

Boletim de GESTÃO PÚBLICA

Nº 38/2025



Governador do Estado do Ceará

Elmano de Freitas da Costa

Vice-governadora do Estado do Ceará

Jade Afonso Romero

Secretaria do Planejamento e Gestão - SEPLAG

Alexandre Sobreira Cialdini - Secretário

Sidney dos Santos Saraiva Leão - Secretário Executivo de Políticas Estratégicas para Liderança

José Garrido Braga Neto - Secretário Executivo da Gestão e Governo Digital

Naiana Corrêa Lima Peixoto - Secretária Executiva de Planejamento e Orçamento

Antônio Roziano Pontes Linhares - Secretário Executivo de Planejamento e Gestão Interna

Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - IPECE

Diretor Geral

Alfredo José Pessoa de Oliveira

Diretoria de Estudos de Gestão Pública - DIGEP

José Fábio Bezerra Montenegro

Diretoria de Estudos Econômicos - DIEC

Ricardo Antônio de Castro Pereira

Diretoria de Estudos Sociais - DISOC

José Meneleu Neto

Gerência de Estatística, Geografia e Informação - GEGIN

Rafaela Martins Leite Monteiro

Boletim de Gestão Pública - Nº 38/2025

Unidade Responsável:

Diretoria de Estudos de Gestão Pública - DIGEP

Coordenação:

José Fábio Bezerra Montenegro

Colaboração:

Tiago Emanuel Gomes dos Santos (Apoio Técnico DIGEP)

Aprígio Botelho Lócio (Apoio Técnico DIGEP)

Luiz Nivardo Melo Filho (Assessor Técnico DIGEP)

O Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) é uma autarquia vinculada à Secretaria do Planejamento e Gestão do Estado do Ceará. Fundado em 14 de abril de 2003, o IPECE é o órgão do Governo responsável pela geração de estudos, pesquisas e informações socioeconômicas e geográficas que permitem a avaliação de programas e a elaboração de estratégias e políticas públicas para o desenvolvimento do Estado do Ceará.

Missão: Gerar e disseminar conhecimento e informações, subsidiar a formulação e avaliação de políticas públicas e assessorar o Governo nas decisões estratégicas, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do Ceará.

Valores: Ética, transparência e impessoalidade; Autonomia Técnica; Rigor científico; Competência e comprometimento profissional; Cooperação interinstitucional; Compromisso com a sociedade; e Senso de equipe e valorização do ser humano.

Visão: Até 2025, ser uma instituição moderna e inovadora que tenha fortalecida sua contribuição nas decisões estratégicas do Governo.

Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) - Av. Gal. Afonso Albuquerque Lima, s/n | Edifício SEPLAG | Térreo - Cambéa | Cep: 60 822-325 | Fortaleza, Ceará, Brasil | Telefone: (85) 3101-3521
<http://www.ipece.ce.gov.br/>

Sobre o Boletim de Gestão Pública

O Boletim de Gestão Pública do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) tem como objetivo principal a difusão de melhores práticas e inovações na área de gestão e de políticas públicas. Formado por artigos sintéticos (descritivo-analíticos), elaborados pelo corpo técnico do Instituto e ou por técnicos convidados de outros órgãos do Governo do Estado do Ceará e de outras organizações. Em linhas gerais, os artigos buscam: (i) difundir melhores práticas, com a análise de casos específicos locais, estaduais, nacionais ou internacionais; (ii) apresentar avanços na gestão pública do Ceará, com as principais inovações em gestão e políticas públicas no Estado; (iii) discutir avanços teóricos nas áreas de gestão e de políticas públicas e como esses conhecimentos podem ser postos em ação; (iv) analisar desafios para a gestão e para as políticas públicas; ou (v) verificar inovações no âmbito do setor privado, indicando como elas podem servir de inspiração para o setor público.

Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - IPECE 2025

Boletim de Gestão Pública / Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) / Fortaleza - Ceará: IPECE, 2025.

38p. Cores.

ISSN: 2594-8709

1. Economia Brasileira. 2. Economia Cearense. 3. Gestão Pública.

Os autores são responsáveis pela revisão de seus trabalhos, bem como pelo conteúdo, formato, dados e referências bibliográficas. Desta forma, os artigos publicados são de inteira responsabilidade de seus autores. As opiniões neles emitidas não exprimem, necessariamente, o ponto de vista do IPECE.

É autorizada a reprodução total ou parcial destes artigos e de dados neles contidos, desde que a fonte seja citada. É totalmente proibido a reprodução para fins comerciais.

Nesta Edição:

1. IMPACTO ECONÔMICO DE DOENÇAS RELACIONADAS AO CLIMA (Autores: Rafaela Pessoa Moreira, Alexandre Cunha Costa, Vanessa Emille Carvalho de Sousa Freire, Tahissa Frota Cavalcante e Cleiton da Silva Silveira), 2

2. ECOEFICIÊNCIA DOS MUNICÍPIOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA: UM ESTUDO TEMPORAL (Autores: Maria Avyla Batista da Silva, Manoel Alexandre de Lucena e Eliane Pinheiro de Sousa), 16

SUMÁRIO EXECUTIVO

O primeiro artigo aborda que as mudanças climáticas estão associadas a um aumento nas hospitalizações por doenças influenciadas pelo clima, como doenças cardiovasculares, asma e dengue. Este artigo apresenta uma análise crítica de estudos realizados ao longo de seis anos por um grupo de pesquisadores de uma universidade pública no Ceará, que investigou a relação entre clima, ambiente e saúde. O objetivo foi examinar o impacto econômico das hospitalizações por doenças relacionadas ao clima no estado. A metodologia envolveu a análise de artigos publicados sobre a relação entre fatores climáticos e doenças no contexto geográfico do Ceará. Os resultados indicaram que mudanças climáticas, como temperaturas extremas, variações na umidade e na precipitação, estão associadas ao aumento de hospitalizações, resultando em custos significativos. O Sistema Único de Saúde gasta anualmente mais de R\$ 1 bilhão em tratamentos cardiovasculares; apenas as internações por AVC no Ceará, de 2008 a 2019, custaram aproximadamente R\$ 564,75 milhões, com projeções de custos chegando a R\$ 1,1 bilhão até 2035. Para a asma, os custos anuais variam de R\$ 1.000 a R\$ 3.000 por paciente. A conclusão enfatiza a urgência de políticas integradas para mitigar os impactos das mudanças climáticas na saúde e na economia, promovendo a sustentabilidade do sistema de saúde.

O segundo artigo tem como objetivo apresentar estudo que se propõe mensurar a ecoeficiência dos municípios da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), no período de 2000 a 2020. Para tal, utilizou-se o método de Análise Envoltória de Dados (DEA) com retornos constantes de escala (CCR), orientação para inputs, por meio de janelas (WA) considerando entradas e saídas (desejáveis e indesejáveis), representado por DEA-CCR-WA. Os resultados indicam tendência de aumento na ecoeficiência no decorrer do tempo, podendo ser explicada pela melhoria contínua nas práticas ambientais e maior estabilidade no desempenho sustentável e avanços tecnológicos, com destaque para Itaitinga, que, em alguns períodos da série, conseguiu conciliar crescimento econômico com preservação ambiental. Ademais, Fortaleza, Maracanaú, Paracuru, Paraipaba, Eusébio e Pindoretama tiveram elevados escores de ecoeficiência ao longo desses anos. Em contrapartida, os menores desempenhos ocorreram em Aquiraz, Caucaia e São Luís do Curu, porém, com melhorias nas janelas mais recentes. Portanto, constata-se que o equilíbrio entre as atividades de promoção da sustentabilidade contribuiu para o crescimento sustentável da RMF.

1. IMPACTO ECONÔMICO DE DOENÇAS RELACIONADAS AO CLIMA

Autores: Rafaella Pessoa Moreira¹, Alexandre Cunha Costa², Vanessa Emille Carvalho de Sousa Freire³, Tahissa Frota Cavalcante⁴ e Cleiton da Silva Silveira⁵

1.1. Introdução

As mudanças climáticas são cada vez mais reconhecidas como ameaças globais urgentes, impactando significativamente a saúde humana por meio da intensificação das doenças sensíveis ao clima. O aumento das temperaturas globais, as mudanças nos padrões de precipitação e a crescente frequência e gravidade de eventos climáticos extremos, como secas, inundações e ondas de calor, têm provocado um aumento da suscetibilidade a doenças, principalmente, em populações vulneráveis. Em particular, regiões em desenvolvimento com climas semiáridos e áridos são desproporcionalmente afetadas^{6,7}.

O estado do Ceará, localizado na região semiárida do Nordeste brasileiro, é um exemplo claro das vulnerabilidades enfrentadas pelas terras secas em nível global. Com grande parte de seu território abrangendo o semiárido, o Ceará está sujeito à escassez de água, temperaturas elevadas e desastres naturais recorrentes, como longos períodos de seca e, em menor escala, períodos de chuvas intensas². Esses fatores climáticos, agravados pelas mudanças globais, intensificam os desafios já enfrentados pela população local, que muitas vezes vive em condições socioeconômicas desfavoráveis, enfrentando marginalização e acesso limitado a recursos básicos.

¹ Doutora em Enfermagem. Prof^a. Associada da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB).

² Doutor em Hidrologia. Prof. Adjunto do Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB).

³ Doutora em Enfermagem. Pesquisadora Visitante da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB).

⁴ Doutora em Enfermagem. Prof^a. Adjunta da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB).

⁵ Doutor em Engenharia Civil (Recursos Hídricos). Prof. Adjunto da Universidade Federal do Ceará (UFC).

⁶ MOREIRA, R. P.; COSTA, A. C.; GOMES, T. F.; FERREIRA, G. O. Climate and climate-sensitive diseases in semi-arid regions: a systematic review. *International Journal of Public Health*, v. 65, p. 1749-1761, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00038-020-01464-6>

⁷ COSTA, A. C.; GOMES, T. F.; MOREIRA, R. P.; CAVALCANTE, T. F.; MAMEDE, G. L. Influence of hydroclimatic variability on dengue incidence in a tropical dryland area. *Acta Tropica*, v. 235, p. 106657, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2022.106657>

À medida que as mudanças climáticas avançam, projeta-se uma expansão das áreas semiáridas e uma maior intensidade dos fenômenos climáticos extremos, como a seca⁸. Isso pode piorar a já delicada situação no Ceará. Ademais, a população cearense, especialmente as comunidades rurais, é particularmente vulnerável a esse cenário, devido à falta de acesso a serviços de saúde e recursos que possam mitigar os efeitos adversos das variações climáticas.

Ao longo dos últimos seis anos, um grupo de pesquisadores de uma universidade pública do Ceará tem intensificado esforços para compreender melhor como as mudanças climáticas impactam a saúde humana. Trabalhos desenvolvidos e publicados recentemente pelo grupo evidenciam que doenças sensíveis ao clima, particularmente, doenças cardiovasculares (DCV), diabetes mellitus (DM), asma e dengue, têm mostrado ser diretamente influenciadas por variáveis climáticas. Dentre os achados mais importantes, verificou-se que temperaturas extremas, variações na umidade, poluição do ar e a ocorrência de desastres, situações frequentemente exacerbadas nas regiões áridas, atuam como fatores-chave para o aumento da morbidade e da mortalidade relacionadas a essas doenças^{2,9,10,11}.

⁸ PRAVALIE, R. Drylands extent and environmental issues: a global approach. *Earth-Science Reviews*, v. 161, p. 259-278, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.08.003>. Acesso em: 31 jan. 2025.

⁹ MONTE, K. S.; COSTA, A. C.; SILVA, C. B. C.; MOREIRA, R. P. Association of a hotter climate with lower wind speed and increased cardiovascular hospitalizations in a tropical dryland. *International Journal of Biometeorology*, 2024a. [No prelo].

¹⁰ MONTE, K. S.; COSTA, A. C.; MORAIS, H. C.; GUEDES, N. G.; SILVA, C. B. C.; CRUZ NETO, J.; et al. Decreased childhood asthma hospitalizations linked to hotter, drier climate with lower wind speed in drylands. *International Journal of Environmental Health Research*, 2024b. [No prelo].

¹¹ MOREIRA, R. P.; SILVA, C. B. C.; SOUSA, T. C.; LEITÃO, F. L. B. F.; MORAIS, H. C. C.; OLIVEIRA, A. S. S.; et al. The influence of climate, atmospheric pollution, and natural disasters on cardiovascular diseases and diabetes mellitus in drylands: a scoping review. *Public Health Reviews*, v. 45, p. 1607300, 2024. <https://doi.org/10.3389/phrs.2024.1607300>

Além disso, fenômenos climáticos têm sido associados à exacerbação dessas doenças em diferentes países do mundo, causando um aumento importante das hospitalizações^{12,13,14,15,16}.

Na literatura, pesquisas têm abordado amplamente os fatores de risco tradicionais para doenças cardiovasculares e diabetes, como idade, genética e escolhas de estilo de vida. No entanto, os cenários de hospitalizações associadas a essas doenças aumentam os custos dos serviços de saúde, impactando, conseqüentemente, municípios, estados e a União. Além disso, ainda há escassez de estudos que examinem o impacto econômico das mudanças climáticas e desastres naturais sobre essas condições. Em regiões semiáridas, as conseqüências financeiras do aumento dessas hospitalizações, como a perda de produtividade e a sobrecarga dos sistemas de saúde, podem ser ainda mais significativas. Analisar o impacto econômico relacionado ao aumento das hospitalizações por doenças sensíveis ao clima é essencial para o planejamento de políticas públicas eficazes que minimizem tanto os danos à saúde quanto as implicações econômicas dessas doenças.

1.2. Objetivo

Explorar, com base em evidências disponíveis na literatura, o impacto potencial das hospitalizações por doenças sensíveis ao clima no Ceará e seus possíveis desafios econômicos.

¹² TANG, C.; LIU, X.; HE, Y.; GAO, J.; XU, Z.; DUAN, J.; et al. Association between extreme precipitation and ischemic stroke in Hefei, China: hospitalization risk and disease burden. *Science of the Total Environment*, v. 732, p. 139272, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139272>. Acesso em: 31 jan. 2025.

¹³ JACOBSEN, A. P.; KHIEW, Y. C.; DUFFY, E.; O'CONNELL, J.; BROWN, E.; AUWAERTER, P. G.; et al. Climate change and the prevention of cardiovascular disease. *American Journal of Preventive Cardiology*, v. 12, p. 100391, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ajpc.2022.100391>. Acesso em: 31 jan. 2025.

¹⁴ DE VITA, A.; BELMUSTO, A.; DI PERNA, F.; TREMAMUNNO, S.; DE MATTEIS, G.; FRANCESCHI, F.; et al. The impact of climate change and extreme weather conditions on cardiovascular health and acute cardiovascular diseases. *Journal of Clinical Medicine*, v. 13, n. 3, p. 759, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/jcm13030759>. Acesso em: 31 jan. 2025.

¹⁵ HU, Y.; CHENG, J.; LIU, S.; TAN, J.; YAN C.; YU, G.; et al. Evaluation of climate change adaptation measures for childhood asthma: a systematic review of epidemiological evidence. *Science of the Total Environment*, v. 839, p. 156291, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156291>. Acesso em: 31 jan. 2025.

¹⁶ MATSUMOTO, M.; ISHIKAWA, S.; KAJII, E. Cumulative effects of weather on stroke incidence: a multi-community cohort study in Japan. *Journal of Epidemiology*, v. 20, n. 2, p. 136-142, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.2188/jea.je20090103>. Acesso em: 31 jan. 2025.

1.3. Métodos

Trata-se de um estudo de revisão crítica, no qual foram compilados e analisados os principais achados de pesquisas desenvolvidas por um grupo de pesquisadores de uma universidade pública do Ceará, focando na relação entre clima, ambiente e saúde, com ênfase nas seguintes doenças sensíveis ao clima: dengue, asma e doenças cardiovasculares (incluindo acidente vascular cerebral [AVC] e infarto agudo do miocárdio [IAM]). Especificamente, estabeleceu-se a seguinte questão de pesquisa: Quais as repercussões econômicas do aumento das internações por doenças sensíveis ao clima no Ceará?

Foram considerados todos os artigos publicados pelo grupo de pesquisadores em foco, até o presente, que abordassem a relação entre fatores climáticos e as doenças mencionadas, no contexto geográfico do Ceará. Após a identificação inicial desses artigos, foi realizada uma análise mais detalhada para a extração dos dados pertinentes para esta revisão crítica, considerando a questão acima destacada. Os artigos consistem em estudos de diferentes tipos, incluindo estudos epidemiológicos, revisões de literatura, estudos estatísticos, de modelagem e de predição.

Os dados obtidos dos estudos foram apresentados por meio de tabelas e figuras que resumem os principais achados e suas implicações para a saúde pública, com foco no aumento das internações por doenças sensíveis ao clima.

Com base nessa síntese, a discussão foi elaborada e abordou o impacto econômico do aumento das hospitalizações em decorrência dessas doenças sensíveis ao clima no estado do Ceará. Ressalta-se que os dados extraídos dos estudos primários foram coletados do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), que tem como objetivo registrar e disseminar informações relacionadas às doenças de notificação compulsória aos órgãos governamentais brasileiros¹⁷, utilizando-se a busca mediada pelo Código Internacional de Doenças (CID, ex. Morbidade CID-10: Asma, outras doenças do aparelho respiratório). Os autores dos estudos analisados também consultaram outras fontes, como relatórios do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), do Sistema Único de Saúde (SUS), materiais governamentais e artigos científicos que oferecem informações sobre os custos associados às internações. A análise foi complementada por estimativas das repercussões econômicas futuras, considerando

¹⁷ BRASIL. Ministério da Saúde. Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN): Asma. Brasília, 2023. Disponível em: <http://portalsinan.saude.gov.br/sinan>. Acesso em: 10 set. 2024.

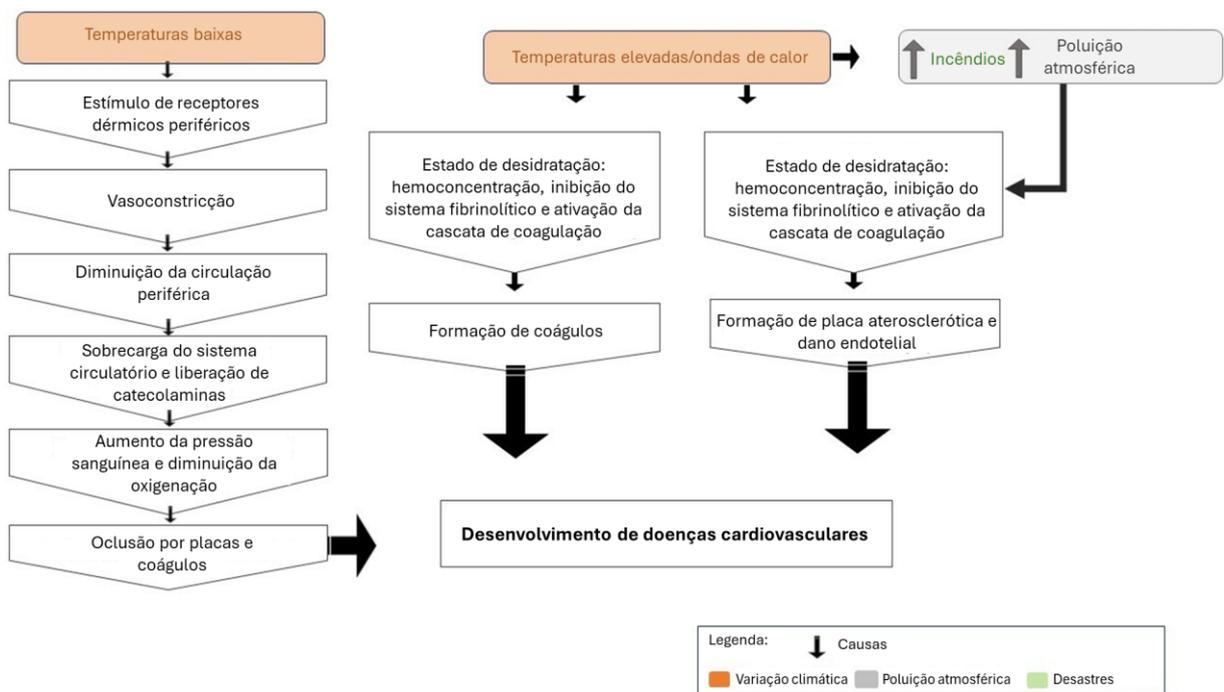
os cenários climáticos projetados pelos pesquisadores e suas possíveis influências sobre a saúde da população.

Quanto aos aspectos éticos, reitera-se que os dados utilizados são de domínio público ou foram coletados de forma a garantir a privacidade e a confidencialidade das informações dos participantes.

1.4. Resultados

Os artigos analisados apresentam achados importantes que evidenciam a estreita relação entre clima e saúde. Especificamente, as evidências dos estudos analisados apontam uma relação significativa entre mudanças climáticas e aumento das hospitalizações por determinadas doenças no Ceará (doenças cardiovasculares, asma e dengue). A seguir, serão ilustrados aspectos específicos dessas associações para um entendimento mais amplo dos potenciais desafios econômicos e de saúde pública relacionados ao clima na região.

Figura 1.1 Efeito das variáveis climáticas, poluição atmosférica e desastres naturais no desenvolvimento de doenças cardiovasculares. Fonte: Moreira et al. (2024)⁶



Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 1.1, extraída da revisão de escopo de Moreira et al. (2024)⁶, demonstra o efeito das variáveis climáticas, da poluição atmosférica e dos desastres naturais (ex. incêndios) no desenvolvimento de doenças cardiovasculares. Os efeitos demonstrados na Figura (ex. o aumento da temperatura leva à sobrecarga do sistema circulatório, que por sua vez, contribui para o aumento da pressão sanguínea e diminuição da oxigenação, causando a formação de placas e coágulos) foram obtidos a partir da literatura e destacam o impacto cumulativo das mudanças climáticas sobre a saúde cardiovascular.

Para uma compreensão mais abrangente dos impactos climáticos no aumento de hospitalizações, foi desenvolvido um estudo que explorou as tendências de hospitalizações por AVC em 14 municípios do Ceará (Acarauá, Aracati, Baturité, Canindé, Crateús, Fortaleza, Iguatu, Itapipoca, Juazeiro do Norte, Morada Nova, Quixadá, Sobral, Tauá e Tianguá) em relação ao comportamento de determinadas variáveis climáticas, entre 2008 e 2020¹⁸.

A Tabela 1.1, criada a partir dos dados do referido estudo, resume os dados da prevalência de Acidente Vascular Cerebral (AVC) e Infarto Agudo do Miocárdio (IAM) em 14 municípios do Ceará, no período de janeiro de 2008 a dezembro de 2019.

¹⁸ MONTE, K. S.; COSTA, A. C.; SILVA, C. B. C.; MOREIRA, R. P. Association of a hotter climate with lower wind speed and increased cardiovascular hospitalizations in a tropical dryland. *International Journal of Biometeorology*, 2024a. [No prelo].

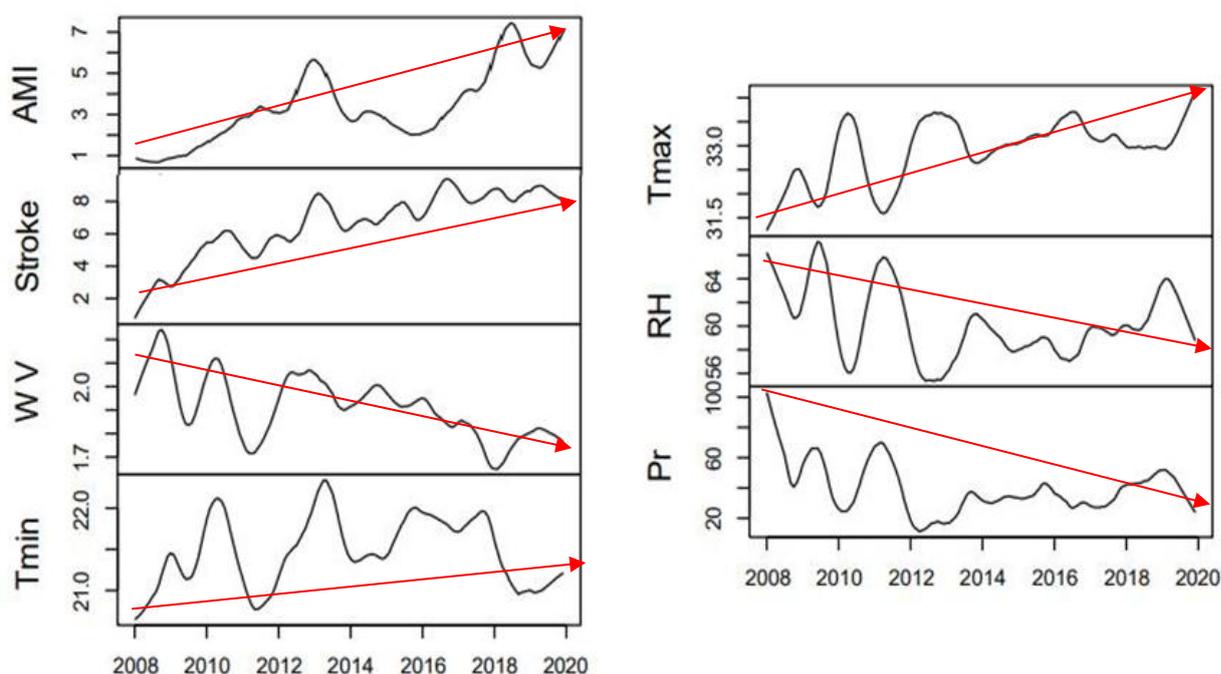
Tabela 1.1. Dados de prevalência de acidente vascular cerebral e infarto agudo do miocárdio em 14 municípios do Ceará, de janeiro de 2008 a dezembro de 2019.

	Municípios do Ceará ¹													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
População (habitantes) ²	65.264	75.113	35.218	74.174	76.390	2.428.708	98.064	131.123	286.120	61.443	84.168	203.023	61.227	81.506
Número de hospitalizações por AVC	490	807	344	813	866	23.258	1.370	1.462	3.797	474	819	1.307	947	896
Prevalência de AVC por 100.000 hab para o período ³	751	1.074	977	1.096	1.134	958	1.397	1.115	1.327	771	973	644	1.547	1.099
Número de hospitalizações por IAM	73	260	161	271	236	14.920	465	334	834	292	397	491	483	115
Prevalência de IAM por 100.000 hab. para o período ³	112	346	457	365	309	614	474	255	291	475	472	242	789	141
Densidade populacional (habitantes/km ²) ²	77.5	61.2	112.13	24.5	25.6	7.775.50	98.8	81.9	1.105.60	22.2	41.7	98.2	15.3	89.6

Fonte: Elaborado pelos autores.

Podem ser observadas variações significativas na prevalência de AVC e IAM entre os municípios estudados, possivelmente relacionadas a diferenças na exposição a fatores climáticos e nos recursos disponíveis em cada localidade. A investigação de tendências de aumento ou diminuição das hospitalizações por AVC e IAM no Ceará foi realizada em um dos estudos analisados¹⁹. Ilustrar as relações encontradas e possibilitar uma melhor visualização, selecionamos o município de Tauá (Figura 1.2).

Figura 1.2. Tendências de hospitalizações por Infarto Agudo do Miocárdio e Acidente Vascular Cerebral e comportamento das variáveis climáticas em Tauá, no período de 2008 a 2020. Fonte: Monte et al. (2024a).



Legenda: AMI: infarto agudo do miocárdio; Stroke: acidente vascular cerebral; WV: velocidade dos ventos; Tmin e Tmax: temperaturas mínima e máxima; RH: umidade do ar; Pr: precipitação.

Fonte: Elaborado pelos autores.

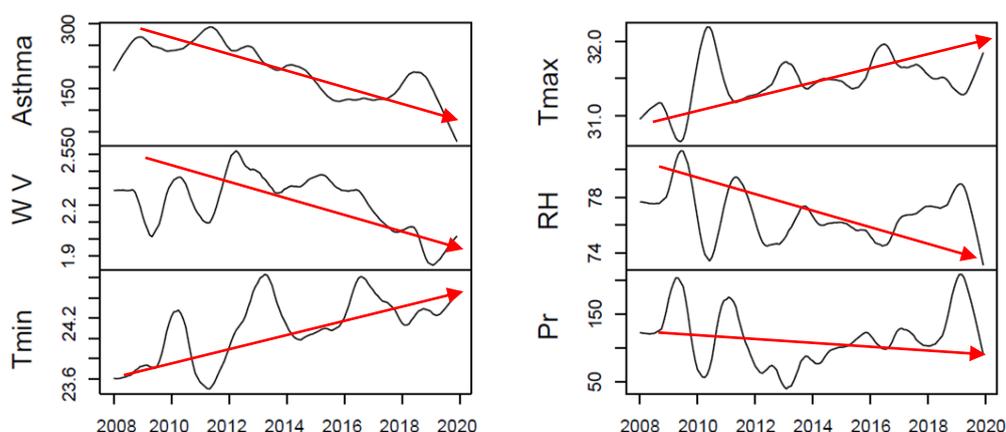
A Figura 1.2 evidencia um aumento nos casos de hospitalizações tanto por AVC quanto por IAM no período de 2008 a 2020, no qual observam-se mudanças em algumas condições climáticas (diminuição da velocidade dos ventos, aumento da temperatura, diminuição da umidade do ar e diminuição da precipitação). Surpreendentemente, no referido estudo, foram identificados 10 municípios apresentando uma tendência crescente de

¹⁹ MONTE, K. S.; COSTA, A. C.; SILVA, C. B. C.; MOREIRA, R. P. Association of a hotter climate with lower wind speed and increased cardiovascular hospitalizations in a tropical dryland. *International Journal of Biometeorology*, 2024a. [No prelo].

hospitalizações para AVC e 12 para IAM¹⁹.

Uma análise similar foi realizada em outro estudo²⁰. Os autores analisaram tendências de hospitalizações por asma entre crianças de 14 municípios do Ceará, no período de 2008 a 2020, e seu relacionamento com variáveis climáticas. Para ilustrar as relações encontradas e possibilitar uma melhor visualização, selecionamos o município de Fortaleza (Figura 1.3).

Figura 1.3. Tendências de hospitalizações por asma em crianças e comportamento das variáveis climáticas em Fortaleza, no período de 2008 a 2020. Fonte: Monte et al. (2024b).



Legenda: Asthma: asma; WV: velocidade dos ventos; Tmin e Tmax: temperaturas mínima e máxima; RH: umidade do ar; Pr: precipitação.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Observa-se, na Figura 1.3, uma correlação entre a diminuição de hospitalizações por asma e variações climáticas específicas (diminuição da velocidade dos ventos, aumento da temperatura, e diminuição da umidade do ar), sugerindo que mudanças no clima local podem influenciar a saúde respiratória infantil, com um aumento das hospitalizações esperado durante períodos mais frios, úmidos e com maior velocidade dos ventos.

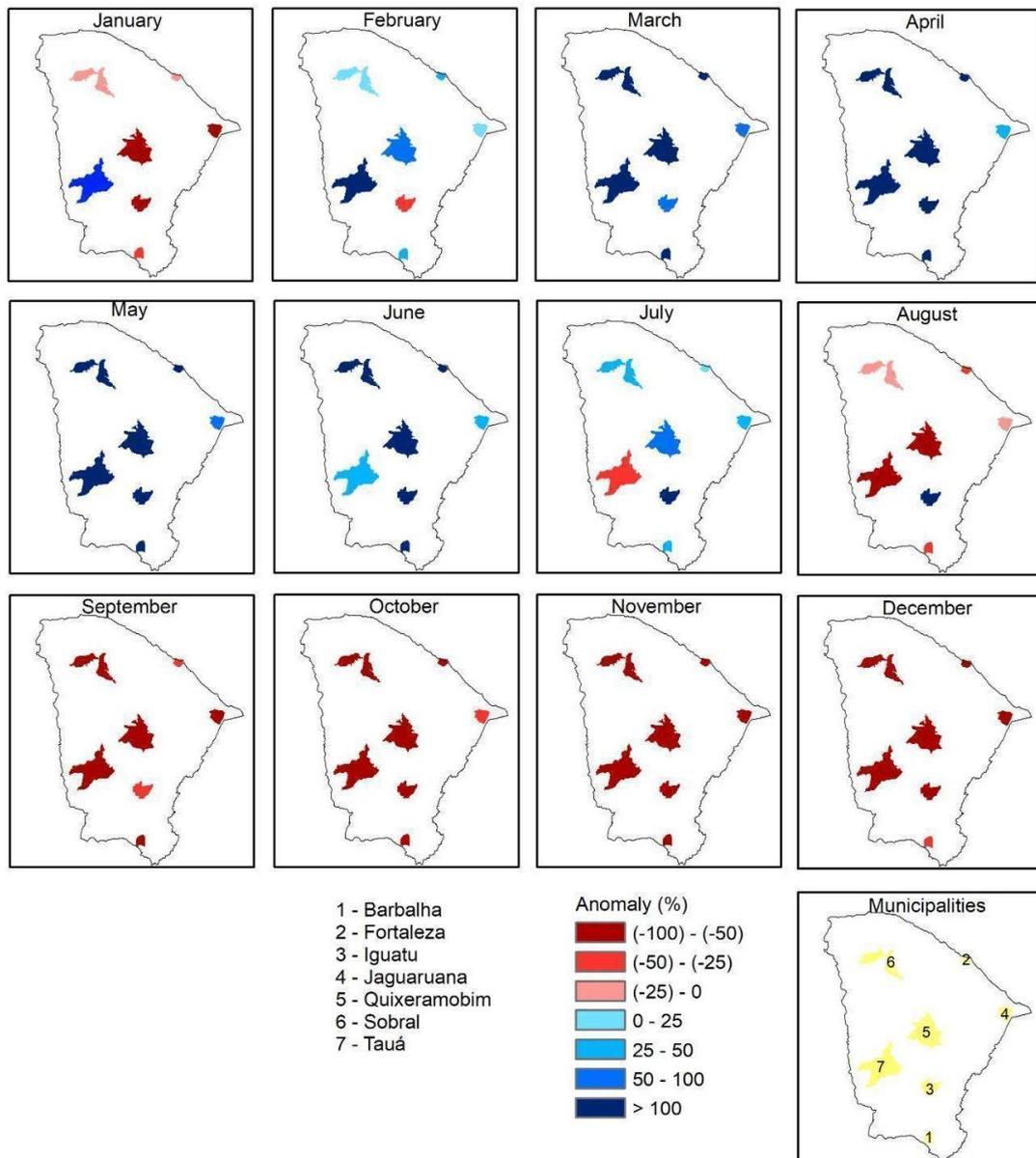
Por fim, um estudo epidemiológico analisou a correlação entre variações de precipitação e temperatura e incidência de dengue em 7 municípios do Ceará (Barbalha, Fortaleza, Iguatu, Jaguaruana, Quixeramobim, Sobral e Tauá)²¹. A Figura 1.4 ilustra o

²⁰ MONTE, K. S.; COSTA, A. C.; MORAIS, H. C.; GUEDES, N. G.; SILVA, C. B. C.; CRUZ NETO, J.; et al. Decreased childhood asthma hospitalizations linked to hotter, drier climate with lower wind speed in drylands. *International Journal of Environmental Health Research*, 2024b. [No prelo].

²¹ COSTA, A. C.; GOMES, T. F.; MOREIRA, R. P.; CAVALCANTE, T. F.; MAMEDE, G. L. Influence of hydroclimatic variability on dengue incidence in a tropical dryland area. *Acta Tropica*, v. 235, p. 106657, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2022.106657>

calendário mensal das anomalias de casos de dengue observadas nesses municípios.

Figura 1.4. Calendário mensal de anomalias de casos de dengue em sete municípios do Ceará, no período de 2008 a 2018. Fonte: Costa et al. (2022)²¹.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 1.4 demonstra que a temporada de dengue vai de fevereiro a julho na maioria das cidades, começando um pouco mais cedo em Tauá e mais tarde em Iguatu. Nesse mesmo estudo, observou-se que a precipitação acima de 100 mm desencadeou o aumento dos casos de dengue em 4 municípios (Fortaleza, Sobral, Iguatu e Barbalha) e que as temperaturas caem levemente no pico da dengue, que geralmente ocorre entre fevereiro e julho, variando conforme a cidade²¹.

O aumento dos casos de dengue (assim como das outras doenças citadas anteriormente) impacta economicamente o estado, gerando custos adicionais ao sistema de saúde devido à alta demanda por atendimento e tratamento, além de afetar a produtividade da população. Esses impactos econômicos serão abordados de forma mais detalhada na seção de discussão.

1.5 Discussão

Anualmente, o Sistema Único de Saúde (SUS) gasta mais de R\$ 1 bilhão com tratamentos cardiovasculares, como infartos e AVCs, que estão entre as principais causas de morte no país. O custo médio anual das internações somente por AVC ultrapassa R\$ 500 milhões. Além disso, a Sociedade Brasileira de Cardiologia destaca o crescimento nas hospitalizações por infarto em mais de 50% nos últimos dez anos, com uma média de 90 mil internações por ano²².

Considerando-se um custo médio por dia de internação hospitalar por AVC de R\$1.000 a R\$2.000, e por IAM de R\$1.000 a R\$1.500^{23,24}, com base nos dados epidemiológicos de um dos estudos analisados (MONTE et al., 2024a), é possível estimar, de forma simplificada e sem correção, que, no período de Janeiro de 2008 a Dezembro de 2019, os custos totais das internações no Ceará por essas doenças foram, aproximadamente, de R\$ 564,75 milhões para AVC e R\$ 193,32 milhões para IAM. Para os próximos 10 anos (2025 a 2035), projetando uma taxa de crescimento de 5% ao ano, as estimativas de custos totais seriam, aproximadamente, R\$ 1,1 bilhão (AVC) e R\$ 436 milhões (IAM). Esses valores refletem o aumento esperado nas internações e custos associados a essas condições.

Com relação ao tratamento da asma, também são registrados gastos substanciais e que se destacam em função dos altos custos relacionados às hospitalizações e emergências. Em 2018, o país registrou aproximadamente 87 mil internações por asma no SUS, uma carga significativa sobre o sistema de saúde. Estimativas sugerem que o tratamento da asma pode

²² OLIVEIRA, G. M. M.; BRANT, L. C. C.; POLANCZYK, C. A.; MALTA, D. C.; BIOLO, A.; NASCIMENTO, B. R.; et al. Estatística cardiovascular – Brasil 2023. Arquivos Brasileiros de Cardiologia, v. 121, n. 2, p. e20240079, 2024. <https://abccardiol.org/article/estatistica-cardiovascular-brasil-2023/>

²³ MOURA, M.; CASULARI, L. A. Impacto da adoção de medidas inespecíficas no tratamento do acidente vascular cerebral isquêmico agudo em idosos: a experiência do Distrito Federal, Brasil. Revista Panamericana de Saúde Pública, v. 38, n. 1, p. 57-63, 2015. <https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/10009/v38n1a9.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

²⁴ FRANCO, M. A. E.; ALVES, A. C. R.; ROSA, E. A. S.; FRANCO, I. E.; GOUVÊA, J. C. Z.; ELESBÃO, K. O.; et al. Impacto econômico da morbimortalidade hospitalar por infarto agudo do miocárdio em idosos no Brasil. Brazilian Journal of Health Review, v. 3, n. 6, p. 18487-18501, 2020. <http://dx.doi.org/10.34119/bjhrv3n6-242>

custar entre R\$ 1.000 a R\$ 3.000 por paciente por ano²⁵. Ademais, estima-se que o tratamento de um paciente com asma grave, especialmente quando não controlada, pode custar até 15 vezes mais em comparação com asmáticos moderados, uma vez que as emergências e hospitalizações são muito mais frequentes nesses casos. A morbidade associada a essas internações, incluindo o uso de medicamentos e necessidade de assistência respiratória, aumenta consideravelmente o custo para as famílias e para o SUS²⁶.

Por sua vez, os custos associados a internações por dengue no Brasil também têm sido significativos, refletindo tanto o impacto direto no sistema de saúde quanto os custos indiretos relacionados à perda de produtividade. Entre 2013 e 2020, o custo médio de uma internação hospitalar por dengue foi estimado em cerca de R\$ 1.400 a R\$ 1.800 por paciente, variando conforme a região e a gravidade dos casos. Em períodos epidêmicos, como em 2019, o aumento dos casos elevou as despesas para cerca de R\$ 105 milhões, considerando apenas hospitalizações e tratamentos em âmbito nacional^{27,28}.

Os custos acima destacados, relacionados às hospitalizações por doenças cardiovasculares, asma e dengue, refletem a crescente influência de fatores ambientais e climáticos na economia brasileira. Nossos resultados mostram que mudanças no clima estão associadas ao aumento de hospitalizações, sugerindo que o aquecimento global e eventos climáticos extremos têm contribuído diretamente para a amplificação desse impacto econômico, especialmente em regiões vulneráveis, como a região Nordeste e o estado do Ceará.

Assim, faz-se urgente a implementação de intervenções em saúde que visem não apenas o tratamento, mas também a prevenção das doenças relacionadas aos fatores ambientais. As ações educativas e preventivas são fundamentais para capacitar as comunidades a reconhecer os riscos associados às mudanças climáticas e a adotar comportamentos saudáveis. Profissionais de saúde desempenham um papel crucial nesse processo, pois podem promover a conscientização sobre a importância do controle de fatores

²⁵ COSTA, E.; CAETANO, R.; WERNECK, G. L.; BREGMAN, M.; ARAÚJO, D. V.; RUFINO, R. Estimativa de custo da asma em tratamento ambulatorial: estudo com dados de mundo real. *Revista de Saúde Pública*, v. 52, p. 27, 2018.

²⁶ BRASIL. Ministério da Saúde. Protocolo Clínico e Diretrizes Terapêuticas da Asma. 2021. Disponível em: https://www.gov.br/conitec/pt-br/midias/consultas/relatorios/2021/20210526_pcdt_relatorio_asma_cp_39.pdf. Acesso em: 31 jan. 2025.

²⁷ INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Anuário estatístico do Brasil: casos de internação por dengue. 2023. Disponível em: <https://anuario.ibge.gov.br/2023/caracteristicas-da-populacao/saude-e-previdencia-social/aeb-2023-tabelas-saude-e-previdencia-social/22132-casos-de-internacao-por-dengue.html>. Acesso em: 31 jan. 2025.

²⁸ PEREIRA, E. M. C.; OLIVEIRA, D. G.; VOLTOLINI, J. C.; CASTRO, M. P. Distribuição espacial e temporal de internações por dengue no Brasil de 2008 a 2020. *Revista Univap*, v. 29, n. 62, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.18066/revistaunivap.v29i62.4379>. Acesso em: 31 jan. 2025.

de risco, a adesão a tratamentos e a busca por cuidados precoces.

Além disso, estratégias integradas que abordem a saúde ambiental, como campanhas de vacinação, monitoramento da qualidade do ar e programas de manejo de doenças, são essenciais para mitigar os impactos adversos das condições climáticas e garantir a proteção da saúde da população, especialmente em regiões mais vulneráveis, onde o acesso a cuidados pode ser limitado.

Em uma revisão de escopo que envolveu 55 estudos, foram identificadas e propostas intervenções para mitigar os efeitos das mudanças climáticas na saúde em três níveis de gestão. O nível macro envolve sistemas de saúde nacionais e internacionais e abrange, por exemplo, o uso de modelos epidemiológicos, energia renovável e políticas sensíveis às mudanças climáticas. O nível meso compreende o sistema de saúde local e as organizações, que podem lançar mão de intervenções como a criação de mapas de adequação ambiental, urbanização com áreas verdes, quimioprofilaxia, planos de segurança hídrica e projetos de saneamento.

Algumas intervenções estão na interseção, como campanhas educativas e a remoção de focos larvários no caso da prevenção da dengue. Por fim, o nível micro, que corresponde ao nível individual, contém intervenções como a inspeção de telas de janelas e o uso de repelentes²⁹. As intervenções de saúde nos níveis macro, meso e micro, assim como na interseção, podem servir como base para que gestores públicos implementem intervenções apropriadas contra doenças sensíveis ao clima.

Em suma, a implementação de intervenções em saúde nos diferentes níveis de gestão é essencial para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas à saúde pública. As evidências coletadas e analisadas demonstram que a articulação de estratégias macro, meso e micro não apenas potencializa a eficácia das ações preventivas, mas também contribui para a sustentabilidade dos sistemas de saúde e para a diminuição dos gastos.

Ao adotar uma abordagem integrada que considere as especificidades regionais, como as do Ceará, os gestores públicos poderão promover uma resposta mais eficaz e adaptativa às doenças sensíveis ao clima, o que também resulta em importantes benefícios econômicos. A colaboração entre diferentes setores, incluindo saúde, meio ambiente e educação, é fundamental para garantir que as intervenções não apenas sejam bem-sucedidas, mas também otimizem os recursos disponíveis e minimizem os custos associados a

²⁹ MOREIRA, R. P.; OLIVEIRA, F. B. B.; ARAÚJO, T. L.; MORAIS, H. C. C.; CAVALCANTE, T. F.; GOMEZ, M. B. S.; et al. Health interventions for preventing climate-sensitive diseases: scoping review. *Journal of Urban Health*, v. 99, n. 3, p. 519-532, 2022.

hospitalizações e tratamentos.

Ao priorizar ações que protejam a saúde da população, os gestores contribuirão para a redução do ônus econômico sobre os sistemas de saúde e, por conseguinte, sobre a economia do país. Assim, é imperativo que as políticas de saúde sejam continuamente avaliadas e ajustadas com base em novas evidências e em um entendimento dinâmico das interações entre clima, saúde e desenvolvimento social, garantindo uma alocação eficiente de recursos que beneficie tanto a saúde pública quanto a sustentabilidade econômica.

1.6 Conclusão

A presente revisão crítica identificou uma possível relação entre as mudanças climáticas e o aumento das hospitalizações por doenças sensíveis ao clima no Ceará (especificamente, doenças cardiovasculares, asma e dengue), o que pode sugerir um aumento dos custos associados a essas condições. Esses achados reforçam a urgência de implementar intervenções integradas em saúde para mitigar os impactos das mudanças climáticas na saúde da população e na economia.

A articulação entre os níveis macro, meso e micro de gestão não apenas permitirá uma resposta mais eficaz às demandas de saúde, mas também resultará em significativas economias financeiras, aliviando a pressão sobre os sistemas de saúde e contribuindo para a sustentabilidade econômica das comunidades cearenses.

Além disso, a promoção de políticas públicas que integrem saúde, meio ambiente e educação é essencial para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas. O fortalecimento da colaboração intersetorial e a contínua avaliação das políticas de saúde garantirão uma abordagem adaptativa que não apenas proteja a saúde da população, mas também promova um desenvolvimento econômico mais resiliente e sustentável. Assim, investir em intervenções proativas e baseadas em evidências é fundamental para mitigar os impactos das doenças sensíveis ao clima na economia e promover a saúde e a qualidade de vida das futuras gerações.

2. ECOEFICIÊNCIA DOS MUNICÍPIOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA: UM ESTUDO TEMPORAL

Autores: Maria Avyla Batista da Silva³⁰, Manoel Alexandre de Lucena³¹ e Eliane Pinheiro de Sousa³²

2.1. Introdução

O desenvolvimento sustentável tem fundamentado debates sobre a sustentabilidade, promovendo o surgimento de novos conceitos para o progresso das nações. No entanto, observa-se um comportamento predominante de incessante busca pela elevação da produtividade e maximização dos lucros. Essa abordagem, centrada no aumento da produção e na redução de custos, muitas vezes negligencia os impactos ambientais decorrentes do consumo excessivo dos recursos naturais. Nesse contexto, a ecoeficiência surge como uma visão mais abrangente sobre sustentabilidade. Camarero *et al.* (2013)³³ a descrevem como a eficiência econômica e ambiental, cujos recursos ecológicos suprem as necessidades humanas sem comprometer as gerações futuras.

Rashidi, Shabani e Saen (2015)³⁴ afirmam que a ecoeficiência é uma das principais preocupações da comunidade internacional. Os autores ainda apontam a meticulosa consideração dos seus índices para a formulação de políticas públicas, pois, apenas aqueles que conseguem aumentar o fornecimento de bens e serviços, utilizando menos recursos e produzindo o mínimo de resíduos sólidos e poluição, são considerados ecoeficientes. Desse modo, o desempenho ambiental e o uso eficiente dos recursos limitados estão diretamente relacionados ao desenvolvimento sustentável. Para John, Kwofie e Ngadi (2020)³⁵, a ecoeficiência busca maximizar a criação de valor utilizando menos recursos e minimizando o

³⁰ Graduanda em Ciências Econômicas pela Universidade Regional do Cariri (URCA) e Bolsista de Iniciação Científica PIBIC CNPq e-mail: avyla.batista@urca.br

³¹ Bacharel em Ciências Econômicas pela Universidade Regional do Cariri (URCA) e Mestre em Desenvolvimento Regional Sustentável pela Universidade Federal do Cariri (UFCA) e-mail: manaelalex123@gmail.com

³² Pós-Doutora em Economia Aplicada pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (USP) e Professora Associada do Departamento de Economia e do Programa de Pós-Graduação em Economia Regional e Urbana da Universidade Regional do Cariri (URCA). e-mail: pinheiroeliane@hotmail.com

³³ CAMARERO, M.; CASTILLO, J.; PICAZO-TADEO, AJ; TAMARIT, C. Eco-Efficiency and Convergence in OECD Countries. *Environmental Resource Economics*, v.55, p. 87–106, 2013.

³⁴ RASHIDI, K.; SHABANI, A.; SAEN, R. Using data envelopment analysis for estimating energy saving and undesirable output abatement: a case study in the Organization for Economic Co-Operation and Development (OECD) countries. *Journal of Cleaner Production*, v. 105, p. 241-252. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2014.07.083>.

³⁵ JOHN, I.; KWOFIE, E. M.; NGADI, M. Two decades of eco-efficiency research: a bibliometric analysis. *Environmental Sustainability*, v. 3, p. 155–168, 2020. DOI: [10.1007/s42398-020-00105-1](https://doi.org/10.1007/s42398-020-00105-1)

impacto ambiental. Logo, a ecoeficiência, ao relacionar o custo econômico e o valor ambiental, fornece uma abordagem ampla, abarcando os mais variados setores e, sua principal vantagem é a possibilidade de avaliar a sustentabilidade sob as óticas econômica e ambiental (Gómez *et al.*, 2018)³⁶.

O Brasil é mundialmente conhecido pela sua significativa biodiversidade, mas sofre ameaças constantes à sua preservação principalmente devido à cultura de degradação e poluição (Santos, 2021)³⁷. Artaxo (2020)³⁸ expõe que, ainda que o país esteja alinhado com os acordos internacionais firmados para preservação ambiental, como o Acordo de Paris e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), os desafios climáticos enfrentados exigem estratégias verossímeis à realidade. Além disso, dentre as regiões brasileiras, os estados da região Nordeste são mais suscetíveis às consequências das mudanças climáticas, como o aprofundamento das secas e a elevação das temperaturas, por exemplo (Costa *et al.*, 2020)³⁹. Estados como o Ceará, a exemplo, têm suas atividades econômicas afetadas direta e negativamente por esses cenários (Rodrigues, 2021)⁴⁰.

Nesse contexto, de modo específico, destaca-se a Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), fundamental para a economia do Ceará, haja vista que, além de compor mais de dois terços do PIB estadual, também concentra grande parte dos investimentos, diversificação econômica (Elias; Pequeno; Leitão, 2022)⁴¹ e políticas públicas destinadas à mitigação da vulnerabilidade socioambiental (Albuquerque; Lima, 2023)⁴². A região foi instituída em 1973 por meio da Lei Complementar nº 14, inicialmente composta por cinco municípios (Fortaleza, Aquiraz, Caucaia, Maranguape e Pacatuba). Com o passar dos anos, foi expandida e, atualmente, conforme Elias, Leitão e Pequeno (2022)⁴³, abrange 19 municípios: Fortaleza,

³⁶ GÓMEZ, T.; GÉMAR, G.; MOLINOS-SENANTE, M.; SALA-GARRIDO, R.; CABALLERO, R. Measuring the eco-efficiency of wastewater treatment plants under data uncertainty. *Journal of Environmental Management*, v. 226, p. 484-492, 2018. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.08.067.

³⁷ SANTOS, J. F. Desafios da conservação da biodiversidade no Brasil. *Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente*, v. 2, n. 3, p. 48, 2021. DOI: 10.51189/rema/2070.

³⁸ ARTAXO, P. As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas. *Estudos avançados*, v. 34, p. 53-66, 2020.

³⁹ COSTA, R. L.; GOMES, H. B.; SILVA, F. D. S.; BAPTISTA, G. M. M.; ROCHA JÚNIOR, R. L.; HERDIES, D. L.; SILVA, V. P. R. Cenários de Mudanças Climáticas para a Região Nordeste do Brasil por meio da Técnica de Downscaling Estatístico. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 35, n. spe, p. 785-801, 2020.

⁴⁰ RODRIGUES, M. V. F. S. A Perspectiva da economia ecológica sobre a mudança de temperatura no município de Fortaleza, Ceará. 2021. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Economia Ecológica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

⁴¹ ELIAS, D.; PEQUENO, R.; LEITÃO, F. R. O que há de agrário na Região Metropolitana de Fortaleza? *GeoTextos*, v. 18, n. 1, p. 31-61, 2022.

⁴² ALBUQUERQUE, P. C.; LIMA, F. A. X. Políticas públicas de sustentabilidade em Fortaleza, CE. *Interações*, v. 24, n. 2, p. 521-535, 2023. DOI: 10.20435/inter.v24i2.3318.

⁴³ ELIAS, D.; LEITÃO, F. R.; PEQUENO, R. Avicultura na Região Metropolitana de Fortaleza: produção, agentes e dinâmicas socioespaciais. *Caminhos de Geografia*, v. 23, p. 156-172, 2022.

Aquiraz, Cascavel, Caucaia, Chorozinho, Eusébio, Guaiúba, Horizonte, Itaitinga, Maracanaú, Maranguape, Pacajus, Pacatuba, Paracuru, Paraipaba, Pindoretama, São Gonçalo do Amarante, São Luís do Curu e Trairi.

Além do papel socioeconômico intrínseco às regiões metropolitanas, é essencial o uso de instrumentos que avaliem o seu desempenho. Sendo assim, a Análise Envoltória de Dados, do inglês *Data Envelopment Analysis* (DEA), é uma ferramenta empregada na mensuração da eficiência econômica e ambiental (Costa, 2021)⁴⁴, fornecendo, portanto, uma abordagem completa na avaliação da ecoeficiência. Essa metodologia proporciona uma avaliação por meio da comparação entre diferentes unidades de produção, à medida que considera o uso eficiente dos recursos, somado à minimização dos impactos ambientais (Caiado *et al.*, 2017).⁴⁵ Isto é, além de quantificar a ecoeficiência, também se torna possível visualizar e entender as variações entre as unidades e as razões intrínsecas às disparidades de desempenho. Assim, essa análise alinha-se com os objetivos do desenvolvimento sustentável e contribui com informações para nortear a formulação de políticas públicas.

Considerando os fatos supracitados, o objetivo geral deste artigo é mensurar a ecoeficiência dos municípios que compõem a Região Metropolitana de Fortaleza entre os anos de 2000 a 2020. Para tal, emprega-se Análise Envoltória de Dados (DEA) com a análise de janelas (*Windows Analysis*). Desta forma, os escores de ecoeficiência foram obtidos considerando os pressupostos de retornos constantes de escala e orientação para *inputs*.

Além dessa seção introdutória, o presente trabalho encontra-se estruturado em outras quatro seções. A segunda agrupa o detalhamento dos conceitos e a apresentação da literatura recente sobre o tema; a terceira é responsável por apresentar o modelo analítico empregado; a quarta expõe os resultados; por fim, a quinta, e última seção, apresenta as considerações finais.

2.2 Referencial Teórico-Empírico

O desenvolvimento econômico tem ocupado o centro das discussões na literatura econômica ao longo dos anos, especialmente quanto às suas repercussões em diversos âmbitos. Embora os avanços industriais e tecnológicos tenham gerado melhorias significativas, também intensificaram externalidades negativas, como a degradação ambiental

⁴⁴ COSTA, C. S. Fronteiras de produção no desenvolvimento de um sistema virtual de avaliação e simulação da ecoeficiência agropecuária. 2021. 86 f., il. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) — Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

⁴⁵ CAIADO, R.; DIAS, R.; MATTOS, L.; QUELHAS, O.; FILHO, W. Towards sustainable development through the perspective of eco-efficiency - A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, v. 165, p. 890-904. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.07.166>.

e o aumento das desigualdades (Dias; Figueiredo; Farias, 2021)⁴⁶. A pressão ambiental resultante de atividades antrópicas gerou preocupação global, destacando a necessidade urgente de alternativas para enfrentar esse cenário. Todavia, foi apenas na década de 1970, com a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, que as questões ambientais começaram a ser consideradas determinantes para o desenvolvimento, conceito que mais tarde se consolidou como desenvolvimento sustentável (Santana, 2012)⁴⁷.

Molina (2019)⁴⁸ recorda que o desenvolvimento sustentável se refere à capacidade de promover o crescimento econômico sem afetar o suprimento futuro. Logo, é nesse contexto que a ecoeficiência se revela como uma abordagem que otimiza o crescimento e a sustentabilidade (Lueddeckens, 2023⁴⁹; Cournoyer; Bazinet, 2023⁵⁰). De maneira geral, a literatura define ecoeficiência como a relação entre a produção econômica e o impacto ambiental, cujo foco central é a maximização da produção em concomitância com a minimização dos impactos. Conforme Zhang *et al.* (2021)⁵¹ ao aprimorar o uso dos recursos naturais, gerando benefícios econômicos, novas tecnologias e mais qualidade de vida para as pessoas, a ecoeficiência fomenta o desenvolvimento sustentável. Nwani *et al.* (2023)⁵² expõem que a adoção de medidas de ecoeficiência é fundamental para avaliar as sinergias e compensações nas trajetórias de desenvolvimento, permitindo monitorar o progresso dos ODS e entender as implicações futuras das políticas em vigor. Para Fukuyama e Tan (2023)⁵³, a ecoeficiência é uma ferramenta fundamental para o desenvolvimento sustentável.

Considerando a mensuração da ecoeficiência no Brasil, de maneira abrangente, os estudos sugerem que os seus níveis são baixos, porém com espaço para otimização, essa, por

⁴⁶ DIAS, E. P. S.; FIGUEIREDO, S. C. G.; FARIAS, T. M. B. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: uma análise da linha do tempo da sustentabilidade e dos artefatos produzidos até a formalização da agenda 2030. *Revista Brasileira de Meio Ambiente & Sustentabilidade*, v. 1, n. 6 esp, p. 105-120, 2021.

⁴⁷ SANTANA, N. B. Crescimento econômico, desenvolvimento sustentável e inovação tecnológica: uma análise de eficiência por envoltória de dados para os países do BRICS. 216f. 2018. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

⁴⁸ MOLINA, M. C. G. Desenvolvimento sustentável: do conceito de desenvolvimento aos indicadores de sustentabilidade. *Revista Metropolitana de Governança Corporativa*, v. 4, n. 1, p. 75-93, 2019.

⁴⁹ LUEDDECKENS, S. A review on the handling of discounting in eco-efficiency analysis. *Clean Technologies Environmental Policy*, v. 25, p. 3–20. 2023. DOI: [10.1007/s10098-022-02397-9](https://doi.org/10.1007/s10098-022-02397-9).

⁵⁰ COURNOYER, A.; BAZINET, L. Electrodialysis processes an answer to industrial sustainability: toward the concept of eco-circular economy?—a review. *Membranes*, v. 13, n. 2, p. 205, 2023.

⁵¹ ZHANG, Y.; MAO, Y.; JIAO, L.; SHUAI, C.; ZHANG, H. Eco-efficiency, eco-technology innovation and eco-well-being performance to improve global sustainable development. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 89, p. 106580. 2021. DOI: [10.1016/J.EIAR.2021.106580](https://doi.org/10.1016/J.EIAR.2021.106580).

⁵² NWANI, C.; ULLAH, A.; OJEYINKA, T.A.; IOREMBER, P.T.; BEKUN, F. V. Natural resources, technological innovation, and eco-efficiency: striking a balance between sustainability and growth in Egypt. *Environment, Development and Sustainability*, p. 1-32. 2023. DOI: [10.1007/s10668-023-03920-8](https://doi.org/10.1007/s10668-023-03920-8)

⁵³ FUKUYAMA, H.; TAN, Y. Environmental Protection and Economic Development: Research Progress of Eco-Efficiency. *Sustainability*, v. 15, n. 19, p. 14309, 2023. DOI: [10.3390/su151914309](https://doi.org/10.3390/su151914309).

sua vez, condicionada a melhores práticas ambientais e intervenções políticas. Em paralelo, Maciel, Maciel e Gomes (2020)⁵⁴ mensuraram o índice de ecoeficiência para o país, entretanto, os resultados não se mostraram satisfatórios, sugerindo que a busca por sustentabilidade deve ser realizada em conjunto, pelos governantes e pela sociedade. Paes *et al.* (2020)⁵⁵ indicam que países em desenvolvimento, como o Brasil, estão adotando estratégias para mitigar emissões de gases do efeito estufa nos resíduos sólidos urbanos, e, por meio da avaliação de diferentes cenários no país, identificam que a combinação de práticas sustentáveis, como a reciclagem, contribui para a promoção da ecoeficiência, seja em municípios grandes e pequenos.

No âmbito dos municípios, a literatura internacional avalia a ecoeficiência por meio da gestão dos resíduos sólidos. Nesta perspectiva, Romano e Molinos-Senante (2020)⁵⁶, ao investigarem a ecoeficiência dos municípios da Toscana, concluíram que aqueles menores e menos povoados apresentam melhores práticas. Paralelamente, nos municípios da Itália, Romano *et al.* (2021)⁵⁷ destacam a adoção de tecnologias como precursor do desempenho sustentável. Para os municípios espanhóis, a educação é um determinante significativo dos índices de ecoeficiência (Díaz-Villavicencio; Didonet; Dodd, 2017)⁵⁸. Quanto aos municípios do Chile, Llanquileo-Melgarejo e Molinos-Senante (2021)⁵⁹ sugerem que não eram ecoeficientes, uma vez que as políticas adotadas não abarcavam questões ambientais e econômicas, mas variáveis como turismo, renda e resíduos *per capita* afetam significativamente a métrica. Nas cidades da China, as regulamentações ambientais são fundamentais para a determinação de uma economia verde (Tan; Su; Wang, 2023)⁶⁰.

⁵⁴ MACIEL, H. M.; MACIEL, W. M.; GOMES, M. A. Brasil e a Ecoeficiencia: Uma análise através do método envoltoria com livre disposição / Brazil and Ecoefficiency: An analysis through the wrapping method with free disposition. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 10, p. 82049–82061, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n10-583.

⁵⁵ PAES, M. X.; MEDEIROS, G. A.; MANCINI, S. D.; GASOL, C.; PONS, J. R.; DURANY, X. G. Transition towards eco-efficiency in municipal solid waste management to reduce GHG emissions: The case of Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 263, p. 121370, 2020.

⁵⁶ ROMANO, G.; MOLINOS-SENANTE, M. Factors affecting eco-efficiency of municipal waste services in Tuscan municipalities: An empirical investigation of different management models. *Waste Management*, v. 105, p. 384-394, 2020.

⁵⁷ ROMANO, G.; MOLINOS-SENANTE, M.; CAROSI, L.; LLANQUILEO-MELGAREJO, P.; SALA-GARRIDO, R.; MOCHOLI-ARCE, M. Assessing the dynamic eco-efficiency of Italian municipalities by accounting for the ownership of the entrusted waste utilities. *Utilities Policy*, v. 73, p. 101311, 2021.

⁵⁸ DÍAZ-VILLAVICENCIO, G.; DIDONET, S.; DODD, A. Influencing factors of eco-efficient urban waste management: Evidence from Spanish municipalities. *Journal of Cleaner Production*, v. 164, p. 1486-1496. 2017. DOI: [10.1016/J.JCLEPRO.2017.07.064](https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.07.064).

⁵⁹ LLANQUILEO-MELGAREJO, P.; MOLINOS-SENANTE, M. Evaluation of economies of scale in eco-efficiency of municipal waste management: an empirical approach for Chile. *Environmental Science Pollution Research*, v. 28, p. 28337–28348. 2021. DOI: 10.1007/s11356-021-12529-1.

⁶⁰ TAN, J.; SU, X.; WANG, R. Exploring the Measurement of Regional Forestry Eco-Efficiency and Influencing Factors in China Based on the Super-Efficient DEA-Tobit Two Stage Model. *Forests*, v. 14, n. 2, p. 300. 2023. DOI: [10.3390/f14020300](https://doi.org/10.3390/f14020300).

De maneira semelhante, nacionalmente, Araújo *et al.* (2021)⁶¹ analisaram 41 municípios da região Centro-Oeste, que desempenham um papel crucial em termos de recursos naturais, e os principais resultados indicaram baixo desempenho geral, além disso, evidenciaram o impacto negativo do desmatamento e a variabilidade no efeito do consumo de água. Serrano *et al.* (2024)⁶² avaliaram a ecoeficiência agrícola de 5563 municípios brasileiros, concluindo que é possível aumentar em 20,84% a receita e áreas preservadas sem elevar insumos, com temperatura e redução de precipitação com impacto positivo nos escores, expressando a relevância de políticas que equilibrem crescimento econômico e preservação ambiental. Além disso, Rosa, Lunkes e Saviatto (2019)⁶³ apontaram que os recursos públicos impactam diretamente na promoção do desenvolvimento sustentável municipal brasileiro.

2.3 Metodologia

Esta seção se dedica à metodologia deste trabalho. Para tal, divide-se em duas subseções. A primeira descreve o método analítico empregado neste trabalho, ou seja, a Análise Envoltória de Dados (DEA). Na segunda, o percurso metodológico, isto é, o caminho seguido na pesquisa, é apresentado.

2.3.1 Métodos analíticos

A análise de eficiência (ou ecoeficiência) relaciona-se diretamente com o conceito de função de produção que traduz, algebricamente, a quantidade máxima que se pode produzir mediante a combinação de um conjunto de insumos, determinando uma fronteira de produção cujas unidades de produção serão distribuídas (Camanho *et al.*, 2024)⁶⁴. Paralelamente, a *Data Envelopment Analysis* (DEA), ou Análise Envoltória de Dados, é uma técnica não paramétrica de análise que, por meio do emprego de programação linear, avalia o desempenho das *Decision Making Units* (DMUs), cujas produções resultam do emprego dos mesmos insumos,

⁶¹ ARAÚJO, R. V.; ESPELO, R. A.; CONSTANTINO, M.; MORAES, P. M.; TAVEIRA, J. C.; LIRA, F. S.; HERRERA, G. P.; COSTA, R. Eco-efficiency measurement as an approach to improve the sustainable development of municipalities: A case study in the Midwest of Brazil. *Environmental Development*, v. 39, p. 100652, 2021.

⁶² SERRANO, A. L. M.; SAIKI, G. M.; ROSANO-PENÃ, C.; RODRIGUES, G. A. P.; ALBUQUERQUE, R. O.; VILLALBA, L. J. G. Bootstrap Method of Eco-Efficiency in the Brazilian Agricultural Industry. *Systems*, v. 12, n. 4, p. 136, 2024.

⁶³ ROSA, F.S.; LUNKES, R.J.; SAVIATTO, K. Effect of using public resources and training for the sustainable development of Brazilian municipalities. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 191, n. 623, p. 1-11. 2019. DOI: 10.1007/s10661-019-7783-7

⁶⁴ CAMANHO, A. S.; SILVA, M. C.; PIRAN, F. S.; LACERDA, D. P. A literature review of economic efficiency assessments using Data Envelopment Analysis. *European Journal of Operational Research*, v. 315, n. 1, p. 1-18, 2024.

em outras palavras, utilizam os mesmos *inputs* na geração de *outputs*. Esse método foi desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes (1978)⁶⁵, responsáveis pela introdução do modelo clássico CCR, e Banker, Charnes e Cooper (1984)⁶⁶ que desenvolveram o modelo BCC, ambos baseados em Farrell (1957)⁶⁷. Esses autores foram responsáveis por desenvolver os principais modelos matemáticos que compõem a DEA. Conforme Mustafa, Khan e Mustafa (2021)⁶⁸ a formalização algébrica do modelo DEA clássico é apresentada na equação (1):

$$\text{Max } h_0 = \sum_{r=1}^s u_r y_r$$

Sujeito a:
(1)

$$\sum_{i=1}^m v_i x_i$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} = 1 \leq 0, j = 1, 2, \dots, n$$

$$u_r, v_i \geq 0, \forall r, i$$

Em que: v_i e u_r são o multiplicador das entradas i e o multiplicador das saídas r , nesta ordem; os *inputs* da DMU j são representados por x_{ij} , enquanto y_{rj} são os *outputs*; x_i e y_r representam, respectivamente, os *inputs* e *outputs* das DMUs; por fim, $i = 1, \dots, m$, $r = 1, \dots, s$ e $j = 1, \dots, n$.

Isto posto, na DEA clássica, para que as unidades sejam comparadas por meio dos seus recursos usados e produtos gerados, a tecnologia de produção deve ser determinada, essa, pode ser realizada por meio do Retornos Constantes de Escala (CRS) ou Retornos Variáveis de Escala (VRS), isto é, a proporção entre entradas e saídas se mantém constante ou essa relação pode mudar a depender do escopo operacional (Dellnitz; Tavana; Banker 2023)⁶⁹.

⁶⁵ CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, v. 2, n. 6, p. 429-444, 1978.

⁶⁶ BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, S.I., v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.

⁶⁷ FARRELL, M. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, [S. 1.], v. 120, n. 3, p. 253-90, 1957.

⁶⁸ MUSTAFA, F. S.; KHAN, R. U.; MUSTAFA, T. Technical efficiency comparison of container ports in Asian and Middle East region using DEA. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, v. 37, n. 1, p. 12-19, 2021.

⁶⁹ DELLNITZ, A.; TAVANA, M.; BANKER, R. A novel median-based optimization model for eco-efficiency assessment in data envelopment analysis. *Annals of Operations Research*, v. 322, n. 2, p. 661-690, 2023.

Além disso, Fancello, Carta e Serra (2020)⁷⁰ indicam que os modelos podem ser orientados para os *inputs* quando o objetivo é produzir a mesma quantidade de produto com a mínima quantidade de insumos, ou *outputs* quando se objetiva maximizar o produto com uma quantidade mínima de insumos.

Dellnitz, Tavana e Banker (2023)³⁷ explicam que a ecoeficiência remete a um conceito no qual componentes econômicos e ambientais são analisados simultaneamente, em virtude disso a essencialidade da aplicação de DEA para o método está na possibilidade de considerar múltiplas entradas e saídas, como na presença de componentes desejáveis e indesejáveis. Ademais, diante de séries de tempo, a literatura recomenda a utilização da análise dos escores DEA por meio de janelas (*Windows Analysis*), cujo objetivo é avaliar as DMUs ao longo do tempo. O aprimoramento do modelo DEA-WA foi realizado por Asmild *et al.* (2004)⁷¹. Oliveira *et al.* (2023)⁷² apontam que essas janelas são ajustadas por médias móveis para capturar variações na eficiência de cada DMU ao incluir um novo período e remover o mais antigo. Dessa forma, a quantidade (n) e o tamanho (w) das janelas devem ser determinados (Lin *et al.*, 2018⁷³; Vlontzos; Pardalos, 2017⁷⁴), para tal, aplicam-se as equações (2) e (3), respectivamente:

$$n = \frac{N + 1}{2}$$

(2)

$$w = N - n + 1$$

(3)

Em que: n e w são, respectivamente, a quantidade e o tamanho das janelas em estudo, e N diz respeito a quantidade de anos da série temporal considerada.

⁷⁰ FANCELLO, G.; CARTA, M.; SERRA, P. Data Envelopment Analysis for the assessment of road safety in urban road networks: A comparative study using CCR and BCC models. *Case studies on transport policy*, v. 8, n. 3, p. 736-744, 2020.

⁷¹ ASMILD, M.; PARADI, J.C.; AGGARWALL, V.; SCHAFFNIT, C. Combining DEA Window Analysis with the Malmquist Index Approach in a Study of the Canadian Banking Industry. *Journal of Productivity Analysis*, v. 21, 67–89. 2004. DEA: [10.1023/B:PROD.0000012453.91326.ec](https://doi.org/10.1023/B:PROD.0000012453.91326.ec)

⁷² OLIVEIRA, M. S.; LIZOT, M.; SIQUEIRA, H.; AFONSO, P.; TROJAN, F. Efficiency analysis of oil refineries using DEA window analysis, cluster analysis, and Malmquist productivity index. *Sustainability*, v. 15, n. 18, p. 13611, 2023.

⁷³ LIN, S.; SUN, J.; MARINOVA, D.; ZHAO, D. Evaluation of the green technology innovation efficiency of China's manufacturing industries: DEA window analysis with ideal window width. *Technology Analysis & Strategic Management*, v. 30, n. 10, p. 1166–1181. 2018. DOI: [10.1080/09537325.2018.1457784](https://doi.org/10.1080/09537325.2018.1457784).

⁷⁴ VLONTZOS, G.; PARDALOS, P. M. Assess and prognosticate green house gas emissions from agricultural production of EU countries, by implementing, DEA Window analysis and artificial neural networks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 76, p. 155–162. 2017. DOI: [10.1016/j.rser.2017.03.054](https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.054).

O presente estudo, especificamente, aplica o modelo DEA-CCR-WA com retornos constantes de escala e orientação para *inputs*.

2.3.2 Percurso metodológico

Para operacionalizar os modelos DEA, são necessários dados de *inputs* e *outputs*. Como se trata de análise de ecoeficiência, são necessários *outputs* desejáveis e indesejáveis, ou seja, variáveis de saídas econômicas e ambientais. As variáveis elencadas, encontram-se dispostas no Quadro 2.1. Para os *inputs*, foram considerados a formação bruta de capital fixo e o total de postos formais de trabalho, como *proxies* para capital e trabalho, respectivamente. Para a saída desejável, considerou-se o valor da produção e, como saída indesejável, as emissões de gás carbônico.

As informações referentes à formação bruta de capital fixo foram colhidas no Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2024)⁷⁵, todavia, dada a disponibilidade apenas de dados agregados, realizou-se uma ponderação a partir da contribuição do produto econômico, para obter os valores das variáveis para os municípios. Em continuidade, a segunda variável em estudo tem como referência a base de dados da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS, 2024)⁷⁶, enquanto as duas últimas variáveis foram coletadas no Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), do Instituto de Geografia e Estatística (IBGE, 2024)⁷⁷ e no Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2024)⁷⁸, nesta ordem.

Quadro 2.1: Descrição das variáveis utilizadas para mensurar a ecoeficiência dos municípios que compõem a Região Metropolitana de Fortaleza entre 2000 a 2020

Tipo	Variável	Descrição	Unidade de medida	Fonte
<i>Inputs</i>	Capital	Formação bruta de capital fixo	Reais	IPEA (2024)
	Trabalho	Total de postos de trabalho formais	Unidade	RAIS (2024)

⁷⁵ INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. Dados. Ipeadata. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>. Acesso em: 19 out. 2024.

⁷⁶ RELAÇÃO ANNUAL DE INFORMAÇÕES SOCIAIS – RAIS. Bases Estatísticas da RAIS e CAGED. RAIS vínculos. Disponível em: <https://bi.mte.gov.br/bgcaged/rais.php>. Acesso em: 19 out. 2024.

⁷⁷ INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). Produto Interno Bruto dos Municípios - 2021. 2024. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pib-munic>. Acesso em: 19 out. 2024.

⁷⁸ SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA – SEEG. Emissões totais. Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br/?highlight=br-net-emissions-by-sector-nci>. Acesso em: 19 out. 2024.

<i>Output</i> desejável	PIB	Valor da produção	Reais	IBGE (2024)
<i>Output</i> indesejável	Emissões de CO2	Emissões de gás carbônico	Toneladas	SEEG (2024)

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Seguindo a teoria econômica, o conjunto de *inputs* é utilizado para gerar o produto da economia. Neste processo produtivo, todavia, são geradas saídas indesejáveis, como as emissões de CO2. Ao contrário do *output* desejável, a variável indesejada deve ser minimizada. Contudo, os modelos DEA empregados neste estudo são radiais, ou seja, movem apenas uma saída, seja orientado ao *input* ou ao *output* (Rosano-Peña; Teixeira; Kimura, 2021)⁷⁹. Logo, torna-se necessária uma técnica específica para tratar *outputs* indesejáveis no modelo considerado. Neste sentido, a literatura elenca algumas técnicas para tratamento de *outputs* indesejáveis nos modelos DEA. Especificamente, para mensurar a ecoeficiência dos municípios que compõem a Região Metropolitana de Fortaleza, adotou-se a técnica INP (Arbabi *et al.*, 2023⁸⁰; Caiado *et al.*, 2020⁸¹). Nesta técnica, portanto, o *output* indesejável é incluído como entrada (Halkos; Petrou, 2019)⁸². Assim, adotando a orientação ao *input*, a projeção na fronteira ótima considera a minimização de tal variável.

Por fim, para operacionalizar os modelos DEA computacionalmente, empregou-se a linguagem de programação *Python*. Para tal, utilizou-se a biblioteca *pyStoNED*. Ademais, as tabelas e os gráficos apresentados neste estudo também foram elaborados utilizando a linguagem de *Python*.

2.4 Discussão e Análise dos Resultados

A Tabela 2.1 apresenta as estatísticas descritivas das variáveis utilizadas para medir a ecoeficiência dos municípios da Região Metropolitana de Fortaleza, no período de 2000 a 2020. No que diz respeito à variável trabalho, que se refere aos postos de trabalho formais, os valores mínimo e máximo foram registrados, respectivamente, em São Luís do Curu (2001) e Fortaleza (2019). A média elevada e o desvio padrão significativo indicam uma alta dispersão

⁷⁹ ROSANO-PEÑA, C.; TEIXEIRA, J. R.; KIMURA, H. Eco-efficiency in brazilian amazonian agriculture: Opportunity costs of degradation and protection of the environment. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, n. 44, p. 62378-62389, 2021.

⁸⁰ ARBABI, M.; MOGHADDAS, Z.; AMIRTEIMOORI, A.; KHUNSIYAVASH, M. An innovative inverse model of network data envelopment analysis. *Journal of Applied Research on Industrial Engineering*, v. 10, n. 4, p. 553-562, 2023.

⁸¹ CAIADO, R.; DIAS, R.; MATTOS, L.; QUELHAS, O.; FILHO, W. Towards sustainable development through the perspective of eco-efficiency - A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, v. 165, p. 890-904. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.07.166>.

⁸² HALKOS, G.; PETROU, K. Treating undesirable outputs in DEA: a critical review. *Economic Analysis and Policy*, v. 62, p. 97-104. 2019. DOI: [10.1016/J.EAP.2019.01.005](https://doi.org/10.1016/J.EAP.2019.01.005).

e variabilidade entre os municípios, em consonância com as observações de Silva Filho, Queiroz e Clementino (2016)⁸³, que apontam que essa dinâmica no mercado de trabalho da região é influenciada pelos díspares níveis de desenvolvimento, resultando em desigualdade e vulnerabilidades. Quanto à variável capital, que reflete a estimativa da formação bruta de capital fixo para os municípios, observa-se uma distribuição assimétrica, com a maioria dos valores abaixo da média, além de alta variabilidade e dispersão. Esses resultados refletem a diversificação da infraestrutura e das atividades, bem como as desigualdades socioeconômicas que afetam a região (Pontes, 2013)⁸⁴.

Tabela 2.1: Estatísticas descritivas das variáveis empregadas para mensurar a ecoeficiência dos municípios da região metropolitana de Fortaleza entre 2000 e 2020

Variável	Mínimo	Mediana	Máximo	Média	DP	CV (%)
Trabalho	167	5849	838280	43994,63	147445,67	335,15
Capital	2,7233	60,3134	6828,84	350,85	1081,72	308,31
PIB	14171	417631	67401430	2929414,48	9607752,13	327,98
Emissões CO2	14808,4	97199,2	3140207855	117511310,5	504964023,4	429,72

Nota: CV corresponde ao coeficiente de variação e DP remete ao desvio padrão.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Dando continuidade à análise, a variável PIB se destaca em Fortaleza, em 2019, como o município de maior produto econômico, enquanto São Luís do Curu, em 2000, apresentou o menor. O elevado desvio padrão dessa variável evidencia a desigualdade econômica entre os municípios da Região Metropolitana de Fortaleza. Isso significa que os municípios com maior desempenho econômico tendem a possuir maior diversidade de atividades econômicas, enquanto aqueles com desempenho inferior geralmente apresentam estruturas produtivas mais arcaicas ou dependem predominantemente da agricultura (Cabral; Muniz; Sampaio, 2019⁸⁵; Barreto; Almeida; Lima, 2010⁸⁶).

Em relação às emissões de gás carbônico, que se referem às toneladas de CO2 lançadas na atmosfera, observa-se que, no contexto das mudanças climáticas, esse aspecto se torna uma preocupação central. Dentre as variáveis analisadas, o coeficiente de variação das emissões foi o mais elevado, indicando valores extremamente altos e com uma variabilidade

⁸³ SILVA FILHO, L. A.; QUEIROZ, S. N.; CLEMENTINO, M. L. M. Mercado de trabalho nas regiões metropolitanas brasileiras. Mercator, v. 15, n. 02, p. 37-54, 2016.

⁸⁴ PONTES, P. A. Os determinantes da redução da desigualdade espacial no Ceará nas últimas décadas. Revista Econômica do Nordeste, v. 44, n. 2, p. 543-556, 2013.

⁸⁵ CABRAL, J. M. T.; MUNIZ, A.; SAMPAIO, P. M. A dinâmica industrial na região metropolitana de Fortaleza no contexto da reestruturação produtiva e espacial. PEGADA-A Revista da Geografia do Trabalho, v. 20, n. 2, p. 170-200, 2019.

⁸⁶ BARRETO, R. C. S.; ALMEIDA, E. S.; LIMA, J. E. Convergência espacial do PIB per capita no estado do Ceará. Revista de Economia, v. 36, n. 3, 2010.

significativa, o que sugere impactos ambientais relevantes. O valor máximo das emissões se sobressai por ser muito superior à média, evidenciando que, enquanto alguns municípios contribuem pouco, outros, como Cascavel, apresentam emissões expressivas. Conforme o Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE, 2022)⁸⁷, Cascavel é um dos municípios que mais emitem gases de efeito estufa no estado, em grande parte devido às atividades de geração de energia e a agropecuária.

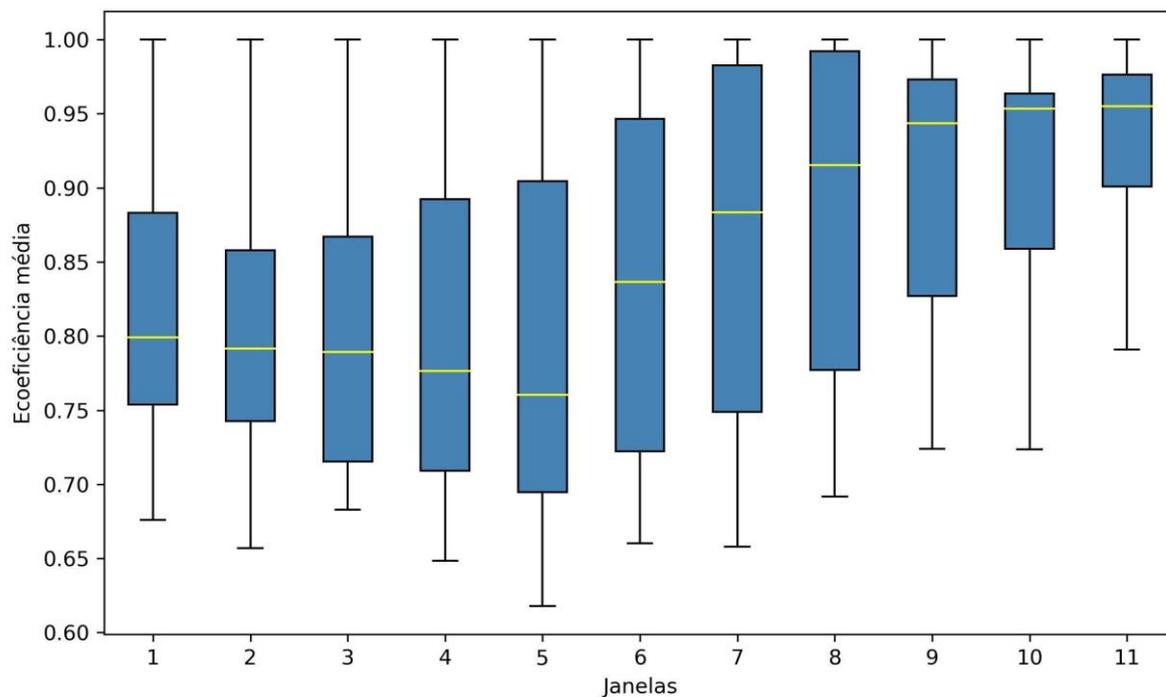
Essas observações são cruciais para entender as características de formação da Região Metropolitana de Fortaleza, que é moldada por fatores culturais, históricos, econômicos e sociais. Elias, Pequeno e Leitão (2022)⁸⁸ argumentam que a região enfrenta grandes disparidades entre seus 19 municípios, refletindo uma urbanização desigual e a presença de áreas rurais voltadas para atividades agropecuárias. Os autores ainda apontam que, desde os anos 1990, a região tem passado por transformações impulsionadas por políticas de reestruturação econômica e territorial. Contudo, os desafios ambientais são exacerbados pela urbanização desigual, destacando a necessidade de um planejamento que harmonize de forma sustentável as áreas urbanas e rurais.

Após a análise da natureza e distribuição dos dados, foram calculados os escores de ecoeficiência. Salienta-se, ainda, que os escores de ecoeficiência se distribuem de 0 a 1. Considerando o uso de séries temporais, as janelas foram empregadas para observar o comportamento dos municípios ao longo dos anos. Os cálculos indicaram o tamanho e a quantidade das janelas iguais a 11, de modo que a última janela é composta dos anos mais recentes. O diagrama de caixas, do inglês *boxplot*, como mostrado na Figura 2.1, expõe a distribuição dos dados interquartil, fomentando uma análise mais ampla dos escores de ecoeficiência entre os municípios estudados ao longo das janelas.

⁸⁷ INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE. Total de emissões de gases do efeito estufa no Ceará é o segundo menor dos últimos 10 anos, segundo estudo do IPECE. 2022. Disponível em: [https://www.ipece.ce.gov.br/2022/12/21/total-de-emissoes-de-gases-do-efeito-estufa-no-ceara-e-o-segundo-menor-dos-ultimos-10-anos-segundo-estudo-do-ipece/#:~:Em%202021%2C%20a%20exemplo%20do%20do%20Brasil%2C%20que%20foi%20de](https://www.ipece.ce.gov.br/2022/12/21/total-de-emissoes-de-gases-do-efeito-estufa-no-ceara-e-o-segundo-menor-dos-ultimos-10-anos-segundo-estudo-do-ipece/#:~:Em%202021%2C%20a%20exemplo%20do%20do%20Brasil%2C%20que%20foi%20de.). Acesso em: 25 out. 2024.

⁸⁸ ELIAS, D.; PEQUENO, R.; LEITÃO, F. R. O que há de agrário na Região Metropolitana de Fortaleza? *GeoTextos*, v. 18, n. 1, p. 31-61, 2022.

Figura 2.1: Ecoeficiência média dos municípios da Região Metropolitana de Fortaleza de 2000 a 2020



Nota: janela 1 (2000-2010); janela 2 (2001-2011); janela 3 (2002-2012); janela 4 (2003-2013); janela 5 (2004-2014); janela 6 (2005-2015); janela 7 (2006-2016); janela 8 (2007-2017); janela 9 (2008-2018); janela 10 (2009-2019); janela 11 (2010-2020).

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

À luz dos resultados, observa-se que, nas primeiras seis janelas temporais, há uma performance ambiental mais heterogênea entre os municípios. A tendência inicial é de maior variação, com medianas mais baixas, sugerindo oscilações mais acentuadas nos níveis de ecoeficiência. Entretanto, a partir da sétima janela, esse padrão se altera: os escores de ecoeficiência tornam-se mais elevados e a variação entre os municípios diminui. Isso reflete uma melhoria significativa nos resultados, com valores se concentrando próximos a 0,95. O aumento da mediana indica que a maioria dos municípios alcançou níveis elevados de ecoeficiência. Em particular, a janela 11 apresenta os melhores resultados, com escores altos e uma distribuição mais homogênea entre os municípios. Esse comportamento revela uma melhora expressiva da ecoeficiência dos municípios da região ao longo do tempo.

Em síntese, a tendência de aumento na ecoeficiência pode ser explicada tanto por uma melhoria contínua nas práticas ambientais, bem como por uma maior estabilidade no desempenho sustentável e avanços tecnológicos ao longo do tempo. Ainda, a menor variação nas últimas janelas pode indicar uma padronização mais eficaz, resultando em escores mais

consistentes. Nesse contexto, Albuquerque e Lima (2023)⁸⁹ apontam que o estado não apenas tem implementado políticas de preservação ambiental, mas também buscando integrá-las com iniciativas de mobilidade e otimização do uso dos recursos naturais. De forma complementar, Mendonça *et al.* (2019)⁹⁰ ressaltam o papel da Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE) na fiscalização de atividades poluidoras na Região Metropolitana de Fortaleza, assegurando que danos ambientais sejam penalizados. Os autores ainda argumentam que essa fiscalização teve um impacto significativo na redução dos casos de degradação ambiental nos municípios da região. Por conseguinte, a distribuição de frequência dos escores de ecoeficiência dos municípios da Região Metropolitana de Fortaleza de 2000 a 2020, é apresentada na Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Distribuição de frequência dos escores de ecoeficiência dos municípios da região metropolitana de Fortaleza de 2000 a 2020

Classes	Janela										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$E < 0,25$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$0,25 \leq E < 0,50$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$0,50 \leq E < 0,75$	4	7	7	9	8	6	6	5	3	2	0
$0,75 \leq E < 1,0$	14	12	12	10	11	13	13	13	15	17	19
$E = 1,0$	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0

Nota: janela 1 (2000-2010); janela 2 (2001-2011); janela 3 (2002-2012); janela 4 (2003-2013); janela 5 (2004-2014); janela 6 (2005-2015); janela 7 (2006-2016); janela 8 (2007-2017); janela 9 (2008-2018); janela 10 (2009-2019); janela 11 (2010-2020).

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Para fins deste estudo, e considerando a metodologia empregada, os municípios foram agrupados em janelas temporais que abrangem os anos de 2000 a 2020. Inspirando-se em Chaves, Lucena e Sousa (2022)⁹¹ consideraram-se os seguintes intervalos, especificamente, os municípios com escores de ecoeficiência inferiores a 0,25 são classificados como de baixo grau de ecoeficiência. Um grau médio de ecoeficiência é representado pelos valores de 0,25 e 0,75, enquanto aqueles com escores de 0,75 a 0,99 são considerados de alto grau de ecoeficiência. Por fim, o valor 1 indica máxima ecoeficiência. Com base nessas classificações e observando o comportamento ao longo das janelas, entre a

⁸⁹ ALBUQUERQUE, P. C.; LIMA, F. A. X. Políticas públicas de sustentabilidade em Fortaleza, CE. *Interações*, v. 24, n. 2, p. 521–535, 2023. DOI: 10.20435/inter.v24i2.3318.

⁹⁰ MENDONÇA, P. S.; OLIVEIRA, U. C.; MAIA, A. M. ARAGÃO, T. B.; MENDES JÚNIOS, C. A. Análise da fiscalização ambiental estadual nos municípios da região metropolitana de fortaleza entre os anos de 2014 e 2018. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 10. Anais... Fortaleza: IBEAS, 2019. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/anais.htm>. Acesso em: 12 de novembro de 2024.

⁹¹ CHAVES, R. R.; LUCENA, M. A.; SOUSA, E. P. Eficiência dos gastos públicos municipais com saneamento no Ceará e seus determinantes sociodemográficos. *Revista de Desenvolvimento Econômico*, v. 3, n. 53, p. 63-91, 2022.

primeira e a última janela, nenhum dos municípios da região apresentava escores entre as duas primeiras classes, demonstrando o seu elevado desempenho. Isto posto, a maioria, desde as janelas iniciais, se concentra em patamares de alto grau de ecoeficiência, na faixa de 0,75 a 0,99. Em destaque, na janela 11, os 19 municípios atingem alto grau de ecoeficiência. Evidenciando, portanto, a excelente performance das cidades que compõem a região na transição para ações de menor impacto ambiental, implicando que, à medida que políticas de fomento e inovação forem adotadas, a concretização do crescimento sustentável em todas as cidades pode vir a ser alcançada.

Em desdobramento, o município de Itaitinga, por sua vez, atinge a ecoeficiência máxima nas janelas 1, 8 e 9, em termos do presente trabalho, esse município foi capaz de aumentar a produção do *output* desejável enquanto reduziu os *inputs* e o *output* indesejável, isto é, foi capaz de conciliar o crescimento econômico com a diminuição dos impactos ambientais. Segundo o Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR, 2022)⁹², as políticas da cidade de Itaitinga têm se concentrado na promoção do desenvolvimento regional sustentável, haja vista os altos investimentos em infraestrutura, saneamento básico e gestão de resíduos sólidos. Ademais, merecem destaque os municípios de Fortaleza, Maracanaú, Paracuru, Paraipaba, Eusébio e Pindoretama, que lograram alcançar altas médias de ecoeficiência ao longo dos anos, aproximando-se da unidade. Paralelamente, os municípios de Horizonte, Cascavel, Trairi, Pacatuba, São Gonçalo do Amarante, Pacajus, Guaiúba, Maranguape e Chorozinho apresentaram valores tímidos nas janelas iniciais que, nas janelas finais, se elevaram significativamente.

Em contraste, Aquiraz, Caucaia e São Luís do Curu mostraram desempenho inferior, mas que, de maneira verossímil, têm demonstrado melhorias nas janelas mais recentes. Silva (2013)⁹³ revela que alguns municípios da região são negligenciados em relação ao repasse orçamentário destinado a questões ambientais, o que evidencia a necessidade de integrar e harmonizar essas práticas na região.

⁹² MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL - MIDR. Mais de R\$1 milhão será destinado a obras de saneamento em Itaitinga (CE), 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/mais-de-r-1-milhao-sera-destinado-a-obras-de-saneamento-em-itaitinga-ce>. Acesso em: 26 de out. 2024.

⁹³ SILVA, E. M. Orçamento público para o meio ambiente: uma análise dos gastos orçados e realizados pelos municípios da região metropolitana de Fortaleza/CE, no período de 2008 a 2012. 2013. 47 f. TCC (graduação em Ciências Contábeis) - Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade, Fortaleza - CE, 2013.

2.5 Considerações Finais

Em face da relevância crescente do debate sobre desenvolvimento sustentável e mudanças climáticas, a avaliação da ecoeficiência torna-se uma ferramenta essencial para medir o desempenho econômico e ambiental de diversas unidades, como, por exemplo, países, regiões ou setores. Nesse contexto, o presente estudo objetivou mensurar a ecoeficiência dos municípios que compõem a Região Metropolitana de Fortaleza, no período de 2000 a 2020. O recorte espacial considera uma região que desempenha um papel crucial no estado do Ceará, em razão da sua dinâmica econômica e socioambiental. Para tanto, aplicou-se a Análise Envoltória de Dados (DEA), por meio do modelo clássico (CCR) com retornos constantes de escala e orientação para *inputs*, como também entradas e saídas (desejáveis e indesejáveis). O modelo adotado (DEA-CCR-WA) considerou a análise por janelas, devido à presença de dados de séries temporais.

Os principais resultados, de maneira geral, sugerem uma certa consistência nos valores de ecoeficiência das cidades da Região Metropolitana de Fortaleza, demonstrando que foram otimizados no decorrer do tempo e, em consequência, nos anos mais recentes alcançam um certo grau de homogeneidade entre os municípios. Sobretudo, o município de Itaitinga, em alguns períodos da série histórica, foi capaz de conciliar crescimento econômico com preservação ambiental, ou seja, foi ecoeficiente. Já municípios como Fortaleza, Maracanaú, Paracuru, Paraipaba, Eusébio e Pindoretama expuseram resultados consistentemente elevados ao longo do período considerado. Ademais, os demais municípios mostram uma evolução ascendente nos seus escores ao longo das janelas, com valores médios situados entre 0,5 e 0,75, indicando alto grau de ecoeficiência. Os desempenhos menos expressivos aconteceram nos municípios de Aquiraz, Caucaia e São Luís do Curu.

Conclui-se, portanto, que o equilíbrio entre as atividades de promoção da sustentabilidade contribuiu significativamente para o crescimento sustentável da região, evidenciando a trajetória positiva nesse aspecto. Esse progresso é reflexo da integração entre as práticas sustentáveis nas cidades, apesar de algumas ainda enfrentarem gargalos estruturais. Em vista disso, a intensificação de políticas públicas que fomentem ações sustentáveis e promovam a adoção de técnicas e tecnologias mais limpas, apresentam-se como elementares para asseverar o nível de desenvolvimento sustentável desses municípios. Para pesquisas futuras, recomenda-se que os determinantes desses desempenhos sejam investigados, como também a exploração de outros modelos, recortes temporais ou espaciais considerados.



CEARÁ
GOVERNO DO ESTADO
SECRETARIA DO
PLANEJAMENTO E GESTÃO

O “**O Boletim de Gestão Pública**” e outras publicações do IPECE encontram-se disponíveis na internet através do endereço:
www.ipece.ce.gov.br