



**Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
(FUNCEME)**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA
METODOLOGIA DE MODELAGEM DE QUALIDADE DE
ÁGUA
PARA OS RESERVATÓRIOS DO ESTADO DO CEARÁ**

Eduardo Martins

P4R – Fortaleza, 30 de Novembro de 2018

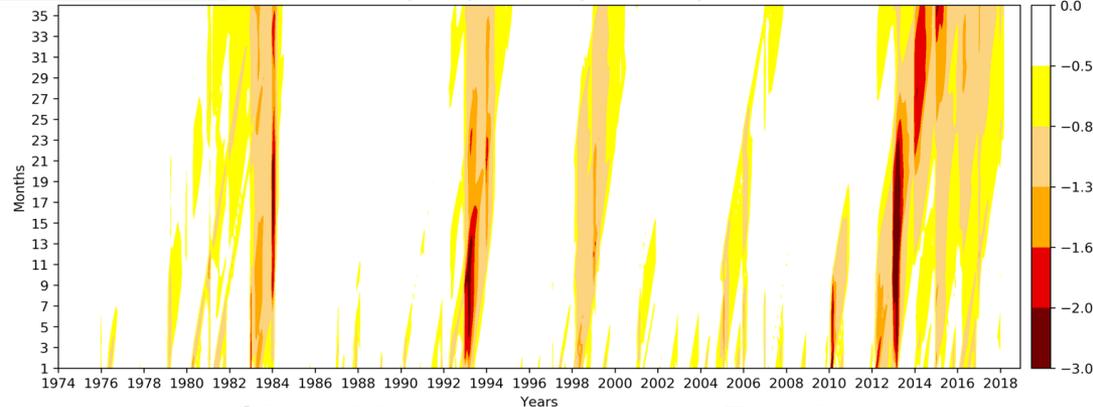


CONTEXTO

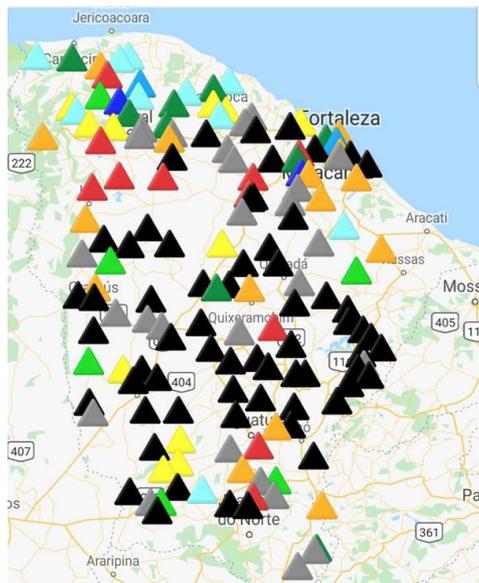


Figure 1 – Northeast Brazil (plus Minas Gerais), with the semi-arid region highlighted in brown.

SPI(1 – 36) – CEARÁ – (1974 – 2018)



SPI 1-36 meses de Jan-1974 a Mar-2018



Estado do Ceará - 30/Nov/18
155 monitored reservoirs

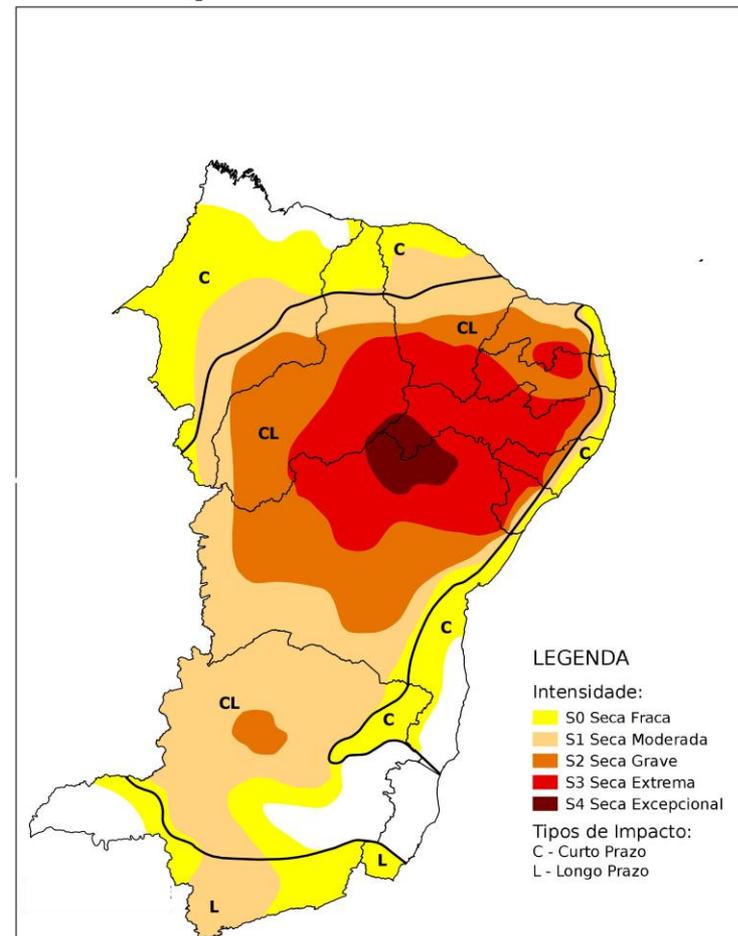
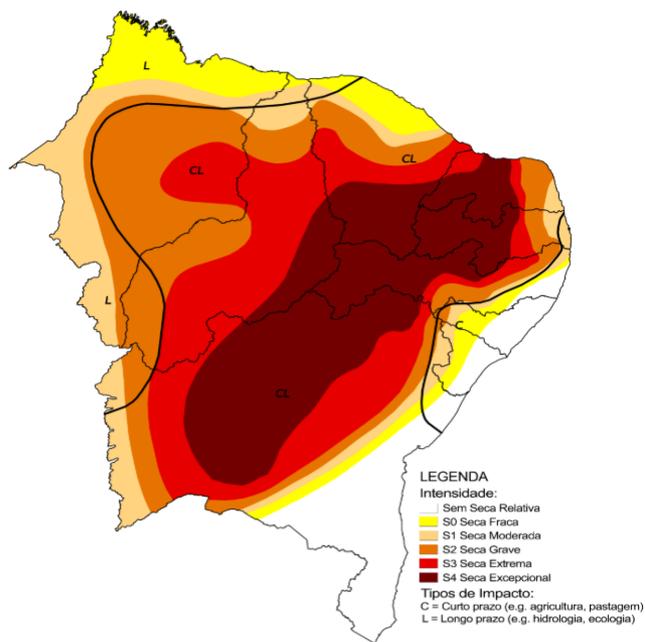
Capacidade de Armazenamento
18,7 bi m³ → 11,4%: 2,13 bi m³

CONTEXTO

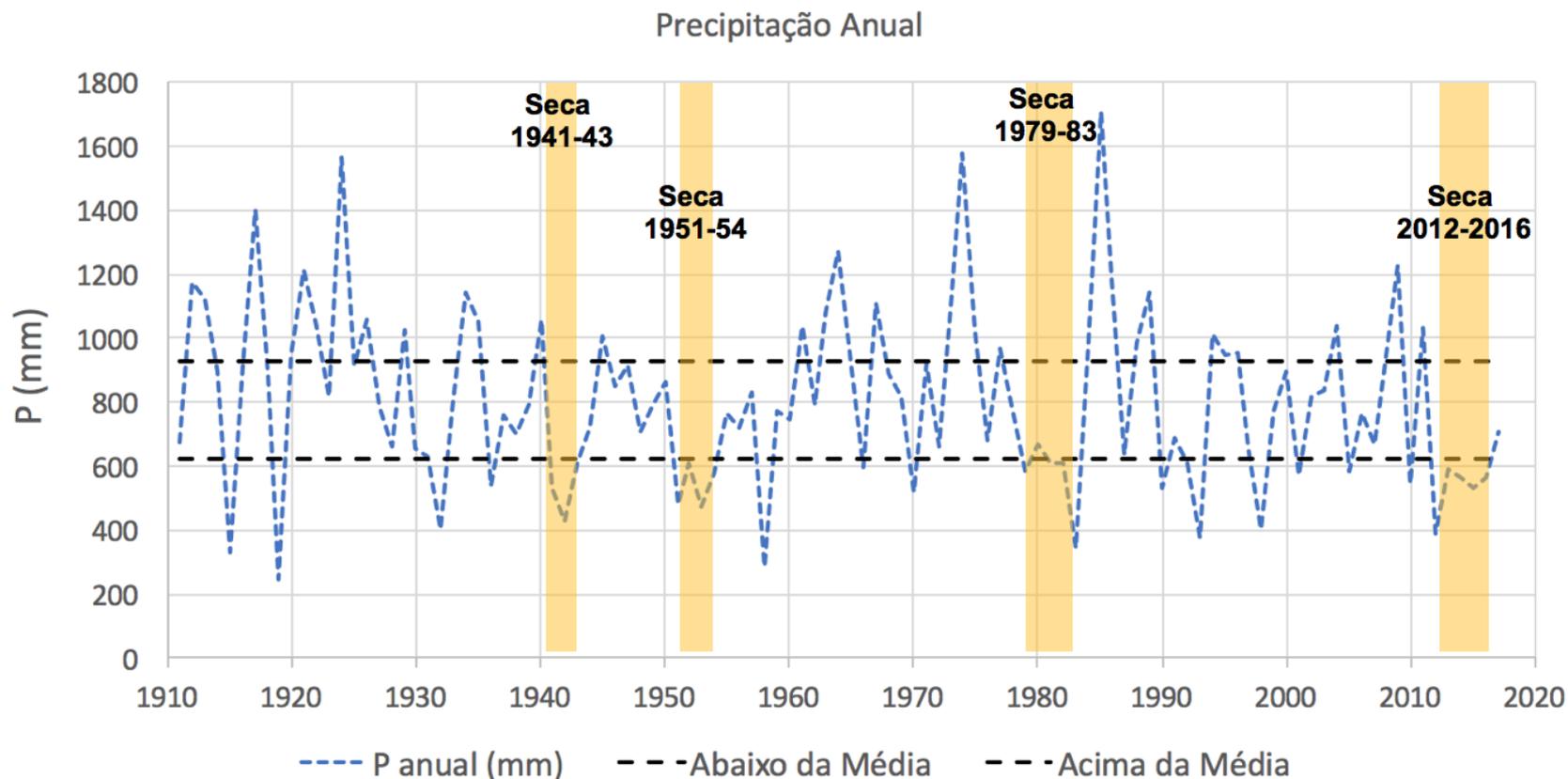


Monitor de Secas Mapa Final - OUT/2018

Monitor de Secas Janeiro/2018



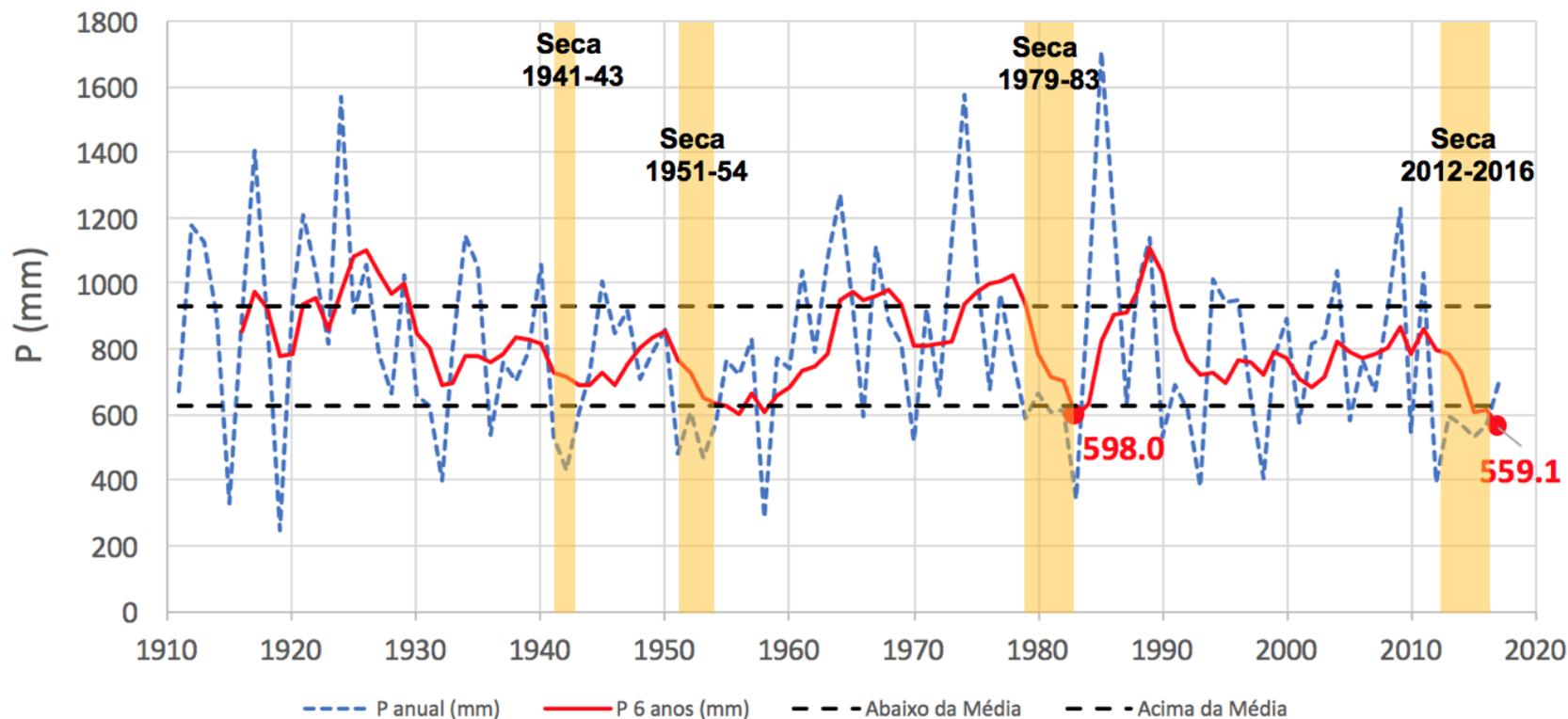
A Seca Atual e o Histórico de Secas no Ceará



Posição	Ano	Precipitação (mm)
# 06	2012	390.5
# 14	2015	533.2
# 17	2010	542.5
# 18	2014	566.9
# 19	2016	566.9
# 24	2013	592.7

A Seca de Seis Anos mais Severa no Ceará

Precipitação Anual e Média de 6 anos



Posição	Período de 6 anos	Precipitação Média em 6 anos (mm)
# 01	2012-2017	559.1
# 02	1978-1983	598.0
# 03	1951-1956	603.3
# 04	1953-1958	608.2
# 05	2010-2015	610.0
# 06	2011-2016	614.0

CONTEXTO

Sistema de Qualidades das Águas: Estado Trófico



Manter um programa extenso de monitoramento

+ Impossível fazer-lo de forma adequada com os recursos humanos/\$ que se tem

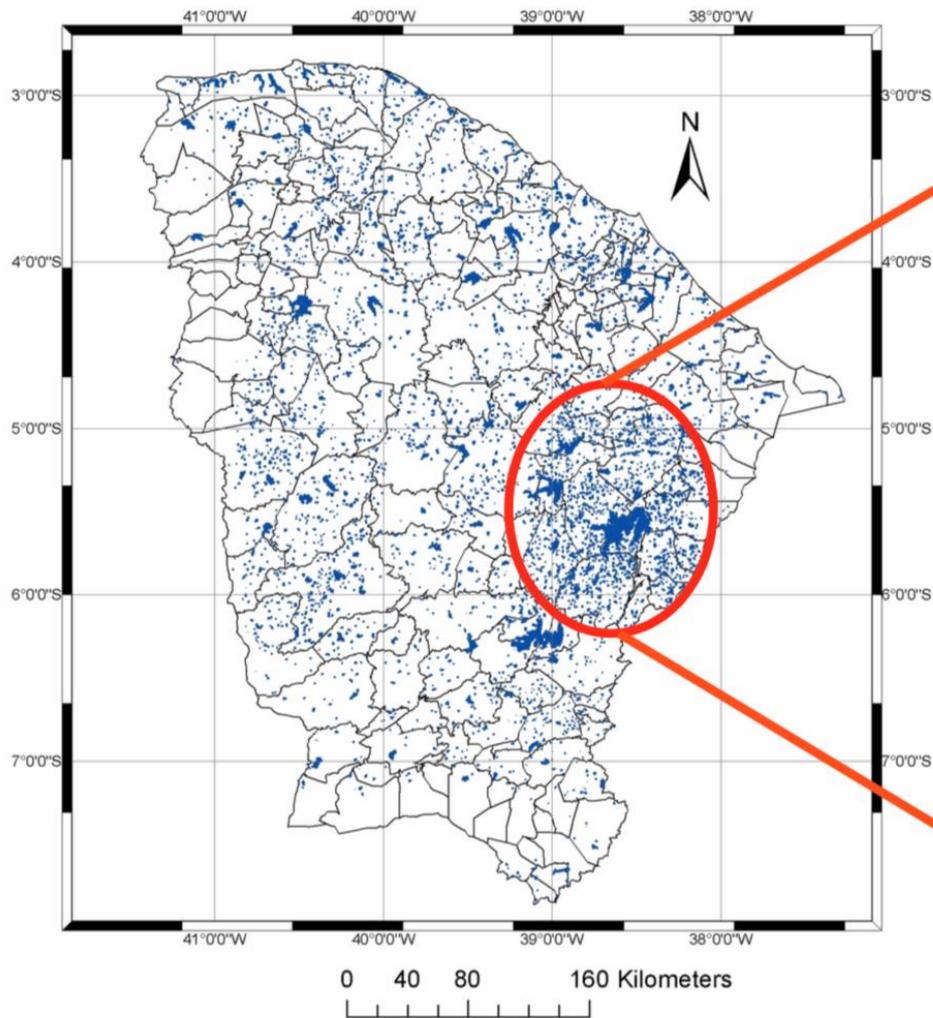
+ Cumprir uma necessidade, hoje, diagnóstica

Tabela 01 – Estado de trofia e significado

Estado de trofia	Significado
Oligotrófico	Possuem águas limpas, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, decorrentes da presença de nutrientes.
Mesotrófico	São águas com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos.
Eutrófico	São os corpos de água com alta produtividade, com redução da transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água e interferências nos usos múltiplos.
Hipereutrófico	Águas afetadas significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutriente, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a episódios de florações de algas ou mortandade de peixes, com comprometimento acentuado nos seus usos.

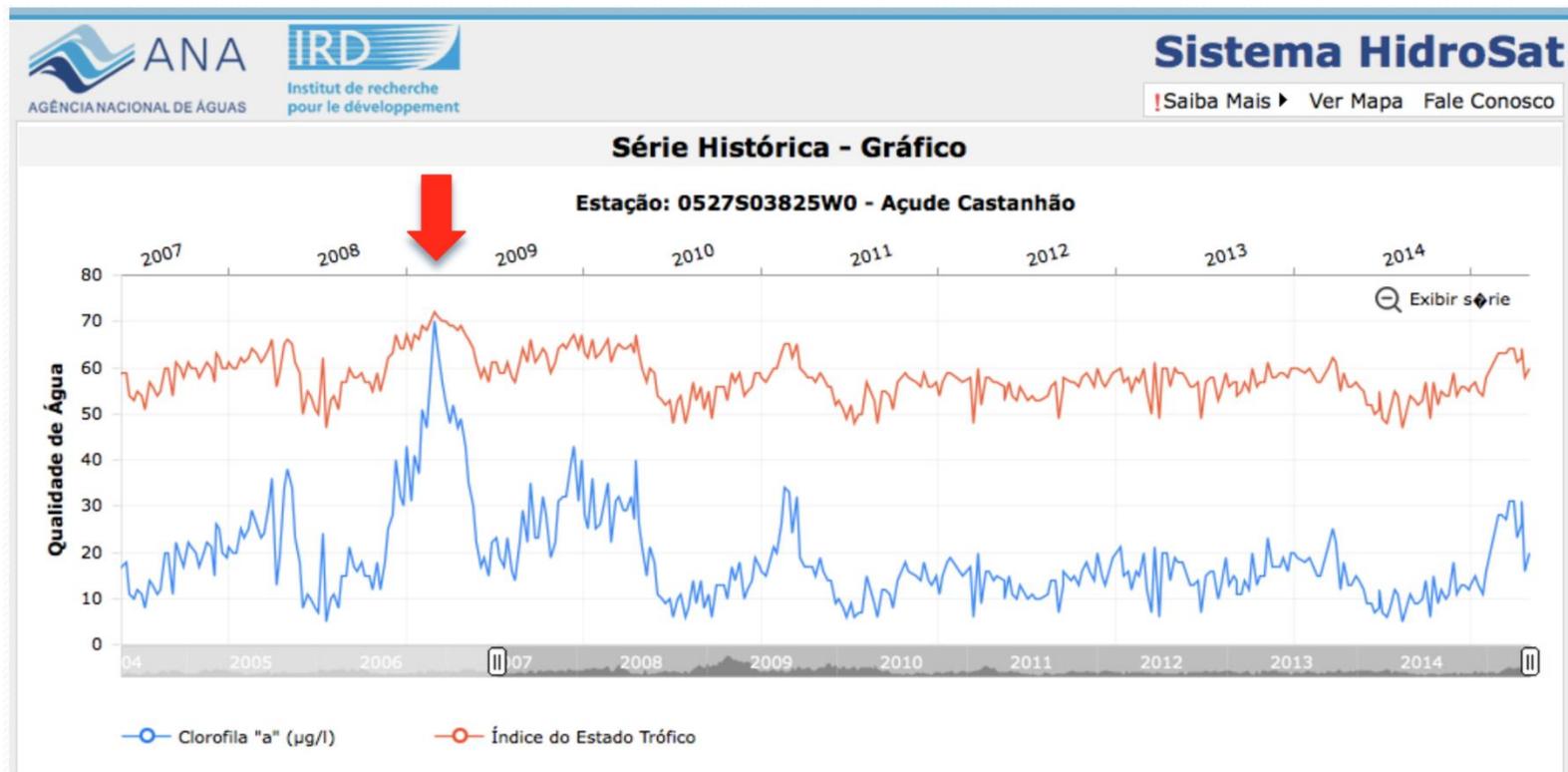
Fonte: ANA (2015), com adaptações.

CONTEXTO



NATUREZA DOS DESAFIOS

Monitoramento e Modelagem em uma frequência adequada que consiga detectar eventos esporádicos de baixa qualidade de água.

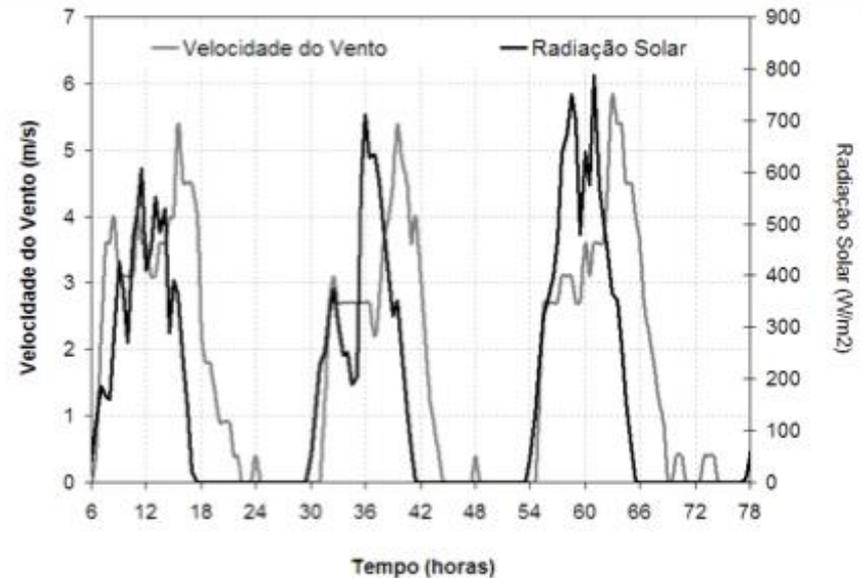


NATUREZA DOS DESAFIOS

Ciclo diurno da qualidade de água em lagos de baixa latitude



Localização dos pontos de coleta de dados de qualidade da água

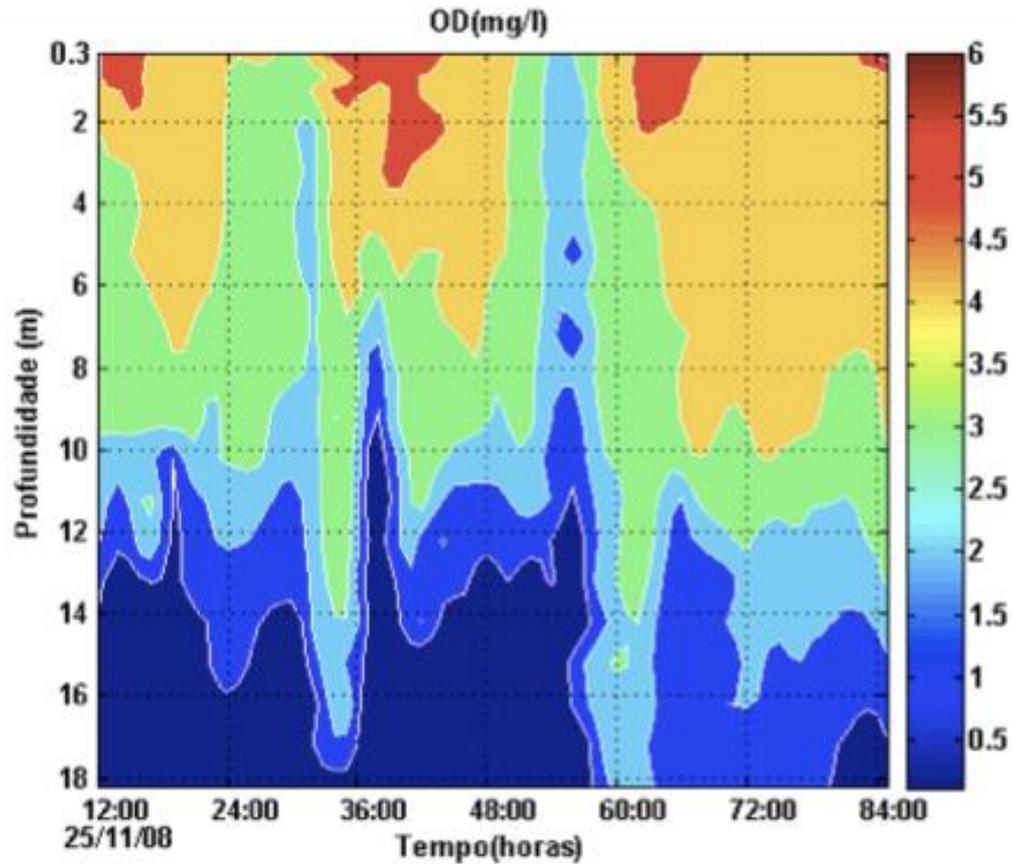


Vento e Radiação Solar

Outros parâmetros relacionados ao processo de mistura: relação da direção do vento/fetch do reservatórios, ...

NATUREZA DOS DESAFIOS

Ciclo diurno da qualidade de água em lagos de baixa latitude



Acarape do Meio

NATUREZA DOS DESAFIOS

Ciclo diurno da qualidade de água em lagos de baixa latitude

Já que é impossível se ter medições simultâneas para uma rede extensa em um monitoramento convencional:

como colocar todas as medidas em um mesmo referencial de ciclo diurno?

NATUREZA DOS DESAFIOS

Variabilidade espacial da qualidade de água no reservatórios

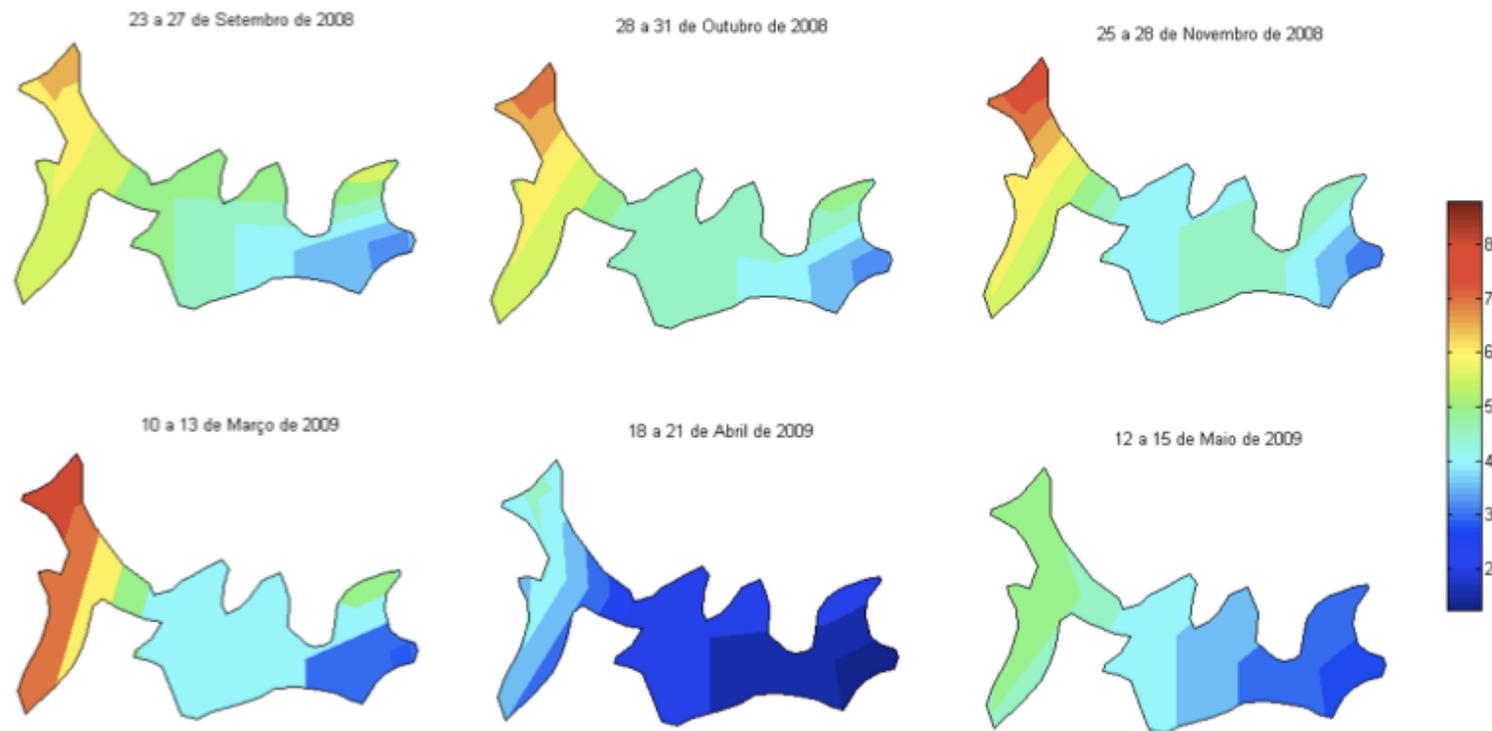


Figura 3 - Variação espacial do oxigênio dissolvido médio (mg/l)

Acarape do Meio

NATUREZA DOS DESAFIOS

É necessário ainda, para o entendimento dos processos ligados à qualidade de água que ocorrem em um lago, um monitoramento das fontes difusas e concentradas das bacias de contribuição aos reservatórios e uma análise das mudanças de uso do solo na bacia.



NATUREZA DOS DESAFIOS

Rede de laboratórios qualificados para atendimento das demandas do setor

- ❖ Recursos humanos qualificados
- ❖ Infraestrutura necessária

para atender o nível das demandas, tanto em termos de quantidade de amostras como quanto aos tipos de análises

NATUREZA DOS DESAFIOS

Além disto, as atividades antrópicas no reservatório dificultam o entendimento dos principais processos em um reservatório.

MENU

G1

CEARÁ



03/07/2015 19h43 - Atualizado em 03/07/2015 19h43

Mortandade de peixe gera prejuízo de R\$ 18 milhões no Castanhão, no CE

Produtores recolheram cinco caminhões de peixes mortos do açude. Mortandade pode estar ligada à baixa oxigenação, afirma Cogeh.



NATUREZA DOS DESAFIOS

Monitoramento Não Convencional:

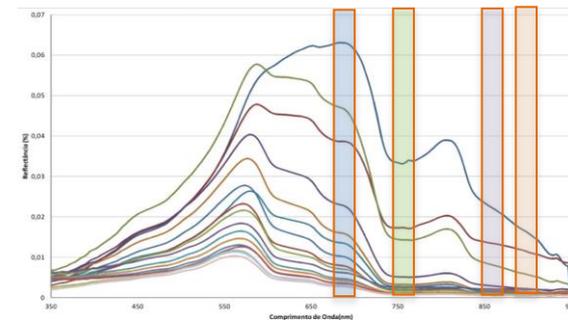
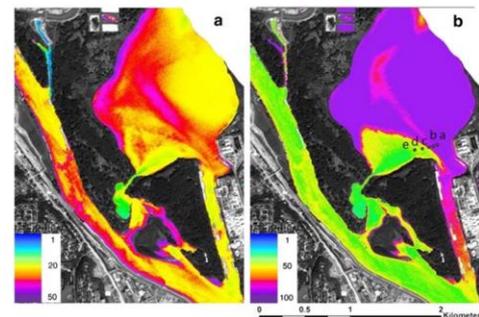
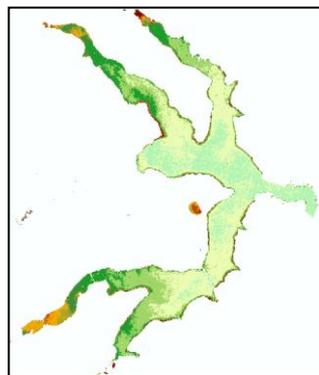
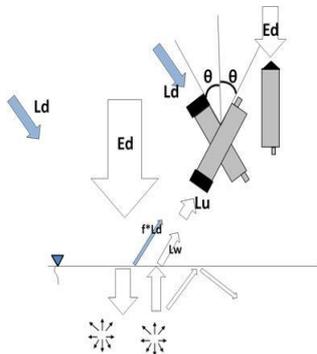
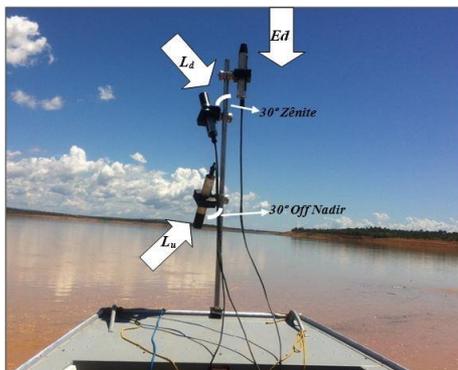
Banabuiu (1.6 bi m₃ – 0,94%) Ago/2015

Durante uma seca pode ser de interesse saber quais reservatórios estão com os melhores índices de qualidade? (operação carro-pipa)



INCIATIVAS: MONITORAMENTO POR S.R.

Estado trófico dos reservatórios



Pesquisa Inicial:
(ANA/IRD/FUNCEME)
. MODIS

Pesquisa Atual:
(FUNCEME/IRD/UnB/UFAM)
. Landsat & Sentinel 2
. Vant



INCIATIVAS: MODELAGEM

- Em **janeiro de 2015**, usando a metodologia de seleção baseada em Qualidade e Custo, foi selecionado o Consórcio AQUALOGUS/AZURIT (Portugal/Brasil). O contrato N^o 010/2015/FUNCEME/CONSÓRCIO AQUALOGUS/AZURIT foi assinado em **setembro de 2015**.



- O início dos trabalhos (start) se deu em **17 de setembro** de 2015.
- O término do serviço se dará em **05 de maio de 2017** (18 meses)



ESCOPO DO SERVIÇO

- **TÍTULO**

Contratação de Serviço de Consultoria para Desenvolvimento de uma Metodologia de Modelagem de Qualidade de Água para os reservatórios do Estado do Ceará, a ser aplicado em três reservatórios localizados na Região Hidrográfica Metropolitana e nas Bacias Hidrográficas Salgado e Acaraú.

- **OBJETIVO GERAL**

Desenvolver uma estratégia de modelagem de qualidade de água adaptada a reservatórios localizados no Estado do Ceará.

- **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

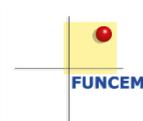
- Propor metodologia de modelagem de qualidade de água em reservatórios;
- Realizar aquisição de dados com vistas a execução da modelagem proposta;
- Testar a metodologia de modelagem em três reservatórios pré-selecionados;
- Identificar estratégias de aplicação para os demais reservatórios do Ceará.



Banco Mundial

ESCOPO DO SERVIÇO

- ÁREAS PILOTOS



Banco Mundial

Produtos e Relatórios Elaborados

- **Produto 1** – Diagnóstico e caracterização dos reservatórios.
- **Produto 2** – Estudo de viabilidade e hierarquia dos modelos identificados e avaliados.
- **Relatório 1** – Proposição de um sistema de monitoramento da qualidade da água visando à modelagem.
- **Produto 3** – Protocolo de coleta de dados para o monitoramento da qualidade de água.
- **Relatório 2** – Documentação da atividade de coleta de dados e dificuldades encontradas.
- **Produto 4** – Banco de dados.
- **Relatório 3** – Estratégia proposta e análise dos resultados.
- **Relatório 4** – Avaliação da Metodologia/Estratégia Proposta.
- **Produto 5** – Manual de utilização e aplicação dos modelos.
- **Relatório 5** – Relatório Final

Modelagem Hidrológica

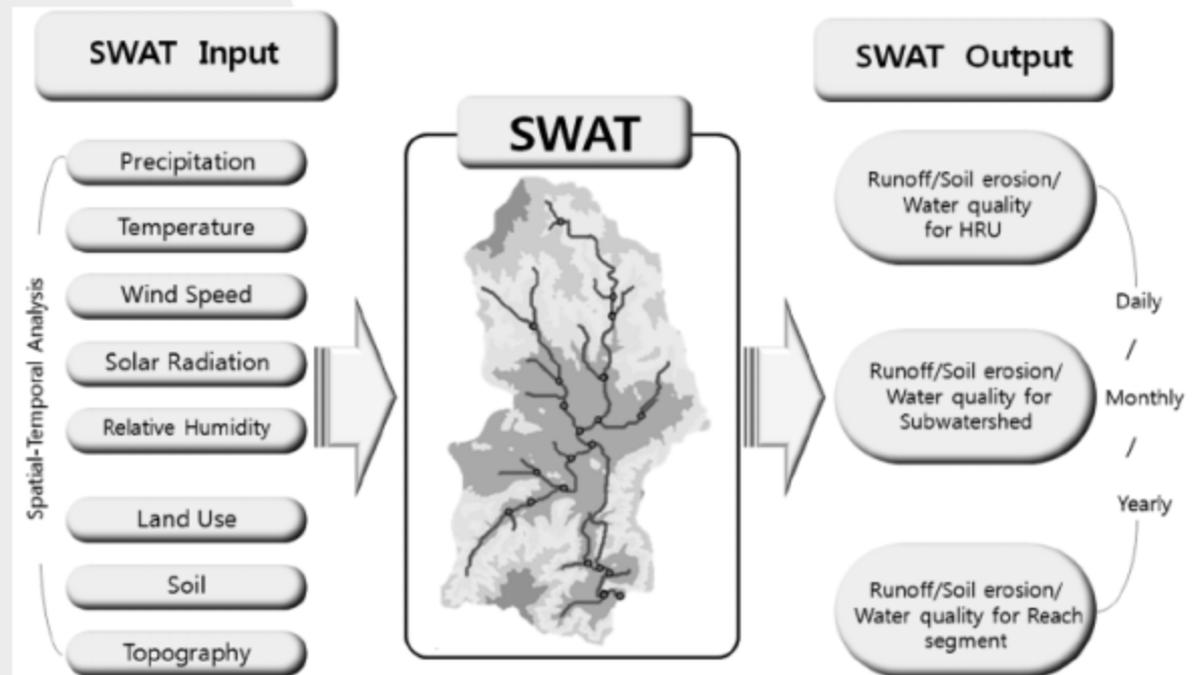
4

MODELO DE BACIA (SWAT)

ESTRUTURA E CARACTERÍSTICAS DO MODELO

Os dados de entrada para o modelo de bacia SWAT são:

- Dados topográficos
- Dados do uso do solo
- Características de solo
- Dados meteorológicos.

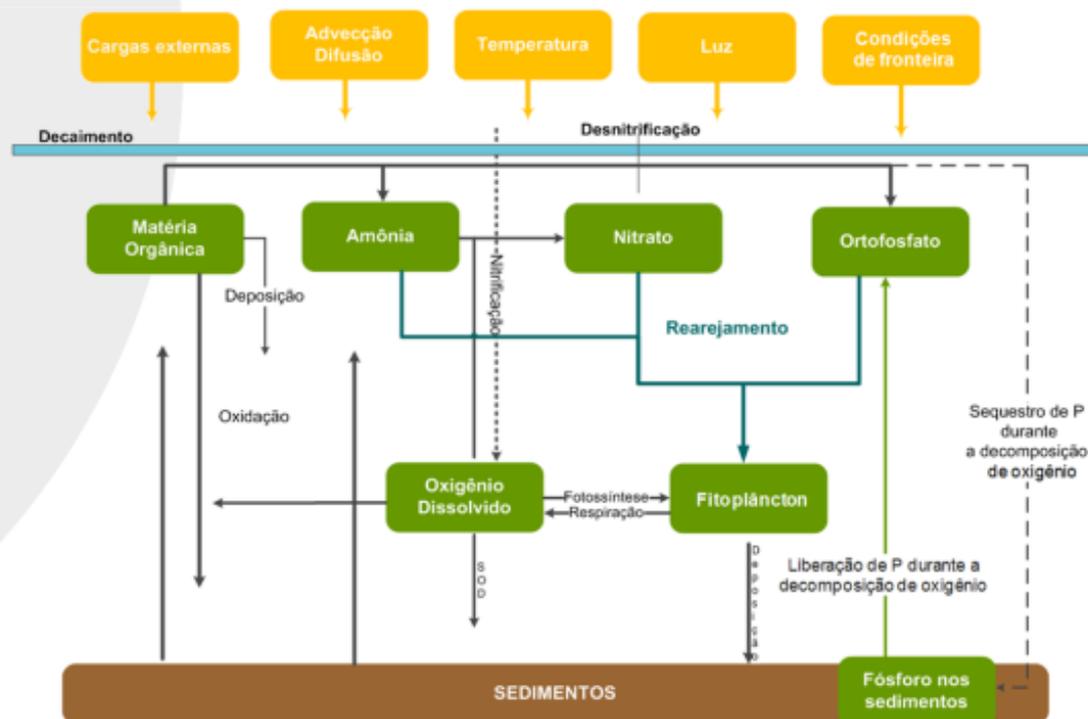


4 MODELO DE RESERVATÓRIO (CE-QUAL-W2)

ESTRUTURA E CARACTERÍSTICAS DO MODELO

- ❑ Simula processos que ocorrem tanto na coluna d'água quanto no sedimento e fluxos de matéria entre eles
- ❑ O CE-QUAL-W2 possui parametrização bastante detalhada dos processos químicos em sistemas aquáticos, assim como elaborada parametrização dos principais processos biológicos e componentes ecológicos
- ❑ Na sua mais recente versão (versão 4.0) o algoritmo de qualidade da água incorpora até 39 parâmetros de qualidade da água

Water Quality Research Group
CE-QUAL-W2 Hydrodynamic and Water Quality Model



CE-QUAL-W2 - sumário das principais características

Modelo	Origem	website
CE-QUAL-W2	US Army Corps of Engineers/Portland State University, EUA	http://www.ce.pdx.edu/w2/

Modelos	CE-QUAL-W2
Tipo	2-D, dinâmico
Método de modelagem	EAD, segmentos de comprimento variável
Processos / ciclos dos elementos	O, C, N, P, Si, Fe
Capacidade de modelagem / variáveis de estado	Temperatura, pH, N (NO, NO ₂ , NO ₃ , NH ₃), P (PO, PO ₄), OD, CIT, CBDO, alcalinidade, fitoplâncton, detritos, vários grupos de fitoplâncton (Clorofila-a)
Vantagens	Otimizado para reservatórios
Limitações	Exige grandes quantidades de dados

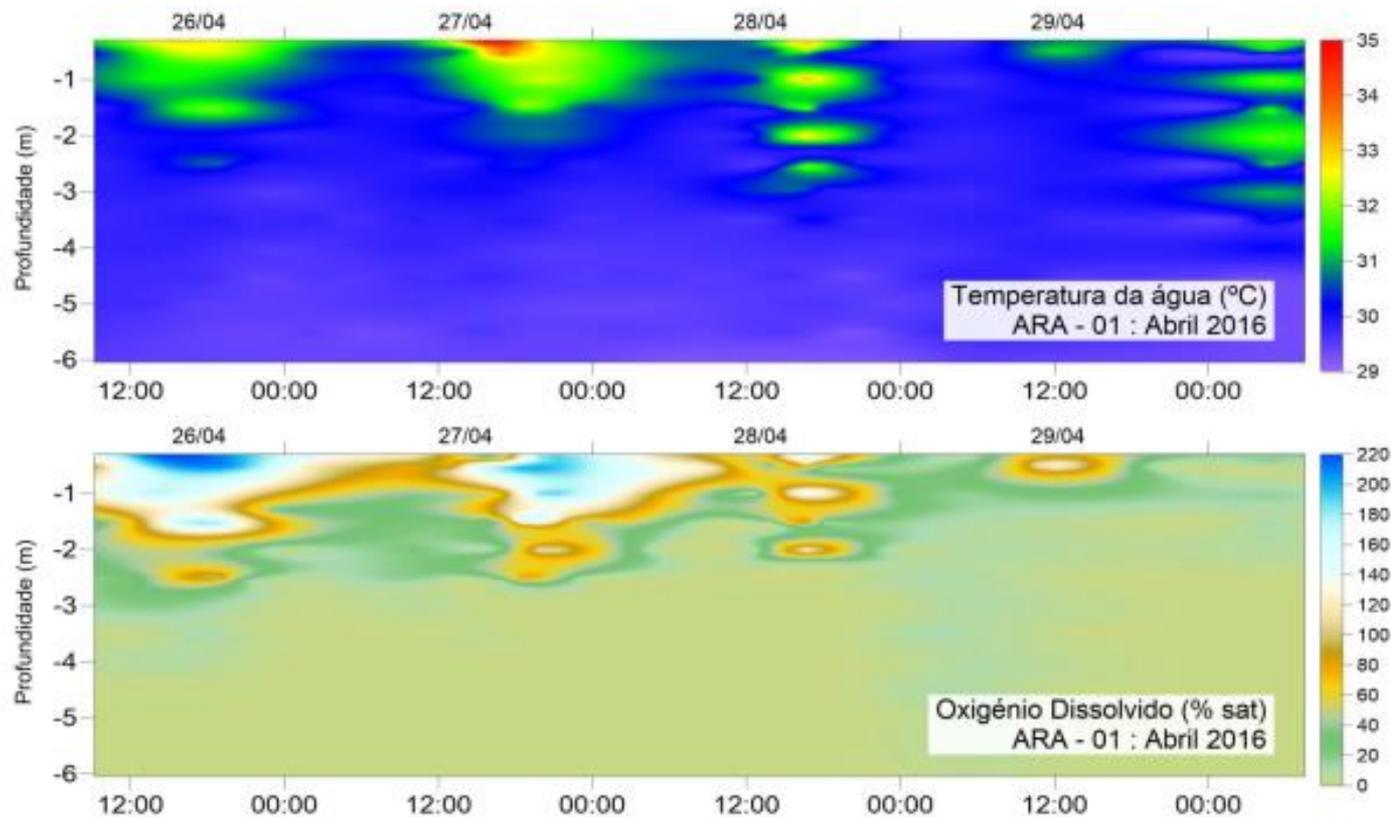
C – Carbono; CBDO – Carência Bioquímica de Oxigênio Carbonatada; CIT – Carbono Inorgânico Total; EAD – Equação de advecção-dispersão; N – Nitrogênio; NO – Nitrogênio Orgânico; O – Oxigênio; OD – Oxigênio Dissolvido; P – Fósforo; PO – Fósforo Orgânico; QUIMO – Químicos Orgânicos; RTCA – Reator de Tanque Continuamente Agitado; Si – Sílica.

Monitoramento para a Modelagem de Qualidade de Água

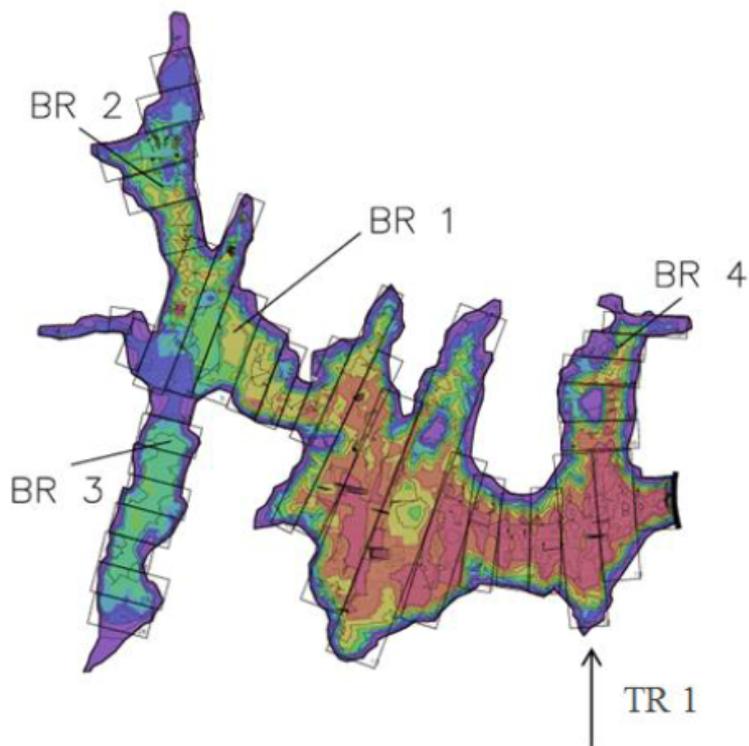
Tabela 3.1 – Listagem de parâmetros fundamentais e adicionais a serem considerados na modelagem.

	Parâmetro	Modelo
Parâmetros Fundamentais	Temperatura da água (°C)	Reservatório
	Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$ ou mg/m^3)	Reservatório
	Oxigênio dissolvido (mg/L e % saturação)	Reservatório
	Nitrogênio amoniacal (mgN/L)	Reservatório
	Ortofosfato (mgP/L)	Reservatório
	Nitrato (mgN/L)	Reservatório e bacia
	Fósforo total (mgP/L)	Reservatório e bacia
	Vazão (m^3/s)	Bacia
Parâmetros Adicionais	Carbono orgânico total (mg C/L)	Reservatório
	Nitrogênio total (mgN/L)	Reservatório e bacia
	pH	Reservatório
	Sólidos suspensos totais (mg/L)	Reservatório e bacia

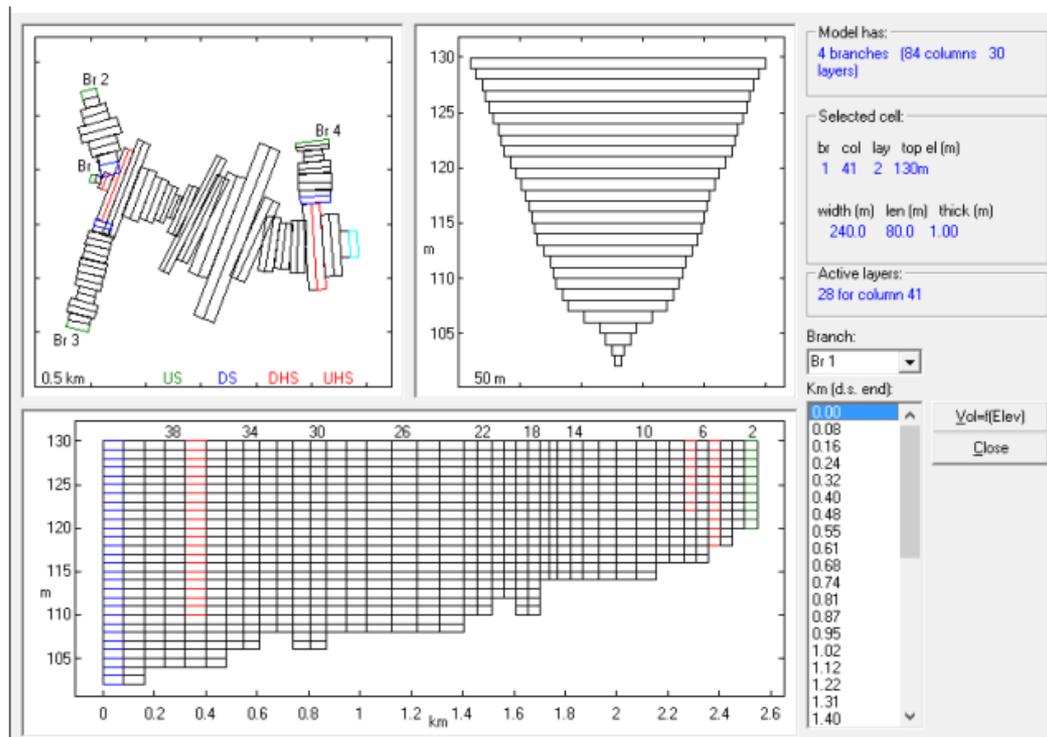
Monitoramento – campanha nictimeral em 2016



Modelo de reservatório – condições de fronteira



(a)



(b)

Figura 7.3 – Definição dos segmentos do Açude Acarape do Meio (a) e geometria do açude no modelo CE-QUAL-W2 (b), onde se pode visualizar a representação da área superficial, um exemplo de seção do braço principal e perfil longitudinal.

Modelo de reservatório – perfis simulados

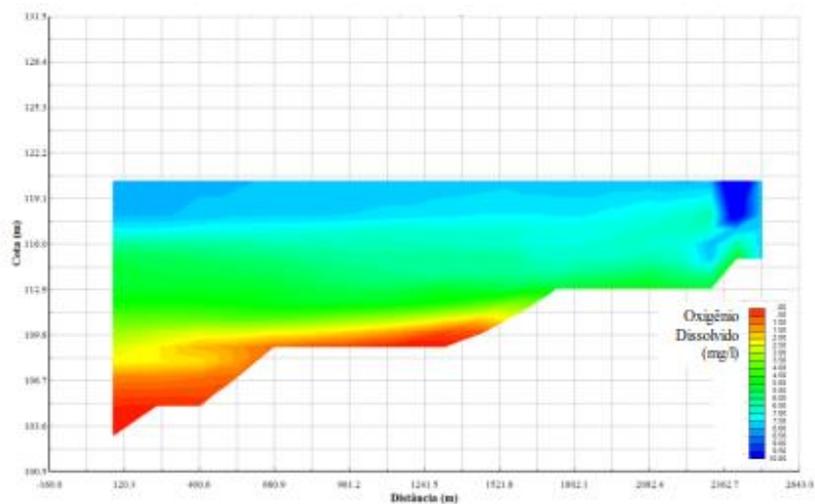


Figura 2.33 – Perfil longitudinal da concentração de oxigênio dissolvido no Açude Acarape do Melo (período úmido).

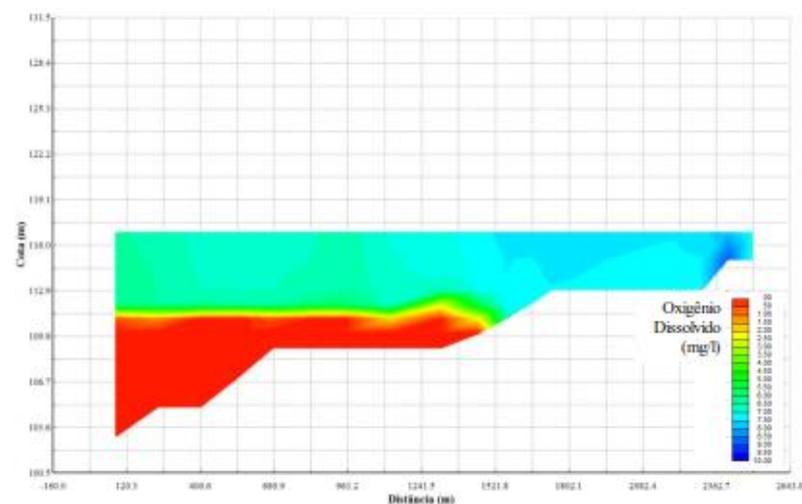


Figura 2.34 – Perfil longitudinal da concentração de oxigênio dissolvido no Açude Acarape do Melo (período seco).

Modelo de reservatório – séries simuladas

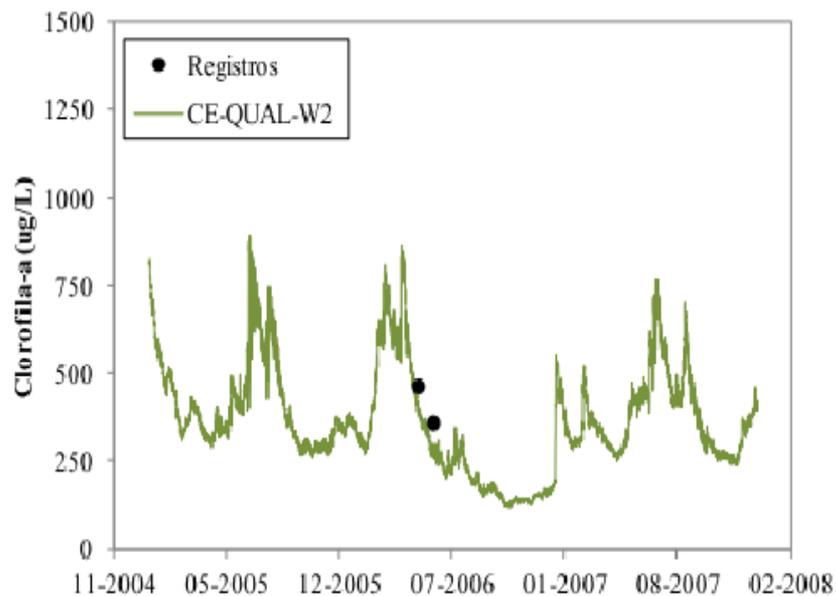


Figura 4.16 – Série temporal de clorofila-a à superfície da coluna d'água no Açude Olho d'Água no ponto de monitoramento OLH-01.

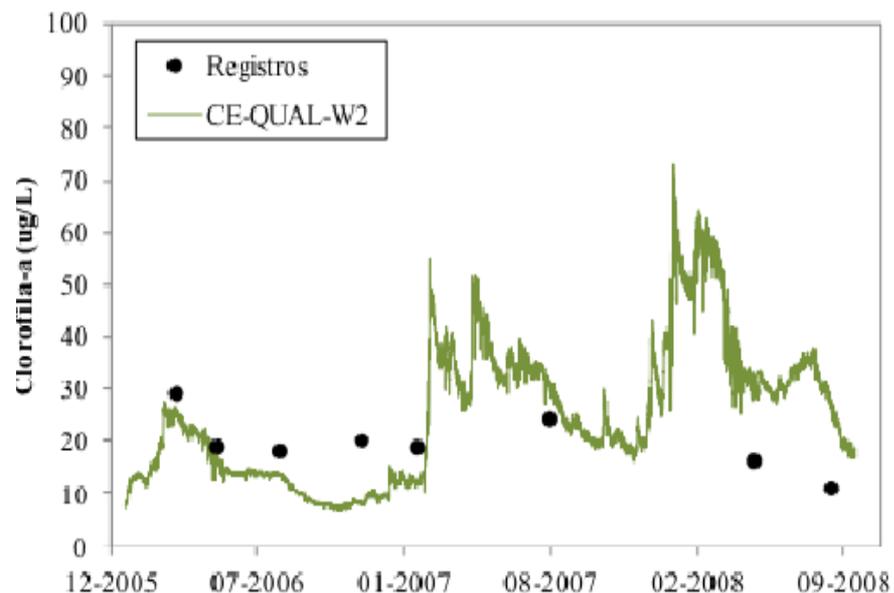


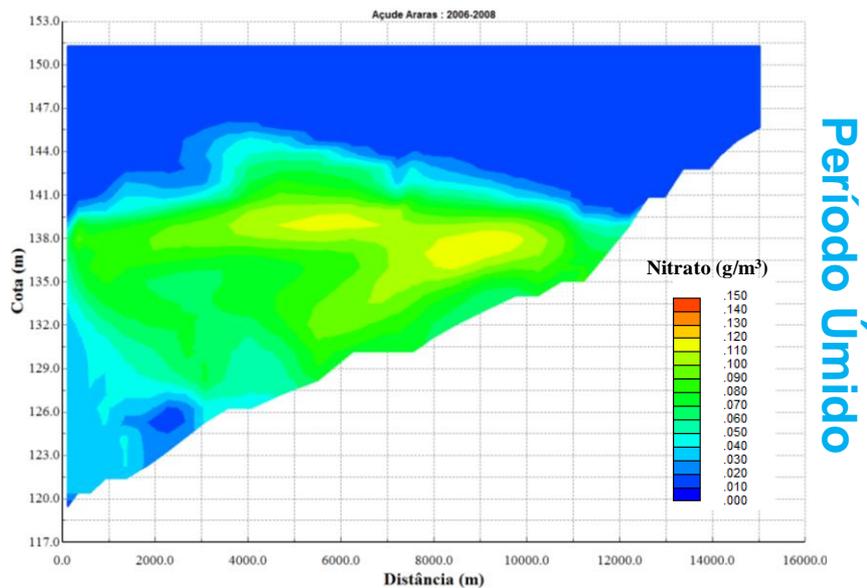
Figura 5.27 – Série temporal de clorofila-a à superfície da coluna d'água no Açude Araras no ponto de monitoramento ARA-01.

MODELAGEM DO AÇUDE

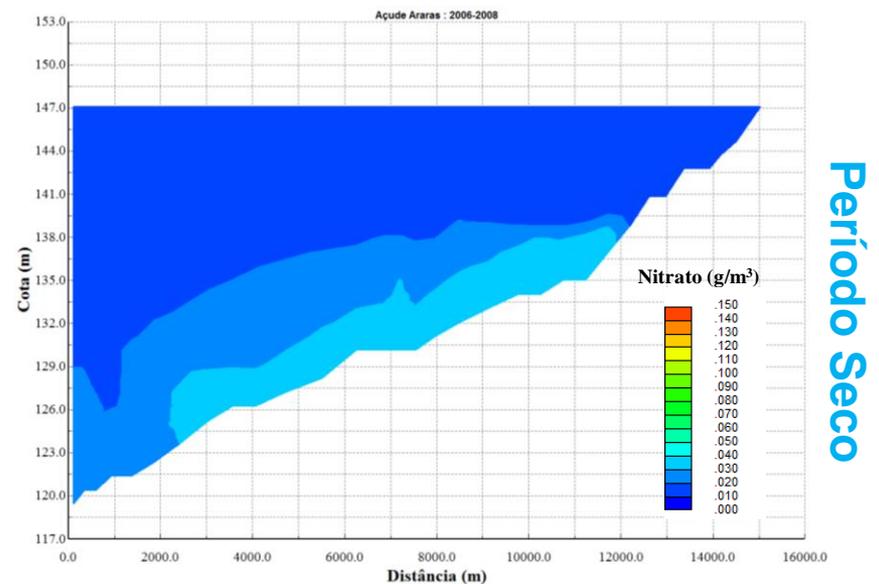
● RESULTADOS

Nutrientes: Nitrato

Perfil Longitudinal



Perfil longitudinal de concentração de Nitrato no Açude Araras no dia 12 de maio de 2008, às 12h (período úmido).



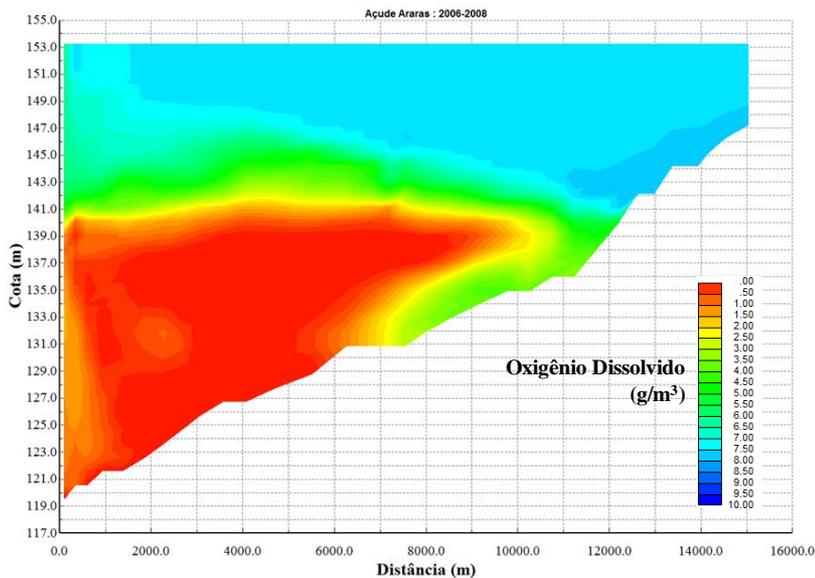
Perfil longitudinal de concentração de Nitrato no Açude Araras no dia 06 de Agosto de 2007, às 12h (período seco).

MODELAGEM DO AÇUDE

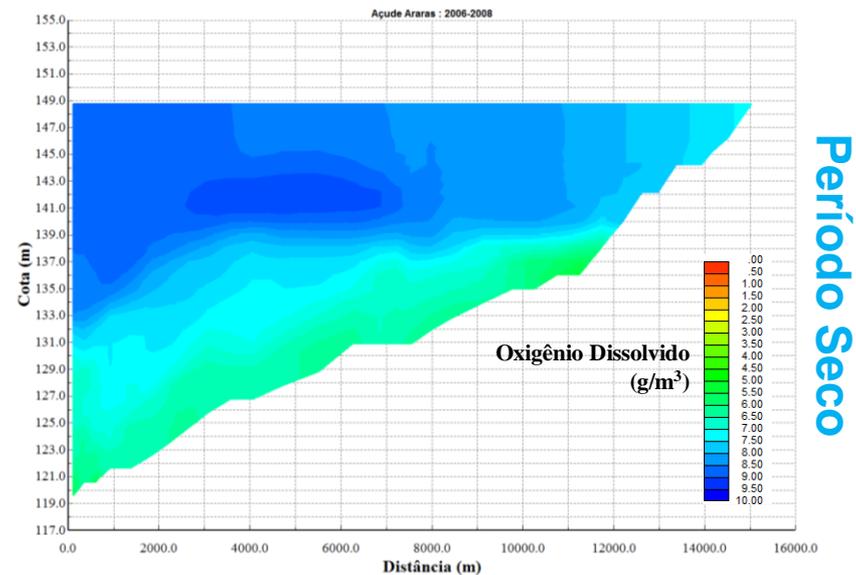
● RESULTADOS

Oxigênio Dissolvido

Perfil Longitudinal

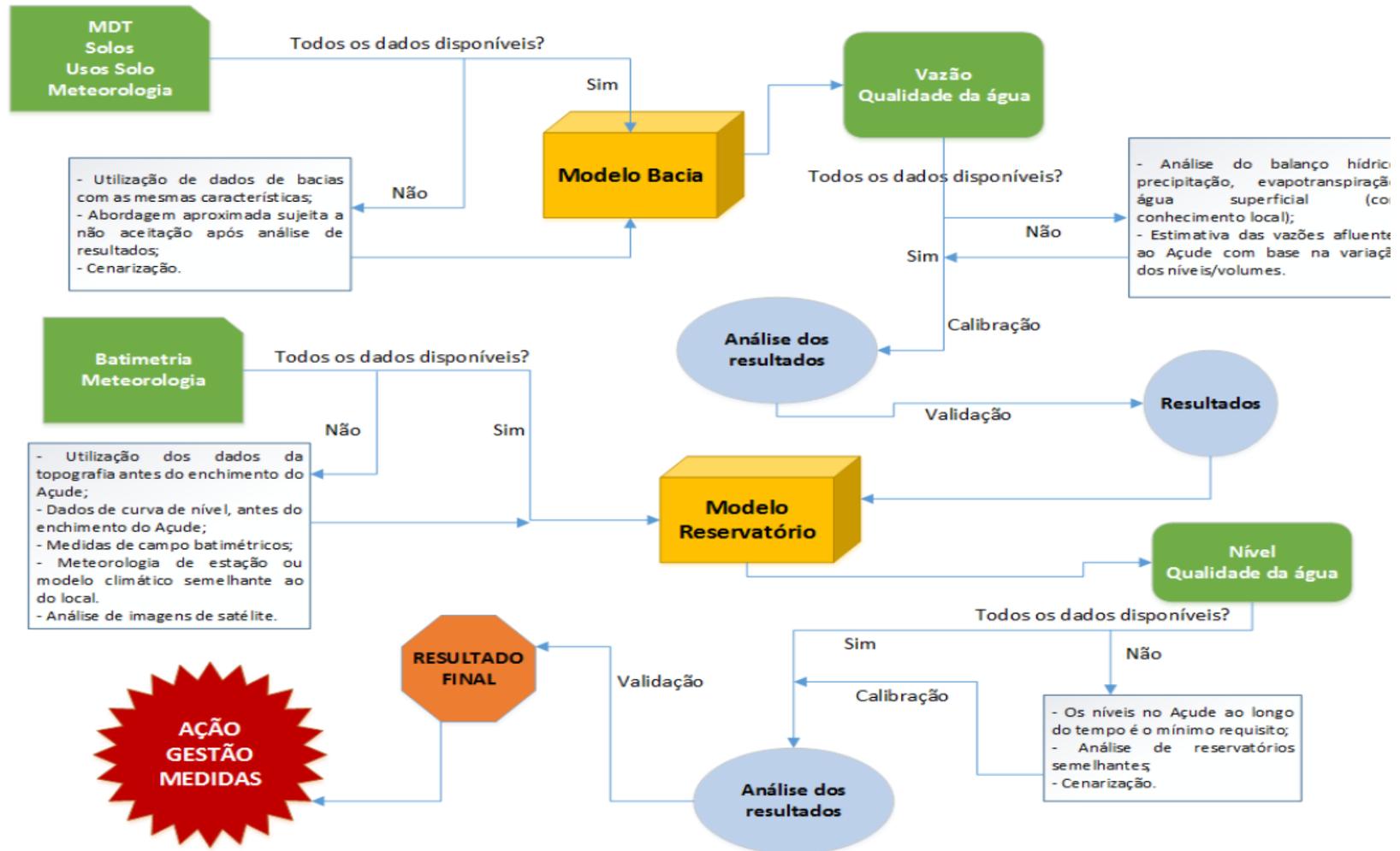


Perfil longitudinal de concentração de Nitrato no Açude Araras no dia 12 de maio de 2008, às 12h (período úmido).



Perfil longitudinal de concentração de Nitrato no Açude Araras no dia 06 de Agosto de 2007 , às 12h (período seco).

Diagrama de implementação da metodologia integrada



Programa de monitoramento para modelagem

Crêterios para defini o do monitoramento regular:

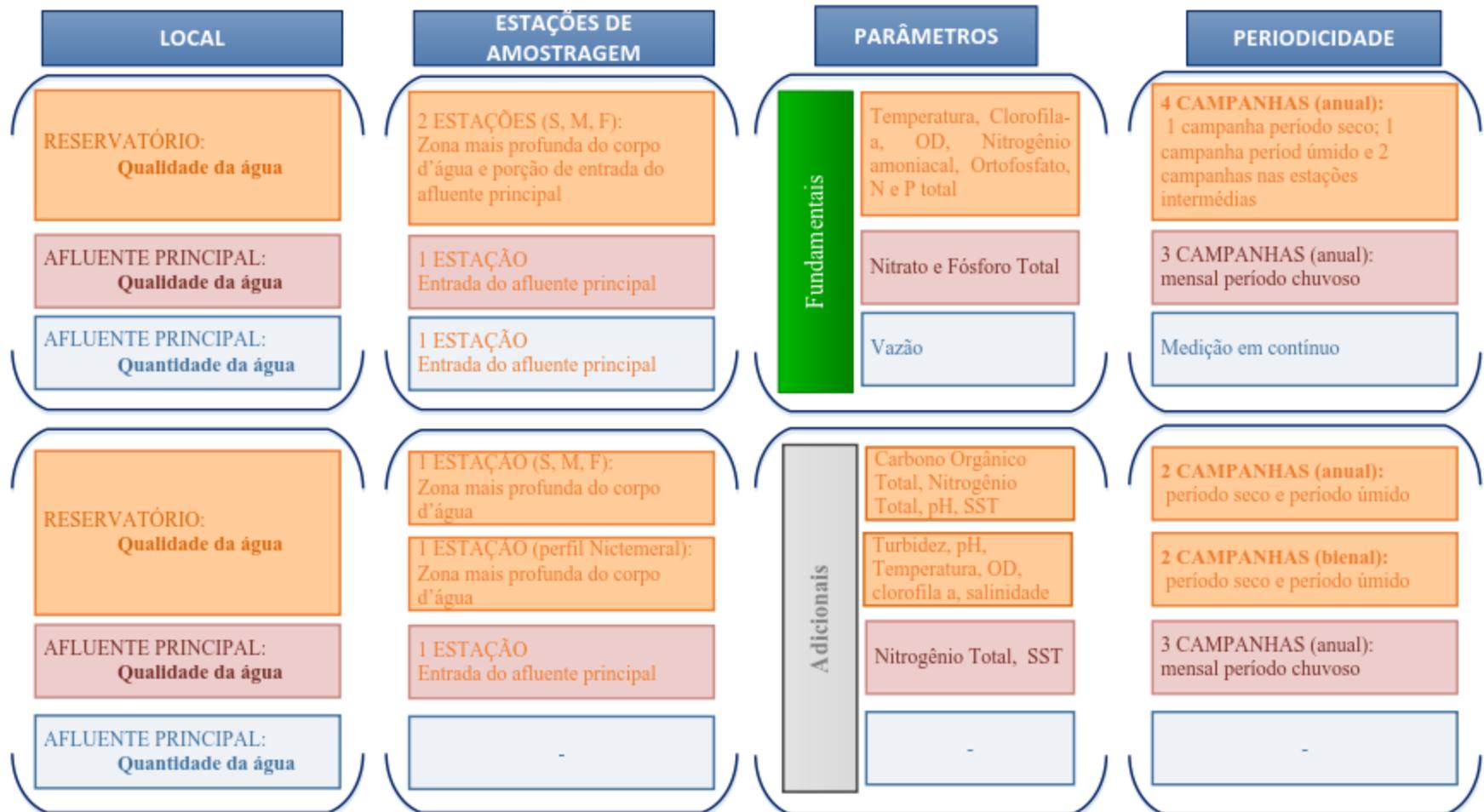
Aspectos técnicos:

- Periodicidade e tipologia de amostragem;
- Localiza o das esta es de amostragem;
- Parâmetros relevantes.

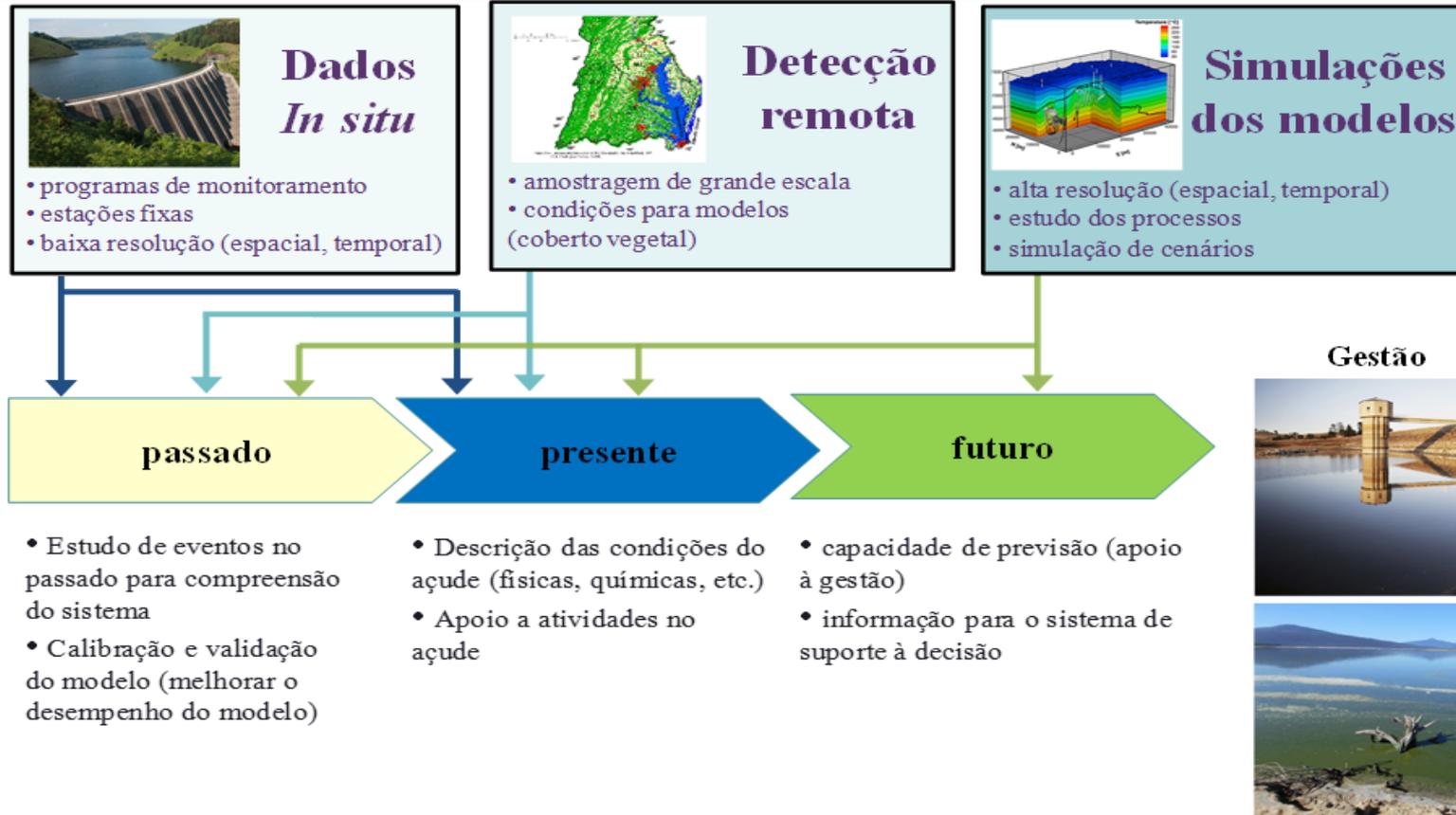
Aspectos logísticos:

- Instala es ou locais seguros para equipamentos automáticos fixos (viabilidade);
- Capacidade de transmissão de dados para usuários remotos;
- Implementa o escalonada e plano operacional (usos públicos);

Programa de monitoramento para modelagem



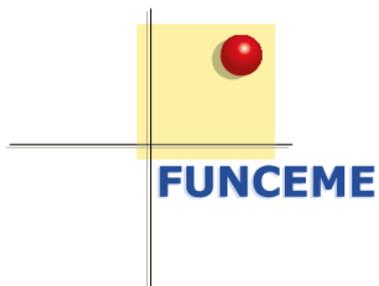
Integração de metodologias de monitoramento e modelagem: Impactos na gestão dos recursos hídricos





Brasil
1º Porte
Carta Comercial





GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria dos Recursos Hídricos