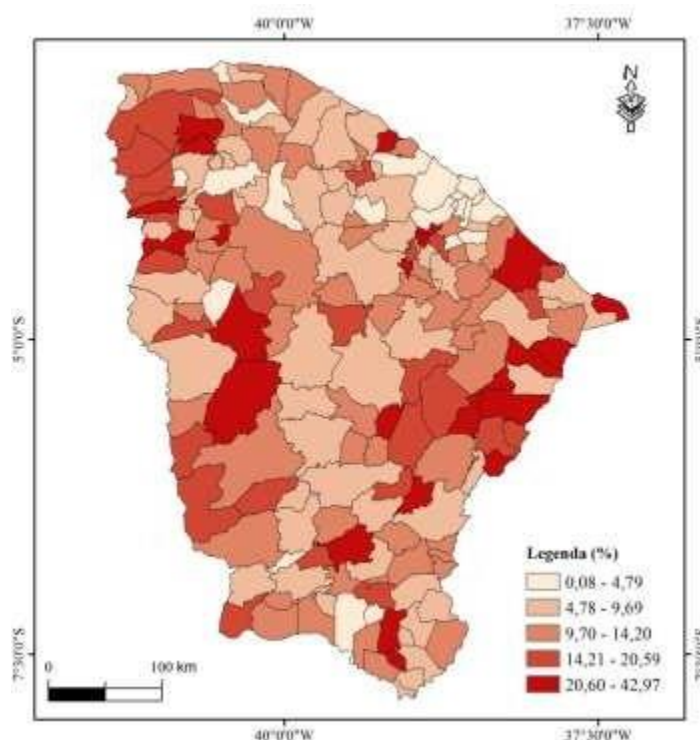


Fonte: Adaptado de dados do IBGE.

Nesse ponto, pode-se observar que Quixeramobim se sobressai às demais localidades no que se refere à participação da bovinocultura no PIB agropecuário municipal, com 82,1%. Juntamente a Umirim (74%), Solonópole (69,7%), Abaiara (69,6%), Baixio (68,3%), Umari (60,5%), Jaguaretama (60,1%).

A importância da atividade agropecuária para a economia local fica mais bem evidenciada quando se compara o PIB agropecuário sobre o PIB total de um município, como pode ser demonstrado na Figura 35.

Figura 35 - Representatividade do PIB agropecuário sobre o PIB total dos municípios (%).



Fonte: Adaptado de dados do IBGE.

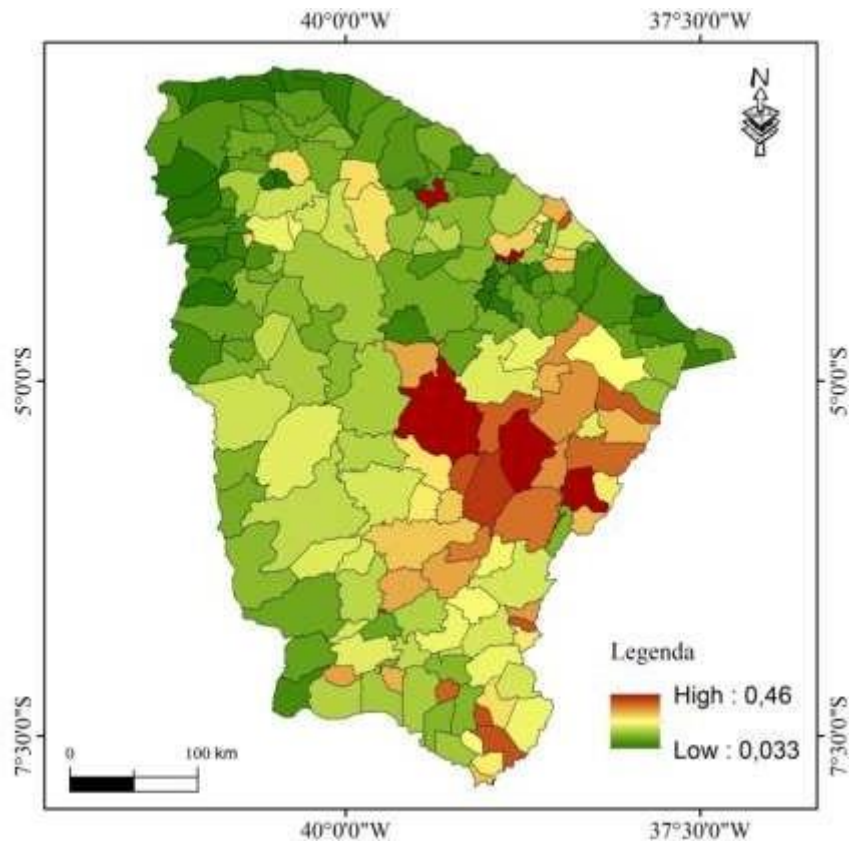
Em São João do Jaguaribe 42,97% de seu PIB tem origem da atividade agropecuária. Outros exemplos de dependência do setor agrário são: Varjota, Pacoti, Quixeré e Missão Velha, com respectivos 36,64%, 36,52%, 33,96% e 32,19%.

Dada as dificuldades da vida no campo, Souza e Barreto (2018) destacam o Programa Bolsa Família (PBF) dentre as iniciativas governamentais como um instrumento bastante relevante, tanto como mitigador para as dificuldades elementares de parte substancial da população, especialmente o acesso à alimentação, como para movimentação de economias municipais, destacando-se a contribuição para fomentar os pequenos negócios existentes nos municípios do Semiárido.

4.3.4 *Visão Geral do aspecto econômico*

Após as variáveis selecionadas (Tabela 13), reclassificadas em valores de 0 a 1 e submetidas a uma média aritmética simples, podem ser observadas na Figura 36, que neste trabalho será utilizada para expressar a importância econômica que a atividade bovina tem para o estado do Ceará, a nível municipal.

Figura 36 - A importância econômica da bovinocultura nos municípios do estado do Ceará.



Fonte: Autoria própria.

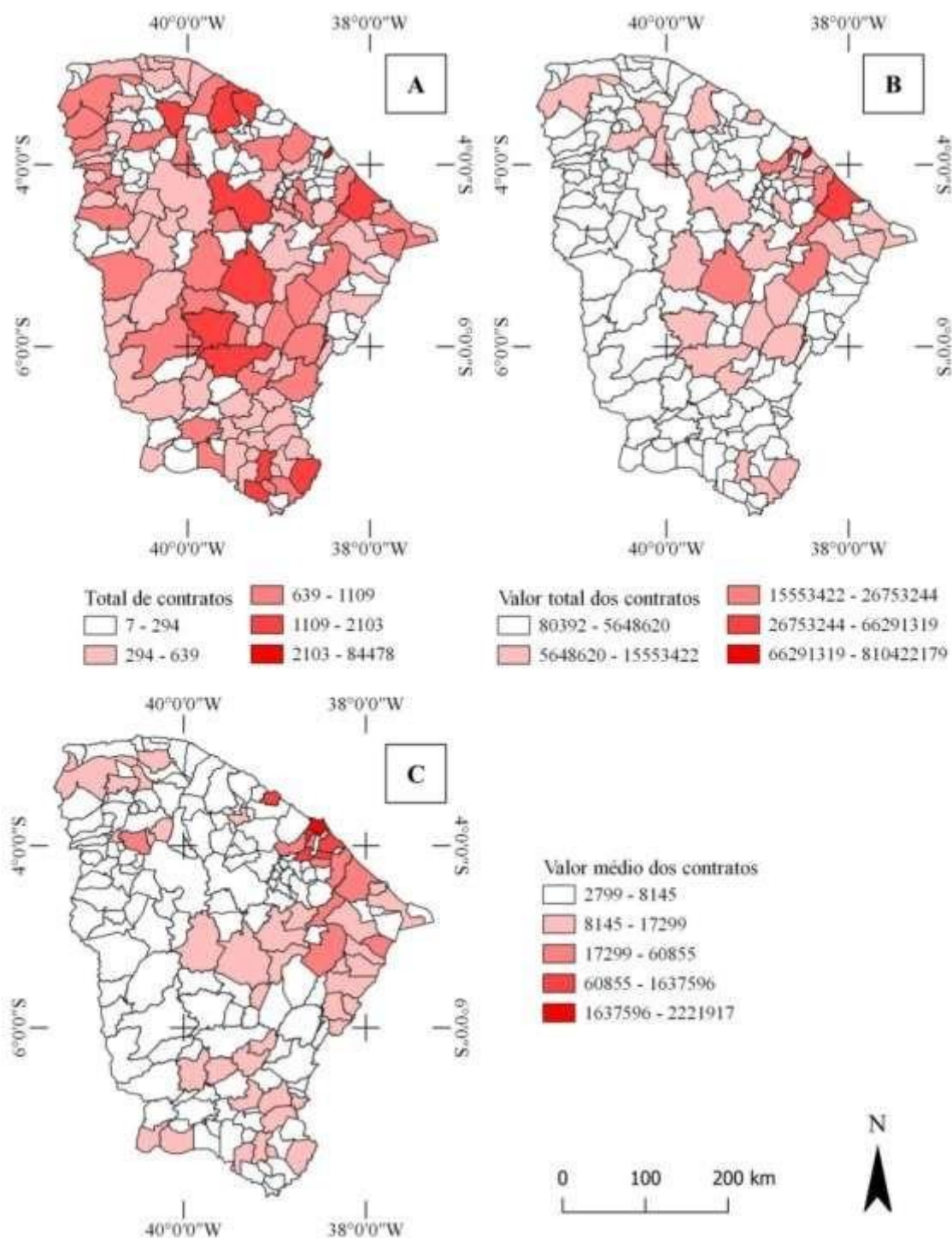
Neste índice, quanto mais próximo de 1, mais importante é a bovinocultura para a localidade. Os municípios representados pela cor vermelho-escuro são aqueles mais economicamente ligados à atividade bovina. Na faixa central do estado do Ceará, destacam-se os municípios de Quixeramobim, Jaguaratama e Iracema, representando, portanto, aqueles em que a produção bovina tem uma participação mais significativa na economia local.

A identidade sertaneja presente na porção semiárida do Nordeste do Brasil é histórica, econômica e culturalmente ligada à atividade pastoril, desde os primórdios de sua colonização até os dias atuais (CARVALHO FILHO, 2011).

4.3.5 *Investimentos do PRONAF*

A Figura 37 apresenta a distribuição de investimentos do Pronaf no Estado do Ceará.

Figura 37 - Mapeamento do número total de contratos de financiamentos pelo PRONAF (A), valor total dos contratos (B) e a razão entre o valor total de financiamentos pelo número de financiamentos (C).



Fonte: Adaptado do IBGE 2016.

Em estudo realizado por Marioni *et al.* (2016), realizando análise de regressão quantílica para dados em painel do PIB e do Pronaf, identificaram que o Pronaf promoveu um considerável impacto positivo no PIB agropecuário do Brasil. E destacaram a importância da análise regional, pois apesar de o programa ser de caráter nacional, há resultados diferentes entre as regiões.

Conforme o IBGE 2016, apenas 15% dos estabelecimentos agropecuários que obtiveram investimentos financeiros do PRONAF para desenvolver suas atividades, no Ceará foram apenas 12%. Gazolla e Schneider 2013 mostram que desde a criação do PRONAF houve uma expressiva queda na taxa de juros praticada e o aumento no dispêndio de recursos, além das inúmeras mudanças no seu marco legal e, conseqüentemente, no seu funcionamento. Tudo isso contribuiu para o fortalecimento dos agricultores, que tornaram suas propriedades mais diversificadas interna e setorialmente. Contudo, todo esse financiamento não chega facilmente ao agricultor familiar. Nesse sentido, o assistente técnico/extensionista cumpre um importante papel para o programa.

4.3.6 Nível de cobertura de Assistência Técnica Rural – ATER

A Ematerce é um dos órgãos responsáveis pela emissão da declaração de aptidão ao Pronaf – DAP. A DAP é o documento que identifica se o agricultor pertence ou não a categoria de agricultor familiar individual ou em associação, cooperativa ou agroindústria.

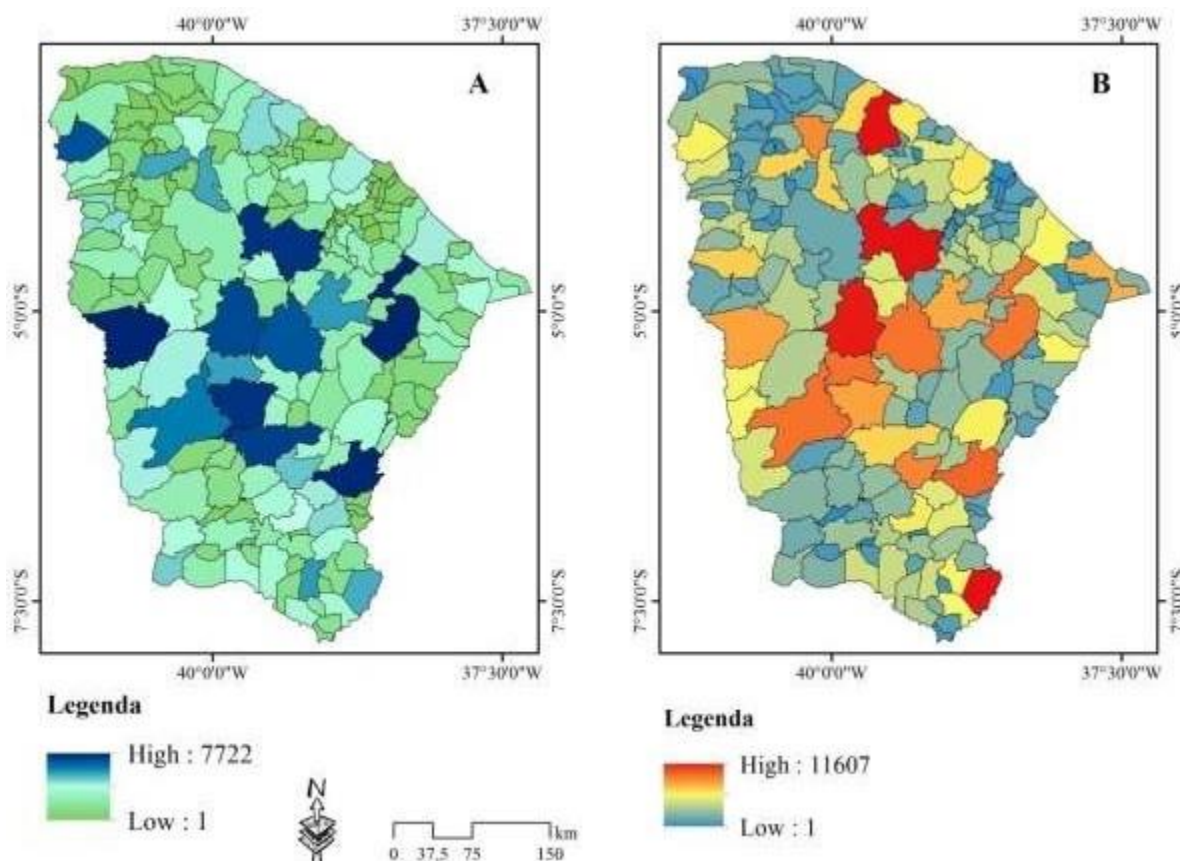
De acordo com a SEAD, ter a DAP ATIVA é o requisito para que o agricultor familiar acesse as linhas de crédito do Pronaf e outras 15 políticas públicas que incluem direitos e benefícios sociais, além da possibilidade de comercializar seus produtos, tais como: Assistência Técnica e Extensão Rural; Seguro da Agricultura Familiar Seaf; Garantia-Safra; Programa de Garantia de Preços Mínimos PGPM; Programa de Garantia de Preços da Agricultura Familiar PGPAF; Programa de Aquisição de Alimentos PAA; Programa Nacional de Alimentação Escolar PNAE; Programa Nacional de Proteção e Uso do Biodiesel PNPB; Beneficiário Especial da Previdência Social; Aposentadoria Rural Funrural; Auxílio Emergencial Financeiro; Programa Minha Casa Minha Vida Rural; Plano Brasil Sem Miséria

– Rota da Inclusão Produtiva Rural e Cotas em Escolas Técnicas Profissionalizantes.

Como podem ser observados na Figura 38, os municípios com maior quantidade de DAPs ativas foram: Morada Nova (7.722), Crateús (5.702), Icó (5.641), Mombaça (5.506),

Canindé (5.479), Acopiara (5.322), Boa Viagem (5.204), Viçosa do Ceará (5.109), Quixeramobim (5.064), Tauá (4.526). Na grande maioria dos municípios, o número de DAPs inativas ultrapassa o número de DAPs ativas.

Figura 38 - Número de DAPs ativas (A) e inativas (B) no Estado do Ceará, por município.



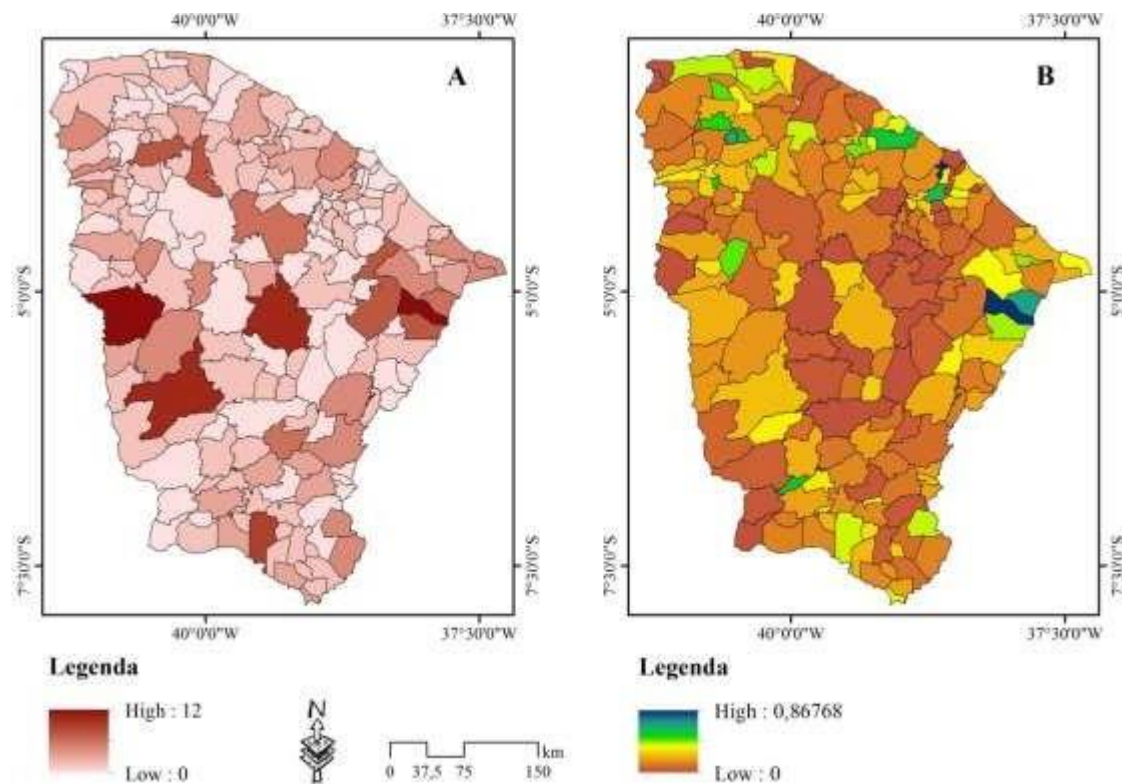
Fonte: Adaptado do IBGE 2016.

Ao longo da sua história, a atuação do serviço de extensão rural esteve contemporânea com as modificações e especializações do crédito rural. É uma das instituições com maior vivência em crédito rural tecnificado. Ademais, programas como PRONAF foram elaborados com base nas reflexões de parte de extensionistas e outros atores.

Os municípios com maior quantidade de técnicos foram: Limoeiro do Norte (12), Crateús (9), Quixeramobim (8), Tauá (8), Crato (7), Sobral (6), Tabuleiro do Norte (6), Morada Nova (6), Canindé (5), Iguatu (5). Conforme Marinho (2015), a análise realizada sobre a distribuição dos extensionistas no território pode subsidiar a orientação da distribuição da força de trabalho da EMATER para reduzir os déficits da oferta de ATER pública estadual.

No geral, o índice apresentado classificou os municípios com baixo enquadramento de profissionais, cujo resultado pode ser atribuído ao baixo número de técnicos extensionistas, frente à enorme quantidade de DAP'S ativas por município, como pode ser observado na Figura 39.

Figura 39 - Mapeamento do número de profissionais de ATER disponibilizados pela Ematerce (A) e o índice de cobertura de assistência técnica, obtido pela proporção entre o número de DAPs ativas e o número de técnicos disponíveis (B).



Fonte: Adaptado do IBGE 2016.

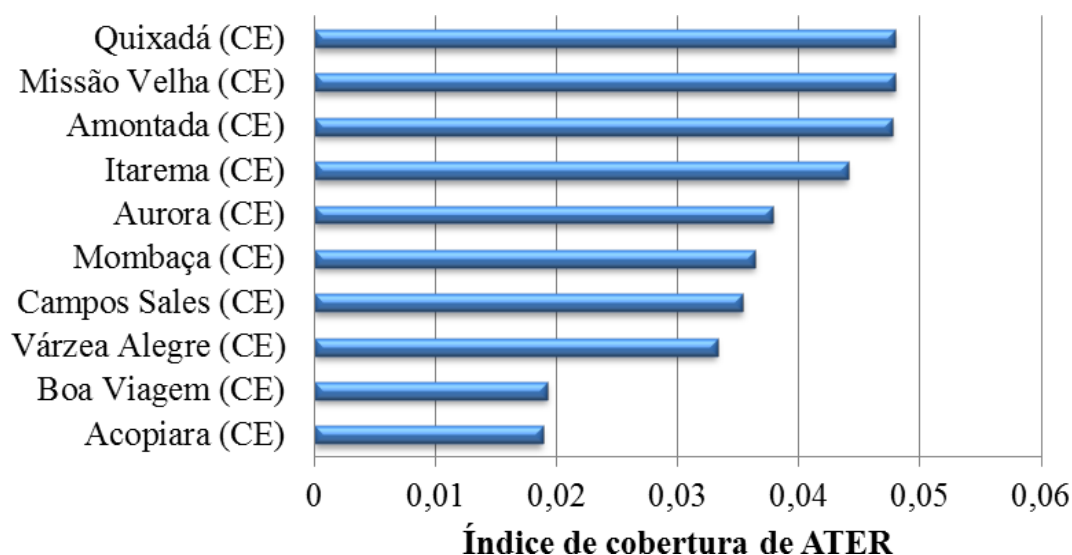
Limoeiro do Norte foi o município com maior número de técnicos e também a que mais contribuiu para o PIB agropecuário do estado. Juntamente a Quixeré, Guaiúba e Alcântaras apresentam um índice de cobertura de assistência técnica rural medianamente alto. O único município que apresenta um alto nível de cobertura é Maracanaú.

De acordo com estudo realizado por Lima *et al.* (2009), analisando o perfil dos produtores rurais do município de Quixeramobim no Estado do Ceará, verificaram que a grande maioria dos produtores apresentavam um perfil típico da agricultura familiar com ênfase na subsistência, pouco avanço tecnológico e pouca especialização. Dessa forma, esses produtores se caracterizavam como menos competitivos e mais susceptíveis às adversidades, sejam de natureza física, climatológica, gerencial ou mercadológica.

Esse estudo de caso pode representar muitos outros municípios cearenses, que agravam essa problemática devido às questões ambientais e as institucionais por falta de investimentos. Na maior

parte do estado, os municípios apresentam baixo suporte de assistência técnica rural (Figura 40).

Figura 40 - Ranking de municípios com as piores coberturas de Assistência Técnica Rural em 2018.



Fonte: Adaptado da Ematerce 2018.

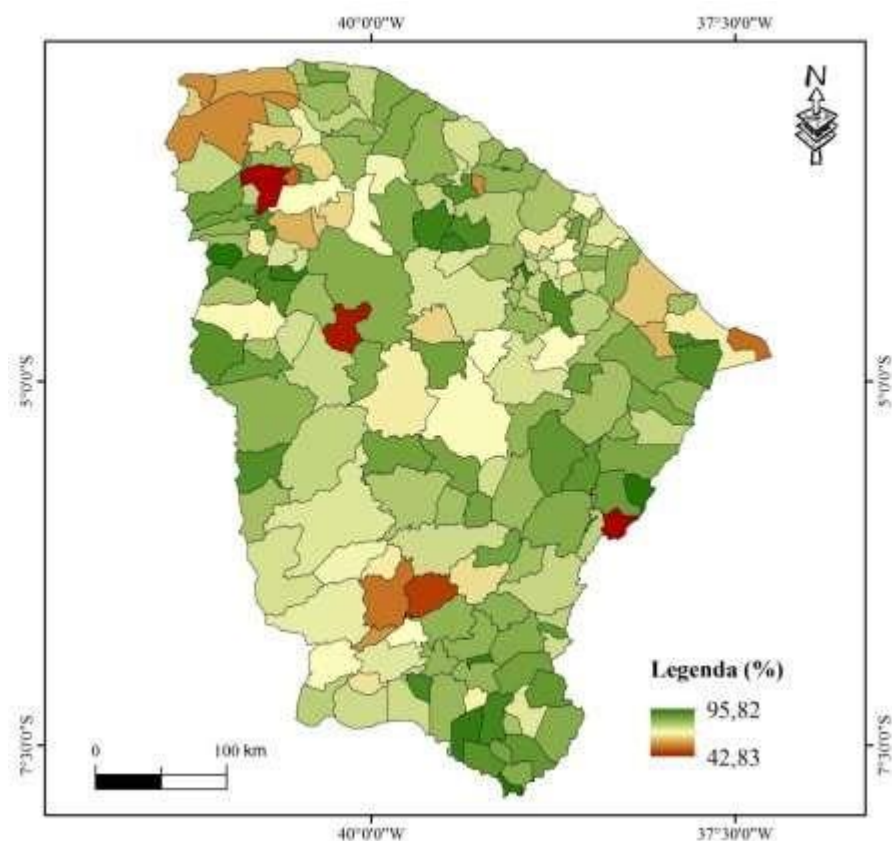
Pode-se observar que Missão Velha consta como o 8º município que mais gera PIB no setor agropecuário cearense e o 5º município mais dependente da agropecuária na sua economia. Entretanto, está entre os 10 municípios que menos recebem assistência técnica rural, sendo um total de 2 profissionais para atender a 4.175 DAPs ativas.

4.3.7 Nível de Escolaridade dos produtores

Não desconsiderando os saberes do homem do campo, conforme aponta Abrantes *et al.* (2011), o nível de escolaridade do produtor influencia no seu interesse em buscar novos conhecimentos, bem como, possibilita estabelecer comportamentos mais desejáveis na assimilação e adoção das informações recebidas.

Conforme a Figura 41, os municípios onde mais de 50% dos produtores nunca frequentaram a escola e não possuem nenhum grau de alfabetização são: Ererê (42,83%), Coreaú (43,7%), Catunda (44,6%) e Jucás (47,8%).

Figura 41 - Grau de escolaridade dos produtores.



Fonte: Autoria própria.

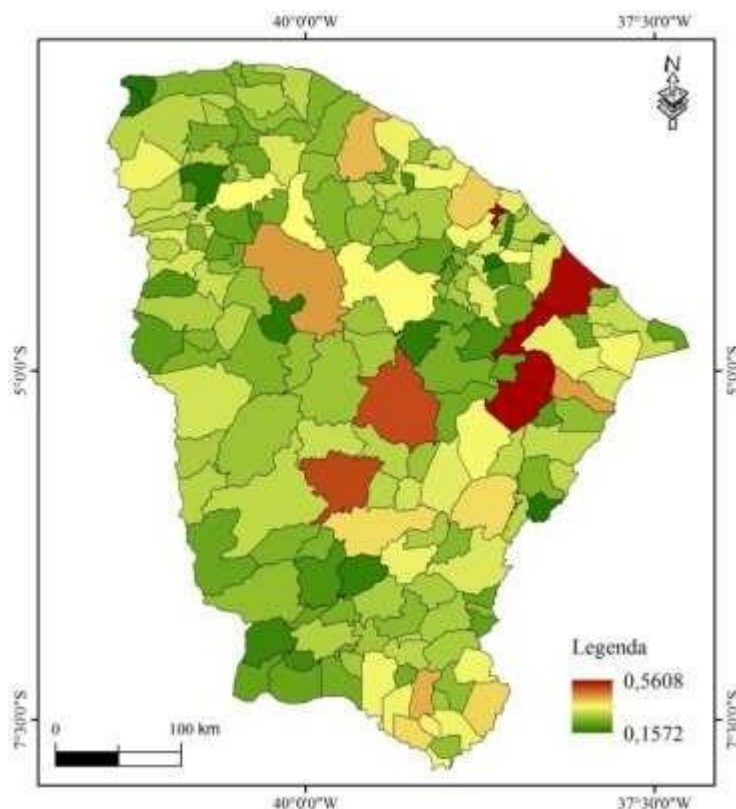
Na maioria dos municípios cearenses, mais de 77% dos produtores frequentaram pelo menos a classe de alfabetização. Destacam-se positivamente os municípios: Penaforte (95,8%), Carnaubal (92,9%), Potiretama (92,8%), Barbalha (91%), Pires Ferreira (90,8%), Guaramiranga (90,3%), Granjeiro (90,3%), Tejuçuoca (90%), General Sampaio (89,7%) e Missão Velha (89%).

4.3.8 *Visão Geral do apoio institucional recebido pela bovinocultura no estado do Ceará.*

O Nordeste foi a primeira região do país a ser colonizada e a desenvolver algum tipo de atividade econômica. No entanto, é atualmente uma das regiões brasileiras menos desenvolvidas. Aliado a outros fatores limitantes, a má articulação das políticas públicas por parte das instituições governamentais pode ser um dos motivos pelos quais a região se encontra nesta situação desfavorável.

A Figura 42 apresenta o nível de apoio institucional recebido pelos diversos municípios do estado, de acordo com as variáveis analisadas neste estudo.

Figura 42 – Visão do apoio institucional à bovinocultura no estado do Ceará.



Fonte: Autoria própria.

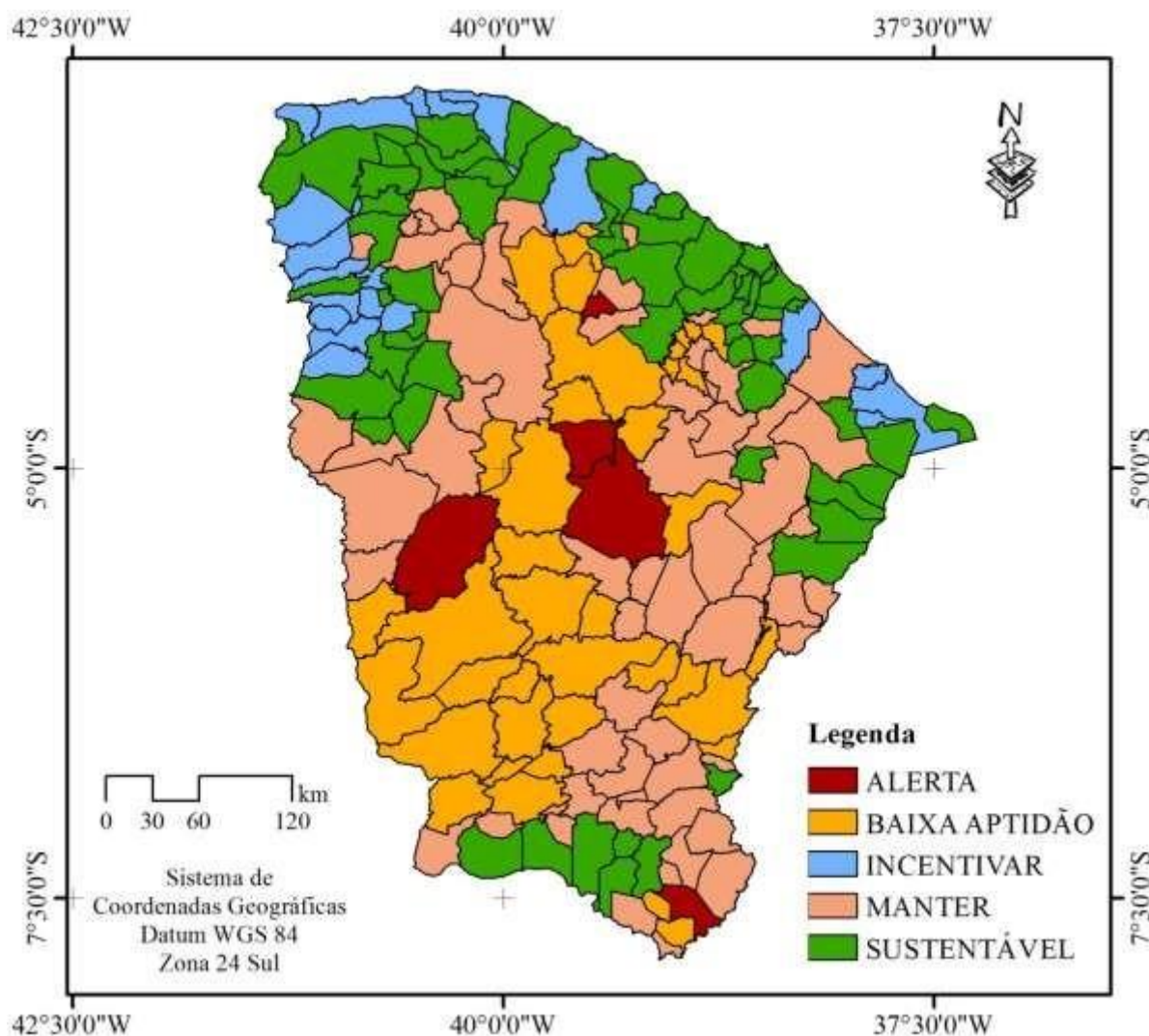
Batalha *et al.* (2005) aponta como fatores que atrasam o desenvolvimento rural: a descapitalização dos pequenos agricultores que os distanciam das modernidades e tecnologias; o baixo nível de educação formal dos agricultores familiares; onde a falta de uma cultura não promove um ambiente propício à adoção de novas tecnologias de gestão e a falta de orientação dos técnicos responsáveis pela assistência técnica aos produtores.

Pereira *et al.* (2018), avaliando os aspectos socioeconômicos da região do Matopiba, identificaram que, geralmente, a situação social da maioria dos municípios daquela região havia melhorado entre os anos de 2000 e 2010. Segundo os autores, essa melhoria deve-se a uma série de fatores, como a execução de algumas políticas públicas, principalmente do governo federal, com o intuito de redistribuir renda e promover condições de vida mais dignas para a parcela mais pobre da população brasileira.

CAPÍTULO V – AVALIAÇÃO FINAL DA BOVINOCULTURA NO ESTADO DO CEARÁ

Por fim, todas as etapas anteriores resultaram no mapa apresentado na Figura 43, que representa um diagnóstico da bovinocultura desenvolvida no Estado do Ceará. Conforme a legenda da figura, a situação da atividade bovina em cada município foi classificada como: Alerta, Baixa Aptidão, Incentivar, Manter e Sustentável.

Figura 43 - Resultado Final.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nessa classificação, “Alerta” diz respeito àqueles municípios que possuem baixa capacidade ambiental para a criação bovina, mas que a atividade exerce grande influência econômica e social dentro do município; “Baixa aptidão” inclui os municípios que obtiveram uma má avaliação em todas as dimensões estudadas, ou seja, no quesito ambiental, socioeconômico e institucional; “Incentivar” sugere uma recomendação àqueles municípios que apresentam boa ou média capacidade ambiental, mas que não são tão evidenciados nas dimensões socioeconômica e/ou

institucional; “Manter” é sugerido àqueles municípios que apresentam uma capacidade ambiental mediana e se evidenciam nas dimensões socioeconômica e institucional; Finalmente, “Sustentável” indica aqueles municípios com boa capacidade ambiental, elevada importância socioeconômica e que recebem um melhor apoio das ações governamentais.

Esse resultado foi obtido por meio da calculadora de campo no QGIS 3.6, por meio de regras ditadas em expressões lógicas, que podem ser visualizadas no Anexo 4. Inicialmente, em cada dimensão (ambiental, socioeconômica e institucional), os valores dos índices foram classificados de acordo com o desempenho, como: “bom”, “médio” ou “ruim”. Essas classes foram subdivididas de acordo com o método dos Quartis.

Os desempenhos obtidos para cada município, em cada dimensão, foram relacionados entre si para se alcançar um parecer final acerca da atividade no local. Esse método utilizado para se tomar uma decisão sobre o município baseia-se em um dos princípios da lógica Fuzzy.

O método Fuzzy pode ser utilizado quando se pretende ponderar diversas variáveis de naturezas distintas e chegar a uma conclusão geral sobre determinado estudo, em vez de aplicar uma média ponderada ou aritmética, no caso de índices. A lógica Fuzzy é útil para se chegar a uma conclusão mais próxima da realidade. Assim como o raciocínio humano possui mecanismos para lidar com processos complexos e traduzir informações imprecisas ou aproximadas, a lógica Fuzzy também pode ser utilizada para traduzir termos matemáticos e articular sua estratégia de ação, de acordo com um conjunto de regras da forma “se... então”, a partir de um algoritmo passível de ser implementado em computador (TANSCHKEIT, 2004). Ou seja, a lógica fuzzy permite congrega dados diversos de uma situação e deduzir se a combinação é favorável ou não, a partir de regras pré-estabelecidas.

Conforme Santos 2010, a fuzzificação de dados e a definição de regras fuzzy são processos justificados pelo conhecimento do especialista no fenômeno estudado. Ou seja, é um conhecimento empírico, em que o operador dos dados define suas próprias regras de acordo com a sua experiência no assunto.

CAPÍTULO VI – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O resultado foi compatível com o esperado na hipótese inicial. O estado do Ceará ainda possui um longo caminho até alcançar destaque no cenário nacional da pecuária. Dessa forma, devido ainda a grande importância econômica e social que possui para a manutenção do homem no campo, deve-se pensar e programar medidas que fomentem essas atividades, estimulando a produção sustentável e desenvolvendo o máximo potencial no estado.

O estudo apresentou uma fração reduzida de áreas com boa aptidão para a pecuária nas regiões das principais bacias leiteiras do estado. Pode-se observar uma grande inconsistência na agropecuária cearense em não reconhecer nas localidades dentro de seu território a real aptidão e capacidade agrária. Em algumas situações, produz-se onde não há uma relação sustentável entre o meio e atividade desenvolvida e ignoram-se regiões com maiores potenciais produtivos.

Em alguns municípios, preponderantemente naqueles com economias mal desenvolvidas, o leite apresenta-se como um importante meio de sustentação para um grande número de famílias que vivem no meio rural. A participação da agropecuária no PIB total dos municípios é maior naqueles com a economia menos desenvolvida. Por exemplo, Fortaleza e outras grandes cidades apresenta valores expressivos, mas que não representam muito de seu PIB total. Enquanto que para economias menores, valores mesmo que baixos, representa muito. Nesses casos são onde se deve ter maior apoio e atenção para que se possa impulsionar o desenvolvimento local.

Pode-se observar a baixa disponibilidade de assistência técnica rural no estado frente ao grande número de DAPs ativas.

A manipulação de dados por Geoprocessamento constitui importante ferramenta de espacialização e análise espacial de dados censitários, o que o mostra como um acessório de grande aplicabilidade para os estudos e para o direcionamento de ações de planejamento e gestão do território.

REFERÊNCIAS

ABDO, M. T. V. N.; VALERI, S. V.; MARTINS, A. L. M. Sistemas agroflorestais e agricultura familiar: uma parceria interessante. *Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária*, v. 1, n. 2, p. 50-59, 2008.

ABRAMOVAY, Ricardo. Desenvolvimento sustentável: qual a estratégia para o Brasil?. *Novos estudos CEBRAP*, n. 87, p. 97-113, 2010.

ABRANTES, L. A.; ANTONIALLI, L. M.; BRITO, M. J.; CECOM, P. R.; FARONI, W. Tipificação e caracterização dos produtores rurais através da utilização de informações contábeis. *Organizações Rurais & Agroindustriais*, v. 10, n. 2, 2011.

ABREU, ANA; SANTOS, GLAUBER; GUIMARÃES, BRUNO; SILVA, JANIELEN; GUIMARÃES, GABRYELLA. Panorama Socioeconômico da Pecuária leiteira no município de Pindaí-BA Semiárido baiano. *Enciclopédia Biosfera*, v. 14, p. 402-417, 2017.

AGUIAR, M. I. DE; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, T. S. DE; MENDONÇA, E. S.; ARAUJO FILHO, J. A. Perdas de solo, água e nutrientes em sistemas agroflorestais no município de Sobral, CE. *Revista Ciência Agronômica*, v.37, n.3, p.270-278, 2006.

ALENCAR, M. M.; POTT, E. B. Criação de bovinos de corte na Região Sudeste. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Embrapa Pecuária Sudeste, 2003.

ALLEN, R. G., M TASUMI, AND R. TREZZA. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.133, n. 4: 380-394, 2007.

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; KJAERGAARD, J. METRICTM–Mapping Evapotranspiration at high resolution–Applications Manual for Landsat Satellite Imagery (Version 2.0. 4). University of Idaho, 2008.

ALMEIDA NETO, L. A.; PANDORFI, H.; ALMEIDA, G. L.; GUSELINI, C. Climatização na pré-ordenha de vacas girolando no inverno do semiárido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 10, p. 1072-1078, 2014.

ALVES, Luciana Medeiros. Sistemas Agroflorestais (SAF's) na restauração de ambientes degradados. Programa de Pós-graduação em Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação de Recursos Naturais, UFJF, Juiz de Fora, 2009.

AMORIM, R. S.; SILVA, D. D. D.; PRUSKI, F. F.; MATOS, A. T. D. Influência da declividade do solo e da energia cinética de chuvas simuladas no processo de erosão entre sulcos. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 5, n. 1, p. 124-130, 2001.

ANTONINI, J. D. A.; SILVA, E. D.; OLIVEIRA, L. F. C.; SANO, E. E. Modelo matemático para estimativa da temperatura média diária do ar no Estado de Goiás. *Área de Informação da Sede- Artigo em periódico indexado (ALICE)*, 2009.

ARAUJO FILHO, J.A.; BARBOSA, T.M.L. Sistemas agrícolas sustentáveis para a região do semiárido. Sobral: Embrapa Caprinos, 1999. 18p (Circular técnica, 20). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/36464/1/CT-20.pdf>> Acesso em: 20 de Janeiro de 2020.

ARAÚJO, S.M.S. de. A Região Semiárida do Nordeste do Brasil: questões ambientais e possibilidades de uso sustentável dos recursos. Revista Científica da FASETE, v. 5, 2011.

BACEN - Banco Central. Quantidade e Valor dos Contratos por Município. Período: Janeiro/2018 - Dezembro/2018. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/micrrural>. Acesso em: 08/2019.

BATALHA, M. O.; BUAINAIN, A. M.; SOUZA FILHO, H. M. Tecnologia de gestão e agricultura familiar. Gestão Integrada da Agricultura Familiar. São Carlos (Brasil): EDUFSCAR, p. 43-66, 2005.

BENETTI, Luciana Borba. Avaliação do índice de desenvolvimento sustentável (IDS) do município de Lages/SC através do método do painel de sustentabilidade. 2006. 203 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

BERTOLINI, W. Z.; VALADÃO, R. C. A abordagem do relevo pela geografia: uma análise a partir dos livros didáticos. Terra e Didática, v. 5, n. 1, p. 27-41, 2009.

BOFF, Leonardo. Sustentabilidade: O que é - o que não é. 3. Ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2014.

BOND, G. B.; ALMEIDA, R. de; OSTRENSKY, A.; MOLENTO, C. F. M. Métodos de diagnóstico e pontos críticos de bem-estar de bovinos leiteiros. Ciência Rural, Santa Maria, 2012.

BORATTO, I. M. P.; GOMIDE, R. L. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu – PR, 2013.

BRAND, F. Critical natural capital revisited: ecological resilience and sustainable development. Ecological Economics, [S. l.]: Elsevier, v. 68, 2009.

BRÁZ, S.P. **Distribuição de fezes de bovinos e a reciclagem de nutrientes em pastagens de Brachiaria decumbens**, 2001, 77f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

BRETTAS, P.K.M.; NASCIMENTO, M.R.B.M.; GUIMARÃES, E.C.; SOUZA, G.P. Melhor índice de estresse térmico para novilhas leiteiras mestiças. Acta Scientiae Veterinariae, v. 45, p. 1-8, 2017.

BRUGNARO, Ricardo; BACHA, Carlos José Caetano. Análise da participação da agropecuária no PIB do Brasil de 1986 a 2004. Estudos Econômicos (São Paulo), v. 39, n. 1, p. 127-159, 2009.

BUFFINGTON, D. E.; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G. H; PITY, D.;

TAHTCHER, W. W.; COLLIER, R. J. Black globe-humidity index (ITGU) as confort equation for dairy cows. Transactions of ASAE, v.24, n.3, p.711-714, 1981.

BURSZTYN, Marcel (Org); PROCÓPIO FILHO, A.; CAMPOS, A. E. M.; VIOTTI, E. B.; NASCIMENTO, E. P.; BASTOS FILHO, J. B.; BARTHOLO JR, R. D. S. **Ciência, ética e sustentabilidade**. São Paulo: Cortes, p. 159-188, 2001.

CAITANO, R. F.; LOPES, F. B.; TEIXEIRA, A. S. Estimativa da aridez no Estado do Ceará usando Sistemas de Informação Geográfica. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, Curitiba-PR, 2011.

CAMELO, H. D. N., LUCIO, P. S., LEAL JUNIOR, J. B. V., & DE CARVALHO, P. C. M. Time Series Forecasting Methods and Hybrid Modeling both Applied on Monthly Average Wind Speed for Regions of Northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 4, p. 565-574, 2017.

CARGNELUTTI FILHO, A.; MALUF, J. R. T.; MATZENAUER, R.; STOLZ, Á. P. Altitude e coordenadas geográficas na estimativa da temperatura mínima média decendial do ar no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 41, n. 6, p. 893-901, 2006.

CARVALHO FILHO, O. M. Sistema de produção agroecológica de leite no semiárido. *Pesquisa, desenvolvimento e inovação para sustentabilidade da bovinocultura leiteira*, p. 107, 2011.

CARVALHO, P. G. M. de; BARCELLOS, F. C. Construindo indicadores de sustentabilidade. *Indicadores Econômicos FEE*, v. 37, n. 1, 2009.

CATTELAM, J.; VALE, M. M. Estresse térmico em bovinos. *Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias*, v.108, p.96-102, 2013.

CERUTTI, W. G.; BERMUDEZ, R. F.; VIÉGAS, J.; MARTINS, C. M. Respostas fisiológicas e produtivas de vacas holandesas em lactação submetidas ou não a sombreamento e aspersão na pré-ordenha. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 14, n. 3, 2013.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote sensing of environment*, v. 113, n. 5, p. 893-903, 2009.

CHAVES, Luciane Azevedo. História do Estado do Ceará. Sobral: INTA, 2016.
CLAUDINO-SALES, V.; LIRA, M. V. MEGAGEOMORFOLOGIA DO NOROESTE DO ESTADO DO CEARÁ. *Caminhos de Geografia*, v. 12, n. 38, 2011.

CNA - Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. Exportações do Agro em 2017. Disponível em:< <http://www.cnabrazil.org.br/estudos/exportacoes-do-agro-em-2017>> Acesso em: julho de 2017.

COELHO, V. H.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ALMEIDA, C. D. N.; LIMA, E. D.; RIBEIRO NETO, A.; MOURA, G. D. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 1, p. 64-72, 2014.

COLLIER, R. J.; DAHL, G. E.; VANBAALE, M. J. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *J. Dairy Sci.* v.89, p.1244-1253, 2006.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Leite e derivados. Conjuntura mensal especial. Brasília-DF, Abril, 2017.

COSTA, A.N.L. Estresse térmico em fêmeas bovinas Girolando: $\frac{3}{4}$ Holandês $\frac{1}{4}$ Gir vs $\frac{1}{2}$ Holandês $\frac{1}{2}$ Gir, criadas em clima semiárido no estado do Ceará. Tese de doutorado. UFC: Fortaleza, 2014.

COSTA, Leopoldo. História da criação de gado no Ceará. Abril, 2011. Disponível em: <https://stravaganzastravaganza.blogspot.com/2011/04/historia-da-criacao-de-gado-no-ceara.html>. Acesso em: setembro de 2019.

COSTA, M. J. R. P.. Comportamento e bem-estar de bovinos e suas relações com a produção de qualidade. Anais dos Simpósios da 41a Reunião da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Campo Grande, p. 260-268, 2004.

COSTABEBER, J. A.; CAPORAL, F. R. Possibilidades e alternativas do desenvolvimento rural sustentável. Agricultura familiar e desenvolvimento rural sustentável no Mercosul. Santa Maria: Editora da UFSM/Pallotti, p. 157-194, 2003.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Ministério de Minas e Energia Secretaria de Minas e Metalurgia. Diagnóstico do Município de Quixeramobim. Programa de Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará. Fortaleza, 1998.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C.C.F. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos: INPE, 124 p., 2001.

DIAS-FILHO, M.B. Os desafios da produção animal em pastagens na fronteira agrícola brasileira. Revista Brasileira de Zootecnia, v.40, p. 243-252, 2011.

DIAS-FILHO, Moacyr Bernardino. Degradação de pastagens : o que é e como evitar. Brasília, DF : Embrapa, 2017. PDF (19 p.) : il. color. <http://www.embrapa.br/amazonia-oriental/publicacoes> ISBN 978-85-7035-688-8

DIAS-FILHO, Moacyr Bernardino. Degradação de pastagens. Processos, causas e estratégias de recuperação. Belém. EMBRAPA Amazônia oriental, 2003.

DIAS-FILHO, Moacyr Bernardino. Diagnóstico das pastagens no Brasil. Belém – PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36 p. : il.

DIAS-FILHO, Moacyr Bernardino. Sistemas silvipastoris na recuperação de pastagens degradadas. Belém: PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 34p.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. Solar Engineering of Thermal Processes. John Wiley and Sons, New York, p 1-109, 1980.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Súmula da X Reunião Técnica de Levantamentos de Solo (SNLCS, série Miscelânea) RJ. 1979.

Embrapa Gado de Leite. Anuário Leite 2018: Indicadores, tendências e oportunidades para quem vive no setor leiteiro. (INFOTECA-E). São Paulo, 2018.

FABER, M. A importância dos rios para as primeiras civilizações. [s.l.: s.n.]. História ilustrada, ed. 1, v. 2, 2011.

FACÓ, O.; LÔBO, R. N. B.; MARTINS FILHO, R.; LIMA, F. Idade ao primeiro parto e intervalo de partos de cinco grupos genéticos Holandês x Gir no Brasil. Embrapa Caprinos e Ovinos-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2005.

FANTINEL, R. A.; BENEDETTI, A. C. P. Avaliação dos fatores influentes na vulnerabilidade à erosão do solo por meio de decisão multicritério e de técnicas de geoprocessamento no município de Piratini-RS. Ciência e Natura, v. 38, n. 1, p. 156-163, 2016.

FEIL, A. A.; SCHREIBER, D. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: desvendando as sobreposições e alcances de seus significados. Cadernos Ebape. BR, v. 15, n. 3, p. 667- 681, 2017.

FERREIRA, Camila Cossetin. Relações entre a temperatura mínima do ar e da relva e a temperatura da superfície terrestre, obtida a partir de imagens NOAA, no Rio Grande do Sul. 2005. 110 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

FERREIRA, J. M. L.; VIANA, J. H. M.; COSTA, A. D.; SOUSA, D. D.; FONTES, A. A. Indicadores de sustentabilidade em agroecossistemas. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 33, n. 271, p. 12-25, 2012.

FILGUEIRAS, R.; NICOLETE, D. A. P.; CARVALHO, T. M.; CUNHA, A. R.; ZIMBACK, C. R. L. Predição da temperatura do ar por meio de sensoriamento remoto orbital. Revista Brasileira de Cartografia, v. 68, n. 8, 2016.

FRASER, A. F.; BROOM, D. M. Farm animal behaviour and welfare. 3. ed. Ballière Tindall, London, p. 437, 1990.

FURTADO, D. A.; PEIXOTO, A. P.; REGIS, J. E. F.; NASCIMENTO, J. W. B.; ARAUJO, T. G. P.; LISBOA, A. C. C. Termorregulação e desempenho de tourinhos Sindi e Guzerá, no agreste paraibano. Rev. bras. eng. agríc. ambient., Campina Grande, v. 16, n. 9, p. 1022-1028, 2012.

GALVÃO JÚNIOR, J. G. B.; RANGEL, A. H.N.; GUILHERMINO, M. M.; NOVAES, L. P.; MEDEIROS, H. R. Perfil dos sistemas de produção de leite bovino no Seridó Potiguar. Holos, v. 2, p. 130-141, 2015.

GAVIOLI, F. R.; COSTA, M. B. B. As Múltiplas Funções da Agricultura Familiar: um estudo no assentamento Monte Alegre, região de Araraquara (SP). Revista de Economia e Sociologia Rural (RESR), Piracicaba - SP, v. 49, n. 02, p. 449-472, 2011.

GAZOLLA, M.; SCHNEIDER, S. Qual “Fortalecimento” da Agricultura Familiar? Uma análise do PRONAF crédito de custeio e investimento no Rio Grande do Sul. Revista de Economia e Sociologia Rural (RESR), Piracicaba, v. 51, n. 1, p. 45- 68, jan./mar. 2013.

GOMES, Sebastião Teixeira. Produção de leite no Brasil. v. 15, 2016.

GOMIDE, Fernando Antônio Campos; GUDWIN, Ricardo Ribeiro. Modelagem, controle, sistemas e lógica fuzzy. SBA controle & Automação, v. 4, n. 3, p. 97-115, 1994.

GRASSMANN, C.; EISING, R.; NEVES, L. O., ELI, K.; JUFFO, E. E. L. Avaliação do índice de temperatura e umidade para vacas leiteiras da raça holandesa em Rio do Sul-SC, 2017.

GRIMM, Alice Marlene. Meteorologia básica. Apostila de curso. Universidade Federal do, 1999.

HALLAK, R.; PEREIRA FILHO, A. J. Methodology for performance analysis of simulations of convective systems in the metropolitan area of São Paulo with the ARPS model: sensitivity to variations with the advection and the data assimilation schemes. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 26, n. 4, p. 591-608, 2011.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário 2017. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/resultados-censo-agro-2017.html>. Acesso em: setembro de 2017.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Vocabulário Básico de Recursos Naturais e Meio Ambiente. Rio de Janeiro: IBGE, 2 ed., 2004. 344p.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Normais climatológicas do Brasil 1990-2010. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em junho de 2019.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Divisão de Geração de imagens. Disponível em: http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57_PT.php acesso em: abril. 2019.

IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Perfil básico municipal, 2010.

IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia. PIB dos Municípios Cearenses – 2016. Informe no. 142. Fortaleza – Ceará: Ipece, 2018.

IPECE. Ceará em Mapas: Caracterização territorial. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br>. Acesso em: Fevereiro de 2020.

JACOBI, Pedro. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. Cafajeste. Pesqui. São Paulo, n. 118, p. 189-206, março de 2003.

JUCA NETO, Clovis Ramiro. Os primórdios da organização do espaço territorial e da vila cearense: algumas notas. An. mus. paul., São Paulo, v. 20, n. 1, p. 133-163, 2012 .

KAO, L. J., CHIU, C. C., LU, C. J., & YANG, J. L. Integration of nonlinear independent component analysis and support vector regression for stock price forecasting. Neurocomputing, v. 99, p. 534-542, 2013.

LIMA, A. A. C.; OLIVEIRA, F. N. S.; AQUINO, A. R. L. Limitações do uso dos solos do Estado do Ceará por suscetibilidade à erosão. Embrapa Agroindústria Tropical-Documents (INFOTEC-A), 2002.

LIMA, A.P.A.; DOS SANTOS, H. S. B.; SANTOS, R.L. A Influência do Relevo no Uso e Ocupação do Solo: Uma Breve Análise das Regiões de Itaberaba e Lençóis-Ba. In.: Anais do VII SINAGEO. Belo Horizonte, 2008.

LIMA, M. T. V., RODRIGUES, W. À. D., OLIVEIRA, C. W. . COSTA, A. N. L.; FEITOSA, J. V. Distribuição espacial das principais produções pecuárias do estado do Ceará. In.: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, Palmas - TO, 2019.

LIMA, M. T. V.; FEITOSA, J. V.; OLIVEIRA, C. W.; CARDOSO, J. L. N.; COSTA, M. N. F.. Distribuição da matriz de frango no Estado do Ceará. In.: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, Maceió - AL, 2018.

LIMA, P. D. O.; DUARTE, L. S.; DE SOUZA, A. Z. B.; AQUINO, T. M. F.; OLIVEIRA, C. S. Perfil dos produtores rurais do município de Quixeramobim no Estado do Ceará. Revista Caatinga, v. 22, n. 4, p. 255-259, 2009.

LIRA, M. A.; MELLO, A. C. L.; SANTOS, M. V. F.; FERREIRA, M.A.; FARIAS, I.; SANTOS, D. C. Considerações sobre a produção leiteira no Semi-árido Pernambucano. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, v. 1, p. 112-123, 2013.

LOPES, SRM; BRIENZA JUNIOR, S. A regularização ambiental e o agricultor familiar na Amazônia Legal a partir da Lei nº 12.651 de 2012. Embrapa Amazônia Oriental-Documents (INFOTEC-A), 2017.

MABESSONE, J. M. Panorama geomorfológico do Nordeste brasileiro. Geomorfologia, n.56, 1978. p.1-16.

MACHADO, G. R.; DE SOUZA, E. M. S.; VALVERDE, M. C. S. A análise PEST aplicada à prospecção de cenários para o sistema agroindustrial do leite brasileiro. Revista de Administração e Negócios da Amazônia, v. 2, n. 2, p. 20-40, 2010.

MACIEL, S.A; BARCELOS, B. F; OLIVEIRA, L. A. Análise da influência da altitude na temperatura e na precipitação da mesorregião norte de Minas – Minas Gerais. Revista Geonorte, Edição Especial 2, v.1, n.5, p.250 - 261, 2012.

MAIA, G. B. D. S.; PINTO, A. D. R.; MARQUES, C. Y. T.; ROITMAN, F. B.; LYRA, D. D. Produção leiteira no Brasil. BNDES Setorial, n. 37, mar. 2013, p. 371-398.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; CHOU, S. C.; TOMASELLA, J.; SAMPAIO, G.; ALVES, L. M.; OBREGÓN, G. O.; SOARES, W. R. Riscos das mudanças climáticas no Brasil. Análise Conjunta Brasil-Reino Unido Sobre os Impactos das Mudanças Climáticas e do Desmatamento na Amazônia, p. 2-56, 2011.

MARIONI, L. S.; VALE, V. A.; PEROBELLI, F. S.; FREGUGLIA, R. S. Uma Aplicação de Regressão Quantílica para Dados em Painel do PIB e do Pronaf. Rev. Econ. Sociol. Rural, Brasília, v. 54, n. 2, p. 221-242, 2016.

MARTINS, Guilherme Saraiva. Entre o forte e a aldeia: estratégias de contato, negociação e conflito entre europeus e indígenas no Ceará Holandês (1630–1654). (Tese de Mestrado). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza: 2010. 180 f.

MCDOWELL, R. E. Bases biológicas de la producción animal em zonas tropicales. 1 ed. Zaragoza: Acribia, 1974.

MEDEIROS, S.S.; CECÍLIO, R.A.; MELO JÚNIOR, J. C. F. DE; SILVA JUNIOR, J. L.C. Estimativa e das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas na região nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.2, p.247-255, 2005.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Superavit de US\$ 81,86 bilhões do agronegócio foi o segundo maior da história, 2018 [Internet]. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/noticias/superavit-de-us-81-86-bilhoes-do-agronegocio-foi-o-segundo-maior-da-historia>>. Acesso em: Janeiro de 2018.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO – MEC. Agropecuária do Estado do Ceará. SEADE. [199?] Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/agropec_ce.pdf>. Acesso em 05/06/2019.

MOREIRA, J. N.; LIRA, M.A.; SANTOS, M. V. F.; ARAÚJO, G. G. L.; DA SILVA, G. C. Potencial de produção de capim Buffel na época seca no semi-árido Pernambucano. Revista Caatinga, v. 20, n. 3, p. 20-27, 2007.

NAIR, P. K. R. An introduction to agroforestry. Dordrecht: Kluwer, 1993. 499p. NÓBREGA, G. H. Da; SILVA, E. M. N. Da; SOUZA, B. B. De; MANGUEIRA, J. M. A produção animal sob a influência do ambiente nas condições do semiárido nordestino. Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável, v. 6, n. 1, p. 67-73, 2011.

NÓBREGA, G. H. da; SILVA, E. M. N. da; SOUZA, B. B. de; MANGUEIRA, J. M. A produção animal sob a influência do ambiente nas condições do semiárido nordestino. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v.6, n.1, p.67-73, 2011.

OLIVEIRA, M. R. Perfil Geológico-Geomorfológico e de Montes Claros e susceptibilidades à erosão. In: V CONGRESSO EM DESENVOLVIMENTO SOCIAL, jun./jul., 2016.

PEREIRA, J. C. C. Fundamentos de bioclimatologia aplicados à produção animal. Belo Horizonte: FEPMVZ, 2005. 195 p.

PORTO, Gustavo. Norte e Nordeste, uma realidade. **Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA)**, 2018. Disponível em: < <https://www.cnabrazil.org.br/noticias/norte-e-nordeste-uma-realidade>>. Acesso em: Março de 2018.

RÉGIS FILHO, D. Mapas temáticos interativos da bacia hidrográfica do rio Itacorubi Florianópolis - SC. 110 f. Monografia (Graduação em Geografia), Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Florianópolis, 2008.

RIBEIRO, Simone Cardoso. Geomorfologia de áreas semiáridas: uma contribuição ao estudo dos sertões nordestinos. Revista de Geografia (Recife), v. 27, n. 1, p. 120-137, 2010.

ROCHA, D. R. da; ARAÚJO, A. A. de; MOURA, A. A. A. N.; SALES, M. G. F. Avaliação de estresse térmico em vacas leiteiras mestiças (*Bos taurus* x *Bos indicus*) durante os períodos chuvoso e seco no Estado do Ceará. In: 45 REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA. Lavras - MG, 2008.

ROCHA, E. F. N. R. Detecção e caracterização de perturbações de preços de mercado com base em sistemas imunológicos artificiais. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto, 2017.

ROVER, O. J.; DE GENNARO, B. C.; ROSELLI, L. Social innovation and sustainable rural development: The case of a Brazilian agroecology network. *Sustainability*, v.9, n.1, p.3, 2016.

SAATY, T.L. Método de análise hierárquica. São Paulo: Makron Books, 1991, 367p.

SACHS, I. Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável. 3ª edição. Rio de Janeiro: Ed. Garamond, 2008.

SALAZAR, L. A. L.; QUINTERO, A. F. C. Erosividad de la lluvia en la región cafetera de Quindío, Colombia. *Revista Cenicafé*, v. 66, n.1, p.25-31, 2015.

SAMPAIO, M. S.; ALVES, M. C.; CARVALHO, L. G.; SANCHES, L. Uso de Sistema de Informação Geográfica para comparar a classificação climática de Koppen-Geiger e de Thornthwaite. In: **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba - PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE, p.8857- 8864, 2011.

SANTOS, P. L. S.; AZEVEDO, E. O. Perfil sócio-econômico de produtores de leite do estado da Paraíba, Brasil. *Revista Caatinga*, v. 22, n. 4, p. 260-267, 2009.

SCHLESINGER, S. O gado bovino no Brasil. Rio de Janeiro: FASE, 2010. Disponível em: <http://br.boell.org/sites/default/files/downloads/Texto_Gado_Boll_2009-4.pdf> . Acesso em: 16 de maio 2017.

SESI - SERVIÇO SOCIAL DA INDÚSTRIA. Construção e Análise de Indicadores. Serviço Social da Indústria. Departamento Regional do Estado do Paraná. Observatório Regional Base de Indicadores de Sustentabilidade. Curitiba:[sn], 2010.

SICHE, R.; AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E.; ROMEIRO, A. Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. *Ambiente & sociedade*, 2007.

SILVA, A.M.; SILVA, J.C.S.; SILVA, L.K.M.; OLIVEIRA, A.R.N.; MOURA, D.M.F. Conjuntura da pecuária leiteira no Brasil. *Revista Nutritime*, vol. 14, n.1, 2017. ISSN: 1983-9006.

SILVA, M. C.; BOAVENTURA, V. M.; FIORAVANTI, M. C. S. História do povoamento bovino no Brasil Central. **Revista UFG**, v. 13, n. 13, 2012.

SILVA, M. G.; CÂNDIDO, G. A.; MARTINS, M. F. Método de construção do índice de desenvolvimento local sustentável: uma proposta metodológica e aplicada. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 55-72, 2009.

SIMÕES, A. R. P.; SILVA, R. M.; OLIVEIRA, M. V. M.; CRISTALDO, R. O.; BRITO, M. B. Avaliação econômica de três diferentes sistemas de produção de leite na região do Alto Pantanal Sul-mato-grossense. *Agrarian*, v. 2, n. 5, p. 153-167, 2009.

SOUSA JÚNIOR, S. C.; MORAIS, D. A. E. F.; VASCONCELOS, M.; NERY, K. M.; MORAIS, J. H. G.; GUILHERMINO, M. M. Características termorreguladoras de caprinos, ovinos e bovinos em diferentes épocas do ano em região semiárida. *Revista Científica de Produção Animal*, v.10, n.2, 2008.

SOUSA RIGNEL, D. G.; CHENCI, G. P.; LUCAS, C. A. Uma introdução a lógica fuzzy. *Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e Gestão Tecnológica*, v.1, n.1, 2011.

SOUZA, B. I.; SOUZA, R. S. Processo de ocupação dos Cariris Velhos – PB e efeitos na cobertura vegetal: contribuição à Biogeografia Cultural do semiárido. *Caderno de Geografia*, 2016.

SOUZA, L. F.; BARRETO FILHO, B. F. O programa bolsa família no contexto de uma cidade pequena do semiárido: o caso de Coronel João Pessoa – RN. *Revista Geotemas*, v. 8, n. 2, p. 132-157, 2018.

STUDART FILHO, C. O. Ceará sob o regime das capitanias hereditárias. *Revista do Instituto do Ceará*, v. 52, p. 42-56, 1938.

TANSCHKEIT, Ricardo. Sistemas fuzzy. Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004. 35 p.

TASUMI, M.; ALLEN, R. G.; TREZZA, R. Refletância na superfície e albedo do satélite para cálculo operacional do balanço energético da superfície terrestre. *Jornal de engenharia hidrológica*, v. 13, n. 2, p. 51-63, 2008.

THOM, E. C. The discomfort index. *Weatherwise*, v.12, n.1, p.57-70, 1959.

USDA, United States Department of Agriculture. Dairy market statistics: 2017 Annual Summary. Washington: USDA, 2018. 72 p.

USDA, United States Department of Agriculture. Dairy world markets and trade. Washington: USDA, 2017. 23 p.

VALLADARES, G. S.; MARIN, F. R.; OSHIRO, O. T.; GOUVÊA, J. R. F. Uso de imagens de radar na estimativa da temperatura do ar. Embrapa Territorial-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. Anais eletrônicos... São José dos Campos: INPE, 2005.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Corrego Três Barras, Marinópolis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.55-64, 2010.

VIANA, G.; FERRAS, R. P. R. A cadeia produtiva do leite: um estudo sobre a organização da cadeia e sua importância para o desenvolvimento regional. *Revista Capital Científico-Eletrônica (RCCe)*, v. 5, n. 1, p. 23-40, 2007.

VILELA, D.; DE RESENDE, J. C. Cenário para a produção de leite no Brasil na próxima década. In: Embrapa Gado de Leite-Artigo em anais de congresso (ALICE), 2016.

VILLELA, Pollyana de Macêdo. Impactos ambientais da modernização agropecuária em Goiás. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Universidade Federal de Goiás, 2016.

VINHAL, I.C.; COURA, M. L.; SILVA JÚNIOR R. S.; RIBEIRO, T. L. M.; COSTA, A. R.; NOGUEIRA, F. A. S. Influência da temperatura e umidade ambiente no índice de conforto de animais da raça girolando e holandesa mantidos em galpão de compost barn. Sinapse Múltipla, v.6, n.2, p. 190-194, dez., 2017.

WAQUIL, P.; SCHNEIDER, S.; FILIPPI, E.; RÜCKERT, A.; RAMBO, A.; RADOMSKY, G.; CONTERATO, M.; SPECHT, S. Avaliação de desenvolvimento territorial em quatro territórios rurais no Brasil. Redes. Revista do Desenvolvimento Regional, v. 15, n. 1, p. 104-127, 2010.

WOLFFENBÜTTEL, Andréa. O que é? Índice de Gini. Desafios do Desenvolvimento. Brasília: IPEA. 2004. Ano 1 . Edição 4. 1/11/2004. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&id=2048:catid=28> acesso em: nov. 2018.

WUKELIC, G.E.; GIBBONS, D. E.; MARTUCCI, L. M.; FOOTE, H. P. Radiometric calibration of Landsat thematic mapper thermal band. Remote Sensing of Environment: p. 339-347, 1989.

YOUNG, B.A. Effect of environmental stress on nutrient needs. In: CHURCH, D.C. (Ed.) The ruminant animal. New Jersey: Prentice Hall, 1988.

ANEXO I

Tabela 10 - Índices obtidos por município cearense em cada dimensão analisada.

Código IBGE	Município	Institucional	Social e Econômico	Ambiental	Média Geral
2300101	Abaiara	0,337	0,183	0,393	0,304
2300150	Acarape	0,225	0,198	0,490	0,304
2300200	Acaraú	0,345	0,054	0,616	0,338
2300309	Acopiara	0,298	0,157	0,213	0,223
2300408	Aiuaba	0,268	0,091	0,120	0,159
2300507	Alcântaras	0,320	0,049	0,396	0,255
2300606	Altaneira	0,332	0,093	0,364	0,263
2300705	Alto Santo	0,361	0,222	0,486	0,356
2300754	Amontada	0,299	0,086	0,574	0,320
2300804	Antonina do Norte	0,319	0,136	0,273	0,243
2300903	Apuiarés	0,354	0,113	0,421	0,296
2301000	Aquiraz	0,386	0,160	0,741	0,429
2301109	Aracati	0,322	0,061	0,620	0,334
2301208	Aracoiaaba	0,349	0,088	0,437	0,291
2301257	Ararendá	0,333	0,088	0,531	0,317
2301307	Araripe	0,291	0,130	0,515	0,312
2301406	Aratuba	0,298	0,033	0,294	0,208
2301505	Arneiroz	0,315	0,152	0,012	0,160
2301604	Assaré	0,311	0,143	0,207	0,220
2301703	Aurora	0,318	0,144	0,366	0,276
2301802	Baixio	0,347	0,181	0,436	0,322
2301851	Banabuiú	0,287	0,228	0,256	0,257
2301901	Barbalha	0,386	0,112	0,533	0,344
2301950	Barreira	0,255	0,080	0,505	0,280
2302008	Barro	0,392	0,150	0,409	0,317
2302057	Barroquinha	0,192	0,060	0,730	0,327
2302107	Baturité	0,296	0,081	0,398	0,258
2302206	Beberibe	0,561	0,076	0,475	0,371
2302305	Bela Cruz	0,371	0,087	0,632	0,363
2302404	Boa Viagem	0,258	0,114	0,070	0,147
2302503	Brejo Santo	0,350	0,268	0,218	0,279
2302602	Camocim	0,301	0,045	0,639	0,329
2302701	Campos Sales	0,241	0,088	0,248	0,192
2302800	Canindé	0,300	0,092	0,201	0,198
2302909	Capistrano	0,289	0,051	0,300	0,213
2303006	Caridade	0,273	0,101	0,580	0,318
2303105	Cariré	0,280	0,142	0,559	0,327
2303204	Caririaçu	0,318	0,108	0,449	0,291
2303303	Cariús	0,326	0,133	0,346	0,269
2303402	Carnaubal	0,361	0,047	0,809	0,406
2303501	Cascavel	0,351	0,071	0,617	0,346
2303600	Catarina	0,263	0,137	0,170	0,190

Código IBGE	Município	Institucional	Social e Econômico	Ambiental	Média Geral
2303659	Catunda	0,196	0,101	0,388	0,228
2303709	Caucaia	0,329	0,128	0,632	0,363
2303808	Cedro	0,321	0,150	0,405	0,292
2303907	Chaval	0,211	0,103	0,884	0,399
2303931	Choró	0,232	0,090	0,245	0,189
2303956	Chorozinho	0,290	0,090	0,510	0,297
2304004	Coreaú	0,185	0,134	0,500	0,273
2304103	Crateús	0,344	0,138	0,455	0,312
2304202	Crato	0,382	0,133	0,670	0,395
2304236	Croatá	0,264	0,040	0,681	0,328
2304251	Cruz	0,289	0,054	0,615	0,319
2304269	Deputado Irapuan Pinheiro	0,357	0,161	0,332	0,283
2304277	Ererê	0,193	0,204	0,440	0,279
2304285	Eusébio	0,391	0,295	0,807	0,498
2304301	Farias Brito	0,324	0,138	0,422	0,295
2304350	Forquilha	0,309	0,142	0,356	0,269
2304400	Fortaleza	0,448	0,233	0,836	0,506
2304459	Fortim	0,334	0,043	0,558	0,312
2304509	Frecheirinha	0,296	0,079	0,468	0,281
2304608	General Sampaio	0,354	0,125	0,284	0,254
2304657	Graça	0,290	0,058	0,497	0,282
2304707	Granja	0,284	0,084	0,741	0,369
2304806	Granjeiro	0,388	0,132	0,376	0,299
2304905	Groáiras	0,268	0,130	0,457	0,285
2304954	Guaiúba	0,423	0,121	0,482	0,342
2305001	Guaraciaba do Norte	0,332	0,068	0,796	0,399
2305100	Guaramiranga	0,301	0,058	0,230	0,196
2305209	Hidrolândia	0,310	0,112	0,486	0,302
2305233	Horizonte	0,377	0,213	0,492	0,361
2305266	Ibaretama	0,243	0,135	0,361	0,246
2305308	Ibiapina	0,353	0,080	1,000	0,478
2305332	Ibicuitinga	0,306	0,152	0,487	0,315
2305357	Icapuí	0,283	0,095	0,546	0,308
2305407	Icó	0,303	0,124	0,272	0,233
2305506	Iguatu	0,301	0,212	0,400	0,304
2305605	Independência	0,311	0,163	0,306	0,260
2305654	Ipaporanga	0,335	0,110	0,396	0,280
2305704	Ipaumirim	0,299	0,154	0,505	0,319
2305803	Ipu	0,341	0,112	0,518	0,324
2305902	Ipueiras	0,302	0,087	0,493	0,294
2306009	Iracema	0,324	0,259	0,387	0,323
2306108	Irauçuba	0,314	0,146	0,266	0,242
2306207	Itaiçaba	0,400	0,068	0,591	0,353
2306256	Itaitinga	0,264	0,140	0,663	0,356
2306306	Itapajé	0,305	0,093	0,160	0,186
2306405	Itapipoca	0,327	0,079	0,521	0,309

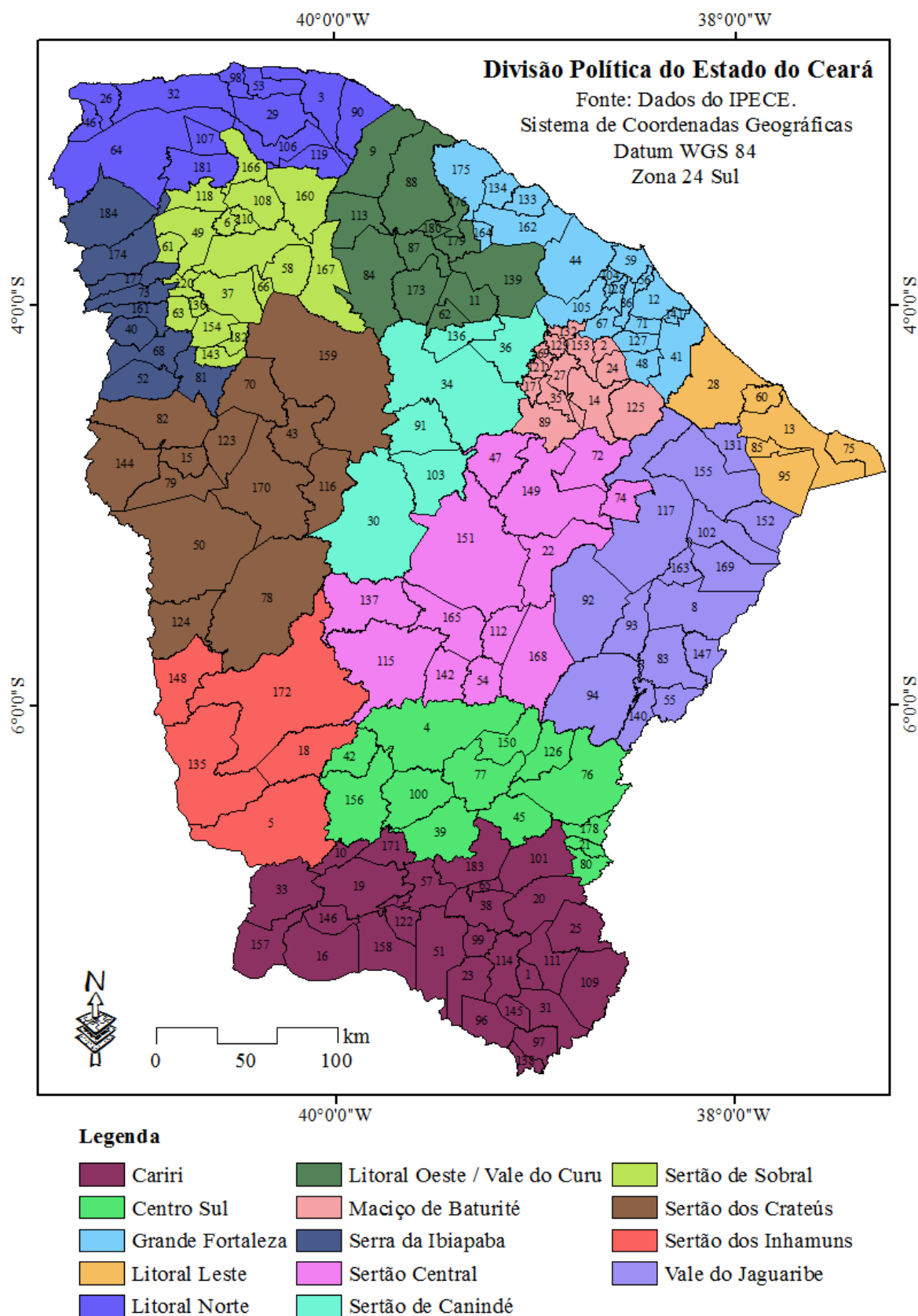
Código IBGE	Município	Institucional	Social e Econômico	Ambiental	Média Geral
2306504	Itapiúna	0,273	0,100	0,359	0,244
2306553	Itarema	0,307	0,083	0,556	0,315
2306603	Itatira	0,229	0,060	0,251	0,180
2306702	Jaguaratama	0,337	0,257	0,370	0,321
2306801	Jaguaribara	0,373	0,218	0,410	0,334
2306900	Jaguaribe	0,367	0,205	0,383	0,318
2307007	Jaguaruana	0,377	0,113	0,502	0,331
2307106	Jardim	0,349	0,120	0,392	0,287
2307205	Jati	0,329	0,155	0,158	0,214
2307254	Jijoca de Jericoacoara	0,316	0,033	0,575	0,308
2307304	Juazeiro do Norte	0,299	0,240	0,558	0,366
2307403	Jucás	0,212	0,173	0,199	0,195
2307502	Lavras da Mangabeira	0,318	0,136	0,441	0,298
2307601	Limoeiro do Norte	0,498	0,277	0,580	0,452
2307635	Madalena	0,350	0,157	0,312	0,273
2307650	Maracanaú	0,739	0,170	0,563	0,491
2307700	Maranguape	0,343	0,208	0,499	0,350
2307809	Marco	0,316	0,093	0,518	0,309
2307908	Martinópolis	0,373	0,091	0,546	0,336
2308005	Massapê	0,269	0,170	0,382	0,273
2308104	Mauriti	0,345	0,155	0,338	0,279
2308203	Meruoca	0,408	0,037	0,383	0,276
2308302	Milagres	0,280	0,173	0,368	0,274
2308351	Milhã	0,306	0,229	0,451	0,329
2308377	Miraíma	0,328	0,187	0,416	0,310
2308401	Missão Velha	0,377	0,114	0,557	0,349
2308500	Mombaça	0,313	0,131	0,053	0,166
2308609	Monsenhor Tabosa	0,345	0,106	0,246	0,232
2308708	Morada Nova	0,620	0,195	0,436	0,417
2308807	Moraújo	0,384	0,095	0,567	0,349
2308906	Morrinhos	0,299	0,095	0,532	0,309
2309003	Mucambo	0,371	0,068	0,632	0,357
2309102	Mulungu	0,296	0,033	0,240	0,189
2309201	Nova Olinda	0,357	0,180	0,348	0,295
2309300	Nova Russas	0,357	0,113	0,544	0,338
2309409	Novo Oriente	0,342	0,102	0,348	0,264
2309458	Ocara	0,283	0,093	0,549	0,308
2309508	Orós	0,290	0,162	0,228	0,226
2309607	Pacajus	0,432	0,209	0,468	0,369
2309706	Pacatuba	0,360	0,087	0,634	0,360
2309805	Pacoti	0,324	0,079	0,243	0,215
2309904	Pacujá	0,405	0,200	0,484	0,363
2310001	Palhano	0,275	0,093	0,556	0,308
2310100	Palmácia	0,317	0,390	0,437	0,381
2310209	Paracuru	0,393	0,096	0,686	0,392
2310258	Paraipaba	0,342	0,065	0,639	0,349

Código IBGE	Município	Institucional	Social e Econômico	Ambiental	Média Geral
2310308	Parambu	0,271	0,111	0,161	0,181
2310407	Paramoti	0,309	0,081	0,353	0,248
2310506	Pedra Branca	0,316	0,122	0,000	0,146
2310605	Penaforte	0,420	0,202	0,446	0,356
2310704	Pentecoste	0,307	0,111	0,508	0,309
2310803	Pereiro	0,301	0,097	0,260	0,220
2310852	Pindoretama	0,233	0,105	0,777	0,372
2310902	Piquet Carneiro	0,304	0,139	0,218	0,220
2310951	Pires Ferreira	0,346	0,095	0,602	0,348
2311009	Poranga	0,292	0,067	0,442	0,267
2311108	Porteiras	0,342	0,175	0,256	0,258
2311207	Potengi	0,259	0,197	0,426	0,294
2311231	Potiretama	0,367	0,153	0,468	0,329
2311264	Quiterianópolis	0,317	0,097	0,250	0,221
2311306	Quixadá	0,287	0,145	0,322	0,251
2311355	Quixelô	0,325	0,197	0,268	0,263
2311405	Quixeramobim	0,385	0,200	0,293	0,293
2311504	Quixeré	0,432	0,129	0,549	0,370
2311603	Redenção	0,318	0,056	0,202	0,192
2311702	Reriutaba	0,281	0,076	0,582	0,313
2311801	Russas	0,386	0,152	0,426	0,322
2311900	Saboeiro	0,241	0,127	0,137	0,168
2311959	Salitre	0,266	0,068	0,432	0,255
2312106	Santana do Cariri	0,333	0,097	0,661	0,364
2312205	Santa Quitéria	0,323	0,130	0,371	0,275
2312007	Santana do Acaraú	0,290	0,114	0,503	0,302
2312304	São Benedito	0,330	0,054	0,895	0,426
2312403	São Gonçalo do Amarante	0,416	0,087	0,607	0,370
2312502	São João do Jaguaribe	0,307	0,168	0,437	0,304
2312601	São Luís do Curu	0,274	0,100	0,425	0,266
2312700	Senador Pompeu	0,304	0,160	0,365	0,276
2312809	Senador Sá	0,313	0,086	0,576	0,325
2312908	Sobral	0,318	0,119	0,419	0,285
2313005	Solonópole	0,310	0,197	0,355	0,287
2313104	Tabuleiro do Norte	0,353	0,174	0,626	0,385
2313203	Tamboril	0,285	0,131	0,446	0,287
2313252	Tarrafas	0,311	0,095	0,181	0,196
2313302	Tauá	0,314	0,133	0,145	0,198
2313351	Tejuçuoca	0,336	0,121	0,209	0,222
2313401	Tianguá	0,334	0,037	0,782	0,384
2313500	Trairi	0,287	0,102	0,638	0,342
2313559	Tururu	0,305	0,081	0,605	0,330
2313609	Ubajara	0,354	0,063	0,801	0,406
2313708	Umari	0,304	0,149	0,213	0,222
2313757	Umirim	0,396	0,338	0,492	0,409
2313807	Uruburetama	0,339	0,050	0,103	0,164

Código IBGE	Município	Institucional	Social e Econômico	Ambiental	Média Geral
2313906	Uruoca	0,288	0,101	0,504	0,298
2313955	Varjota	0,309	0,133	0,528	0,323
2314003	Várzea Alegre	0,298	0,142	0,378	0,273
2314102	Viçosa do Ceará	0,299	0,047	0,679	0,342

ANEXO 2

Figura 44- Divisão Política do Estado do Ceará.



ANEXO 3

Legenda da Figura 44:

Id - Município							
1	Abaiara	47	Choró	93	Jaguaribara	139	Pentecoste
2	Acarape	48	Chorozinho	94	Jaguaribe	140	Pereiro
3	Acaraú	49	Coreaú	95	Jaguaruana	141	Pindoretama
4	Acopiara	50	Crateús	96	Jardim	142	Piquet Carneiro
5	Aiuaba	51	Crato	97	Jati	143	Pires Ferreira
6	Alcântaras	52	Croatá	98	Jijoca de Jericoacoara	144	Poranga
7	Altaneira	53	Cruz	99	Juazeiro do Norte	145	Porteiras
8	Alto Santo	54	Dep. Irapuan Pinheiro	100	Jucás	146	Potengi
9	Amontada	55	Ererê	101	Lavras da Mangabeira	147	Potiretama
10	Antonina do Norte	56	Eusébio	102	Limoeiro do Norte	148	Quiterianópolis
11	Apuiarés	57	Farias Brito	103	Madalena	149	Quixadá
12	Aquiraz	58	Forquilha	104	Maracanaú	150	Quixelô
13	Aracati	59	Fortaleza	105	Maranguape	151	Quixeramobim
14	Aracoiaba	60	Fortim	106	Marco	152	Quixeré
15	Ararendá	61	Frecheirinha	107	Martinópole	153	Redenção
16	Araripe	62	General Sampaio	108	Massapê	154	Reriutaba
17	Aratuba	63	Graça	109	Mauriti	155	Russas
18	Arneiroz	64	Granja	110	Meruoca	156	Saboeiro
19	Assaré	65	Granjeiro	111	Milagres	157	Salitre
20	Aurora	66	Groaíras	112	Milhã	158	Santana do Cariri
21	Baixio	67	Guaiúba	113	Miraíma	159	Santa Quitéria
22	Banabuiú	68	Guaraciaba do Norte	114	Missão Velha	160	Santana do Acaraú
23	Barbalha	69	Guaramiranga	115	Mombaça	161	São Benedito
24	Barreira	70	Hidrolândia	116	Monsenhor Tabosa	162	São Gonçalo do Amarante
25	Barro	71	Horizonte	117	Morada Nova	163	São João do Jaguaribe
26	Barroquinha	72	Ibaretama	118	Moraújo	164	São Luís do Curu
27	Baturité	73	Ibiapina	119	Morrinhos	165	Senador Pompeu
28	Beberibe	74	Ibicuitinga	120	Mucambo	166	Senador Sá
29	Bela Cruz	75	Icapuí	121	Mulungu	167	Sobral
30	Boa Viagem	76	Icó	122	Nova Olinda	168	Solonópole
31	Brejo Santo	77	Iguatu	123	Nova Russas	169	Tabuleiro do Norte
32	Camocim	78	Independência	124	Novo Oriente	170	Tamboril
33	Campos Sales	79	Ipaporanga	125	Ocara	171	Tarrafas
34	Canindé	80	Ipaumirim	126	Orós	172	Tauá
35	Capistrano	81	Ipu	127	Pacajus	173	Tejuçuoca
36	Caridade	82	Ipueiras	128	Pacatuba	174	Tianguá
37	Cariré	83	Iracema	129	Pacoti	175	Trairi
38	Caririaçu	84	Irauçuba	130	Pacujá	176	Tururu
39	Cariús	85	Itaiçaba	131	Palhano	177	Ubajara
40	Carnaubal	86	Itaitinga	132	Palmácia	178	Umari
41	Cascavel	87	Itapajé	133	Paracuru	179	Umirim

42	Catarina	88	Itapipoca	134	Paraipaba	180	Uruburetama
43	Catunda	89	Itapiúna	135	Parambu	181	Uruoca
44	Caucaia	90	Itarema	136	Paramoti	182	Varjota
45	Cedro	91	Itatira	137	Pedra Branca	183	Várzea Alegre
46	Chaval	92	Jaguaretama	138	Penaforte	184	Viçosa do Ceará

ANEXO 4

Regras de decisão utilizadas na calculadora de campo do QGIS, para classificação do mapa presente na figura 43.

```

CASE
WHEN "ambiental" is 'bom' and "socioeconomico" is 'bom' and "institucional" is 'bom' THEN 'SUSTENTAVEL'
WHEN "ambiental" is 'bom' and "socioeconomico" is 'bom' and "institucional" is 'medio' THEN 'SUSTENTAVEL'
WHEN "ambiental" is 'bom' and "socioeconomico" is 'bom' and "institucional" is 'ruim' THEN 'SUSTENTAVEL'
WHEN "ambiental" is 'bom' and "socioeconomico" is 'medio' and "institucional" is 'bom' THEN 'SUSTENTAVEL'
WHEN "ambiental" is 'bom' and "socioeconomico" is 'medio' and "institucional" is 'medio' THEN 'SUSTENTAVEL'
WHEN "ambiental" is 'bom' and "socioeconomico" is 'medio' and "institucional" is 'ruim' THEN 'INCENTIVAR'
WHEN "ambiental" is 'bom' and "socioeconomico" is 'ruim' and "institucional" is 'bom' THEN 'INCENTIVAR'
WHEN "ambiental" is 'bom' and "socioeconomico" is 'ruim' and "institucional" is 'medio' THEN 'INCENTIVAR'
WHEN "ambiental" is 'bom' and "socioeconomico" is 'ruim' and "institucional" is 'ruim' THEN 'INCENTIVAR'
WHEN "ambiental" is 'medio' and "socioeconomico" is 'bom' and "institucional" is 'bom' THEN 'MANTER'
WHEN "ambiental" is 'medio' and "socioeconomico" is 'bom' and "institucional" is 'medio' THEN 'MANTER'
WHEN "ambiental" is 'medio' and "socioeconomico" is 'bom' and "institucional" is 'ruim' THEN 'INCENTIVAR'
WHEN "ambiental" is 'medio' and "socioeconomico" is 'medio' and "institucional" is 'bom' THEN 'MANTER'
WHEN "ambiental" is 'medio' and "socioeconomico" is 'medio' and "institucional" is 'medio' THEN 'MANTER'
WHEN "ambiental" is 'medio' and "socioeconomico" is 'medio' and "institucional" is 'ruim' THEN 'INCENTIVAR'
WHEN "ambiental" is 'medio' and "socioeconomico" is 'ruim' and "institucional" is 'bom' THEN 'MANTER'
WHEN "ambiental" is 'medio' and "socioeconomico" is 'ruim' and "institucional" is 'medio' THEN 'INCENTIVAR'
WHEN "ambiental" is 'medio' and "socioeconomico" is 'ruim' and "institucional" is 'ruim' THEN 'INCENTIVAR'
WHEN "ambiental" is 'ruim' and "socioeconomico" is 'bom' and "institucional" is 'bom' THEN 'ALERTA'
WHEN "ambiental" is 'ruim' and "socioeconomico" is 'bom' and "institucional" is 'medio' THEN 'ALERTA'
WHEN "ambiental" is 'ruim' and "socioeconomico" is 'bom' and "institucional" is 'ruim' THEN 'ALERTA'
WHEN "ambiental" is 'ruim' and "socioeconomico" is 'medio' and "institucional" is 'bom' THEN 'ALERTA'
WHEN "ambiental" is 'ruim' and "socioeconomico" is 'medio' and "institucional" is 'medio' THEN 'ALERTA'
WHEN "ambiental" is 'ruim' and "socioeconomico" is 'medio' and "institucional" is 'ruim' THEN 'BAIXA APTIDAO'
WHEN "ambiental" is 'ruim' and "socioeconomico" is 'ruim' and "institucional" is 'bom' THEN 'BAIXA APTIDAO'
WHEN "ambiental" is 'ruim' and "socioeconomico" is 'ruim' and "institucional" is 'medio' THEN 'BAIXA APTIDAO'
WHEN "ambiental" is 'ruim' and "socioeconomico" is 'ruim' and "institucional" is 'ruim' THEN 'BAIXA APTIDAO'
END

```

MATRIZ INSUMO-PRODUTO NO ESTADO DO CEARÁ: UMA ANÁLISE DE ENCADEAMENTOS

Pedro Avelino de Sousa Martins⁴¹

RESUMO

O presente trabalho se propõe a analisar estruturalmente as relações entre os setores da economia cearense através do arcabouço matriz insumo-produto. Essa análise focaliza no grau de dependência que cada setor tem dos demais (para trás no processo produtivo), o que revela sua importância na cadeia produtiva. Pretende-se, portanto, identificar a proporção de setores que se enquadram como encadeados na economia. A análise atenta também para a dependência de grupos de setores alocados por natureza da atividade. Foi utilizada a matriz insumo-produto do estado do Ceará produzida pelo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) com dados de 2013. Quanto à metodologia foi utilizado o índice Hirschman-Rasmussen para identificar os setores que apresentam encadeamento e o índice de variabilidade para captar a amplitude do impacto. Percebeu-se que a economia cearense apresenta 41,53% dos setores existentes na matriz insumo-produto encadeados. No que se refere ao grupo de setores, todos os setores ligados à energia apresentam-se como encadeados; dos setores ligados ao transporte, 83,33% são encadeados; essa mesma proporção para os setores ligados aos serviços e à produção direta é, respectivamente, 42,85% e 42,10%; dos ligados à criação, 33,33%; e nenhum dos setores ligados ao cultivo/agricultura/pesca/extração se apresenta como encadeado.

Palavras-chave: Insumo-produto. Encadeamento. Estrutura produtiva. Economia cearense.

ABSTRACT

The present work proposes to analyze structurally the relations between the sectors of the economy of Ceará using the input-output matrix. This analysis focuses on the degree of dependence that each sector has on the others (behind in the productive process), which reveals its importance in the productive chain. It is intended, therefore, to identify the proportion of sectors that are classified as chained in the economy. The analysis also looks at the dependence

⁴¹ Monografia apresentada ao Programa de Graduação em Economia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Ciências Econômicas. Fortaleza-2018
Orientador: Prof. Dr. Ricardo Antônio de Castro Pereira. Coorientador: Prof. Dr. Alexandre Lira Cavalcante.

of groups of sectors allocated by nature of the activity. The input-output matrix of the state of Ceará produced by the Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) with data from 2013 was used. The Hirschman-Rasmussen index was used to identify the sectors that have a link and the index of variability to capture the magnitude of impact. It was noticed that the economy of Ceará presents 41.53% of the existing sectors in the input-output matrix chained. With regard to the group of sectors, all the sectors related to energy present themselves as chained; of the transport sectors, 83.33% are linked; the same proportion for services and direct production is 42.85% and 42.10%, respectively; of those related to creation, 33.33%; and none of the sectors related to cultivation/agriculture/fishing/extraction is chained.

Keywords: Input-output. Chaining. Production structure. Economy of Ceará.

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 – Matriz de insumo-produto para dois setores (2x2)

Quadro 2 – Matriz dos coeficientes técnicos diretos de insumo-produto para dois setores, A

Quadro 3 – Matriz dos coeficientes técnicos diretos e indiretos de insumo-produto

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Setores da economia cearense, índices de encadeamento e coeficiente de variação por ordem de setor na matriz

Tabela 2 – Setores da economia cearense, índices de encadeamento e coeficiente de variação por ordem de mais alto índice de encadeamento

Tabela 3 – Setores encadeados verticalmente, índices de encadeamento e coeficientes de variação por ordem de mais alto índice de encadeamento

Tabela 4 – Setores da MIP do Ceará reagrupados por tipo de atividade e por ordem de mais alto índice de encadeamento

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IHR	Índice Hirschman-Rasmussen
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia do Ceará
MIP	Matriz insumo-produto

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho se detém basicamente numa análise estrutural da economia cearense na intenção de fornecer informações relevantes sobre a dinâmica dos setores, no que se refere às relações produtivas entre eles. O delineamento de tais relações se mostra conveniente pois este conhecimento é bastante útil para a fundamentação de algumas decisões e estratégias do governo, no que se refere a gastos e investimentos.

Concernente a questões estratégicas, a certeza de um impacto positivo na economia originado por montantes gastos pelo governo não é uma informação suficiente para determinar a efetivação destes gastos⁴². Faz-se necessário uma mensuração deste impacto; um vislumbre do mecanismo de impacto; a visualização da cadência de setores afetados na economia; a estimação do impacto em cada setor; além de outras informações relevantes que tornam a execução dos gastos mais eficaz.

Neste sentido, o instrumental insumo-produto é capaz de fornecer conhecimentos estratégicos de alta utilidade, pois ressalta os setores que trariam mais retornos a partir de um investimento inicial, no sentido de que esse investimento acabaria por transbordar para outros setores.

O arcabouço em questão se apresenta como uma ferramenta essencial para o planejamento da distribuição do investimento na economia. Portanto, os estudos acerca dessa temática têm relevância pelo fato de contribuírem na ampliação das informações disponíveis utilizando este instrumental (insumo-produto), que tem sua importância ressaltada no ensaio *Proposta para Melhorar os Prognósticos Econômicos* publicado por Leontief em 1964.

Este arcabouço detém uma especificidade peculiar: tem a capacidade de considerar todo um sistema econômico (e isso o destaca como ferramenta de planejamento).

A análise de insumo-produto é uma extensão prática da teoria clássica de interdependência geral, que vê a economia inteira de uma região, de um país ou inclusive do mundo como um só sistema e se propõe interpretar todas as suas funções em termos das propriedades específicas mensuráveis de sua estrutura. (LEONTIEF, 1983, p. 5).

A matriz de insumo-produto (MIP) pode ser entendida como a captura de um momento das relações existentes na economia. Portanto, o sistema retrata a situação das relações entre os setores no

⁴² Obviamente, exclui-se desta afirmação os gastos sociais, que têm objetivos além do impacto econômico.

instante de sua construção. Assim, percebe-se que, para conseguir acompanhar as transformações nas relações, novas matrizes devem ser geradas. Todavia, o dispêndio com os recursos necessários para a construção deste instrumento de análise é consideravelmente alto, o que impossibilita sua construção em períodos relativamente próximos. A matriz mais recente para o estado do Ceará foi confeccionada pelo IPECE e usa dados de 2013⁴³.

Pretende-se neste trabalho analisar as relações entre os setores da economia cearense a partir do instrumental insumo-produto e captar efeitos dessas relações na intenção de verificar a importância de cada atividade produtiva na cadeia de setores da economia.

A importância das atividades para a economia será investigada aqui através do grau de dependência de cada setor. Em outras palavras, uma atividade que depende de outra para produzir (utilizando insumos), movimenta outros setores quando produz. Isso a torna importante para a economia. Esse grau de dependência é mensurado pelo índice Hirschman- Rasmussen (IRH).

Além disso, pretende-se verificar qual a proporção de setores importantes existem na economia do Ceará. Ou seja, qual a configuração da economia estadual quanto ao encadeamento de seus setores: a maioria dos setores apresentam encadeamentos? Quais tipos de atividades são mais encadeadas? Como deve ser o direcionamento dos investimentos caso se queira impulsionar a economia através de investimentos setoriais? O presente trabalho se propõe a contribuir nas respostas destas perguntas. Quanto às hipóteses: 1 – A maioria dos setores da economia do estado do Ceará se configura como não encadeada. 2 – Dado a representatividade dos Serviços na economia do Ceará e até mesmo do país, espera-se que o conjunto de atividades ligadas aos serviços apresente significativa proporção de encadeamento.

⁴³ Disponibilizada pelo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) para este trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Desenvolvimento econômico e insumo-produto

Por ora, expor-se-á aqui somente parte da teoria de desenvolvimento econômico que têm relação estrita com o crescimento. Logo, se há relação com o crescimento econômico, há relação também com os investimentos, ligados intimamente ao crescimento econômico, como se pode ver em SALA-I-MARTIN (2000).

Sousa (1997) apresenta duas formas de estratégia de crescimento para o desenvolvimento: estratégia de crescimento equilibrado (ou de grande impulso) e estratégia de crescimento desequilibrado (ou como cadeias de desequilíbrios). Na primeira, os investimentos são direcionados a todos os setores da economia na intenção de causar um impacto geral na dinâmica econômica, com geração de muitos empregos e criação de demanda. Existe um consenso referente à probabilidade do não sucesso de alguns setores da economia quando se é adotada esta estratégia de crescimento. No entanto, os efeitos dos investimentos como um todo são tidos como positivos. Na segunda, os investimentos são direcionados a setores específicos selecionados por um critério especial: o quão maior for o encadeamento deste setor. O encadeamento dos setores é revelado pelo instrumental insumo-produto, idealizado por Wassily Leontief (LEONTIEF, 1941) quando estudava as inter-relações da economia americana. Por essa contribuição, foi laureado com o Prêmio de Ciências Econômicas em Memória de Alfred Nobel no ano de 1973.

2.2 A matriz de insumo-produto

A matriz de insumo-produto é uma estrutura de análise matemática fundamentada economicamente que permite a visualização da interdependência existente entre os setores produtivos de uma economia: “Uma Matriz de Insumo-Produto é compreendida, normalmente, como uma matriz de coeficientes técnicos diretos que apresenta o quanto determinada atividade econômica necessita consumir das demais atividades para que possa produzir uma unidade monetária adicional.” (IBGE, 2016, p. 5).

Neste instrumental cada setor é contabilizado como consumidor e produtor de insumos para si e para os outros setores. Dessa forma, é possível visualizar o impacto direto de um setor sobre outros (quando olhamos para os insumos necessários à produção de um setor, A, que são provenientes de outro setor, B) e perceber seu impacto indireto na dinâmica dos setores (quando um dado setor, C, utiliza insumos do setor B que, por sua vez, precisou de insumos do setor A para produzir).

Os impactos diretos de um setor sobre outros pode ser extraído com relativa facilidade da matriz.

Entretanto, visualizar os impactos indiretos só é possível após algumas manipulações algébricas nela realizadas. É exposta, no quadro 1, uma matriz simples⁴⁴ para dois setores.

Quadro 1: Matriz de insumo-produto para dois setores (2 x 2)

Produto Insumo	A_1	A_2	D	X
A_1	X_{11}	X_{12}	D_1	X_1
A_2	X_{21}	X_{22}	D_2	X_2
V	V_1	V_2	$V = D$	—
X	X_1	X_2	—	X

Fonte: Sousa (1997)

Nas colunas, os insumos comprados pelo setor i , produzidos pelo setor j (X_{ij}); o valor adicionado pelo setor j (V_j); e a produção total do setor j (X_j). Nas linhas temos, semelhantemente, os insumos produzidos pelo setor j , comprados pelo setor i (X_{ij}); a demanda final do setor i (D_i); e a produção total do setor i (X_i).

A partir da montagem da matriz, iniciam-se as manipulações que, por sua vez, são necessárias para obtenção de informações mais acuradas. A sequência das manipulações seguintes (assim como o modo de apresentação) foi extraída de Souza (1997).

Dividindo cada elemento pela produção setorial, obtém-se os coeficientes diretos técnicos de insumo-produto (quadro 2) que se referem a quanto da produção final de um determinado setor depende dos insumos de outro setor (a_{ij}). Essa relação de dependência não é exatamente ao *quantum*, mas se refere ao quão necessário é um determinado insumo para a produção de um setor. Após a divisão da demanda final do setor i pelo produto total do setor i , obtém-se os coeficientes de demanda final do setor i (d_i). Analogamente, obtém-se os coeficientes de valor adicionado do setor j (v_i) após a divisão do valor adicionado do setor j pela produção total do setor j .

⁴⁴ Gastos governamentais, consumo das famílias, exportações, impostos etc. também fazem parte da MIP. Pode-se compreender que estão agregados na variável demanda final (D_i). Para detalhes ver Guilhoto (2011).

Quadro 2: Matriz dos coeficientes técnicos diretos de insumo-produto para dois setores, A.

Produto Insumo	A_1	A_2	D	X
A_1	$X_{11}/X_1 = a_{11}$	$X_{12}/X_2 = a_{12}$	$D_1/X_1 = d_1$	1
A_2	$X_{21}/X_1 = a_{21}$	$X_{22}/X_2 = a_{22}$	$D_2/X_2 = d_2$	1
V	$V_1/X_1 = v_1$	$V_2/X_2 = v_2$	$V = D$	–
X	$X_1/X_1 = 1$	$X_2/X_2 = 1$	–	$n = 2$

Fonte: Sousa (1997)

Essa relação, contudo, não revela exatamente a dependência entre os setores, dado que ainda não vislumbra a dependência indireta (informação necessária, como citado anteriormente). Para captar os efeitos totais (diretos e indiretos) faz-se necessário uma manipulação na matriz dos coeficientes técnicos, A , para a obtenção de uma nova matriz. Esta matriz, K , é obtida através da manipulação $K = (I - A)^{-1}$.

Na abordagem matricial utilizada por Guilhoto (2011) temos que $Ax + y = x$. Sendo A , a matriz de coeficientes técnicos diretos de ordem $(n \times n)$; x é o vetor coluna de produção dos setores ou vetor de produtos por setor; e y é o vetor coluna de demanda final ou vetor de demanda final por setor. Assim, tem-se:

$$\underbrace{\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}}_A \underbrace{\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix}}_x + \underbrace{\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}}_y = \underbrace{\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix}}_x$$

Os coeficientes técnicos podem ser compreendidos como uma proporção. Observando a primeira linha da matriz A , pode-se perceber a proporção do produto de cada setor que é utilizada pelo setor 1. Ou semelhantemente, a dependência que a produção do setor 1 tem de cada um dos outros setores. Para o setor 1, esta proporção (a_{1j}) vezes a produção de cada setor (X_j) , mais a demanda final do setor 1 (Y_1) é exatamente igual à produção total do setor 1 (X_1) : $(a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n) + Y_1 = X_1$.

O que se pode observar nesta composição matemática é que a produção dos setores (X_i) está distribuída em, praticamente, todo o corpo da relação. E, para a correta mensuração dos impactos diretos e indiretos, faz-se necessário isolar o vetor x para, assim, verificar os efeitos totais da produção dos setores na economia. Segue-se as operações matriciais:

$$Ax + y = x \quad (1)$$

$$y = x - Ax \quad (2)$$

$$y = x(I - A) \quad (3)$$

$$x = (I - A)^{-1}y \quad (4)$$

A matriz $(I - A)^{-1}$ em (4) é o que surge quando se isola o vetor de produção, possibilitando captar os efeitos totais da atividade de um setor. Ela é também chamada de matriz de Leontief e expressa os impactos diretos e indiretos de insumo produto. O quadro 3 apresenta uma matriz de Leontief para 2 setores.

Quadro 3: Matriz dos coeficientes técnicos diretos e indiretos de insumo-produto, K .

Insumo \ Producto	A_1	A_2	$K_i = \sum_{j=1}^n k_{ij}$
A_1	k_{11}	k_{12}	$K_1 = k_{11} + k_{12}$
A_2	k_{21}	k_{22}	$K_2 = k_{21} + k_{22}$
$K_j = \sum_{i=1}^n k_{ij}$	$K_1 = k_{11} + k_{21}$	$K_2 = k_{12} + k_{22}$	$\sum_{j=1}^n K_j = \sum_{i=1}^n K_i$

Fonte: Sousa (1997)

Cada k_{ij} expressa a variação necessária na produção do setor i para atender, direta e indiretamente, a variação unitária da demanda final do setor j . Sendo assim, o somatório dos coeficientes da linha $i(\sum_{j=1}^n k_{ij})$ expressa a quantidade que o setor i deve produzir quando os outros setores têm sua demanda final elevada em uma unidade. O somatório dos coeficientes da coluna $j(\sum_{i=1}^n k_{ij})$ expressa “a variação direta e indireta da produção da economia quando a demanda final do j aumenta de uma unidade” (SOUSA, 1997, p. 245).

Essas informações são muito úteis para compreender a influência dos setores na dinâmica econômica: quais os setores com maior número de relações produtivas no sistema e qual o peso dessas relações. Através da mensuração dos efeitos de encadeamento é possível identificar quais setores são os mais importantes no processo produtivo. Ou seja, qual deles é o mais encadeado e quais são os impactos deste encadeamento.

2.2.1 Encadeamento na matriz insumo-produto

Encadeamento de um setor na matriz insumo-produto se refere ao quão conectado este setor está com os demais setores da economia. De acordo com Sousa (1997), essas conexões se revelam no movimento da produção do setor: se, para produzir, este setor demanda muito de outros setores, diz-se que ele é encadeado verticalmente, ou para trás no processo produtivo; se este setor impacta outros setores com sua produção, fornecendo insumos para os outros, diz-se que este setor é encadeado horizontalmente, ou para frente no processo produtivo.

[...] os efeitos encadeamento são os impactos que as diferentes atividades exercem sobre as demais, quando aumentam sua produção. Tais impactos ocorrem para trás no processo produtivo, verticalmente, por meio das compras, e, para frente, no sentido horizontal, por meio das vendas de insumos (SOUSA, 1997, p. 249).

Cada setor é encadeado com outro na medida dos coeficientes técnicos diretos e indiretos correspondentes. Estes setores podem estar encadeados verticalmente ou horizontalmente. Essas nomenclaturas são dadas por conta da disposição dos coeficientes na matriz: tanto os de compra quanto os de venda. Nas colunas (verticalmente) observa-se o que o setor j compra. Isso está relacionando sua produção com os setores que produzem antes dele: para trás no processo produtivo. Já nas linhas (horizontalmente), nota-se os insumos que o setor i produz. Isto relaciona sua produção com os setores que produzem depois dele: para frente no processo produtivo.

2.2.1.1 Encadeamento vertical (para trás)

O encadeamento vertical para o setor j , como disposto na seção anterior, se refere aos insumos necessários para a realização da produção do setor j . Por exemplo, a mensuração de encadeamento do setor 1 com o setor 2 se dá através de k_{21} , que é o que ele compra direta e indiretamente do setor 2 para poder produzir. Analogamente, o setor 2 é encadeado para trás com o setor 1 na medida de k_{12} , que é o que ele demanda direta e indiretamente do setor 1 para realizar sua produção. Cada coeficiente expõe o nível de encadeamento particular, de setor para setor. Entretanto, para a mensuração do encadeamento de um setor na economia como um todo, é necessário a contabilização de todos os coeficientes de encadeamento para trás, captando a influência deste setor em todos os outros existentes na matriz.

Desta forma, o encadeamento para trás do setor j pode ser obtido pelo somatório dos coeficientes da coluna j , visto anteriormente:

$$\sum_{i=1}^n k_{ij} = k_{1j} + k_{2j} + \dots + k_{nj} \quad (5)$$

Esta é a mensuração do encadeamento para trás do setor j . O que se pode ver em (5) são a totalidade dos requerimentos para o setor j de todos os outros setores a fim de responder a expansão unitária de sua demanda final (SOUSA, 1997).

Dividindo (5) pelo número de setores na matriz, tem-se o impacto médio por setor (ou a estimativa de impacto em um setor aleatório) quando a produção do setor j aumenta em uma unidade

é dado por $\frac{\sum_{i=1}^n k_{ij}}{n}$. Isto deve ser interpretado como a média do “acréscimo direto e indireto do produto a ser ofertado por um setor escolhido aleatoriamente, quando a demanda final para os produtos do setor j aumentar em uma unidade” (SOUSA, 1997, p. 249).

2.2.1.2 Encadeamento horizontal (para frente)

O processo para a obtenção da medida de encadeamento para frente é análogo ao de encadeamento para trás, porém com uma sutil diferença: quando da geração dos coeficientes técnicos diretos de insumo-produto, as linhas são divididas pela produção total do setor i . Feito isto, a metodologia segue como apresentado.

Como exposto no quadro 2, as colunas são divididas pela produção total do setor j . Jones (1976, p. 327, apud SOUSA, 1997, p. 249) percebeu que, se este processo fosse adotado na mensuração do encadeamento horizontal, haveria dupla contagem, já que o encadeamento vertical leva em consideração as compras, e o encadeamento horizontal leva em consideração as vendas. Portanto, os coeficientes técnicos que dizem respeito à relação entre os setores (a_{ij}) seriam formados de outra maneira:

$$\begin{bmatrix} X_{11}/X_1 = a_{11} & X_{12}/X_2 = a_{12} & \dots & X_{1n}/X_n = a_{1n} \\ X_{21}/X_1 = a_{21} & X_{22}/X_2 = a_{22} & \dots & X_{2n}/X_n = a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1}/X_1 = a_{n1} & X_{n2}/X_2 = a_{n2} & \dots & X_{nn}/X_n = a_{nn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

A partir daí os procedimentos são análogos. Depois que todos os procedimentos apresentados forem aplicados nessa nova matriz, A^* , de coeficientes técnicos diretos de produto, gerar-se-á uma outra matriz, K^* , que será utilizada para o cálculo dos impactos horizontais. K^* , por sua vez, “é a matriz de impactos diretos e indiretos dos produtos, ou matriz inversa de Jones” (SOUSA, 1997, p. 250).

Portanto, tem-se que a economia deve aumentar sua produção quando o setor i aumenta sua produção. O impacto não é mais de insumo-produto, mas de produto exclusivamente. Para que a economia absorva o impacto da elevação do setor produtor de insumo, deve também produzir. O aumento total que deve ocorrer na economia quando o setor i aumenta seu valor adicionado em uma unidade é dado por:

$$\sum_{j=1}^n k^*_{ij} = k^*_{i1} + k^*_{i2} + \dots + k^*_{in} \quad (7)$$

Então, dividindo (7) pelo número de setores na economia, tem-se “a estimativa do acréscimo direto e indireto do produto a ser demandado por um setor escolhido aleatoriamente, quando o valor adicionado de um setor i aumentar de uma unidade” (SOUSA, 1997, p. 250):

$$\frac{\sum_{j=1}^n k^*_{ij}}{n}$$

3 METODOLOGIA

A matriz utilizada para a análise será a calculada pelo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) para 65 setores com dados de 2013.

Para a identificação dos setores mais encadeados verticalmente da economia cearense, utilizar-se-á o *índice de poder de dispersão* de Rasmussen (ou *índice de encadeamento para trás* de Hirschman).

Calcular-se-á também os coeficientes de variação para verificar a amplitude do encadeamento dos setores.

Como atenta Guilhoto et al (2012), “os índices de ligações permitem estabelecer os setores que têm o maior poder de encadeamento dentro da economia” (GUILHOTO et al, 2012).

Para o encadeamento horizontal, utilizar-se-ia o *índice de encadeamento de Jones*. Contudo, não há a disponibilidade da matriz de Jones para a correta mensuração dos coeficientes. Não obstante, para fins de completude, a presente seção contém os assuntos referentes ao encadeamento horizontal.

3.1 Índices de encadeamento, variabilidade e setores chave

Os trabalhos que se dispuseram a analisar a matriz de insumo-produto e a fundamentar o encadeamento entre os setores, como Rasmussen (1956), Hirschman (1974) e Jones (1976), contribuíram também com alguns instrumentos e métodos de mensuração e análise. A normalização dos índices de encadeamento é um desses métodos.

O índice formal de encadeamento para trás é conhecido como *índice de poder de dispersão* de Rasmussen ou *índice de encadeamento para trás* de Hirschman, como afirma Sousa (1997). É dado por:

$$U_j = \frac{(1/n) \sum_{i=1}^n k_{ij}}{(1/n^2) \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n k_{ij}} \quad (8)$$

Se $U_j > 1$, significa que o setor j exerce um impacto sobre a economia superior à média, quando a demanda final por seu produto aumentar uma unidade. O setor j compra produtos intermediários acima da média da economia, exercendo, portanto, fortes encadeamentos para trás no sistema produtivo (SOUSA, 1997, p. 251).

Já para o encadeamento horizontal, o *índice de encadeamento de Jones* é dado por:

$$U^*_{i.} = \frac{(1/n) \sum_{j=1}^n k^*_{ij}}{(1/n^2) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k^*_{ij}} \quad (9)$$

Sendo $U^* > 1$, significa que o setor i aumenta sua produção e vendas mais do que a média da economia, por conta do acréscimo de uma unidade de seu valor adicionado. Em outras palavras, o setor i é um *fornecedor* de produtos intermediários mais importante do que a média, exercendo fortes encadeamentos para a frente no processo produtivo (SOUSA, 1997, p. 251).

Esses indicadores disponibilizam o auxílio necessário para saber se determinado setor é relativamente encadeado (se seu impacto é maior que a média) para frente ou para trás. Contudo, pode haver a situação na qual um setor dependa de muitos insumos, mas de apenas um setor, por exemplo; ou produza muitos insumos, mas somente para dois de cem setores. Ou seja, como ressalta Hazari (1970, p. 302 apud SOUSA, 1997, p. 251), pode ser que um setor seja bem encadeado e o efeito deste encadeamento se dê em poucos setores.

Assim sendo, calcula-se também os coeficientes de variação para verificar a amplitude dos encadeamentos verticais e horizontais. Os coeficientes de variação dos encadeamentos horizontais e verticais são dados a seguir em (10) e (11).

$$V_j = \frac{\sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n \left(k_{ij} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_{ij} \right)^2}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_{ij}} \quad (10)$$

$$V^*_{i.} = \frac{\sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n \left(k^*_{ij} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k^*_{ij} \right)^2}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k^*_{ij}} \quad (11)$$

De acordo com Sousa (1997, p. 251), altos valores nos índices (10) e (11) indicam que o setor analisado possui interdependências com poucos setores, horizontalmente (V_j) ou verticalmente ($V^*_{i.}$). Logicamente, se os índices apresentam valores baixos, este é o sinal de que as interdependências se verificam em muitos setores. Em síntese, altos índices sinalizam concentração dos impactos; baixos índices sinalizam impactos distribuídos uniformemente.

4 RESULTADOS

A tabela 1⁴⁵, dispõe os setores e os resultados obtidos (índices de poder de dispersão e coeficiente de variabilidade) da análise de encadeamento vertical da matriz insumo-produto do estado do Ceará. A ordem de apresentação na tabela 1 é a mesma denotada na matriz insumo- produto. Na tabela 2⁴⁶, que ordena os setores pelo índice de encadeamento, pode-se verificar com facilidade quais as atividades com maior e menor grau de encadeamento.

Referente à interdependência setorial, vista através dos *índices de poder de dispersão*, dos 65 setores, 27 apresentam valores superiores a 1. Logo, consequentemente, 38 apresentam valores inferiores a 1. Estes últimos não são classificados como setores encadeados na economia. O setor de mais alto índice é *transporte ferroviário e metroferroviário* com 1,817. O mais baixo índice se observa em *serviços domésticos*, 0,74. Dentre os encadeados, o menor valor IRH verificado foi 1,001 em *transporte rodoviário*.

Quanto à variabilidade dos impactos, o setor encontrado com mais alto coeficiente foi *cultivo de cereais*, com 14,452. O menor valor encontrado foi em *fabricação de álcool e outros biocombustíveis*, com 10,748. Levando em consideração todos os setores, a média do coeficiente de variação é 11,872. Usou-se esta medida como marco de comparação para a amplitude da interdependência dos setores. Dentre os setores encadeados contidos na tabela 2, apenas *Geração, Transm, Distrib e Com de Energia Elétrica* e *Fabricação de Produtos do Fumo* não apresentam coeficientes de variação abaixo da média. Isto significa que, embora sejam encadeados, seus impactos não são muito bem distribuídos na economia.

Percebe-se, ainda na tabela 2, que a maioria dos setores não encadeados também apresenta coeficientes de variação maiores que a média. Isto significa que além do impacto exercido por estes ser reduzido, é também mais concentrado. Contudo, a medida de variabilidade dos setores oscila em torno da média sem grandes desvios. A variância e desvio padrão do coeficiente de variabilidade são, respectivamente, 0,289 e 0,537.

A tabela 3⁴⁷ apresenta os setores encadeados (índice maior que 1), mas apenas os que detém coeficientes inferiores à média; pois, como visto anteriormente, quanto mais baixo for o índice de um setor, maior a conexão deste com outros setores. Os cinco setores mais encadeados são *Transporte ferroviário e metroviário* (1,817), *Fabricação de álcool e outros biocombustíveis* (1,587), *Serviços de telecomunicações* (1,352), *Distribuição de gás natural* (1,306) e *Seguro, resseg., previd. complementar/plano de saúde e atividades auxiliares* (1,263).

⁴⁵ Anexo A.

⁴⁶ Anexo B.

⁴⁷ Anexo C.

A tabela 4⁴⁸ reagrupa os 65 setores em seis seções por natureza de atividade: 1 – Transportes; 2 – Energia; 3 – Cultivo/agricultura/pesca/extração; 4 – Fabricação (ou produção direta); 5 – Criação; e 6 – Serviços. Dentro de cada seção, os setores são ordenados pelo mais alto índice de encadeamento.

A partir desta tabela, pode-se extrair informações referentes à tipologia das atividades econômicas dos setores da matriz: dos seis ligados ao transporte, somente *Transporte dutoviário* não se classifica como encadeado; os quatro setores ligados à energia (combustíveis, biocombustíveis, gás natural, refino de petróleo e energia elétrica) constam no rol de setores encadeados; nenhuma das atividades ligadas ao cultivo/agricultura/pesca/extração está classificada como encadeada; oito dos dezenove setores de fabricação (ou produção direta) estão classificados como encadeados; das três atividades ligadas à criação de animais, somente *Criação de suínos* se classifica; quanto aos setores de serviços (exceto os ligados ao transporte), existem 21 na matriz e apenas 9 são identificados como encadeados.

Através das informações acima, obtém-se o percentual de atividades encadeadas para cada uma das seis seções da tabela 4. Para *Transportes*, 83,33% dos setores. Em *Energia*, verifica-se 100%. Já em *Cultivo/agricultura/pesca/extração* nenhum dos setores é encadeado, portanto o percentual é inexistente. Em *Fabricação (ou produção direta)* nota-se a proporção de 42,10%. Para *Criação*, tem-se 33,33%. E para *Serviços (exceto ligados ao transporte)*, observa o percentual de 42,85% de setores encadeados.

⁴⁸ Anexo D.

5 CONCLUSÃO

Entende-se, através dos resultados obtidos, que o estado do Ceará no ano de 2013 não apresentava um elevado grau de encadeamento vertical (para trás no processo produtivo). Vale ressaltar que esse grau de encadeamento do estado se refere ao percentual de setores encadeados na economia cearense, que é de 41,53%.

Entretanto, como exposto anteriormente, essa proporção é bastante variada quando se observa a economia enquadrada por tipo de atividade: deveras elevada nos setores ligados à energia e ao transporte; bem reduzida nos setores ligados à criação/cultivo/extração; e bem próximo ao que foi verificado para o estado nos setores ligados à produção direta e serviços.

Percebe-se também que a configuração dos encadeamentos dos setores ligados aos serviços e à produção direta contribui bastante para a composição do percentual encontrado para a economia, no sentido de que são os tipos de atividades com o maior número de setores. Sendo assim, o que se revela para estes se reflete no percentual da economia como um todo.

Portanto, para fins de efeitos na economia através das relações de encadeamento, os estímulos setoriais podem-se direcionar aos conjuntos de atividades que apresentam maior percentual de setores encadeados (transportes e energia). Mas não somente a estes, pode-se considerar também a representatividade dos conjuntos de setores relacionados à produção direta e serviços. Pois, mesmo tendo um percentual de encadeamento menor, sua participação na economia é elevada. Isto é, no que diz respeito ao número de setores.

REFERÊNCIAS

GUILHOTO, Joaquim José Martins. **Análise de insumo – produto**: teoria e fundamentos. São Paulo: USP, 2004. Disponível em: <https://mpira.ub.uni-muenchen.de/32566/2/MPRA_paper_32566.pdf>. Acesso em: 16 junho 2018.

GUILHOTO, Joaquim José Martins et al. **Matriz de insumo-produto do Nordeste e Estados**: Metodologia e Resultados. 1ª reimpressão. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2012.

HAZARI, Bharat R. Empirical identification on key sectors in the Indian economy. **The Review of Economics and Statistics**, v. 52, n.3, Aug. 1970 *apud* SOUZA, Nali de Jesus de. **Desenvolvimento Econômico**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1997.

LEONTIEF, Wassily. **A economia do insumo-produto**. São Paulo: Abril Cultural, 1983.

MILLER, R.; BLAIR, Peter D. **Input-output analysis**: foundations and extensions. New Jersey: Prentice-Hall, 1985 *apud* GUILHOTO, Joaquim José Martins et al. **Matriz de insumo- produto**

do Nordeste e Estados: Metodologia e Resultados. 1ª reimpressão. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2012.

PASSONI, Patieene Alves; FREITAS, Fábio.

PASSONI, Patieene Alves; FREITAS, Fábio. Estrutura produtiva e indicadores de encadeamento na economia brasileira entre 2010 e 2014: uma análise multissetorial baseada no modelo insumo-produto. In: **Anais eletrônicos...** Encontro Nacional de Economia, 45, Natal, ANPEC, 2017. Disponível em: <
https://www.anpec.org.br/encontro/2017/submissao/files_I/i9-5cd7c41c863a794f24fcd3405db5d0d0.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2017.

SALA-I-MARTIN, Xavier. **Apuntes de crecimiento económico**. Barcelona: Antoni Bosch Editor, 2000.

SOUSA, Nali de Jesus de. **Desenvolvimento Econômico**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1997.

VILELLA, André. O Desenvolvimento Econômico em Perspectiva Histórica. In: FERREIRA, Pedro et al. (Org). **Desenvolvimento Econômico: Uma Perspectiva Brasileira**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

ANÁLISE DE ÓBITOS POR ACIDENTES DE TRÂNSITO COM USO DE MINERAÇÃO DE DADOS

Renata Adele de Lima Nunes⁴⁹

RESUMO

Os acidentes de trânsito respondem anualmente por 1,3 milhões de mortes mundialmente. No Brasil, um terço das mortes por causas externas são resultantes de lesões do trânsito. Os dados epidemiológicos sobre este agravo, por sua importância para a saúde pública, necessitam de constante vigilância e atualização. Assim, propõe-se a análise de óbitos por acidentes de trânsito por meio da mineração de dados, utilizando dados de necropsias de vítimas do trânsito. Objetivo: Analisar os óbitos por acidentes de trânsito no Ceará. Metodologia: estudo transversal analítico, em laudos de necropsias, no estado do Ceará, de 2010 a 2015. Os laudos passaram por seleção, pré-processamento, mineração de dados e pós-processamento, para a tarefa de classificação, utilizando o algoritmo J48. Foram também gerados *odds ratio* (OR), com intervalo de confiança de 95%. Resultados: a principal causa de morte foi o Trauma Cranioencefálico (TCE). Acima de 60 anos, o TCE mostrou um OR de 1,31 quando comparada com a faixa de 20 a 59 anos. A mineração de dados alcançou médias de Precisão, recall e medida F de 0,687, 0,693 e 0,689. Conclusão: a análise de óbitos por acidentes de trânsito destacou o Traumatismo Cranioencefálico como causa de morte; os óbitos se concentraram na faixa etária de 20 a 59 anos, sexo masculino. A mineração de dados realizou a classificação de laudos a contento, atingindo boas métricas de avaliação. O uso de laudos de necropsias como fonte de dados contribui para a ampliação do conhecimento sobre óbitos no trânsito, auxiliando a tomada de decisão.

Palavras-chave: Acidentes de Trânsito. Mineração de Dados. Trauma Cranioencefálico.

ABSTRACT

Traffic accidents account annually for 1.3 million deaths globally. In Brazil, one-third of deaths from external causes result from traffic injuries. Epidemiological data on this condition, because of its importance for public health, require constant vigilance and updating. Thus, it is proposed

⁴⁹ Projeto de pesquisa apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde Coletiva da Universidade de Fortaleza como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Saúde Coletiva. Orientadora: Prof.^a Dr.^a Luiza Jane Eyre de Souza Vieira Co-orientadora: Prof.^a Dr.^a Rosa Livia Freitas de Almeida. Fortaleza-2018

the analysis of deaths due to traffic accidents through data mining, using data from necropsies of traffic victims. Objective: To analyze the deaths due to traffic accidents in Ceará. Methodology: an analytical cross-sectional study, in autopsy reports, in the state of Ceará, from 2010 to 2015. The reports went through selection, pre-processing, data mining and post-processing for the classification task using the J48 algorithm. Odds ratio (OR) was also generated, with a 95% confidence interval. Results: The main cause of death was Cranioencephalic Trauma (CET). Above 60 years, CET showed an OR of 1.31 when compared to the range of 20 to 59 years. The data mining reached averages of Accuracy, recall and F measurement of 0.687, 0.693 and 0.689. Conclusion: the analysis of deaths due to traffic accidents highlighted Cranioencephalic Trauma as a cause of death; the deaths were concentrated in the age group of 20 to 59 years, male. The data mining performed the classification of reports to content, reaching good evaluation metrics. The use of autopsy reports as a source of data contributes to the increase of knowledge about traffic deaths, aiding decision making.

Keywords: Traffic Accidents. Data Mining. Cranioencephalic Trauma.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Acidente de Transporte Terrestre por residência da vítima por Regiões – Brasil. Ano base: 2012

Tabela 2 - Taxa de mortalidade por Acidente de Transporte Terrestre na Região Nordeste – Brasil. Anos base: 2000, 2006 e 2012

Tabela 3 - Taxa de mortalidade por Acidente de Transporte Terrestre por Macrorregião do Ceará – Brasil. Anos base: 2010 a 2014

Tabela 4 - Distribuição das classes no banco de dados de trabalho

Tabela 5 - Causas de morte identificadas nos laudos (2010 a 2015)

Tabela 6 - . Necropsias de vítimas de acidentes de trânsito por faixa etária, sexo, escolaridade, profissão, local de residência e local de ocorrência do acidente, 2010 a 2015. (N = 4.745)

Tabela 7 - Análise dos óbitos por ATT, segundo faixa etária, sexo, escolaridade, local de residência, local de ocorrência, profissão, modal de transporte, Ceará, 2010 a 2015

Tabela 8 - Precisão, *recall* e medida F obtidas pelo algoritmo J48, validação cruzada 10 *folds*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Número de mortes por lesões no trânsito, em todo o mundo.

Figura 2 - Taxas de mortalidade por lesões no trânsito por 100.000 habitantes (2013), por região da WHO

Figura 3 - Taxa de mortalidade por Acidente de Transporte Terrestre nas microrregiões – Brasil. Ano base: 2013.

Figura 4 - Etapas do processo de descoberta de conhecimento (KDD)

Figura 5 - Etapas do processo de mineração de textos.

Figura 6 - Tela de processamento de parte da árvore de decisão gerada pelo algoritmo J48.

Figura 7 - Tela de processamento de parte da árvore de decisão gerada pelo algoritmo J48.

Figura 8 - Fluxograma do tratamento dos dados.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATT	Acidentes de Transporte Terrestre
CID 10	Classificação Internacional de Doenças, Décima Revisão
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DO	Declaração de Óbito
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada
KDD	<i>Knowledge Discovery in Databases</i>
KDT	<i>Knowledge Discovery From Text</i>
MD	Mineração de Dados
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PEFOCE	Perícia Forense do Ceará
PIB	Produto Interno Bruto
PRMMAT	Programa de Redução da Morbimortalidade por Acidentes de Trânsito
PVNT	Projeto Vida no Trânsito
SIM	Sistema de Informações sobre Mortalidade
SSPDS	Secretaria de Segurança Pública e Defesa Social
SUS	Sistema Único de Saúde
TCE	Traumatismo Cranioencefálico
WHO	World Health Organization

1 INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Redução da Morbimortalidade por Acidentes e Violências define acidente como evento não intencional e evitável, causador de lesões físicas e/ou emocionais no âmbito doméstico ou nos outros ambientes sociais, como o do trabalho, do trânsito, da escola, de esportes e o de lazer. O termo acidente aqui é utilizado por estar consagrado pelo uso, porém esta política retira-lhe a conotação fortuita e casual, assumindo a possibilidade de previsão e prevenção desses eventos (BRASIL, 2001).

A promulgação desta política antecedeu o relatório mundial sobre violência e saúde (WHO, 2002), consolidado pela Organização das Nações Unidas (ONU), que apresenta as modalidades de violências e as graves repercussões à saúde individual e coletiva, às populações e aos sistemas de saúde. Este relatório chamava atenção sobre o desafio dos países para enfrentar (por meio da educação e o uso da legislação) as crescentes incapacidades e mortes, principalmente de pessoas jovens, oriundas dos acidentes de trânsito, ou Acidentes de Transporte Terrestre (ATT), para utilizar a nomenclatura utilizada pela Classificação Internacional de Doenças-Décima Revisão-CID 10 (WHO, 1994). Posteriormente a este relatório, surgiram pactuações entre países para deliberarem sobre este grave problema e proporem medidas a fim de minimizar essa casuística no âmbito mundial (WHO, 2009).

Os ATT respondem anualmente por 1,3 milhões de mortes e entre 20 e 50 milhões de pessoas são lesionadas, com maior concentração nos países de média e baixa renda (WHO, 2011). Esses países possuem 84,5% da população mundial, 47,9% da frota de veículos e 91,5% das mortes causadas pelo trânsito. Já os de alta renda têm 52,1% da frota de veículos e respondem por apenas 8,5% das mortes. Isto posto, necessário ponderar que a manutenção destes números vem perpetuar as já significativas iniquidades entre países ricos e pobres. A epidemia de lesões causadas pelo trânsito promove também considerável impacto nas economias de muitos países, particularmente aqueles de baixa e média renda, que já apresentam diversas outras necessidades de desenvolvimento. As perdas globais por injúrias no trânsito são estimadas em US\$ 518 bilhões por ano, e custam aos governos entre 1% e 3% do seu Produto Interno Bruto (PIB), o que, em países com baixo e médio PIB, representa mais do que é gasto com desenvolvimento (WHO, 2009).

A previsão da ONU é de que em 2020 o número de óbitos por ATT atinja 2,3 milhões e seja a sexta causa de morte em todo o mundo, cifras puxadas pelos países menos desenvolvidos. Ao contrário, nos países de alta renda, prevê-se um declínio dos óbitos em torno de 27% entre

2010 e 2020. Na América Latina, previa-se para 2010 uma elevação de 154 mil mortes; para 2020, estima-se o alcance de 180 mil óbitos, um incremento de 48% na década (WHO, 2009).

A morbidade e mortalidade crescentes por este tipo de agravo têm gerado preocupação constante aos líderes mundiais. Para o sistema de saúde, as consequências dos acidentes de trânsito, dentre outros aspectos, evidenciam-se no aumento de gastos com emergência, assistência à saúde, tempo de hospitalização e reabilitação. Desta forma, as unidades e serviços de saúde, antes muito mais orientados para enfermidades clínicas e/ou cirúrgicas, são hoje chamados a dar respostas às vítimas de lesões graves e politraumas físicos e emocionais provenientes dos acidentes de trânsito, devendo equipar-se para isso quanto à qualificação profissional e aparato tecnológico (MINAYO, 2005).

Embora diversas iniciativas possam ter contribuído para a redução dos óbitos e lesões relacionadas ao trânsito no Brasil, as taxas ainda permanecem elevadas em relação a muitos países da América Latina (REICHENHEIM et al., 2011). O Brasil ocupa o quinto lugar entre os países com maior número de mortes no trânsito, precedido pela Índia, pela China, pelos EUA e pela Rússia (WHO, 2009). Atualmente, um terço das mortes por causas externas no país são referentes a lesões/traumas decorrentes dos acidentes de trânsito, sendo o maior número entre jovens do sexo masculino, com marcante aumento de taxas de mortalidade dos motociclistas, seguidos dos ocupantes de automóveis (MORAIS NETO et al, 2013). Ressalta-se ainda que, com o advento as profissões de mototaxista e motoboy, que surgiram em decorrência de fatores como facilidade de aquisição da motocicleta, trânsito congestionado por carros, aumento do desemprego e diminuição da renda do brasileiro, configurou-se um novo cenário para a ocorrência de acidentes de trânsito (GÜNTHER, 2015).

O Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada (IPEA), entre os anos de 2001 e 2003 (IPEA, 2003), estimou os custos dos ATT em aglomerações urbanas no Brasil e concluiu por perdas anuais da ordem de R\$ 5,3 bilhões de reais. Em 2006, demonstrou que os impactos sociais e econômicos dos ATT nas rodovias brasileiras são bastante significativos, estimados em 24,6 bilhões de reais. Tais custos são devidos principalmente às despesas com cuidados em saúde, à perda de produção, relativo à morte das pessoas ou interrupção de suas atividades, seguido dos custos associados aos danos nos veículos. Além dos custos diretos, há vários outros custos indiretos, muitas vezes invisíveis, de impactos imensuráveis, que acabam promovendo uma desestruturação familiar e pessoal (BRASIL, 2007).

Pordeus (2004), ao investigar sobre custos diretos e indiretos relacionados aos ATT ressalta a importância do dimensionamento do custo social das incapacidades originadas nos

acidentes de trânsito, não apenas por meio de estatísticas de morbimortalidade, mas em termos de tempo, dor, de recuperação emocional e de perda de qualidade de vida. Estes custos são imensuráveis e ocasionam perdas irreparáveis ao indivíduo, família e sociedade.

Na região nordeste, as taxas de mortalidade por ATT ainda persistem bastante elevadas, tendo havido crescimento da mortalidade entre os anos 2000 a 2012, em todos os estados nordestinos (BRASIL, 2014).

No Ceará, no ano de 2014, ocorreram 2.633 óbitos por ATT, dos quais 1.904 (72,31%) atingiram a população na faixa etária de 20 a 59 anos, o que evidencia o grande impacto social e econômico resultante desses eventos (BRASIL, 2016). Estudo da Escola Nacional de Seguros aponta que a violência no trânsito no Ceará resultou em custos da ordem de R\$ 6,45 bilhões, em 2016, ou 4,86% do PIB do estado. Essa é a perda da capacidade produtiva causada por acidentes que mataram 1.752 pessoas e deixaram outras 4.094 com invalidez permanente, conforme a pesquisa (O POVO, 2017).

Os dados epidemiológicos sobre ATT, devido a sua importância como agravamento à saúde pública, necessitam de constante vigilância e atualização, e devem ser acessados facilmente por todos os níveis de gestão e por qualquer pessoa da comunidade. A saúde, em seu conceito amplo, é o resultado de esforços tanto dos governos quanto da sociedade, sendo portanto imprescindível que a população se aproprie dos conhecimentos sobre sua situação de saúde, podendo assim ser agente modificador de comportamentos patológicos envolvidos no processo saúde-doença. Deve-se buscar instituir e proporcionar condições para que haja democracia participativa e que a sociedade civil se torne protagonista no processo de controle social em políticas públicas de saúde (ROLIM et al., 2013).

A participação social nas decisões sobre saúde é uma das diretrizes do sistema de saúde brasileiro. A Lei 8080, de 19 de setembro de 1990, que regulamenta as ações e serviços de saúde e dispõe sobre o Sistema Único de Saúde (SUS), em seu artigo sétimo, enumera os treze princípios a serem observados pelo SUS, dentre os quais destacamos o direito à informação, às pessoas assistidas, sobre sua saúde; a divulgação de informações quanto ao potencial dos serviços de saúde e a sua utilização pelo usuário; utilização da epidemiologia para o estabelecimento de prioridades, a alocação de recursos e a orientação programática (BRASIL, 1990).

Além disso, encontramos outras diretrizes do SUS na Constituição Federal, notadamente nos artigos 196 a 200, onde estão preconizadas a participação da comunidade, a execução de

ações de vigilância sanitária e epidemiológica e o incremento, em sua área de atuação, do desenvolvimento científico e tecnológico (BRASIL, 1988).

As informações sobre mortalidade em acidentes no Brasil são obtidas pela análise dos bancos de dados do Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM), que é alimentado pelas secretarias de saúde dos estados e municípios. O SIM foi desenvolvido pelo Ministério da Saúde em 1975 e é produto da unificação de mais de quarenta modelos de instrumentos utilizados, ao longo dos anos, para coletar dados sobre mortalidade no país. Possui variáveis que permitem, a partir da causa mortis atestada pelo médico e descrita na Declaração de Óbito (DO), construir indicadores e processar análises epidemiológicas que contribuam para a eficiência da gestão em saúde (BRASIL, 2016).

Neste cenário, em que se faz necessária a avaliação contínua de grandes bancos de dados, visando o aprimoramento das ações preventivas e estratégias de controle em todos os níveis de gestão, a Tecnologia da Informação é ferramenta indispensável na construção de novos saberes em saúde. Amplamente difundida em instituições governamentais, possui pontos positivos quando implantada nos serviços de saúde, tais como o aumento da adesão aos protocolos clínicos, o incremento na capacidade de executar vigilância e monitorar as condições da doença, redução de erros nas medicações e custos de diagnósticos e maior aproveitamento do tempo dos profissionais de saúde (HALAMKA, 2006).

Diante desse contexto, um sistema eficiente de gerenciamento de dados é essencial para acessar informações de forma segura, rápida e organizada, a fim de que se possam estabelecer relações importantes entre os dados e extrair conclusões que orientem tomadas de decisão. A adoção cada vez maior de sistemas de informação na saúde resulta em enorme volume de dados e a avalanche de informações clínicas geradas requer apoio computacional para a tomada de decisões (CARVALHO; ESCOBAR; TSUNODA, 2014).

Para atender a este contexto, a informática em saúde apropria-se de metodologias da ciência da computação para realizar estudos na saúde, dentre elas, a metodologia *Knowledge Discovery in Databases* (KDD), ou seja, descoberta de conhecimento em bases de dados (GALVÃO, 2009). A metodologia KDD pode ser definida como o processo de extração de informação a partir de informações registradas numa base de dados, um conhecimento implícito, previamente desconhecido, potencialmente útil e compreensível (QUONIAM et al., 2001; GOLDSCHMIDT; PASSOS, 2005; ABBOTT; LEE, 2006).

No processo de KDD, a principal fase é a chamada Mineração de Dados (MD), área de pesquisa multidisciplinar, incluindo tecnologia de bancos de dados, inteligência artificial, aprendizado de máquina, redes neurais, estatística, reconhecimento de padrões, sistemas baseados em conhecimento, recuperação da informação, computação de alto desempenho e visualização de dados. É uma das alternativas mais eficazes para extrair conhecimento a partir de grandes volumes de dados, descobrindo relações ocultas, padrões e gerando regras para prever e correlacionar dados, que podem ajudar as instituições em tomadas de decisão de forma mais rápida ou até mesmo a atingir um maior grau de confiança (CARDOSO et al., 2008).

No estado do Ceará, no âmbito da Secretaria de Segurança Pública e Defesa Social (SSPDS-CE), diariamente são emitidos laudos médicos com dados sobre mortes por ATT. Estes dados são inseridos no sistema de informações da Perícia Forense do Estado do Ceará (PEFOCE), órgão vinculado à SSPDS-CE, e os números absolutos são consolidados e encaminhados ao SIM, através da base de dados estadual que fará parte do consolidado nacional. Porém, os dados descritivos contidos nos laudos médico-legais são pouco estudados, a despeito de sua riqueza de informações de caráter epidemiológico e social. O sistema de informações utilizado não permite formação de associações e retirada de conclusões. Além disso, embora os profissionais que elaboram os laudos médico-legais produzam uma grande quantidade de informações úteis, alguns dados importantes podem estar sendo negligenciados na elaboração destes documentos.

Neste contexto, a aplicação da MD nos bancos da SSPDS-CE se constitui numa poderosa ferramenta para captação de informações desorganizadas, a partir de bancos de dados muitas vezes não preparados para a retirada de conclusões; pode contribuir ainda para a descoberta de fatores ou comportamentos de risco, ajudando a delinear novos agravos à saúde e/ou à segurança; também pode ser utilizada na previsão de tendências futuras em eventos desfavoráveis à saúde e segurança pública.

Outro benefício da utilização desta técnica é a possibilidade de avaliar a forma como são confeccionados os laudos médico-legais, servindo como um parâmetro para o aprimoramento do processo e para o controle de qualidade do próprio sistema de informações utilizado na instituição. A técnica pode auxiliar na identificação de requisitos indispensáveis na construção do sistema de informações e orientar os profissionais de saúde a elaborar laudos médicos priorizando a utilização de dados essenciais.

Diante da necessidade de aquisição de conhecimentos em ATT que reflitam a situação epidemiológica do estado do Ceará, além da possibilidade de implementação de melhorias nos

sistemas de informação utilizados pela SSPDS-CE, a aplicação da MD se sobressai como método seguro e factível para a obtenção de informações úteis.

1.1 Justificativa e relevância do estudo

No Brasil, os ATT representam uma relevante causa de gastos públicos. O custo anual dos acidentes de trânsito nas rodovias estaduais, municipais e federais do Brasil, em 2005, foi de 9,16 bilhões de dólares, o que representou 1,02% do PIB brasileiro naquele ano (BRASIL, 2014). Esta magnitude é um fator que não deve ser negligenciado. O IPEA adverte que, na composição dos custos relacionados aos ATT, devem ser levados em consideração o custo do atendimento médico-hospitalar e reabilitação, custo do atendimento policial e de agentes de trânsito, custo de congestionamento, danos ao equipamento urbano, danos à propriedade de terceiros, danos aos veículos, impacto familiar, custo de outro meio de transporte, perda de produção, custo previdenciário, custo por processos judiciais, remoção de veículos e resgate de vítimas. Todos esses parâmetros, além de tornarem complexa a mensuração dos gastos públicos e custos sociais dos ATT, demonstram a diversidade de setores e instituições que precisam estar envolvidas na prevenção destes agravos (IPEA, 2003).

As organizações mundiais buscam estratégias para o enfrentamento aos ATT, e nesse contexto, a Organização Mundial da Saúde (OMS) estabeleceu a Década de Ação para a Segurança no Trânsito, período compreendido entre 2011 a 2020, com uma meta ambiciosa de reduzir pela metade as mortes e lesões por acidentes de trânsito até o final do período. (WHO, 2015). Ações direcionadas ao controle de velocidade nas rodovias, à melhoria da infraestrutura viária, segurança veicular, aplicação eficiente da legislação de trânsito, qualificação da atenção hospitalar pós trauma e fortalecimento de lideranças em segurança viária têm sido recomendadas por seu impacto positivo da redução de óbitos por ATT (WHO, 2015).

Nesse contexto, todos os órgãos envolvidos no controle deste agravo de saúde pública/coletiva devem ter dados claros e atualizados, em todas as etapas do processo de obtenção dessas informações, sempre visando o aprimoramento do processo de coleta e tratamento dos dados.

Um dos órgãos responsáveis pela formação de dados sobre ATT no Ceará é a Perícia Forense do Ceará (PEFOCE), órgão técnico-científico incumbido de exercer atividades de perícias médico-legais, criminalísticas, papiloscópicas e laboratoriais (CEARÁ, 2008). Nesta instituição, o papel do médico perito-legista é fundamental no estabelecimento de causas para os óbitos por ATT. É este profissional que tem o dever, a ele investido por lei, de esclarecer as

circunstâncias da morte, auxiliando a justiça no deslinde de acidentes ou de eventos intencionais contra a vida. A excelência no mister deste perito deve ser almejada e necessita de constante trabalho de capacitação e sensibilização dos profissionais. Os laudos de necropsias resultantes do trabalho destes peritos contêm informações valiosas, e ainda muito pouco utilizadas pelas diversas instituições responsáveis pela prevenção e controle dos ATT. As informações contidas nesses laudos constituem fonte riquíssima de dados demográficos, comportamentais, hábitos de saúde, epidemiológicos, dentre outros, e refletem de forma direta a realidade das pessoas atendidas pela PEFOCE. Pensando numa forma de colher essas informações, como parte de uma estratégia para obtenção de dados ainda não explorada por outros meios, a mineração de dados nesses documentos se configura como método factível e seguro para realizar essa tarefa.

A Mineração de Dados (MD) é uma alternativa para processar grandes volumes de dados dos Sistemas de Informação em Saúde, dada a sua capacidade de descobrir padrões úteis, novos e surpreendentes, realizando análises complexas sobre dados clínicos (CARVALHO; ESCOBAR; TSUNODA, 2014). Em saúde, já foi utilizada em estratégias de promoção à saúde e no controle de qualidade de serviços de emergência (VIANNA et al, 2010; SOUZA; ZAIA, 2015). É uma técnica resultante de pesquisas multidisciplinares e suas funcionalidades ensejam a sua utilização em diversas áreas do conhecimento, tais como marketing, finanças e manufatura. A utilização de diversos algoritmos permite a descoberta de conhecimento sob várias perspectivas diferentes, tornando a MD ferramenta com inúmeras possibilidades de uso.

Na pesquisa em saúde não se deve prescindir de tal instrumento, potente e pouco explorado. Apesar de todo desenvolvimento já realizado, esta área continua sendo objeto de pesquisas por novas soluções que se aproximem do real interesse dos potenciais usuários. Diversas razões têm sido apontadas para que haja constante pesquisa em MD. Apesar da existência de várias experimentações quanto ao uso desta técnica, a sua adoção nos processos de tomada de decisão mostra-se incipiente, devido à pouca familiaridade dos especialistas com a sua metodologia, vantagens e dificuldades. No modelo biomédico de promoção da saúde, ainda vigente em nossa sociedade atualmente, estudos estatísticos com objetivo de revelar relações lineares simples entre os fatores de saúde têm se sobressaído, e este modelo de trabalho é algo diferente do escopo da MD. Também é comum a exploração comparativa de técnicas de MD, deixando de lado algumas etapas importantes, relativas à interpretação e avaliação de resultados (CARVALHO; ESCOBAR; TSUNODA, 2014).

Reiterando a importância de investigações contínuas sobre ATT e suas múltiplas repercussões envolvendo óbitos e seus desdobramentos, o estudo intenta contribuir com a

ampliação do conhecimento, aproximando-se da mineração de dados e dos resultados que dela advêm, no sentido de reorientar políticas e tomadas de decisão no campo da gestão intersetorial.

Assim, propõe-se a análise de óbitos por acidentes de transporte terrestre por meio da mineração de dados, utilizando o banco de dados de necropsias da Perícia Forense do Ceará, a fim de contribuir com subsídios para embasar tomada de decisões e reorientação de políticas para a segurança no trânsito.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar os óbitos por Acidentes de Transporte Terrestre (ATT) no Ceará.

2.2 Específicos

- ✓ Caracterizar o perfil epidemiológico das vítimas fatais de ATT;
- ✓ Caracterizar as lesões descritas nos laudos de necropsias de vítimas de ATT;
- ✓ Identificar os fatores associados ao óbito por Traumatismo Cranioencefálico por ATT;
- ✓ Identificar os fatores associados ao óbito por ATT quando utilizado o modal motocicleta.

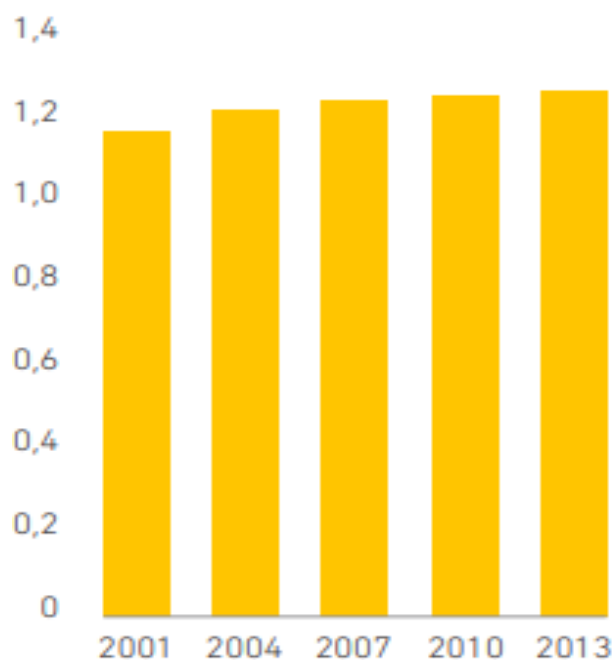
3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Magnitude dos Acidentes de Transporte Terrestre

O número de mortes por lesões no trânsito – 1,25 milhão em 2013 – tem se mantido praticamente estável desde 2007 (Figura 1), mesmo tendo ocorrido aumento mundial da população e da motorização (WHO, 2015). Entretanto, 68 países testemunharam um aumento do número de mortes por lesões no trânsito desde 2010. Destes países, 84% são de baixa ou média renda. A Região Africana apresenta as maiores taxas de mortalidade por lesões no trânsito (Figura 2). As taxas mais baixas são registradas na Europa, especialmente entre os países de alta renda. Muitos destes países têm conseguido, com bastante sucesso, atingir e manter a redução das taxas de mortalidade, apesar do aumento da motorização.

Figura 1 - Número de mortes por lesões no trânsito, em todo o mundo.

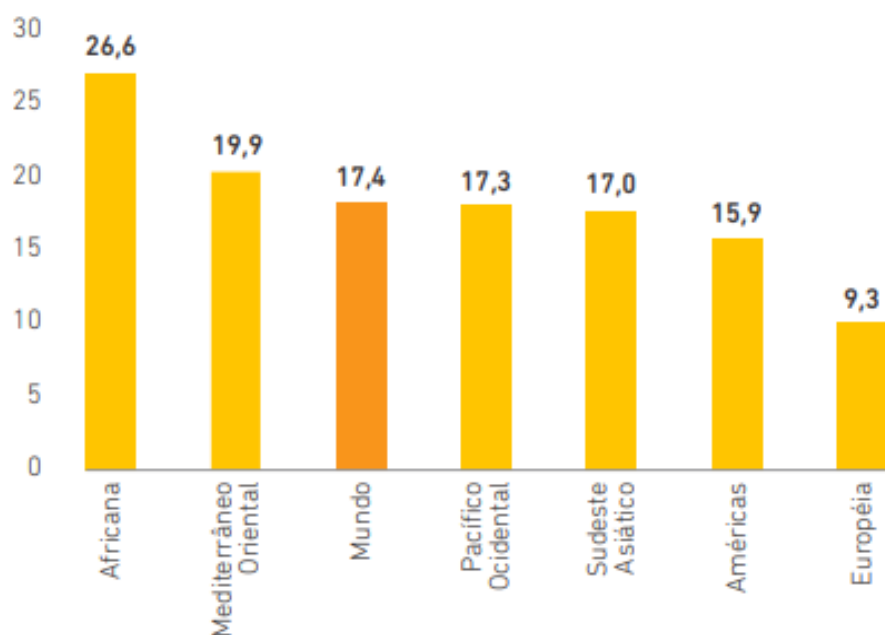
Mortes por acidentes rodoviários no mundo (em milhões)



Fonte: Relatório Global Sobre o Estado de Segurança Viária 2015 (OMS).

Figura 2 - Taxas de mortalidade por lesões no trânsito por 100.000 habitantes (2013), por região da WHO.

Taxas de Mortalidade por Acidentes Rodoviários, por 100 mil habitantes



Fonte: Relatório Global Sobre o Estado de Segurança Viária 2015 (OMS).

Globalmente, o impacto da mortalidade e morbidade tem diminuído desde 1990, principalmente

nos países mais desenvolvidos, enquanto que tem aumentado nos países mais pobres. Alguns estudos consideram que este fato deve-se ao crescimento da motorização e consequente aumento na densidade de tráfego. Assim, países como o Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul, que tem experimentado rápido crescimento econômico, levando a modificações no estilo de vida e ambiente, com subseqüentes impactos na saúde e mortalidade, necessitam ainda adequar sua estrutura viária e fortalecer a gestão do trânsito (HAAGSMA et al., 2015).

O avanço dos números dos ATT no Brasil tem se dado de maneira desproporcional quando se considera o aumento da própria população. No período de 2000 a 2012, a população brasileira cresceu de 173.448.346 para 199.242.462 habitantes, com aumento de 14,9% no período. Os óbitos por ATT elevaram-se de 28.995 para 44.812 nestes 13 anos, correspondendo a um aumento de 54,6%. Este número de óbitos representou uma taxa de mortalidade por ATT de 22,5 óbitos por 100 mil habitantes em 2012 (BRASIL, 2014). As taxas de mortalidade nas diversas regiões brasileiras variaram, com a região sudeste apresentando a menor taxa, 18,8, enquanto que o centro-oeste exibiu a maior, de 30,8 óbitos por 100.000 habitantes naquele ano (Tabela 1).

Tabela 1 - Acidente de Transporte Terrestre por residência da vítima por Regiões – Brasil.
Ano base: 2012.

Região	N	%	Taxa*
Norte	3.603	8	21,5
Nordeste	13.258	29,6	23,9
Sudeste	15.720	35,1	18,8
Sul	7.688	17,2	26,9
Centro-oeste	4.543	10,1	30,8

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2013.

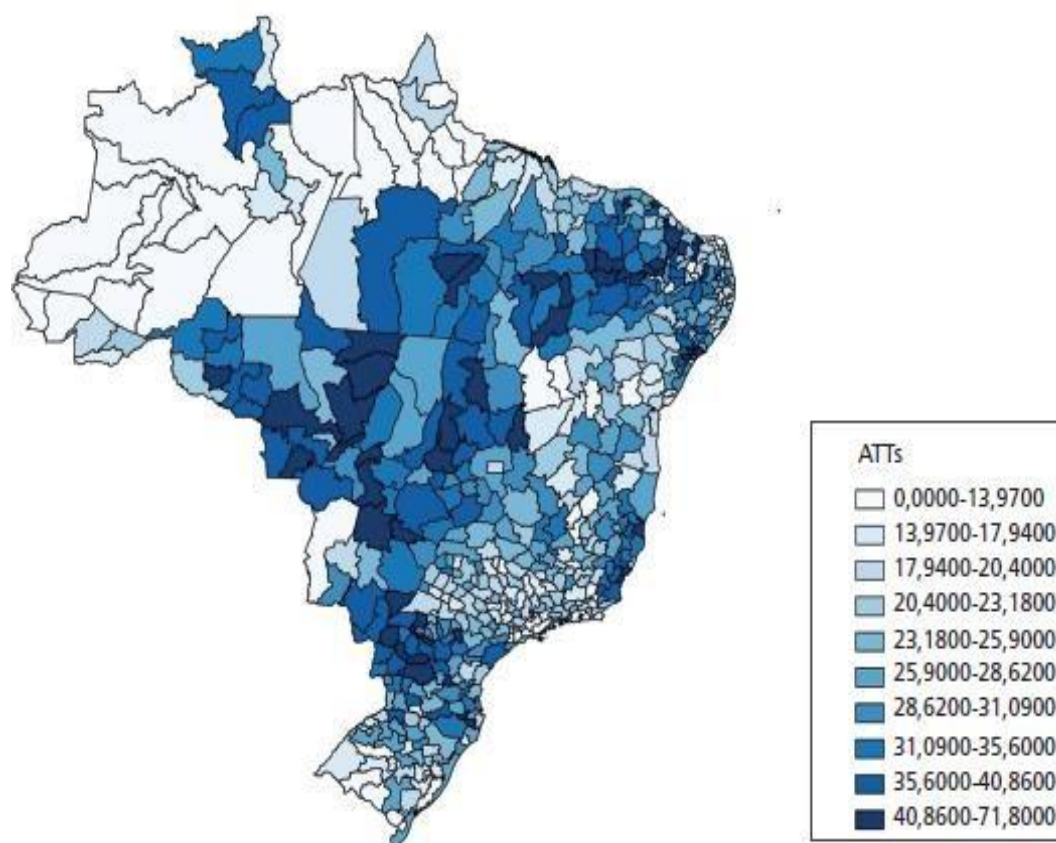
* Por 100 mil habitantes.

De acordo com dados divulgados pelo Ministério da Saúde, os ATT vitimaram cerca de 38 mil pessoas no Brasil, no ano de 2015. Além disso, houve aproximadamente 158 mil internações financiadas pelo Sistema Único de Saúde (SUS), no mesmo ano (BRASIL, 2017). Estudos do IPEA estimaram em cerca de R\$ 50 bilhões por ano os custos para a sociedade brasileira com os acidentes de trânsito, principalmente representados pela perda de produção das vítimas e gastos com atendimento médico-hospitalar (CARVALHO, 2016). Isso posto, fica claro o impacto deste agravo para a saúde e os dispêndios financeiros envolvidos, além de custos de outra natureza, como sociais, familiares e pessoais, de difícil mensuração. Entretanto, a magnitude real dos ATT ainda permanece desconhecida, visto as falhas na cobertura do SIM e a subnotificação desses eventos quando não há vítimas fatais. Têm-se começado a utilizar, recentemente, outras fontes de dados, como o Projeto VIVA (Vigilância de Violências e Acidentes), boletins de ocorrência da Polícia Rodoviária Federal e registros de atendimentos de serviços de urgência e emergência (RIOS et al., 2018).

No Brasil, considerando o aumento na renda das populações mais pobres que tem ocorrido nas últimas duas décadas, observou-se um incremento na aquisição de veículos e motocicletas, e destas principalmente nas regiões norte e nordeste, onde assumiram o papel de meio de transporte e instrumento de trabalho. Este cenário levou a um novo padrão de mobilidade no território, caracterizado pela coexistência de veículos, motocicletas, pedestres e ciclistas dividindo o espaço em vias não originalmente desenvolvidas para abrigar grandes volumes de tráfego (MORAIS NETO et al, 2016).

Analisando-se o local das mortes por ATT, observa-se que as maiores ocorrências de morte por 100 mil habitantes acontecem em um eixo que percorre o oeste do Paraná, passando pela região Centro-Oeste até a região Nordeste (Figura 3), destacando-se também as elevadas taxas de mortalidade em faixa litorânea a partir do Espírito Santo. Os estados com as maiores mortalidades por ATT são Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Tocantins e Piauí, com números superiores a trinta mortes para cada 100 mil habitantes em 2013. Essas taxas são bem superiores à média mundial, semelhantes às taxas observadas na África. Destacam-se negativamente também o Paraná, o Espírito Santo, o Ceará e Roraima.

Figura 3 - Taxa de mortalidade por Acidente de Transporte Terrestre nas microrregiões – Brasil. Ano base: 2013.



Podemos perceber que as regiões com menor PIB registram as maiores taxas, refletindo a desigualdade entre áreas mais ricas e mais pobres no enfrentamento a esses agravos. Na região Nordeste, em todos os estados houve aumento da taxa de mortalidade por ATT, no período de 2000, 2006 e 2012 (Tabela 2).

Tabela 2 - Taxa de mortalidade por Acidente de Transporte Terrestre na Região Nordeste – Brasil. Anos base: 2000, 2006 e 2012.

Estados	2000	2006	2012
Alagoas	19,9	19	25,4
Bahia	8,9	11,7	17,5
Ceará	16,9	20,1	26,4
Maranhão	9	14,6	26,1
Paraíba	12,1	18	23,4
Pernambuco	18,5	16,8	21
Piauí	14,5	22,6	34,1
Rio Grande do Norte	16,2	15	16,6
Sergipe	18,8	18,6	27,4

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2013.

O Ceará, segundo dados do SIM, tem apresentado taxas elevadas de mortalidade. Num levantamento realizado desde o ano 2010 ao ano de 2014, pôde-se observar que a macrorregião de Fortaleza foi a que apresentou a menor taxa, 22 óbitos por 100.000 habitantes no período, enquanto que a macrorregião do Litoral Leste/Jaguaribe exibiu as maiores mortalidades, semelhantes às taxas dos países africanos, da ordem de 37 óbitos por 100.000 habitantes.

Tabela 3 - Taxa de mortalidade por Acidente de Transporte Terrestre por Macrorregião do Ceará – Brasil. Anos base: 2010 a 2014.

Macrorregiões	2010	2011	2012	2013	2014	Média
Fortaleza	19	20	22	21	23	21
Sobral	33	32	36	35	39	35
Cariri	31	32	34	34	28	31
Sertão Central	32	29	33	29	43	33
Litoral Leste/ Jaguaribe	34	33	42	38	42	37

Fonte: BRASIL, 2017.

3.2 Políticas públicas para o enfrentamento aos ATT

Há várias décadas, os acidentes de trânsito têm preocupado os líderes de diversos países, devido ao forte impacto social e econômico que deles advêm. Assembleias mundiais têm tratado do assunto e grupos de trabalho multicêntricos têm se debruçado sobre o tema, a fim de chegar a estratégias eficazes no combate às fatalidades e morbidades relacionadas ao trânsito. Sendo um agravo multifatorial e complexo, as ações preconizadas pelos pesquisadores em geral possuem

um caráter variado e apelam para ações multissetoriais. É compreensível que tais estratégias sejam de difícil implementação, visto que envolvem tanto os líderes políticos, legisladores e detentores do poder econômico, quanto as camadas sociais, impactadas de maneira diversa pelo agravo; ações voltadas a um desses setores não necessariamente resultam no sucesso em outros.

Nessa seara, são apresentadas as principais ações políticas no enfrentamento aos ATT, em âmbito mundial, no Quadro 1.

Quadro 1 - Políticas para o enfrentamento aos Acidentes de Trânsito, em âmbito mundial

Ano	Ação	Escopo
2009	Primeiro Relatório Mundial da OMS sobre a situação da segurança viária	Reúne dados oriundos de 178 países acerca dos esforços desenvolvidos para melhorar a segurança viária.
2010	Assembleia Geral das Nações Unidas aprova a resolução 64/255, proclamando a “Década de Ações para a Segurança Viária 2011–2020”	Conclama para uma atuação multissetorial que possibilite aumentar a porcentagem para 50% de países com legislação abrangente sobre fatores de risco de lesões e mortes no trânsito, até o final da década.
2011	OMS lança o relatório “Mobile phone use: a growing problem of driver distraction”	Teve como objetivo a conscientização de condutores sobre os riscos do uso do celular durante a direção de veículos, apontando risco de duas a nove vezes maior de sofrer acidentes no trânsito.
2012	Assembleia Geral das Nações Unidas aprova a resolução 66/260	Encoraja os Estados-Membros a adotarem e implementarem uma legislação e regulamentação nacional de segurança viária sobre os principais fatores de risco, por meio de campanhas de sensibilização social e atividades consistentes e sustentadas de fiscalização e aplicação da lei.
2013	Segundo Relatório Mundial da OMS sobre a situação da segurança viária	Recomenda que os governos publiquem leis abrangentes para proteção de todos os usuários das vias, estabelecendo limites de velocidade adequados ao tipo e função de cada via, definindo limites de concentração de álcool no sangue que ajudem a reduzir a condução sob o efeito do álcool e exigindo medidas adequadas de proteção.
2015	Terceiro Relatório Mundial da OMS sobre a situação da segurança viária; lançamento da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável	Mostra dados de 180 países; enfatiza a disparidade entre os países de alta e baixa renda, em relação à mortalidade no trânsito.

Fonte: Adaptado pela autora (2018).

No Brasil, as ações legislativas sobre o trânsito iniciaram em 1910. O país estava em expansão, os centros urbanos começavam a se organizar e havia a necessidade de meios de transporte para que as distâncias fossem superadas. Nessa época, a indústria incipiente que se formava a partir dos lucros da cultura cafeeira foi essencial para o início da formação do sistema de transporte. O transporte ferroviário era hegemônico no início do século, tendo recebido aportes

financeiros de investidores estrangeiros. Nos anos da chamada República Velha (1889 a 1930), em que predominou a prática da República “café com leite”, os estados privilegiados da zona cafeeira e leiteira receberam maiores investimentos em transporte, o que possibilitou o desenvolvimento dessas regiões em detrimento de outras áreas do país. Considera-se que no governo de Washington Luís (1926 a 1930) tenha ocorrido o impulso inicial para o rodoviaríssimo brasileiro. Neste período foi ampliada a malha rodoviária, com rodovias federais e estaduais, criados impostos sobre combustíveis e construída a primeira via asfaltada do Brasil, a Rio-Petropolis (BRASIL, 2014).

O aumento progressivo do número de automóveis circulantes, mostrando a necessidade de regulamentação das estradas, levou à criação do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), em 1937, por Getúlio Vargas. A expansão da malha rodoviária no Brasil continuou, impulsionada pela criação de novos impostos a partir da segunda metade da década de quarenta e a instalação da indústria automobilística no país, em 1957, no governo Juscelino Kubitschek. A transferência da capital do Brasil do Rio de Janeiro para Brasília também colaborou com o desenvolvimento de novas rodovias, que ajudariam a escoar a produção industrial (BRASIL, 2014).

O uso do cinto de segurança como política de redução de acidentes e fatalidades no trânsito surgiu em 1985, com a Resolução do CONTRAN número 658/85. Entretanto, sua implementação plena ocorreu bem depois, já que a frota veicular no Brasil à época não estava adequada à nova exigência (BRASIL, 2015). O uso de cinto de segurança entre motoristas e ocupantes do assento da frente pode reduzir o risco de fatalidades em 45 a 50 por cento, e o risco de lesões leves e severas em 20 e 45 por cento, respectivamente (WHO, 2015).

A década de noventa do século XX trouxe uma série de transformações políticas, econômicas e sociais que modificaram as políticas macroeconômicas até então adotadas no Brasil e em outros países da América Latina. Após um período de profundas crises, baixo crescimento econômico e de tentativas fracassadas de contenção dos altos índices de inflação que assolavam o país, o Governo, mediante as impossibilidades de manutenção do bem-estar social e da distribuição de riqueza, passou a adotar medidas alinhadas às políticas macroeconômicas dos países desenvolvidos, visando à minimização do papel do Estado na economia e à política de privatizações, iniciada no Governo Collor. Dessa forma, alguns setores estratégicos da infraestrutura brasileira foram transferidos à iniciativa privada, tirando do aparelho estatal o ônus de novos investimentos em setores como o de transportes, telecomunicações, energia elétrica, petróleo e gás, entre outros (GIMENEZ, 2013).

Neste paradigma neoliberal, a concessão de rodovias à iniciativa privada teve lugar, sob críticas de diversos setores, que advogavam que bens públicos do país estavam sendo entregues ao

capital privado a preços bem abaixo do valor de mercado. Entretanto, é inegável o desenvolvimento da infraestrutura resultante do montante de investimentos realizados no período, com impacto positivo na redução de acidentes e fatalidades. Embora haja poucos estudos sobre o real efeito desta política, pesquisa de 2007 aponta que, em 2004, a privatização reduziu de 139 a 476 as fatalidades de trânsito no Brasil, enquanto ocorreram cinco mil acidentes de trânsito a menos no país (ORNELAS, 2007).

A criação do novo Código de Trânsito Brasileiro (CTB), em 1997, trouxe várias inovações com resultados positivos no número de acidentes e fatalidades no país. Instituiu o sistema de pontuação na carteira de habilitação, uma maior periodicidade da renovação da carteira de motorista e da inspeção do veículo, programas de educação no trânsito, e alterações na concessão da primeira carteira de habilitação (ORNELAS, 2007).

Série histórica sobre o impacto do CTB mostrou a redução em mais de cinco mil óbitos por ATT logo após a sua implantação em 1998. Entretanto, observou-se também que o alcance das medidas foi maior na região Sudeste do país, com pequena repercussão nas taxas das regiões Norte, Centro-oeste e Nordeste, levantando-se a hipótese de menor aplicação da fiscalização nestas regiões (MALTA et al., 2010).

O Código de Trânsito Brasileiro também instituiu o Sistema Nacional de Trânsito, organismo que congrega órgãos e entidades da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, com a finalidade de realizar atividades de planejamento, administração, normatização, pesquisa, registro e licenciamento de veículos, formação, habilitação e reciclagem de condutores, educação, engenharia, operação do sistema viário, policiamento, fiscalização, julgamento de infrações e de recursos e aplicação de penalidades.

O controle de velocidade através de dispositivos eletrônicos foi instituído em 2000, através do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), como uma iniciativa para aumentar a segurança dos usuários de rodovias federais. Diversos estudos comprovam as vantagens da redução da velocidade para um trânsito mais seguro. De acordo com a Conferência Global sobre o Uso da Tecnologia para Aumentar a Segurança nas Rodovias, realizada em Moscou em 2009, reduzir a velocidade em 1% leva a uma diminuição de 2% no número de feridos leves, 3% menos feridos graves e 4% menos mortos (BRASIL, 2010).

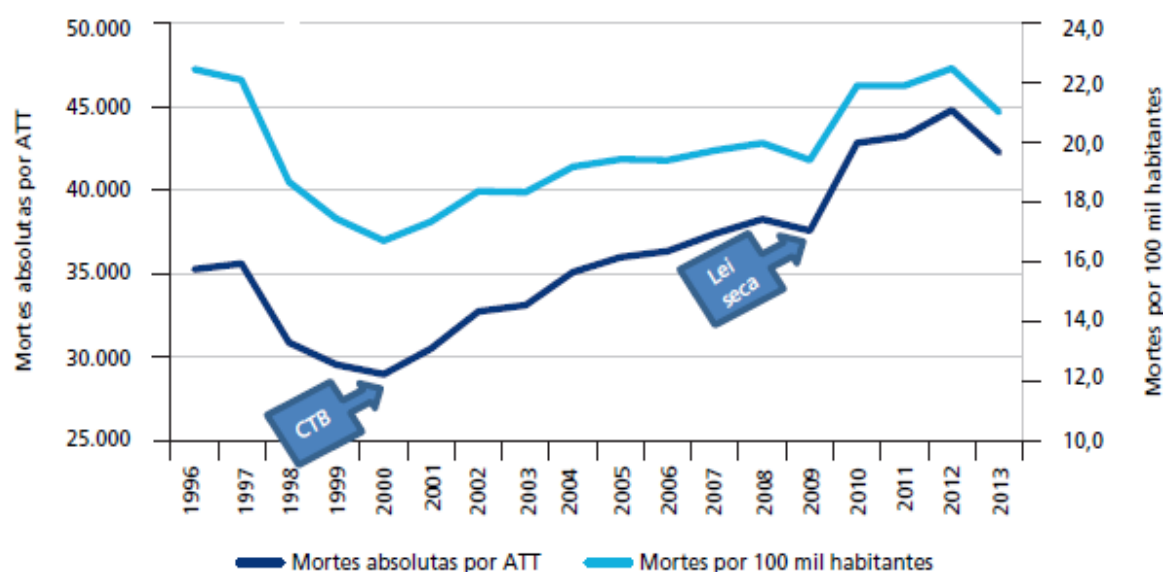
Para fazer frente a um problema com tamanho impacto e magnitude como os ATT, em 2001, o Ministério da Saúde desenvolveu um programa destinado à prevenção dos acidentes de trânsito, a partir da ótica de promoção da saúde e da qualidade de vida. Em alguns municípios do país, foi criado o Programa de Redução da Morbimortalidade por Acidentes de Trânsito (PRMMAT). Este programa passou a incorporar a pauta de ações do Ministério da Saúde, a partir do repasse do Seguro Obrigatório de Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Vias

Terrestres (DPVAT). Este fundo havia sido criado pelo Decreto N° 1.017, de 23 de dezembro de 1993, cujo texto refere-se à alocação de 50 por cento do valor total do prêmio do DPVAT ao Fundo Nacional de Saúde; contém ainda que 90 por cento desse montante destina-se à prevenção e ao atendimento das vítimas de acidentes de trânsito e 10 por cento ao repasse mensal para o coordenador do Sistema Nacional de Trânsito, responsável por sua aplicação exclusiva em programas de prevenção (SOUZA; MINAYO; FRANCO, 2007). O programa foi ampliado para mais onze municípios, em 2006, e serviria como um ensaio para a realização de pesquisas e desenvolvimento de outras estratégias.

O advento da chamada “Lei Seca”, lei 11.705/2008, foi um grande marco na legislação brasileira sobre segurança no trânsito. O relatório da OMS sobre segurança viária, produzido em 2015 (WHO, 2015), enfatiza que ações de controle de uso de bebidas alcoólicas por motoristas, com adequada fiscalização e punição a infratores, são medidas eficazes para redução de acidentes e mortalidades no trânsito. A comparação dos dados de mortalidade por ATT antes e depois da implementação desta lei permitiu identificar uma redução significativa neste indicador (MALTA et al., 2010).

Entretanto, a exemplo de outras políticas, como o próprio CTB, após alguns anos as taxas de mortalidade apresentaram tendência à estabilização e até mesmo elevação em alguns períodos (MORAIS NETO et al., 2013). Este efeito pode ser visualizado por meio do Gráfico1, onde se observam as tendências de taxas de mortalidade e número de óbitos por ATT, no período entre 1996 e 2013. Pode-se verificar um afrouxamento nas campanhas e ações fiscalizatórias por parte dos gestores e da própria sociedade, algum tempo após a mobilização inicial criada com a introdução da nova legislação. É incontestável, portanto, a necessidade de políticas permanentes de fiscalização e campanhas de conscientização da sociedade, para que não haja essa acomodação natural.

Gráfico 1 - Evolução do número absoluto de óbitos por ATT e da taxa de mortalidade por 100 mil habitantes no Brasil (1996-2013).



Fonte: CARVALHO, 2016.

Em 2010, insere-se o Projeto Vida no Trânsito (PVNT), parte da iniciativa internacional denominada ‘Road Safety in Ten Countries’ (RS 10), financiada pela Fundação Bloomberg Philanthropies. A iniciativa tem coordenação pela OMS. Foi constituída uma Comissão Nacional Interministerial para acompanhamento da implantação e implementação do PVNT, sob coordenação do Ministério da Saúde. Essa comissão elaborou um plano de ação nacional (2011-2012) a partir da definição de dois fatores de risco prioritários para intervenção, o uso de bebidas alcoólicas por motoristas e o controle de velocidade. Inicialmente, cinco capitais foram selecionadas para a implantação do projeto, que depois foi estendido para outras capitais. Apresentando resultados positivos, com a maioria dos municípios apresentando melhora nos indicadores pactuados, o projeto pôde aprofundar a discussão também sobre alguns aspectos ainda deficitários, como a insuficiente fiscalização e a fragmentação e descontinuidade de ações em ano de eleições municipais (MORAIS NETO et al., 2013).

O desenvolvimento de políticas em segurança no trânsito no Brasil foi, ao longo dos anos, trazendo ganhos à população, no sentido de trazer mais segurança, conforto e comodidade nos transportes, além de fomentar a participação social nas decisões, com a criação dos órgãos colegiados. O processo de municipalização também vem sendo implementado, a fim de tornar a participação popular e fiscalização das ações mais próximas da população. Entretanto, salienta-se que a interferência de interesses comerciais, econômicos e políticos de alguns setores perpassa boa parte das estratégias, muitas vezes com efeitos deletérios à sociedade, inclusive sustentando

iniquidades, na medida em que o desenvolvimento social está, tradicionalmente, fortemente atrelado a interesses particulares de alguns grupos.

A atual Política Nacional de Trânsito, dada pela Resolução CONTRAN nº 514/2014 (BRASIL, 2014), tem como escopo assegurar a integridade humana e o desenvolvimento socioeconômico do país, atendendo aos princípios de assegurar ao cidadão o pleno exercício do direito de locomoção, priorizar ações de defesa da vida, incluindo a preservação da saúde e do meio ambiente e incentivar o estudo e a pesquisa orientada para a segurança, fluidez, conforto e educação para o trânsito.

O Quadro 2 sumariza alguns dos principais marcos legais em políticas públicas para o trânsito no Brasil.

Quadro 2 - Políticas públicas para o trânsito no Brasil, 1910-2014.

Ano	Ação	Escopo
1910	Decreto 8.324	Tratava sobre os serviços de transporte por automóveis.
1922	Decreto Legislativo 4.460	Proibia algumas condutas, priorizava e incentivava a criação de estradas, além de criar medidas destinadas a evitar o uso de veículos com tração animal.
1927	Decreto Legislativo 5.141	Estimulava a criação de estradas entre as unidades federativas; criado o fundo especial para a construção e conservação de estradas de rodagem federais, o que demonstra o interesse em incentivar a criação de estradas e o uso de veículos automotores como meio de transporte.
1941	Decreto Lei número 2.994; Decreto Lei número 3.561 (revoga o DL 2.994)	Primeiro Código de Trânsito nacional; depois revogado pelo DL 3.561, pelo qual se criou o Conselho Nacional de Trânsito e os Conselhos Regionais de Trânsito
1966	Código Nacional de Trânsito (Lei 5.108)	Continha 130 artigos, produziu seus efeitos por 31 anos.
1985	Resolução CONTRAN 658/85	Torna obrigatório o uso de cinto de segurança nas rodovias federais brasileiras, porém ainda com muitas falhas na sua implementação, visto que os veículos ainda precisavam de adequação

Ano	Ação	Escopo
1995	Início da privatização/concessão de rodovias estaduais e federais brasileiras	Implementado em poucos estados; em 2014 representava apenas 1,13% do total das rodovias brasileiras, entre federais, estaduais e municipais
1997	Sancionada pelo presidente Fernando Henrique Cardoso a lei 9.503/1997	Institui o Código de Trânsito Brasileiro; cria o Sistema Nacional de Trânsito
1998	Entra em vigor o novo Código de Trânsito Brasileiro	Feição municipalista; contém capítulo destinado ao cidadão, à condução de escolares, pedestres e veículos sem tração motorizada, além de tratar dos crimes de trânsito. Possui caráter civilizatório; apresenta um capítulo específico sobre os crimes de trânsito, que não existia no Código de 1966.
2000	Implementados redutores eletrônicos de velocidade nas rodovias federais do Brasil	A implantação não se deu de maneira uniforme nos estados brasileiros.
2001	Programa de Redução da Morbimortalidade por Acidentes de Trânsito	Destinado à prevenção dos acidentes de trânsito, a partir da ótica de promoção da saúde e da qualidade de vida; início em cinco municípios do país; recursos do DPVAT.
2008	Lei 11.705	Lei “Seca”; estabelece alcoolemia 0 (zero) e impõe penalidades mais severas para o condutor que dirigir sob a influência do álcool
2010	Projeto Vida no Trânsito	Objetiva subsidiar gestores no fortalecimento de políticas de prevenção de lesões e mortes no trânsito, mediante qualificação, planejamento, monitoramento, acompanhamento e avaliação das ações com foco prioritário nos fatores de risco de ordem comportamental.
2014	Resolução CONTRAN nº 514	Institui a Política Nacional de Trânsito (revoga a res. 166/2004)

3.3 A importância do laudo necroscópico

3.3.1 Para Fins Legais

A legislação brasileira, em seu Código de Processo Penal (BRASIL, 1941), ressalta que a realização de perícia é indispensável sempre que houver prova material. O artigo 158 deste código afirma ser indispensável o exame de corpo delito, direto ou indireto, quando a infração deixar vestígios, não sendo possível supri-lo nem mesmo a confissão do acusado.

Desta forma, será mandatória a necropsia médico-legal em óbitos por causas externas, assim considerados os homicídios, acidentes de transporte, suicídios, eventos de intenção indeterminada, intervenções legais e outras causas de traumas acidentais, que correspondem aos códigos V01 a Y36 da CID-10.

Em acidentes de transporte terrestre com óbitos, a perícia do local do acidente e o exame necroscópico das vítimas compõem elementos que a autoridade policial utilizará, no inquérito policial, para chegar à autoria de possível infração, dando subsídios para que a Justiça apure responsabilidade e institua penalidades aos autores do fato. Nesse contexto, a necropsia deverá ser realizada o mais breve possível, sob condições adequadas, objetivando chegar com maior fidedignidade à verdade dos fatos. O laudo necroscópico é o instrumento resultante deste exame, sendo confeccionado pelo médico perito-legista oficial e emitido pelo órgão de polícia científica, sendo documento dotado de fé pública.

3.3.2 Para Fins Sociais

Os dados contidos no laudo necroscópico constituem fonte rica de informações sobre as características individuais, sociodemográficas e culturais do periciando, na medida em que são observadas a presença de elementos como má-formações congênicas ou adquiridas; estado nutricional; presença de patologias subjacentes; tipo de vestuário, cortes de cabelo ou barba; presença de tatuagens características de alguns grupos sociais ou religiosos, dentre outros aspectos. Em um contexto de morte violenta, estes fatores auxiliam as forças da Segurança Pública a estabelecerem o perfil de vítimas potenciais ou até mesmo de infratores, contribuindo para a prevenção de atos criminosos.

Outro aspecto a ser considerado é o fato de que, em nossa sociedade, a causa de morte de um indivíduo, quando relacionada a eventos violentos como suicídio ou homicídio, ainda é cercada de tabu, e tem um peso significativo no modo como as famílias das vítimas irão seguir suas vidas.

Alguns pesquisadores afirmam a probabilidade de que os dados referentes à mortalidade por suicídio não reflitam a realidade das mortes, por diversos motivos ligados ao fenômeno: a) por ser o suicídio um fato carregado de estigmas sociais, o que pode levar a registros de óbitos

sem a utilização desse termo; b) por motivos relacionados à lei e à justiça, em casos onde está em análise o não atendimento em casos de seguros de saúde, de vida, ou mesmo de possíveis ressarcimentos atribuíveis a vítima C) relutância do profissional médico em usar o código para suicídio, o que o leva a registrar o óbito como “morte acidental” ou “causa indeterminada”; d) a religião, visto que algumas tendem a condenar essa prática (MACENTE; ZANDONADE, 2010). Minayo (1998), sobre o fenômeno do suicídio, destaca o peso dos fatores socioculturais na subnotificação desses casos, evidenciando que no Brasil, devido à forte influência da cultura judaico-cristã, frequentemente familiares de vítimas de suicídio tentam esconder e negociar com quem notifica; em nível mais amplo, a sociedade estigmatiza a família e o sujeito que se suicidou.

Muitas vezes, familiares de vítimas de mortes violentas procuram mudanças de domicílio, modificam certos comportamentos, e podem até mesmo adquirir transtornos psiquiátricos como resultado de tais eventos, considerados traumáticos (CAVALCANTE; MORITA; HADDAD, 2009). Em casos de acidentes de trânsito, muitas vezes pessoas que perderam entes queridos por esses eventos se sentem compelidos a mudanças de comportamento, passando a adotar itens de segurança, por exemplo. Nesse sentido, a descrição das lesões encontradas nas vítimas de ATB pode trazer preciosas informações sobre as causas deste evento, contribuindo para o fomento à adoção de práticas de trânsito mais seguras.

3.3.3 *Para Fins Epidemiológicos*

As estatísticas de mortalidade são obtidas por meio da análise do SIM, cuja fonte de dados é a Declaração de Óbito (DO). Em casos de mortes violentas, o exame necroscópico é mandatório e o meio pelo qual se chega à causa mortis a ser registrada na DO. Assim, a necropsia médico-legal assume importante papel na composição das informações sobre mortalidade.

O correto preenchimento da DO se reveste de extrema importância porque, além de informações sobre as características individuais e sociodemográficas das vítimas, o documento contém referências sobre o local de ocorrência do evento, o tipo de causa externa e a intencionalidade (acidente, agressão, suicídio), dados fundamentais no planejamento de ações preventivas e na avaliação da eficácia dessas ações (MELO; BEVILACQUA; BARLETTA, 2013).

Falhas no preenchimento da DO podem levar a subestimativas e elevar a proporção de mortalidade por causas mal definidas (códigos R00 a R99 da CID 10) ou de causas externas cuja intenção é indeterminada (códigos Y10 a Y34 da CID 10). No Brasil, a inadequada definição da causa básica em óbitos violentos é um problema ainda persistente. Jorge et al. (2010) analisaram os dados do SIM em todo o território nacional e observaram a existência de significativo percentual de mortes em que a causa não está devidamente esclarecida. A definição da causa do óbito deve seguir um padrão mundial de regras de preenchimento, definido pela CID-10. Esta

padronização permite a comparabilidade das causas de mortalidade (MESSIAS et al., 2016), a fim de embasar tomadas de decisão. Políticas públicas sobre saúde e segurança no trânsito são desenvolvidas utilizando esses dados, portanto, é necessário buscar a maior aproximação possível com a realidade. Portanto, em casos onde a informação sobre a causa da morte não está clara, o laudo de necropsia pode ser consultado, contribuindo para que se chegue à causa mortis com a maior exatidão possível.

Outro problema observado é a cobertura do SIM. Nos municípios pequenos e médios, problemas de qualidade e subregistros de dados se relacionam à precariedade de funcionamento das instituições responsáveis pela produção das informações e à falta de mecanismos eficientes para o encaminhamento de vítimas de violências para as capitais e cidades polo onde esses serviços estão concentrados (MELO; BEVILACQUA; BARLETTO, 2013). Entretanto, há esforços por parte de governos e municípios para qualificar os registros; um indicativo deste fato é a progressiva diminuição de registros com a classificação “outros ATT”, que tem sido observada nos últimos anos (CARVALHO, 2016).

A descrição das lesões relacionadas à causa da morte, razão de ser do laudo pericial necroscópico, auxilia a caracterização dos mecanismos que levaram ao óbito. Isto pode ensejar a adoção de medidas educativas por parte das instituições gestoras do trânsito, além de mudanças legislativas em segurança veicular e engenharia de tráfego. Pode também auxiliar no desenvolvimento de protocolos de atendimento em emergência às vítimas do trânsito, contribuindo para a redução de mortalidade e lesões graves.

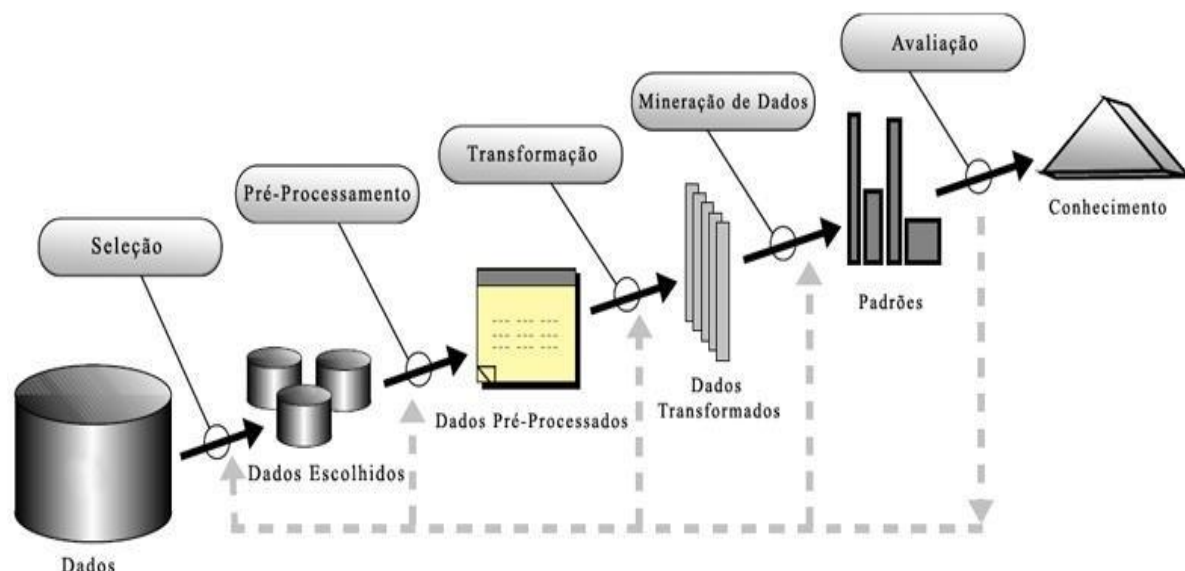
3.4 O processo de *Knowledge Discovery in Databases*

De acordo com Wives (2002), descobrir conhecimento significa identificar, receber informações relevantes, e poder processá-las e agregá-las ao conhecimento prévio de seu usuário, mudando o estado de seu conhecimento atual, a fim de que determinada situação ou problema possa ser resolvido. Sabe-se que o volume de informações disponíveis é muito grande, e, portanto, mecanismos automáticos de processamento tendem a tornar o processo de descoberta de conhecimento mais eficiente. Faz-se necessário automatizar este processo, principalmente através da utilização de softwares e computadores. Neste contexto, o processo de descoberta de conhecimento em bases de dados, ou *Knowledge Discovery in Databases* (KDD) vem dar resposta a essa problemática, realizando análise de dados ou informações a partir da manipulação de grandes quantidades de dados, com objetivo de aquisição de novos conhecimentos.

O processo de KDD é realizado utilizando uma metodologia que envolve um conjunto de fases (Figura 4). Estas fases podem ser específicas para uma determinada aplicação do processo, ou podem ser genéricas. Geralmente as etapas do processo de KDD são: seleção dos dados; pré-

processamento; transformação; mineração de dados; avaliação ou pós-processamento (FAYYAD; PIATETSKY-SHAPIO; SMYTH, 1996).

Figura 4 - Etapas do processo de descoberta de conhecimento (KDD).



Fonte: Adaptado de (SHAPIO; SMYTH, 1996).

Para iniciar o processo de KDD, é identificado o problema e então definidos os objetivos e metas a serem alcançados. O sucesso de todo o processo depende, neste momento, do envolvimento e participação de especialistas do domínio, no sentido de fornecerem conhecimento sobre a área (MORAIS; AMBRÓSIO, 2007). Isto depende dos esforços de três atores: o especialista no domínio, o analista de dados e o usuário. O analista de dados é o responsável pelas técnicas computacionais envolvidas no processo, com conhecimento sobre o funcionamento dos algoritmos e das ferramentas utilizadas, mas não necessariamente conhece o domínio ao qual os dados pertencem. O especialista de domínio, por seu turno, é o expert no domínio no qual as técnicas serão aplicadas. Já o usuário é o interessado no resultado do processo de mineração de dados, e pode ser o tomador de decisão (ARAÚJO; SANTANA; SANTOS NETO, 2015).

São então selecionados os dados a serem trabalhados, de acordo com os critérios e metas definidos. Passa-se a etapa de pré-processamento, em que faz-se necessária a aplicação de métodos para limpeza dos dados, integração, redução e transformação, uma vez que dados armazenados em bases de dados normalmente não estão em formato adequado para extração de conhecimento. Cada uma dessas fases vem detalhada a seguir (CAMILO; SILVA, 2009):

-Limpeza dos dados: Frequentemente, os dados são encontrados com diversas inconsistências: registros incompletos (chamados *missing* ou dados faltantes), valores errados e dados inconsistentes (chamados de “ruídos”). A etapa de limpeza visa eliminar estes problemas, de modo que eles não influam nos resultados das análises pelos algoritmos usados. As técnicas

usadas nesta etapa vão desde a remoção do registro com problemas, passando pela atribuição de valores padrões, até a aplicação de técnicas de agrupamento para auxiliar na descoberta dos melhores valores.

-Integração dos dados: É comum obter-se os dados a serem minerados de diversas fontes: banco de dados, arquivos de textos, planilhas, data *warehouses*, vídeos, imagens, entre outras. Surge então, a necessidade da integração destes dados de forma a termos um repositório único e consistente. Para isto, é necessária uma análise aprofundada dos dados observando redundâncias, dependências entre as variáveis e valores conflitantes (categorias diferentes para os mesmos valores, chaves divergentes, regras diferentes para os mesmos dados, entre outros).

-Redução dos dados: O volume de dados usado na mineração costuma ser alto. Em alguns casos, este volume é tão grande que torna o processo de análise dos dados e da própria mineração impraticável. Nestes casos, as técnicas de redução de dados podem ser aplicadas para que a massa de dados original seja convertida em uma massa de dados menor, porém, sem perder a representatividade dos dados originais. Isto permite que os algoritmos de mineração sejam executados com mais eficiência, mantendo a qualidade dos resultados. As estratégias adotadas nesta etapa são: criação de estruturas otimizadas para os dados (cubos de dados), seleção de um subconjunto dos atributos, redução da dimensionalidade e discretização.

-Balanceamento dos dados: Uma base de dados é dita desbalanceada quando existem muito menos casos de algumas classes do que de outras (CHAWLA; JAPKOWICZ; KOTCZ, 2004). Tais classes com pouca representação são chamadas de classes raras (WEISS, 2004). Outro tipo de desbalanceamento ocorre quando dentro de uma classe a distribuição dos atributos é muito assimétrica, levando à ocorrência de casos raros (desbalanceamento intraclasses). Algoritmos classificadores são muito sensíveis ao desbalanceamento, tendendo a valorizar as classes (casos) predominantes e a ignorar as classes (casos) de menor representação (PHUA; ALAHAKOON; LEE, 2004). Assim, seus resultados podem apresentar altas taxas de falsos negativos para as classes raras, o que é indesejável quando a classe de interesse é justamente uma das classes raras. Quando existem casos raros, estes podem não ser aprendidos pelo algoritmo, subestimando a representação destes no resultado final. Existem diversas técnicas e algoritmos desenvolvidos para realizar o balanceamento, capazes de chegar a uma amostra do banco que represente bem a informação a ser estudada e que permita o aprendizado do algoritmo de forma adequada, o mais próximo possível da realidade. Isto é alcançado com a eliminação de casos da classe majoritária (*undersampling*) ou replicação de casos da classe minoritária (*oversampling*). A amostragem justifica-se na medida em não se pode afirmar que a distribuição original dos dados seja a mais adequada para a construção de modelos (JO; JAPKOWICZ, 2004).

Dentre as técnicas de amostragem, citam-se o *oversampling* aleatório e o *undersampling*

aleatório. Alguns autores referem que esses métodos de amostragem podem provocar distorções nos modelos gerados. A simples replicação de casos da classe minoritária pode causar superestimação de informações, enquanto que a eliminação aleatória de casos da classe majoritária pode remover casos importantes para o processo de aprendizagem do algoritmo (MACHADO, 2007). Entretanto, pela facilidade de aplicação, esta técnica é bastante utilizada.

-Transformação dos dados: alguns algoritmos trabalham apenas com valores numéricos e outros apenas com valores categóricos, sendo necessário transformar os valores numéricos em categóricos ou vice-versa. Não há um critério único para transformação dos dados e diversas técnicas podem ser usadas de acordo com os objetivos pretendidos. Algumas dessas técnicas são: suavização (remover valores errados dos dados), agrupamento (agrupar valores em faixas sumarizadas), generalização (converter valores muito específicos para valores mais genéricos), normalização (colocar as variáveis em uma mesma escala) e a criação de novos atributos (gerados a partir de outros já existentes). Além disso, os dados pré-processados necessitam estar em formatos de arquivo adequados para serem utilizados pelas ferramentas de mineração de dados. Nessa fase, os dados são então convertidos no formato específico requerido pelos softwares.

Passa-se então à fase de mineração de dados. Esta etapa deve ser direcionada para o cumprimento dos objetivos definidos na etapa de identificação do problema. Na prática, envolve a escolha, configuração e execução de um ou mais algoritmos para extração de conhecimento. Estes algoritmos poderão ser executados diversas vezes (num processo dito iterativo), até que resultados mais adequados aos objetivos possam ser alcançados.

Então, chega-se à etapa de análise ou pós-processamento, em que são identificados padrões e regras, de acordo com o algoritmo selecionado. O conhecimento extraído na fase de mineração de dados pode gerar uma grande quantidade de padrões. Muitos destes padrões podem não ser importantes, relevantes ou interessantes para seu usuário. Para identificar apenas os padrões que possam interessar ao usuário, diversas medidas para avaliação de padrões têm sido pesquisadas, a fim de auxiliar o entendimento e utilização do conhecimento representado por estes padrões. Estas medidas podem ser divididas em medidas de desempenho e medidas de qualidade. Alguns exemplos de medidas de desempenho são precisão, erro, confiança negativa, sensibilidade, especificidade, cobertura, suporte, satisfação, velocidade e tempo de aprendizado. As medidas de qualidade consideram objetivos específicos relacionados ao conhecimento do domínio e ao interesse do usuário. Exemplos de medidas de qualidade são inesperabilidade e utilidade (MORAIS; ABRÓSIO, 2007).

Finalmente, caso o resultado final do pós-processamento não seja satisfatório para seu usuário final, todo o processo pode ser repetido até que este objetivo seja alcançado.

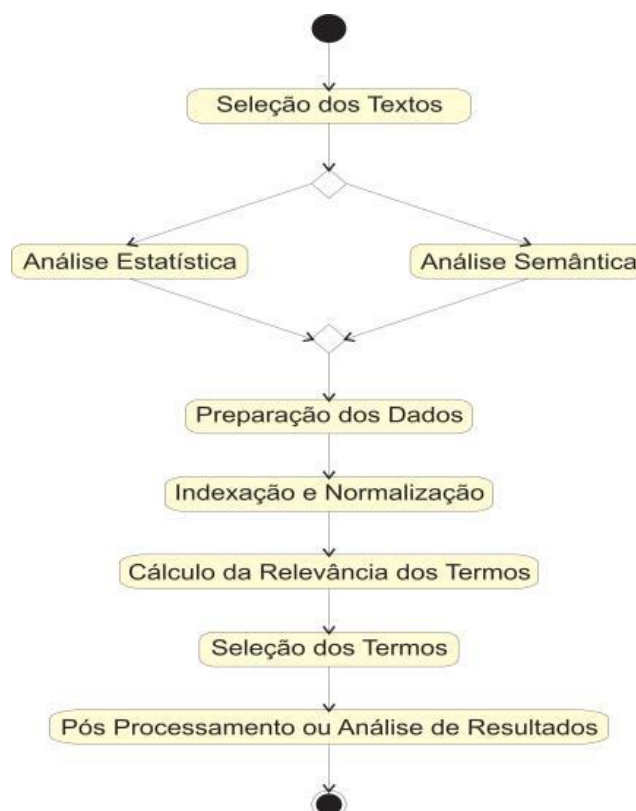
3.4.1 Descoberta de conhecimento em dados não estruturados

Nos casos em que se faz necessária análise de textos, isto é, dados não estruturados, técnicas e ferramentas específicas para tratamento dos dados são necessárias, configurando o que se denomina descoberta de conhecimento em textos, do inglês *Knowledge Discovery from Text* (KDT). Em grande parte das instituições públicas, a maioria das informações é armazenada na forma de textos, o que torna de suma importância a utilização do processo de KDT para a análise de dados (MORAIS; AMBRÓSIO, 2007). Daí a importância do desenvolvimento de técnicas para extração de conhecimento neste tipo de dado.

Em termos práticos, o KDT está centrado no processo chamado mineração de textos, área de atuação multidisciplinar, relacionada à recuperação de informação, análises textuais, processos de clusterização, categorização, visualização, tecnologias de base de dados e à própria mineração de dados. Relaciona-se a técnicas de processamento da linguagem natural, especialmente mediante linguística computacional.

Desta forma, também são descritas diversas etapas do processo de mineração de textos, quais são: a) seleção de documentos; b) definição do tipo de abordagem dos dados (análise semântica ou estatística); c) preparação dos dados; d) indexação e normalização; e) cálculo da relevância dos termos; f) seleção dos termos; e g) pós-processamento (análise de resultados) (Figura 5).

Figura 5 - Etapas do processo de mineração de textos.



Após a seleção dos textos a serem analisados, é definida a abordagem a ser utilizada na mineração de textos. A abordagem pode ser feita por análise semântica, baseada na funcionalidade dos termos a serem estudados, ou por análise estatística, baseada na frequência dos termos estudados. Pode-se ainda utilizar ambas as abordagens conjuntamente.

Em seguida, os dados passam pela fase de preparação, que envolve a seleção dos textos de interesse e a seleção do núcleo que melhor expressa o conteúdo destes textos (termos contidos nos documentos que expressem mais adequadamente a informação). Além de promover uma redução dimensional da base de dados, o objetivo desta etapa é tentar identificar similaridades em função da morfologia ou do significado dos termos nos textos.

Continuando o processo de KDT, têm-se a indexação e normalização. O objetivo dessas duas etapas é facilitar a identificação de similaridade de significado entre as palavras presentes nos textos, considerando as variações morfológicas e sinonímia. O processo resultará na construção de índices, que representarão da melhor maneira possível a informação a que se quer chegar. A construção de índices envolve a participação de especialistas no domínio de estudo, e os índices gerados num dado estudo podem diferir de um domínio para outro, tendo em vista as diferenças de vocabulário e significado em diferentes áreas do conhecimento. Durante o processo de indexação, são removidas as *stop words*, isto é, palavras consideradas não relevantes na análise de textos, justamente por não traduzirem sua essência. Preposições, pronomes, artigos, advérbios, e outras palavras auxiliares são exemplos de *stop words*. Em alguns casos, é interessante eliminar as variações morfológicas de um termo, através da identificação do radical da palavra. Prefixos e sufixos são retirados e os radicais resultantes são adicionados ao índice. Essa técnica de identificação de radicais é denominada lematização ou *stemming*, que em inglês significa reduzir uma palavra ao seu radical (ou raiz).

A seguir, procede-se ao cálculo da relevância dos termos. Nem todas as palavras presentes em um documento possuem a mesma importância. Em geral, termos que ocorrem mais frequentemente costumam ter significado mais importante, assim como palavras constantes em títulos ou cabeçalhos, já que foram ali adicionadas por serem consideradas relevantes ou descritivas para a ideia do documento. Logo, o cálculo de relevância de uma palavra em relação ao documento pode basear-se na frequência da mesma, na análise estrutural do documento ou na posição sintática de uma palavra. Geralmente, as análises baseadas em frequência costumam ser as mais utilizadas, já que são mais simples de serem implementadas; outros tipos de análise muitas vezes necessitam de técnicas mais complexas, como processamento de linguagem natural, por exemplo. Ao grau de importância de uma palavra em um texto dá-se o nome de peso.

Em seguida, faz-se a seleção dos termos, que pode ser baseada no peso ou na sua posição sintática em relação ao texto. As principais técnicas de seleção de termos são: a) filtragem baseada

no peso (elimina-se todos os termos abaixo de um limiar de peso estabelecido pelo usuário ou pela aplicação); b) seleção baseada no peso (seleção dos n termos mais relevantes, numa técnica denominada truncagem. Estabelece um número máximo de características a serem utilizadas para um documento e todas as outras são eliminadas); c) seleção por análise de co- ocorrência (leva-se em consideração os termos que ocorrem em vários documentos ao mesmo tempo); d) seleção por *Latent Semantic Indexing* (reduz a dimensionalidade por meio de um modelo espaço-vetorial; transforma os vetores de documentos originais em um espaço dimensional pequeno e significativo, fazendo uma análise da estrutura correlacional de termos na coleção de documentos) e e) seleção por análise de linguagem natural (aplicação de técnicas de análise sintática e semântica para identificar as palavras mais importantes de um documento).

A análise dos resultados, segundo Wives (2002), envolve técnicas de bibliometria, subárea da biblioteconomia encarregada de estudar e aplicar métodos matemáticos e estatísticos em documentos e outras formas de comunicação. Estas métricas podem ser utilizadas como forma de avaliação do processo de mineração de textos, a fim de verificar se o mecanismo funcionou ou não como deveria; podem informar ao usuário quantos e quais documentos ou termos são relevantes, além de quanto cada um deles tem importância no contexto. Algumas das principais métricas de avaliação de algoritmos são (FARIA, 2012):

- Acurácia: acurácia é a proporção dos documentos classificados corretamente (positivos e negativos) sobre o número total de documentos. De modo geral, quanto melhor o algoritmo, mais alta a acurácia. Entretanto, deve-se ter cuidado ao utilizar esta métrica quando o banco não possui a mesma quantidade de elementos por classe. Isto é, quando uma classe tem muito mais instâncias do que outra, geralmente o algoritmo tende a obter uma alta acurácia classificando todos os exemplos na classe majoritária. Quando ocorre esta situação, é importante utilizar outras medidas para avaliar o desempenho do algoritmo e o modelo gerado, conforme equação abaixo:

$$\text{Acurácia} = \frac{\text{Verdadeiros Positivos} + \text{Verdadeiros Negativos}}{\text{Verdadeiros Positivos} + \text{Verdadeiros Negativos} + \text{Falsos Positivos} + \text{Falsos Negativos}} \quad (1)$$

-Precisão: é a proporção dos documentos classificados corretamente como positivos. Pode-se dizer que uma alta precisão significa que a maioria dos documentos classificados como positivos foram identificados corretamente. A precisão é o número de documentos classificados verdadeiros positivos divididos pelo número total dos documentos classificados como positivos. É dada pela equação:

$$\text{Precisão} = \frac{\text{Verdadeiros Positivos}}{\text{Verdadeiros Positivos} + \text{Falsos Positivos}} \quad (2)$$

-Recall: mede a capacidade de reconhecer os documentos positivos, ou seja, pode-se dizer que a maioria dos documentos positivos foram encontrados. Corresponde ao número documentos corretamente classificados como positivo dividido pelo número total de documentos que realmente são positivos. É dado pela equação:

$$\text{Recall} = \frac{\text{Verdadeiros Positivos}}{\text{Verdadeiros Positivos} + \text{Falsos Negativos}} \quad (3)$$

-F-measure (ou medida F): é a média harmônica entre a precisão e o recall e é definida pela equação:

$$F = \frac{2 * \text{Precisão} * \text{Recall}}{\text{Precisão} + \text{Recall}} \quad (4)$$

A medida de Precisão se assemelha ao valor preditivo positivo de um teste; o *recall* é assemelhado à medida da sensibilidade. É necessária cautela ao se examinar as medidas de Precisão e *Recall* separadamente. Uma Precisão elevada geralmente significa sacrificar o *Recall* e vice e versa. Quando estas métricas são sintonizadas para obter o mesmo valor, então este é chamado *break-even* (ponto de equilíbrio) do sistema. Este *break-even* tem sido bastante utilizado em avaliações de sistemas de classificação de textos. A medida F combina Precisão e *Recall* em uma única medida, atribuindo importância igual a ambas as métricas. Quanto mais alto o valor da medida F, melhor deve ser a performance do sistema (FARIA, 2012).

3.4.2 Ferramentas para mineração de dados

O uso de mineração de dados em saúde vem se tornando cada vez mais frequente, à medida em que os bancos de dados dos Sistemas de Informações em Saúde vêm crescendo e criando a necessidade de apoio computacional para o estudo desses dados e a tomada de decisão. Segundo Fayyad et al. (1996), a mineração de dados utiliza dois modelos de trabalho; um modelo preditivo e um modelo descritivo. O modelo preditivo utiliza os valores disponíveis para obter valores futuros ou desconhecidos de outros atributos de interesse. Já o modelo

descritivo utiliza algoritmos na descoberta de padrões que possam ser interpretados pelos pesquisadores. Nas pesquisas no campo de saúde, tem sido mais frequente a utilização do modelo preditivo (JOTHI et al., 2015). A implementação do modelo preditivo é feita através de tarefas de regressão, quando os rótulos associados aos dados são numéricos e pertencem a um conjunto de valores contínuos (análise preditiva numérica), ou classificação, quando os rótulos associados aos dados pertencem a um conjunto discreto e finito de categorias (análise preditiva categórica) (SILVA; PERES; BOSCARIOLI, 2017).

Segundo Weiss e Indurkha (1998) definem, classificação é o processo de encontrar um conjunto de modelos que descrevem e distinguem classes, com o propósito de utilizar o modelo final para prever a classe de objetos que ainda não foram classificados. O modelo construído baseia-se na análise prévia de um conjunto de dados de treinamento, contendo objetos corretamente classificados.

Diversas ferramentas computacionais já foram desenvolvidas no intuito de facilitar a aplicação da Mineração de Dados, e com isto possibilitar que profissionais de outras áreas possam fazer uso dela (CAMILO; SILVA, 2009). Algumas delas estão listadas a seguir:

- *Clementine*: Uma das ferramentas líder de mercado, desenvolvida pela empresa SPSS.
- *SAS Enterprise Miner Suite*: Ferramenta desenvolvida pela empresa SAS. É uma das ferramentas mais conhecidas, possuindo módulos para trabalhar em todas as etapas do processo de mineração.
- *SAS Text Miner*: Ferramenta da SAS para mineração de textos.
- *WEKA*: É uma das melhores ferramentas livres. Possui uma série de algoritmos para as tarefas de mineração, que podem ser aplicados diretamente da ferramenta, ou utilizados por programas Java. Fornece as funcionalidades para pré-processamento, classificação, regressão, agrupamento, regras de associação e visualização.
- *Oracle Data Mining (ODM)*: É uma ferramenta para a Mineração de Dados desenvolvida pela Oracle para o uso em seu banco de dados ORACLE.
- *KXEN Analytic Framework*: Ferramenta de Mineração de Dados comercial que utiliza conceitos como Minimização de Risco Estruturada e outros.
- *IBM Intelligent Miner*: Ferramenta de mineração da IBM para a mineração de dados no banco de dados DB2.

- Pimienta: Ferramenta livre para mineração de textos.
- MDR: Ferramenta livre em Java para detecção de interações entre atributos, utilizando o método da *Multifactor Dimensionality Reduction* (MDR).
- LingPipe: Ferramenta de mineração livre voltada para análise linguística.
- KNIME: Plataforma de mineração de dados aberta, que implementa o paradigma de pipelining de dados.

O pacote WEKA (*Waikato Environmental Knowledge Ambient*) foi desenvolvido pelo Departamento de Ciências da Computação da Universidade de Waikato, na Nova Zelândia. É uma ferramenta que utiliza diversos algoritmos, capazes de trabalhar tanto o modelo preditivo quanto o descritivo; pode realizar tarefas de classificação, associação, clusterização (formação de agrupamentos) e seleção de atributos. Foi escrita na linguagem Java, o que permite que seja utilizada nos diversos tipos de plataformas, conferindo boa portabilidade ao software. É um software de código livre, ou seja, pode ser obtido sem custo, diretamente do site dos desenvolvedores. Oferece uma interface amigável, facilitando a utilização por usuários não afeitos a ferramentas mais complexas. Realiza as análises em arquivos no formato ARFF.

Para a tarefa de classificação (análise preditiva categórica), o WEKA utiliza diversas técnicas e abordagens. Cada técnica emprega um algoritmo de aprendizagem na identificação de um modelo que seja mais apropriado para o relacionamento entre o conjunto de atributos e o rótulo da classe dos dados de entrada. O modelo gerado pelo algoritmo de aprendizagem deve se adaptar bem aos dados de entrada (as instâncias) e prever corretamente os rótulos de classes de registros que ele nunca viu antes. As técnicas mais utilizadas para a tarefa de classificação (TAN; STEINBACH; KUMAR, 2006; CAMILO, SILVA; 2009; JOTHI et al., 2015), são as seguintes:

- Análise multivariada;
- Análise discriminante;
- Árvores de decisão: é uma abordagem não paramétrica para construir modelos de classificação, ou seja, não requer quaisquer suposições a priori quanto ao tipo de distribuição de probabilidades satisfeitas pela classe e outros atributos.
- *Swarm Intelligence* (Inteligência Coletiva);
- *K-nearest neighbor* (K-vizinho mais próximo); é um método de classificação baseada em instâncias. Requer uma medida de proximidade para determinar a semelhança ou distância entre instâncias e uma função de classificação que retorne

a classe prevista de uma instância de teste baseada na sua proximidade com outras instâncias;

- Regressão logística;
- Classificadores de Bayes: é utilizado quando a relação entre o conjunto de variáveis é não determinística, ou seja, quando um registro de teste não pode ser previsto devido à presença de fatores de confusão que afetam a classificação, mas não estão presentes na análise;
- Classificador baseado em regras: é uma técnica para classificar registros usando um conjunto de regras “se...então”. É apropriado para lidar com conjunto de dados com distribuições de classes desequilibradas;
- Redes neurais artificiais: utilizam uma estrutura inspirada nos sistemas neurais biológicos. De maneira geral, uma rede neural pode ser vista como um conjunto de unidades de entrada e saída conectados por camadas intermediárias e cada ligação possui um peso associado. Durante o processo de aprendizado, a rede ajusta estes pesos para conseguir classificar corretamente um objeto. É uma técnica que necessita de um longo período de treinamento, ajustes finos dos parâmetros; são muito sensíveis a “ruídos” nos dados de treinamento, e o treinamento de uma rede consome tempo, principalmente se o número de camadas intermediárias é grande;
- Máquina do Vetor de Suporte: este método funciona bem com dados de alta dimensionalidade; utiliza vetores de suporte como exemplos de treinamento.

Tendo em vista que objetivo chave do algoritmo é construir modelos com boa capacidade de generalização, ou seja, prever com precisão os rótulos de classes de registros não conhecidos previamente, a escolha do algoritmo a ser utilizado é de fundamental importância para o bom resultado da mineração de dados (TAN; STEINBACH; KUMAR, 2006). Devem ser avaliadas para a seleção do algoritmo ideal características do banco de dados como tamanho, alta ou baixa prevalência de dados faltantes, dados muito ou pouco balanceados, etc. As técnicas e respectivos algoritmos utilizados pelo WEKA para a tarefa de classificação estão sumarizados no Quadro 3.

Quadro 3 - Técnicas e algoritmos do WEKA para a tarefa de classificação.

Técnica de classificação	Algoritmos
Bayes (probabilístico)	Naive Bayes, Naive Bayes Simple
Regressão linear e logística	Linear Regression, Logistic, SMO, Voted Perceptron
Lazy (baseada em instâncias)	IB1, IBk, KStar
Regressão por discretização	Ada Boost M1, Additive Regression, Attribute Selected Classifier, CV Parameter Selection, Filtered Classifier, Meta Cost, MultiClass Classifier, MultiScheme, Regression By Discretization, Stacking, Threshold Selector
Técnica de discretização	Hiperpipes, VF1
Regras de decisão	J48.PART, Decision Table, OneR
Árvores de decisão	ADTree, Decision Stump, Id3, J48.J4

Fonte: elaborado pela autora (2018).

A ferramenta WEKA tem sido utilizada em trabalhos com bancos de dados em saúde ainda de forma incipiente, porém com resultados promissores. Vianna et al. (2010) realizaram a integração de três bancos de dados de saúde para a descoberta de conhecimento em óbitos infantis no Paraná, utilizando a ferramenta WEKA e o algoritmo J48 do programa, que realiza a tarefa de classificação e permite a visualização dos resultados em um diagrama chamado árvore de decisão. Esta consiste em um conjunto hierarquicamente ordenado de conceitos, iniciando em um nó raiz, onde cada conceito é dividido em subconceitos no próximo nível mais inferior da árvore. Com os resultados obtidos, verificou-se ser possível o mapeamento do risco de óbitos infantis no território, possibilitando o desenvolvimento de ações intersetoriais nas áreas mais críticas.

Malucelli et al. (2010) utilizaram a ferramenta WEKA, com o algoritmo J48, para o mapeamento e classificação de microáreas com riscos semelhantes, tendo alcançado bons resultados neste trabalho. Concluiu que é possível a utilização da mineração de dados como uma maneira de superar a subjetividade na classificação de microáreas de risco, otimizando a alocação de recursos nos locais onde existe real necessidade.

Em outro estudo, Dallagassa, Da Silva e Carvalho (2009) aplicaram o WEKA na base de dados de um plano de saúde, a fim de encontrar padrões na utilização de serviços que possibilitem a identificação de pacientes com indicativos de diabetes tipo 2, auxiliando a criação de medidas preventivas aos pacientes selecionados.

4 METODOLOGIA

4.1 Tipo, população e local de estudo

Estudo epidemiológico transversal analítico, que analisou laudos de necropsias de vítimas de acidentes de transporte terrestre, no Estado do Ceará, no período de 2010 a 2015.

4.2 Critério de inclusão

Foram selecionados do total de necropsias, apenas aquelas relacionadas a vítimas de acidentes de transporte terrestre registrados no sistema de informações da PEFOCE e emitidos por esta instituição, no período de 2010 a 2015.

4.3 Critérios de exclusão

Laudos de necropsia de vítimas de outras causas externas, que não ATT; laudos de necropsia com causa da morte consignada como indeterminada.

4.4 Coleta dos dados

Os laudos foram obtidos junto à PEFOCE, no município de Fortaleza, Ceará. Foram realizadas buscas no sistema de informações da instituição por meio de instrumento de coleta de dados contendo as variáveis de interesse (ANEXO A). A busca resultou em um total de 26.490 laudos, oriundas de óbitos por causas externas, incluindo homicídios, suicídios, ATT e outros acidentes.

A PEFOCE é o órgão técnico-científico vinculado à SSPDS-CE incumbido de exercer atividades de perícias médico-legais, criminalísticas, papiloscópicas e laboratoriais, auxiliando na prevenção e investigação de delitos, desastres e sinistros e executando perícias para comprovação da materialidade das infrações penais (CEARÁ, 2008). Em casos de ATT com vítimas fatais, é mandatório o exame necroscópico dos corpos dos indivíduos envolvidos no acidente, a fim de identificar a causa mortis e mecanismos de trauma que possam estar relacionados a fatos delituosos, dentre outros fatores. Este exame, realizado nas dependências dos oito núcleos da PEFOCE distribuídos por todo o estado, subsidiará o médico perito-legista no diagnóstico da causa da morte e orientará a elaboração da Declaração de Óbito.

Os laudos foram coletados nos meses de abril e maio de 2018.

4.5 Variáveis de análise

Foram avaliadas as variáveis sexo, idade, profissão, escolaridade, causa da morte, lesões descritas no laudo necroscópico, tipo de veículo envolvido (motocicleta ou outros modais de transporte), local da ocorrência e local de residência. O desfecho analisado neste estudo foi óbito por Traumatismo Cranioencefálico.

O Traumatismo Cranioencefálico (TCE) é qualquer agressão capaz de causar lesão anatômica ou comprometimento funcional do couro cabeludo, crânio, meninges ou encéfalo. Ocorre por lesão direta ao parênquima encefálico ou forças de impacto e inércia sobre o crânio e o encéfalo, gerando deformação, aceleração ou desaceleração, consequentemente comprimindo e destruindo estruturas vasculares e neuronais (PIRES; STARLING, 2006).

Não será avaliada a variável consumo de álcool pelo periciado, já que este dado é anexado em laudo complementar e não disponibilizado pelo sistema de informações utilizado neste estudo.

4.6 Tratamento dos dados

Os dados de necropsias registradas e emitidas pela PEFOCE no período de 01 de janeiro de 2010 a 31 de dezembro de 2015 foram disponibilizados em planilha em Excel, com mascaramento do número dos documentos e do nome dos periciados. Esta primeira planilha continha dados de necropsias por todas as causas, incluindo homicídios, acidentes de maneira geral e suicídios, já que o próprio sistema de informações da PEFOCE não permitia a visualização de necropsias por causas específicas. Sendo assim, foi levantado um total de 26.490 laudos, no período de estudo.

O banco de dados disponibilizado em Excel foi transferido para o software SPSS versão 23. No total de documentos disponibilizados, foi realizada uma busca de laudos que contivessem as palavras-chave "Moto", "Motocicleta", "atropelado", "atropelamento", "carro", "automóvel" e a expressão "acidente de trânsito" individualmente nos campos "Laudo" e "Resposta ao segundo Quesito", a fim de identificar os laudos relacionados a acidentes de trânsito. Ao fim deste processo, 4.745 laudos continham pelo menos uma das palavras-chave e foram identificados como óbitos por acidente de trânsito.

O tratamento dos dados foi implementado em quatro etapas, que estão descritas a seguir:

Etapa 1– Seleção dos laudos a serem estudados.

Os laudos de necropsias que atenderam aos critérios de inclusão no estudo foram tabulados para a extração das variáveis de interesse. Cada laudo recebeu um número de ordem, com vistas a preservar a identidade do periciando. Esta etapa foi implementada por meio do pacote SPSS versão 23.

Cada laudo, que agora passa a ser denominado instância, foi separado por causa de morte. Um quantitativo de 247 laudos foi retirado do banco, por apresentar causas de morte não relacionadas a ATT. Assim, cada causa de morte foi denominada de classe e cada laudo (instância) foi identificado como pertencente a uma classe.

A seguir, as classes obtidas passaram pela preparação, redução da dimensionalidade e balanceamento, utilizando o *undersampling* aleatório como método de amostragem. Optou-se por reduzir ao número de 200 instâncias as três classes majoritárias, utilizando um algoritmo de escolha aleatório. Assim, o banco de dados de trabalho passou a ter a seguinte composição (Tabela 4):

Tabela 4 - Distribuição das classes no banco de dados de trabalho.

Classes	n
Trauma cranioencefálico	200
Politrauma	200
Choque Hipovolêmico	200
Trauma Raquimedular	104
Trauma de Tórax	94
Trauma Abdominal	82
Choque Séptico	60
Total	940

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Cinco instâncias de cada classe, escolhidas de forma aleatória, foram avaliadas por um médico legista, a fim de identificar *stop words* e ruídos (Quadro 4) que pudessem interferir nas análises do algoritmo. Utilizando a ferramenta *wReplace* (disponível em: http://www.sharktime.com/us_wReplace.html), foi possível retirar esses termos das instâncias a serem mineradas. Este programa permite alterar ou substituir várias letras e palavras de cada vez, e pode ser obtido gratuitamente na internet. Foram também retiradas as letras maiúsculas, números e pontuação.

Quadro 4 - Lista de *stop words* e “ruídos” retirados dos laudos.

<i>Stop words</i>	“Ruídos”
De, da, do, das, dos	Termos: Pefoce, núcleo, IML, nomes de municípios
Para, pra, pelo, pela, por	Letras maiúsculas
Muito, muita, muitos, muitas	Números
Em, no, na, nos, nas	Pontuação

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

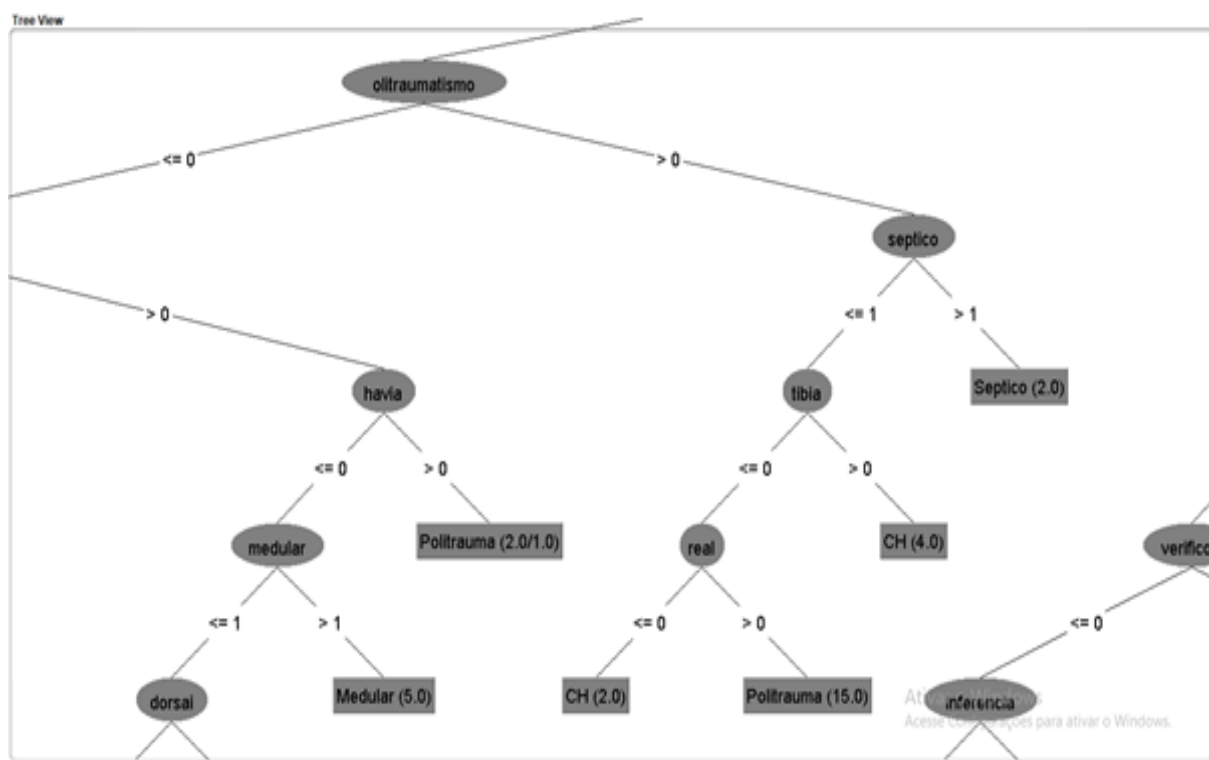
O banco de dados foi então convertido para o formato de arquivo ARFF, requerido pela ferramenta de mineração de dados, o pacote WEKA. A ferramenta utilizada para a transformação foi a Text Preprocessing Tool (disponível em: <http://sites.labic.icmc.usp.br/tpt>).

Etapa 3 – Mineração de dados.

O banco de dados de trabalho foi submetido à análise preditiva categórica. Para tanto, foi utilizada a ferramenta WEKA, a fim de implementar tarefa de classificação. Optou-se pela utilização do algoritmo J48, que permite a visualização das regras por meio de um diagrama chamado árvore de decisão. O algoritmo foi implementado utilizando a técnica de validação cruzada com 10 *folds*. Este método consiste em três passos: inicialmente a base de dados é dividida em 10 subconjuntos aproximadamente iguais; em seguida, nove subconjuntos são utilizados para treinamento (estimar o modelo) e o subconjunto restante é utilizado para testar; estes dois procedimentos são repetidos 10 vezes (neste trabalho o número de testes definido foi igual a 10), utilizando sempre um subconjunto diferente para testar. Em razão disto, todos os documentos estão disponíveis para teste. O resultado final é obtido pela média das taxas de acerto nas 10 iterações realizadas (FARIA, 2012).

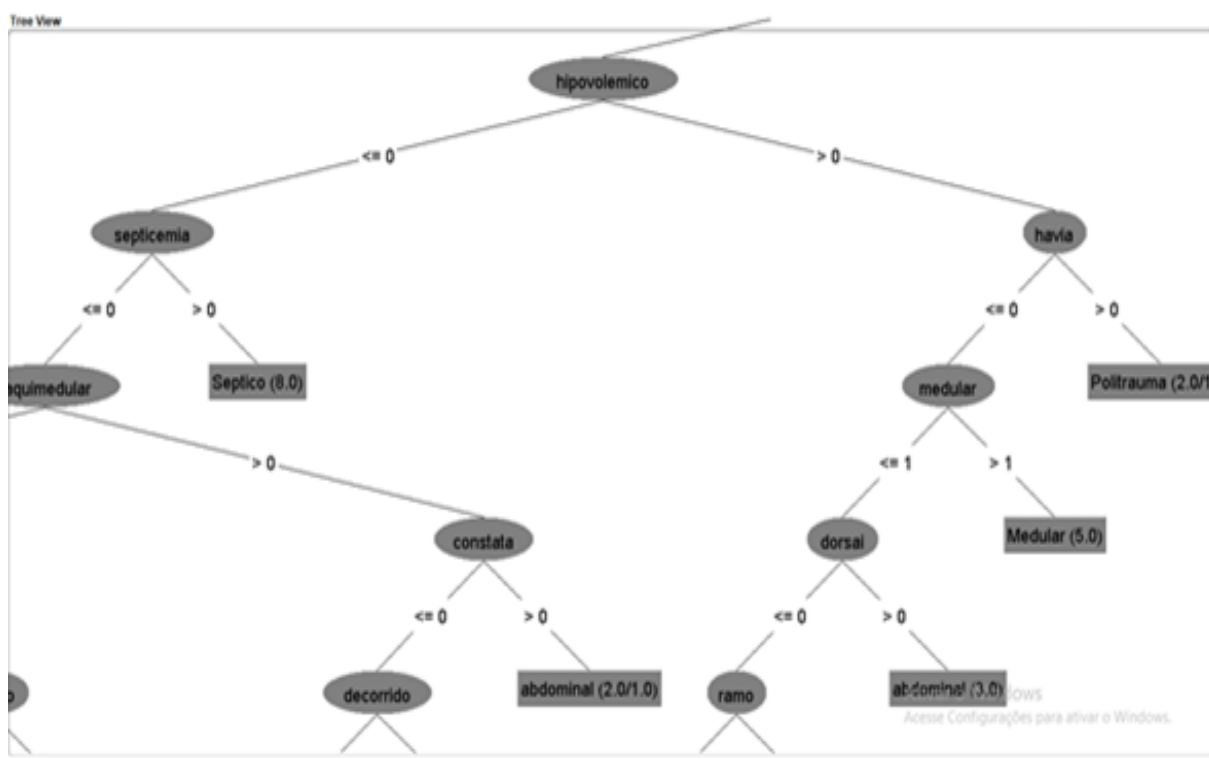
Nesta etapa, a ferramenta WEKA identificou um total de 4.072 atributos, isto é, termos a serem minerados para a tarefa de classificação. O algoritmo utilizado permitiu a construção de árvore de decisão e a obtenção de regras para classificação. Algumas partes da árvore de decisão gerada estão ilustradas nas Figuras 6 e 7. Foram também geradas 60 regras para classificação; deste total, observou-se que havia ainda algumas regras geradas a partir de *stop words*, que passaram despercebidas durante a elaboração da lista de *stop words* inicial. Dessa forma, essas regras foram excluídas, assim como as regras repetidas, resultando num total de 32 regras válidas.

Figura 6 - Tela de processamento de parte da árvore de decisão gerada pelo algoritmo J48.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Figura 7 - Tela de processamento de parte da árvore de decisão gerada pelo algoritmo J48.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Etapa 4– Pós-processamento.

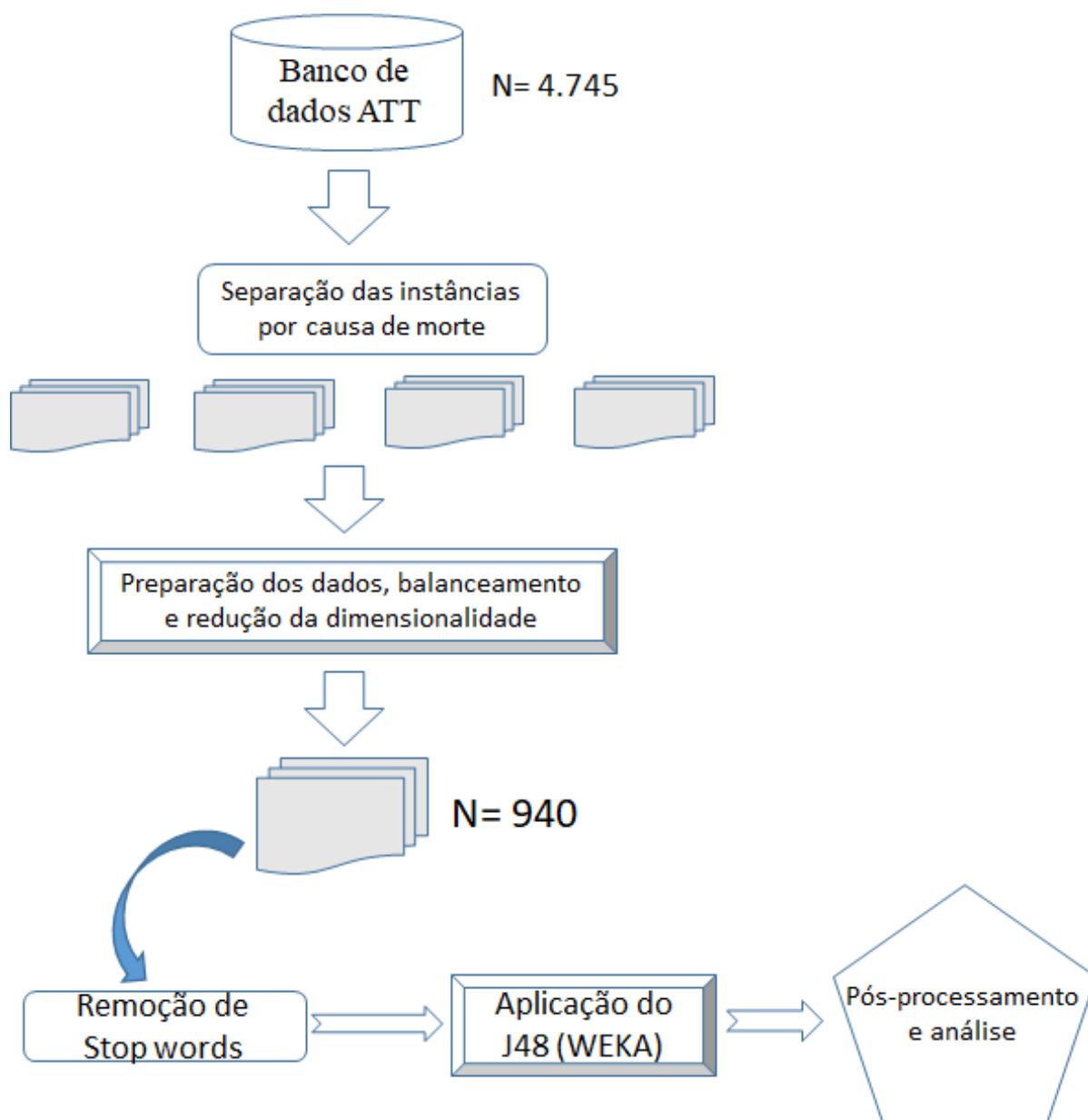
Foi realizada avaliação das regras obtidas pelo algoritmo sob a perspectiva do desempenho computacional e sob a perspectiva da qualidade da informação gerada.

Em relação ao desempenho computacional, foram utilizadas as métricas de Precisão, Recall e medida F. Medidas acima de 0,60 foram consideradas satisfatórias, para os objetivos deste estudo; abaixo deste valor, foram consideradas insatisfatórias.

Para avaliar a qualidade da informação gerada, foram considerados a compreensibilidade e o quão interessante é a regra. Nesta fase, foram selecionados três médicos perito-legistas que avaliaram separadamente cada regra. Estes especialistas foram selecionados por meio dos seguintes critérios: mínimo de 3 anos de atuação em Medicina Legal; atuação profissional no estado do Ceará. Os profissionais selecionados classificaram cada regra em três categorias possíveis: irrelevante (incompatível com a realidade); coerente (confirmam o que já se sabe); e interessante (apresentam padrões condizentes com a realidade, mas até então desconhecidos). Foram consideradas como trazendo conhecimento útil as regras que foram classificadas “coerente” ou interessante” por pelo menos dois dos três especialistas consultados. A lista de regras obtidas pelo algoritmo, assim como a classificação de cada regra pelos especialistas estão expostas no APÊNDICE A.

O tratamento dos dados está sumarizado na Figura 8.

Figura 8 - Fluxograma do tratamento dos dados.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

4.7 Análise dos dados

Foram gerados dados de estatística descritiva (frequências em números absolutos e porcentagem) e realizadas técnicas de estatística inferencial.

A força de associação entre as variáveis preditoras e o desfecho foi expressa em valores estimados de *Odds Ratio* (OR), com intervalo de confiança de 95%. Os testes foram implementados por meio do programa *SPSS Statistic 23*. As categorias idade de 20 a 59 anos, sexo masculino, somente alfabetizado, residente no interior do estado, ocorrência do acidente

no interior do estado, profissão agricultor e outros modais como meio de transporte foram consideradas como casos expostos, para comparação com as outras categorias.

4.8 Aspectos éticos legais

Este estudo foi respaldado nos princípios éticos da Resolução n.º. 466/12, que dispõe sobre as normas e diretrizes das pesquisas que envolvem seres humanos (BRASIL, 2012).

Desse modo, em cumprimento às deliberações desta resolução, o presente estudo foi encaminhado ao Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade de Fortaleza (COÉTICA). Ressalta-se que todas as deliberações deste comitê foram acatadas integralmente e respondidas em tempo hábil.

Esta pesquisa também foi apreciada pelo Centro de Estudos da PEFOCE. Dentre as recomendações desta instituição, estão a consignação de Carta de Anuência da instituição (ANEXO B), Declaração do Fiel Depositário (ANEXO C) e Solicitação de Isenção do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (ANEXO D).

Em relação aos riscos e benefícios, considera-se que toda pesquisa com seres humanos envolve riscos em tipos e graduações variadas. Entretanto, neste estudo o risco foi considerado mínimo, estando relacionado com a garantia da manutenção do sigilo e da confidencialidade das informações. Para minimizar este risco, não foram utilizados o nome ou outro dado que pudesse identificar informações pessoais dos periciados envolvidos.

Como benefício desta pesquisa, espera-se que os resultados possam subsidiar novas estratégias para o enfrentamento aos acidentes de transporte terrestre.

A pesquisa foi aprovada pelo COÉTICA em 01 de março de 2018, sob o número de CAAE 83033417.0.0000.5052 (ANEXO E).

5 RESULTADOS

Foram identificadas sete causas de morte relacionadas aos acidentes de trânsito. As causas relacionadas e suas distribuições estão descritas na Tabela 5.

Tabela 5 - Causas de morte identificadas nos laudos (2010 a 2015).

Causas de Morte Identificadas	n	%
Trauma cranioencefálico	2.493	55,42
Politrauma	1.070	23,78
Choque Hipovolêmico	597	13,27
Trauma Raquimedular	104	2,31
Trauma de Tórax	94	2,08
Trauma Abdominal	82	1,82
Choque Séptico	60	1,33
Total	4.498	100

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Do banco de dados de trabalho, foram extraídas as frequências das variáveis de estudo, apresentadas na Tabela 6. Os campos em que os dados não foram preenchidos ou foram consignados como “ignorado” ou outro termo que signifique ausência de informação foram agregados em uma categoria denominada “sem declaração”.

Tabela 6 - Necropsias de vítimas de acidentes de trânsito por faixa etária, sexo, escolaridade, profissão, local de residência e local de ocorrência do acidente, 2010 a 2015. (N = 4.745)

Faixa etária	n	%
Até 19 anos	397	8,4
20 - 59 anos	3257	68,6
60 ou mais anos	695	14,6
Sem declaração	396	8,3
Sexo	n	%
Masculino	3546	74,7
Feminino	537	11,3
Sem declaração	662	14
Escolaridade	n	%
Não alfabetizado	239	5
Somente alfabetizado	1508	31,8
Elementar incompleto	271	5,7
Elementar completo	268	5,6
Médio incompleto	167	3,5
Médio completo	335	7,1
Superior incompleto	39	0,8
Superior completo	41	0,9

Sem declaração	1877	39,6
Profissão	n	%
Agricultor	832	17,5
Estudante	212	4,5
Aposentado	180	3,8
Sem profissão definida	111	2
Outras profissões	1351	30,8
Sem declaração	2059	43,4
Local de residência	n	%
Fortaleza	675	14,2
RMF (exceto Fortaleza)	547	11,5
Interior do estado	2698	56,9
Sem declaração	825	17,4
Local de ocorrência	n	%
Fortaleza	724	15,3
RMF (exceto Fortaleza)	708	14,9
Interior do estado	3177	67
Sem declaração	136	2,9

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Nota: RMF: Aquiraz, Cascavel, Caucaia, Chorozinho, Eusébio, Guaiúba, Horizonte, Itaitinga, Maracanaú, Maranguape, Pacajus, Pacatuba, Paracuru, Paraipaba, Pindoretama, São Gonçalo do Amarante, São Luís do Curu, Trairi.

A distribuição de óbitos por ATT mostrou que a principal causa de morte foi o Traumatismo Cranioencefálico (TCE), principalmente nas faixas etárias até 60 anos (categorias até 19 anos e 20 a 59 anos). Na faixa etária acima de 60 anos, o TCE mostrou um *Odds Ratio* (OR) de 1,31 quando comparada com a faixa de 20 a 59 anos ($p < 0,001$).

Nos acidentes ocorridos em Fortaleza e RMF, observaram-se OR de 1,49 e 1,69 ($p < 0,001$), quando comparados aos ocorridos no interior do estado. Números semelhantes são observados na variável local de residência; nos residentes em Fortaleza e RMF, obtiveram-se OR de 1,58 e 1,55 ($p < 0,001$), quando comparados com os residentes no interior.

Em que se pese a incompletude da variável profissão, naqueles com este dado disponível, foi observado que 59,1% dos agricultores vieram a óbito por TCE. Esta causa também representou parcela importante na população com outras profissões declaradas, sendo responsável por 48,7% dos óbitos; nesta categoria, alcançou-se um OR de 1,52, quando comparado com a categoria agricultor. O TCE também representou mais da metade das causas de óbito, quando foi considerado o modal de transporte; quando o modal foi a motocicleta, o traumatismo cranioencefálico representou 46,6% das causas de óbito, e em outros modais, este percentual foi ainda maior, de 55,4% (OR de 1,42) (Tabela 7).

Tabela 7 - Análise dos óbitos por ATT, segundo faixa etária, sexo, escolaridade, local de residência, local de ocorrência, profissão, modal de transporte, Ceará, 2010 a 2015.

Variáveis	Traumatismo		Óbitos outras		OR (IC 95%)	p
	craniano		causas			
	n	%	n	%		
Faixa etária						
Até 19 anos	237	59,7	160	40,3	0,78 (0,63-0,97)	0,012
20 - 59 anos	1752	53,8	1505	46,2	1	
60 ou mais anos	326	46,9	369	53,1	1,31 (1,11-1,55)	<0,001
Sexo						
Masculino	1916	54	1630	46	1	
Feminino	259	48,2	278	51,8	1,26 (1,05-1,51)	0,006
Escolaridade						
Não alfabetizado	123	51,5	116	48,5	1,02 (0,78-1,34)	0,452
Somente alfabetizado	786	52,1	722	47,9	1	
Elementar incompleto	134	49,4	137	50,6	1,11 (0,85-1,44)	0,227
Elementar completo	125	46,6	143	53,4	1,24 (0,95-1,61)	0,056
Médio incompleto	83	49,7	84	50,3	1,10 (0,80-1,51)	0,303
Médio completo	175	52,2	160	47,8	0,99 (0,78-1,26)	0,508
Superior incompleto	17	43,6	22	56,4	1,40 (0,74-2,67)	0,186
Superior completo	22	53,7	19	46,3	0,94 (0,50-1,75)	0,486
Local de residência						
Fortaleza	304	45	371	55	1,58 (1,33-1,87)	<0,001
RMF exceto Fortaleza	249	45,5	298	54,5	1,55 (1,29-1,86)	<0,001
Interior do estado	1524	56,5	1174	43,5	1	
Local de ocorrência						
Fortaleza	335	46,3	389	53,7	1,49 (1,26-1,75)	<0,001
RMF	305	43,1	403	56,9	1,69 (1,43-1,99)	<0,001
Interior do estado	1786	56,2	1391	43,8	1	
Profissão						
Agricultor	492	59,1	340	40,9	1	
Outras profissões	832	48,7	876	51,3	1,52 (1,28-1,80)	<0,001
Modal de transporte						
Motocicleta	600	46,6	687	53,4	1,42 (1,25-1,61)	<0,001
Outros modais	1917	55,4	1541	44,6	1	

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Nota: RMF: Aquiraz, Cascavel, Caucaia, Chorozinho, Eusébio, Guaiúba, Horizonte, Itaitinga, Maracanaú, Maranguape, Pacajus, Pacatuba, Paracuru, Paraipaba, Pindoretama, São Gonçalo do Amarante, São Luís do Curu, Trairi.

A mineração de dados realizada pelo algoritmo J48, alcançou médias de Precisão, recall e medida F de 0,687, 0,693 e 0,689, respectivamente. Estas medidas atingiram os maiores

valores na classe Politrauma, seguida de Trauma Raquimedular e Trauma Cranioencefálico. A classe que obteve as menores métricas foi Trauma Abdominal, com Precisão 0,344, recall 0,268 e medida F 0,301 (Tabela 8).

Tabela 8 - Precisão, *recall* e medida F obtidas pelo algoritmo J48, validação cruzada 10 *folds*.

Classes	Precisão	Recall	Medida F
Trauma Cranioencefálico	0,786	0,79	0,788
Politrauma	0,81	0,83	0,82
Choque Hipovolêmico	0,656	0,705	0,68
Trauma Raquimedular	0,8	0,769	0,784
Trauma de Tórax	0,495	0,511	0,503
Trauma Abdominal	0,344	0,268	0,301
Choque Séptico	0,621	0,6	0,61
Média	0,687	0,693	0,689

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Legenda: valor > 0,60: Satisfatório; valor <0,60: Insatisfatório.

Das 32 regras válidas geradas pelo algoritmo, 16 foram consideradas “interessante” ou “coerente” por pelo menos dois dos especialistas consultados.

6 DISCUSSÃO

A análise do processo de MD nos laudos de necropsias resultou em métricas de avaliação consideradas muito boas, principalmente quando se fala na classificação das classes Politrauma, Trauma Raquimedular e Trauma cranioencefálico. Em outras palavras, o algoritmo foi mais eficiente em classificar laudos que pertenciam a estas classes.

Uma provável razão para este fato seria que, em laudos com estas causas de morte, os termos utilizados na descrição das lesões relacionam-se de maneira mais fidedigna e inequívoca à causa da morte, o que não ocorre na descrição de lesões por outras causas. As médias de Precisão, recall e medida F alcançadas pelo algoritmo, em todas as classes, obtiveram médias de 0,687, 0,693 e 0,689, respectivamente, e são consideradas satisfatórias para o objetivo deste estudo.

As classes Trauma de Tórax e Trauma Abdominal apresentaram métricas consideradas insatisfatórias, com resultados abaixo de 0,60. Possível razão para isto seria a presença de atributos (termos a serem minerados) muito heterogêneos utilizados na descrição das lesões.

A análise sob a perspectiva da qualidade da informação gerada também trouxe resultados pertinentes, quando se considera que 16 das 32 regras geradas foram classificadas como “coerente” ou “interessante” por, pelo menos, dois dos três especialistas consultados.

Isto indica que o modelo gerado pelo algoritmo J48 conseguiu realizar a classificação a contento, podendo ter aplicações em pesquisas futuras para o aperfeiçoamento de laudos necroscópicos

indo ao encontro de políticas públicas que retratam a importância de aprimorar ferramentas tecnológicas para qualificar, cada vez mais, o trabalho pericial (TEIXEIRA; NASCIMENTO, 2016).

Nessa ótica, as regras geradas pelo algoritmo podem ser utilizadas para a construção de um guia para elaboração de laudos médicos, em que estejam descritos todos os aspectos que possam ser relevantes para a descrição e compreensão de um óbito por ATT.

Este guia poderia, adicionalmente, ser utilizado no desenvolvimento de aplicativo para construção de laudos, atestando que esta ferramenta seria de grande utilidade para o aperfeiçoamento dos processos de trabalho dos médicos legistas. Em casos em que a causa da morte ainda não esteja totalmente esclarecida, a utilização de regras poderia servir de base para a decisão sobre qual lesão foi a causadora da letalidade.

Nesse raciocínio, a intersectorialidade teria como ganho as possibilidades de aprimorar políticas educativas e preventivas, bem como, redimensionar questões que demandam regulação de infrações que originam custos imensuráveis para todos os órgãos envolvidos no enfrentamento das possíveis causas, ocorrências, tratamento e reabilitação de pessoas vitimadas pelos acidentes de transporte terrestre.

Compreendendo a complexidade das dimensões que se inscrevem no enfrentamento dos ATT e a estreita relação dessas dimensões com a promoção da saúde e qualidade de vida das populações, estudos têm utilizados a MD para identificar fatores intervenientes. Souza e Zaia (2015), revendo a literatura sobre MD e promoção de saúde, reportam que muitos autores utilizaram algoritmos de classificação geradores de árvores de decisão, pois este modelo de trabalho traz informações específicas sobre fatores de risco e grupos alvo que podem ser usados em análise política para a tomada de decisões.

A OMS, em relatório sobre segurança viária, reforça a importância da qualificação dos dados para o monitoramento e avaliação das ações de enfrentamento aos acidentes de trânsito (WHO, 2015).

Assim, a mineração de dados aplicada ao banco de dados de necropsias vem somar aos esforços de enfrentamento aos ATT, na medida em que pode favorecer a identificação correta de causas de morte, auxiliando na codificação de óbitos e diminuindo a presença de garbage codes, ou seja, códigos correspondentes a óbitos sem causa definida. Isto poderia trazer melhorias para a cobertura e grau de confiança do SIM.

A análise da distribuição de óbitos por ATT mostrou que a principal causa de morte foi o TCE, principalmente nas faixas etárias até 60 anos. Entretanto, ao se analisar o *Odds Ratio* nesta faixa etária em relação à faixa de 20 a 59 anos, observou-se que ter 60 anos ou mais foi considerado fator de risco para óbito por TCE.

Melo, Silva e Moreira Júnior (2004), em seu trabalho sobre trauma crânioencefálico realizado em Salvador, Bahia, ressaltam que, embora haja predominância deste tipo de lesão em faixas etárias jovens, ocorrem dois picos importantes de incidência, na primeira década de vida e após os sessenta anos.

Da mesma forma, embora esta causa mortis também tenha predominado, em termos quantitativos, nos acidentes ocorridos no interior do Estado, nos residentes no interior e nos agricultores, houve relação positiva de óbitos por TCE em acidentes em Fortaleza e RMF, residentes em Fortaleza e RMF e não agricultores.

A predominância de ATT no interior do estado pode ter suas raízes no fato de que, em municípios de menor porte e menor renda, os comportamentos de risco de usuários das vias recebem menor fiscalização por parte das entidades gestoras do trânsito. Isto é corroborado por diversos estudos (WHO, 2015; MORAIS NETO et al., 2016).

O TCeraumatismo cranioencefálico também representou mais da metade das causas de óbito, quando foi considerado o modal de transporte; quando o modal foi a motocicleta, o traumatismo cranioencefálico representou 46,6% das causas de óbito, e em outros modais, este percentual foi ainda maior, de 55, 4%. Este fato chama a atenção para a importância do uso do cinto de segurança em veículos automotores, pois sua utilização é uma medida efetiva na redução de lesões graves devido a acidentes de trânsito, entretanto o emprego ainda é muito baixo, em especial no banco de trás, como atesta estudo realizado por Malta et al. (2016).

Percebe-se ainda a importância da motocicleta como meio de transporte, principalmente em populações de baixa renda, devido a várias peculiaridades que a tornam atrativa: facilidade de aquisição, econômica no tocante ao combustível, agiliza a mobilidade na malha viária. Tornou-se, ademais, um forte diferencial no mercado empregatício, além de que, favorece uma sensação de poder e liberdade. Esta compreensão é validada pela literatura (CAIAFFA; FRICHE, 2012; MORAIS NETO et al., 2016).

As variáveis escolaridade e sexo não se apresentaram estatisticamente significantes entre suas categorias quando se analisou o óbito por TCeraumatismo cranioencefálico, comparado a outras causas de morte. Possivelmente, outras variáveis podem ser fatores de confundimento e devem ser pesquisadas em estudos futuros. Rios et al. (2018) chegaram a conclusões semelhantes em estudo de base populacional em município baiano, no período de 2013 a 2015.

Os resultados encontrados estão em acordo com diversos estudos realizados em outros países. Os acidentes de trânsito representam uma das principais etiologias de TCE, no mundo todo (BRUNS; HAUSER, 2003).

No Brasil, existem poucos estudos sobre a prevalência do Traumatismo cranioencefálico como problema de saúde pública; na literatura, são encontrados diversos estudos epidemiológicos

transversais, tendo como base os pacientes internados em hospitais de trauma. Porém, um estudo mais abrangente, reunindo aspectos que detalhem sua importância como causa de morbidade e mortalidade ainda necessita ser empreendido. Sabe-se que uma de suas principais etiologias são os acidentes de trânsito (BRUNS; HAUSER, 2003). Segundo Magalhães et al. (2017), nos Estados Unidos a incidência de TCE alcança 538 casos por 100 mil habitantes, num total de 1,7 milhões de novos casos por ano; isto representa um custo para o país de aproximadamente 17 bilhões de dólares por ano. Na Europa, este agravo também alcança elevada incidência, de 235 casos por 100 mil habitantes, enquanto que na Austrália, os números são de 322 por 100 mil.

No Brasil, de 2008 a 2012 houve 125.000 internações por TCE por ano, uma incidência de 65,7 casos por 100 mil habitantes. A média de custos hospitalares anuais foi quase 71 milhões de dólares, sendo a média de custo por admissão de 568 dólares (ALMEIDA et al., 2016).

No Brasil, foram realizados diversos estudos epidemiológicos transversais sobre TCE, tendo como base os pacientes internados em hospitais de trauma, em caráter regional. Num estudo conduzido no Pará, num hospital de trauma de referência, avaliaram-se 394 casos de internações por TCE, entre janeiro de 2007 a março de 2008, e observou-se que a causa mais frequente deste tipo de trauma foi o acidente de trânsito, principalmente envolvendo motocicleta (VIÉGAS et al., 2013).

Em outro trabalho, que analisou os casos de TCE num hospital de referência em Salvador, Bahia, no ano de 2001, os acidentes de trânsito (incluindo os acidentes automobilísticos, atropelamentos, motociclísticos e veículos de transporte não motorizados) foram as principais causas de internamento em vítimas de TCE, perfazendo 40,7% das internações, seguidos das agressões físicas (25,4%) e quedas (24%) (MELO; SILVA; MOREIRA JÚNIOR, 2004).

Há poucos no contexto brasileiro, estudos com dados nacionais sobre o tema. Fernandes e Silva (2013) avaliaram os internamentos de indivíduos de 14 a 69 anos no Brasil por TCE no período de 2001 a 2007, e encontraram que as quedas foram a causa mais prevalente, seguida dos acidentes de trânsito; destes, o modal motocicleta representa o maior número de casos.

Há que se ponderar o período de estudo desses trabalhos, já que desde então algumas políticas já foram implementadas com impacto positivo na mortalidade; houve aumento progressivo do número de hospitalizações por TCE, devido à implantação e ampliação de serviços de assistência pré-hospitalar, como o SAMU. Antes, havia poucas internações e maior número de letalidades.

Neste contexto, reitera-se a importância do TCE como causa de morte, muitas vezes evitável no contexto dos acidentes de trânsito. Faz-se necessária a promoção de ações direcionadas à prevenção do TCE. Uso de capacetes, coibição da prática de beber e dirigir,

controle de velocidade, são ações importantes, porém ainda carecem de fiscalização mais intensa e sanções mais pesadas por parte dos órgãos responsáveis pela gestão do trânsito. Principalmente quando se fala em regiões com menor aporte de recursos financeiros, como as zonas rurais e municípios de pequeno porte, onde as práticas no trânsito sofrem influência de fatores culturais e econômicos diversos e a população vive sob condições onde as iniquidades sociais estão fortemente presentes.

Morais Neto et al. (2016) reporta que, neste estrato da população, as medidas com maior impacto na diminuição da mortalidade são o fortalecimento da legislação e fiscalização. Reforça essa premissa o relatório da OMS sobre segurança viária (WHO, 2015), que refere que o maior impacto nas morbidades e mortalidades no trânsito advém de políticas voltadas para coibir comportamentos perigosos no trânsito, tais como beber e dirigir, excesso de velocidade, não uso de equipamentos de proteção e dispositivos de retenção para crianças, que são colocadas em prática através de leis mais rigorosas e fiscalização mais eficiente.

As competências para legislar, gerir, fiscalizar e financiar questões envolvendo mobilidade urbana foram repartidas entre a União, Estados e municípios na Constituição Federal de 1988. Entretanto, essa conformação dos agentes responsáveis pela execução da política pública pode possivelmente ser uma das causas da entrega insatisfatória de serviços públicos. Para isso apontam-se duas razões: a) Dilui responsabilidade e aumenta os custos de fiscalização, tanto por parte da sociedade civil organizada quanto dos próprios entes públicos nos âmbitos municipal, estadual e federal; isso pode resultar num jogo de “empurra-empurra” entre os agentes; e b) Depende de uma boa relação intersetorial entre agentes em cada âmbito federativo, relação essa que pode não se materializar na prática. Caso a intersetorialidade seja deficiente, isto se traduziria em “vácuos” de ação estatal, ou em verdadeira usurpação de competências entre um e outro ente. Essas razões podem simultaneamente contribuir para a queda de qualidade de serviço público (MENDES et al., 2017).

Na prática, pode-se supor que ocorre a negligência na fiscalização do trânsito, principalmente em municípios de pequeno porte, onde se verifica ainda a existência de “currais” eleitorais, em que a cobrança de multas se torna causa de insatisfação social, e, portanto, é evitada a fim de preservar eleitores, numa verdadeira relação clientelista.

O clientelismo, que se refere a um tipo de relação entre atores políticos que envolve a concessão de benefícios públicos em troca de voto, é um atributo de diversos sistemas políticos, e perpassa a história política do Brasil, de formas variáveis ao longo dos anos (MORAIS, 2017).

Assim, persistem as iniquidades em saúde, que perpassam pela omissão dos agentes políticos e se estendem para além de abordagens individuais de fatores de risco, devendo considerar o papel da organização territorial e aspectos sociais, econômicos, políticos, bem como a dinâmica territorial e sua interação com a saúde.

A despeito deste estudo ter sido realizado em dados secundários, em que se identificam divergências entre o número de óbitos por ATT com ocorrência no Ceará registrados pelo SIM e o número de óbitos por ATT registrado no sistema de informações da PEFOCE, consideram-se que os resultados obtidos foram bastante significativos. Nos registros no SIM, encontra-se um total 13.798 óbitos, enquanto que o recuperado da Coordenadoria de Tecnologia da Informação da PEFOCE totaliza 4.745 laudos. Apontam-se algumas possíveis razões que explicam essa diferença numérica: a) declarações de óbitos por ATT emitidas em ambientes externos à PEFOCE, o que é proibido por lei; b) lacunas na alimentação do banco de dados, o que inviabiliza o resgate de informações; c) falhas no mecanismo de busca no atual sistema de informações; d) a ocorrência de óbitos por ATT no Estado do Ceará e a realização de necropsia por serviços médico-legais de outros estados, o que pode ocorrer no caso de transferência de corpos para estados vizinhos, na tentativa de prestação de atendimento médico às vítimas.

Não obstante à limitação das informações analisadas, a mineração de dados possibilitou a classificação de laudos de forma robusta e confiável, atestando, dessa forma, a potencialidade do seu uso na reorientação de políticas. Esta técnica, quando aplicada em laudos de necropsias, pode auxiliar no esclarecimento de óbitos de causa controversa e traz incentivos à responsabilização social dos peritos legistas, sensibilizando-os para a importância da qualidade da informação. Os conhecimentos obtidos por este meio de análise podem ainda ajudar a monitorar e avaliar ações de enfrentamento aos ATT, junto com informações de outros bancos de dados.

Tecnologias de big data já são realidade em vários países, e representam uma tendência crescente em diversos setores estruturais, como transportes, saúde, agricultura, planejamento urbano, segurança, indústria e mercado financeiro (PUGA; CASTRO, 2017). Desta forma, num contexto em que o volume de informações cresce exponencialmente, a mineração de dados deve se inserir cada vez mais nas práticas de gestão em saúde coletiva.

CONCLUSÃO

A análise de óbitos por acidentes de transporte terrestre permitiu destacar a importância do Traumatismo Cranioencefálico como significativa causa de morte, tanto em acidentes com motocicletas como também quando se utilizou outros modais de transporte.

Os óbitos se concentraram principalmente na faixa etária de 20 a 59 anos, no sexo

masculino, em indivíduos somente alfabetizados, agricultores, residentes no interior do estado e em acidentes ocorridos também no interior. O *Odds Ratio* de óbito por Traumatismo cranioencefálico foi de 1,4 em relação a óbitos por outras causas, quando utilizada a motocicleta como modal de transporte, ou seja, há chance 1,4 vezes maior de óbito por TCE quando em uso de motocicleta, quando comparado a outras causas.

O uso de mineração de dados no banco de necropsias de vítimas de acidentes de trânsito permitiu gerar 32 regras válidas para classificação, cuja metade foi considerada útil na aquisição de conhecimentos sobre este agravo. O algoritmo foi capaz de realizar a classificação de laudos a contento, atingindo boas métricas de avaliação.

O uso de laudos de necropsias como fonte de dados vem contribuir para a ampliação do conhecimento sobre óbitos no trânsito, e pode auxiliar, sobremaneira, a tomada de decisão. Entendemos que, no enfrentamento aos acidentes de transporte terrestre, por sua magnitude e impacto social, é inegável que quanto maiores e mais completas as fontes de informação e sua análise, mais subsídios teremos para o desenvolvimento de estratégias educativas, medidas de prevenção e regulação.

Percebe-se, desta forma, a importância de se manter a cadeia de informações a mais completa, fidedigna e atualizada possível. Nesse sentido, a mineração de dados em sistemas de informação em saúde vem auxiliar no processamento de informações, na medida em que é necessário analisar de forma rápida e automática grande volume de dados que revertam em aprimoramento de políticas públicas em prol da vida.

Para se atingir esse objetivo, necessário se faz a participação de diversos setores governamentais e da sociedade, incluindo qualificação permanente dos recursos humanos envolvidos na construção dos bancos de dados, desde a coleta até o processamento e tomada de decisão, como estratégia fundamental nesse processo. Enfatiza-se ainda a importância da participação efetiva de analistas de dados na composição dos recursos humanos dos órgãos gestores do trânsito.

REFERÊNCIAS

ABBOTT, P. A.; LEE, S. M. Data mining and knowledge discovery. In: SABA; Virginia K.; MCCORMICK, Kathleen A. **Essentials of nursing informatics**. 4th ed. New York: McGraw-Hill Medical Pub. Division, 2006.

ALMEIDA, Carlos Eduardo Romeu et al. Traumatic brain injury epidemiology in Brazil. **World neurosurgery**, v. 87, p. 540-547, 2016. Available from:
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878875015013637>>.

ALMEIDA, Rosa Livia Freitas de et al. Via, homem e veículo: fatores de risco associados à gravidade dos acidentes de trânsito. **Revista de Saúde Pública**, v. 47, n. 4, p. 718-731, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.org/scielo.php?pid=S0034-89102013000600718&script=sci_arttext&tlng=pt>.

ARAÚJO, Flávio Henrique Duarte; SANTANA, André Macedo; SANTOS NETO, Pedro de Alcântara. Uma Abordagem Influenciada por Pré-processamento para Aprendizagem do Processo de Regulação Médica. **Journal of Health Informatics**, v. 7, n. 1, p. 8-15, 2015. Disponível em: <<http://www.jhi-sbis.saude.ws/ojs-jhi/index.php/jhi-sbis/article/view/317>>.

BRASIL. Conselho Nacional de Trânsito. Resolução n. 514, de 18 de dezembro de 2014. Dispõe sobre a Política Nacional de Trânsito, seus fins e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 2014. Disponível em:
<<http://www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/Resolucao5142014.pdf>>.

_____. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, Senado, 1988. Disponível em:
<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm>. Acesso em: 10 out. 2016.

_____. Decreto-lei nº 3.689, de 3 de outubro de 1941. Código de Processo Penal. **Diário Oficial da União** - Seção 1 - 13/10/1941, Página 19699. Disponível em:
<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Decreto-Lei/Del3689.htm>.

_____. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Controle de velocidade. Programa Nacional de controle Eletrônico de Velocidade. **DNIT**, 29 dez. 2010. Disponível em:
<<http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviaras/controle-de-velocidade>>. Acesso em: 02 jul. 2018.

_____. Ministério da Saúde. Conselho Nacional de Saúde. Resolução n. 466, de 12 de dezembro de 2012. Aprova as diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos. **Diário Oficial da União**, v. 13, 2013. Disponível em:
<http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cns/2013/res0466_12_12_2012.html>. Acesso em: 03 nov. 2017.

_____. Ministério da Saúde. **Coordenação Geral de Informações e Análises epidemiológicas**. 2016. Portal da Saúde. Disponível em: <www.svs.aids.gov.br/cgiae/sim>. Acesso em: 03 out. 2016.

_____. Ministério da Saúde. Lei n. 8080, de 19 de setembro de 1990. Dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes e dá outras providências. Brasília, 1988. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8080.htm>. Acesso em: 10 out. 2016.

_____. Ministério da Saúde. Portaria nº 737, de 16 de maio de 2001. Considerando a necessidade de definição, no setor saúde, de uma política decisiva no sentido da redução da morbimortalidade por Acidentes e Violências. **Diário Oficial da União** n. 96, Brasília, 18 mai. 2001. Seção 1E. 2ed Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2005. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2001/prt0737_16_05_2001.html>.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria de vigilância à saúde. **Sistema de informações sobre Mortalidade – SIM**. 2017. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sim/cnv/ext10ce.def>>. Acesso em: 30 jul. 2017.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância à saúde. **Sistema de Informações sobre Mortalidade - SIM**. 2017. Disponível em: <<http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0205>> Acesso em: 03 mar. 2017.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância à saúde. **Sistema de Informação Hospitalar**. 2017. Disponível em: <<http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0203>> Acesso em: 20 mar. 2017.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Análise de Situação em Saúde. **Mortalidade por acidentes de transporte terrestre no Brasil**. Brasília: Ministério da Saúde, 2007. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/livro_mortalidade_transito.pdf>.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Análise de Situação em Saúde. **Saúde Brasil 2013: uma análise da situação de saúde e das doenças transmissíveis relacionadas à pobreza**. Brasília: Ministério da Saúde, 2014. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/saude_brasil_2013_analise_situacao_saude.pdf>.

_____. Ministério das Cidades. **Resoluções**. 2015. Disponível em: <<https://www.denatran.gov.br/resolucoes>>. Acesso em: 03 jul. 2018.

_____. Ministério dos Transportes. Portos e Aviação Civil. **Transportes no Brasil-Síntese histórica**. 2014. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/conteudo/136-transportes-no-brasil-sintese-historica.html>>. Acesso em: 30 mai. 2018.

BRUNS, John; HAUSER, W. Allen. The epidemiology of traumatic brain injury: a review. **Epilepsia**, v. 44, p. 2-10, 2003. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1046/j.1528-1157.44.s10.3.x>>.

CAIAFFA, Waleska Teixeira; FRICHE, Amélia Augusta de Lima. Urbanização, globalização e segurança viária: um diálogo possível em busca da equidade?. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, p. 2238-2241, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.org/scielo.php?pid=S1413-81232012000900004&script=sci_arttext&tlng=en>.

CAMILO, Cássio Oliveira; SILVA, João Carlos da. **Mineração de dados: Conceitos, tarefas, métodos e ferramentas**. Relatório Técnico. Universidade Federal de Goiás (UFG), p. 1-29, 2009.

CARDOSO, Olinda Nogueira Paes; MACHADO, Rosa Teresa Moreira. Gestão do conhecimento usando data mining: estudo de caso na Universidade Federal de Lavras.

Revista de administração pública, v. 42, n. 3, p. 495-528, 2008. Disponível em:

<<http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rap/article/view/6643>>.

CARVALHO, Carlos Henrique Ribeiro. **Mortes por acidentes de transporte terrestre no Brasil: Análise dos sistemas de informação do Ministério da Saúde**. Texto para Discussão, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2016. Disponível em:

<http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=28223>.

CARVALHO, Deborah Ribeiro; ESCOBAR, Leandro Fabian Almeida; TSUNODA, Denise. Pontos de Atenção para o Uso da Mineração de Dados da Saúde. **Informação & Informação**, v. 19, n. 1, p. 249-272, 2014. Disponível em:

<<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/informacao/article/view/16532>>.

CAVALCANTE, Fátima Gonçalves; MORITA, Patrícia Alessandra; HADDAD, Sonia Rodrigues. Sequelas invisíveis dos acidentes de trânsito: o transtorno de estresse pós- traumático como problema de saúde pública. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 14, n. 5, p. 1763- 1772, 2009. Disponível em: <>.

CEARÁ. Lei nº 14.055, de 07 de janeiro de 2008. Cria, no sistema de segurança pública estadual, a Perícia Forense do Estado do Ceará-PEFOCE, e dá outras providências. Ceará, 2008. **D.O.E**, 31 jan. 2008. Disponível em:

<http://www.pefoce.ce.gov.br/document/PEFOCE_Lei14055.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2017.

CHAWLA, Nitesh V.; JAPKOWICZ, Nathalie; KOTCZ, Aleksander. Special issue on learning from imbalanced data sets. **ACM Sigkdd Explorations Newsletter**, v. 6, n. 1, p. 1-6, 2004. Available from: <<https://dl.acm.org/citation.cfm?id=1007733>>.

DALLAGASSA, Marcelo Rosano; SILVA, Sandra Honorato; CARVALHO, Deborah Ribeiro. Concepção de uma metodologia para identificação de beneficiários com indicativos de Diabetes Melitus tipo 2. In: **SEMIC – XVII Seminário de Iniciação Científica**, 27 a 28 de out. 2009. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba, 2009. Disponível em:

<<http://www2.pucpr.br/reol/index.php/SEMIC17?dd1=2896&dd99=view>>.

DUARTE, Elisabeth Carmen et al. Mortalidade por acidentes de transporte terrestre e homicídios em homens jovens das capitais das Regiões Norte e Centro-Oeste do Brasil, 1980- 2005. **Epidemiologia e serviços de saúde**, v. 17, n. 1, p. 7-20, 2008. Disponível em:

<http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?pid=S1679-49742008000100002&script=sci_abstract&tlng=es>.

FARIA, Elisângela Lopes de. **Uma metodologia para a previsão do índice Bovespa utilizando mineração de textos**. 2012. 116f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil). – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em:

<<http://www.coc.ufrrj.br/es/documents2/mestrado/2012-2/2303-elisangela-lopes-de-faria-mestrado/file>>.

FAYYAD, Usama M. et al. **Advances in knowledge discovery and data mining**. Menlo Park: AAAI press, 1996.

FAYYAD, Usama; PIATETSKY-SHAPIO, Gregory; SMYTH, Padhraic. From data mining to knowledge discovery in databases. **AI magazine**, v. 17, n. 3, p. 37, 1996. Available from: <<https://www.aaai.org/ojs/index.php/aimagazine/article/view/1230>>.

FERNANDES, Raimundo Nonato Ribeiro; SILVA, Marlene. Epidemiology of traumatic brain injury in Brazil. **Arquivos Brasileiros de Neurocirurgia: Brazilian Neurosurgery**, v. 32, n. 03, p. 136-142, 2013. Available from: <<https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/abstract/10.1055/s-0038-1626005>>.

GALVAO, Noemi Dreyer. **Aplicação da mineração de dados em bancos da segurança e saúde pública em acidentes de transporte**. 2009. 120 f. Tese (Doutorado em Enfermagem) - Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://repositorio.unifesp.br/handle/11600/8955>>.

GIMENEZ, Alícia Ribeiro Pinto de Andrade. **Privatizações no governo FHC e a evolução do transporte rodoviário no Brasil**. 2013. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Ciências Econômicas) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências e Letras (Campus de Araraquara), 2013. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/122963>>.

GOLDSCHMIDT, Ronaldo; PASSOS, Emmanuel. **Data mining: um guia prático, conceitos, técnicas, ferramentas, orientações e aplicações**. Rio de Janeiro: Campus, 2005.

GÜNTHER, Hartmut. **Pesquisa sobre comportamento no trânsito**. São Paulo. Casa do Psicólogo, 2015. 384 p.

HAAGSMA, Juanita A. et al. The global burden of injury: incidence, mortality, disability-adjusted life years and time trends from the Global Burden of Disease study 2013. **Injury prevention**, v. 22, n. 1, p. 3-18, 2016. Available from: <https://injuryprevention.bmj.com/content/22/1/3?utm_source=trendmd&utm_medium=cpc&utm_campaign=injprev&utm_content=consumer&utm_term=0-A>.

HALAMKA, John D. Health information technology: shall we wait for the evidence?. **Annals of Internal Medicine**, v. 144, n. 10, p. 775-776, 2006. Available from: <<http://annals.org/aim/article-abstract/723609/health-information-technology-shall-we-wait-evidence>>.

IPEA. Instituto De Pesquisa Econômica Aplicada. **Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito em aglomerações urbanas brasileiras**. Relatório executivo. Brasília: IPEA, 2003.

JO, Taeho; JAPKOWICZ, Nathalie. Class imbalances versus small disjuncts. **ACM Sigkdd Explorations Newsletter**, v. 6, n. 1, p. 40-49, 2004. Available from: <<https://dl.acm.org/citation.cfm?id=1007737>>.

JORGE, Maria Helena P. et al. O óbito e sua investigação: reflexões sobre alguns aspectos relevantes. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 13, n. 4, p. 561-576, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-790X2010000400002>.

JOTHI, Neesha et al. Data mining in healthcare—a review. **Procedia Computer Science**, v. 72, p. 306-313, 2015. Available from:
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050915036066>>.

KOBUS, Luciana Schleder Gonçalves. **Aplicação da descoberta de conhecimento para identificação de usuários com doenças cardiovasculares elegíveis para programas de gerenciamento de caso**. 2006. 145f. Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2006.

MACENTE, Luciene Bolzam; ZANDONADE, Eliana. Avaliação da completude do sistema de informação sobre mortalidade por suicídio na região Sudeste, Brasil, no período de 1996 a 2007. **Jornal Brasileiro de Psiquiatria**, v. 59, n. 3, p. 173-181. 2010. Disponível em:
<<https://repositorio.observatoriodocuidado.org/handle/handle/158>>.

MACHADO, Emerson Lopes. **Um estudo de limpeza em base de dados desbalanceada e com sobreposição de classes**. 2007.63f. Dissertação (Mestrado em Informática) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007. Disponível em:
<http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/1397/1/Dissertacao_2007_EmersonMachado.pdf>.

MAGALHÃES, Ana Luisa Gonçalves et al. Epidemiologia do traumatismo cranioencefálico no Brasil. **Rev. Bras. Neurol**, v. 53, n. 2, p. 15-22, 2017. Disponível em:
<https://www.researchgate.net/profile/Leonardo_Cruz_De_Souza/publication/320352679_Epidemiology_of_Traumatic_Brain_Injury_in_Brazil/links/59df66a2a6fdccfda35840/Epidemiology-of-Traumatic-Brain-Injury-in-Brazil.pdf>.

MALTA, Deborah Carvalho et al. Análise da mortalidade por acidentes de transporte terrestre antes e após a Lei Seca-Brasil, 2007-2009. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 19, n. 4, p. 317-328, 2010. Disponível em: <http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?lng=pt&pid=S1679-49742010000400002&script=sci_abstract>.

MALTA, Deborah Carvalho et al. Análise das ocorrências das lesões no trânsito e fatores relacionados segundo resultados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) Brasil, 2008. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 16, p. 3679-3687, 2011. Disponível em:
<https://www.scielo.org/scielo.php?pid=S1413-81232011001000005&script=sci_arttext>.

MALTA, Deborah Carvalho et al. Lesões no trânsito e uso de equipamento de proteção na população brasileira, segundo estudo de base populacional. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 21, p. 399-410, 2016. Disponível em: <<https://www.scielo.org/article/csc/2016.v21n2/399-410/pt/>>.

MALUCELLI, Andreia et al. Classificação de microáreas de risco com uso de mineração de dados. **Revista de Saúde Pública**, v. 44, n. 2, p. 292-300, 2010. Disponível em:
<https://www.scielo.org/scielo.php?pid=S0034-89102010000200009&script=sci_arttext&lng=en>.

MANDACARÚ, Polyana Maria Pimenta et al. Óbitos e feridos graves por acidentes de trânsito em Goiânia, Brasil-2013: magnitude e fatores associados. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 27, p. e2017295, 2018. Disponível em:
<<https://www.scielo.org/article/ress/2018.v27n2/e2017295/pt/>>.

MELO, Cristiane Magalhães de; BEVILACQUA, Paula Dias; BARLETTO, Marisa. Produção da informação sobre mortalidade por causas externas: sentidos e significados no

preenchimento da declaração de óbito. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 18, n. 5, p. 1225-1234, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232013001100007>.

MELO, José Roberto Tude; SILVA, Ricardo Araújo da; MOREIRA JÚNIOR, Edson Duarte. Características dos pacientes com trauma cranioencefálico na cidade do Salvador, Bahia, Brasil. **Arq. Neuropsiquiatr**, v. 62, n. 3-A, p.711-715, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/anp/v62n3a/a27v623a.pdf>>.

MENDES, André Pacheco Teixeira et al. **Política pública municipal e federalismo permissivo**: sobreposições de competências administrativas e legislativas e o arrefecimento do controle social. Rio de Janeiro : Escola de Direito do Rio de Janeiro da Fundação Getulio Vargas, 2017. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10438/19490>>.

MENDES, Marília Soares. **MALTU** – um modelo para avaliação da interação em sistemas sociais a partir da linguagem textual do usuário. 2015. 199 f. Tese (Doutorado em Ciência da Computação)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/19820>>.

MESSIAS, Kelly Leite Maia et al. Qualidade da informação dos óbitos por causas externas em Fortaleza, Ceará, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 21, n. 4, p. 1255-1267, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232016000401255>.

MINAYO, Maria Cecília de Souza. A autoviolência, objeto da sociologia e problema de saúde pública: a sociological concern and a public health problem. **Cad. Saúde Pública**, v. 14, n. 2, p.421-428, 1998. Disponível em: <<https://www.scielo.org/pdf/csp/1998.v14n2/421-428>>.

MINAYO, Maria Cecília de Souza. Violência: Um problema para a saúde dos brasileiros. In: BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Impacto da violência na saúde dos brasileiros**. Brasília: Ministério da Saúde, 2005. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/impacto_violencia.pdf>.

MORAIS NETO, Otaliba Libânio de et al. Projeto Vida no Trânsito: avaliação das ações em cinco capitais brasileiras, 2011-2012. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 22, n. 3, p. 373- 382, 2013. Disponível em: <http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?lng=pt&pid=S1679-49742013000300002&script=sci_abstract>.

MORAIS, Bárbara de Lima. **Mandonismo e poder paralelo**. 2016. 33 f. Monografia (Bacharelado em Ciências Econômicas)—Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.bdm.unb.br/handle/10483/15370>>.

MORAIS, Edison Andrade Martins; AMBRÓSIO, Ana Paula L. **Mineração de textos**. Relatório Técnico. Instituto de Informática (UFG), 2007. Disponível em: <http://www.portal.inf.ufg.br/sites/default/files/uploads/relatorios-tecnicos/RT-INF_005-07.pdf>.

NETO, Otaliba Libanio Moraes et al. Regional disparities in road traffic injuries and their determinants in Brazil, 2013. **International journal for equity in health**, v. 15, n. 1, p. 142, 2016. Available from: <<https://equityhealthj.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12939-016-0433-6>>.

ORNELAS, DCLM. **Impacto das políticas públicas na redução de acidentes de trânsito no Brasil**. 2007. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Economia) - Faculdade de Economia e Finanças IBMEC. Rio de Janeiro, 2007.

PHUA, Clifton; ALAHAKOON, Daminda; LEE, Vincent. Minority report in fraud detection: classification of skewed data. **Acm sigkdd explorations newsletter**, v. 6, n. 1, p. 50-59, 2004. Disponível em: <<https://dl.acm.org/citation.cfm?id=1007738>>.

PIRES, Marco Tulio Baccarini; STARLING, Sizenando Vieira. **Manual de urgências em pronto-socorro**. RJ: Guanabara Koogan, 2006.

PORDEUS, Augediva Maria Jucá. **Custo social das incapacidades por acidentes de trânsito em Fortaleza**. 2004. 179f. Tese (Doutorado em Enfermagem) - Faculdade de Farmácia, Odontologia e Enfermagem. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2004. Disponível em: <<http://pesquisa.bvs.br/brasil/resource/pt/bde-18477>>.

PUGA, Fernando Pimentel; CASTRO, Lavínia Barros de. **Panoramas setoriais 2030: introdução**. BNDS, 2017. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/14374/1/Panoramas%20Setoriais%202030%20-%20Introdu%C3%A7%C3%A3o.pdf>>.

QUONIAM, Luc et al. Inteligência obtida pela aplicação de data mining em base de teses francesas sobre o Brasil. **Ciência da informação**, v. 30, n. 2, p. 20-28, 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/ci/v30n2/6208.pdf>>.

REICHENHEIM, Michael Eduardo et al. Violência e lesões no Brasil: efeitos, avanços alcançados e desafios futuros. **The Lancet**, v. 6736, n. 11, p. 75-89, 2011. Disponível em: <<https://www.nescon.medicina.ufmg.br/biblioteca/registro/referencia/0000002213>>.

RIOS, Polianna Alves Andrade et al. Fatores associados a acidentes de trânsito entre condutores de veículos: Achados de um estudo de base populacional. **Revista Ciência & Saúde Coletiva** (periódico na internet) (2018/Ago). Disponível em: <<http://www.cienciaesaudecoletiva.com.br/artigos/fatores-associados-a-acidentes-de-transito-entre-condutores-de-veiculos-achados-de-um-estudo-de-base-populacional/16907?id=16907>> Acesso em: 19 set. 2018.

ROLIM, Leonardo Barbosa et al. Participação popular e o controle social como diretriz do SUS: uma revisão narrativa. **Saúde em debate**, v. 37, n. 96, p. 139-147, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.org/scielo.php?pid=S0103-11042013000100016&script=sci_arttext>.

SILVA, Leandro Augusto; PERES, Sarajane Marques; BOSCARIOLI, Clodis. **Introdução à mineração de dados: com aplicações em R**. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2017.

SOUZA, Alice; ZAIA, José Eduardo. O uso do data mining na Promoção de Saúde: uma revisão sistemática da literatura. **Atas de Saúde Ambiental-ASA**, v. 3, n. 1, p. 12-21, 2015. Disponível em: <<http://www.revistaseletronicas.fmu.br/index.php/ASA/article/view/685>>.

SOUZA, Edinilsa Ramos de; MINAYO, Maria Cecília de Souza; FRANCO, Letícia Gastão. Avaliação do processo de implantação e implementação do Programa de Redução da Morbimortalidade por Acidentes de Trânsito. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 16, n. 1, p. 19-31, 2007. Disponível em: <http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?pid=S1679-49742007000100003&script=sci_arttext&tlng=pt>.

TAN, Pang-Ning; STEINBACH, Michael; KUMAR, Vipin. **Introduction to data mining: mineração de dados**. Pearson Education India: Ciência Moderna, 2006.

TEIXEIRA, Marcos Aurélio Nascimento; DO NASCIMENTO, Décio Estevão. Políticas públicas para avanço da polícia científica no Brasil. **Revista Direitos Sociais e Políticas Públicas (UNIFAFIBE)**, v. 3, n. 2, p. 72-87, 2016. Disponível em: <<http://www.unifafibe.com.br/revista/index.php/direitos-sociais-politicas-pub/article/view/73>>.

VIANNA, Rossana Cristina Xavier Ferreira et al. Mineração de dados e características da mortalidade infantil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 26, n. 3, p. 535-542, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-311X2010000300011&script=sci_arttext&tlng=pt>.

VIÉGAS, Maria Luana Carvalho et al. Traumatismo cranioencefálico em um hospital de referência no estado do Pará, Brasil: prevalência das vítimas quanto a gênero, faixa etária, mecanismos de trauma, e óbito. **Arquivos Brasileiros de Neurocirurgia: Brazilian Neurosurgery**, v. 32, n. 01, p. 15-18, 2013. Disponível em: <<http://files.bvs.br/upload/S/0103-5355/2013/v32n1/a3620.pdf>>.

VIOLÊNCIA no trânsito tem impacto econômico de R\$ 6,45 bilhões. 2017. **O POVO**, 05 nov. 2017. Disponível em <<https://www.opovo.com.br/noticias/fortaleza/2017/06/ceara-violencia-no-transito-tem-impacto-economico-de-r-6-45-bilhoes.html>>. Acesso em: 20 ago. 2017.

WEISS, Gary M. Mining with rarity: a unifying framework. **ACM Sigkdd Explorations Newsletter**, v. 6, n. 1, p. 7-19, 2004. Available from: <<https://dl.acm.org/citation.cfm?id=1007734>>.

WEISS, S. M.; INDURKHYA, N. **Predictive Data Mining: A Practical Guide**. Morgan Kaufmann, San Francisco, CA, USA, 1998.

WHO. World Health Organization et al. **Classificação estatística internacional de doenças e problemas relacionados à saúde: CID 10**. São Paulo (SP): Edusp, 1994.

_____. **Global status report on road safety: time for action**. Geneva: WHO; 2009. Disponível em: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44122/1/9789241563840_eng.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2017.

_____. **Global status report on road safety 2013: supporting a decade of action**. WHO; 2013. Disponível em: <http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2013/en/> Acesso em: 08 jun. 2017.

_____. KRUG, Etienne G. **Relatório mundial sobre violência e saúde**. Genebra: Organização Mundial da Saúde, 2002.

_____. **Mejoramiento de la seguridad vial en el mundo**. Geneva: WHO; 2010. Disponível em: <<http://www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/RES/64/255>>. Acesso em: 08 jun. 2017.

_____. **Mobile phone use: a growing problem of driver distraction**. 2011.

_____. **Relatório global sobre o estado da segurança viária 2015**. Geneva: WHO; 2015.
Disponível em
<http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/Summary_GSRRS_2015_POR.pdf?ua=1> Acesso em: 08 jun. 2017.

WIVES, Leandro Krug. Tecnologias de descoberta de conhecimento em textos aplicadas à inteligência competitiva. **Exame de Qualificação EQ-069**, PPGC-UFRGS, 2002.

APÊNDICES

APÊNDICE A - REGRAS OBTIDAS PELO ALGORITMO J48

Regras obtidas pelo algoritmo J48 e sua classificação pelos especialistas.

Regra	Perito 1	Perito 2	Perito 3
ferida<= 0: Trauma abdominal	interessante	interessante	irrelevante
ferida> 0: Trauma Torácico	interessante	interessante	irrelevante
complicacao> 0: Trauma abdominal	coerente	coerente	coerente
quinta> 0: Trauma abdominal	irrelevante	interessante	irrelevante
pelvico<= 0: Choque hipovolêmico	irrelevante	interessante	irrelevante
pelvico> 0: Trauma abdominal	coerente	coerente	coerente
temporoparietal> 0: Choque hipovolêmico	interessante	interessante	irrelevante
pescoco> 1: Choque Hipovolêmico	interessante	coerente	coerente
hipotermia<= 0: Trauma Cranioencefalico	irrelevante	irrelevante	irrelevante
hipotermia> 0: Choque Hipovolêmico	irrelevante	irrelevante	irrelevante
calvaria> 0: Trauma abdominal	irrelevante	irrelevante	irrelevante
subdural> 0: Trauma Cranioencefálico	coerente	coerente	coerente
pequeno> 1: Politrauma	interessante	irrelevante	irrelevante
cervical> 1: Trauma Raquimedular	coerente	coerente	coerente
puncao<= 0: Choque hipovolêmico	interessante	irrelevante	irrelevante
puncao> 0: Trauma Cranioencefálico	interessante	irrelevante	irrelevante
calibroso> 0: Choque Hipovolêmico	coerente	coerente	coerente
condral> 0: Choque Hipovolêmico	coerente	interessante	interessante
lobo<= 0: Trauma Raquimedular	coerente	irrelevante	irrelevante
lobo> 0: Trauma Cranioencefálico	coerente	coerente	coerente
figado<= 0: Trauma Raquimedular	coerente	interessante	irrelevante
figado> 0: Choque Hipovolêmico	coerente	interessante	irrelevante
encefalico<= 0: Trauma Raquimedular	coerente	irrelevante	irrelevante
raquimedular<= 0: Choque Hipovolêmico	coerente	irrelevante	irrelevante
dorsai> 0: Trauma abdominal	irrelevante	interessante	irrelevante
tibia> 0: Choque Hipovolêmico	interessante	interessante	irrelevante
escoriacao<= 0: Politrauma	irrelevante	irrelevante	irrelevante
escoriacao> 0: Choque Hipovolêmico	irrelevante	irrelevante	irrelevante
baco<= 0: Choque Hipovolêmico	irrelevante	coerente	coerente
baco> 0: Trauma abdominal	coerente	coerente	coerente
pulmao<= 0: Choque Septico	coerente	coerente	coerente
pulmao> 0: Trauma Raquimedular	interessante	coerente	coerente

ANEXOS

ANEXO A – INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS

Número serial	Sexo	Idade	Profissão	Escolaridade	Resposta 2 quesitos (causa da morte)	Data ATT	Data Óbito	Lesões laudo

ANEXO B – AUTORIZAÇÃO INSTITUCIONAL À REALIZAÇÃO DE PROJETO DE PESQUISA



PERÍCIA FORENSE DO
ESTADO DO CEARÁ



GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ

Secretaria da Segurança Pública e Defesa Social
Perícia Forense Do Estado Do Ceará
CENTRO DE ESTUDOS

AUTORIZAÇÃO INSTITUCIONAL À REALIZAÇÃO DE PROJETO DE PESQUISA

Declaro, para fins de comprovação junto ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade de Fortaleza, que a Perícia Forense do Estado do Ceará dispõe de toda infraestrutura necessária para realização da pesquisa intitulada **ANÁLISE DE ÓBITOS POR ACIDENTES DE TRÂNSITO COM USO DE MINERAÇÃO DE DADOS** a ser realizada pela pesquisadora Renata Adele de Lima Nunes.

Fortaleza, 24 de NOVEMBRO de 2017.


Dr Victor Hugo M. Alencar
Centro de Estudos - PEFOCE
Dr. Victor Hugo M. Alencar
Medicina Legal
Mar. 1984 - 172
Centro de Estudos - PEFOCE

PEFOCE
Centro de Estudos
Prof. José Carlos Ribeiro

ANEXO C – DECLARAÇÃO DE FIEL DEPOSITÁRIO



PERÍCIA FORENSE DO
ESTADO DO CEARÁ



GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ

Secretaria da Segurança Pública e Defesa Social
Perícia Forense Do Estado Do Ceará
CENTRO DE ESTUDOS

UNIVERSIDADE DE FORTALEZA

DECLARAÇÃO DE FIEL DEPOSITÁRIO

Eu, Francisco Hugo Leandro, chefe da Coordenadoria de medicina Legal da Perícia Forense do estado do Ceará, fiel depositário dos laudos médicos dos periciandos desta instituição, autorizo a pesquisadora Renata Adele de Lima Nunes a colher dados dos laudos de necrópsias de vítimas de acidentes de trânsito para fins de seu estudo: "ANÁLISE DE ÓBITOS POR ACIDENTES DE TRÂNSITO COM USO DE MINERAÇÃO DE DADOS".

Fortaleza, 27 de NOVEMBRO de 2017.

Francisco Hugo Leandro
Coordenadoria de Medicina Legal
Perícia Forense do Estado do Ceará

ANEXO D – SOLICITAÇÃO DE ISENÇÃO DO TCLE



PERÍCIA FORENSE DO
ESTADO DO CEARÁ



GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ

Secretaria da Segurança Pública e Defesa Social
Perícia Forense Do Estado Do Ceará
CENTRO DE ESTUDOS

UNIVERSIDADE DE FORTALEZA

SOLICITAÇÃO DE ISENÇÃO DO TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

AO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA DA UNIVERSIDADE DE FORTALEZA

Vimos, por meio deste documento, solicitar a dispensa do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) do projeto de pesquisa intitulado: **"ANÁLISE DE ÓBITOS POR ACIDENTES DE TRÂNSITO COM USO DE MINERAÇÃO DE DADOS"** da pesquisadora principal Renata Adele de Lima Nunes, por ser realizada em laudos de necropsias, sem adição de riscos aos participantes de pesquisas ou prejuízos ao bem-estar dos mesmos.

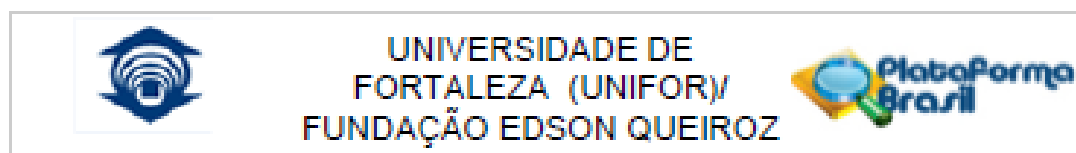
A investigadora principal e demais colaboradores envolvidos no projeto, acima citado, se comprometem individual e coletivamente a utilizar os dados provenientes dessa pesquisa apenas para os fins descritos e a cumprir todas as diretrizes e normas regulamentadoras descritas na Resolução Nº 466/12 do Conselho Nacional de Saúde e suas complementares, no que diz respeito ao sigilo e confidencialidade dos dados coletados.

Fortaleza, 24 de novembro de 2017.

Renata Adele de Lima Nunes

Renata Adele de Lima Nunes
Pesquisadora Principal

ANEXO E – PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: ANÁLISE DE ÓBITOS POR ACIDENTES DE TRÂNSITO COM USO DE MINERAÇÃO DE DADOS

Pesquisador: RENATA ADELE DE LIMA NUNES

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 83033417.0.0000.5052

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE DE FORTALEZA

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.521.165

Apresentação do Projeto:

Os acidentes de trânsito respondem anualmente por 1,3 milhões de mortes e entre 20 e 50 milhões de pessoas são lesionadas, com maior concentração nos países de média e baixa renda. Nesse contexto, um sistema eficiente de gerenciamento de dados é essencial para acessar informações de forma segura, rápida e organizada, a fim de que se possam estabelecer relações

Importantes entre os dados e extrair conclusões que orientem tomadas de decisão. A mineração de dados, área de pesquisa multidisciplinar, é uma técnica eficiente de análise de informações em bancos de dados, e pode contribuir sobremaneira para a descoberta de conhecimento e desenvolvimento de estratégias de enfrentamento aos acidentes de trânsito. Propõe-se a utilização de mineração de dados em laudos de necropsias de vítimas do trânsito, e maneira a extrair informações de uma fonte ainda pouco explorada por outros meios. Estudo epidemiológico transversal analítico, que analisará laudos de necropsias de vítimas de acidentes de transporte terrestre, no estado do Ceará, no período de 2010 a 2015. Os laudos (6000) serão obtidos junto à Perícia Forense do Ceará (PEFOCE), no município de Fortaleza, Ceará. Serão avaliadas as variáveis sexo, idade, profissão, escolaridade, causa da morte, lesões descritas no laudo necroscópico, posição da vítima no momento do acidente (se condutor, passageiro, pedestre), tipo de veículo envolvido (motocicleta, automóvel, bicicleta e outros), data do ATT e data do óbito. O tratamento dos dados será implementado em seis etapas. Etapa 1– Seleção dos laudos a serem estudados. Os laudos de necropsias que atenderem aos critérios de inclusão no estudo serão

Endereço: Av. Washington Soares 1321 Bloco da Reitoria
Bairro: sala da VRPPG - Edson Queiroz CEP: 60.811-905
UF: CE Município: FORTALEZA
Telefone: (85)3477-3122 Fax: (85)3477-3058 E-mail: coelica@unifor.br

Documento em PDF



tabulados para a extração das variáveis de Interesse. Etapa 2 –

Pré-processamento. Nesta fase, os dados serão submetidos a diversos procedimentos a fim de adequá-los para a etapa de mineração de dados. Etapa 3 – Transformação dos dados. Os dados pré-processados passarão por processo de transformação e em seguida conversão para o formato de arquivo ARFF, requerido pela ferramenta de mineração de dados. Etapa 4 – Mineração de dados. Será realizada análise preditiva categórica. Para tanto, será utilizada a ferramenta WEKA, para realizar uma tarefa de classificação. Etapa 5 – Avaliação das regras obtidas pelo algoritmo sob a perspectiva do desempenho computacional. Etapa 6 – Avaliação das regras obtidas sob a perspectiva da qualidade da informação gerada. Nesta fase, serão selecionados três médicos perito-legistas que avaliarão separadamente cada regra. Estes especialistas serão selecionados por meio dos seguintes critérios: mínimo de 3 anos de atuação em Medicina Legal; atuação profissional no estado do Ceará.

Objetivo da Pesquisa:

- Analisar os óbitos por Acidentes de Transporte Terrestre (ATT) no Ceará.
- Caracterizar o perfil epidemiológico das vítimas fatais de acidentes de transporte terrestre, bem como as lesões descritas nos laudos e identificar os fatores associados ao óbito precoce por esses acidentes.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Os riscos envolvidos para os participantes serão mínimos, estando relacionados à preservação da identidade das vítimas de acidentes cujos corpos foram periclitados na PEFOCE, no período estudado. Benefícios esperados são a aquisição de conhecimentos sobre a mecânica dos acidentes, fatores envolvidos, perfil das vítimas desses eventos, a fim de embasar a tomada de decisões pelos gestores competentes.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

O projeto apresenta-se bem elaborado, o pesquisador atentou para todos os itens necessários à ética em uma pesquisa e assim está em conformidade com a Resolução do Conselho Nacional de Saúde 466/12, e suas diretrizes.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

O projeto apresenta-se bem elaborado, o pesquisador atentou para todos os termos necessários à ética em uma pesquisa e assim está em conformidade com a Resolução do Conselho Nacional de Saúde 466/12, e suas diretrizes.

Endereço: Av. Washington Soares 1321/Bloco de Reitoria
Bairro: sala de VRPPG - Edson Queiroz CEP: 60.811-905
UF: CE Município: FORTALEZA
Telefone: (85)3477-3122 Fax: (85)3477-3056 E-mail: corlcos@unifor.br



Continuação do Parecer: 2.521.155

Recomendações:

Após a leitura da versão apresentada, não há recomendações por conta de pendências do projeto de pesquisa analisado.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

O Colegiado recomenda Aprovação ao projeto de pesquisa visto atender, na íntegra, as determinações da Res. CNS/MS 466/12 e diretrizes.

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_P ROJETO_1049717.pdf	07/02/2018 17:11:03		Aceito
Outros	Instrumentocoleta.pdf	07/02/2018 17:10:16	RENATA ADELE DE LIMA NUNES	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	projeto060218.pdf	07/02/2018 17:09:45	RENATA ADELE DE LIMA NUNES	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	Declarac_fiel_deposit.pdf	12/12/2017 20:53:30	RENATA ADELE DE LIMA NUNES	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	Solicitac_dispenza_TCLE.pdf	12/12/2017 20:52:44	RENATA ADELE DE LIMA NUNES	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	Autolizac_PEFOCE.pdf	12/12/2017 20:52:10	RENATA ADELE DE LIMA NUNES	Aceito
Folha de Rosto	folhaDeRosto.pdf	12/12/2017 20:51:34	RENATA ADELE DE LIMA NUNES	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Endereço: Av. Washington Soares 1321 Bloco da Reitoria
Bairro: sala da VRPPG - Edson Queiroz CEP: 60.811-905
UF: CE Município: FORTALEZA
Telefone: (85)3477-3122 Fax: (85)3477-3056 E-mail: coeica@unifor.br



UNIVERSIDADE DE
FORTALEZA (UNIFOR)/
FUNDAÇÃO EDSON QUEIROZ



Continuação do Processo 2.521.985

FORTALEZA, 01 de Março de 2018

Assinado por:
ALDO ANGELIM DIAS
(Coordenador)

Endereço: Av. Washington Soares 1321 Bloco da Reitoria
Bairro: sala da VRRPG - Edson Queiroz CEP: 60.811-905
UF: CE Município: FORTALEZA
Telefone: (85)3477-3122 Fax: (85)3477-3056 E-mail: coelco@unifor.br

Página 04 de 04

APLICAÇÃO DE UM SENSOR LAMBDA CONVENCIONAL PARA DETECÇÃO DE NO_x NA COMBUSTÃO DE GLP

Caíke Camião Nascimento Silva⁵⁰

RESUMO

Um dos problemas para o monitoramento da combustão industrial é o alto custo da aquisição de monitores de combustão, e a manutenção desses monitores também requer um custo considerável, além de ser periódica, com a necessidade de troca e recalibração de células. Conhecendo a funcionalidade do sensor lambda, estudos recentes estimularam a pesquisa e o uso deste sensor para o monitoramento e controle da combustão em processos industriais. Vale ressaltar o baixo custo de aquisição do sensor e sua produção em larga escala devido ao seu uso na indústria automobilística, tornando-o barato e fácil de encontrar no mercado, podendo ser adquirido em qualquer loja de autopeças.

Neste estudo, a aplicação de um sensor lambda convencional para detecção de NO_x em um sistema de combustão de GLP foi analisada a partir de uma técnica de medição baseada na aplicação de pulsos de tensão nos terminais do sensor, controlando a temperatura de operação, verificando as curvas de descarga após os pulsos e relacionando a resposta do sensor a diferentes taxas de concentração de NO_x. Nos resultados obtidos neste estudo é possível identificar que as curvas de descarga são distintas para cada concentração de NO_x emitido na combustão de GLP, porém a detecção é limitada a baixas concentrações de NO_x.

Palavras-chave: Sensor lambda. Combustão. Medição. NO_x. GLP.

ABSTRACT

One of the problems for industrial combustion monitoring is the high cost of the acquisition of combustion monitors, and the maintenance of these monitors also requires a considerable cost,

⁵⁰ Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Ciências Físicas Aplicadas, do Centro de Ciências e Tecnologia, da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Físicas Aplicadas. Área de Concentração: Ciências Físicas Aplicadas ao Desenvolvimento do Semiárido. Linha de Pesquisa: Energias e Meio Ambiente. Orientador: Prof. Dr. Lutero Carmo de Lima. Coorientadora: Prof.a Dr.a Mona Lisa Moura de Oliveira. Fortaleza-2019

besides being periodic, with the need of exchange and recalibration of cells. Knowing the functionality of lambda sensor, recent studies have stimulated the research and use of this sensor for monitoring and controlling combustion in industrial processes. It is worth mentioning the low cost of acquisition of this sensor and its large scale production due to its use in the automobile industry, making it cheap and easy to find in the market, and can be found in any auto parts store. In this study, the application of a conventional lambda sensor for NO_x detection in a LPG combustion system was analyzed using a measurement technique based on the application of voltage pulses at the sensor terminals, controlling the operating temperature, checking the discharge curves after the pulses and relating the sensor response to different NO_x concentration rates. The results obtained allow us to identify that the discharge curves are distinct for each NO_x concentration emitted in the LPG combustion, but the detection is limited to low concentrations of NO_x.

Keywords: Lambda sensor. Combustion. Measurement. NO_x. GLP

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Princípio de funcionamento do sensor lambda
- Figura 2 - Curva típica de uma sonda lambda
- Figura 3 - Saída de um sensor lambda instalado em um sistema automotivo
- Figura 4 - Esquemático de um sensor lambda convencional
- Figura 5 - Esquemático de um sensor lambda planar
- Figura 6 - Camadas construtivas de um sensor lambda planar
- Figura 7 - Sonda lambda comercial
- Figura 8 - Resistência elétrica do elemento aquecedor *versus* temperatura
- Figura 9 - Resistência elétrica do elemento aquecedor *versus* temperatura
- Figura 10 - Sistema de injeção eletrônica veicular
- Figura 11 - Eficiência de conversão de um catalisador de três vias em função da relação ar/combustível
- Figura 12 - Saída de um sensor lambda instalado após o catalisador
- Figura 13 - Monitor industrial de %O₂ da Lamtec
- Figura 14 - Monitor de combustão industrial da Infitech Automação
- Figura 15 - Sistema eletrônico de monitoramento da %O₂
- Figura 16 - Saída do monitor em função do percentual de oxigênio (T=500°C)

Figura 17 - Medida do monitor *versus* analisador de referência ($T=500^{\circ}\text{C}$)

Figura 18 - Razão entre as correntes I_d e I_r *versus* porcentagem de oxigênio

Figura 19 - Esquemático do procedimento de medição

Figura 20 - Curvas de descarga em relação a concentração de NO_x

Figura 21 - Esquemático do sensor lambda convencional utilizado no procedimento de medição

Figura 22 - Comportamento de descarga após aplicação, no elemento sensor, dos pulsos positivo (a) e negativo (b) para diferentes gases

Figura 23 - Influência do NO nas curvas de descarga do sensor lambda planar

Figura 24 - Curvas de descarga em gás base em uma faixa de temperatura de 300°C a 550°C

Figura 25 - Sensor de YSZ construído especialmente para detecção de NO_x em gases de escape de motores diesel

Figura 26 - Curvas de descarga em diferentes concentrações de NO_x no gases de escape do motor diesel

Figura 27 - Comparação entre os dispositivos de medição de NO_x

Figura 28 - Esquemático do sistema de combustão

Figura 29 - Queimador com o sensor lambda instalado

Figura 30 - Sensor lambda convencional de 4 fios da DELPHI

Figura 31 - Multímetro Fluke 189

Figura 32 - Multímetro Hikari HM-1000

Figura 33 - Osciloscópio Tektronix TDS 2022C

Figura 34 - Fonte de tensão contínua Instrutherm FA-3003

Figura 35 - Analisador Seitron Chemist 903 IR3

Figura 36 - Esquemático do sistema eletrônico de excitação da sonda

Figura 37 - Esquemático do sistema eletrônico de aquecimento da sonda

Figura 38 - Circuito da fonte de corrente constante para aquecimento da sonda

Figura 39 - Ciclo de pulsos aplicado ao elemento sensor da sonda

Figura 40 - Curvas de descarga da sonda lambda em ar atmosférico e temperatura do sensor em 550°C

Figura 41 - Curvas de descarga da sonda lambda em ar atmosférico e temperatura do sensor em 600°C

Figura 42 - Curvas de descarga da sonda lambda em ar atmosférico e temperatura do sensor em 650°C

Figura 43 - Curvas de descarga da sonda lambda em ar atmosférico e temperatura do sensor em 700°C

Figura 44 - Curvas de descarga da sonda lambda em ar atmosférico e temperatura do sensor em 750°C

Figura 45 - Curvas de descarga da sonda lambda em ar atmosférico e temperatura do sensor em 800°C

Figura 46 - Variação da temperatura da sonda lambda controlada pelo circuito eletrônico de aquecimento

Figura 47 - Variação de NO_x, O₂ e temperatura do gás de exaustão

Figura 48 - Curvas de descarga da sonda lambda na combustão de GLP com 05 ppm de NO_x

Figura 49 - Curvas de descarga da sonda lambda na combustão de GLP com 10 ppm de NO_x

Figura 50 - Curvas de descarga da sonda lambda na combustão de GLP com 15 ppm de NO_x

Figura 51 - Curvas de descarga da sonda lambda na combustão de GLP com 20 ppm de NO_x

Figura 52 - Curvas de descarga da sonda lambda na combustão de GLP com 30 ppm de NO_x

Figura 53 - Curvas de descarga da sonda lambda na combustão de GLP com 35 ppm de NO_x

Figura 54 - Curvas de descarga da sonda lambda na combustão de GLP com 40 ppm de NO_x

Figura 55 - Tensão final da curva de descarga positiva x concentração de NO_x

Figura 56 - Tensão final da curva de descarga negativa x concentração de NO_x

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

λ Relação ar/combustível

%O₂ Porcentagem de Oxigênio

CMACFA Curso de Mestrado Acadêmico em Ciências Físicas Aplicadas

CO Monóxido de Carbono

COVs Compostos Orgânicos Voláteis

CPU	Central Process Unit (Unidade Central de Processamento)
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
HC	Hidrocarbonetos
HNO ₃	Ácido Nítrico
HEGO	Heated Exhaust Gas Oxygen Sensor (Sensor de Oxigênio Aquecido)
NO	Monóxido de Nitrogênio ou Óxido Nitroso
NO ₂	Dióxido de Nitrogênio ou Óxido Nítrico
NO _x	Óxidos de Nitrogênio
O ₂	Oxigênio
O ₂ ⁻	Íon de Oxigênio
O ₃	Ozônio
ppm	Partes por milhão
pO ₂	Concentração de Oxigênio
pO ₂ ^{ref}	Concentração de Oxigênio de Referência
Pt	Platina
SO _x	Óxidos de Enxofre
UECE	Universidade Estadual do Ceará
Y ₂ O ₃	Óxido de Ítrio
YSZ	Zircônia estabilizada com Ítrio
ZrO ₂	Dióxido de Zircônia

1 INTRODUÇÃO

Apesar das fontes alternativas de energia estarem em grande ascensão, como a solar e a eólica, as indústrias e os setores de transporte, tanto em países desenvolvidos como em países em desenvolvimento, estão baseados na queima de combustíveis fósseis e deverão permanecer assim por algumas décadas. Uma das maiores fontes de emissão de poluentes atmosféricos são os gases resultantes das reações de combustão. Por isso, muitos estudos na área de combustão têm como objetivo minimizar o nível de emissões (CARVALHO JÚNIOR e LACAVA, 2003).

Diversos poluentes entram na atmosfera como resultado das atividades humanas, entre eles e em maior quantidade estão monóxido de carbono (CO), óxidos de enxofre (SO_x) e óxidos de nitrogênio (NO_x). As emissões atmosféricas desses poluentes são da ordem de uma a milhões de toneladas por ano (MANAHAN, 2013).

As grandes cidades, fruto da urbanização e industrialização, sofrem com problemas relacionados à poluição do ar, onde níveis elevados de ozônio são produzidos na baixa atmosfera, como resultado das reações dos poluentes incitadas pela luz. Este fenômeno é conhecido como *smog* fotoquímico, algumas vezes caracterizando-se como uma “camada de ozônio” na troposfera. O óxido nítrico (NO), que corresponde cerca de 90% das emissões de NO_x, e os hidrocarbonetos (HC) são os elementos principais das reações de formação de um *smog* fotoquímico. Outro elemento crucial no *smog* fotoquímico é a luz solar, que aumenta a concentração de radicais livres que participam do processo de formação do *smog*. Embora o NO e os compostos orgânicos voláteis (COVs) sejam relativamente inóculos, os produtos finais da reação do *smog* são muito mais tóxicos. O *smog* fotoquímico ocorre principalmente no verão, por conta da maior incidência de luz solar e das temperaturas mais elevadas (BAIRD e CANN, 2011; CARVALHO JÚNIOR E LACAVA, 2003).

Tanto o NO, como os HC e COVs, são emitidos diretamente no ar pelas fontes de emissão, por isso são chamados de poluentes primários. Eles dão origem aos poluentes secundários, como o ozônio (O₃) e o ácido nítrico (HNO₃), os quais são ainda mais tóxicos (BAIRD e CANN, 2011).

Desta forma, as normas relacionadas às emissões de gases poluentes existem para que o nível das concentrações dos gases seja estabilizado ao ponto de evitar interferência no sistema climático da atmosfera. Essas normas também visam o atendimento a padrões de qualidade do ar que podem impactar na saúde da população. No âmbito industrial, estas regras abrangem sistemas de combustão como caldeiras, turbinas, aquecedores, fornos, incineradores, células de combustível, entre outros processos de combustão (DIRETIVA 2009/29/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO, 2009).

Considerando os altos níveis de poluição já alcançados, principalmente em áreas industrializadas, causando enorme degradação da qualidade do ar, várias normas relativas ao controle ambiental estabelecem limites de emissões. A resolução nº 382, de 26 de dezembro de 2006, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), considera, para o estabelecimento dos limites de emissões, a adoção de tecnologias de controle de emissões de poluentes economicamente viáveis, que permitam aplicação prática, e é nesse contexto que o objeto de estudo deste trabalho entra, na aplicação de um sensor de baixo custo, a sonda lambda, no monitoramento de gases oriundos da combustão industrial com o intuito de possibilitar o controle destes poluentes.

O sensor lambda (ou sonda lambda) é um dispositivo o qual foi desenvolvido para auxiliar no controle da combustão, funcionando como um sensor de oxigênio utilizado em veículos automotores, instalado junto ao sistema de exaustão com a função de determinar a mistura

ar/combustível (λ) resultante da queima. A relação λ obtida através desse sensor é utilizada pelo sistema de injeção eletrônica que realiza o controle da injeção de combustível e de comburente, a fim de permitir um melhor rendimento do motor, diminuir o consumo de combustível e, conseqüentemente, reduzir a emissão de poluentes (HADDAD, 2012).

Sensores são elementos essenciais para o monitoramento e controle de processos industriais, e cada vez mais a integração destes dispositivos em sistemas de combustão vem sendo explorada. Diversos sensores de estado sólido foram desenvolvidos nas últimas décadas, mas com aplicação principal em sistemas automotivos, sensores mais robustos, que suportam condições severas de funcionamento, possuem alta durabilidade e baixo custo, são dispositivos destinados à melhoria da eficiência da combustão e à detecção e controle de emissões de gases poluentes (DOCQUIER e CANDEL, 2002).

Um dos problemas para o monitoramento da combustão industrial é o elevado custo de aquisição de monitores de combustão. No Brasil, o valor fica em torno de R\$ 5.000,00 a R\$ 50.000,00, e a manutenção desses monitores também requer um custo considerável, devendo ser periódica e, às vezes, com necessidade de troca de células e recalibração. Nesse contexto, o desenvolvimento de tecnologias baseadas no sensor lambda para monitoramento da combustão industrial tem um potencial enorme, pois se trata de um componente robusto, barato e de um sistema de fácil manutenção (LIMA et al., 2007).

Sabendo da funcionalidade desse sensor de oxigênio, estudos recentes como os de Souza Sobrinho et al. (2012), Poceiro (2015) e Lima et al. (2015) têm estimulado a pesquisa e a utilização da sonda lambda para monitoramento e controle da combustão em processos industriais. Várias são as vantagens de utilizar esse componente no monitoramento da combustão, entre elas, vale salientar o baixo custo de aquisição do sensor e sua produção em larga escala por conta do seu uso na indústria automobilística, tornando-o barato e fácil de encontrar no mercado, podendo ser encontrado em qualquer loja de autopeças, custando em torno de R\$ 100,00 a R\$ 200 dependendo do fabricante.

Atualmente, verifica-se que no mercado há empresas que fabricam medidores de concentração de oxigênio (%O₂) baseados na sonda lambda para aplicações de combustão industrial.

Controlar a combustão pela medição da concentração de gases de escape é viável principalmente devido ao desenvolvimento dos modernos sensores de estado sólido. Vários tipos destes sensores foram originalmente desenvolvidos para o controle da eficiência de combustão na indústria automotiva, que é o caso do sensor lambda, composto de óxido de zircônia. Mas

recentemente essa tecnologia vem sendo adaptada a fornos industriais, caldeiras e turbinas a gás (SOUZA SOBRINHO et al., 2012).

O monitoramento de oxigênio por sonda lambda é uma tecnologia já consolidada, principalmente por sua aplicação em sistemas automotivos. Mas sensores deste mesmo tipo, inicialmente desenvolvidos com o intuito de monitorar O_2 , também estão sendo utilizados para monitorar outros gases resultantes da combustão, como CO e NO_x . Embora o monitoramento de outros gases seja uma tecnologia ainda pouco trabalhada e desenvolvida, tem um potencial considerável e no futuro poderá gerar uma vasta gama de aplicações, desde a otimização da combustão até monitoramentos na área da saúde (DOCQUIER e CANDEL, 2002).

Nos últimos anos alguns estudos foram realizados para detectar NO_x em gases de escape, a maioria dos sensores, como a sonda lambda, são baseados em zircônia, mas usam uma configuração complexa, células de bombeamento, além de outras particularidades. É necessário um desenvolvimento adicional para satisfazer plenamente as necessidades do mercado, pois a tecnologia atual de detecção de NO_x em gases de escape tem que lidar com processamento eletrônico de correntes elétricas na faixa nA/ppm de NO_x , o que torna o sistema complexo e de custo elevado (FISCHER et al., 2010).

Considerando o elevado custo de aquisição de tecnologias para o controle e o monitoramento da combustão industrial e as dificuldades das pequenas indústrias em adquirir essas tecnologias, se faz necessário o desenvolvimento de técnicas alternativas. Nos últimos anos, muitos estudos abordaram a aplicação do sensor lambda para monitorar a combustão industrial e resultados satisfatórios foram obtidos, por isso é de extrema relevância aprofundar os estudos neste sensor aplicado à combustão industrial e desenvolver tecnologias que possibilitem o desenvolvimento econômico, científico e ambiental, aliando praticidade, economia e possibilitando o controle de poluentes danosos ao meio ambiente e à saúde.

Neste trabalho a sonda lambda convencional foi utilizada para a detecção de NO_x em gases de escape na combustão de GLP devido ao seu baixo custo e, também, porque de acordo com Fischer et al. (2010) este sensor pode ser operado como sensor de NO_x se for utilizada uma técnica adequada para detecção. Ainda, de acordo com os autores, se tal técnica for aplicada em sistemas estacionários, como instalações de combustão industrial ou em incineradores de resíduos, pode-se obter a concentração de dois ou mais gases com apenas um sensor lambda comercial, trazendo a possibilidade de detecção simultânea de, por exemplo, O_2 e NO_x .

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho é analisar a aplicação de um sensor lambda convencional para detecção de NO_x em um sistema de combustão de GLP.

1.1.2 Objetivos específicos

Especificamente, os objetivos são:

- a) desenvolver um sistema de detecção de NO_x em gases de escape de combustão de GLP, utilizando o sensor lambda, composto por circuitos eletrônicos de instrumentação para excitação e controle de temperatura do sensor;
- b) analisar as curvas de descarga do sensor lambda para diferentes concentrações de NO_x na combustão de GLP após a aplicação de pulsos de tensão elétrica no elemento sensor;
- c) verificar a faixa de detecção de NO_x do sensor lambda aplicado à combustão de GLP e as limitações operacionais.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em quatro seções, em que os assuntos são abordados obedecendo à seguinte divisão:

A seção 1 é composta por uma introdução com justificativa que visa apresentar argumentos que corroboram a execução deste trabalho, pelo objetivo geral e pelos objetivos específicos que norteiam as conclusões almejadas.

A seção 2 apresenta a revisão bibliográfica dos assuntos tratados, trazendo conceitos teóricos sobre o sensor lambda, seu princípio de funcionamento e suas aplicações, bem como a técnica de detecção de NO_x aplicada neste trabalho.

A seção 3 consiste na apresentação da metodologia e do material utilizado para realização da pesquisa, onde são apresentados os materiais, equipamentos, infraestrutura utilizada, os circuitos eletrônicos desenvolvidos e a descrição dos procedimentos realizados para detecção de NO_x .

A seção 4 apresenta os resultados obtidos e as discussões acerca dos resultados.

A seção 5 apresenta as conclusões do estudo realizado.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Nesta seção são abordados o princípio de funcionamento do sensor lambda, o material constituinte, as aplicações deste sensor em sistemas automotivos e industriais e a técnica de detecção de NO_x .

2.1 SENSOR LAMBDA

O sensor lambda foi inventado em 1976 pela empresa Robert Bosch GmbH, e o seu surgimento causou uma revolução no setor automotivo. No mesmo ano que a sonda lambda foi lançada, a tecnologia foi aplicada em automóveis suecos da Volvo. Os veículos da série 240 e 260 da marca sueca, que possuíam a sonda lambda, foram exportados para a Califórnia, estado americano que logo introduziu normas de emissões de CO_2 para controle da poluição automotiva (PAIVA, 2009).

Até bem pouco tempo, o sensor lambda era exclusivamente aplicado aos sistemas automotivos para reduzir a emissão de poluentes e melhorar o desempenho dos motores veiculares. Nos últimos anos, por conta da crescente preocupação com o meio ambiente e as discussões a nível mundial para combater a poluição ambiental, começaram a surgir os primeiros estudos e as primeiras aplicações destes sensores voltados para sistemas industriais.

Os sensores lambda são aplicados para detectar a quantidade de oxigênio nos gases de escape em motores de combustão interna após uma combustão, permitindo verificar o quão completo é o processo de combustão. Estes sensores são utilizados para obter uma medição dos valores de oxigênio nos gases de escape, podendo operar em carros, recuperadores, fornos ou qualquer outro aparelho que consuma combustível (seja fóssil, álcool, biomassa ou outros) e oxigênio (POCEIRO, 2015).

2.1.1 Princípio de funcionamento e material constituinte

A sonda lambda é essencialmente um sensor que mede a concentração de oxigênio em gases de escape, comumente formado por um elemento cerâmico conhecido como YSZ, constituído por dióxido de zircônia (ZrO_2) estabilizado com óxido de ítrio (Y_2O_3) e revestido interna e externamente com uma camada de platina (Pt) porosa que cumpre a função de eletrodo. Para seu efetivo funcionamento, a sonda deve estar a temperaturas acima de 300°C . Por isso, alguns sensores são dotados de um elemento aquecedor para que sonda chegue mais rapidamente em regime (MARTINS, 2013).

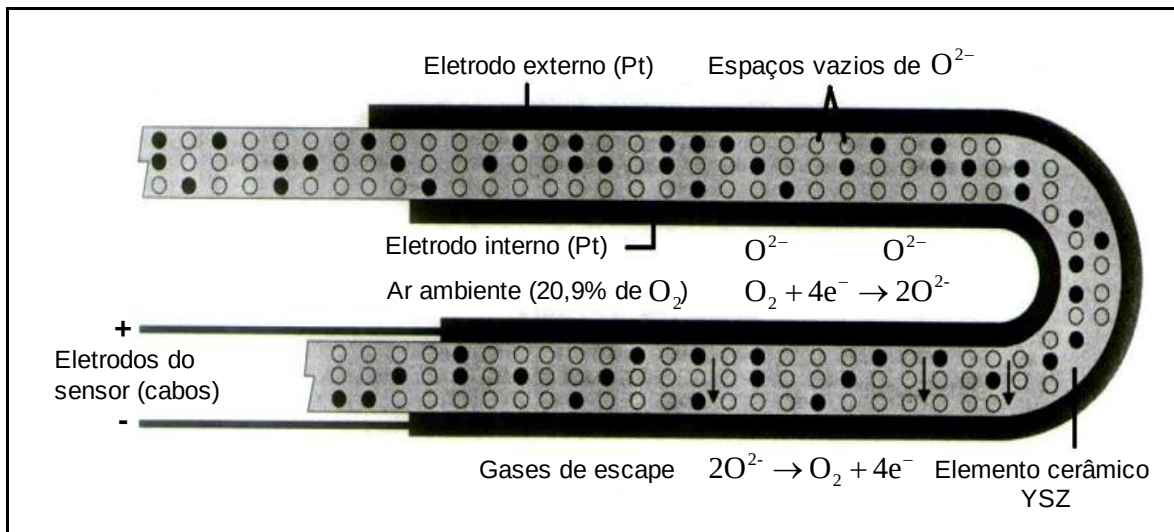
A camada de platina porosa, que reveste o elemento, forma uma superfície catalítica, que promove a transformação das moléculas de oxigênio (O_2), inertes à temperatura ambiente, em íons de oxigênio (O^{2-}). O YSZ quando aquecido a temperaturas superiores a $300^\circ C$, apresenta a capacidade de difundir íons de oxigênio (O^{2-}), através dos espaços vazios existentes na estrutura cerâmica em que estão moldados. Dentro do elemento cerâmico, os íons de oxigênio fluem no sentido da sua maior concentração (normalmente a superfície de platina em contato com a atmosfera - parte interna do sensor) para a menor, que é a superfície em contato com os gases de escape (SILVA, 2014).

A superfície de platina em contato com o ar atmosférico, possuindo uma percentagem de oxigênio superior aos gases de escape onde está em contato a outra superfície, promove a ionização e fornece os 4 elétrons necessários para a formação de íons O^{2-} , ficando com uma carga positiva de menos 4 elétrons por cada molécula de oxigênio reduzida. Os íons de oxigênio, cada um com dois elétrons a mais, penetram no elemento cerâmico e difundem-se através deste, de modo a equalizar a sua concentração. Ao chegarem junto da superfície de platina em contato com uma percentagem de oxigênio inferior, tendem a atravessá-la, fornecendo-lhe 4 elétrons, de modo a que cada dois íons se transformem numa molécula de oxigênio. Verifica-se, deste modo, o aparecimento de uma diferença de potencial entre os eletrodos de platina, resultante da superfície interior (pólo positivo, cátodo) possuir falta de elétrons e a superfície exterior (pólo negativo, ânodo) possuir excesso, comportando-se assim, o conjunto, como uma célula galvânica, isto é, uma pilha ou bateria (PAIVA, 2009).

As semi-reações de oxidação e redução são acompanhadas por um movimento de elétrons, através do elemento cerâmico, do cátodo para o ânodo, que termina quando se atinge uma determinada diferença de potencial entre os dois eletrodos de platina. As reações prosseguirão, contudo, quando estabelecermos uma ligação galvânica, por exemplo, através de um voltímetro, entre os eletrodos de platina, pois os elétrons em excesso na superfície exterior fluirão através do equipamento de medida para o eletrodo interior, criando assim uma diferença de potencial, função da diferença de concentrações de oxigênio entre os dois meios, atmosférico e gases de escape (SILVA, 2014).

Abaixo, na Figura 1, é possível visualizar o princípio de funcionamento descrito anteriormente.

Figura 1 - Princípio de funcionamento do sensor lambda



Fonte: Adaptado de Paiva (2009).

Quando o sistema está em equilíbrio termodinâmico, a diferença de potencial gerada entre os eletrodos do sensor é determinada unicamente pelas pressões parciais de oxigênio. A força eletromotriz de circuito aberto na temperatura T é dada pela Equação 1, de Nersnt (BRAILSFORD et al., 1997).

$$E = - \frac{R.T}{4.F} \ln \left(\frac{PO_{2 \text{ combustão}}}{PO_{2 \text{ atmosférico}}} \right) \quad (1)$$

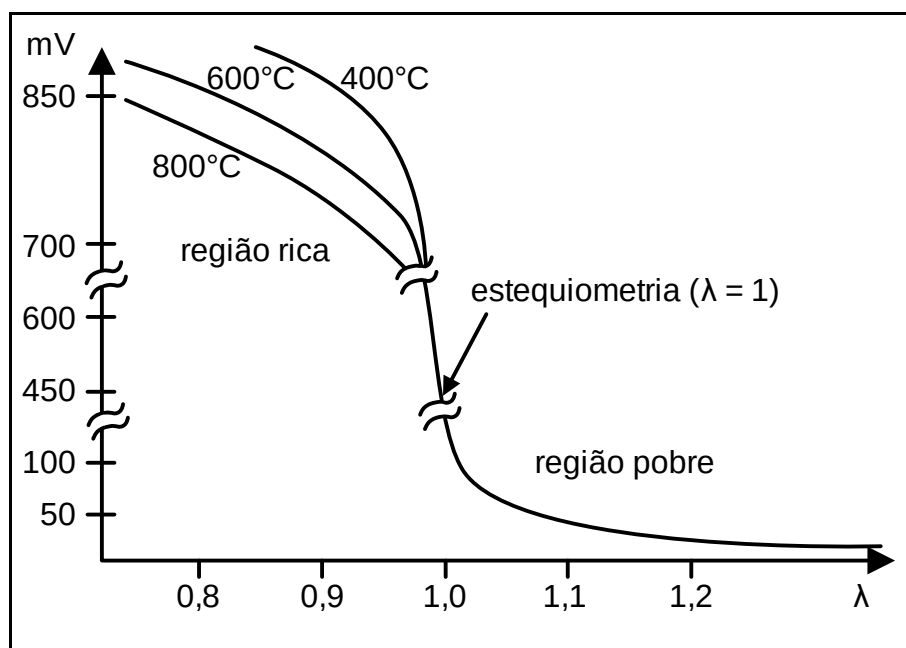
Onde E é a diferença de potencial gerada entre os eletrodos do sensor, R é a constante universal dos gases ($8,31 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$), F é constante de Faraday ($9,65.10^4 \text{ Cmol}^{-1}$), T é a temperatura absoluta na sonda (K), $PO_{2 \text{ combustão}}$ é a pressão parcial de oxigênio nos gases de combustão e $PO_{2 \text{ atmosférico}}$ é a pressão parcial de oxigênio na atmosfera.

Este fenômeno só ocorre a temperaturas acima de 300° C , temperatura a partir do qual o elemento YSZ passa a ser condutor de íons O^{2-} , por isso existem sensores munidos de aquecedor elétrico, possuindo uma resistência cerâmica que permite controlar e manter a temperatura do sensor acima de 300° C , este elemento aquecedor possui característica PTC (Positive Temperature Coefficient), ou seja, coeficiente de temperatura positivo, sua resistência aumenta quando a temperatura sobe (PAIVA, 2009).

A curva típica da saída, em volts, em função do fator lambda (também chamado de excesso de ar) de um sensor lambda é ilustrado na Figura 2. A curva pode ter mudanças em temperaturas diferentes, entretanto em qualquer temperatura apresentará o mesmo formato e irá

exibir o mesmo tipo de queda brusca na condição de estequiometria, quando a relação ar/combustível é igual a 1, ou seja, zero por cento de oxigênio (LIMA et al., 2007).

Figura 2 - Curva típica de uma sonda lambda



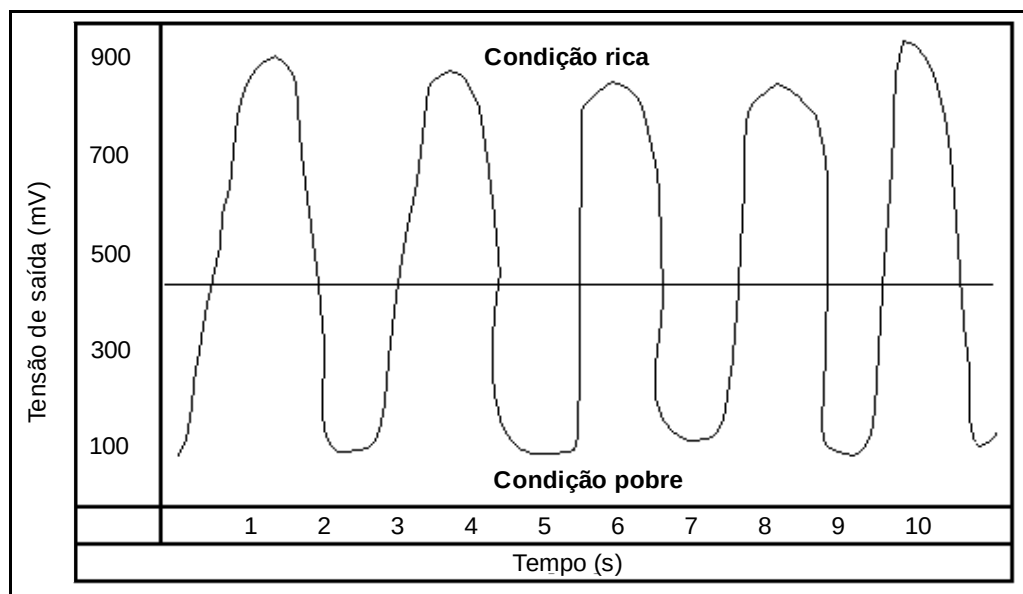
Fonte: Adaptado de Lima et al. (2007).

Quando a tensão de saída da sonda lambda atinge o valor de 800 mV, significa que o sensor está em um ambiente em que os gases de combustão estão na condição “rica”, isto é, deficientes de oxigênio ou com excesso de combustível, correspondendo a λ (relação ar/combustível) = 0,6. Quando $\lambda = 0,95$, a voltagem será de 750 mV e haverá um joelho seguido de uma queda brusca na voltagem para aproximadamente 400 mV quando $\lambda = 1$. A curva característica é similar, porém os valores de saída, em volts, da sonda irão mudar dependendo da temperatura do sensor. Já quando ocorrerem as condições de combustão “pobre”, ou seja, $\lambda = 1,05$, a tensão será de 150 mV, a saída novamente irá passar por um joelho e irá nivelar a partir de $\lambda = 1,3$, e a tensão de saída atingirá 100 mV (LIMA et al., 2007).

De acordo com a Figura 2, na condição de estequiometria, a queda súbita na tensão de saída do sensor é indiferente a temperatura da sonda. Este comportamento é usado pelo sistema de injeção eletrônica de veículos automotores para controlar a relação ar/combustível perto da condição estequiométrica nos motores de combustão interna (LIMA et al., 2007).

Abaixo, na Figura 3, é possível observar o ciclo de funcionamento da sonda lambda à medida que o sistema automotivo de injeção eletrônica altera a mistura de ar e combustível, com objetivo de manter a combustão na condição estequiométrica.

Figura 3 - Saída de um sensor lambda instalado em um sistema automotivo



Fonte: Adaptado de Bosch (2012).

Como a temperatura dos gases de escape dos veículos automotores varia bastante, no caso dos sistemas automotivos, o sensor só pode ser usado na região onde o sinal apresenta a queda súbita de tensão, onde a combustão se apresenta estequiométrica. Além disso, para que o sensor comece a operar mais rapidamente ao ligar o veículo, é necessário que a sonda seja dotada de elemento aquecedor, por isso foram desenvolvidas as sondas com aquecimento (LIMA et al., 2007).

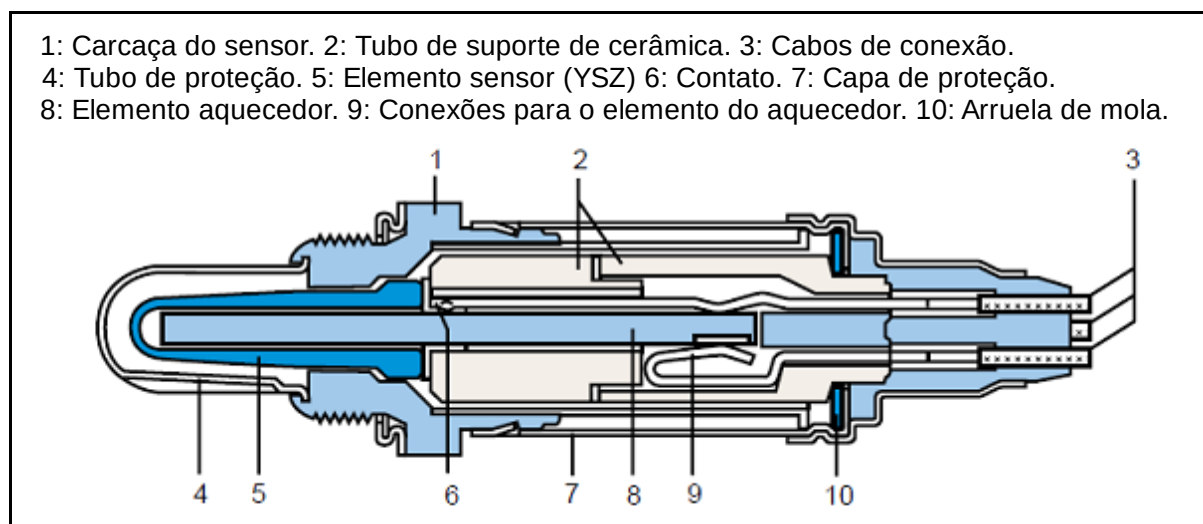
No caso de aplicação do sensor lambda no âmbito da combustão industrial, o sensor deve ser colocado em uma região onde a temperatura seja relativamente constante. Se for utilizado um sensor não aquecido, a sonda deve ser instalada o mais próximo possível ou até mesmo dentro da câmara de combustão, em uma faixa de temperatura que garanta que o sensor esteja em regime. Além do mais, é necessário monitorar a temperatura, utilizando, por exemplo, um termopar. Pois a temperatura e a saída de tensão do sensor serão usadas para determinar a concentração de oxigênio dos gases de escape através da equação de Nernst (LIMA et al., 2007).

As sondas lambda providas de elemento aquecedor, no que diz respeito à longevidade do sensor, adquiriram vantagens adicionais em relação as que não possuem este elemento, devido a menor deterioração causada pelo estresse térmico e à maior flexibilidade do local de instalação do sensor, pelo fato de permitir calibração mais precisa, devido à baixa variação da resposta da sonda, agora possibilitado o controle de sua temperatura (PAIVA, 2009).

O sensor lambda convencional, também conhecido como sonda lambda tipo dedal, é a forma mais simples e barata do sensor lambda, pois é fabricado em um processo já estabelecido. Ele está embutido em um invólucro de aço para proteção contra choques térmicos e mecânicos. Um aquecedor tipo haste com um coeficiente de resistência a temperatura positivo está acoplado a sonda. A temperatura do sensor pode ser controlada pela tensão no elemento aquecedor. Eletrodos de platina e uma camada de proteção porosa são aplicados. Os eletrodos são permeáveis aos gases e mostram uma alta atividade catalítica para estabelecer um equilíbrio termodinâmico mesmo em temperaturas relativamente baixas (FISCHER et al., 2010).

A seguir, na Figura 4, é mostrado o esquemático de um sensor lambda convencional (tipo dedal), onde é possível visualizar as características construtivas do sensor como encapsulamento, formato e conexões.

Figura 4 - Esquemático de um sensor lambda convencional



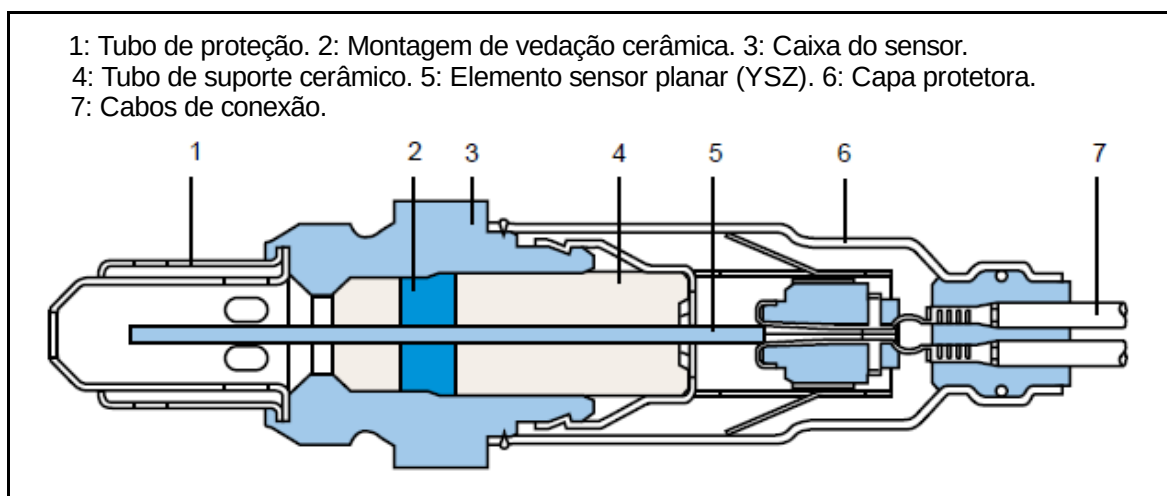
Fonte: Adaptado de Bosch (2012).

Além do sensor lambda convencional, existe o planar (Figura 5), que é um aperfeiçoamento da sonda convencional. A principal diferença está na forma construtiva, onde o elemento aquecedor está integrado ao elemento sensor, possibilitando a obtenção de uma resposta de medição mais rápida. Foi um sensor projetado usando tecnologia de fabricação de filme planar. Também possui quatro fios e, opera com o mesmo princípio que os sensores do tipo dedal, o design plano possibilita um aquecedor mais efetivo, uma construção mais robusta, um tempo de comutação mais rápida e uma vida útil superior (BOSCH, 2012).

O conceito operacional básico é o mesmo que do sensor convencional aquecido na medida em que gera uma curva de resposta com um salto característico quando o fator λ é igual

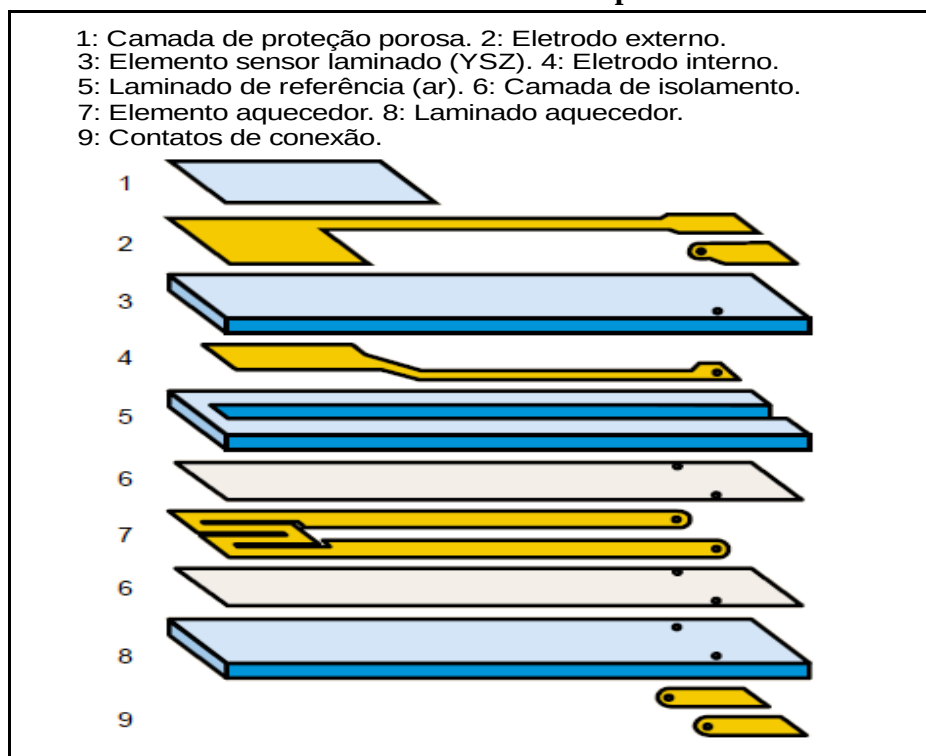
a um (conforme a Figura 2). O sensor plano se distingue do tipo de dedal nas seguintes características: o eletrólito de corpo sólido consiste em camadas cerâmicas; um selante cerâmico sólido retém o elemento sensor dentro da fundição do sensor; e um tubo de proteção de parede dupla protege o elemento sensor contra excessos térmicos e físicos. Ainda, as camadas ativas individuais (Figura 6) são fabricadas com técnicas de serigrafia. Esta técnica permite empilhar camadas laminadas com várias configurações e integrar o aquecedor dentro do elemento sensor (BOSCH, 2012).

Figura 5 - Esquemático de um sensor lambda planar



Fonte: Adaptado de Bosch (2012).

Figura 6 - Camadas construtivas de um sensor lambda planar



Fonte: Adaptado de Bosch (2012).

Apesar das vantagens da sonda lambda planar, o sensor lambda convencional possui um processo de fabricação mais consolidado e ainda é muito utilizado por diversas montadoras de automóveis, sendo a forma mais simples e barata do sensor lambda, de acordo com Fischer et al. (2010). Portanto, é uma tecnologia já bem estabelecida, possuindo mais aplicações em sistemas de combustão.

Abaixo, na Figura 7, temos um exemplo de sensor lambda comercial, do tipo dedal, munido de elemento aquecedor, ou seja, com 4 fios.

Figura 7 - Sonda lambda comercial



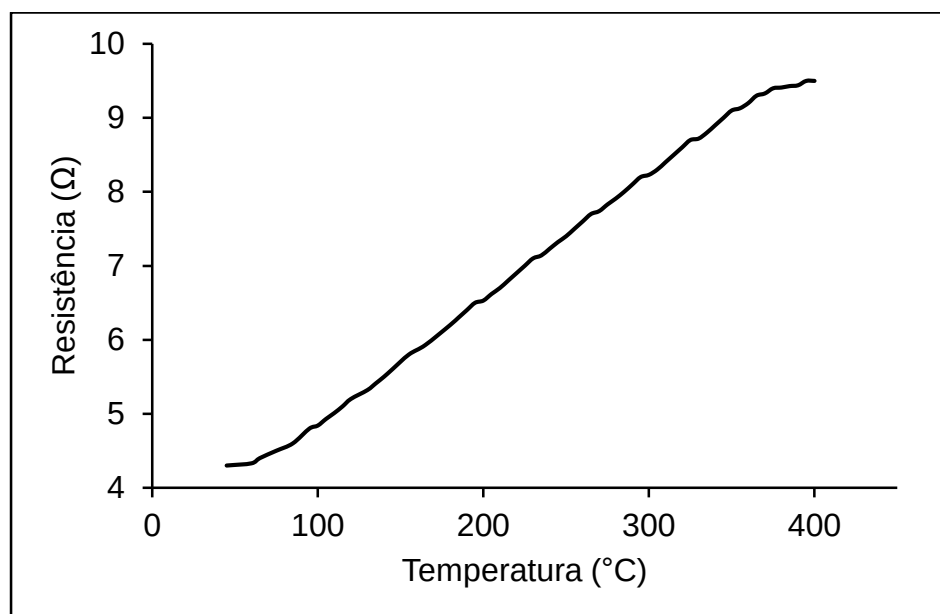
Fonte: NTK Technical Ceramics.

Como é necessário controlar a temperatura de operação do sensor lambda para medições precisas, que é o caso da combustão em processos industriais, Lima et al. (2015) observaram o comportamento do elemento aquecedor de uma sonda lambda convencional em relação a variação de temperatura e concluíram que a resistência elétrica do aquecedor varia linearmente com a temperatura, sendo possível controlar a temperatura da sonda a partir do medição de resistência, em ohms (Ω), utilizando circuitos eletrônicos desenvolvidos especialmente para o controle de temperatura da sonda.

A seguir, na Figura 8, é ilustrada a relação temperatura *versus* resistência elétrica do elemento de aquecimento. Nesta situação, uma câmara de combustão foi aquecida por um queimador de GLP (gás liquefeito de petróleo) até atingir aproximadamente 400°C na chaminé dos gases de escape. Depois disso, o queimador foi desligado e, simultaneamente, a resistência

do elemento de aquecimento e a temperatura fornecida por um termopar instalado perto do sensor lambda foi monitorada (LIMA et al., 2015).

Figura 8 - Resistência elétrica do elemento aquecedor *versus* temperatura

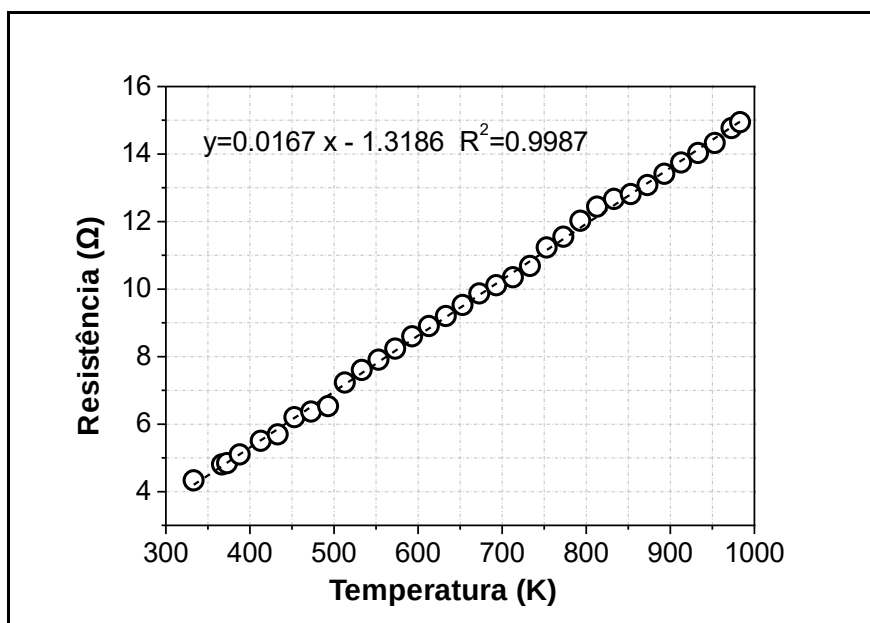


Fonte: Adaptado de Lima et al. (2015).

A resposta de tempo do elemento aquecedor durante a aplicação de um pulso de tensão, em volts, com o objetivo de ajustar a temperatura de trabalho do sensor lambda em 700°C foi medida por Souza Sobrinho et al. (2012). A resposta de tempo do aquecedor foi de cerca de 7 segundos e sua constante de tempo foi de cerca de 2 segundos. A resistência elétrica interna do elemento sensor de YSZ também foi monitorada no intervalo de aquecimento da temperatura ambiente até 700°C. Foi verificado que a resistência elétrica do elemento sensor em temperatura ambiente é cerca de 20 MΩ e cai rapidamente até chegar a zero na temperatura final de 700°C (LIMA et al., 2015).

Os autores Silva et al. (2018) também investigaram o comportamento da resistência de aquecimento do sensor lambda em relação a temperatura, onde foi obtido um gráfico da resistência do elemento aquecedor até a temperatura de 700°C (973,15 K), conforme a figura 9. Tal informação é necessária para realizar o controle de temperatura da sonda.

Figura 9 - Resistência elétrica do elemento aquecedor *versus* temperatura



Fonte: Adaptado de Silva et al. (2018).

2.1.2 Aplicações do sensor lambda

Como visto na subseção anterior, os sensores baseados na sonda lambda são utilizados para monitorar e controlar processos de combustão, tanto na área automotiva como também, mais recentemente, no campo industrial. A seguir são apresentados alguns exemplos de aplicação da sonda lambda nestes dois setores.

2.1.2.1 Monitoramento em sistemas automotivos

A utilização de sensores lambda nos automóveis causou uma revolução no setor automotivo. Antigamente, os veículos utilizavam um sistema composto por carburadores, onde não era possível controlar a quantidade de combustível adicionada em malha fechada. O uso do sensor lambda, em conjunto com o sistema de injeção eletrônica, possibilitou a melhoria da eficiência da combustão e reduziu as emissões de poluentes dos veículos (HADDAD, 2012).

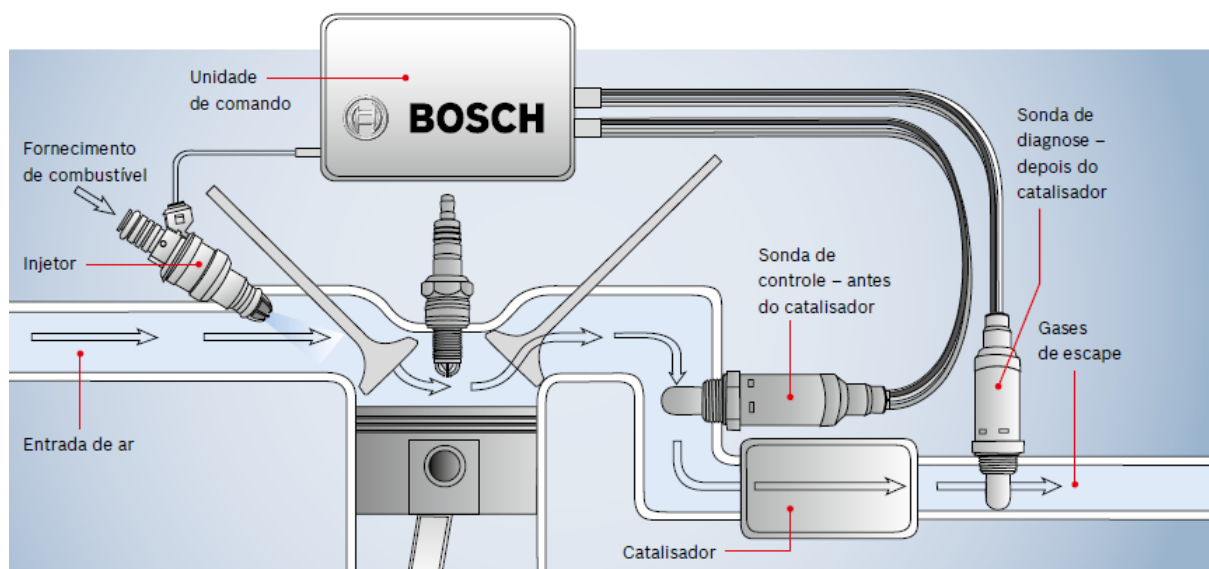
No sistema de injeção eletrônica, se a quantidade de oxigênio nos gases de escape for menor que a esperada (concentração atmosférica), diminui-se a quantidade de combustível injetado para a próxima queima, assim aumentando-se o nível de oxigênio nos gases de escape e vice-versa. Isto é, por meio do sinal da sonda lambda, a unidade de comando eletrônica reconhece a composição da mistura ar/combustível. Na injeção, a sonda lambda controla a quantidade injetada para garantir uma composição otimizada da mistura ($\lambda=1$). Para isso, também é necessário considerar a carga do motor. Essa tecnologia permitiu o controle efetivo dos

parâmetros de combustão, sendo possível atuar diretamente na injeção de ar e combustível, e desta forma aumentar a eficiência da combustão e reduzir a emissão de poluentes (BOSCH, 2012).

A sonda lambda, além de fornecer o ponto ideal, ou seja, de queima estequiométrica, para a combustão, também pode ser utilizada para verificar a eficiência de um conversor catalítico, geralmente um catalisador de três vias. O catalisador é um dispositivo que tem como função reduzir a toxidade das emissões dos gases de escape de um motor. O catalisador de três vias faz a redução de NO_x e a oxidação de CO e HC resultantes da queima de combustíveis. Quando a sonda lambda está instalada com a função de verificar a eficiência do catalisador, ela é colocada após o conversor catalítico (MARTINS, 2013).

Adiante, na Figura 10, é exposto de forma genérica um sistema de injeção eletrônica onde há duas sondas lambda instaladas, uma para controle da combustão e a outra para verificar a eficiência do catalisador.

Figura 10 - Sistema de injeção eletrônica veicular



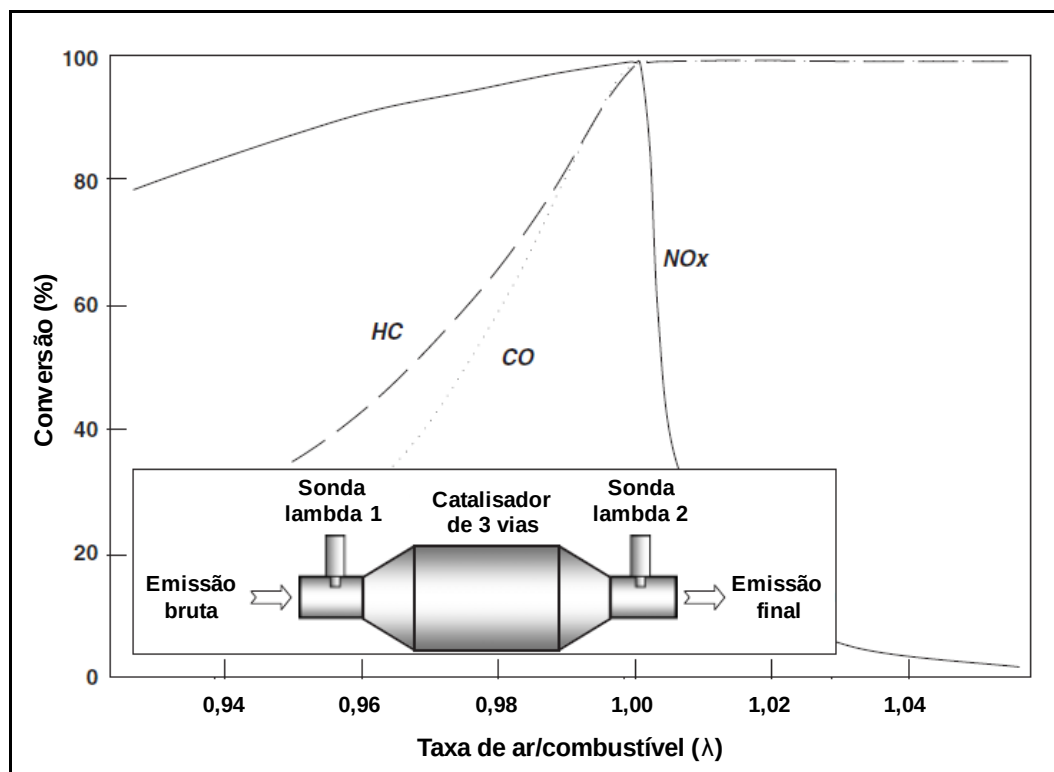
Fonte: Bosch (2011).

Na Figura 11, a seguir, é ilustrada a eficiência de eliminação dos vários poluentes (NO_x , CO e HC) pelo catalisador de três vias em função da relação ar/combustível, também conhecida como fator ou taxa λ , fornecido pela sonda lambda. Observamos que o ponto de maior eficiência de conversão do catalisador se dá na condição estequiométrica, ou seja, quando $\lambda = 1$.

Embora o sensor lambda de diagnóstico, instalado pós-catalisador, seja do mesmo tipo que o sensor lambda convencional usado para o controle da combustão, a atividade do sensor é bastante diferente do que seria esperado de um sensor de pré-catalisador que funcionasse

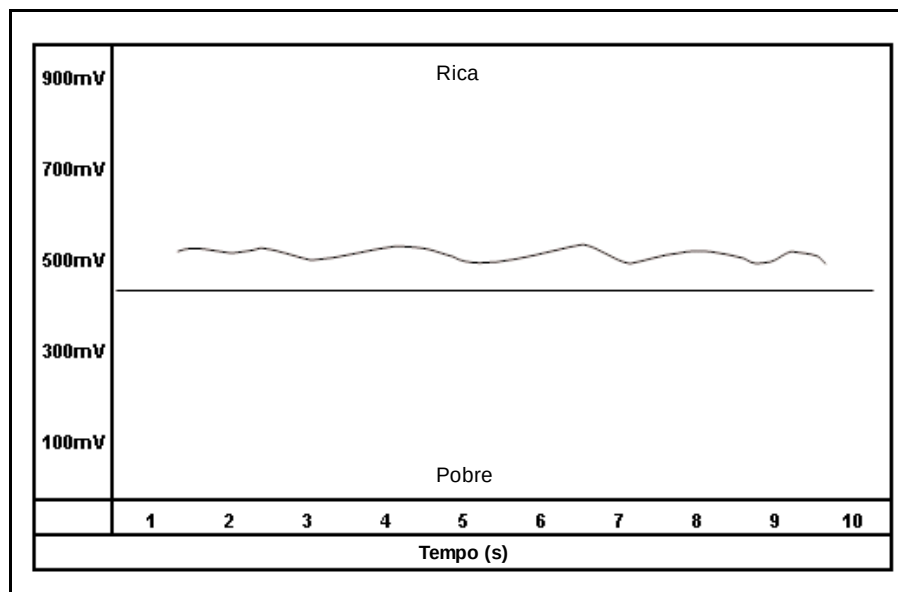
corretamente. Conforme mostrado na Figura 12, o sinal de saída do sensor de diagnóstico geralmente é um sinal de saída de formato quase plano de aproximadamente 500 mV, isso contrasta com a ciclo normal de trabalho de uma sonda convencional de controle (Figura 3), justamente porque os gases passaram pelo catalisador, onde correm as reações de oxidação e redução (BOSCH, 2012).

Figura 11 - Eficiência de conversão de um catalisador de três vias em função da relação ar/combustível



Fonte: Adaptado de Moos (2005).

Figura 12 - Saída de um sensor lambda instalado após o catalisador



Fonte: Adaptado de Bosch (2012).

Temos assim, que a sonda lambda pode funcionar tanto como dispositivo de controle, como de verificação da eficiência do catalisador nos automóveis.

2.1.2.2 Monitoramento em sistemas de combustão industrial

Atualmente, existem no mercado algumas empresas que fabricam monitores industriais de $\%O_2$, baseados na sonda lambda, inclusive no Brasil. Assim, importa analisar os produtos já existentes no mercado, principalmente, no que se refere a suas funcionalidades.

O primeiro medidor de combustão desenvolvido para as aplicações industriais, com base nesta sonda, foi criado pela empresa alemã Lamtec em 1998. Desde então, vários pesquisadores nesta área, procuraram usar a sonda lambda em aplicações de combustão industrial para medir o teor de O_2 na faixa de 12 a 15% de concentração em caldeiras industriais, para monitorizar a combustão em leito fluidizado e para determinar o excesso de ar através desta sonda (LIMA et al., 2007). A Lamtec comercializa um equipamento onde um sensor baseado na sonda lambda, chamado de LS1 Lambda Probe consiste numa célula eletroquímica, desenvolvida de forma particular, que produz uma corrente elétrica proporcional à concentração de O_2 . A forma como foi projetada confere-lhe atributos especiais, como a fácil calibração e a insensibilidade às variações da temperatura, dentro de sua faixa de operação. O sensor pode ser calibrado usando apenas o ar atmosférico, uma vez que a curva característica é uma reta que passa pela origem. Apesar de se manter insensível à variação da temperatura, a sua gama de funcionamento é restrita, pois quanto maior for a temperatura, menor é a faixa de operação (LAMTEC, 2017). O LS1 Lambda Probe é utilizado em conjunto com o LT1 Lambda Transmitter, um instrumento de

medição de %O₂ de aplicação universal para medição direta da concentração de O₂. Este sistema de medição pode ser utilizado em câmaras de combustão industrial, fornos e gases de diversos processos de produção. Além disso, possui interface de comunicação compatível com os sistemas comerciais de instrumentação industrial. Este equipamento desenvolvido pela Lamtec (Figura 13), composto pelo LS1 Lambda Probe e o LT1 Lambda Transmitter, apresenta como vantagens: um tempo de estabilização inferior a 15 segundos; requer baixa manutenção; boa precisão, 0,2% de O₂ na gama de 0 a 21% de O₂; resultados insensíveis à temperatura dentro da sua faixa de operação; não requer gás padrão para calibração (calibra automaticamente com o ar atmosférico); poder ser utilizado em aplicações cuja temperatura do gases de escape chegue aos 1500°C; e a medição é realizada diretamente no gases de exaustão, não necessitando de purificação dos gases.

Figura 13 - Monitor industrial de %O₂ da Lamtec



Fonte: Lamtec.

No Brasil, a Infitech Automação comercializa um monitor de combustão (Figura 14) provido de um sensor baseado na sonda lambda, que tem como função medir a concentração de oxigênio nos gases resultantes da combustão e informar o ponto de maior eficiência do processo de queima, possibilitando atuar no controle da combustão, assim reduzindo o consumo de combustível.

Figura 14 - Monitor de combustão industrial da Infitech Automação

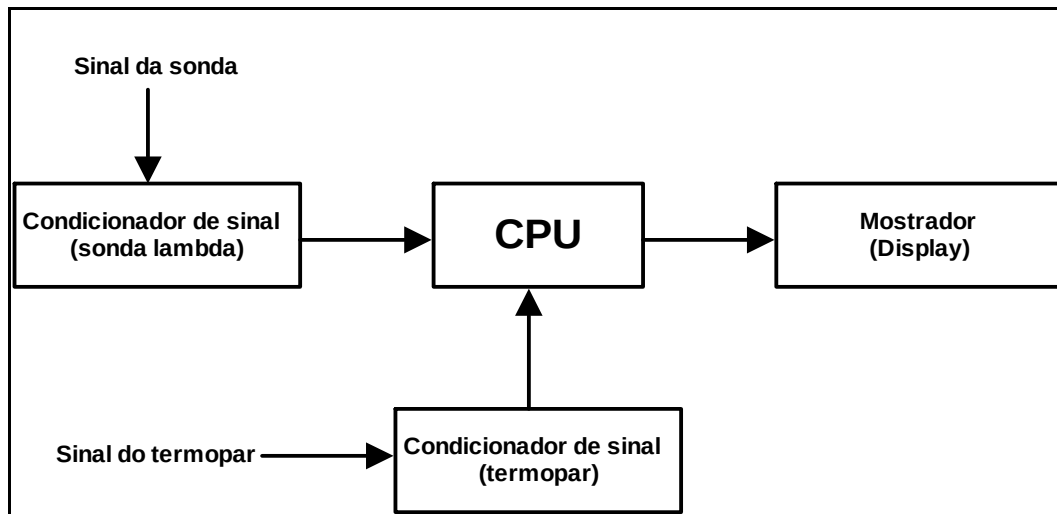


Fonte: Infitech Automação.

Visando desenvolver um sistema capaz de melhorar a eficiência de combustão em processos industriais, Lima et al. (2007) construíram e avaliaram um monitor de combustão industrial usando um sensor de oxigênio automotivo, ou seja, uma sonda lambda convencional de baixo custo. A proposta era um monitor de combustão industrial simples, de fácil calibração e pouco dispendioso.

A partir do desenvolvimento deste monitor de combustão, os autores patentearam um sistema eletrônico de monitoramento da queima de combustíveis derivados de petróleo, gás e biomassa (Figura 15). O sistema é constituído por três módulos, sendo dois referentes a sensores de gases e de temperatura, e um terceiro composto por uma CPU (unidade central de processamento) cuja finalidade é processar os dados recebidos dos sensores e informar o valor do percentual de O_2 existente nos gases de combustão, assim sinalizando o quanto deve ser o ajuste na mistura de ar e combustível, proporcionando uma queima dentro do padrão estequiométrico, com a vantagem de diminuir os custos com combustíveis e as emissões de poluentes para atmosfera (FUNDAÇÃO EDSON QUEIROZ, 2008).

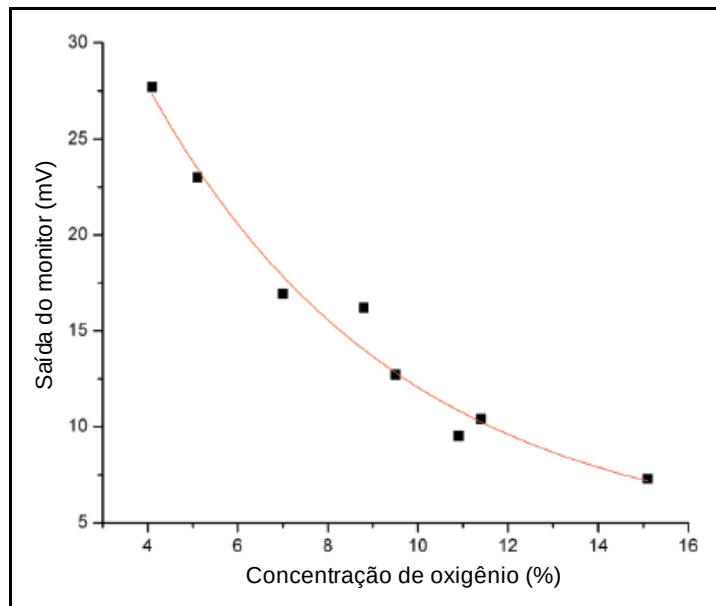
Figura 15 - Sistema eletrônico de monitoramento da %O₂



Fonte: Adaptado de FUNDAÇÃO EDSON QUEIROZ (2008).

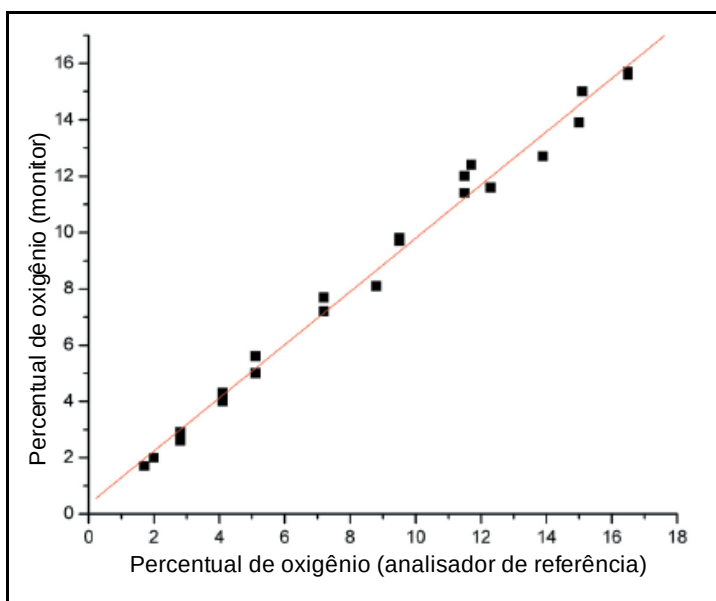
Na Figura 16 podemos visualizar a saída deste monitor em função da %O₂ e na Figura 17 a comparação entre a medida do monitor desenvolvido e um analisador de referência. Os testes foram realizados em uma câmara de combustão industrial (LIMA et al., 2011).

Figura 16 - Saída do monitor em função do porcentual de oxigênio (T=500°C)



Fonte: Adaptado de Lima et al. (2011).

Figura 17 - Medida do monitor versus analisador de referência (T=500°C)



Fonte: Adaptado de Lima et al. (2011).

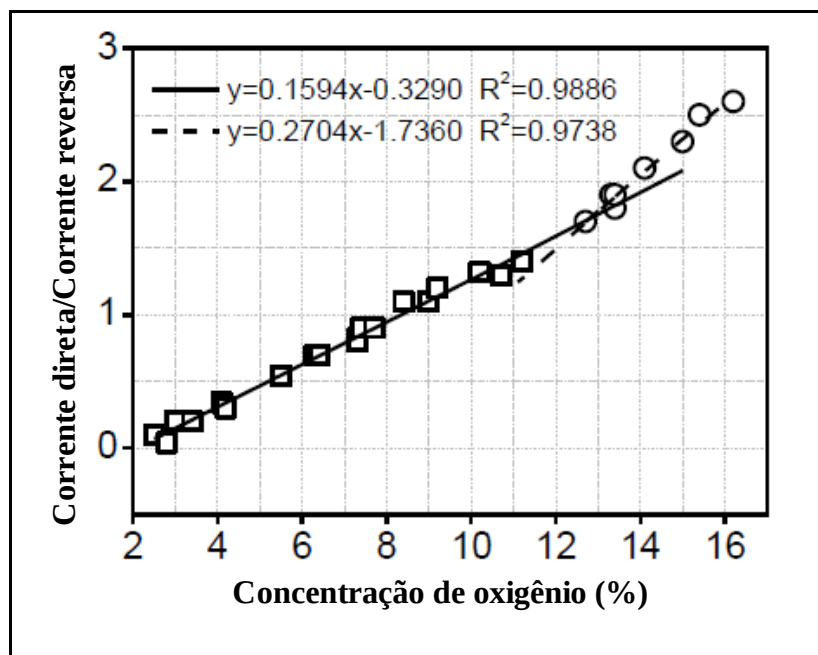
Após a realização de testes na câmara de combustão industrial, Lima et al. (2011) obtiveram resultados satisfatórios quanto a curva de saída do monitor em relação a concentração de oxigênio em uma temperatura constante de 500°C. Os resultados comprovaram a viabilidade do referido monitor de combustão industrial, apresentando desvio máximo de 10% nos teores de oxigênio para a faixa econômica da combustão industrial. Apesar dos bons resultados apresentados pelo monitor, segundo os autores, alguns aprimoramentos ainda são necessários.

Mais recentemente, Silva (2014), Lima et al. (2015) e Silva et al. (2018) utilizaram uma técnica diferente para o monitoramento da combustão industrial usando o sensor lambda convencional.

A técnica consiste na aplicação de um pulso de tensão elétrica no sensor em um sentido e então a corrente elétrica resultante é medida, logo em seguida é aplicado outro pulso de tensão com a mesma intensidade, porém como sentido diferente e a corrente elétrica remeida. A relação entre as correntes medidas I_d (corrente direta) e I_r (corrente reversa) é linearmente dependente do potencial de oxigênio onde se está realizando as medidas. Esta técnica é conhecida como CRM (Current Reversal Mode, em inglês) ou Método da Corrente Reversa (GIBSON et al., 1999; VARAMBAN et al., 2005).

Os resultados mostraram que essa técnica é simples e precisa quando a porcentagem de oxigênio dos gases de combustão na faixa de 2 a 16% foi medida. Quando a técnica foi aplicada em uma câmara de combustão industrial e os resultados comparados com um analisador de gases, os valores apresentaram correlação de 0,99 (LIMA et al., 2015).

Figura 18 - Razão entre as correntes I_d e I_r versus porcentagem de oxigênio



Fonte: Adaptado de Lima et al. (2015).

A Figura 18 apresenta a relação entre correntes elétricas direta (I_d) e reversa (I_r) fornecida pelo sensor lambda devido à estimulação da diferença de potencial de onda quadrada de 35 mV aplicada nas direções direta e reversa com a frequência de 2 Hz. Até 12% de concentração de oxigênio o fator de correlação é relativamente bom e de 15% outra correlação mostra-se também muito boa. Existe um comportamento de transição do sensor lambda na faixa de 12 a 15% (LIMA et al., 2015).

Poceiro (2015) utilizou um sensor lambda, porém de banda larga, para monitoramento da combustão, por medições de %O₂, em caldeiras de biomassa. Este sensor tem custo relativamente elevado se comparado ao sensor lambda convencional. Por isso não será exposto em detalhes, já que aqui o objetivo é utilizar a sonda lambda convencional na detecção de gases de exaustão.

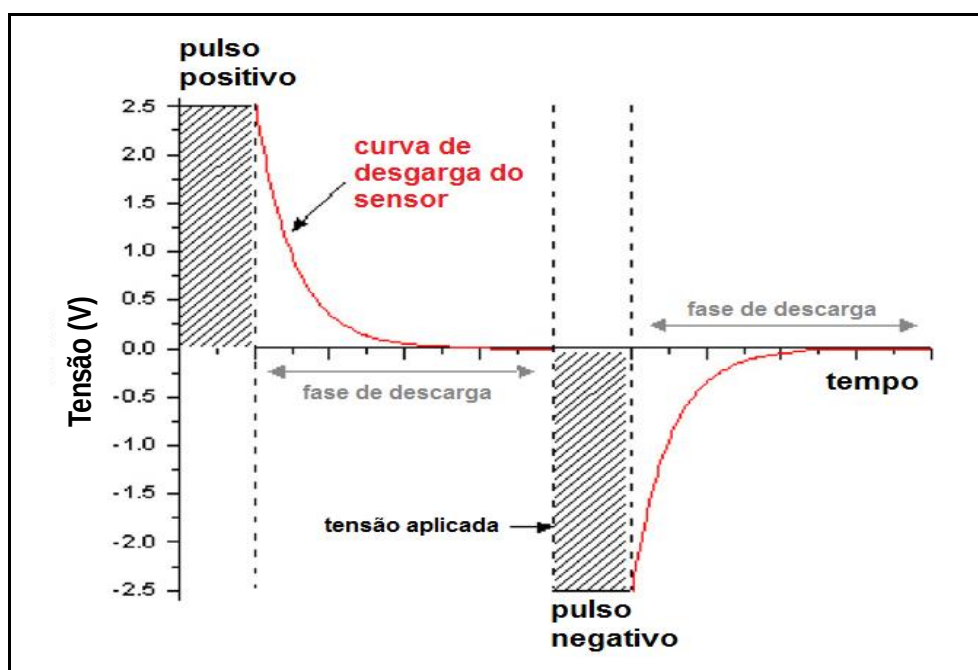
2.2 TÉCNICA DE DETECÇÃO DE NO_x

Uma técnica para detecção de diferentes gases de escape usando sensores baseados em YSZ (zircônia estabilizada com ítrio) foi inicialmente abordada por Fischer et al. (2009), onde o comportamento do sinal de um sensor lambda baseado em YSZ foi analisado. A característica de autodescarga do elemento sensor após diferentes pulsos de tensão elétrica é usada como

parâmetro de medição que depende do tipo de gás e da concentração. NO_x em baixas concentrações foi medido e permitiu-se melhorar a resposta e a seletividade ao NO_x comparado com outros gases investigados como NH_3 , H_2 e uma mistura de hidrocarbonetos.

O processo de medição utilizado é mostrado esquematicamente na Figura 19, e consiste na aplicação de um pulso de tensão de carga positiva, onde logo após a curva de descarga é capturada em um intervalo de tempo definido, em seguida o mesmo procedimento é repetido, porém como pulso de tensão de sinal oposto.

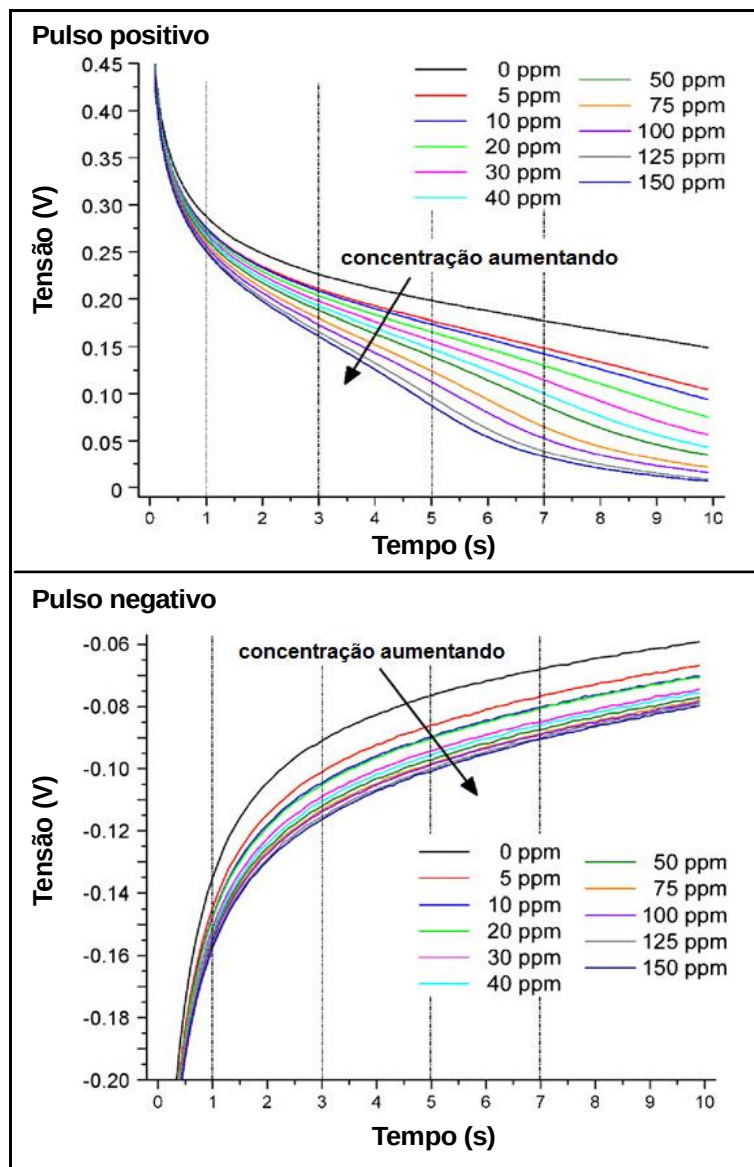
Figura 19 - Esquemático do procedimento de medição



Fonte: Adaptado de Fischer et al. (2009).

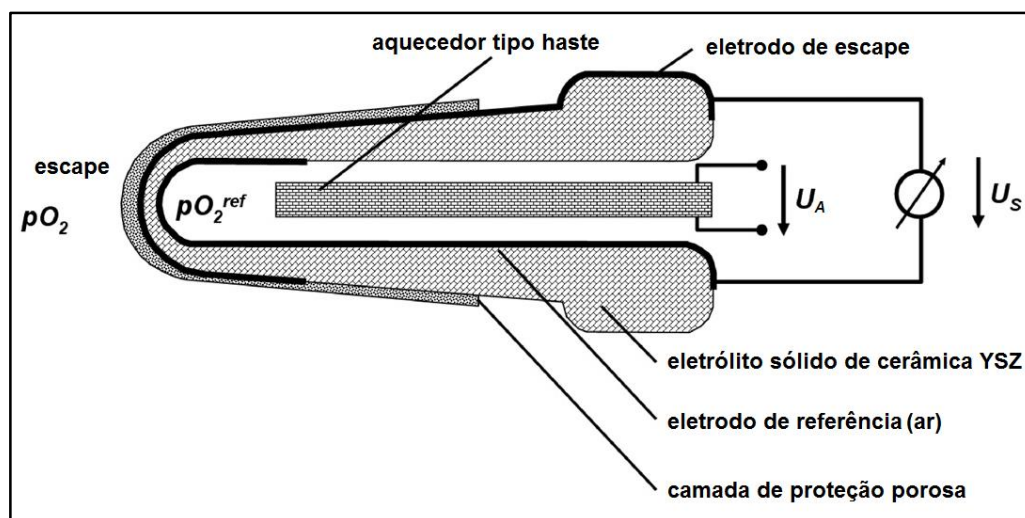
Esta técnica de detecção foi utilizada no estudo de Fischer et al. (2010) onde as medições de gás foram realizadas com um ar sintético com um fluxo de ar total de 1 L/min, a uma concentração de oxigênio de 4% e um nível de umidade de 3% absoluto. A sonda lambda foi montada em um forno para simular um tubo de escape quente. Foi utilizada uma temperatura do forno de 325°C e uma tensão de aquecimento constante de 8 V foi aplicada no elemento aquecedor, resultando em uma temperatura do sensor de aproximadamente 590°C. As curvas mostraram forte dependência em relação a concentração de NO_x , tanto para o pulso positivo como negativo, conforme pode ser visualizado na Figura 20.

Figura 20 - Curvas de descarga em relação a concentração de NO_x



Fonte: Adaptado de Fischer et al. (2010).

Figura 21 - Esquemático do sensor lambda convencional utilizado no procedimento de medição

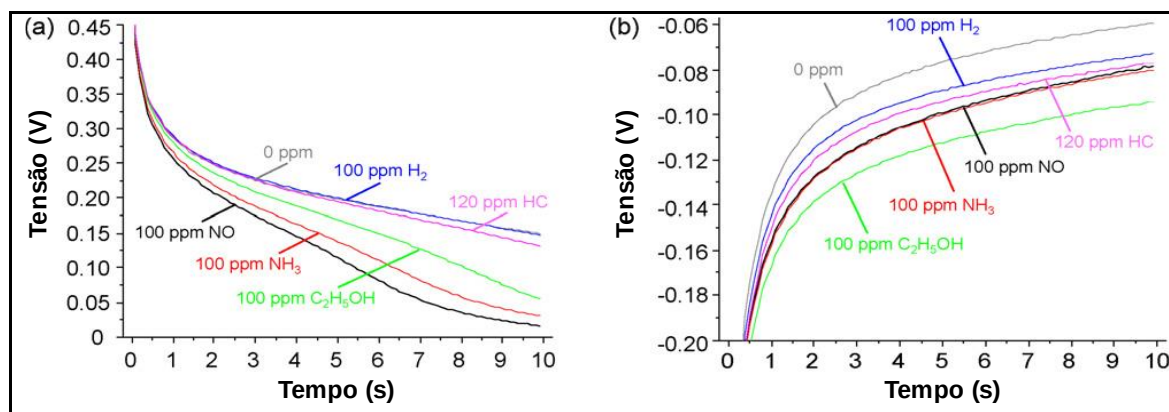


Fonte: Fischer et al. (2010).

Na Figura 21, acima, temos o esquemático do sensor lambda convencional utilizado no procedimento experimental de detecção de NO_x , no qual U_A refere-se aos terminais do elemento aquecedor, onde uma tensão é aplicada para o controle de temperatura da sonda, e U_S refere-se aos terminais do elemento sensor onde são aplicados os pulsos de tensão, positiva e negativa, para posterior análise das curvas de descarga.

Fischer et al. (2010) também observaram o comportamento do sensor para diferentes gases. A seguir, na Figura 22, temos o comportamento das curvas de descarga para gases distintos.

Figura 22 - Comportamento de descarga após aplicação, no elemento sensor, dos pulsos positivo (a) e negativo (b) para diferentes gases



Fonte: Adaptado de Fischer et al. (2010).

Fischer et al. (2010) enfatizam que esta técnica de detecção deve ser vista como uma abordagem inicial que mostra a viabilidade de um novo princípio de medição. Se este método for aplicado em sistemas automotivos, a sensibilidade cruzada ao oxigênio, à água e ao dióxido de carbono deve ser investigada, assim como a influência da temperatura de exaustão na operação do sensor. A vantagem adquirida em um sistema automotivo é a informação adicional de outra concentração de gás, por exemplo, do NO_x para verificação da eficiência do catalisador. Mas, no período de tempo de medição, o sensor não poderá operar mais como um sensor lambda, uma vez que sua temperatura deve ser reduzida.

A resposta do sinal obtida pelo método de autodescarga do sensor lambda mostra uma boa correlação com a concentração total de NO_x , independentemente se NO ou NO_2 for dosado como gás de teste. A aplicação de outros componentes relevantes dos gases de escape ao sensor reduz simultaneamente a sensibilidade para NO . No entanto, parece viável suprimir esses efeitos de interferência por uma abordagem de avaliação de dados adaptada, uma vez que as curvas de descarga para diferentes gases exibem características individuais (FISCHER et al., 2010).

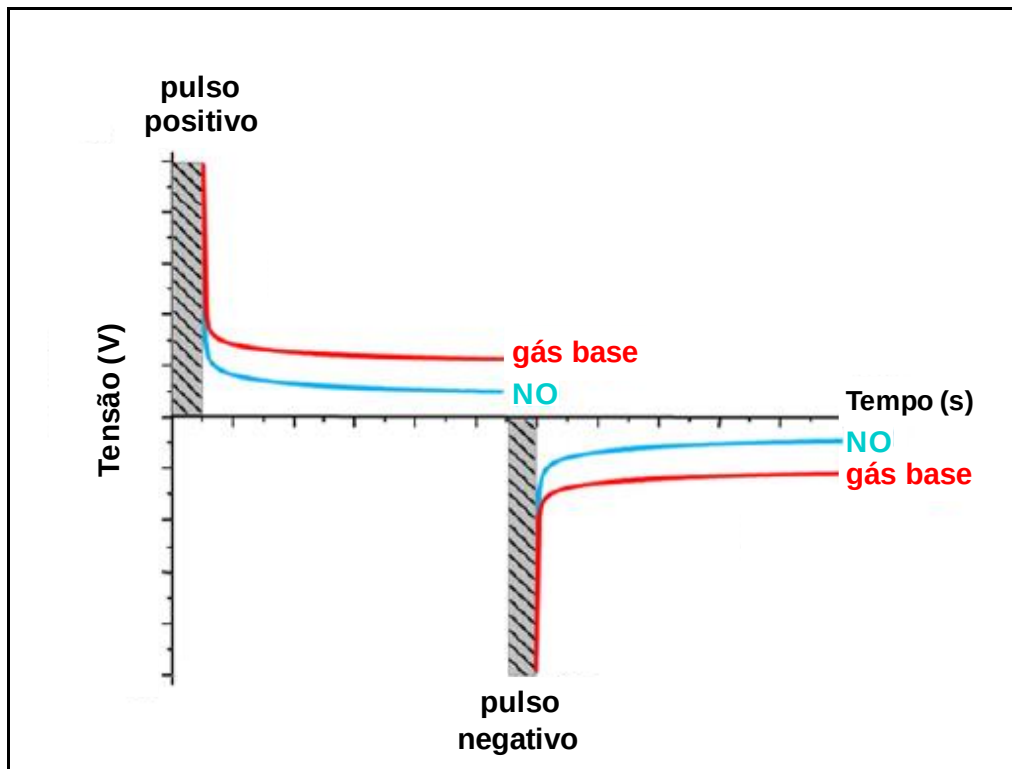
De acordo com os autores, se esta técnica de detecção for aplicada em sistemas estacionários, como instalações de combustão industrial ou em incineradores de resíduos, pode-se ganhar a concentração de dois ou mais gases com apenas um sensor lambda de baixo custo.

Fischer et al. (2014) estudaram a viabilidade de detecção de NO pelo método de autodescarga utilizando um sensor lambda planar, também composto por YSZ e eletrodos de Pt. Devido ao design do sensor planar ser simétrico, o formato da curva da tensão de descarga US é o mesmo após ambos os sinais de polarização (positiva e negativa). Isto está em forte contraste com os resultados obtidos para o sensor lambda convencional, onde um eletrodo é sempre exposto a uma referência de ar definida.

No sensor lambda planar a tensão cai muito rapidamente após os pulsos de potencial, reduzindo-se praticamente à metade da tensão aplicada no sensor em apenas 100 ms após o pulso de polarização. Como a resistência do elemento sensor de YSZ diminui com temperaturas mais altas, esse parâmetro tem uma grande influência no comportamento de descarga, de modo que a tensão cai mais rapidamente com o aumento da temperatura (FISCHER et al., 2014).

A seguir, na Figura 23, é possível visualizar o comportamento simétrico da curva de descarga quando são aplicados pulsos de tensão positiva e negativa no elemento sensor da sonda lambda planar. A descarga ocorre mais rapidamente quando há presença de alguma concentração de NO no meio onde o sensor está instalado.

Figura 23 - Influência do NO nas curvas de descarga do sensor lambda planar

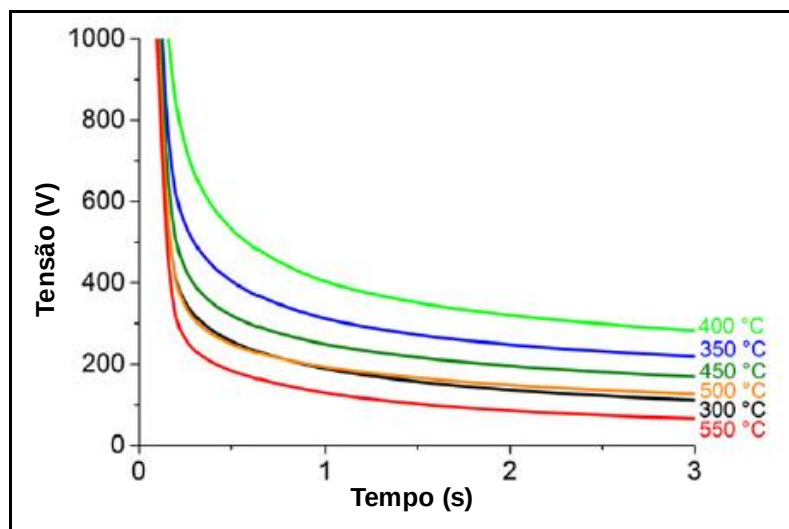


Fonte: Adaptado de Fischer et al. (2014).

O descarregamento depende diretamente da resistência do sensor e, portanto, da temperatura. Para alta resposta do sensor, que corresponde a uma grande diferença de tensão entre curva de descarga em gás de base e a curva de descarga contendo NO, a queda de tensão no gás de base tem que ser relativamente lenta após o pulso de tensão aplicado. Somente sob essa condição, a tensão no final do tempo de descarga é alta o suficiente para que a variação de tensão causada pelo NO seja alta o suficiente para obter uma grande diferença de tensão. Uma descarga relativamente lenta em combinação com polarização forte é essencial para a alta resposta do sensor, de modo que uma faixa ótima de temperatura deve ser encontrada devido à forte influência da temperatura na resistência e na transferência de carga (FISCHER et al., 2014).

Com o objetivo de descobrir o melhor ponto de operação para detecção de NO utilizando uma sonda lambda planar, os autores observaram a influência da temperatura nas curvas de descarga numa faixa de 300°C a 550°C, como intervalos de 50°C. A dependência das curvas de descarga é mostrada na Figura 24 para o gás base. Os eletrodos de Pt foram polarizados com uma tensão de 2,5 V por 100 ms e as curvas de descarga foram registradas em um intervalo de tempo de 3 s.

Figura 24 - Curvas de descarga em gás base em uma faixa de temperatura de 300°C a 550°C



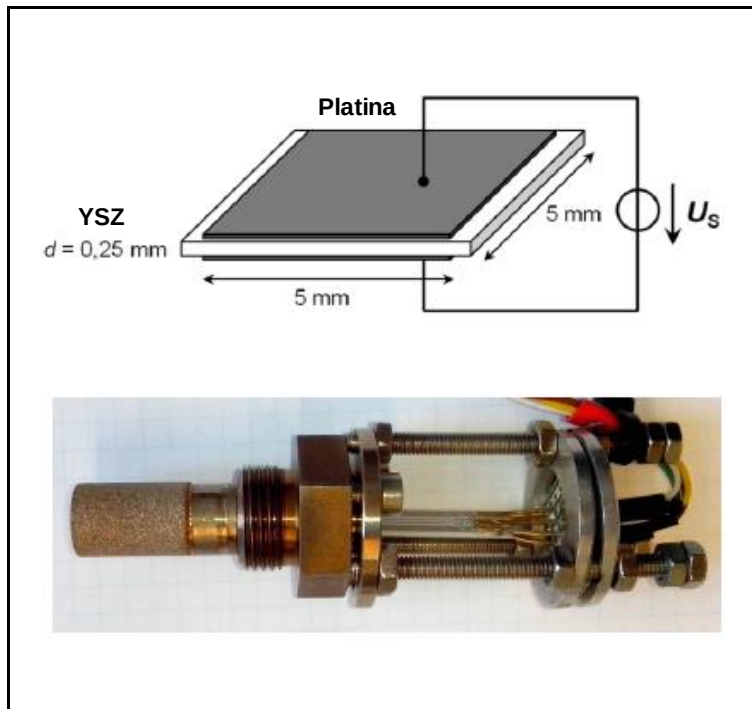
Fonte: Adaptado de Fischer et al. (2014).

Esta técnica de polarização alternada utilizando sensores lambda planares, ou seja, eletrodos de Pt em elementos de YSZ planar, oferece um grande potencial para detecção de NO em baixas concentrações, mesmo sem uma atmosfera de referência. A maior resposta do sensor ao NO ocorre a uma temperatura de 400°C, com a qual a sensibilidade cai drasticamente em temperaturas mais altas devido à diminuição da resistência e descarga mais rápida (FISCHER et al., 2014).

Visando a aplicar a técnica de medição por polarização pulsada aplicada em dispositivos sensores baseados em zircônia estabilizada com ítrio (YSZ), Pohle et al. (2017) construíram sondas lambda planares para investigar a detecção de NO_x em gases de escape de motores diesel. Além disso, os autores compararam a técnica de medição utilizada no sensor construído, com sensores de NO_x comerciais, tendo como referência um analisador de gases.

Os elementos sensores foram fabricados utilizando substratos de zircônia dopada com ítrio a 3% e eletrodos de platina impressos em serigrafia tal como ilustrado na Figura 25. Os eletrodos foram contatados com fios de 100 µm de Pt e colados através de uma pasta de Pt. Para controlar a temperatura do sensor, elementos aquecedores de platina adicionais foram depositados em um suporte cerâmico. Os elementos do sensor e do aquecedor foram integrados em uma sonda de sensor adequada para uso em exaustão de diesel (POHLE et al., 2017).

Figura 25 - Sensor de YSZ construído especialmente para detecção de NO_x em gases de escape de motores diesel

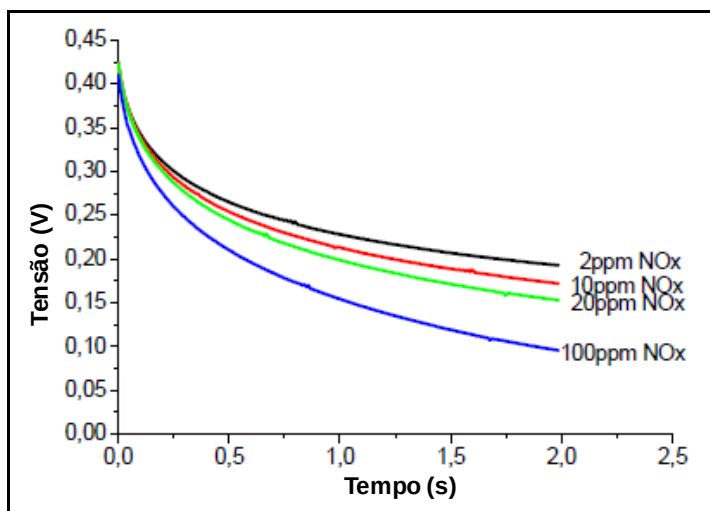


Fonte: Adaptado de Pohle et al. (2017).

Durante os testes do motor, foram instalados sensores de sondagem nos gases de escape de um motor V Diesel de 6 cilindros com 3 litros de capacidade cúbica. A temperatura do sensor foi definida na faixa de 400°C a 470°C. Os componentes dos gases de escape foram caracterizados utilizando um sistema de análise de gases de escape Horiba MEXA 7000. Além disso, a resposta de um sensor comercial de NO_x amperométrico foi registrada simultaneamente (POHLE et al., 2017).

O efeito da variação das concentrações de NO_x nos gases de escape nas características de descarga do sensor construído é mostrado na Figura 26.

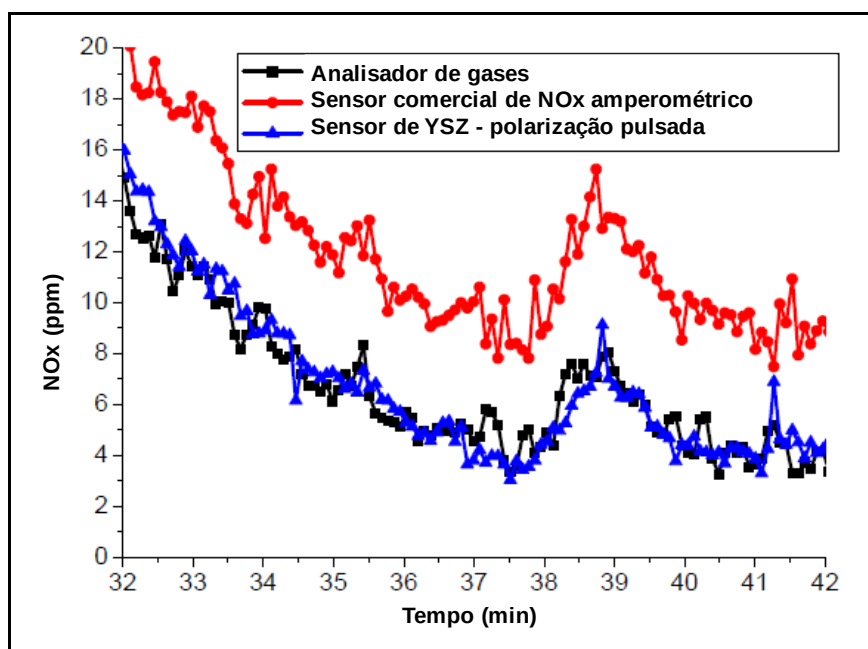
Figura 26 - Curvas de descarga em diferentes concentrações de NO_x no gases de escape do motor diesel



Fonte: Adaptado de Pohle et al. (2017).

Na Figura 27 é mostrada a comparação da resposta do sensor calibrado por Pohle et al. (2017), utilizando a técnica de polarização pulsada, com um analisador de gases e um sensor comercial de NO_x amperométrico.

Figura 27 - Comparação entre os dispositivos de medição de NO_x



Fonte: Adaptado de Pohle et al. (2017).

Os resultados dos estudos de Fischer et al. (2010), Fischer et al. (2014) e Pohle et al. (2017) demonstraram que a medição de concentrações de NO_x nos gases de exaustão de combustão pode ser obtida de uma maneira satisfatória usando elementos sensores baseados em YSZ, que o

caso da sonda lambda, combinados com uma operação de descarga pulsada e avaliação de sinal adequada. Além disso, segundo os autores, uma precisão ainda maior pode ser prevista, se as sondas sensoras forem aprimoradas, ainda mais dedicadas aos requisitos da polarização pulsada. Para dar continuidade aos estudos desta técnica de medição, os autores relatam a necessidade de investigações mais aprofundadas, visando estudar a variação da atmosfera (ar e teor de água) onde o sensor está inserido, bem como o estudo dos parâmetros construtivos do sensor, no que diz respeito ao design (área do eletrodo e tamanho do elemento de YSZ), a influência da temperatura e outras características do sensor baseado em YSZ.

3 MATERIAL E MÉTODO

Nesta seção são descritos os materiais e métodos utilizados na aplicação de um sensor lambda convencional para a detecção de NO_x na combustão de GLP.

Serão mostrados o sistema de combustão, no qual os experimentos foram realizados, e os equipamentos utilizados no decorrer dos testes e procedimentos. Os equipamentos específicos e os circuitos eletrônicos desenvolvidos serão explanados no método do trabalho.

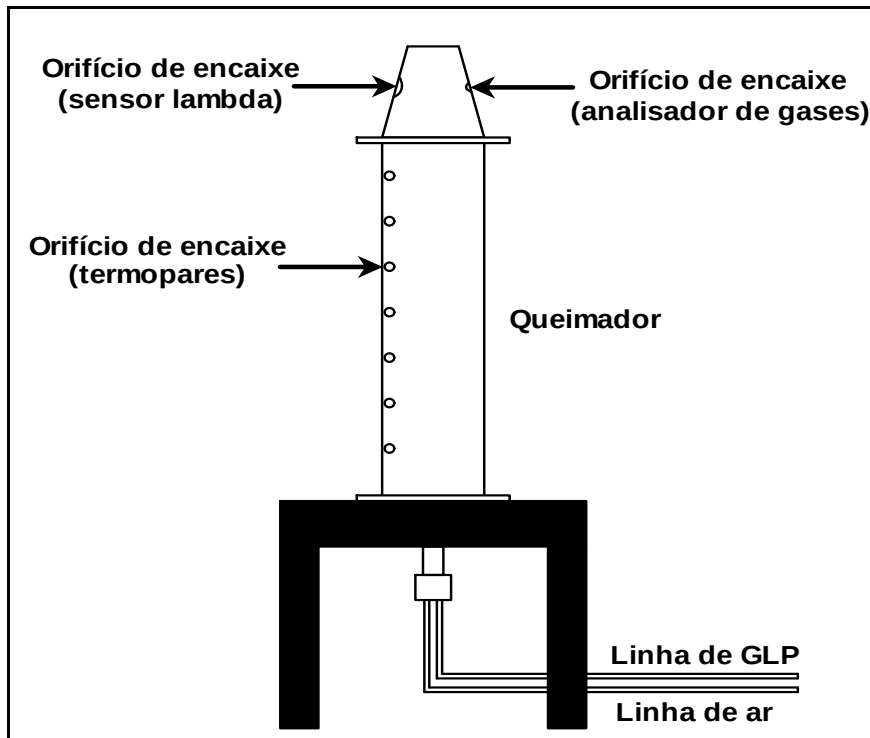
3.1 MATERIAL NECESSÁRIO

Para a realização do estudo da técnica de detecção de NO_x em gases de escape usando o sensor lambda convencional, foram necessários: (1) sistema de combustão de GLP, para geração da combustão; (2) sensor lambda convencional; (3) equipamentos de medição, sendo dois multímetros, um osciloscópio e um analisador de gases, e (4) circuitos eletrônicos projetados especialmente para excitação e controle de temperatura da sonda lambda que serão explanados na metodologia do trabalho.

O sistema de combustão de GLP (Figura 28) é composto por uma linha de gás liquefeito de petróleo (GLP), uma linha de ar pressurizada, um queimador cilíndrico (Figura 29) e um sistema de monitoramento e aquisição dos dados. O queimador possui orifícios para encaixe de sensores de temperatura e uma chaminé onde o sensor lambda foi acoplado. No sistema de monitoramento e aquisição de dados é possível obter informações de fluxo de ar, fluxo de combustível e temperatura. São utilizados termopares para a medição de temperatura no queimador. O sistema de combustão utilizado está presente no Laboratório de Conversão Energética e Emissões Atmosféricas (LACEEMA) do Curso de Mestrado Acadêmico em Ciências Físicas Aplicadas (CMACFA) da UECE.

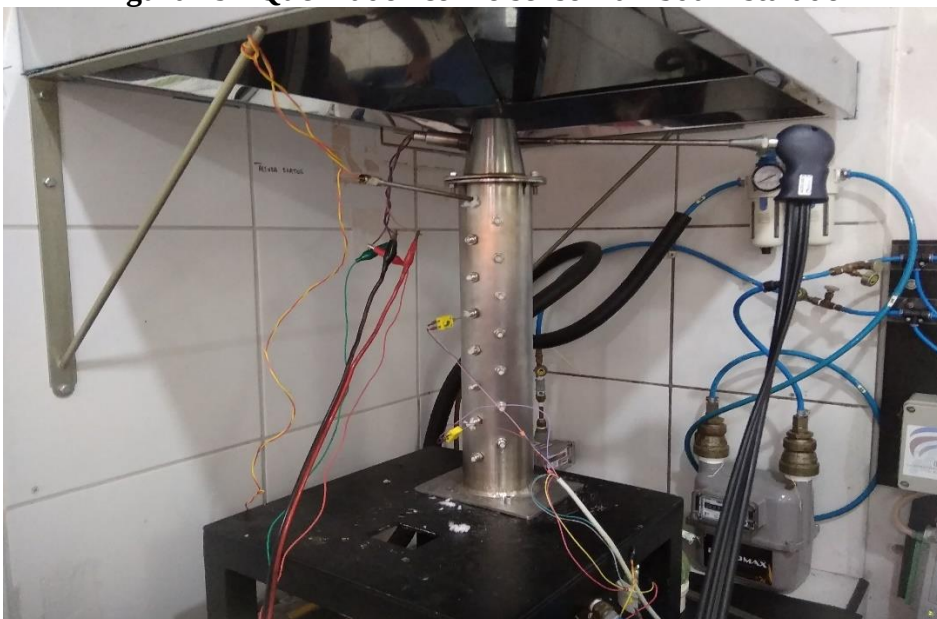
O sensor lambda utilizado (Figura 30) para aplicação da técnica de detecção de NO_x abordada neste trabalho é um sensor lambda convencional de quatro fios da marca DELPHI, ou seja, uma sonda lambda HEGO (Heated Exhaust Gas Oxygen Sensor, em português, Sensor de Oxigênio de Gás de Exaustão Aquecido) que possui dois fios destinados ao sinal e dois fios de alimentação do resistor de aquecimento (elemento aquecedor) da sonda.

Figura 28 - Esquemático do sistema de combustão



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 29 - Queimador com o sensor lambda instalado



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 30 - Sensor lambda convencional de 4 fios da DELPHI



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os equipamentos de medição utilizados para as medições de tensão (mV e V), corrente (mA e A), temperatura (°C) e curvas de descarga do sensor (visualização gráfica) foram: o osciloscópio Tektronix TDS 2022C, o multímetro Fluke 189 e o multímetro Hikari HM-1000.

Figura 31 - Multímetro Fluke 189



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 32 - Multímetro Hikari HM-1000



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 33 - Osciloscópio Tektronix TDS 2022C



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para alimentação dos circuitos eletrônicos desenvolvidos, que serão explanados a seguir, no método do trabalho, foi utilizada uma fonte de tensão contínua ajustável, a fonte Instrutherm FA-3003.

Figura 34 - Fonte de tensão contínua Instrutherm FA-3003



Fonte: Elaborado pelo autor.

O analisador de gases Seitron Chemist 903 IR3 foi utilizado para a realização das medições das concentrações de NO_x emitidas no processo de combustão de GLP e para as medições de temperatura dos gases de escape.

Figura 35 - Analisador Seitron Chemist 903 IR3



Fonte: <http://www.seitron.it/it/analizzatori-di-combustione/analizzatore-chemist-900>

A seguir, na Tabela 1, são apresentadas as incertezas de medição dos equipamentos utilizados e o intervalo de medição dentro das faixas de operação satisfatórias para a realização dos experimentos.

Tabela 1 - Incertezas de medição fornecidas pelos fabricantes dos equipamentos de medição utilizados

Equipamento	Parâmetro de medição	Incerteza da medição	Resolução	Intervalo
Analizador				
Seitron Chemist 903 IR3	Temperatura	$\pm 1\%$	0,1°C	-20 a 1250°C
Analizador				
Seitron Chemist 903 IR3	NO	$\pm 5\%$	1 ppm	0 a 500 ppm
Analizador				
Seitron Chemist 903 IR3	NO ₂	$\pm 5\%$	1 ppm	0 a 500 ppm
Multímetro Fluke 189	Tensão	$\pm 0,1\%$	0,1 V	0 a 1000 V
Multímetro Fluke 189	Corrente	$\pm 0,5\%$	0,0001 A	0 a 5 A
Multímetro Fluke 189	Temperatura	$\pm 1\%$	0,1°C	-200 a 1350°C
Multímetro Hikari HM-1000	Tensão	$\pm 1\%$	0,1 V	0 a 200 V
Multímetro Hikari HM-1000	Corrente	$\pm 3\%$	0,1 A	0 a 10 A
Osciloscópio				
Tektronix TDS 2022C	Tensão	$\pm 3\%$	8 bits	2 mV/div a 200 mV/div

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 MÉTODO

A seguir são descritos os procedimentos para geração da combustão e o método para detecção de NO_x em gases de escape de um queimador de GLP, usando um sensor lambda convencional.

3.2.1 Geração da combustão de GLP

No primeiro momento se fez necessário gerar a combustão por meio do queimador ligado a linha de gás liquefeito de petróleo. A sonda lambda foi instalada na saída do queimador, no leito foram colocadas esferas de alumina para que a chama fosse mantida no interior do queimador, garantindo que a chama não tocasse o sensor. Os fluxos de ar e combustível foram alterados no decorrer do processo de combustão para que houvesse variação da concentração de NO_x emitido e assim possibilitasse as medições com o sensor.

As concentrações de NO_x , O_2 e a temperatura do gás de exaustão do queimador foram monitoradas no decorrer do procedimento experimental por meio do analisador de gases, ao mesmo tempo que as curvas de descarga do sensor foram capturadas no osciloscópio.

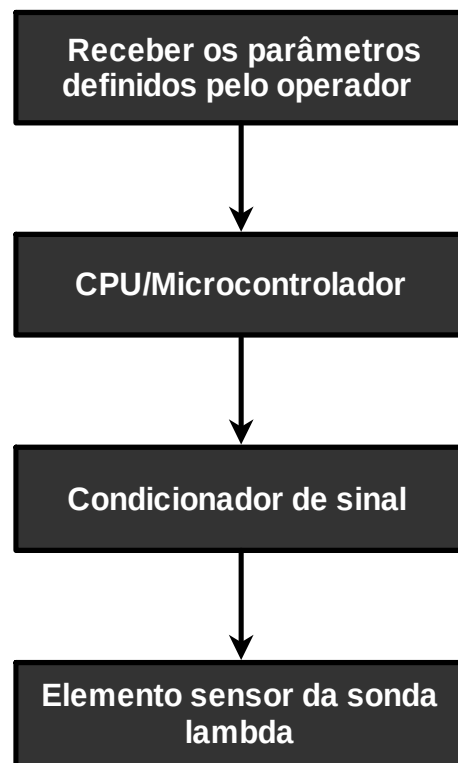
3.2.2 Aplicação da técnica de detecção de NO_x

O sensor lambda de quatros fios da marca DELPHI foi instalado na chaminé do queimador de GLP, onde um orifício feito no tubo de saída foi devidamente adaptado para o encaixe do sensor. No lado oposto ao encaixe do sensor lambda, um orifício também foi adaptado para inserção da ponta de prova do analisador de gases.

O procedimento aplicado ao sensor lambda consiste na aplicação de um pulso de tensão de carga positiva, onde logo após a curva de descarga é capturada em um intervalo de tempo definido, em seguida o mesmo procedimento é repetido, porém como pulso de tensão de sinal oposto. Além disso, é necessário manter o sensor em uma faixa fixa de temperatura de operação.

Circuitos eletrônicos foram projetados para a excitação e definição dos parâmetros da técnica de detecção de NO_x usando a sonda lambda. A seguir, na Figura 36, é ilustrado o esquemático de funcionamento do circuito eletrônico desenvolvido para excitação do elemento sensor da sonda.

Figura 36 - Esquemático do sistema eletrônico de excitação da sonda

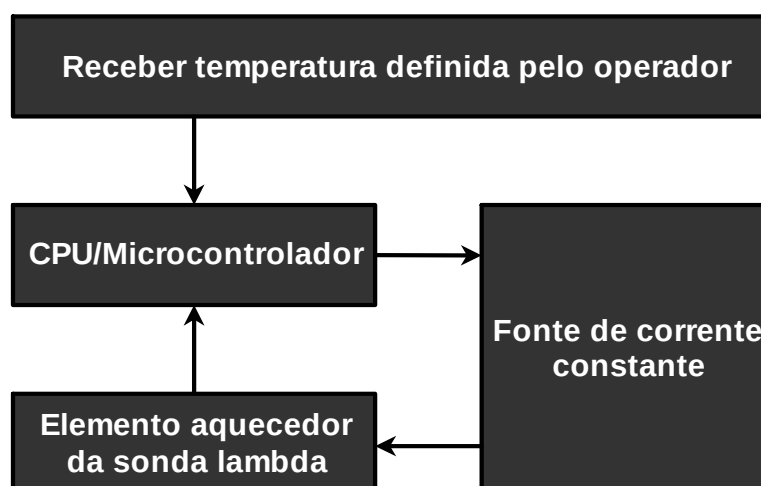


Fonte: Elaborado pelo autor.

O operador define os parâmetros do ciclo de excitação do elemento sensor da sonda lambda, os quais são: tempo do pulso e tempo de descarga, em milissegundos. Ambos os parâmetros definidos são aplicados tanto ao ciclo negativo, como ao positivo. A CPU é a unidade de controle que consiste em um sistema microcontrolado, que recebe os parâmetros (tempo de pulso e descarga) definidos pelo operador e controla a geração dos pulsos. O condicionador de sinal é um circuito de instrumentação composto por amplificadores para o ajuste da amplitude dos pulsos positivo e negativo que serão aplicados aos terminais do elemento sensor da sonda.

Um circuito para controle de temperatura de operação do sensor também foi desenvolvido e consiste em uma fonte de corrente constante a ser conectada ao elemento aquecedor da sonda, uma resistência que varia seu valor de acordo com a temperatura. Esta variação é utilizada pelo circuito de controle de temperatura para manter a sonda lambda em uma faixa de temperatura de operação definida.

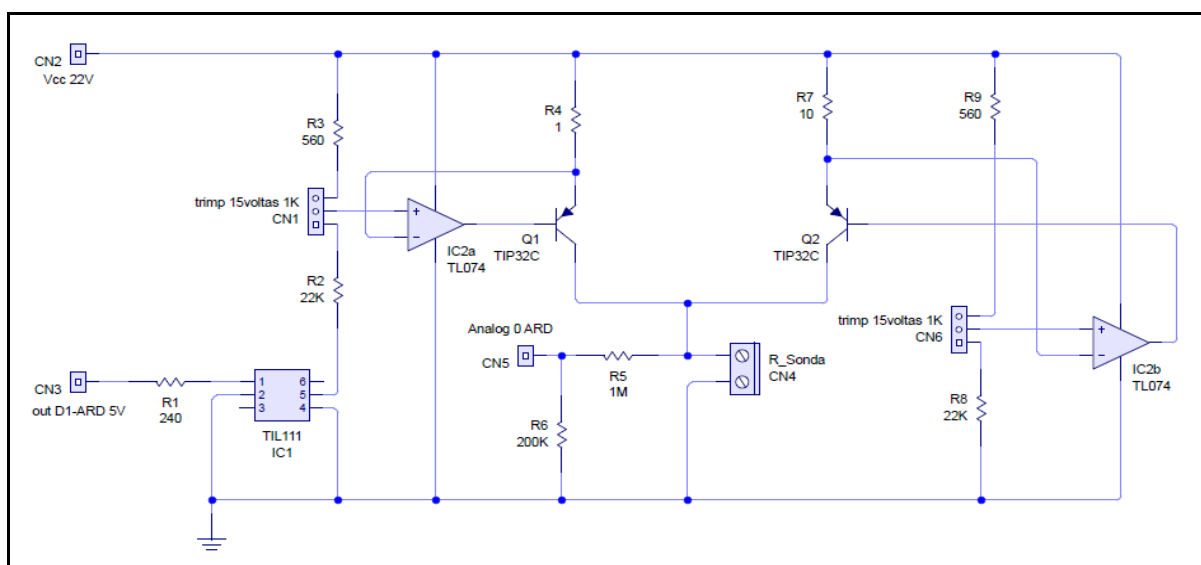
Figura 37 - Esquemático do sistema eletrônico de aquecimento da sonda



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como foi esquematizado na Figura 37, o operador define a temperatura de operação do sensor. A CPU é a unidade de controle que também consiste em um sistema microcontrolado, que recebe o valor de temperatura definido pelo operador e o valor da resistência do elemento aquecedor que representa a temperatura no qual a sonda está. A fonte de corrente (Figura 38) fornece um valor fixo de corrente, o que possibilita a medição indireta, pela CPU, da resistência do elemento aquecedor. Pelo valor de resistência obtido é possível determinar a temperatura do sensor e assim a unidade de controle pode atuar no controle da temperatura da sonda definida pelo operador.

Figura 38 - Circuito da fonte de corrente constante para aquecimento da sonda



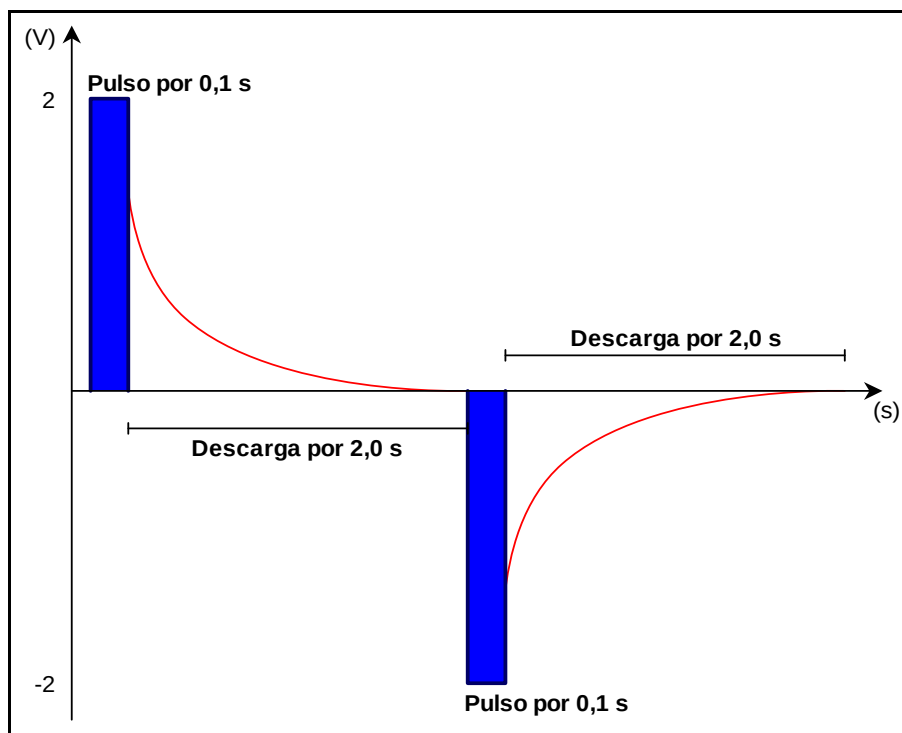
Fonte: Elaborado pelo autor.

Os parâmetros utilizados nos testes iniciais foram definidos considerando os procedimentos experimentais de Fischer et al. (2010), sendo utilizados parâmetros dentro das faixas definidas pelos autores. Porém, no decorrer dos primeiros experimentos houve dificuldade em diferenciar as curvas de descarga por conta de o sensor não responder como esperado, então a temperatura da sonda lambda foi variada (de 550°C a 800°C) até as curvas de descarga do sensor apresentarem características de resposta similares aos resultados obtidos pelos autores citados.

Os parâmetros definidos para execução dos experimentos com o sensor lambda instalado no queimador de GLP são descritos a seguir: Tempo de duração do pulso aplicado ao elemento sensor: 0,1 s; Tempo de descarga, para visualização da curva de descarga após aplicação do pulso: 2,0 s; Amplitude do pulso de tensão aplicado ao elemento sensor: 2,0 V; Temperatura de operação da sonda: 700°C.

A seguir, na Figura 39, é ilustrado o ciclo de pulsos aplicado ao sensor lambda a partir da excitação pelos circuitos eletrônicos desenvolvidos. O ciclo de pulsos de excitação mostrado foi utilizado no decorrer das medições de concentração de NO_x emitidos na combustão de GLP no queimador.

Figura 39 - Ciclo de pulsos aplicado ao elemento sensor da sonda



Fonte: Elaborado pelo autor.

Antes de iniciar os experimentos com combustão, foram realizados testes com o sensor em ar atmosférico, sendo este considerado como referência inicial para as medições. A temperatura do sensor foi variada de 550°C a 800°C, e as curvas de descarga foram capturadas para análise. Foi a partir desta análise que foi possível definir a temperatura de operação do sensor em 700°C para os experimentos com combustão.

No segundo momento, as curvas de descarga foram gravadas por meio do osciloscópio enquanto as condições de combustão eram alteradas (fluxo de ar e combustível) e as concentrações de NO e NO₂ medidas e armazenadas pelo analisador de gases para comparação com as curvas de descarga obtidas em diferentes concentrações de NO_x, sendo este o somatório entre NO e NO₂.

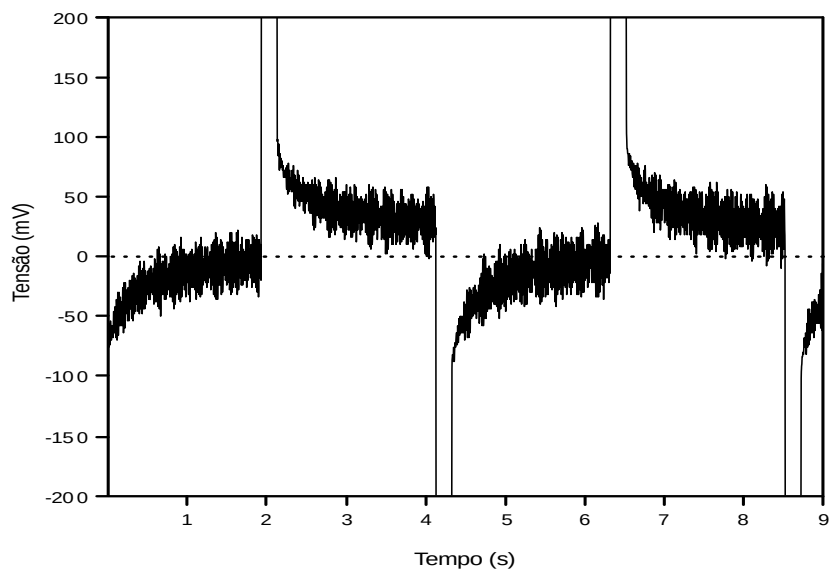
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados os resultados das medições realizadas para analisar a influência da temperatura nas curvas de descarga do sensor em ar atmosférico e os resultados obtidos na aplicação da técnica de detecção de NO_x usando o sensor lambda, onde foram obtidas as curvas de descarga do sensor em diferentes concentrações de NO_x na combustão de GLP.

4.1 CURVA DE REFERÊNCIA E INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DO SENSOR NAS CURVAS DE DESCARGA

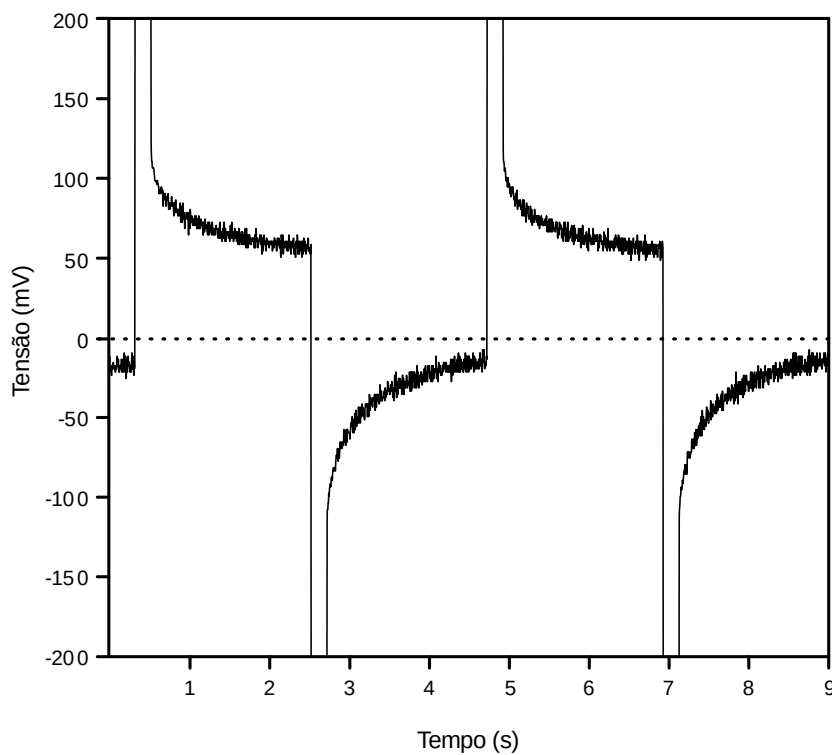
A temperatura do sensor lambda, por meio do circuito eletrônico de aquecimento, foi variada de 550°C a 800°C em ar atmosférico, onde não há concentração significativa de NO_x, e as curvas de descarga foram capturadas pelo osciloscópio a cada variação de 50°C. Nas figuras a seguir podemos visualizá-las.

Figura 40 - Curvas de descarga da sonda lambda em ar atmosférico e temperatura do sensor em 550°C



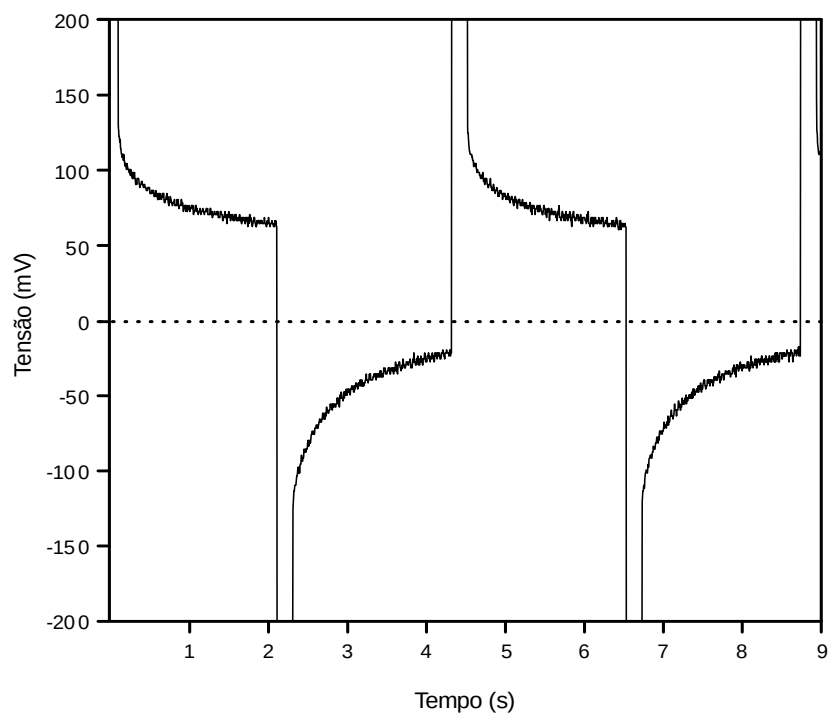
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 41 - Curvas de descarga da sonda lambda em ar atmosférico e temperatura do sensor em 600°C



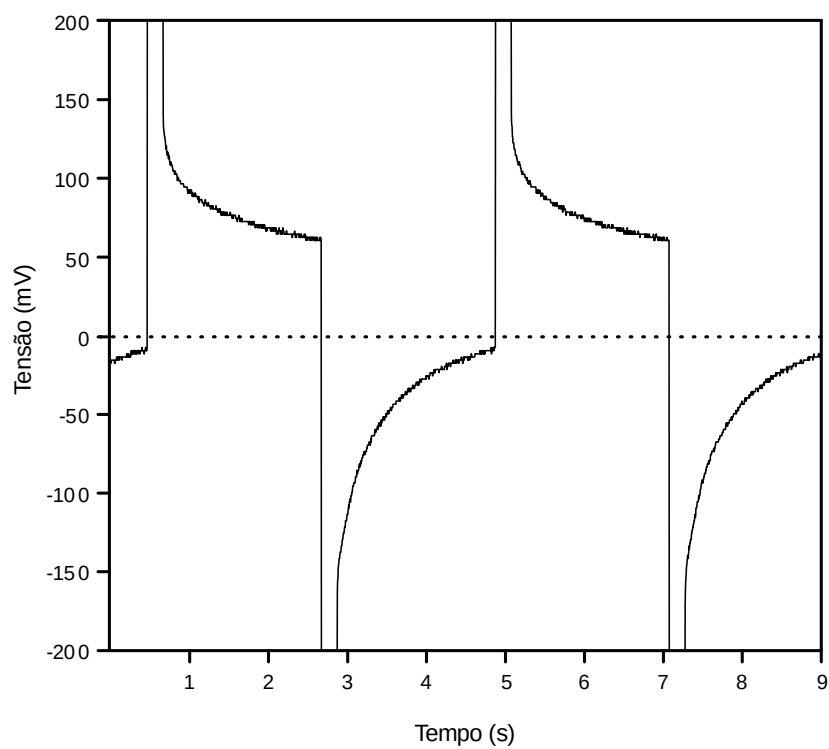
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 42 - Curvas de descarga da sonda lambda em ar atmosférico e temperatura do sensor em 650°C



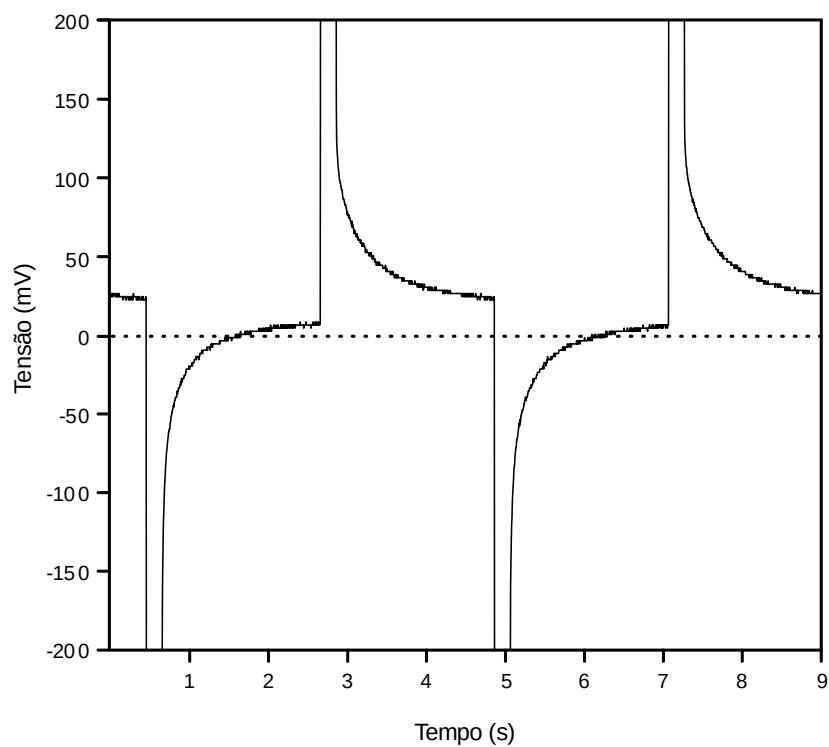
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 43 - Curvas de descarga da sonda lambda em ar atmosférico e temperatura do sensor em 700°C



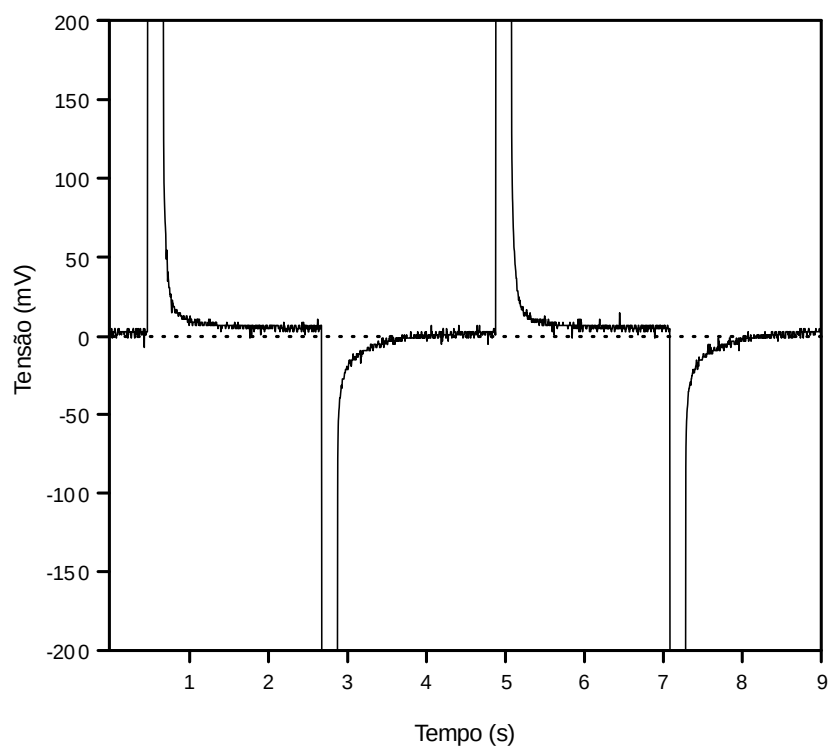
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 44 - Curvas de descarga da sonda lambda em ar atmosférico e temperatura do sensor em 750°C



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 45 - Curvas de descarga da sonda lambda em ar atmosférico e temperatura do sensor em 800°C



Fonte: Elaborado pelo autor.

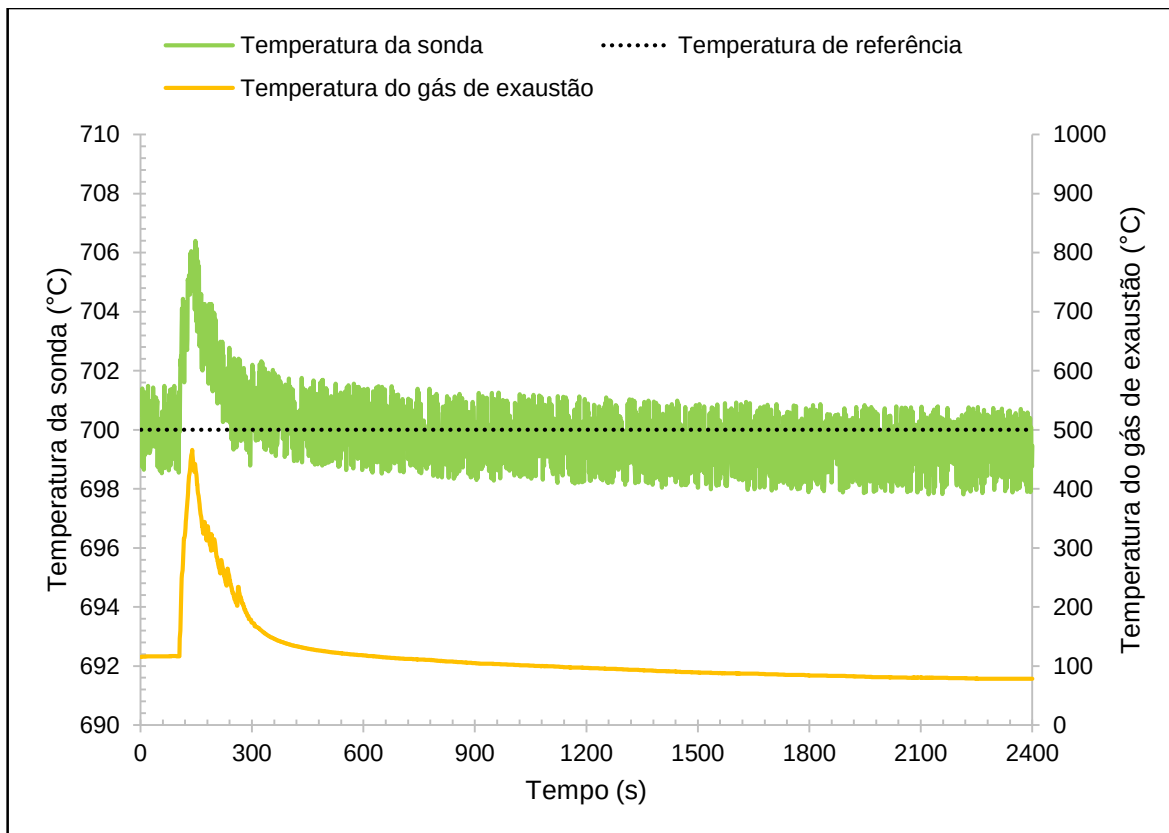
Logo após a aplicação da tensão de 2 V nos terminais da sonda, a tensão instantaneamente cai para valores em torno de 150 mV, a partir deste valor é possível verificar a curva de descarga até os dois segundos definidos para captura da curva. O sensor foi colocado em contato apenas com o ar atmosférico, utilizado neste estudo como referência, 0 ppm, para as medições de NO_x.

Como é possível visualizar nas figuras anteriores, conforme a temperatura do sensor vai aumentando até chegar em 700°C, as curvas mostram menor ruído e melhor formato, aproximando-se da curva de referência obtida por Fischer et al. (2010). Conforme a temperatura do sensor vai diminuindo até chegar em 550°C maior é o ruído e o formato impossibilita a realização das medições de NO_x utilizando o sensor. Além disso, em temperaturas mais elevadas, as curvas de resposta do sensor apresentam características de descarga rápida, como pode ser visto na Figura 44 e Figura 45, onde o formato das curvas tende a uma linha reta próxima de 0 mV, o que também impossibilita a diferenciação das curvas para as medições de NO_x. Foi observado que próximo de 700°C, no intervalo de $\pm 10^\circ\text{C}$, não há variação significativa nas curvas do sensor, sendo esta uma faixa de operação adequada para realizar as medições.

Considerando estes primeiros resultados, a temperatura de 700°C foi utilizada para a realização dos experimentos no queimador de GLP. A curva obtida nesta temperatura (Figura 43) é utilizada como referência para as medições, onde é relacionada com a concentração de 0 ppm de NO_x.

Após a definição da temperatura de referência para os experimentos de medição e captura das curvas de descarga do sensor, o sistema de combustão foi acionado e a aquisição de dados do processo experimental foi iniciada. A temperatura do sensor foi monitorada no decorrer procedimento experimental por meio do sistema microcontrolado desenvolvido para o aquecimento da sonda. A seguir, na Figura 46, podemos visualizar a variação da temperatura do sensor, onde é possível observar que não houve variação significativa ($\pm 10^\circ\text{C}$), para gerar interferência na curva de referência da sonda lambda.

Figura 46 - Variação da temperatura da sonda lambda controlada pelo circuito eletrônico de aquecimento

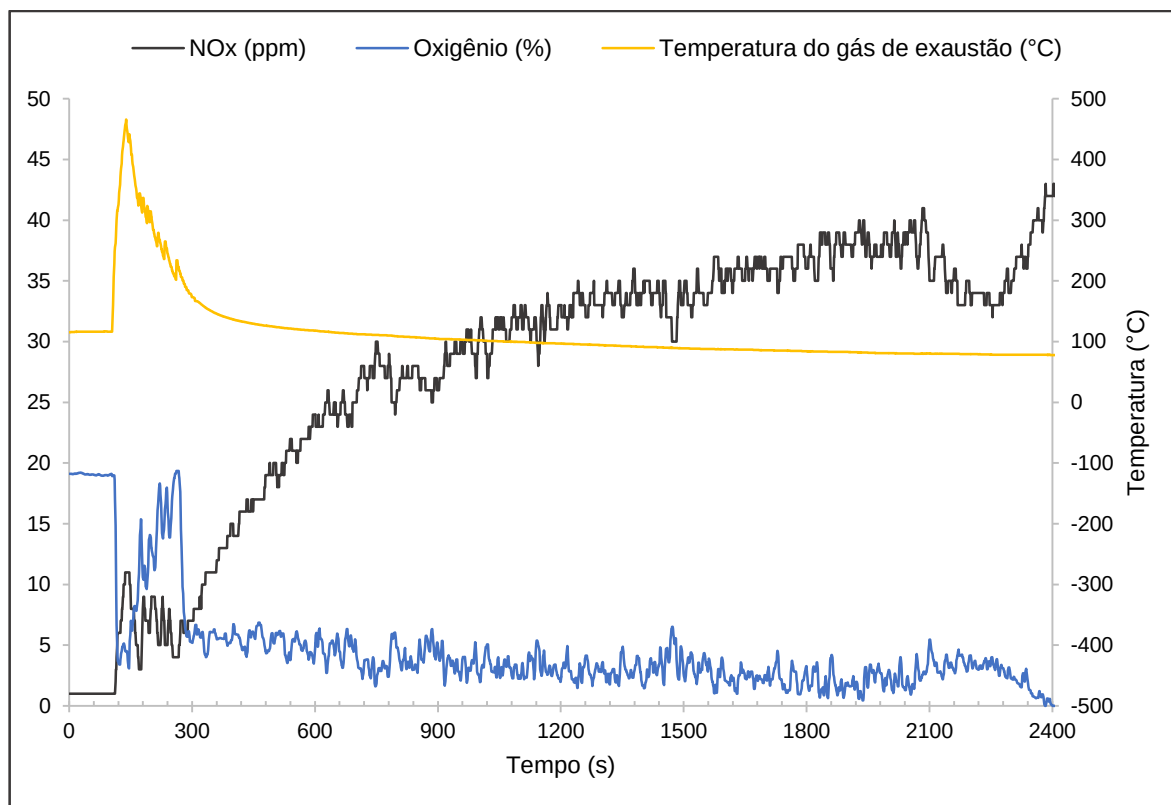


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 CURVAS DE DESCARGA EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE NO_x NA COMBUSTÃO DE GLP

A variação da concentração de NO_x no processo de combustão de GLP, no queimador onde a sonda lambda foi instalada na saída, foi obtida por meio do analisador de gases instalado também na saída do queimador, onde é mostrada a seguir juntamente com a porcentagem de O_2 e a temperatura do gás de exaustão.

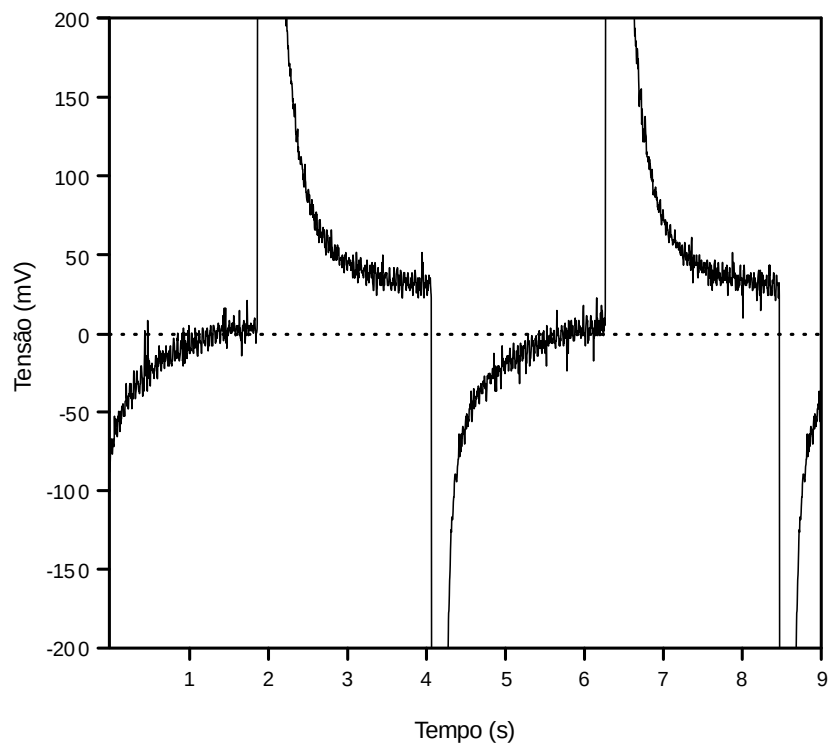
Figura 47 - Variação de NO_x, O₂ e temperatura do gás de exaustão



Fonte: Elaborado pelo autor.

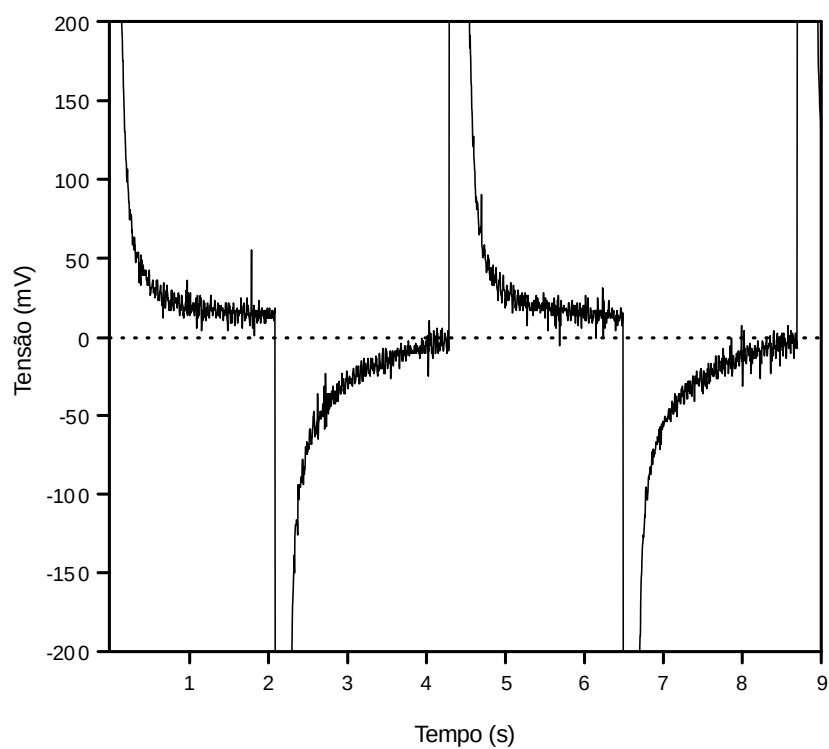
Tendo aplicada a técnica de detecção de NO_x ao sensor lambda, as curvas de descarga, após os pulsos de 2 V por 100 ms, são capturadas no intervalo de 2 s até o próximo pulso de sinal inverso. O sistema eletrônico de aquecimento do sensor foi parametrizado para manter a sonda em 700°C e não houve variação de temperatura significativa ($\pm 10^{\circ}\text{C}$) para causar interferência nas curvas de descarga. Nas figuras seguir podemos verificar as curvas de descarga do sensor em diferentes concentrações de NO_x. Os resultados foram obtidos a partir da captura das curvas pelo osciloscópio e por meio das medidas realizadas no analisador de gases ao mesmo tempo da combustão de GLP no queimador utilizado.

Figura 48 - Curvas de descarga da sonda lambda na combustão de GLP com 05 ppm de NO_x



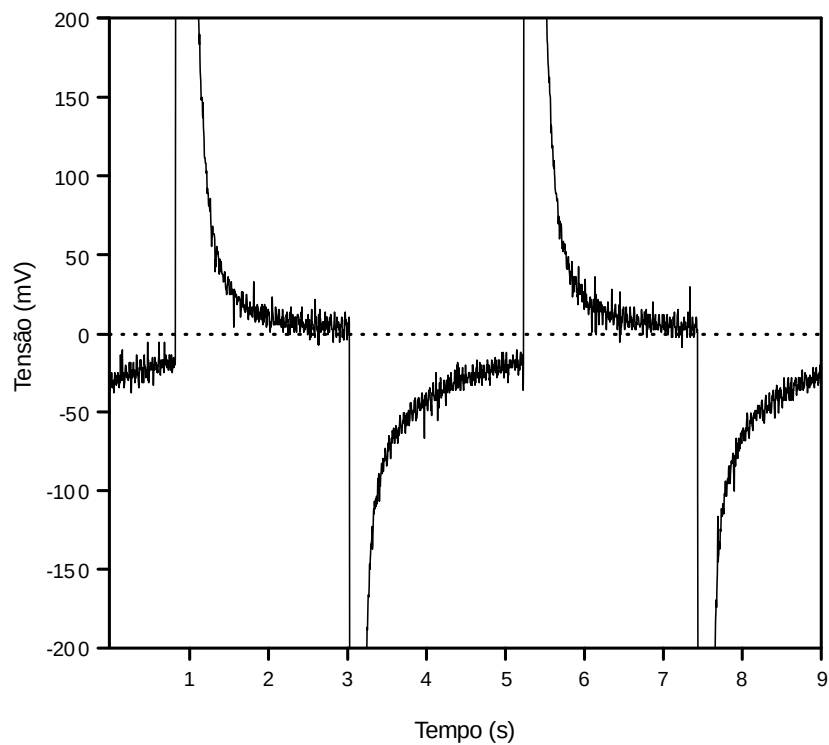
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 49 - Curvas de descarga da sonda lambda na combustão de GLP com 10 ppm de NO_x



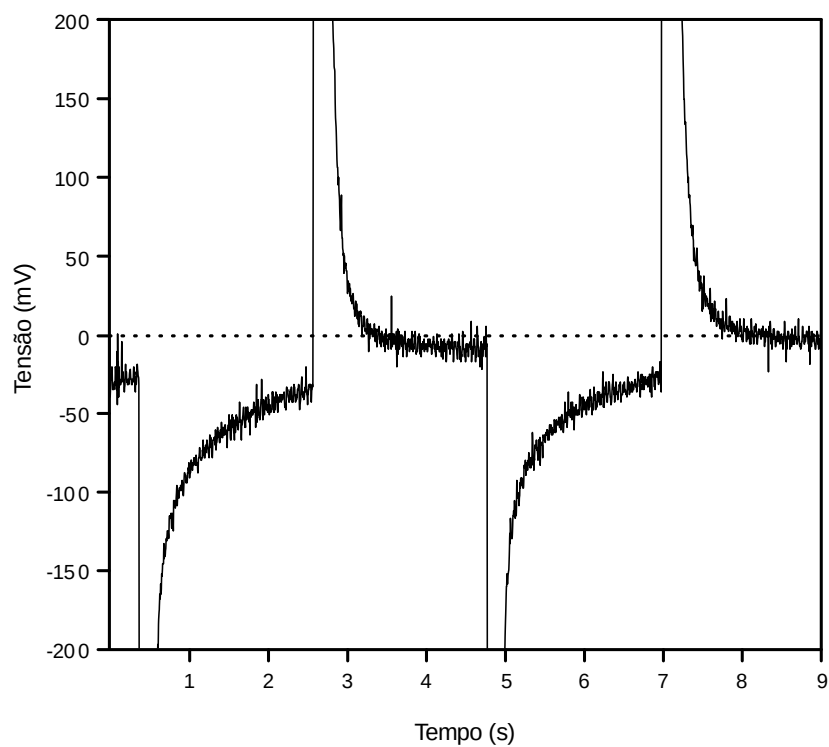
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 50 - Curvas de descarga da sonda lambda na combustão de GLP com 15 ppm de NO_x



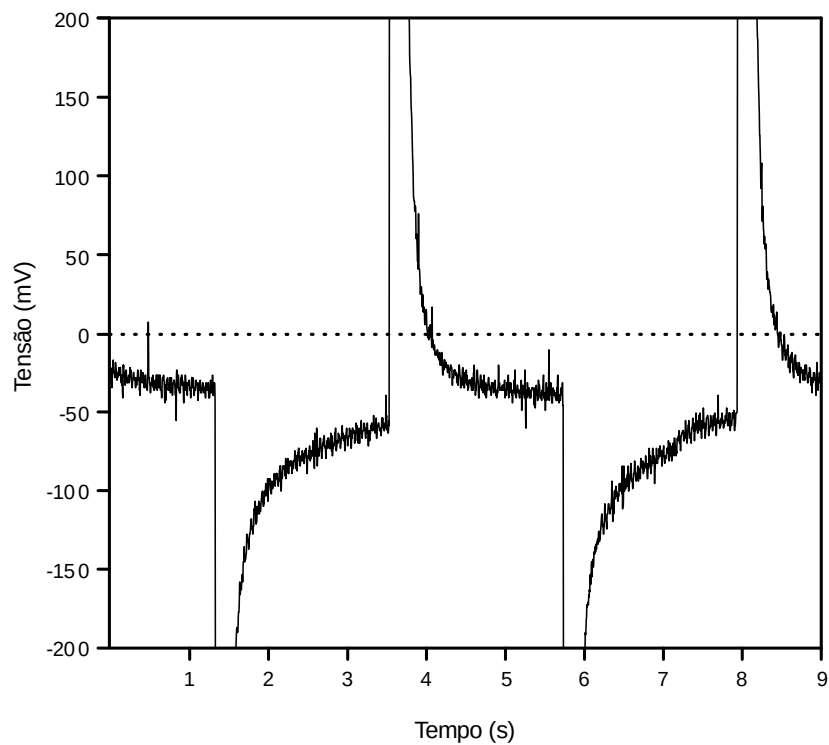
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 51 - Curvas de descarga da sonda lambda na combustão de GLP com 20 ppm de NO_x



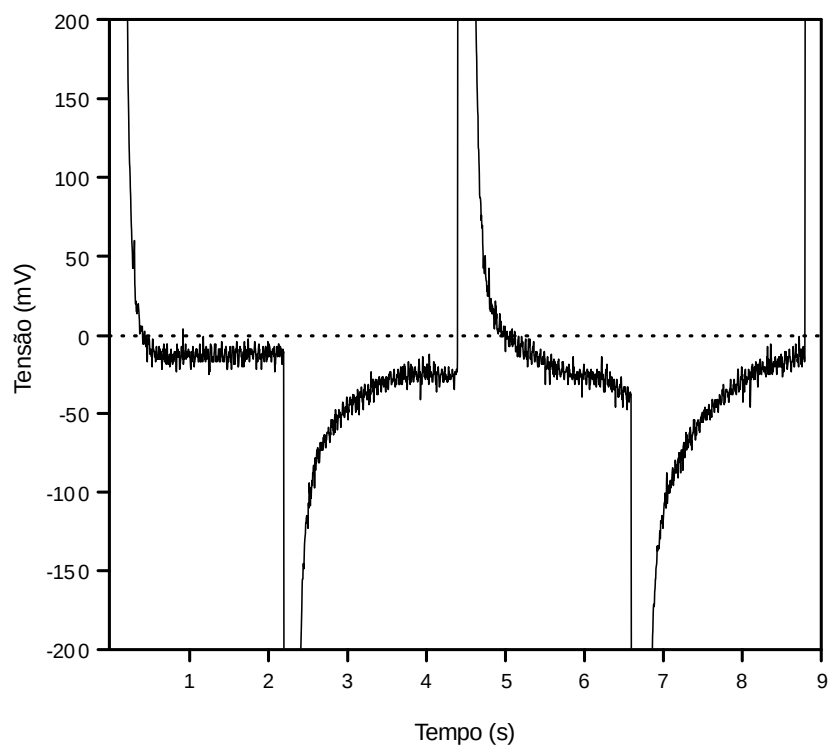
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 52 - Curvas de descarga da sonda lambda na combustão de GLP com 30 ppm de NO_x



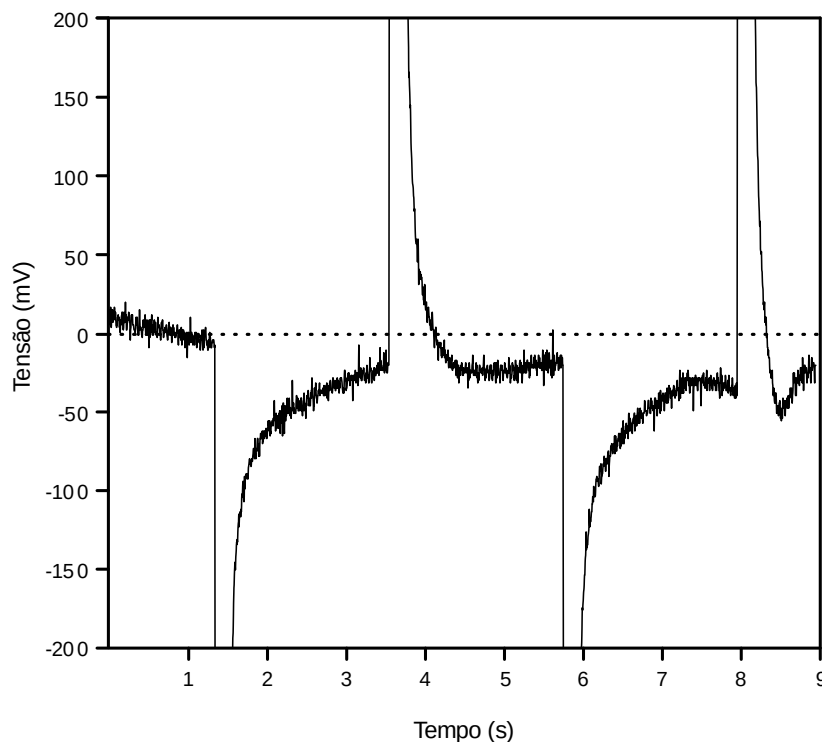
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 53 - Curvas de descarga da sonda lambda na combustão de GLP com 35 ppm de NO_x



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 54 - Curvas de descarga da sonda lambda na combustão de GLP com 40 ppm de NO_x



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nas figuras anteriores é possível observar que as curvas de descarga do sensor apresentam características individuais para as diferentes concentrações de NO_x na combustão de GLP. Porém, o valor máximo da concentração de NO_x medida na saída do queimador foi de 42 ppm, assim sendo analisadas as curvas de descarga até este limite.

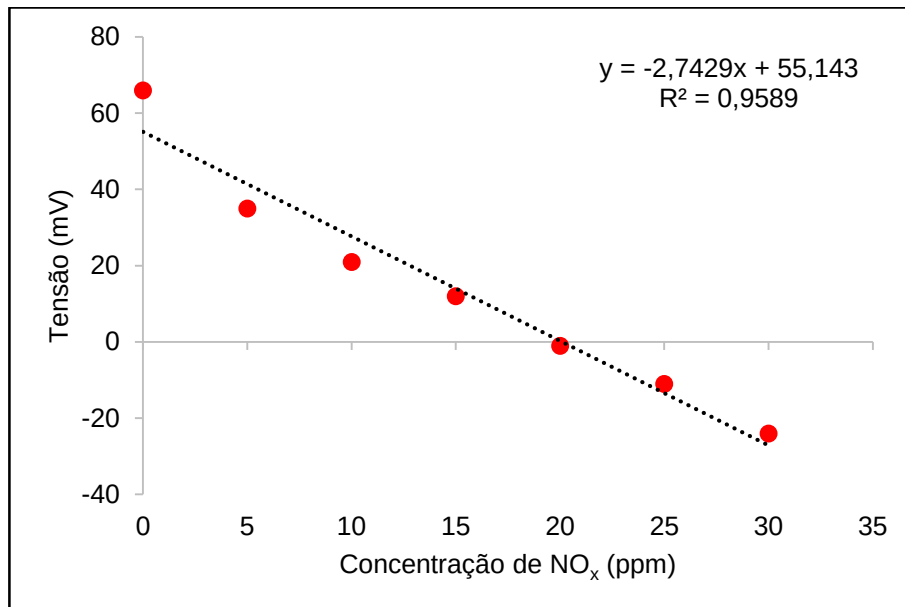
A partir da análise das curvas de descarga obtidas, verifica-se que até 30 ppm, a resposta do sensor é bem definida, havendo variação praticamente linear do último ponto da curva de descarga antes do próximo pulso a ser aplicado ao sensor em relação a concentração do NO_x.

Já em concentrações acima de 30 ppm observa-se que as curvas do sensor lambda começam a apresentar distorções em suas formas, tendo um comportamento fora do esperado, com curvas de descarga de formato arbitrário, o que pode ser visto na Figura 53 e Figura 54, onde não é possível fazer a diferenciação das curvas para a detecção da concentração de NO_x através do sensor. Então, foram analisados os pontos finais das curvas de descarga, tanto positiva como negativa, até 30 ppm.

A seguir, na Figura 55, podemos observar o valor final da curva de descarga positiva, valor obtido nos 2 s após aplicação do pulso. Já na Figura 56, temos o valor final da curva descarga negativa, também obtido 2 s após aplicação do pulso. Os pontos foram capturados no intervalo de

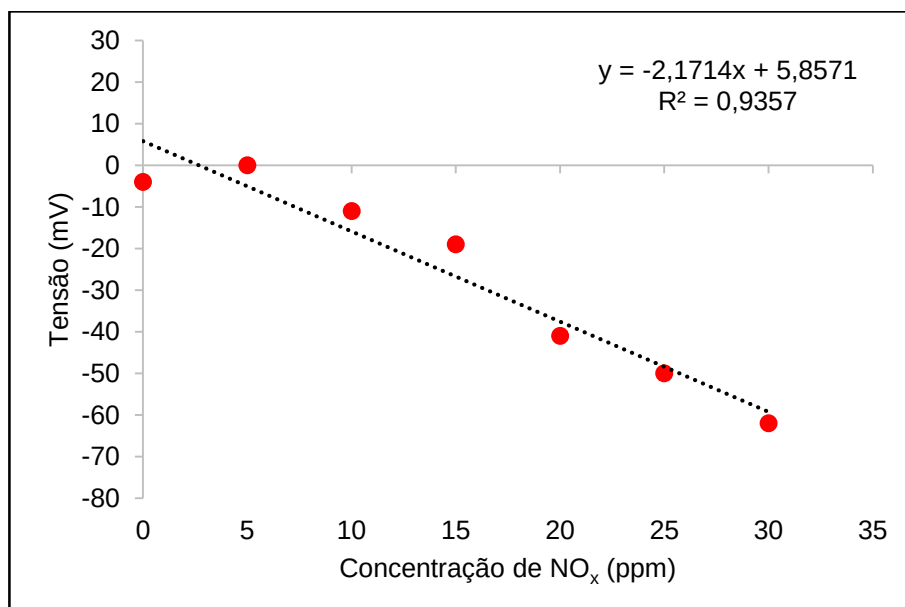
0 a 30 ppm de NO_x, onde as curvas de descarga apresentaram formas bem definidas e é possível relacionar tensão final da curva de descarga com a concentração.

Figura 55 - Tensão final da curva de descarga positiva x concentração de NO_x



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 56 - Tensão final da curva de descarga negativa x concentração de NO_x



Fonte: Elaborado pelo autor.

5 CONCLUSÕES

A proposta de analisar a aplicação de um sensor lambda convencional para a detecção de NO_x na combustão de GLP mostrou-se satisfatória comprovada pelos resultados dos experimentos realizados.

Os circuitos eletrônicos desenvolvidos para aquecimento e excitação do sensor lambda mostraram eficácia em suas funções. O circuito de aquecimento manteve o sensor dentro da faixa de temperatura definida, onde a variação foi satisfatória para os experimentos, bem como alterou a temperatura do sensor quando requerido. Já o circuito de excitação, possibilitou a aplicação da técnica de detecção de NO_x a partir da aplicação de pulsos (positivo e negativo) de tensão para verificação das curvas de descarga após cada pulso.

Por meio das curvas de descarga capturadas em ar atmosférico, sendo a temperatura da sonda lambda variada de 550°C a 800°C , foi constatado que as curvas de descarga possuem sensibilidade a variação da temperatura de operação do sensor, sendo então necessário mantê-lo em uma temperatura próxima de 700°C , onde obteve-se curvas com menor ruído e melhor formato para diferenciação diante das curvas com presença de concentração de NO_x na combustão de GLP.

A partir da análise das curvas de descarga obtidas durante o processo de combustão, foi possível identificar que o sensor obteve curvas de descarga diferenciáveis no intervalo de 0 a 30 ppm de NO_x , porém em concentrações acima de 30 ppm, as curvas apresentaram distorções e formato arbitrário, impossibilitado a correlação para detecção do NO_x .

Na faixa de 0 a 30 ppm de NO_x os resultados mostraram a possibilidade de detecção por meio do sensor lambda, sendo então correlacionada a tensão final da curva de descarga com a concentração de NO_x , mostrando-se eficaz a utilização do sensor dentro desta faixa de detecção na combustão de GLP.

A faixa de detecção de NO_x do sensor, obtida neste estudo, pode ser uma limitação para o uso em situações reais de combustão. O comportamento do sensor em combustíveis diferentes, como gás natural e biomassa, deve ser analisado, sendo sugerido para trabalhos futuros, bem como a possibilidade de detecção adicional de O_2 ao aplicar a Técnica da Corrente Reversa, para medição de $\%\text{O}_2$, já que a temperatura de 700°C é satisfatória para ambas as medições.

REFERÊNCIAS

BAIRD, Colin; CANN, Michael. **Química Ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

BOSCH. **Oxygen Sensors Catalogue**, 2012. Disponível em: <http://aa-bosch-ecat-ap.resource.bosch.com/sao_ecat/downloads/Bosch%20Australia%20Oxygen%20Sensor%20Catalogue%202013.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2018.

BOSCH. **Catálogo Sonda Lambda**, 2011. Disponível em: <http://br.bosch-automotive.com/media/parts/download_2/injecao/Catalogo_Sonda_Lambda_2012_2013~1.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2018.

BRAILSFORD, A. D. et al. Experimental and theoretical study of the response of ZrO₂ oxygen sensors to simple one-reducing-gas mixtures. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 42, n. 1, p. 15-26, 1997.

CARVALHO JÚNIOR, João Andrade de; LACAVA, Pedro Teixeira. **Emissões em processos de combustão**. São Paulo: UNESP, 2003.

CAVALCANTE JÚNIOR, Francisco dos Santos. **Um estudo comparativo das eficiências e emissões de poluentes gerados na combustão assistida do glicerol bruto e da glicerina**. 2012. 95 f. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Ciências Físicas Aplicadas) – Curso de Mestrado Acadêmico em Ciências Físicas Aplicadas, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Estabelece os limites máximos de emissões de poluentes atmosféricos para fontes fixas. **Resolução nº 382, de 26 de dezembro de 2006**. Publicada no DOU nº 1, de 2 de janeiro de 2007, Seção 1, página 131-137. República Federativa do Brasil.

DIRETIVA 2009/29/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO. **Jornal Oficial da União Europeia**, Parlamento Europeu, Conselho da União Europeia, 23 abr. 2009.

DOCQUIER, N.; CANDEL, S. Combustion control and sensors: a review. **Progress in Energy and Combustion Science**, Pittsburgh, v. 28, p. 107-150, 2002.

FISCHER, S. et al. Method for reliable detection of different exhaust gas components by pulsed discharge measurements using standard zirconia based sensors. **Procedia Chemistry**, v. 1, n. 1, p.585-588, set. 2009.

FISCHER, S. et al. Method for detection of NO_x in exhaust gases by pulsed discharge measurements using standard zirconia-based lambda sensors. **Sensors And Actuators B: Chemical**, v. 147, n. 2, p.780-785, 3 jun. 2010.

FISCHER, S. et al. Detection of NO by pulsed polarization of Pt I YSZ. **Solid State Ionics**, v. 262, p.288-291, set. 2014.

FUNDAÇÃO EDSON QUEIROZ (BR/CE). Lutero Carmo de Lima; Antônio Roberto Lins de Macedo; Antônio Roberto Menescal de Macêdo. **Sistema eletrônico de monitoramento automático da queima de combustíveis derivados do petróleo, gás e biomassa**. BR nº PI 0704840-8 A, 18 jan. 2007, 02 set. 2008. 2008.

GIBSON, R. W.; KUMAR, R. V.; FRAY, D. J. Novel sensors for monitoring high oxygen concentrations. **Solid State Ionics**, v. 121, n. 1-4, p. 43-50, 1999.

HADDAD, Adriana Bonito. **A influência do sensor de oxigênio no controle de poluentes emitidos pelos gases de escapamento de um veículo automotor**. 2012. 57 f. Monografia (Especialização em Engenharia Automotiva) – Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2012.

INFITECH AUTOMAÇÃO. **Monitor de Combustão MC210IT**. Disponível em: <<http://www.infitech.com.br/produtos/22-monitor-de-combustao-mc210it.html>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

LAMTEC. **LT1 LS1 - System Overview**, 2017. Disponível em: <https://www.lamtec.de/produkte/sensoren-und-messsysteme/lt1.html?tx_lamtecmemberdownload_pi1%5Bdownload%5D=985>. Acesso em: 16 mar. 2018.

LIMA, L. C., MACEDO, A. R. M., MACEDO, A. R. L., MARQUES, E. Construção e avaliação de um monitor de combustão industrial. **Revista Tecnologia**, v. 28, n. 1, p. 77-84, jun, 2007.

LIMA, L. C.; CARMONA, H. A.; SILVA, C. V. M.; CAVALCANTE JÚNIOR, F. S. Oxygen Excess Control of Industrial Combustion Through the Use of Automotive lambda Sensor. **International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciencies & Technologies**, v. 2, n. 3, p. 365-373, 2011.

LIMA, L. C.; SILVA, C. V. M.; SOUZA SOBRINHO, A. S.; ARAUJO, L. M.; BATISTA, N. E. The application of the current reversal mode of operation in lambda sensor for monitoring industrial combustion. In: ABCM INTERNATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING, 23., 2015, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABCM, 2015. p. 1-6.

MANAHAN, Stanley E. **Química Ambiental**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

MARTINS, Jorge. **Motores de Combustão Interna**. 4. ed. Porto: Publindústria, 2013.

MOOS, Ralf. A brief overview on automotive exhaust gas sensors based on electroceramics. **International Journal of Applied Ceramic Technology**, v. 2, n. 5, p. 401-413, 2005.

NTK Technical Ceramics. **Zirconium dioxide lambda sensor**. Disponível em: <<https://www.ngk.de/en/products-technologies/lambda-sensors/lambda-sensor-technologies/zirconium-dioxide-lambda-sensor/>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

PAIVA, Almerindo de Oliveira. **Projeto e construção de um medidor de oxigênio em gases**. 2009. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica e Telecomunicações) – Departamento de Eletrônica, Telecomunicações e Informática, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2009.

POCEIRO, David Duarte. **Utilização de sondas lambda em caldeiras de biomassa**. 2015. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica e Telecomunicações) – Departamento de Eletrônica, Telecomunicações e Informática, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2015.

POHLE, Roland et al. Detection of NO_x in Combustion Engine Exhaust Gas by Applying the Pulsed Polarization Technique on YSZ Based Sensors. **Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings**, v. 1, n. 4, p.490-493, 2017.

SILVA, César Vinícius Mota da. **A técnica da corrente reversa em um sensor eletroquímico de oxigênio aplicado à combustão industrial**. 2014. 89 f. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Ciências Físicas Aplicadas) – Curso de Mestrado Acadêmico em Ciências Físicas Aplicadas, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2014.

SILVA, C. D. N.; LIMA, L. C.; OLIVEIRA, M. L. M.; SILVA, C. V. M.; SOUZA SOBRINHO, A. S. Application of the Current Reversal Mode in an automotive lambda sensor for monitoring industrial combustion. **International Journal of Development Research**, v. 08, n. 7, p. 21772-21776, 2018.

SOUZA SOBRINHO, A. S.; CAVALCANTE JÚNIOR, F. S.; LIMA, L. C. Monitoring Industrial Combustion Through Automotive Oxygen Sensor. **International Transaction Journal of Engeneering, Management, & Applied Sciencies & Technologies**, v. 3, n. 2, p. 203-211, 2012.

VARAMBAN, S. Vana; GANESAN, Rajesh; PERIASWAMI, G. Simultaneous measurement of emf and short circuit current for a potentiometric sensor using perturbation technique. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 104, n. 1, p. 94-102, 2005.

WARWZINEK, K.; TRIMIS, D. Development of a Wobbe number sensor for controlled combustion of gaseous fuels with varying quality. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TECHNOLOGIES AND COMBUSTION FOR A CLEAN ENVIRONMENT, 6., 2001, Porto. **Proceedings...** Porto: The Combustion Institute, 2001. p. 1-11.

APÊNDICES

APÊNDICE A – ARTIGO PUBLICADO



ISSN: 2230-9926

Available online at <http://www.journalijdr.com>

IJDR

International Journal of Development Research
Vol. 08, Issue, 07, pp.21772-21776, July, 2018



ORIGINAL RESEARCH ARTICLE

OPEN ACCESS

APPLICATION OF THE CURRENT REVERSAL MODE IN AN AUTOMOTIVE LAMBDA SENSOR FOR MONITORING INDUSTRIAL COMBUSTION

*Caíke Damião Nascimento Silva, Lutero Carmo de Lima, Mona Lisa Moura de Oliveira,
César Vinicius Mota da Silva and Antonio Serafim de Souza Sobrinho

State University of Ceara, Fortaleza, Brazil

ARTICLE INFO

Article History:

Received 24th April, 2018
Received in revised form
20th May, 2018
Accepted 08th June, 2018
Published online 30th July, 2018

Key Words:

CRM, Lambda sensor,
Measurement, Industrial,
Combustion.

ABSTRACT

Basically the technique of Current Reversal Mode (CRM) consists of applying a potential difference forward into the sensor and measuring the resultant electrical current. The next step is to apply the same potential difference backward into the sensor and re-measure the electrical current. The ratio between forward and reverse electrical currents is linearly proportional to the percentage of oxygen in the medium where the measurements are made. The proposal of this study was to apply the Current Reversal Mode into an automotive lambda sensor and to make measurements of oxygen percentage in the flue gases of industrial combustion chamber. Results did show that such technique is simple and accurate when the flue gases oxygen percentage were measured. This is an economic alternative for the monitoring industrial combustion for small farmers.

Copyright © 2018, Setare Nassiri et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citation: Caíke D.N. Silva, Lutero C. Lima, Mona Lisa M. Oliveira, Cesar V. Mota da Silva and Souza Sobrinho, A. S., 2018. "Application of the Current Reversal Mode in an automotive lambda sensor for monitoring industrial combustion", *International Journal of Development Research*, 8, (07), 21772-

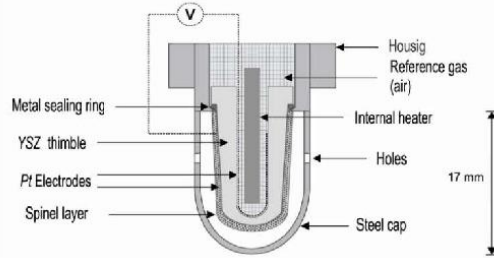
INTRODUCTION

The monitoring and control of efficiency and pollutants emission in combustion processes are one of the serious problems society faces mainly due to the fossil fuels use. The automotive sector and the big scale industries have means to tackle such problems while the small-scale industries, such as small farmers, have limitations to solve it due to the relatively high investment they have to do acquiring or borrowing combustion monitors. There are several ways to control combustion, monitoring the concentration of oxygen in the exhaust is the most appropriate way to check the efficiency of a combustion process, because the excess or lack of oxygen is virtually independent of the type of fuel (Wulfinghoff DR, 2000). For the detection of oxygen the most common sensor used is a zirconium oxide element, known as zirconia cell or electrochemical sensor which develops a voltage difference across two porous platinum electrodes separated by a ceramic layer if there is a difference in oxygen concentration. This process generally in automobile is made by the oxygen sensor known as lambda sensor as seen schematically in Fig. 1. The lambda sensor is an electrochemical sensor installed in motor

vehicles widely used in the automotive industry, having high reliability (Fischer *et al.*, 2014). According to Fischer *et al.* (2010), lambda sensors consists of a thimble-type zirconia element and are embedded in a steel housing for protection against thermal and mechanical stresses. A rod-like ceramic heater with a positive temperature coefficient of resistance is inserted in the thimble. The sensor temperature can be controlled by the heater voltage. Usually lambda sensor presents signal output of logarithmic nature, i.e. when oxygen concentration comes to extreme points, as for example, 0% and 20.96%, the voltage signal of the sensor goes to infinite and zero respectively, irrespective of the flue gases temperature. Even with this limitation, zirconia cell probe has been used in many application and most of them based on its logarithmic output. In the year 1997, as cited by Schwandt and Fray (2000), Fray and Kumar applied a patent describing a technique which circumvented such limitation. They presented a new operating technique for a zirconia sensor in order to monitor relatively higher oxygen concentrations. The technique consists of applying a positive voltage pulse to an oxygen conducting solid electrolyte and measuring the resulting electric current, just after applying an inverted voltage pulse and measuring the electric current again, the relationship between the currents strongly depends and of

*Corresponding author: Caíke Damião Nascimento Silva
State University of Ceara, Fortaleza, Brazil.

linear way of the percentage of oxygen in the medium where the oxygen conducting solid electrolyte lies. The technique is known as CRM - Current Reversal Mode which is similar to the perturbation method.



Source: Adapted from Hills et al. (2006)

Fig. 1. Scheme of a lambda sensor

Gibson *et al.* (1999), using commercial lambda sensors applied such technique for monitoring oxygen concentrations on the 2-16% range. Varamban *et al.* (2005), extending such perturbation method, proposed a scheme to measure the *emf* and short circuit current of a potentiometric (zirconia) sensor simultaneously. A small amplitude alternating square voltage pulse was applied across the electrodes and the respective currents were measured. From those currents, the open circuit potential and the short circuit current which are characteristic of the electrochemical cell were calculated. A theory for each scheme was proposed and performance evaluated. From the open circuit potential, the concentration of the unknown sample was obtained using the corresponding equation. Hills *et al.* (2006) demonstrated that the Current Reversal Mode when applied correctly yields the same information as given by the open-circuit *emf* measurements, but also furnishes further information about the conditions of the electrochemical sensor in the form of the total cell resistance. They also developed a mathematical model for the application of CRM in terms of an equivalent electrical circuit. The predictions of the model agreed well with the experimental data, as highlighted by such authors. Kotzeva *et al.* (2007), using *emf* and CRM, studied the thermal transfer in oxygen lambda sensor and they deduced that the temperature gradient across the yttria-stabilized zirconia (YSZ) electrolyte is in the range 30-60 °C. They also investigated the behavior of the heater and variation of the temperatures on the surface of the YSZ electrodes as a function of heating potentials.

Their heat transfer model suggested that the most significant temperature drop takes place in reference air gap and test gas gaps of the sensor, i.e., places where heat is transferred through a gas phase. Souza Sobrinho *et al.* (2012) applied the CRM to the monitoring of industrial combustion and they concluded that such method is reliable and very cost effective to the control of such kind of combustion. They also made comparison between two methods of operating lambda sensors: the potentiometric and the CRM. When compared to a conventional combustion monitor, CRM presented better results than the first one. As an extension to the study of Souza Sobrinho *et al.* (2012), in the present study the above mentioned technique (CRM - Current Reversal Mode) was also used for the monitoring of combustion of the same industrial furnace used by those authors. However, especially designed electronic circuits were mounted in order to heat a commercial lambda sensor, to excite it with a square wave

potential, and to acquire in oscilloscope the signals of the resulting electrical currents. Results presented further interesting aspects of such method of conditioning electrochemical oxygen sensors.

Theory

The open circuit *emf* of the lambda sensor is given by the Nernst equation:

$$emf = -\frac{RT}{zF} \ln \left[\frac{p(O_2)_{test}}{p(O_2)_{ref}} \right] \quad (1)$$

Where R is the universal gas constant, F is the Faraday constant, T is the absolute temperature of the lambda sensor, z is the number of electrons migrated from one electrode to another for each molecule of oxygen, $p(O_2)_{test}$ is the oxygen partial pressure in the combustion flue gases and $p(O_2)_{ref}$ is the reference gas (commonly air) oxygen partial pressure.

Figure 2 presents output signal of a lambda sensor in mV calculated by the Nernst equation (1) as a function of oxygen concentration for different levels of temperature.

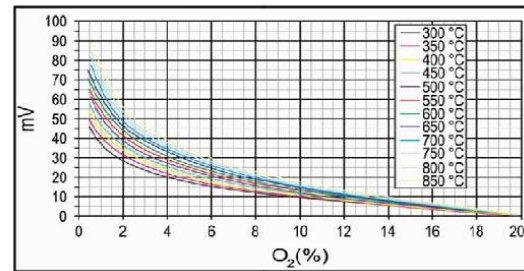


Fig. 2. Theoretical mV output of lambda sensor at different levels of temperature

According to Hills *et al.* (2006) in CRM a low-frequency square wave voltage, V_{appl} , is applied between the sensor electrodes and the forward and reverse currents, I_{for} and I_{rev} , are measured. The forward and reverse currents are:

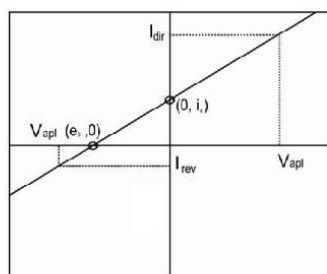
$$I_{for} = \frac{V_{appl} - emf}{R_{for}} \quad (2)$$

$$I_{rev} = \frac{-(V_{appl} + emf)}{R_{rev}} \quad (3)$$

Where R_{for} and R_{rev} are total cell resistances in the forward and reverse directions which are assumed to be equal since the CRM does not require diffusion controlled conditions and the sensor output is independent of sensor geometry and this is valid only for small value of currents when the activation and concentrations over-potentials due to polarization of the electrodes can be neglected (Schwandt and Fray, 2000). In other words, the ionic resistance of the electrolyte is identical for both forward and reverse currents. Combining equations (2) and (3), the currents ratio will be where *emf* is given by the Nernst equation (1).

$$\frac{I_{for}}{I_{rev}} = \frac{(V_{appl} + emf)}{(V_{appl} - emf)} \quad (4)$$

Equation (4) shows that for identical applied potential in both forward and reverse directions, the resulting currents are asymmetrical as can be seen in Fig.3 (Schwandt and Fray, 2000). By carefully choosing the magnitude of the applied potential, the current ratio dependence on oxygen concentration is virtually linear at high concentration (Gibson *et al.*, 1999). The relationship between the cell *emf*, its resistance, the bias voltage, and the forward and reverse currents can be visualized using the V-I curve in such figure (Varamban *et al.*, 2005).



Source: Schwandt and Fray (2000)

Fig. 3. Voltage-current for a lambda sensor at constant temperature

MATERIALS AND METHODS

A commercial lambda sensor was installed in the chimney of the combustion chamber. The combustion chamber has a Weishaupt LPG Burner of 50 kW. Close to the lambda sensor was installed a type K thermocouple. An electronic circuit was developed for heating and conditioning the lambda sensor with a square wave potential. As depicted in Figure 4, basically it supervises the electrical resistance of the sensor's heater. The heating circuit works with two power sources in a parallel configuration feeding electrical current between 100 mA and 1.1 A, at a fixed potential difference of 12 V. For the application of the Current Reversal Mode the lambda sensor was maintained at the temperature of 700 °C and the square wave potential difference of 35 mV at the frequency of 2 Hz was applied in the forward and reverse directions. Such values of electrical parameters and temperature were assumed considering indication of Gibson *et al.* (1999) who applied square wave potentials in the forward and reverse directions in the 5-50 mV range with frequency in the 0.25-2 Hz range and observed that the current ratio was almost linearly upon oxygen concentration when the potential of 35 mV and 2 Hz were used.

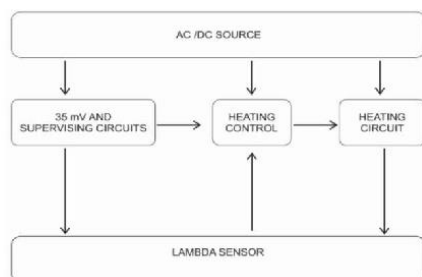


Fig. 4. Block diagram of the supervising electronic circuit

Figure 5 shows the square wave potential applied to the lambda sensor. Electrical currents were acquired in both the forward and the reverse directions, their ratio recorded and compared with oxygen concentration measured by a reference combustion gases analyzer.

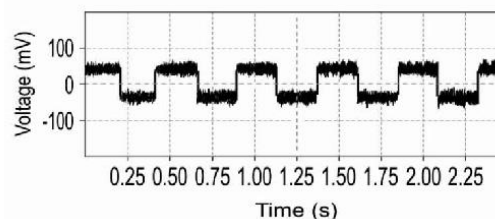


Fig. 5. Applied 35 mV square wave potential

Measurements were made in the oxygen concentration range of 2-21%. The current response signals were simultaneously acquired by the FLUKE 189 multimeter with resolution of 0.01 μ A and accuracy of 0.25% and the TEKTRONIX TPS 2024 oscilloscope. The thermocouple signal was recorded by a temperature controller showing resolution of 1 °C and accuracy of 0.5%. The oxygen concentration in the flue gases was measured by the TESTO 300 XL combustion gases analyzer with resolution of 0.1% and accuracy of 0.2%.

RESULTS AND DISCUSSION

Since one of the objectives of the present study was the conception of an instrument which relates linearly the signal of the lambda sensor to the percentage of oxygen in the flue gases of an industrial combustion chamber, the potential applied into the lambda sensor will determine if the current ratio is linear or not to the oxygen concentration. According to Gibson *et al.* (1999), for lower applied potentials (e.g. 5 mV) it will result in greater sensitivity, while higher values (e.g. 50 mV) will produce a linear response. That is the basic reason why in this work 35 mV was the chosen applied potential which seems to be appropriate value where sensitivity and linearity are well balanced. Knowing the electrical resistance of the heating element of a lambda sensor at a certain temperature is important since the electronic circuit developed to heat such sensor will control its electrical resistance in order to maintain the desired temperature as for example, in the present study, 700 °C. In this situation, the lambda sensor was placed inside a furnace containing air which was electrically heated until approximately 700°C was reached.

The temperature on the ambient close to the lambda sensor was monitored by a type K thermocouple. After that, the furnace was turn off and simultaneously the resistance of the heating element and the temperature given by the thermocouple were monitored. The relationship between the temperature of the heating element of the lambda sensor against its electrical resistance is shown in Figure 6. The fitting equation which relates the heater electrical resistance to temperature in this case is $R(\Omega) = 0.017T(^{\circ}\text{C}) + 2.966$. Inside the combustion chamber when in operation with the application of the 35 mV potential, in order to maintain the temperature of heating element around 700 °C, the electronic circuit had the function of keeping the resistance of heating element around 14.87 Ω .

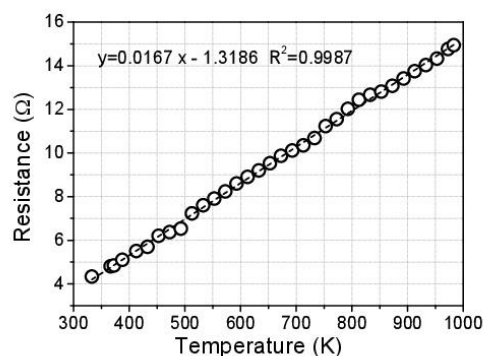


Fig. 6. Electrical resistance of the heating element against temperature

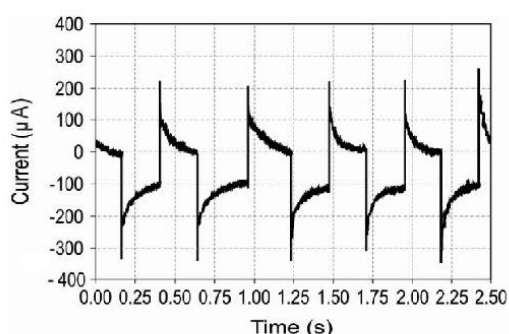


Fig. 7. Current-time curves of the lambda sensor operated in CRM for oxygen concentration of 2.8%

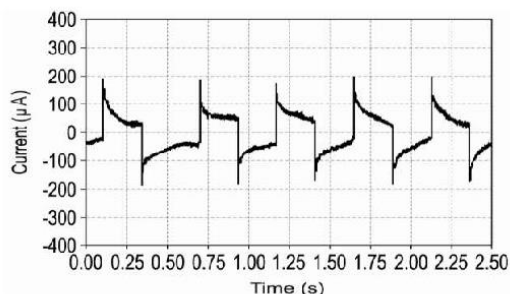


Fig. 8. Current-time curves of the lambda sensor operated in CRM for oxygen concentration of 15.4%

The time response of the heating element during the application of a pulse of electrical power aiming to set the working temperature of the lambda sensor at 700 °C was measured by the present authors in a previous publication (Souza Sobrinho *et al.*, 2012). The heater time response was about 7 seconds and its time constant was about 2 seconds. The variation of the internal electrical resistance of the used lambda sensor when it is submitted to temperature variation from the ambient until 700 °C as consequence of the actuation of the heating element was also measured by such authors. At the ambient temperature its resistance is about 20 MΩ falling almost instantaneously to 0 Ω at the working temperature. For the 35 mV applied potential into the lambda sensor, Figures 7-

9 shows electrical current responses at three different percentages of oxygen. As expected by the application of the Current Reversal Method of operating electrochemical sensor, the ratio of the forward direction current to the reverse direction current increases with the increase in the percentage of oxygen.

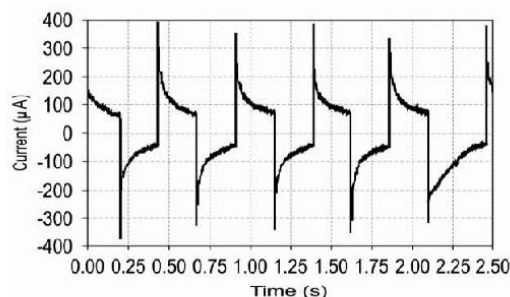


Fig. 9. Current-time curves of the lambda sensor operated in CRM for oxygen concentration of 21%

Figure 10 presents the relation between forward and reverse electrical currents furnished by lambda sensor due to the stimulation of the square wave potential difference of 35 mV applied in the forward and reverse directions with the frequency of 2 Hz. Until 12% of oxygen the correlation is very good and from 15% up another correlation shows itself perfect, characterizing a transitional behavior of the lambda sensor at the range of 12 to 15%. It is interesting to observe that the same behavior was observed by Gibson *et al.* (1999) and Varamban *et al.* (2005). They were the first to apply the Current Reversal Mode to lambda sensor in order to control combustion process.

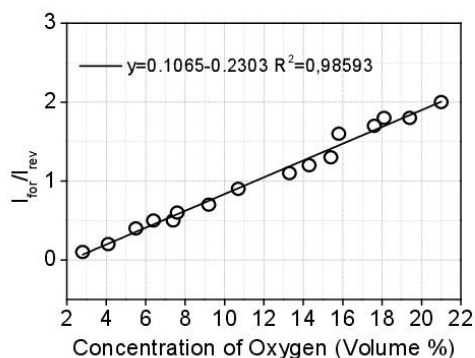


Fig. 10. Currents ratio against oxygen percentage at 35 mV

Conclusion

In this study a method of operating electrochemical sensors, the Current Reversal Mode (CRM), was applied to an automotive electrochemical oxygen sensor, the commonly known lambda sensor, with the aim of controlling industrial combustion. This new method of stimulating oxygen sensor proved to be effective when compared to the conventional method of operating lambda sensor since results showed excellent correlation factor and linearity against results presented by a commercial combustion monitor. It can be

considered as an economical alternative for the monitoring industrial combustion when compared to the cost of commercial combustion monitor.

Acknowledgments: Luterio C. de Lima acknowledges financial support of Brazilian National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) through Research Contract number 470396/2007-5.

REFERENCES

- Fischer, S., Pohle, R., Farber, B., Proch, R., Kaniuk, J., Fleischer, M., Moos, R. 2010. Method for detection of NO_x in exhaust gases by pulsed discharge measurements using standard zirconia-based lambda sensors. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 147:780-785.
- Fischer, S., Pohle, R., Magori, E., Fleischer, M., Moos, R. 2014. Detection of NO by pulsed polarization of Pt I YSZ. *Solid State Ionics*. 262:88-291.
- Gibson, R.W., Kumar, R.V., Fray, D.J. 1999. Novel sensors for monitoring high oxygen concentrations. *Solid State Ionics*. 121:43-50.
- Hills, M.P., Schwandt, C., Kumar, R.V. 2006. An investigation of current reversal mode for gas sensing with a solid electrolyte. *International Journal of Applied Ceramic Technologies*, 3(3):200-9.
- Kotzeva, V.P., Kumar, R.V., Twigg, M.V., Gidney, J.T. 2007. Study of thermal transfer in oxygen lambda sensors. *Ionics*. 13(3):117-26.
- Schwandt, C., Fray, D.J. 2000. Hydrogen sensing in molten aluminum using a commercial electrochemical sensor. *Ionics*, 6(3-4):222-9.
- Souza Sobrinho, A.S., Cavalcante Júnior, F.S., De Lima, L.C. 2012. Monitoring industrial combustion through automotive oxygen sensor. *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*, 3(2):203-8.
- Varamban, V.S., Ganesan, R., Periaswami, G. 2005. Simultaneous measurement of emf and short circuit current for a potentiometric sensor using perturbation technique. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 104(1):94-8.
- Wulfinghoff, D.R. 2000. Energy efficiency manual. Energy Institute Press, USA, 2000.

APÊNDICE B – PROJETO DE PESQUISA APROVADO

Projeto de pesquisa aprovado no edital Nº 001/2018 de apoio à pesquisa do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - IPECE

TÍTULO	NOME	INSTITUIÇÃO	CURSO	TÍTULO
GRADUAÇÃO	HETOR GABRIEL SILVA MONTEIRO	UFC	ECONOMIA	MODELO DE EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEL PARA A ECONOMIA CEARENSE COM MERCADO DE TRABALHO FLEXÍVEL E DIFERENCIADO.
GRADUAÇÃO	ANDERSON DIAS ARRUDA	UFC	CURSO DE MEDICINA	INSUFICIÊNCIA CARDÍACA EM PACIENTES INTERNADOS EM UM HOSPITAL DE REFERÊNCIA NO INTERIOR DO CEARÁ: UM ESTUDO PROSPECTIVO.
GRADUAÇÃO	PEDRO AVELINO DE SOUSA MARTINS	UFC	ECONOMIA	DESENVOLVIMENTO: INVESTIMENTO E MATRIZ INSUMO-PRODUTO NO ESTADO DO CEARÁ.
GRADUAÇÃO	TÂNIA ISABEL PONTIFICE Ô DOS SANTOS	UNILAB	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA	ANÁLISE DO SISTEMA DE SAÚDE PÚBLICO NOS MUNICÍPIOS CEARENSES NO PERÍODO DE 2004 A 2017
GRADUAÇÃO	GÉRCIA CUNHA DE LIMA	UFC - SOBRAL	FINANÇAS	ANÁLISE LONGITUDINAL DO DESEMPENHO DE ESTUDANTES DA EDUCAÇÃO DE JOVENS E ADULTOS (EJA) NO CEARÁ.
MESTRADO	CAIKE DAMIÃO NASCIMENTO SILVA	UECE	PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA FÍSICA APLICADA	USO DE SENSOR DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO DE EMISSÕES DE NOX NA COMBUSTÃO INDUSTRIAL
MESTRADO	MIRELLE TAINÁ VIEIRA LIMA	UFCA	PÓS GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL SUSTENTÁVEL - PRODER	POTENCIALIDADES DA PECUÁRIA NO ESTADO DO CEARÁ: UM PANORAMA DA SUSTENTABILIDADE DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO.
MESTRADO	RENATA BARBOSA MONTEIRO MACHADO	UECE	PÓS GRADUAÇÃO EM CLIMATOLOGIA E APLICAÇÕES DA CPLP E ÁFRICA	REDUÇÃO DE IMPACTOS CLIMÁTICOS NO CEARÁ: O PAPEL DO FNE NA CONSOLIDAÇÃO DE EMPREENDIMENTOS ENERGÉTICOS ALTERNATIVOS.
MESTRADO	RENATA ADELE DE LIMA NUNES	UNIFOR	PÓS GRADUAÇÃO EM SAÚDE COLETIVA	ANÁLISE DE ÓBITOS POR ACIDENTES DE TRÂNSITO COM USO DE MINERAÇÃO DE DADOS.
MESTRADO	ADERSON BARBOSA COSTA	UECE	PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA	ANÁLISE DA VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA LINHA DE COSTA DA PRAIA DO PORTO NO MUNICÍPIO DE ITAREMA-CEARÁ
MESTRADO	ANDERSON TAVARES VIEIRA	UNILAB	PÓS GRADUAÇÃO EM SOCIOBIODIVERSIDADE E TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS (MASTS)	DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NO SERTÃO CENTRAL CEARENSE: ANÁLISE DA COBERTURA VEGETAL E DE ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS.
MESTRADO	JOAQUIM LIBERATO MATOS NETO	UFC	PÓS GRADUAÇÃO EM AVALIAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS (PROFISSIONAL)	AValiação em PROFUNDIDADE DO PLANO PLURIANUAL 2016-2019 DO ESTADO DO CEARÁ.
MESTRADO	THAIS NOGUEIRA FACÓ DE PAULA PESSOA	UECE	PÓS GRADUAÇÃO EM SAÚDE COLETIVA	REPERCUSSÃO DA IMPLANTAÇÃO DA REDE CEGONHA NA MORTALIDADE MATERNO-INFANTIL E FETAL NO CEARÁ.
DOUTORADO	NOSLIANA NOBRE RABELO	UFC	PÓS GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS	ESTRUTURAÇÃO DE UM ÍNDICE DE SUPORTE PARA A SUSTENTABILIDADE NAS PRINCIPAIS BACIAS DO CEARÁ.
DOUTORADO	ENIO GIULIANO GIRÃO	UFC	PÓS GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE	SIMULAÇÃO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS (SAFS) UTILIZANDO FRUTEIRAS TROPICAIS E ESPÉCIES VEGETAIS ENDEMICAS PARA AUXILIAR A RESTAURAÇÃO FLORESTAL NO BIOMA CAATINGA (CIPÓ).
DOUTORADO	ETHO ROBERIO MEDEIROS NASCIMENTO	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL	PÓS GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO RURAL	DESENVOLVIMENTO RURAL SUSTENTÁVEL: UMA ANÁLISE DAS DINÂMICAS SOCIOECONÔMICAS DA CADEIA PRODUTIVA LEITEIRA NOS TERRITÓRIOS DA CIDADANIA DO CEARÁ E RIO GRANDE DO NORTE.
DOUTORADO	SAMUEL ANTONIO MIRANDA DE SOUSA	UECE	PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA	REDE URBANA E CENTRALIDADE: UMA ANÁLISE A PARTIR DE QUIXADÁ-CE

APÊNDICE C – TRABALHO APRESENTADO

2º Salão do Inventor Cearense Exedito Parente | Feira do Conhecimento 2018



FEIRA DO CONHECIMENTO CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÃO E NEGÓCIOS SALÃO DO INVENTOR CEARENSE

Monitor de NO_x de baixo custo para combustão industrial



Cafke Damião Nascimento Silva¹, Lutero Carmo de Lima², Mona Lisa Moura de Oliveira³, Antonio Serafim de Souza Sobrinho⁴

¹caike.damiao@aluno.uece.br, ²lutero.lima@uece.br, ³mona.lisa@uece.br, ⁴serafim_fisica@yahoo.com.br

Mestrado Acadêmico em Ciências Físicas Aplicadas, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará

RESUMO

A demanda por tecnologias de baixo custo para o desenvolvimento industrial é progressiva, especialmente para pequenos produtores carentes de soluções práticas para enfrentar os problemas inerentes aos processos industriais, no caso, a eficiência da combustão e a emissão de poluentes. Sob esta perspectiva, um dos propósitos deste projeto é possibilitar o acesso à tecnologia para o monitoramento da combustão, considerando o fator econômico e a fácil aplicabilidade em campo. Possuindo como potencial de inovação o monitoramento de NO_x utilizando um sensor de oxigênio automotivo, a sonda lambda, um dispositivo barato e acessível no mercado. A partir de uma técnica de medição baseada no controle de temperatura e aplicação de pulsos de tensão elétrica nos terminais do sensor é possível realizar a detecção de NO_x nos gases de exaustão, onde a curva de resposta ou curva de descarga da sonda lambda é distinta para cada concentração do gás monitorado. Resultados preliminares tornam possível identificar uma diferença na curva de descarga quando há combustão, ou seja, quando gases de escape são detectados na chaminé de uma câmara de combustão.

INTRODUÇÃO

A aquisição de monitores de combustão tem um custo relativamente elevado. No Brasil, o valor fica em torno de 5000 a 50000 reais, e a manutenção desses monitores também requer um custo considerável, além de ser periódica, com necessidade de troca de células e recalibração (DE LIMA et al., 2007).

O sensor lambda, também conhecido como sonda lambda, é um dispositivo o qual foi desenvolvido para auxiliar no controle da combustão, funcionando como um sensor de oxigênio utilizado em veículos automotores, instalado junto ao sistema de exaustão com a função de determinar a mistura de ar e combustível resultante da queima (HADDAD, 2012).

Figura 1 – Sensor lambda convencional



Fonte: Adaptado de MTE-THOMSON. Disponível em <https://cafe.mte-thomson.com.br/produto/detalhes/7774>

A relação ar/combustível obtida através deste sensor é utilizada pelo sistema de injeção eletrônica que realiza o controle da injeção de combustível e de combustível, a fim de permitir um melhor rendimento do motor, diminuir o consumo de combustível e, consequentemente, reduzir a emissão de poluentes (HADDAD, 2012).

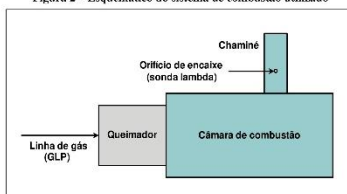
Sabendo da funcionalidade desse sensor de oxigênio, estudos recentes como os de Souza Sobrinho et al. (2012), Poceiro (2015) e Silva et al. (2018) têm estimulado a pesquisa e a utilização da sonda lambda para monitoramento e controle da combustão em processos industriais. Várias são as vantagens de utilizar esse componente no monitoramento da combustão, entre elas, vale salientar o baixo custo de aquisição do sensor e sua produção em larga escala por conta do seu uso na indústria automobilística, tornando-o barato e fácil de encontrar no mercado, podendo ser encontrado em qualquer loja de autopeças, custando em torno de 100 a 200 reais dependendo do fabricante.

Neste projeto, a sonda lambda convencional é aplicada para a detecção de NO_x em gases de escape na combustão industrial devido ao seu baixo custo e, porque, de acordo com Fischer et al. (2010), este sensor pode ser operado como sensor de NO_x se for utilizada uma técnica adequada para detecção.

METODOLOGIA

Para realização do estudo inicial da técnica de detecção de NO_x em gases de escape usando o sensor lambda convencional, foram necessários: um sistema de combustão industrial, um sensor lambda; equipamentos de medição e circuitos eletrônicos projetados especialmente para excitação e controle de temperatura da sonda lambda.

Figura 2 – Esquemático do sistema de combustão utilizado

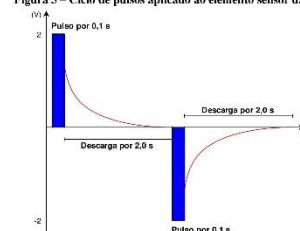


Fonte: Elaborado pelo autor.

A técnica consiste na aplicação de um pulso de tensão de carga positiva, onde logo após a curva de descarga é capturada em um intervalo de tempo definido, em seguida o mesmo procedimento é repetido, porém como pulso de tensão de sinal oposto. A característica de auto-descarga do elemento sensor após diferentes pulsos de tensão elétrica é usada como parâmetro de medição que depende do tipo de gás e da concentração. Este procedimento foi aplicado em um sensor lambda convencional de 4 fios da marca DELPHI instalado na chaminé de uma câmara de combustão disposta no Laboratório de Energias Renováveis da UECE.

Para a aplicação da técnica, circuitos eletrônicos foram projetados especialmente para a excitação e controle de temperatura da sonda lambda. Os parâmetros do procedimento experimental são descritos a seguir: Tempo de duração do pulso aplicado ao elemento sensor: 0,1 s; Tempo de descarga, para visualização da curva de descarga após aplicação do pulso: 2,0 s; Amplitude do pulso de tensão aplicado ao elemento sensor: 2,0 V; Temperatura de operação da sonda: 700°C; Temperatura dentro da câmara de combustão: entre 390 a 400°C.

Figura 3 – Ciclo de pulsos aplicado ao elemento sensor da sonda

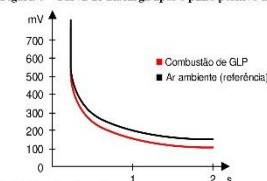


Fonte: Elaborado pelo autor.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a aplicação dos pulsos de tensão no elemento sensor da sonda lambda, de acordo com os parâmetros descritos na metodologia, utilizando um osciloscópio, foram obtidas as curvas de descarga, onde a curva de descarga positiva pode ser visualizada a seguir.

Figura 4 – Curva de descarga após o pulso positivo de 2 V



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após o pulso, a tensão nos terminais do sensor instantaneamente cai para valores em torno de 500 mV., a partir deste valor é possível verificar a curva de descarga até os dois segundos definidos. Os resultados preliminares permitem identificar uma diferença na curva de descarga quando há combustão, ou seja, quando há detecção de gases de escape (incluindo NO_x) na chaminé da câmara de combustão.

Ainda é necessário utilizar um analisador de gás e medir a quantidade de NO_x emitido e correlacionar com a curva de descarga do sensor, calibrar o medidor desenvolvido e validar o estudo experimental.

REFERÊNCIAS

- DE LIMA, L. C.; DE MACEDO, A. R. M.; DE MACEDO, A. R. L.; MARQUES, E. Construção e avaliação de um monitor de combustão industrial. *Revista Tecnologia*, v. 28(1), p. 77-84, Jan, 2007.
- FISCHER, S. et al. Method for detection of NO_x in exhaust gases by pulsed discharge measurements using standard zirconia-based lambda sensors. *Sensors And Actuators B: Chemical*, (s.l.), v. 147, n. 3, p. 780-785, 3 jun. 2010.
- HADDAD, Adriana Bonito. A influência do sensor de oxigênio no controle de poluentes emitidos pelos gases de escape de um veículo automotor. São Carlos do Sul, 2012. 57 f. Monografia (Especialização) – Pós-graduação em Engenharia Automotiva, Centro Universitário do Instituto Mau de Tecnologia, São Carlos do Sul, SP, 2012.
- POCEIRO, David Duarte. Utilização de sondas lambda em caldeiras de biomassa. Aveiro, 2015. 85 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Engenharia Eletrônica e Telecomunicações, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2015.
- SILVA, C. D. N.; LIMA, L. C.; OLIVEIRA, M. L. M.; SILVA, C. V. M.; SOUZA SOBRINHO, A. S. Application of the Current Reversal Mode in an automotive lambda sensor for monitoring industrial combustion. *INTERNATIONAL JOURNAL OF DEVELOPMENT RESEARCH*, v. 6(8), p. 21732-21736, 2018.
- SOUZA SOBRINHO, A. S.; CAVALCANTE JÚNIOR, F. S.; DE LIMA, L. C. Monitoring Industrial Combustion Through Automotive Oxygen Sensor. *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*, (s.l.), v. 3, n.2, p. 203-211, 2012.

