



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE

NARA TÔRRES SILVEIRA

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA QUALIDADE DA ÁGUA DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO TERRA NOVA, PERNAMBUCO**

Recife
2023

NARA TÔRRES SILVEIRA

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA QUALIDADE DA ÁGUA DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO TERRA NOVA, PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestra em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de concentração: Gestão e Tecnologia Ambiental.

Orientadora: Prof. Dra. Josiclêda Domiciano Galvínio

Recife

2023

Catálogo na fonte
Bibliotecária Valdicéa Alves Silva, CRB4-1260

S587i Silveira, Nara Tôres Silveira
Impactos das mudanças climáticas na qualidade da água da Bacia hidrográfica do Terra Nova, Pernambuco / Nara Tôres Silveira. Recife - 2022
87 f.: il.; 30 cm.

Orientadora: Prof. Dra. Josiclêda Domiciano Galvêncio.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH.
Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente,
(PRODEMA) Recife, 2022.
Inclui referências, apêndices e anexos.

1. Gestão ambiental. 2. Hidrologia - Previsão. 3. Impacto ambiental - Avaliação - Monitorização florestal. 4. Engenharia fluvial - Usinas hidrelétricas. 5. SUPER. 6. Sazonalidade - Previsão de séries temporais. 7. Obtenção de informações sobre a superfície I. Galvêncio, Josiclêda Domiciano (Orientadora). II. Título.

363.7 CDD (22. ed.)

UFPE (BCFCH2023-070)

NARA TÔRRES SILVEIRA

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA QUALIDADE DA ÁGUA DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO TERRA NOVA – PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestra em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de concentração: Gestão e Tecnologia Ambiental.

Aprovado em: 10/02/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Josicleda Domiciano Galvêncio (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof^a. Dr^a. Suzana Maria Gico Lima Montenegro (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof. Dr. Danilo Mamede da Silva Santos (Examinador Externo)
Universidade do Estado da Bahia - UNEB

Prof. Dr. Inajá Francisco de Sousa (Examinador Externo)
Universidade Federal de Sergipe - UFS

Aos meus pais, Edson e Nádia.
Cada conquista minha tem vocês!

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço ao Pai Celestial por me permitir realizar e concluir mais um sonho em minha vida. Grata pelas oportunidades e por me manter firme diante das dificuldades.

Aos meus pais, Edson e Nádia, e meus irmãos, Heitor, Helena e Henri, agradeço por todo apoio e incentivo em minha caminhada, principalmente por compreenderem as minhas ausências em momentos tão importantes para nossa família. À minha avó, Júlia Rodrigues, que intercede por mim através das orações. Aos demais familiares por sempre torcerem por mim, pelo colo nas dificuldades e abraços nas conquistas. Amo vocês!

A todos os meus amigos que durante essa jornada estiveram ao meu lado, me incentivando e encorajando. Apesar dos percalços, Deus nos presenteia com anjos para que o fardo se torne mais leve e eu agradeço pela vida de cada um e pelo amor a mim oferecido.

Agradeço à minha professora orientadora Dr^a Josiclêda Galvêncio pela oportunidade. Obrigada por todo apoio e confiança durante essa caminhada, além de todo o conhecimento compartilhado. Agradeço aos membros da banca examinadora Prof^a. Dr^a. Suzana Montenegro, Prof. Dr. Danilo Mamede e Prof. Dr. Inajá Francisco pela colaboração com o presente trabalho.

À Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), aos professores e secretários do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) por todos os ensinamentos que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pela concessão da bolsa que me permitiu a realização deste mestrado.

À Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) e ao Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) pelos dados disponibilizados para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos membros e amigos do grupo de pesquisa em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (SERGEO) que contribuíram ativamente com a pesquisa: Igor Tibúrcio, Jadson Freire, Sidney Campelo e Tayran Oliveira, muito obrigada por todo apoio. Aos meus amigos da turma de mestrado: Deivid Roque, Jorge Ferreira e Rodrigo Lucena, obrigada pelo carinho de sempre!

Por fim, meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas e instituições que contribuíram para a realização desta pesquisa.

O fim de um ciclo. A realização de um sonho!

“Ouse descobrir o inédito”

(Pe. Fábio de Melo)

RESUMO

O Nordeste brasileiro possui uma relação característica com os recursos hídricos, já que nessa região a escassez dos recursos hídricos pode ser associada a fatores naturais, tais como o clima, acentuada pelas atividades antrópicas nas bacias, que interferem na degradação da qualidade da água. O presente estudo tem como objetivo avaliar os impactos das mudanças climáticas na qualidade da água da Bacia de Terra Nova, Pernambuco. Inicialmente foram analisados os parâmetros de qualidade da água, oxigênio dissolvido, nitrato e fósforo disponíveis no Sistema de Unidades de Respostas Hidrológicas para Pernambuco (SUPER), a avaliação das variáveis seguiu a classificação da resolução 357 do CONAMA, para os anos de 1963 a 2021, no reservatório Nilo Coelho, Terra Nova, Pernambuco. Em seguida, realizou-se o mapeamento do uso e ocupação do solo para identificar as atividades desenvolvidas na região. Posteriormente, utilizando a ferramenta de alteração de cenários climáticos no SUPER, seguindo as projeções do IPCC e da Fiocruz, configurando valores da temperatura e precipitação, para verificar as alterações causadas na série histórica analisada. Para a previsão de cenários de qualidade de água até o ano de 2024, utilizou-se de modelos do SARIMA para prever as variáveis de temperatura e precipitação e, posteriormente, os parâmetros de oxigênio dissolvido, nitrogênio e fósforo. A análise temporal da qualidade da água, através dos parâmetros oxigênio dissolvido, nitrato e fósforo, expõe que a água do reservatório pode ser classificada como pouco comprometida. O mapeamento do uso do solo demonstra um aumento na disponibilidade hídrica da região, em razão da construção dos reservatórios artificiais do Projeto da Transposição do Rio São Francisco e, por consequência, um aumento nas áreas agrícolas da região, reduzindo assim as áreas de Caatinga. Tanto a aplicação dos cenários de mudanças climáticas, quanto a modelagem dos parâmetros até o ano de 2024, apontam para tendência de redução nas concentrações de oxigênio dissolvido e fósforo e um aumento para os valores de nitrogênio. Recomenda-se, portanto, um monitoramento contínuo na região, já que o reservatório é utilizado para o abastecimento humano. A proposição de mapas de uso do solo auxilia na compreensão dos impactos das ações antrópicas na região, sendo possível a utilização pelo poder público para uma melhor gestão das áreas. A aplicação da modelagem SARIMA foi considerada satisfatória, já que os resultados obtidos pela análise da série histórica utilizando o SUPER, corroboram com os modelos desenvolvidos. O uso da modelagem hidrológica se firma como ferramenta indispensável para o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos do estado, por permitir a previsão das condições dos corpos hídricos, visando a da distribuição da água em quantidade e em qualidade.

Palavras-chave: modelagem hidrológica; monitoramento ambiental; recursos hídricos; SUPer; SARIMA; sensoriamento remoto.

ABSTRACT

The Brazilian Northeast has a characteristic relationship with water resources, since in this region the scarcity of water resources can be associated with natural factors, such as climate, accentuated by anthropic activities in the basins, which interfere in the degradation of water quality. This study aims to evaluate the impacts of climate change on water quality in the Terra Nova Basin, Pernambuco. Initially, the parameters of water quality, dissolved oxygen, nitrate and phosphorus available in the Hydrological Response Units System for Pernambuco (SUPer) were analyzed, the evaluation of the variables followed the classification of CONAMA resolution 357, for the years 1963 to 2021, in the Nilo Coelho reservoir, Terra Nova, Pernambuco. Then, the mapping of land use and occupation was performed to identify the activities developed in the region. Later, using the tool to change climatic scenarios in the SUPer, following the projections of the IPCC and Fiocruz, configuring temperature and precipitation values, to verify the changes caused in the historical series analyzed. For the prediction of water quality scenarios by the year 2024, SARIMA models were used to predict the temperature and precipitation variables and, later, the parameters of dissolved oxygen, nitrogen and phosphorus. The temporal analysis of water quality, through the parameters dissolved oxygen, nitrate and phosphorus, exposes that the water in the reservoir can be classified as little compromised. The mapping of land use demonstrates an increase in the water availability of the region, due to the construction of the artificial reservoirs of the São Francisco River Transposition Project and, consequently, an increase in agricultural areas of the region, thus reducing the areas of Caatinga. Both the application of climate change scenarios and the modeling of parameters until 2024 point to a trend of reduction in dissolved oxygen and phosphorus concentrations and an increase in nitrogen values. Therefore, continuous monitoring in the region is recommended, since the reservoir is used for human supply. The proposition of land use maps helps to understand the impacts of anthropic actions in the region, being possible the use by the public authorities for a better management of the areas. The application of SARIMA modeling was considered satisfactory, since the results obtained by the analysis of the historical series using the SUPer corroborate the models developed. The use of hydrological modeling is established as an indispensable tool for the planning and management of the state's water resources, because it allows the prediction of the conditions of water bodies, aiming at the distribution of water in quantity and quality.

Keywords: hydrological modeling; environmental monitoring; water resources, SUPer, SARIMA; remote sensing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

ARTIGO 1 – ANÁLISE TEMPORAL DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA O RESERVATÓRIO NILO COELHO, TERRA NOVA – PE

Figura 1 –	Localização do reservatório Nilo Coelho (PE)	29
Figura 2 –	Localização do reservatório Nilo Coelho na Sub-bacia 18 (SUPer)	30
Figura 3 –	Análise temporal do oxigênio dissolvido (jan/1963 a mar/2021)	37
Figura 4 –	Análise temporal do nitrato (jan/1963 a mar/2021)	35
Figura 5 –	Análise temporal do fósforo (jan/1963 a mar/2021)	38
Figura 6 –	Mapa de usos do solo para a Bacia Hidrográfica do Terra Nova para os anos de 1998, 2008 e 2018	39

ARTIGO 2 – INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TERRA NOVA, PERNAMBUCO

Figura 1 –	Localização da Bacia Hidrográfica do Terra Nova, Pernambuco	48
Figura 2 –	Comparação entre o comportamento da série histórica com cenário sem alteração, em azul, e o C1, em verde, para o oxigênio dissolvido	54
Figura 3 –	Comparação entre o comportamento da série histórica com cenário sem alteração, em azul, e o C2, em verde, para o oxigênio dissolvido	54
Figura 4 –	Comparação entre o comportamento da série histórica com cenário sem alteração, em azul, e o C1, em verde, para o nitrogênio	55
Figura 5 –	Comparação entre o comportamento da série histórica com cenário sem alteração, em azul, e o C2, em verde, para o nitrogênio	55
Figura 6 –	Comparação entre o comportamento da série histórica com cenário sem alteração em azul, e o C1, em verde, para o fósforo	56
Figura 7 –	Comparação entre o comportamento da série histórica com cenário sem alteração, em azul, e o C2, em verde, para o fósforo	57
Figura 8 –	Modelagem do CO ₂ até o ano de 2024	59
Figura 9 –	Predição da temperatura até o ano de 2024	60
Figura 10 –	Predição da precipitação até o ano de 2024	61
Figura 11 –	Predição do oxigênio dissolvido até o ano de 2024	62
Figura 12 –	Predição do nitrogênio até o ano de 2024	62
Figura 13 –	Predição do fósforo até o ano de 2024	63

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1 – ANÁLISE TEMPORAL DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA O RESERVATÓRIO NILO COELHO, TERRA NOVA – PE

Tabela 1 –	Dados observados de qualidade da água obtidos no HidroWeb e MDR (valores em mg L^{-1})	32
Tabela 2 –	Limites estabelecidos pela resolução 357 do CONAMA para o oxigênio dissolvido, nitrato e fósforo	33
Tabela 3 –	Imagens utilizadas para a elaboração dos mapas de uso e ocupação do solo	34
Tabela 4 –	Valores de média, desvio padrão e RMSE para os dados observados da ANA e MDR e dados estimados do SUPe (Os valores estão em mg L^{-1})	35
Tabela 5 –	Dados de média, desvio padrão, valor mínimo e máximo para as variáveis estudadas	36
Tabela 6 –	Classificação e usos do solo para os anos de 1998, 2008 e 2018	41

ARTIGO 2 – INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TERRA NOVA, PERNAMBUCO

Tabela 1 –	Cenários de mudanças climáticas utilizados para a análise da interferência das mudanças climáticas na série histórica dos parâmetros	51
Tabela 2 –	Variáveis dependentes e independentes analisadas	52
Tabela 3 –	Dados de média, desvio padrão, valor mínimo e máximo para o oxigênio dissolvido em cada cenário analisado	53
Tabela 4 –	Dados de média, desvio padrão, valor mínimo e máximo para o nitrogênio em cada cenário analisado	55
Tabela 5 –	Dados de média, desvio padrão, valor mínimo e máximo para o fósforo total em cada cenário analisado	56
Tabela 6 –	Modelo SARIMA e valores de R^2 e RMSE para cada variável	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
ARIMA	Autorregressivo Integrado de Médias Móveis
BHRTN	Bacia Hidrográfica do rio Terra Nova
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CO ₂	Dióxido de carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente
FIOCRUZ	Fundação Oswaldo Cruz
GEE	Gases de efeito estufa
HAWQS	<i>Hydrology and Water Quality System</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ITEP	Instituto de Tecnologia de Pernambuco
MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
N	Nitrogênio
NO ₃	Nitrato
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
OD	Oxigênio dissolvido
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
P	Fósforo
PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PERH	Política Estadual de Recursos Hídricos
PISF	Projeto de Integração do Rio São Francisco
RHN	Rede Hidrometeorológica Nacional
RMSE	<i>Root Mean Square Error</i> (Erro quadrático médio)
SARIMA	Autorregressivos Sazonais Integrados de Médias Móveis
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SUPeR	Sistema de Unidade de Respostas Hidrológicas para Pernambuco

SWAT	<i>Soil Water Assessment Tool</i>
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFRPE	Universidade Federal Rural de Pernambuco
USGS	United States Geological Survey

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	19
2.1	Objetivo geral	19
2.2	Objetivos específicos	19
3	REFERENCIAL TEÓRICO	20
3.1	Mudanças climáticas e recursos hídricos	20
3.2	Gestão dos recursos hídricos e qualidade da água	21
3.3	Modelos hidrológicos	22
3.4	Uso e ocupação do solo	24
4	ARTIGO 1 – ANÁLISE TEMPORAL DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA O RESERVATÓRIO NILO COELHO, TERRA NOVA, PERNAMBUCO	26
5	ARTIGO 2 – INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TERRA NOVA, PERNAMBUCO	45
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
	REFERÊNCIAS	68
	APÊNDICE	86

1 INTRODUÇÃO

Os impactos causados aos recursos hídricos pela crescente demanda da água, somado aos seus usos múltiplos tem ocasionado crises de escassez e, conseqüentemente, conflitos, ameaças à saúde e riscos ao desenvolvimento. Nas regiões em que a disponibilidade hídrica é reduzida, como é o caso do Nordeste Brasileiro, as problemáticas relacionadas a escassez são mais frequentes e estão associadas a causas naturais, como as questões climáticas, acentuadas pelas ações antrópicas nas bacias hidrográficas (GARCIA et al., 2018; BENTO et al., 2021)

As mudanças climáticas podem afetar a qualidade da água, principalmente em regiões que possuem alta variação espacial e temporal da precipitação, característica marcante no semiárido nordestino (IPCC, 2014). Nessa região, a precipitação é determinante para a caracterização do clima, além de ser a entrada principal no sistema hidrológico (SOBRAL et al., 2018). Segundo Anjos, Wanderley e Nóbrega (2020) a precipitação é essencial para os estudos climáticos e ambientais, pois permite a quantificação da disponibilidade temporal e espacial dos recursos hídricos. Galvínio e Luz (2021) ressaltam que além de conhecer as relações entre as mudanças climáticas e os dados de precipitação atuais, faz-se necessário a realização de prognósticos e a criação de cenários futuros.

As atividades desenvolvidas no solo em áreas próximas aos reservatórios, podem impactar diretamente os corpos hídricos. As interferências antrópicas causam modificações que podem afetar as características físicas e químicas do solo, podendo dar início a processos erosivos, elevação da salinidade e, portanto, alterações das propriedades da água e do ciclo hidrológico de um curso (DANESHI et al., 2021; SOUZA et al., 2022). No semiárido, diversos estudos tem sido desenvolvidos para análise do uso e ocupação do solo (ALMEIDA et al., 2018; MEDEIROS et al., 2018; XAVIER; SILVA, 2018; BEZERRA et al., 2020; DAMASCENO; PEREIRA; SCHULER, 2020; NASCIMENTO et al., 2020). Os estudos de mapeamento do uso e ocupação do solo são relevantes para a identificação de fontes ou potenciais fontes de degradação ambiental, possibilitando a avaliação e o monitoramento do meio (VEETIL; MISHRA; GREEN, 2022).

O uso de imagens de satélite e ferramentas de geoprocessamento permitem o reconhecimento da dinâmica de ocupação da terra, bem como o acompanhamento da transformação das regiões (MINHONI et al., 2018). Ademais proporciona menor custo financeiro e maior acessibilidade para a realização de levantamentos técnicos, mapeamentos e monitoramentos para planejamento ambiental e urbano, como fonte de informação a ser associada às convencionais (SILVA, COELHO, SILVA, 2017).

O Estado de Pernambuco possui cerca de 70% da área total de climas do tipo semiárido, caracterizando-se por baixos índices pluviométricos anuais. Nesse contexto, o Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) surge como uma alternativa para a melhoria da segurança hídrica do Estado, visando a distribuição da água para atender as necessidades dos municípios banhados pelas bacias dos rios Brígida, Terra Nova e Pajeú. O Eixo Norte do PISF tem sua captação no município de Cabrobó, Pernambuco, e conta com 260km de extensão, passando pelos municípios pernambucanos de Salgueiro, Terra Nova e Verdejante, os municípios cearenses de Penaforte, Jati, Brejo Santo, Mauriti e Barro, e os municípios paraibanos de São José de Piranhas, Monte Horebe e desaguardo no município de Cajazeiras (APAC, 2022).

A bacia Hidrográfica do rio Terra Nova faz parte dos principais afluentes do rio São Francisco e receberá as águas do Eixo Norte do PISF, promovendo o desenvolvimento da região e amenizando o sofrimento da população com uma maior oferta de água. Nesta bacia foram construídos cinco reservatórios, sendo estes Terra Nova, Serra do Livramento, Mangueira, Negreiros e Milagres, para distribuição de água na região, todos monitorados pelo Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) (APAC, 2022). Outro reservatório de grande importância para região é o de Nilo Coelho, situado entre as cidades de Terra Nova e Cabrobó, tem recebido águas do PISF, e pela proximidade, também tem suas águas monitoradas pelo MDR. Ademais, o reservatório também utilizado para abastecimento humano e irrigação de pequenos perímetros agrícolas (SILVEIRA et al., 2022).

A Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), órgão responsável pela aplicação da Política Estadual de Recursos Hídricos, além de ser a Operadora do PISF, tem desenvolvido ações e pesquisas com inovações tecnológicas para uma melhor gestão e gerenciamento dos recursos hídricos, como a utilização de sensoriamento remoto e ferramentas de modelagem hidrológica. O Sistema de Unidade de Respostas Hidrológicas para Pernambuco (SUPer) é uma ferramenta de avaliação de bacias hidrográficas para o Estado de Pernambuco, aplicando o modelo SWAT (Soil Water Assessment Tool). Constitui-se de um avançado sistema de modelagem da quantidade e qualidade de água e pode ser usado para avaliar os impactos do manejo do solo, da poluição hídrica e das mudanças climáticas sobre a quantidade e qualidade da água dos rios e reservatórios do estado (GALVÍNCIO; LUZ, 2021).

Nesse cenário, torna-se evidente a importância de estudos que permitam a avaliação das condições dos ambientes aquáticos, visto que podem contribuir em tomadas de decisão, e possibilitam a conservação e proteção dos corpos hídricos (SILVA; CUNHA; LOPES, 2019). O gerenciamento dos recursos hídricos visa garantir os padrões de qualidade e quantidade da

água em cada bacia hidrográfica, sendo possível por meio da gestão integrada dos recursos hídricos, aplicada com o intuito de associar a gestão da água com as suas diversas formas de uso e áreas do conhecimento (LOPES et al., 2014; CHAWLA; KARTHIKEYAN; MISHRA, 2020).

A preocupação com o cenário das mudanças climáticas e o fornecimento de água em quantidade e qualidade contemplam os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). O documento criado pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015, denominado Agenda 2030, possui 17 Objetivos e 169 metas. O ODS 6 – Água Potável e Saneamento visa “assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos”, além do acesso universal e equitativo à água potável, redução da poluição hídrica e a gestão integrada e participativa dos recursos hídricos (ONU, 2015).

O ODS 13 – Ação contra a Mudança Global do Clima, tem como objetivo “tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos”. Segundo Alcântara et al. (2020), as recentes mudanças climáticas mostram que seus impactos não se refletem apenas nos grandes desastres ocasionados por eventos extremos, mas também no contexto econômico e social. A problemática associa-se ainda ao ODS 3 – Saúde e bem-estar, que propõe “assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades”, visto que o acesso à água potável é um bem básico que promove diversas condições de saúde para a sociedade (SENA et al., 2016).

Deste modo, o presente estudo visa responder as seguintes questões: Os modelos hidrológicos são eficazes para análise da qualidade da água de um corpo hídrico? O uso e ocupação do solo numa bacia hidrográfica pode interferir na qualidade da água? Sabendo da grande variação do clima nos últimos anos e as suas consequências, sobretudo em regiões semiáridas, as mudanças climáticas podem impactar a qualidade da água de reservatórios?

A pesquisa está dividida em sessões, com referencial teórico, com abordagens sobre as mudanças climáticas e recursos hídricos, a gestão dos recursos hídricos e o monitoramento da qualidade da água, a aplicação de modelos hidrológicos para a qualidade da água, finalizando com os usos e ocupação do solo e sua relação com o monitoramento ambiental. No que se refere aos resultados desta pesquisa, estes serão apresentados em dois capítulos, intitulados “Análise temporal dos parâmetros de qualidade da água para o Reservatório Nilo Coelho, Terra Nova, Pernambuco” e “Influência das mudanças climáticas na qualidade da água na Bacia Hidrográfica do Rio Terra Nova, Pernambuco”, e por fim, as considerações finais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar os impactos das mudanças climáticas na qualidade de água da Bacia do rio Terra Nova, Pernambuco.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a qualidade da água do reservatório Nilo Coelho, utilizando os parâmetros disponíveis no Sistema de Unidade de Respostas Hidrológicas para Pernambuco (SUPer);
- Analisar a variação espacial e temporal do uso e ocupação do solo usando ferramentas de sensoriamento remoto e sua relação com a qualidade da água;
- Estimar cenários de qualidade da água até o ano de 2024, utilizando o banco de dados do SUPer.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos

As mudanças climáticas afetam todas as regiões do planeta, em decorrência do aquecimento da temperatura média global, influenciada pela crescente interferência das atividades humanas (MARENGO, 2011; CALDAS, 2020; DIAS, 2020; SANTOS et al., 2021). Os Relatórios do Painel Internacional sobre Mudanças Climáticas (IPCC) indicam mudanças nos regimes de chuvas, derretimento de geleiras, elevação dos níveis dos oceanos, além da ocorrência de eventos climáticos com maior frequência e de maior severidade (IPCC, 2014, 2022).

No Brasil, pode-se perceber as mudanças climáticas com o aumento da temperatura em todo o país e com as precipitações atingindo níveis extremos, com chuvas torrenciais ou estiagens severas (REIS NETO et al., 2018). O semiárido é a região brasileira mais vulnerável aos efeitos das mudanças climáticas (ANA, 2016), por apresentar regime de chuvas irregular, precipitações em torno de 800 mm ao ano, concentradas em períodos de três a cinco meses, associadas à elevadas médias anuais de evapotranspiração potencial (2.000 mm/ano) e temperatura (27°C), além disso o bioma Caatinga, possui 80% de sua área alterada pela ação antrópica, que propicia a aridização (ANGELOTTI; SIGNOR; GIONGO, 2015; GUIMARÃES et al., 2016; SANTOS et al., 2021).

O Estado de Pernambuco é considerado um “hotspot” mundial no que se refere às mudanças climática, por ser suscetível aos eventos meteorológicos extremos (PERNAMBUCO, 2011; REIS NETO et al., 2018). A Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ), por meio do projeto Vulnerabilidade À Mudança Climática, identificou que o Estado poderá apresentar dias mais secos e mais quentes a partir do ano 2041. De acordo com as análises, a temperatura no Sertão Pernambucano poderá aumentar em até 3,7°C, enquanto que o volume de chuvas pode atingir uma redução de até 39% na região do São Francisco.

Diversos autores expõem que as alterações na temperatura e na precipitação pluviométrica afetam a quantidade e, por consequência, a qualidade da água (SANTOS; GALVÍNCIO; MOURA, 2013; LIMA; CANDEIAS; CUNHA, 2018; TAVARES; ARRUDA; SILVA, 2019; MARQUES; VERAS; RODRIGUEZ, 2022). A qualidade da água de ambientes semiáridos pode ser sensível aos efeitos das mudanças climáticas, visto que a precipitação é determinante para caracterizar o clima local e pode impactar os processos hidrológicos das bacias hidrográficas (ASSIS, 2016; SILVA et al., 2016). Apesar das mudanças climáticas demonstrarem interferências na quantidade e qualidade da água em várias regiões do mundo,

grande parte dos estudos realizados no Nordeste, referem-se à aspectos quantitativos dos recursos hídricos (TIEZZI et al., 2019). Logo, estudos que relacionem a disponibilidade e qualidade da água com as questões climáticas contribuem para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos.

3.2 Gestão dos Recursos Hídricos e Qualidade da Água

No Brasil, a gestão dos recursos hídricos foi normatizada pela Lei nº 9.433, que instituiu a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) (ANA, 2021). A lei estabelece ainda a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e análise ambiental, permitindo uma análise de fatores, elementos e relações ambientais, econômicas e sociais, baseada nas ofertas e demandas da área (CARVALHO, 2020)

Diante disso, a gestão de recursos hídricos pode ser definida como um conjunto de processos e ações que visam regular os usos múltiplos, o controle e a preservação da água. Deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público e da sociedade civil (ANA, 2021). A PNRH estabelece cinco instrumentos necessários para que a gestão dos recursos hídricos aconteça, sendo estes: os planos de recursos hídricos; enquadramento dos corpos de água em classes; outorga de direitos pelo uso dos recursos hídricos; cobrança pelo uso dos recursos hídricos e o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) (VEIGA; CARVALHO; MEDRONHO, 2019; FERREIRA et al., 2020).

O enquadramento dos corpos hídricos é fundamental para o planejamento e tomadas de decisão pelo poder público, visto que objetiva assegurar a qualidade das águas conforme os seus usos (CETESB, 2022). Após a identificação dos usos mais nobres e restritivos, tem-se o desenvolvimento de atividades que visam a análise e o monitoramento para manter os recursos hídricos dentro dos limites desejáveis (MELO et al., 2018; CALADO, 2020).

O monitoramento da qualidade da água auxilia na compreensão da situação atual dos recursos hídricos, já que fornece informações sobre sua quantidade e a qualidade em uma região, num determinado período de tempo. A qualidade da água é influenciada por variáveis naturais, como o regime de chuvas, escoamento superficial, cobertura vegetal e pelas ações antrópicas, como exemplo: o lançamento de efluentes e o manejo dos solos. Pode ser realizada através da análise de parâmetros físicos, químicos e biológicos, sendo alguns dos parâmetros utilizados o oxigênio dissolvido (OD), compostos de nitrogênio (N) e o fósforo (P) (TIYASHA; TUNG; YASEEN, 2020; ANA, 2021; CALDAS, 2021)

Segundo Esteves (1998), o oxigênio é um dos mais importantes para a dinâmica e caracterização dos ecossistemas aquáticos, tendo como principais fontes a atmosfera e a fotossíntese. O oxigênio dissolvido é um indicador fundamental para a qualidade da água de rios e lagos, por ser limitante para a manutenção da vida aquática, já que suas baixas concentrações comprometem a biota aquática. O nitrogênio está presente nos ambientes aquáticos sob várias formas, como nitrato, nitrito, amônia, íon amônio, óxido nitroso, nitrogênio molecular, nitrogênio orgânico dissolvido, nitrogênio orgânico particulado, entre outros (ESTEVES, 1998). Os nitratos (NO_3) são oriundos de fontes naturais, como rochas ígneas e drenagem da terra, podem ainda ser obtidos por meio da ação fixadoras de nitrogênio (BRAGA et al., 2005). Apesar de serem essenciais para as plantas, quando em excesso, podem causar problemas significativos na água. Quanto ao fósforo (P), pode-se citar as suas principais fontes os solos das bacias hidrográficas, fertilizantes, além de efluentes domésticos ou industriais. O aumento deste nutriente em ambientes lênticos, pode provocar o crescimento excessivo de algas e plantas aquáticas (CETESB, 2016; ANA, 2021).

3.3 Modelos Hidrológicos

Os modelos hidrológicos podem ser definidos como uma representação matemática dos processos hidrológicos sobre alguma parte da superfície terrestre (RENNÓ; SOARES, 2008). Presentemente, têm sido amplamente utilizados para avaliar a segurança hídrica em diferentes escalas espaço-temporais (VEETIL; MISHRA; GREEN, 2022), por resumir informações importantes para o gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos (VIANA et al., 2018; PANG et al., 2020).

Muitos modelos foram elaborados e amplamente aplicados para a modelagem hidrológica de bacias hidrográficas, como o Soil and Water Assessment Tool (SWAT). O SWAT foi desenvolvido no Serviço de Pesquisa Agrícola do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (ARS - USDA) para a análise dos impactos das mudanças no uso do solo, na disponibilidade hídrica e produção de sedimentos em bacias hidrográficas (ARNOLD et al., 1998). O modelo SWAT permite a representação de diversos processos físicos que ocorrem em uma bacia hidrográfica, como a precipitação, a evapotranspiração, infiltração, entre outros, e tem sido utilizado como ferramenta por muitas instituições no gerenciamento de recursos hídricos (NUNES, 2018; SOUSA et al., 2018; XIONG et al., 2019).

No Brasil, o Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica para Pernambuco (SUPER) foi desenvolvido através de uma grande parceria entre a Universidade Federal de Pernambuco

(UFPE), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP) e a Texas A&M University. O SUPer fornece dados de entrada para a modelagem, além de resultados obtidos em simulações de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco. O SUPer tem aumentado de forma considerável a usabilidade do SWAT no que se refere à simulação dos efeitos das práticas de manejo sob diferentes tipos de solos, cobertura vegetal, usos e cenários de mudanças climáticas na hidrologia, qualidade de água e produção de sedimentos em bacias hidrográficas de Pernambuco (FARIAS et al., 2020).

Outra metodologia de grande importância para análise, modelagem e previsão de séries hidrológicas é o ARIMA (Autorregressivo Integrado de Médias Móveis) (BOX; JENKINS, 1970), composto por uma parte autorregressiva (AR), integrado (I) e uma parte com médias móveis (MA, do inglês, *moving average*). Todavia, ao analisar variáveis ambientais, sobretudo, dados hidrológicos, é comum a identificação da sazonalidade nas séries temporais, logo, aplica-se o modelo SARIMA (Autorregressivos Sazonais Integrados de Médias Móveis), ou ARIMA multiplicativo (CAIXETA; MENEZES FILHO; FONSECA, 2021).

Desde 2009, a ANA incluiu a utilização de modelagem na metodologia dos Planos de Recursos Hídricos das bacias hidrográficas brasileiras (ANA, 2010), sendo considerada uma ferramenta fundamental para o manejo dos recursos hídricos do país, por permitir a compreensão dos fatores que afetam a disponibilidade e a qualidade da água (SILVA, 2014). Lima, Mamede e Lima Neto (2018) apontam a modelagem da qualidade como uma estratégia para avaliação dos corpos hídricos, já que o acompanhamento de processos hidrológicos realizado através de estações pluviométricas, fluviométricas, meteorológicas e sedimentológicas, por vezes torna-se inviável por nem sempre contemplar toda a área da bacia, além do seu alto custo (VIANA et al., 2018).

Além da análise de oferta e demanda de água, a simulação de cenários de mudanças climáticas é necessária para o planejamento e aplicação de políticas que identifiquem as principais incertezas e possíveis impactos, especialmente em regiões semiáridas que já enfrentam graves problemas pela escassez hídrica (SAMIMI et al., 2020; MARQUES; VERAS; RODRIGUEZ, 2022). Os cenários climáticos podem ser projeções futuras que mostrem prováveis tendências de precipitação e temperatura (DELAVAR et al., 2020), visto que são duas variáveis indispensáveis para os modelos hidrológicos. (RAHMAN et al., 2020; ZHANG et al., 2020). A variação espaço-temporal da precipitação tem influência na disponibilidade dos recursos hídricos, além de ser um dos principais elementos do ciclo hidrológico. Marengo et al. (2011) ressaltam que o aumento da temperatura relacionado à mudança climática causará maior evaporação dos reservatórios e rios.

3.4 Uso e Ocupação do Solo

A urbanização desordenada e os recursos hídricos possuem uma relação de causa e efeito quanto aos impactos existentes. O aumento das inundações, agravamento dos processos erosivos, deposição de sedimentos, escassez hídrica e as mudanças aos ecossistemas aquáticos podem ser alguns dos impactos considerados físicos. Já as alterações químicas e biológicas são provocadas pelo lançamento impróprio de esgotos sanitários e industriais, que causam degradação da qualidade da água (LEITE et al., 2018; MEDEIROS et al., 2018; ZHAO et al., 2019; HUANG et al., 2020).

O processo histórico de ocupação do semiárido brasileiro teve como principais atividades produtivas a pecuária e a agricultura de subsistência (FRANÇA et al., 2020), que podem causar a perda da biodiversidade, queda na fertilidade dos solos, além da intensificação de processos erosivos (COELHO et al., 2014; LIMA et al., 2019). Souza Neto, Grigio e Carvalho (2020) expõem que a definição de uso e ocupação do solo está relacionada diretamente às atividades e processos de apropriação de algum ecossistema pelo homem, dentre os quais pode-se citar os aglomerados urbanos, assentamentos rurais, áreas de pastagens, áreas agrícolas e industriais, que podem impactar os recursos naturais.

À vista disso, os estudos de mapeamento de uso e ocupação do solo, desenvolvidos por meio da utilização de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, são instrumentos importantes para diagnosticar o ambiente em determinada área, já que possibilitam o monitoramento dos processos naturais e antrópicos (RODRIGUES et al., 2018; XAVIER; SILVA, 2018; NASCIMENTO et al., 2020; SOUSA et al., 2022). Folharini e Souza (2019) afirmam ainda que conhecer as formas de uso e ocupação do solo em uma região permite a adoção de medidas por partes de planejadores e legisladores visando a formulação de políticas públicas e o planejamento ambiental.

Os estudos de uso e ocupação podem demonstrar os potenciais usos da área (ou quais os usos e práticas mais adequadas, relacionadas à conservação dos recursos hídricos) e os usos inadequados (como a ocorrência de conflitos em razão do uso atual e o uso recomendável) (LEITE et al., 2018; ARAÚJO; GRÍGIO; PEREIRA NETO, 2019; SOUZA NETO, GRÍGIO, CARVALHO, 2020; SANTOS et al., 2021). Os diferentes usos do solo contribuem com o processo de deterioração da qualidade da água (LIMA; CANDEIAS; CUNHA, 2018). Estudos apontam que a substituição da vegetação natural por áreas de pastagem e culturas e o lançamento de fluentes impactam os ecossistemas aquáticos. Além disso, áreas agrícolas

possuem forte influência sobre as concentrações de nutrientes na água, como o nitrogênio e o fósforo (Menezes et al., 2016; Rodrigues et al., 2018; OKUMURA et al., 2020)

Segundo Vieira e Ribeiro (2021) relacionar a interpretação de imagens de satélite e parâmetros de qualidade de água permite o diagnóstico das condições atuais de um corpo hídrico. É possível monitorar amplas regiões quanto às alterações físico, químicas e biológicas da água, além de viabilizar análises de dados em trechos relevantes das bacias hidrográficas, contribuindo para o adequado gerenciamento e a conservação deste recurso, além da qualidade de vida e de saúde da população (LIMA et al., 2019; OLIVEIRA FILHO et al., 2022).

4 ARTIGO 1 - ANÁLISE TEMPORAL DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA O RESERVATÓRIO NILO COELHO, TERRA NOVA, PERNAMBUCO

1 INTRODUÇÃO

Os impactos causados aos recursos hídricos pela crescente demanda da água, somado aos seus usos múltiplos tem ocasionado crises de escassez e, conseqüentemente, conflitos, ameaças à saúde e riscos ao desenvolvimento (GUO et al., 2019; SIMONETTI; SILVA; ROSA, 2019). Diniz e Maluf (2020) apontam que a problemática da vulnerabilidade hídrica de determinadas regiões pode ser analisada em termos de qualidade e quantidade de água.

A preocupação com o fornecimento de água em quantidade e qualidade contemplam os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). O documento criado pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015, denominado Agenda 2030, possui 17 Objetivos e 169 metas. Entre eles, tem-se o ODS 6 – Água Potável e Saneamento que visa “assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos”, além do acesso universal e equitativo à água potável, redução da poluição hídrica e a gestão integrada e participativa dos recursos hídricos (ONU, 2015).

Nas regiões em que a disponibilidade hídrica é reduzida, como é o caso do Nordeste Brasileiro, as problemáticas relacionadas a escassez são mais frequentes (BENTO et al., 2021) e estão associadas a causas naturais, como as questões climáticas, acentuadas pelas ações antrópicas nas bacias hidrográficas (GARCIA et al., 2018; WU et al., 2020). As interferências antrópicas causam modificações que podem afetar as características físicas e químicas do solo, podendo dar início a processos erosivos, elevação da salinidade e, portanto, alterações das propriedades da água e do ciclo hidrológico de um curso (CALADO, 2020).

Segundo Quinelato et al. (2020), o aumento da degradação em áreas de bacias hidrográficas ocorre em razão da retirada de áreas naturais e a substituição por outros tipos de usos da terra. Logo, os estudos de mapeamento do uso e ocupação do solo são fundamentais para o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, uma vez que, retratam as consequências das atividades antrópicas sobre os elementos naturais (SOBRAL et al., 2018; FERREIRA et al., 2020; SILVEIRA; MARTINS; OLIVEIRA, 2022).

Alilou et al. (2019) expõem que o monitoramento da qualidade da água é um fator limitante na proposição de determinadas atividades em uma região. Portanto, conhecer as propriedades físicas, químicas e biológicas dos recursos hídricos tem um papel significativo na definição para que esses recursos possam ser utilizados (SILVA et al., 2021). A Política

Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) estabelece o monitoramento das águas como um dos instrumentos de gestão, enquadrando os corpos d'água em classes, conforme os seus usos preponderantes. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), através da resolução nº357 de 2005, recomenda os limites de vários parâmetros para o enquadramento de corpos hídricos no Brasil.

Santos et al. (2018) apontam que cada parâmetro influencia de forma diferenciada na qualidade da água, podendo citar o oxigênio dissolvido, o nitrato e o fósforo, como alguns dos parâmetros mais utilizados para sua avaliação. De acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) (2016), o oxigênio dissolvido (OD) é um dos melhores indicadores da conservação dos corpos hídricos, por relacionar-se aos parâmetros físicos, químicos e biológicos. Os níveis de oxigênio dissolvido apontam a capacidade do corpo d'água natural manter a vida aquática.

O nitrogênio pode ser encontrado nas águas naturais nas formas de nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato (CETESB, 2016). O nitrato absorvido pelas plantas contribui para o crescimento de algas e plantas aquáticas. Da mesma forma que o nitrato, o fósforo é um nutriente relevante para os processos biológicos e seu excesso pode causar a eutrofização dos corpos hídricos. Estes nutrientes podem ter origem por meio de processos naturais (dissolução de rochas, carreamento do solo, decomposição de matéria orgânica e chuva) ou de processos antropogênicos (lançamento de despejos domésticos e industriais, dejetos de animais e fertilizantes) (SANTOS et al., 2018).

Segundo Soares, Cruz e Silva (2019), as informações sobre os dados de qualidade da água são indispensáveis para que os gestores desenvolvam medidas de proteção, preservação e melhoria para os recursos hídricos, especialmente em regiões que apresentam pouca disponibilidade hídrica (MO et al., 2019; SILVA; CUNHA; LOPES, 2019). Todavia, um obstáculo para a gestão dos recursos hídricos é a dificuldade em compreender os fenômenos hidrológicos. Diante disso, os modelos hidrológicos surgiram pela necessidade de obter séries hidrológicas mais longas (TUCCI, 2005) e se constituem como uma ferramenta de apoio ao planejamento, à tomada de decisão sobre os usos múltiplos dos recursos hídricos, além de possibilitar a representação de como a realidade é observada e medida (MARTINS et al., 2020; RAHMAN et al., 2020; SAMIMI et al., 2020).

O Estado de Pernambuco possui 185 municípios, dos quais 123 encontram-se na região semiárida. É considerado o menor estado em disponibilidade hídrica por habitante, detendo 1.320 m³/hab/ano, equivalente a 3,5% da média nacional (SILVEIRA et al., 2022). A Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), responsável por aplicar a PNRH para o Estado, tem

desenvolvido ações e pesquisas para uma melhor gestão e gerenciamento dos recursos hídricos, com a utilização de inovações tecnológicas, como o uso de softwares de modelagem ambiental.

Uma das inovações que podem ser exemplos de implementação é o Sistema de Unidade de Respostas Hidrológicas para Pernambuco (SUPer), ferramenta de avaliação de bacias hidrográficas para o Estado de Pernambuco, aplicando o modelo SWAT (Soil Water Assessment Tool). Constitui-se de um avançado sistema de modelagem da quantidade e qualidade de água e tem aumentado de forma considerável a usabilidade do SWAT no que se refere à simulação dos efeitos das práticas de manejo sob diferentes tipos de solos, cobertura vegetal, usos e cenários de mudanças climáticas na hidrologia, qualidade de água e produção de sedimentos em bacias hidrográficas de Pernambuco (FARIAS et al., 2020).

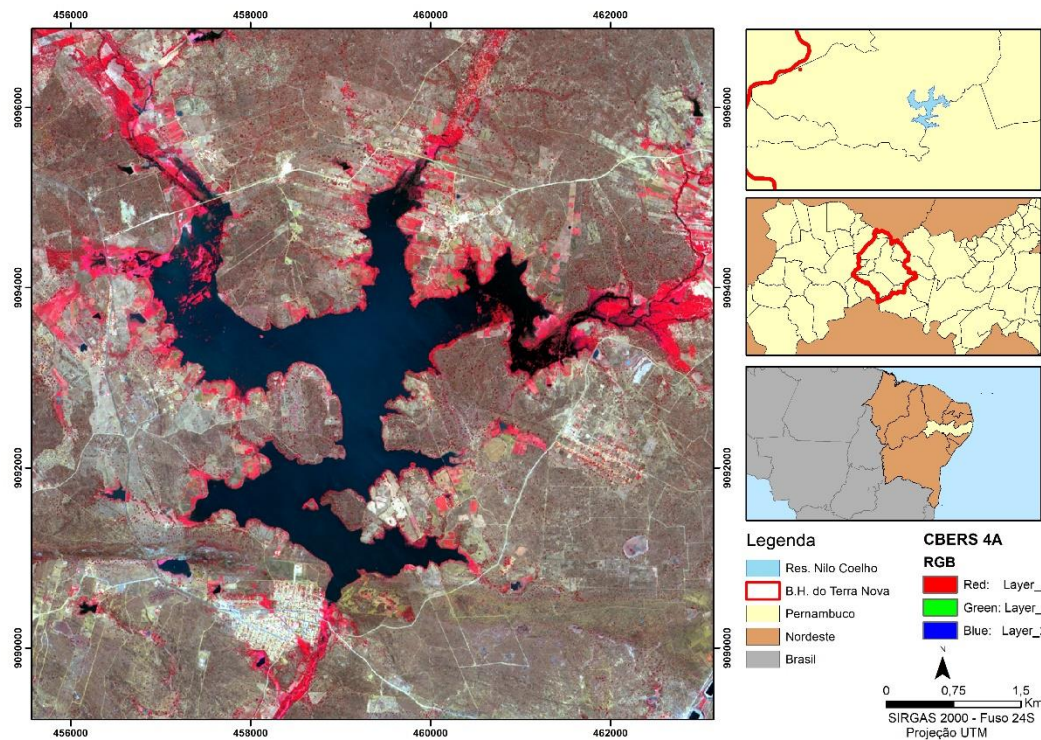
Neste sentido, é fundamental o desenvolvimento de pesquisas que utilizem a modelagem para o estudo dos recursos hídricos, especialmente nas regiões semiáridas. Nessas regiões a problemática da escassez hídrica é recorrente, além da ausência e falta de dados hidrológicos. Logo, o presente estudo teve como objetivo realizar uma análise temporal dos parâmetros de qualidade da água utilizando o SUPer, para o reservatório Nilo Coelho, localizado na cidade de Terra Nova, região semiárida do estado de Pernambuco e, posteriormente, associar aos usos e ocupação do solo da bacia hidrográfica.

2. METODOLOGIA

2.1 Caracterização da área de estudo

O reservatório Nilo Coelho está localizado entre as cidades de Terra Nova e Cabrobó e faz parte da Bacia Hidrográfica do Terra Nova (Figura 1). Tem uma capacidade de acumulação de 22,71 hm³ (ANA, 2021) e está situado na região semiárida, na mesorregião do São Francisco Pernambucano, com precipitação média anual de 564,50 mm e temperaturas que variam entre 22°C à 32°C (INMET, 2020).

Figura 1 – Localização do reservatório Nilo Coelho, Pernambuco



Fonte: A autora (2022)

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2006), os solos predominantes nas áreas próximas ao reservatório são os luvisolos crômicos e os neossolos litólicos. A cobertura vegetal predominante é a caatinga arbustiva e arbustiva arbórea, podendo ser densa ou aberta. No que refere aos usos e a ocupação do solo, destacam-se a formação savânica, infraestrutura urbana, além de áreas de agricultura e pastagem (APAC, 2013). A base da economia local é a agropecuária, predominando os rebanhos de ovino e caprino. Na agricultura destaca-se a produção de cebola.

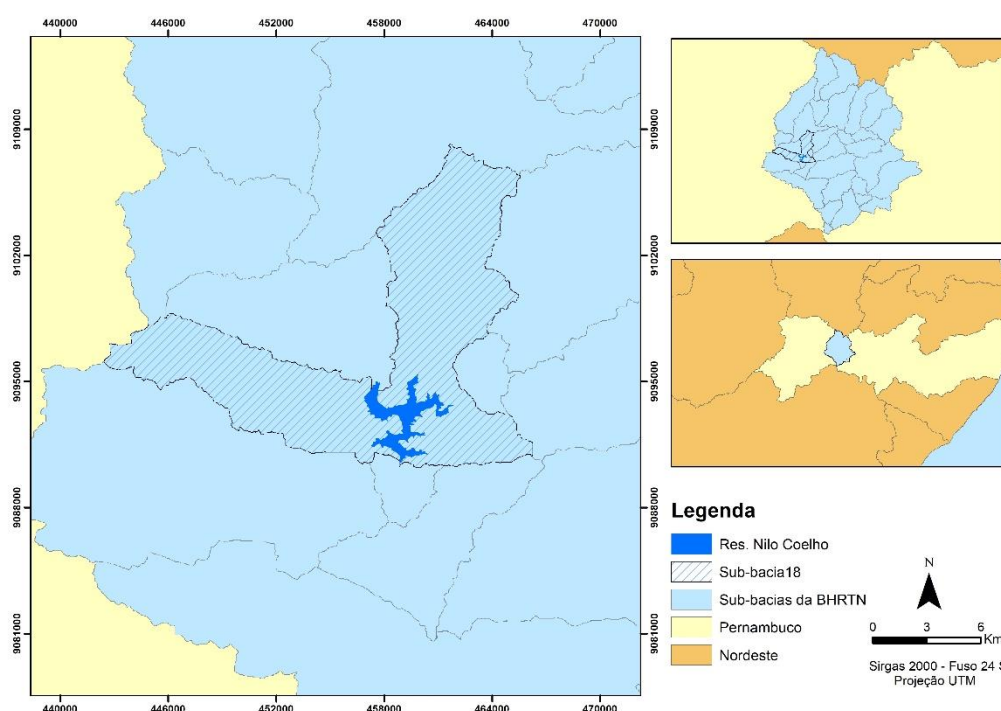
O reservatório é utilizado como manancial de abastecimento da área urbana do município de Terra Nova (PE) que possui uma população de 10.314 habitantes (IBGE, 2021) e também fornece água para a irrigação de pequenas propriedades agrícolas localizadas em Cabrobó (PE) (IDE e ANDRADE, 2017).

2.2 Dados coletados

2.2.1 Dados estimados de qualidade da água do Sistemas de Unidades de Respostas Hidrológicas de Pernambuco (SUPER)

O SUPER é um avançado sistema de modelagem da quantidade e qualidade de água das bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco, capaz de dar suporte a políticas públicas em diferentes escalas espaciais e temporais. Possui banco de dados, interface e modelos que estão sendo desenvolvidos para avaliar os impactos do manejo do solo, da poluição hídrica e das mudanças climáticas sobre a quantidade e qualidade da água dos rios e reservatórios do Estado (FARIAS et al., 2020). No SUPER, a bacia hidrográfica do Terra Nova está subdividida em 32 sub-bacias, no qual o reservatório Nilo Coelho está localizado na sub-bacia 18 (FIGURA 2).

Figura 2 – Localização do reservatório Nilo Coelho na sub-bacia 18 (SUPER)



Fonte: A autora (2022)

O SUPER está acoplado ao HAWQS (Hydrology and Water Quality System) que é capaz de trabalhar com grandes arquivos de dados e efetuar diferentes cálculos. Além disso, também permite ao usuário gerar arquivos no formato de entrada do SWAT, executar uma última versão disponível do SWAT e analisar seus resultados. Fornece ainda uma interface interativa da web e mapas; dados de entrada pré-carregados; resultados que incluem tabelas, gráficos e dados de saída; um guia do usuário, e projetos de modelagem com desenvolvimento, execução e armazenamento online para os usuários (GALVÍNCIO, 2021).

Para a análise de qualidade de água, o SUPER dispõe de algumas das variáveis utilizadas para a verificação das condições dos ecossistemas, dentre as quais podemos citar o oxigênio

dissolvido (equação 1), o nitrato (equação 2) e o fósforo (equação 3), obtidas por meio das seguintes equações:

$$Ox_{surf} = Ox_{sat} - K_1 \cdot cbod_{surq} \cdot \frac{t_{ov}}{24} \quad (1)$$

Em que, Ox_{surf} é a concentração de oxigênio dissolvido no escoamento superficial (mg L⁻¹), Ox_{sat} é a concentração de oxigênio de saturação (mg L⁻¹), K_1 é a taxa de desoxigenação CBOD (dia), $cbod_{surq}$ é a concentração de CBOD no escoamento superficial (mg L⁻¹) e t_{ov} é o tempo da concentração de escoamento superficial (hr).

$$\Delta NO3_{str} = (\beta_{N,2} \cdot NO2_{str} - (1 - fr_{NH4}) \cdot \alpha_1 \cdot \mu_a \cdot algae) \cdot TT \quad (2)$$

Em que, $\Delta NO3_{str}$ é a concentração de nitrato (mg L⁻¹), $\beta_{N,2}$ é coeficiente da taxa para oxidação biológica de nitrato para nitrato (dia ou hr), $NO2_{str}$ é a concentração de nitrito no começo do dia (mg L⁻¹), fr_{NH4} é a fração de nitrogênio algal absorvida do reservatório de amônia, α_1 é a fração de biomassa de algas que são nitrogênio (mg N mg alg biomassa), μ_a é a taxa de crescimento local de algas (dia ou hr), $algae$ é a concentração de biomassa algal no começo do dia (mg alg L⁻¹) e TT é o tempo de curso do fluxo na água (dia ou hr).

$$\Delta orgP_{str} = (\alpha_2 \cdot \rho_a \cdot algae - \beta_{P,4} \cdot orgP_{str} \cdot \sigma_5 \cdot orgP_{str}) \cdot TT \quad (3)$$

Em que, $\Delta orgP_{str}$ é a concentração de fósforo (mg L⁻¹), α_2 é a fração de biomassa algal que é fósforo (mg P mg alg biomassa), ρ_a é a respiração local ou taxa de morte de algas (dia ou hr), $algae$ é a concentração de biomassa algal no começo do dia (mg alg L⁻¹), $\beta_{P,4}$ é o coeficiente da taxa de mineralização de fósforo orgânico (dia ou hr), $orgP_{str}$ é a concentração de fósforo no começo do dia (mg L⁻¹), σ_5 é o coeficiente da taxa para decantação do fósforo orgânico (dia ou hr) e TT é o tempo de curso do fluxo na água (dia ou hr).

2.2.2 Dados observados de qualidade da água da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR)

Os dados observados de qualidade de água foram obtidos junto a ANA, através do portal HidroWeb – Sistema de Informações Hidrológicas. O portal é uma ferramenta integrante do

Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e fornece um banco de dados com as informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), reunindo dados de níveis fluviais, vazões, chuvas, climatologia, qualidade da água e sedimentos.

O reservatório Nilo Coelho possui uma Estação Fluviométrica de código 48177000, localizada entre -8,23 de latitude S e -39,37 de longitude O. Foram selecionados os dados dos seguintes parâmetros de qualidade de água: oxigênio dissolvido, nitrato e fósforo total, para os anos de 2014 a 2019 disponíveis no site, visto que estes parâmetros também estão disponíveis no SUPeR. Para os dados que estavam ausentes no portal, foram admitidos o valor zero.

Já os dados físico-químicos de qualidade de água do MDR, foram obtidos por meio do Pedido de Informação registrado no Fala.BR sob o nº 59016.001165/2022-96, oriundos dos relatórios do Programa de Monitoramento de Qualidade de Água e Limnologia - PBA 22, do Eixo Norte do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF).

2.3 Análise de dados

2.3.1 Análise de precisão dos dados estimados do SUPeR

Para a análise de precisão dos dados estimados de qualidade da água, obtidos no SUPeR, foram selecionados conforme a disponibilidade de dados observados disponíveis, conforma a tabela 1.

Tabela 1 - Dados observados de qualidade da água obtidos no HidroWeb e MDR (valores em mg L⁻¹)

Dados ANA e MDR			
Data da Coleta	Oxigênio Dissolvido	Nitrato	Fósforo
12/12/2019	7,10	0,08	0,06
11/04/2019	7,80	0,14	0,15
18/09/2019	5,90	0,08	0,16
18/06/2019	7,30	0,08	0,07
26/03/2019	6,00	0,09	0,13
19/06/2018	6,90	0*	0,1
21/03/2018	5,10	0*	0,35
21/03/2017	9,09	0,32	0,33
20/07/2016	8,50	0*	0,10
27/04/2015	8,78	0,50	0,36

08/10/2014	7,48	1,10	0,60
-------------------	------	------	------

*Não há dados disponíveis no portal, logo foi atribuído o valor zero.

Fonte: HidroWeb e MDR. Dados organizados pela autora (2022).

2.3.2 Análise temporal da qualidade de água utilizando dados do SUPer

Para a análise temporal dos parâmetros de qualidade da água, toda a série histórica disponível no SUPer foi analisada, compreendendo os anos de 1963 a 2021. Utilizou-se a resolução 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que dispõe sobre a classificação e o enquadramento dos corpos hídricos. A resolução estabelece ainda que para corpos hídricos que ainda não possuam enquadramentos, que é o caso do Reservatório Nilo Coelho, utiliza-se a classe 2 para águas doces. Os limites estabelecidos para cada parâmetro estão dispostos na tabela 2.

Tabela 2 - Limites estabelecidos pela resolução 357 do CONAMA para o oxigênio dissolvido, nitrato e fósforo

Variável	Limite estabelecido
Oxigênio Dissolvido	5 mg L ⁻¹
Nitrato	10 mg L ⁻¹
Fósforo (para ambientes lênticos)	0,030 mg L ⁻¹

Fonte: CONAMA, adaptado pela autora.

A Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH), de forma complementar, classifica os corpos hídricos com condições similares com os limites propostos pelo CONAMA, para águas doces de classe 2 como Pouco Comprometida, já que apresentam boa qualidade da água, com baixos níveis de poluição.

2.4 Critérios de avaliação dos dados estimados do SUPer

2.4.1 Erro quadrático médio (RMSE)

A avaliação da precisão dos dados estimados do SUPer, utilizou-se o erro quadrático médio (*Root Mean Square Error* – RMSE). O RMSE é a medida que calcula a raiz quadrática média dos erros entre valores observados e previsões (GALVÍNCIO; LUZ, 2021), conforme a equação (4):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Ei - Oi)^2} \quad (4)$$

Em que: Ei e Oi são os valores estimados e observados (medidos), respectivamente, e n é o número de observações.

O RMSE é uma medida da magnitude média dos erros estimados, tem valor sempre positivo e quanto mais próximo de zero, maior a qualidade dos valores medidos ou estimados (SANTOS et al., 2014).

2.5 Mapeamento do uso e ocupação do solo

Para a elaboração dos mapas de uso e ocupação do solo foram adquiridas imagens de satélite através de acesso ao *United States Geological Survey* (USGS), do sensor TM a bordo do satélite Landsat 5 e do sensor *Operational Land Imager* (OLI) a bordo do satélite Landsat 8 para as órbitas e pontos 216-066, 217-065 e 217-66. Para o presente estudo as datas foram escolhidas levando em consideração o mesmo período, a menor quantidade possível de nuvens e a proximidade de datas entre as órbitas, sendo utilizadas as datas do mês de agosto e setembro dos anos de 1998, 2008 e 2018, conforme a tabela 3.

Tabela 3 - Imagens utilizadas para a elaboração dos mapas de uso e ocupação do solo

Data da imagem	Sensor	Órbita e ponto
19/09/1998	Landsat 5	216-066
26/09/1998	Landsat 5	217-065
26/09/1998	Landsat 5	217-066
14/09/2008	Landsat 5	216-066
21/09/2008	Landsat 5	217-065
21/09/2008	Landsat 5	217-066
25/08/2018	Landsat 8	216-066
17/09/2018	Landsat 8	217-065
17/09/2018	Landsat 8	217-066

Fonte: A autora com base no USGS.

Inicialmente foi feita a composição colorida com as bandas 1 a 7, para o Landsat 5, e bandas 2 a 7 para o Landsat 8. Posteriormente as coordenadas das imagens foram reprojeta

para o hemisfério sul, visto que, as cenas adquiridas no EarthExplorer vêm projetadas para o hemisfério norte. Por se tratar de uma grande área, composta por três cenas (216-066, 217-065 e 217-066), foi necessário juntá-las utilizando a ferramenta mosaico. Esse processamento consistiu em unir as três imagens, formando uma outra de maior dimensão que compreendesse toda a área da bacia.

Após a composição das cenas, utilizou-se a composição 5(R) 4(G) 3(B) para a melhor identificação das classes de uso e ocupação do solo nas imagens do Landsat. Posteriormente, foram coletados cerca de 120 pixels para cada classe utilizando o método da Máxima-Verossimilhança (MENESES; ALMEIDA, 2012), criando assim quatro categorias para os diferentes usos do solo: corpos hídricos, solo exposto ou área urbanizadas, agricultura ou pastagens e caatinga (PROBIO, 2002).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação temporal dos parâmetros de qualidade da água

Para a análise da precisão dos valores dos parâmetros de qualidade da água obtidos no SUPe foram extraídos os valores das mesmas datas das variáveis disponibilizadas pelo portal do HidroWeb (ANA) e pelo MDR. Os dados estão dispostos na tabela a seguir.

Tabela 4 - Valores de média, desvio padrão e RMSE para os dados observados da ANA e MDR e dados estimados do SUPe (Os valores estão em mg L⁻¹)

VARIÁVEIS						
Data da Coleta	OD (ANA/MDR)	OD (SUPe)	N (ANA/MDR)	N (SUPe)	P (ANA/MDR)	P (SUPe)
12/12/2019	7,10	6,90	0,08	1,07	0,06	0,24
11/04/2019	7,80	6,90	0,14	0,48	0,15	0,37
18/09/2019	5,90	8,07	0,08	0,24	0,16	0,01
18/06/2019	7,30	8,10	0,08	0,27	0,07	0,00
26/03/2019	6,00	6,04	0,09	1,36	0,13	0,31
19/06/2018	6,90	8,10	0*	0,14	0,1	0,01
21/03/2018	5,10	6,65	0*	4,64	0,35	0,97
21/03/2017	9,09	7,33	0,32	1,6	0,33	0,08

20/07/2016	8,50	8,45	0*	0,42	0,10	0,01
27/04/2015	8,78	7,52	0,50	0,68	0,36	0,06
08/10/2014	7,48	8,22	1,10	1,34	0,60	0,002
Média	7,27	7,48	0,30	1,11	0,22	0,19
Desvio Padrão	1,20	0,74	0,33	1,21	0,16	0,27
RMSE	1,11		0,83		0,25	

Fonte: HidroWeb, MDR e SUPeR. Dados organizados pela autora (2022)

Para o RMSE, o fósforo obteve o menor valor, 0,25 mg L⁻¹, enquanto que o nitrato e o oxigênio dissolvido obtiveram 0,83 mg L⁻¹ e 1,11 mg L⁻¹, nesta ordem. Resultado semelhante foi encontrado por Almeida et al. (2020), em estudo de predição para parâmetros de qualidade da água, no qual identificaram os menores valores de RMSE para o fósforo (0,01). Vale ressaltar que os resultados impostos podem ser influenciados pela ausência de informações disponíveis, obtidas através do portal da ANA.

Apesar do Brasil ser um dos países mais importantes para os fluxos hídricos globais, possui limitações nas observações hidrológicas, que gera grandes desafios para o conhecimento adequados de seus recursos hídricos (ALMAGRO; OLIVEIRA; BROCCA, 2021; DANTAS et al., 2022). Pesquisas recentes, como a de Medeiros, Silva e Lins (2018) e Santos et al. (2020), ressaltam que a falta de informações, na região Nordeste do Brasil, interfere no desenvolvimento de pesquisas, já que são poucas as séries históricas relativas à qualidade de água, além das análises espaço-temporais serem incipientes, visto que nessa região há poucas estações de monitoramento.

Por essa razão, os modelos hidrológicos se mostram como ferramentas fundamentais para a gestão de recursos hídricos, por possibilitar o uso dos seus resultados no planejamento dos usos múltiplos da água (CHEN et al., 2018). A análise temporal dos parâmetros de qualidade da água (Oxigênio dissolvido, Nitrato e Fósforo Total) utilizando o SUPeR, compreendem os anos de 1963 à março de 2021, totalizando 699 meses. A tabela 5 contém os valores de média, desvio padrão, valores mínimo e máximo para cada parâmetro.

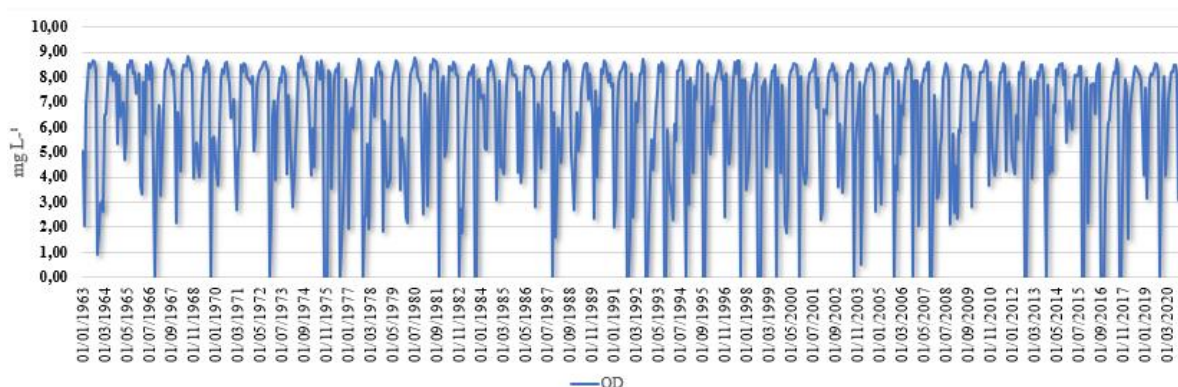
Tabela 5 - Dados de média, desvio padrão, valor mínimo e máximo para as variáveis estudadas.

Variável	Análises			
	Média	Desvio Padrão	Valor Mínimo	Valor Máximo

Oxigênio dissolvido (mg L ⁻¹)	6,39	2,47	0,00	8,81
Nitrato (mg L ⁻¹)	1,65	2,47	0,00	19,14
Fósforo Total (mg L ⁻¹)	0,40	0,79	0,00	5,78

De acordo com Esteves (1998), o oxigênio é um dos parâmetros mais importantes da dinâmica dos ecossistemas aquáticos. A figura 3, demonstra os valores de oxigênio dissolvido (OD) obtidos na análise temporal do reservatório de Nilo Coelho, em que mais de 74% dos dados (correspondendo a 522 meses analisados), este parâmetro manteve-se acima de 5 mg L⁻¹.

Figura 3 - Análise temporal do oxigênio dissolvido (jan/1963 a mar/2021)



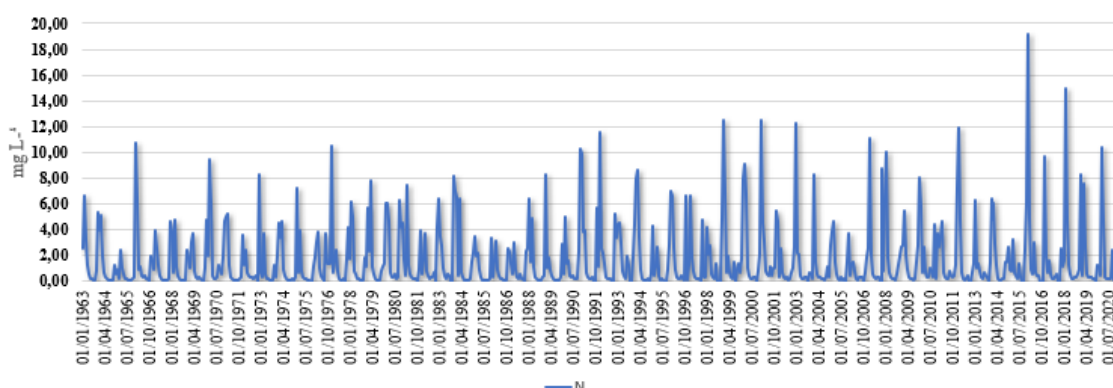
Américo-Pinheiro e Ribeiro (2019) afirmam que, em ambientes com baixos níveis de trofia, a concentração de OD é geralmente mais elevada, atingindo valores superiores a 5 mg L⁻¹. Resultados similares foram encontrados por Medeiros, Silva e Lins (2018), em estudo na BH do rio Longá (PI), que obtiveram valores médios para o OD de 7,9 mg L⁻¹ e 8,0 mg L⁻¹. Assim como por Sales et al. (2020) que identificaram valores acima de 5 mg L⁻¹, atendendo à legislação para águas doces de Classe 2, na região do baixo São Francisco sergipano.

Os valores inferiores à 5 mg L⁻¹ (26%) ocorreram em sua maioria no período chuvoso, como por exemplo no mês de janeiro de 2016, o valor para o OD foi de 2,18 mg L⁻¹. Segundo Esteves (1998), em lagos rasos, como é o caso da maioria dos lagos e reservatórios brasileiros, o grau de desoxigenação da água está relacionado a concentração de matéria orgânica associadas às altas temperaturas. O autor pontua ainda que esses ecossistemas sofrem grandes variações de nível de água, acentuadas no período chuvoso, acarretando no aumento da concentração de matéria orgânica, que interfere diretamente na dinâmica do oxigênio dissolvido.

Resultados similares foram obtidos por Barroso, Pinheiro e Pereira (2018) que identificaram uma redução de OD no reservatório no período de precipitação mais elevada, que pode contribuir para um maior aporte de matéria orgânica para a água, proveniente do escoamento superficial na bacia de drenagem. Araújo et al. (2020) expõem que baixas concentrações de OD são um grave problema para o ecossistema, pois indica condições de anoxia para as espécies mais sensíveis. Tao et al. (2018) e Garcia et al. (2020) apontam o oxigênio dissolvido como o parâmetro mais importante, visto que é fundamental para a sobrevivência dos organismos aquáticos. Figur e Reis (2017) consideram o OD como limitante para a manutenção da vida aquática, logo em casos de pouco oxigênio, há algum problema no ecossistema.

De acordo com Sperling (1996), os processos bioquímicos de conversão do nitrogênio a nitrato, implicam no consumo de oxigênio dissolvido do meio, o que pode impactar os ecossistemas. Ademais, as concentrações de nitrato são identificadas em ambientes com poluições mais remotas, enquanto que o nitrogênio e a amônia em poluições mais recentes. Para o reservatório Nilo Coelho, em toda a análise temporal, em cerca de 57% dos dados, as concentrações de nitrato mantiveram-se menores a $1,00 \text{ mg L}^{-1}$, conforme a figura 4. Resultados semelhantes foram obtidos por Melo et al. (2018) que identificaram concentrações de nitratos dentro dos limites estabelecidos pelo CONAMA. Caldas (2021), em estudo desenvolvido no Eixo Leste do PISF, identificou pequenas variações e baixos índices de nitrato.

Figura 4 - Análise temporal do nitrato (jan/1963 a mar/2021)



Apenas doze meses excederam o valor de $10,00 \text{ mg L}^{-1}$, valor máximo permitido pelo CONAMA para a variável nitrato em águas doces de Classe 2. Pode-se destacar o mês de janeiro de 2016, onde o nitrato atingiu uma concentração de $19,14 \text{ mg L}^{-1}$, sendo que para este mês houve uma precipitação de 145 mm em Terra Nova (APAC, 2021). Soares, Cruz e Silva (2019),

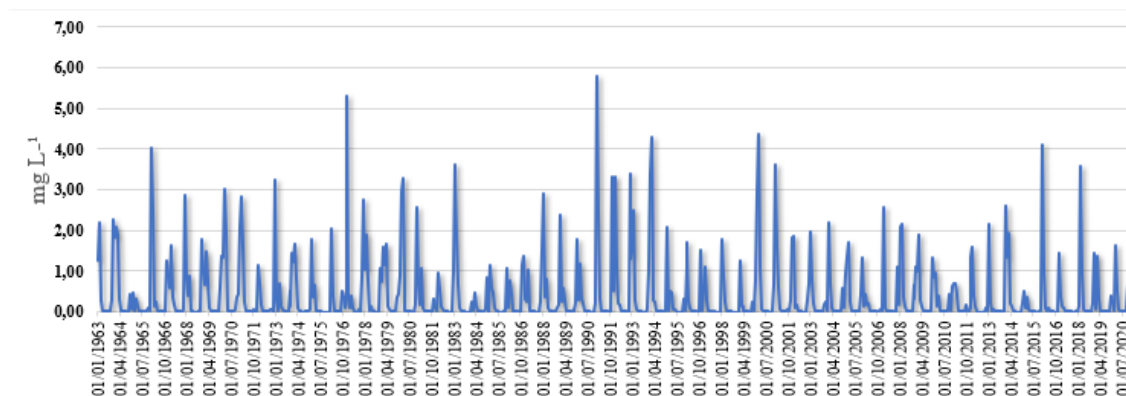
em análises realizadas no Rio Parnaíba, também obtiveram os valores mais elevados para o nitrato durante o período chuvoso, o que pode indicar poluição.

Glória, Horn e Hilgemann (2017) apontam ainda que a eutrofização é o principal problema associado às altas concentrações de nitrato, visto que é um elemento indispensável para o crescimento de algas. Quando em excesso no ambiente, tais organismos podem causar alterações nos corpos d'água como problemas organolépticos, transparência, redução de oxigênio, mortandade de peixes e obstrução dos cursos d'água.

Sales et al. (2020) afirmam que em bacias hidrográficas que há atividades de agricultura irrigada, o aumento de nitrato pode estar associado às práticas agrícolas, uso de fertilizantes, revolvimento do solo, erosão e drenagem. Por estar presente na maioria das águas superficiais e serem oriundos de fontes humanas, animais e dos fertilizantes, o nitrato pode refletir a condição de saneamento da água (MORAIS et al., 2020). Américo-Pinheiro e Ribeiro (2019) reforçam que em águas utilizadas para consumo humano, deve-se ter cuidado com a presença de nitrato que é responsável por causar danos à saúde.

Quanto ao parâmetro fósforo cerca de 54% (377 meses) dos dados se mantiveram dentro do limite para classe 2 de águas doces, com valores até $0,030 \text{ mg L}^{-1}$, em toda a análise temporal (FIGURA 05). Sales et al. (2020) demonstraram valores similares em estudo desenvolvido na Bacia Escola Jacaré-Curitiba. Barroso, Pinheiro e Pereira (2018), em estudo desenvolvido na UHE de Nova Ponte (MG), identificaram valores acima de $0,030 \text{ mg L}^{-1}$, que podem estar relacionados aos fertilizantes utilizados em atividades agrícolas na região, corroborando com o presente estudo, já que na área de entorno do reservatório pode-se observar forte interferência antrópica, além da existência de cultivos agrícolas.

Figura 5 - Análise temporal do fósforo (jan/1963 a mar/2021)



Medeiros, Silva e Lins (2018) identificaram valores acima de $0,022 \text{ mg L}^{-1}$ no período chuvoso. Considerando que a maior concentração de fósforo coincidiu com o período chuvoso,

possivelmente sua origem pode ser da lixiviação do solo. Na área de entorno do reservatório, o predomínio de neossolos litólicos e luvisolos crômicos, favorecem a lixiviação de sedimentos e fertilizantes, já que se caracterizam por serem solos rasos, arenosos, com ocorrência de pedregosidade na superfície, além de forte tendência à erosão (SANTOS et al., 2018).

Em 43% (299 meses) dos dados, o valor de fósforo esteve acima de $0,05 \text{ mg L}^{-1}$. Segundo Freire, Costa e Lima Neto (2021), o aumento da concentração de nutrientes na estação chuvosa também pode ser associado a erosão dos sedimentos. Elevadas concentrações de fósforo são uma das principais causas de eutrofização no meio aquático. Podem estar relacionadas com atividades antrópicas, em razão do lançamento de esgoto doméstico, efluentes industriais, além de resíduos de fertilizantes, contribuindo com o aumento da concentração de nutrientes na coluna d'água, acelerando o processo de eutrofização (QUINELATO et al., 2020; ARAÚJO JUNIOR, 2021).

3.2 Análise do uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Terra Nova

Ao longo de 30 anos, a Bacia Hidrográfica do Terra Nova obteve diferentes fases de uso e ocupação do solo, apresentando diversas causas na sua variação espaço-temporal, desde alterações nos recursos hídricos à vegetação e, conseqüentemente, nas áreas urbanizadas (FIGURA 06). O mapeamento do uso do solo e cobertura vegetal é fundamental para compreender a dinâmica das bacias hidrográficas, já que o uso intensivo e irregular do solo tem ocasionado a deterioração da qualidade da água (OKUMURA et al., 2020).

Na análise para a classe de corpos hídricos, destaca-se o aumento da disponibilidade de água na região que passou de 0,28% para 1,28%. Esta variação está relacionada à construção dos cinco reservatórios do Eixo Norte do PISF que, para o ano de 2018, os reservatórios de Terra Nova, Serra do Livramento e Mangueira já estavam abastecidos. Assis et al. (2014), em estudo desenvolvido no município de Belém do São Francisco, nos anos de 1985 e 2010, observaram um aumento no percentual dos corpos hídricos de 2,4% para 3,8% em razão do reservatório de Itaparica, construído na década de 1980.

Para a classe de Caatinga, nos anos de 1998 e 2008, os valores mantiveram-se acima de 75%. Santos et al. (2021), em estudo na bacia do açude Cachoeira II, identificaram predominância das áreas de Caatinga na região. Na bacia hidrográfica do Terra Nova com o aumento da disponibilidade hídrica e das áreas agrícolas, a área de Caatinga apresentou uma redução para 61,57% da área, no ano de 2018. Coelho et al. (2014) observaram uma substituição progressiva das áreas de Caatinga por áreas de pastagem e agricultura, entre os anos de 1991 e 2010.

Para as áreas de solo exposto e área urbanizadas, entre os anos de 1998 e 2008, pode-se observar uma diminuição dessas áreas passando de 10,99% para 4,45%, respectivamente. Para o ano de 2018, essa classe aumentou em apenas 0,57%, passando a representar 5,02% da área da bacia, todavia percebe-se o aumento para as classes de corpos hídricos e áreas agrícolas/pastagens. Assis et al. (2014) verificaram um aumento das áreas de solo exposto/áreas urbanas em 3,5% para os anos de 1985 e 2010, no município de Belém do São Francisco. França et al. (2020), em estudo desenvolvido na bacia hidrográfica do Pajeú, pontuou que a classe de área urbana obteve a menor representatividade, visto que a área da bacia compreende uma região interiorana, onde as cidades são de pequeno/médio porte.

Silva et al. (2020) expõem que o aumento das áreas de solo exposto associada à redução da vegetação nativa, tornam a bacia hidrográfica vulnerável a processos erosivos, sendo necessário o manejo adequado dessas áreas. Rodrigues et al (2019) abordam ainda que o ideal é a não existência deste tipo de uso, visto que caracteriza áreas desprovidas de vegetação, o que favorece a degradação ambiental.

Em relação às áreas de agricultura e pastagem, pode-se identificar o aumento gradativo conforme os anos, obtendo valores de 12,96% para 1998, 19,10% para 2008 e 32,13% para 2018. Silva et al. (2020), em estudo desenvolvido na bacia hidrográfica do ribeirão Espírito Santo, verificaram que as áreas de pastagens representam 36,5% da área da bacia. Leite et al. (2018), identificaram as áreas de pastagens como predominantes na bacia hidrográfica do córrego Cantagalo, ocupando 71,36% da área total da bacia. Os autores pontuam ainda o

potencial para o manejo de pastagens como alternativa para a conservação dessas áreas e a redução de seus impactos ambientais.

Percebe-se também a crescente das áreas agrícolas, conforme a maior disponibilidade hídrica com as águas do PISF e a consequente redução das áreas de Caatinga. De acordo com o Plano Estadual de Recursos Hídricos (2022), na área da bacia há o predomínio da produção de cebola e arroz, sobretudo nas áreas próximas ao Rio São Francisco. Souza Neto, Grégio e Carvalho (2020) apontaram o espaço rural como um dos principais causadores da transformação das paisagens naturais. Medeiros et al. (2018) identificaram o crescimento de terras agricultáveis após a construção da barragem no reservatório Sobradinho. Alexandre et al. (2018) constataram o aumento das áreas agrícolas para o ano de 2016, quando comparado ao ano de 2007 e a consequente diminuição das áreas de vegetação da bacia hidrográfica do açude Acarape do Meio.

4. CONCLUSÃO

Apesar da pouca quantidade de dados observados disponíveis, comparados à série histórica disponível no SUPeR, pode-se sugerir a utilização desse software para a gestão dos recursos hídricos. Recomenda-se a aplicação de estudos de precisão da série de dados de qualidade de água estimados pelo SUPeR para outros reservatórios do Estado, em que haja estações de monitoramento. Todavia, é fundamental a realização de mais coletas para análise e monitoramento da qualidade da água, possibilitando uma melhor validação do SUPeR, além de disponibilização dos dados para a comunidade, como recomenda a Política Nacional de Recursos Hídricos.

Quanto a análise temporal da qualidade de água, pode-se concluir que a água do reservatório Nilo Coelho pode ser classificada como pouco comprometida, já que maior parte dos dados se encontram dentro dos limites estabelecidos pela resolução. Percebe-se uma maior variação nos valores de fósforo, que pode ser associado à presença de áreas urbanas, além de áreas agrícolas no entorno do reservatório. Recomenda-se um monitoramento contínuo na região, já que o reservatório também é utilizado para o abastecimento humano.

O mapeamento do uso e ocupação do solo na região da bacia demonstrou que ao longo do período analisado (30 anos) houve o crescimento da disponibilidade hídrica e das áreas agrícolas e, consequentemente a redução das áreas de Caatinga, principalmente após a construção dos reservatórios do PISF. A elaboração dos mapas de uso e ocupação do solo auxiliam na compreensão das consequências dos impactos das ações antrópicas na região. Além

disso, os mapas gerados fornecem dados que podem ser utilizados pela sociedade, além do poder público para fins de planejamento ambientais e formulação de políticas públicas visando trazer qualidade de vida à população.

5 ARTIGO 2 - INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TERRA NOVA, PERNAMBUCO

1 INTRODUÇÃO

O último relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC) aponta que as quatro últimas décadas foram mais quentes que todas as anteriores desde 1850 (IPCC, 2021). O IPCC define a mudança climática como as alterações do clima no tempo em razão da variabilidade natural e/ou decorrente das ações humanas”. Os impactos projetados das mudanças climáticas acentuarão ainda mais a situação de escassez de águas em regiões áridas e semiáridas, dificultando a gestão das águas nessas regiões (KAHIL; DINAR; ALBIAC, 2015).

De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) (2016), as mudanças climáticas constituem-se como um problema complexo e um desafio global. Galvínio (2019) aponta que, nos últimos anos, as mudanças do clima têm causado alterações nos padrões de temperatura e no regime de chuvas, influenciando os processos hidrológicos, causando impactos nos ecossistemas e na sociedade. Essas modificações comprometem a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos, aumentando a frequência de eventos hidrológicos críticos (SILVA G. et al., 2020; DANESHI et al., 2021). No Brasil, a região Nordeste é considerada vulnerável às mudanças do clima e necessita de mais estudos acerca das alterações climáticas naturais e antrópicas (GOMES et al., 2021).

Segundo projeções do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) (2013), todo o Brasil deverá ficar ao menos 3°C mais quente. Para a região Nordeste o aumento previsto é de 0,5 a 1°C da temperatura até o ano de 2040, e para o período de 2041-2070, um acréscimo de 1,5 a 2,5°C. O aumento da temperatura impacta profundamente a população, trazendo consequências sociais e econômicas (VIEIRA et al., 2018). Estimativas de aumento da temperatura e estresse hídrico em algumas regiões do Brasil, podem ocasionar queda da produtividade agrícola e afetar a segurança alimentar (FREITAS; CALHEIROS; REIS, 2019).

As projeções do PBMC (2013) para o nordeste brasileiro são de decréscimo entre 10% e 20% da precipitação durante as próximas três décadas (até 2040), e diminuição entre 25% e 35% nos padrões de chuva no período de 2041-2070. Em regiões como o Nordeste, principalmente no semiárido, a precipitação é uma variável determinante das condições do clima local. além de ser a entrada principal no sistema hidrológico (ANDRADE et al., 2018; ZHANG et al., 2020). As mudanças na precipitação influenciam de forma significativa os

ecossistemas e as atividades humanas, e poderão causar eventos extremos mais intensos e frequentes (IPCC, 2014; ZHENG et al., 2019).

O Estado de Pernambuco possui cerca de 70% da área total de climas do tipo semiárido, além de possuir um histórico de desastres naturais ligados a eventos de estiagem e seca prolongados (ANGELOTTI; SIGNOR; GIONGO, 2015). Entre os anos de 1991 a 2010, 5.227.293 pernambucanos foram afetados pelos eventos de estiagens e secas (ANDRADE et al., 2018). Lacerda et al. (2016), em seu estudo acerca das mudanças climáticas em Pernambuco, identificaram um aumento de 4°C na temperatura máxima diária no período de 1961 a 2009 e diminuição da precipitação em 275 mm.

Sob o âmbito estadual, a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) é órgão responsável pela aplicação da Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH) para Pernambuco e tem desenvolvido ações e pesquisas com inovações tecnológicas para uma melhor gestão e gerenciamento dos recursos hídricos, como a utilização de modelos hidrológicos. Ademais, nota-se no estado a utilização de modelos hidrológicos como fator potencial para análise de ambientes, e proporciona vantagens de prever e verificar cenários, sejam eles realistas ou hipotéticos, com custos menores e economia de tempo para observação de mudanças físicas e antrópicas nas bacias hidrográficas, principalmente em regiões onde as observações são escassas ou inacessíveis (VIANA et al., 2018; RAHMAN et al., 2020).

Ainda no estado de Pernambuco, nota-se a inclusão e ativação do Sistema de Unidade de Respostas Hidrológicas para Pernambuco (SUPer), ferramenta de avaliação de bacias hidrográficas para o Estado, derivando do modelo hidrológico SWAT (*Soil Water Assessment Tool*). O SUPer constitui-se de um avançado sistema de modelagem da quantidade e qualidade de água e pode ser usado para avaliar os impactos do manejo do solo, da poluição hídrica e das mudanças climáticas sobre a quantidade e qualidade da água dos rios e reservatórios do estado (GALVÍNCIO, 2021).

Nesse contexto, percebe-se que a utilização de sistemas de modelagens, sejam eles estáticos ou não, influenciam positivamente nas análises hídricas da região, como também em bacias hidrográficas diversas. Desta forma, a bacia Hidrográfica do Terra Nova se inclui, localizada na região semiárida de Pernambuco, faz parte dos principais afluentes do rio São Francisco. A respectiva utiliza as águas do Eixo Norte do Projeto de Integração do São Francisco (PISF), que possui 7 portais de entrega, sendo 6 deles pertencentes a bacia do Terra Nova, possuindo grande importância para os agricultores e famílias ribeirinhas que vivem na região (APAC, 2022). Desta forma, as águas do PISF trazem expectativas de uma melhoria para

a segurança hídrica da região, sendo relevante a avaliação dos impactos ambientais e o monitoramento nesses espaços (MDR, 2022).

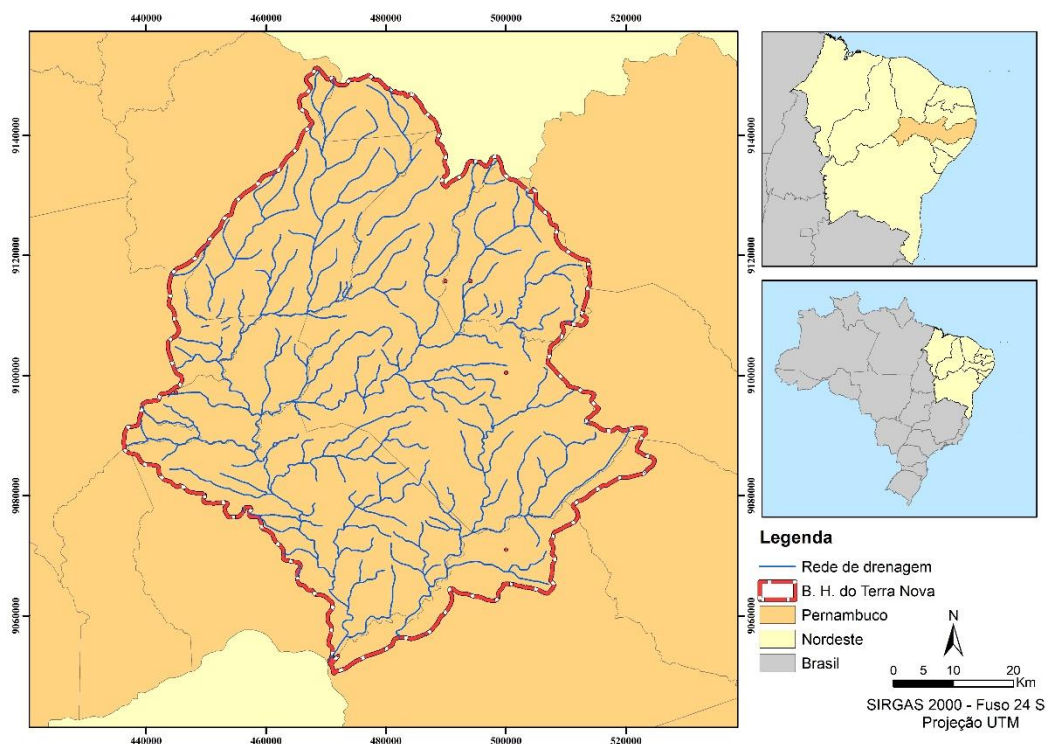
O PISF como fator integrativo faz relevante a necessidade de pesquisas sobre monitoramento e análise ambiental, sobretudo pelas intempéries projetadas por consequência das mudanças climáticas. Ainda sobre as mudanças climáticas e suas pesquisas, estudos demonstraram que a oferta-demanda de água em qualidade são fundamentais para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos de usos múltiplos, minimizando potenciais crises (FERNANDES et al., 2017; JAISWAL; LOHANI; TIWARI, 2021). Deste modo, o presente trabalho tem como objetivo analisar como os cenários de mudanças climáticas podem impactar a qualidade da água da Bacia Hidrográfica do Terra Nova.

2. METODOLOGIA

2.1 Caracterização da área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Terra Nova está localizada no Sertão de Pernambuco, entre 7° 40' 20" e 8° 36' 57" Latitude S e 38° 47' 04" e 39° 35' 58" de Longitude W (SALES, 2001), apresenta uma área de 4.887,71 km², correspondente a 4,97% da área do estado (Figura 1). Limita-se ao norte com o estado do Ceará, ao sul com os grupos de bacias de pequenos rios interiores 4 e 5 - GI4 e GI5 e o rio São Francisco, a leste com a bacia do rio Pajeú e a oeste com a bacia do rio Brígida (APAC, 2022).

Figura 1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Terra Nova, Pernambuco



Fonte: A autora (2022).

A área de drenagem da bacia envolve 12 municípios dos quais 3 estão totalmente inseridos na bacia (Cedro, Salgueiro e Terra Nova), 2 possuem sede na bacia (Serrita e Verdejante) e 7 estão parcialmente inseridos (Belém do São Francisco, Cabrobó, Carnaubeira da Penha, Mirandiba, Orocó, São José do Belmonte e Parnamirim) (APAC, 2022). A bacia está inserida no semiárido nordestino, com uma precipitação pluviométrica marcada pela variabilidade espaço-temporal bem definida, dividida em dois períodos. No período úmido, as chuvas concentram-se nos meses de janeiro a abril, com precipitação média anual de 568 mm, e o seco, com pouca ou quase nenhuma precipitação registrada de maio a dezembro (ANA, 2017).

De acordo com a Embrapa (2006), os solos predominantes na bacia de Terra Nova são os neossolos, luvisolos e planossolos. A vegetação da bacia hidrográfica do rio Terra Nova é composta por caatinga hiperxerófila, árvores baixas e arbustos além de cactáceas. Quanto aos usos e a ocupação do solo, os municípios que envolvem a bacia possuem uma economia predominantemente voltada à agricultura, com culturas diversificadas associadas à vegetação nativa, à pecuária, com destaque a bovinocultura, caprinocultura, avicultura (APAC, 2013).

2.2 Cenários de mudanças climáticas

2.2.1 Dados coletados

Seguindo a metodologia proposta por Galvncio e Luz (2021), para a simulação das variáveis analisadas, os dados mensais de CO2 foram obtidos por meio do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), utilizou-se o período de 1963 a dezembro de 2022. Para a predição das variáveis de qualidade da água, no presente estudo, toda a série histórica disponível no SUPer foi usada, contemplando os anos de 1963 a março de 2021, resultando numa série de 58 anos.

Foram selecionadas as variáveis de temperatura (equação 2) e precipitação (equação 3), além dos parâmetros de oxigênio dissolvido (equação 4), nitrogênio (equação 5) e o fósforo (equação 6), estimadas através das seguintes equaos:

$$T_{hr} = T_{av} + \frac{(T_{mx} - T_{mn})}{2} \cdot \cos(0.2618 \cdot (hr - 15)) \quad (2)$$

Em que, T_{hr}  temperatura do ar durante a hr do dia ($^{\circ}\text{C}$), T_{av} é a temperatura média no dia ($^{\circ}\text{C}$), T_{mx} é a temperatura máxima diária ($^{\circ}\text{C}$) e T_{mn} é a temperatura mínima diária ($^{\circ}\text{C}$).

$$R_{day} = \mu_{mon} + 2 \cdot \sigma_{mon} \cdot \left(\frac{\left[\left(\frac{SND_{day} - g_{mon}}{6} \right) \cdot \left(\frac{g_{mon}}{6} \right) + 1 \right]^3 - 1}{g_{mon}} \right) \quad (3)$$

Em que, R_{day} consiste na quantidade de chuva em um determinado dia (mm), μ_{mon} é a média de precipitação diária para o mês (mm), σ_{mon} é o desvio padrão de precipitação diária para o mês (mm), SND_{day} é o desvio padrão normal calculado para o dia e g_{mon} é o coeficiente assimétrico para a precipitação diária no mês.

$$Ox_{surf} = Ox_{sat} - K_1 \cdot cbod_{surq} \cdot \frac{t_{ov}}{24} \quad (4)$$

Em que, Ox_{surf} é a concentração de oxigênio dissolvido no escoamento superficial (mg L^{-1}), Ox_{sat} é a concentração de oxigênio de saturação (mg L^{-1}), K_1  a taxa de desoxigenação CBOD (dia), $cbod_{surq}$ é a concentração de CBOD no escoamento superficial (mg L^{-1}) e t_{ov} é o tempo da concentração de escoamento superficial (hr).

$$\Delta orgN_{str} = (\alpha_1 \cdot \rho_a \cdot algae - \beta_{N,3} \cdot orgN_{str} - \sigma_4 \cdot orgN_{str}) \cdot TT \quad (5)$$

Em que, $\Delta orgN_{str}$ é a concentração de nitrogênio (mg L⁻¹), α_1 é a fração de biomassa algal que é nitrogênio (mg N mg alg biomassa), ρ_a é a taxa de morte ou respiração local de algas (dia ou hr), $algae$ é a concentração de biomassa algal no começo do dia (mg alg L⁻¹), $\beta_{N,3}$ é o coeficiente da taxa de hidrólise de nitrogênio para amônia (dia ou hr), $orgN_{str}$ é a concentração de nitrogênio orgânico no começo do dia (mg L⁻¹), σ_4 é o coeficiente da taxa para a decantação de nitrogênio (dia ou hr) e TT é o tempo de curso do fluxo na água (dia ou hr).

$$\Delta orgP_{str} = (\alpha_2 \cdot \rho_a \cdot algae - \beta_{P,4} \cdot orgP_{str} \cdot \sigma_5 \cdot orgP_{str}) \cdot TT \quad (6)$$

Em que, $\Delta orgP_{str}$ é a concentração de fósforo (mg L⁻¹), α_2 é a fração de biomassa algal que é fósforo (mg P mg alg biomassa), ρ_a é a respiração local ou taxa de morte de algas (dia ou hr), $algae$ é a concentração de biomassa algal no começo do dia (mg alg L⁻¹), $\beta_{P,4}$ é o coeficiente da taxa de mineralização de fósforo orgânico (dia ou hr), $orgP_{str}$ é a concentração de fósforo no começo do dia (mg L⁻¹), σ_5 é o coeficiente da taxa para decantação do fósforo orgânico (dia ou hr) e TT é o tempo de curso do fluxo na água (dia ou hr).

2.2.2 Simulação de cenários de mudanças climáticas

O SUPer possibilita ainda a análise do comportamento da série histórica das variáveis analisadas por meio da ferramenta de *Climate sensitivity/variability analysis*. Nesta seção, pode-se ajustar os valores de precipitação e/ou temperatura para a bacia hidrográfica selecionada. A precipitação pode ser ajustada percentualmente, enquanto que a temperatura pode ser alterada utilizando os valores em graus Celsius (°C). Para o presente estudo, foram utilizados cenários de mudanças climáticas disponíveis nas literaturas, para identificar quais os possíveis impactos que estas causam nos parâmetros de qualidade da água, oxigênio dissolvido, nitrogênio e fósforo. Os cenários utilizados estão dispostos na tabela 7.

Tabela 1 - Cenários de mudanças climáticas utilizados para a análise da interferência das mudanças climáticas na série histórica dos parâmetros

FONTE	Aumento de Temperatura	Redução da Precipitação
IPCC (2021) (Cenário 1 - C1)	+ 3°C	- 22%
FIOCRUZ (2017) (Cenário 2 - C2)	+ 3°C	- 39%

Fonte: FIOCRUZ (2017), IPCC (2021). Dados organizados pela autora.

Para uma melhor identificação da linha de tendência das possíveis alterações das mudanças climáticas na qualidade da água, foram aplicados os percentis em todas as séries históricas geradas de 1 a 99, compreendendo uma maior quantidade de pontos das séries analisadas.

2.2.3 Proposição de cenários futuros de qualidade da água

A predição dos parâmetros de qualidade de água pode ser considerada um instrumento de planejamento e decisão dos recursos hídricos (BANDURA et al., 2019). No presente estudo, para atingir este propósito, utilizou-se a metodologia ARIMA (Autorregressivo Integrado de Médias Móveis) (BOX; JENKINS, 1970), que consiste na modelagem e previsão de séries temporais e tem sido amplamente aplicado para análise de variáveis hidrológicas (LIMA et al., 2020).

O modelo ARIMA (p, d, q) tem a seguinte forma:

$$\phi(B)(1 - B)^d Z_t = \theta(B)\varepsilon_t \quad (7)$$

Em que, ϕ e θ são, respectivamente, autoregressivos e de médias móveis, ε_t é descrito como ruído branco e d é a ordem de integração, número de diferenças necessárias para tornar a série estacionária.

A partir de Box-Jenkins, os modelos SARIMA (Autorregressivos Sazonais Integrados de Médias Móveis) foram desenvolvidos, incluindo a sazonalidade, característica comum em parâmetros hidrológicas (BAYER; CASTRO; BAYER, 2012; BANDURA et al., 2019).

O modelo SARIMA (p, d, q) (P, D, Q) é dado por:

$$\phi(B)\Phi(B)(1 - B)^d(1 - B^S)^D Z_t = \theta(B)\Theta(B)\varepsilon_t \quad (8)$$

Em que, p , d , q são ordens do modelo referentes à dinâmica ordinal, enquanto que P , D , Q , são referentes à parte sazonal do modelo, ϕ e θ são autoregressivos e de médias móveis ordinais, e Φ e Θ são parâmetros autoregressivos e de médias móveis sazonais.

Segundo Caixeta, Menezes Filho e Fonseca (2021), as previsões à curto prazo objetivam a operação adequada dos recursos hídricos, em decorrência dos seus usos múltiplos. Ademais, Elhag et al. (2020), observaram maiores índices de precisão da modelagem SARIMA em previsões curtas, assim sendo, no presente estudo os dados foram preditos até 2024.

A princípio foram preditos os valores de CO₂ até o ano de 2024. Em seguida, foram preditas as séries temporais disponíveis do SUPeR, até o mês de dezembro de 2022, utilizando os dados disponíveis de CO₂ até este período. Para a predição foram estabelecidas as variáveis dependentes e independentes para o modelo, conforme a tabela 8.

Tabela 2 - Variáveis dependentes e independentes analisadas

Variáveis independentes	Variáveis dependentes
CO ₂	Oxigênio dissolvido
Temperatura	Nitrogênio
Precipitação	Fósforo

2.2.4 Critérios de avaliação dos modelos

Primeiramente, foi realizada uma análise descritiva dos dados analisados, obtendo assim os valores de média, desvio padrão e valores mínimos e máximos. Para avaliação dos modelos criados foram utilizadas as estatísticas de R^2 e RMSE. O R^2 , também denominado de Coeficiente de Determinação, determina o quão o valor previsto se ajusta ao valor observado. Quanto mais próximo de um, mais ajustado o modelo estará.

O RMSE (*Root Mean Square Error*) tem sido utilizado como uma métrica estatística para avaliar o desempenho de modelos em estudos ambientais (CHAI; DRAXLER, 2014). O cálculo se dá pela raiz quadrática média dos erros existentes entre os valores observados e preditos, conforme a equação 9.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2} \quad (9)$$

Em que E_i e O_i são os valores estimados e observados (medidos), respectivamente, e n é o número de observações.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise do comportamento da série histórica de qualidade da água

Para melhor compreensão das variáveis estudadas, realizou-se as medidas descritivas das séries históricas, no período de janeiro de 1963 a março de 2021, disponível no SUPeR, para o oxigênio dissolvido, o nitrogênio e fósforo, conforme os cenários de mudanças climáticas aplicados. Para o cenário 1 (C1) aplicou-se um aumento de 3°C para a temperatura e redução de 22% da precipitação (IPCC, 2021). Já para o cenário 2 (C2), o aumento da temperatura foi em 3°C da temperatura com redução de 39% da precipitação (FIOCRUZ, 2017). Logo após, os cenários de mudanças climáticas foram aplicados e gerados os gráficos com as respectivas linhas de tendência.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), através da resolução 357, estabelece a classe 2 para corpos hídricos sem enquadramentos, como é o caso do estado de Pernambuco, o oxigênio dissolvido (OD) deve estar acima de 5 mg L^{-1} . Através da tabela 3, percebe-se a redução dos valores de média geral e valor máximo de OD, passando de $6,81\text{ mg L}^{-1}$ e $8,82\text{ mg L}^{-1}$, respectivamente, no cenário de referência, para $6,67\text{ mg L}^{-1}$ e $6,65\text{ mg L}^{-1}$ de média, e $8,44\text{ mg L}^{-1}$ e $8,42\text{ mg L}^{-1}$ de valor máximo, para os cenários com alterações na temperatura e precipitação. Todavia, apesar das alterações climáticas, percebe-se que a média histórica da série se manteve dentro do limite estabelecido pelo CONAMA.

Tabela 3 - Dados de média, desvio padrão, valor mínimo e máximo para o oxigênio dissolvido em cada cenário analisado

Variável	Análises			
	Média	Desvio Padrão	Valor Mínimo	Valor Máximo
Oxigênio dissolvido (mg L^{-1})	6,35	2,51	0,00	8,81
Oxigênio dissolvido (mg L^{-1}) (C1)	5,76	2,80	0,00	8,50
Oxigênio dissolvido (mg L^{-1}) (C2)	5,48	3,12	0,00	8,44

Em comparação ao cenário de referência, sem variação climática, todos os cenários apresentaram redução para os valores de OD. O cenário sem alteração de mudanças climáticas apresenta 518 meses com valores acima de 5 mg L^{-1} . No cenário 1 (Figura 2, vide Apêndice A), dos 699 meses analisados, 499 dados obtiveram valores acima de 5 mg L^{-1} . Para o cenário 2 (Figura 3, vide Apêndice B), os valores de OD apresentaram 478 meses com valores dentro dos limites estabelecidos.

Figura 2 - Comparação entre o comportamento da série histórica com cenário sem alteração, em azul, e o C1, em verde, para o oxigênio dissolvido

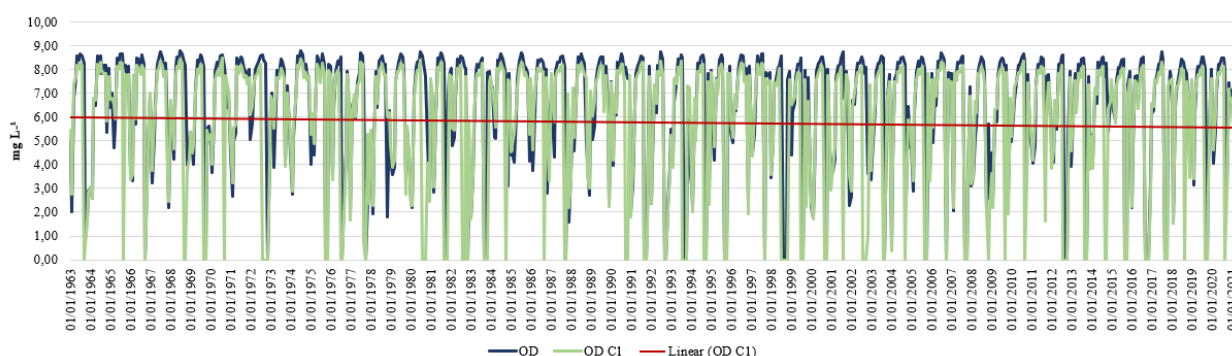
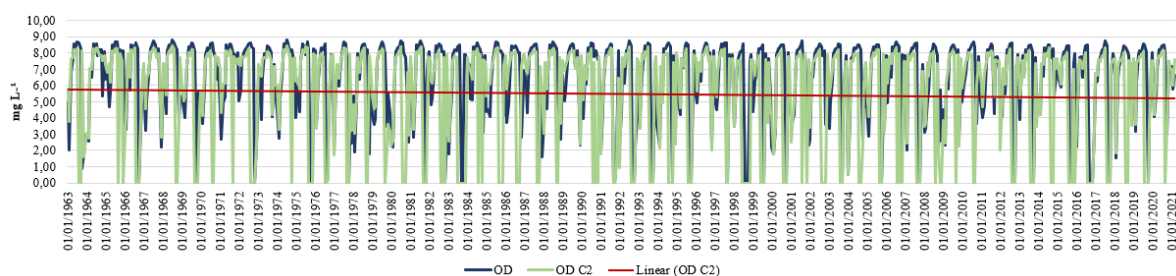


Figura 3 - Comparação entre o comportamento da série histórica com cenário sem alteração, em azul, e o C2, em verde, para o oxigênio dissolvido



Para a variável do nitrogênio, a resolução 357 do CONAMA estabelece que a concentração permitida deve ser até $1,27 \text{ mg L}^{-1}$. Na tabela 4, pode-se observar um aumento na concentração média das séries, passando de $2,66 \text{ mg L}^{-1}$ para $3,99 \text{ mg L}^{-1}$ e $4,38 \text{ mg L}^{-1}$. O mesmo ocorre para os valores máximos, que passaram de $10,19 \text{ mg L}^{-1}$ no cenário sem alteração, para $12,80 \text{ mg L}^{-1}$ e $13,47 \text{ mg L}^{-1}$. Logo, em ambos os cenários de mudanças climáticas, o nitrogênio esteve acima do limite determinado.

Tabela 4 - Dados de média, desvio padrão, valor mínimo e máximo para o nitrogênio em cada cenário analisado

Variável	Análises			
	Média	Desvio Padrão	Valor Mínimo	Valor Máximo
Nitrogênio (mg L^{-1})	1,65	2,48	0,00	19,14
Nitrogênio (mg L^{-1}) C1	2,04	3,23	0,00	21,47
Nitrogênio (mg L^{-1}) C2	1,93	3,10	0,00	24,05

Para a variável nitrogênio foi possível identificar um aumento na concentração da variável em todos os cenários, de acordo com as figuras a seguir (Figuras 4 e 5; vide Apêndices C e D). Para esta variável, no cenário de referência, dos 699 meses, 468 estão dentro dos limites aceitáveis para a classe 2 de águas doces. No cenário 1 (Figura 4), de toda a série histórica analisada, 439 dos meses se apresentaram dentro dos limites. Para o cenário 2 (Figura 5), 447 meses com valores em conformidade com a resolução.

Figura 4 - Comparação entre o comportamento da série histórica com cenário sem alteração, em azul, e o C1, em verde, para o nitrogênio

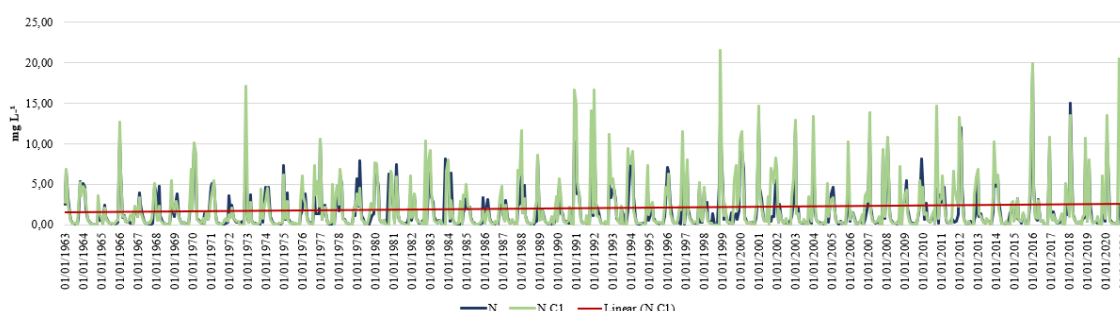
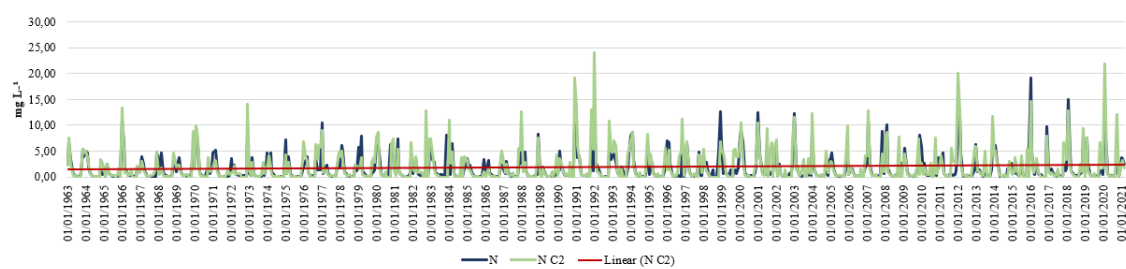


Figura 5 - Comparação entre o comportamento da série histórica com cenário sem alteração, em azul, e o C2, em verde, para o nitrogênio



O fósforo total, segundo o CONAMA, não deve ultrapassar a concentração de $0,10 \text{ mg L}^{-1}$. No presente estudo, todas as médias estiveram acima do limite proposto pela resolução,

com valores de $0,40 \text{ mg L}^{-1}$, para o cenário de referência, e $0,37 \text{ mg L}^{-1}$ e $0,31 \text{ mg L}^{-1}$, para os cenários com alterações climáticas (Tabela 5). Quanto aos valores máximos, percebe-se uma crescente desses valores, passando de $5,78 \text{ mg L}^{-1}$, para o cenário sem alterações, para $6,98 \text{ mg L}^{-1}$ e $7,41 \text{ mg L}^{-1}$ com o aumento da temperatura e redução da precipitação.

Tabela 5 - Dados de média, desvio padrão, valor mínimo e máximo para o fósforo total em cada cenário analisado

Variável	Análises			
	Média	Desvio Padrão	Valor Mínimo	Valor Máximo
Fósforo Total (mg L^{-1})	0,40	0,80	0,00	5,78
Fósforo Total (mg L^{-1}) C1	0,37	0,88	0,00	6,98
Fósforo Total (mg L^{-1}) C2	0,31	0,84	0,00	7,41

Para o fósforo total, para os cenários aplicados, constata-se uma pequena redução para esta variável, como pode ser visto nas figuras a seguir (Figuras 6 e 7; vide Apêndices E e F). Para o cenário sem alterações climáticas, dos 699 meses, 434 encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela legislação. Para o cenário 1 (Figura 6), 485 meses da série histórica analisada se mantiveram dentro dos limites. No cenário 2 (Figura 7), 521 dos meses da série em conformidade com a legislação.

Figura 6 - Comparação entre o comportamento da série histórica com cenário sem alteração em azul, e o C1, em verde, para o fósforo

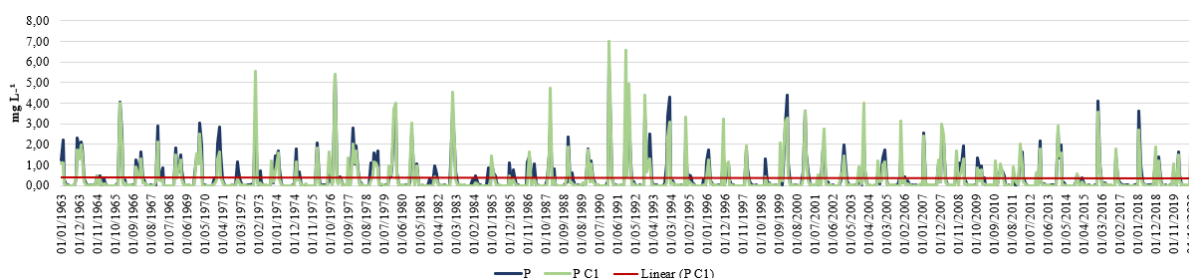
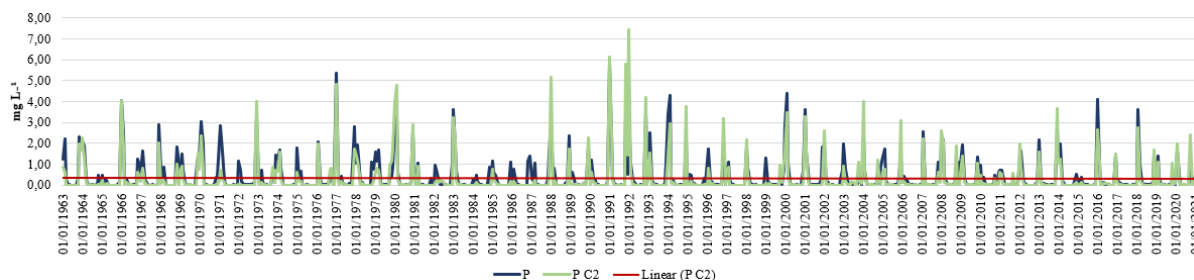


Figura 7 - Comparação entre o comportamento da série histórica com cenário sem alteração, em azul, e o C2, em verde, para o fósforo



As mudanças climáticas podem afetar os ecossistemas aquáticos e, consequentemente, a população, com a deterioração da qualidade da água ocasionada por temperaturas mais elevadas e o aumento e/ou redução da intensidade da precipitação (PARK et al., 2010). A temperatura pode influenciar nos processos físicos químicos e biológicos que ocorrem na água, como por exemplo, retardando ou acelerando a atividade biológica ou na absorção de oxigênio (KISI; ALIZAMIR; GORGIJ, 2020; MARQUES, 2020). Esteves (1998) aponta que elevadas temperaturas podem ocasionar na redução do oxigênio dissolvido na água. O autor afirma ainda que lagos tropicais possuem menores concentrações de OD quando comparados aos lagos temperados. Desse modo, com o aumento da temperatura, em razão das alterações climáticas, o OD tende a diminuir nos ecossistemas.

Aliada às altas temperaturas, a concentração de matéria orgânica contribui para o grau de desoxigenação da água, especialmente em lagos rasos, como a maioria dos lagos brasileiros. Os impactos da concentração de matéria orgânica sobre as concentrações de oxigênio dissolvido na água podem ser observados, periodicamente, durante o período chuvoso, já que em lagos rasos, estes ecossistemas sofrem variações nos níveis de água. A redução de oxigênio na coluna d'água, somado ao aporte de matéria orgânica, propicia o aumento das concentrações de nitrogênio e fósforo no ambiente (ESTEVES, 1998; MARQUES, 2018; ARAUJO et al., 2020).

O nitrogênio e fósforo são considerados como nutrientes limitantes para a produtividade primária e o crescimento de algas e macrófitas, geralmente concentrações de 0,01 mg L⁻¹ são suficientes para a manutenção do fitoplâncton, enquanto que concentrações entre 0,03 e 0,10 mg L⁻¹ podem acarretar no crescimento desenfreado desses organismos, contribuindo com a eutrofização dos ecossistemas (SPERFLING, 2005; ESTEVES, 2011; COSTA; MEDEIROS, 2021; CARVALHO; ELOI, ALEXANDRE, 2022). Segundo Esteves (1998), a distribuição de fósforo na coluna d'água está diretamente relacionada com as concentrações de oxigênio dissolvido. Logo, em períodos em que as concentrações de oxigênio dissolvido encontram-se mais baixas, pode-se observar aumento nas concentrações de fósforo e nitrogênio.

Desse modo, o acompanhamento dos corpos hídricos através do monitoramento é indispensável para obter informações sobre a qualidade e a quantidade de água, visando atender os usos múltiplos de uma região (AMÉRICO-PINHEIRO; RIBEIRO, 2019). O monitoramento contínuo também permite a adoção de medidas de controle e gerenciamento dos recursos hídricos, sobretudo em regiões que a segurança hídrica é primordial para o desenvolvimento social e econômico, como é o caso do semiárido brasileiro. Araújo et al. (2020) alertam ainda que a implementação de um processo de gestão integrada dos recursos hídricos necessita não somente de uma organização institucional e de uma legislação efetiva, mas também de um suporte tecnológico que promova avanços substanciais, disponibilizando dados confiáveis e consistentes sobre a qualidade da água dos reservatórios.

3.2 Predição de cenários futuros de qualidade da água

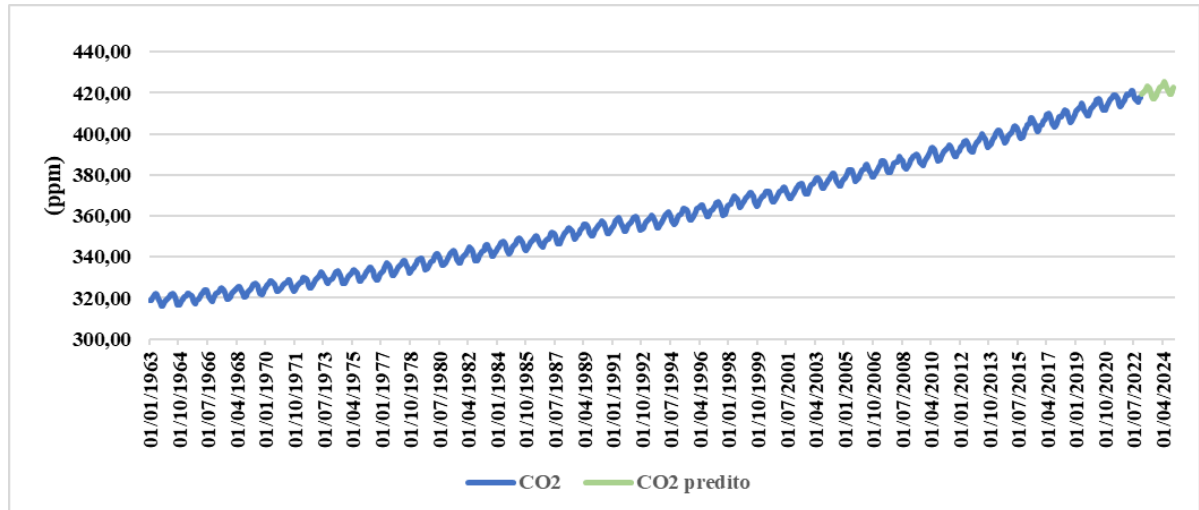
Segundo Ortiz e Guimarães (2022), as emissões de gases de efeito estufa (GEE), oriundos das ações antrópicas, cresceram substancialmente, após o período da Revolução Industrial, alterando os sistemas climáticos, as temperaturas médias do planeta e os níveis do mar. O sexto relatório do IPCC (2022) constatou que entre os anos de 2010 à 2019, as emissões de gases de efeito estufa, principalmente o CO₂, foram as mais altas da história da humanidade, o que tem contribuído para o aumento das temperaturas ao redor do mundo. O Brasil tem firmado compromissos para a redução das emissões dos GEEs, já que se figura entre os dez maiores emissores mundiais (SOARES; CUNHA, 2019).

O aquecimento global pode modificar ainda os regimes pluviométricos em diversas regiões, com a redução dos volumes de chuvas e a ocorrência de mais eventos de seca (ANDERSON et al., 2021; GOMES et al., 2021). O bem-estar das populações está diretamente relacionado à variabilidade climática. Logo, o desenvolvimento de modelos das variáveis climáticas e hidrológicas que permitem a previsão do clima e/ou das condições dos recursos hídricos no futuro (ZÁKHIA et al., 2021), tornam-se fundamentais para a formulação de políticas públicas voltadas à mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, além do gerenciamento dos recursos hídricos, especialmente em regiões que já sofrem com a crise hídrica, como é o caso do nordeste brasileiro.

Para desenvolvimento do presente estudo, o primeiro passo foi a modelagem dos valores de CO₂ até o ano de 2024, utilizando dados do NOAA, até dezembro de 2022. O modelo obteve um R² de 1,00, com RMSE de 0,31 ppm. Pode-se perceber uma tendência de crescimento do CO₂ (Figura 14), chegando a alcançar o valor máximo de 425,56 ppm, para o mês de maio de

2024. Galvêncio e Luz (2021), em estudo desenvolvido em todo o estado de Pernambuco, desenvolveram um modelo de CO₂ até o ano de 2027, identificando valores que ultrapassam 430 ppm.

Figura 8 - Modelagem do CO₂ até o ano de 2024



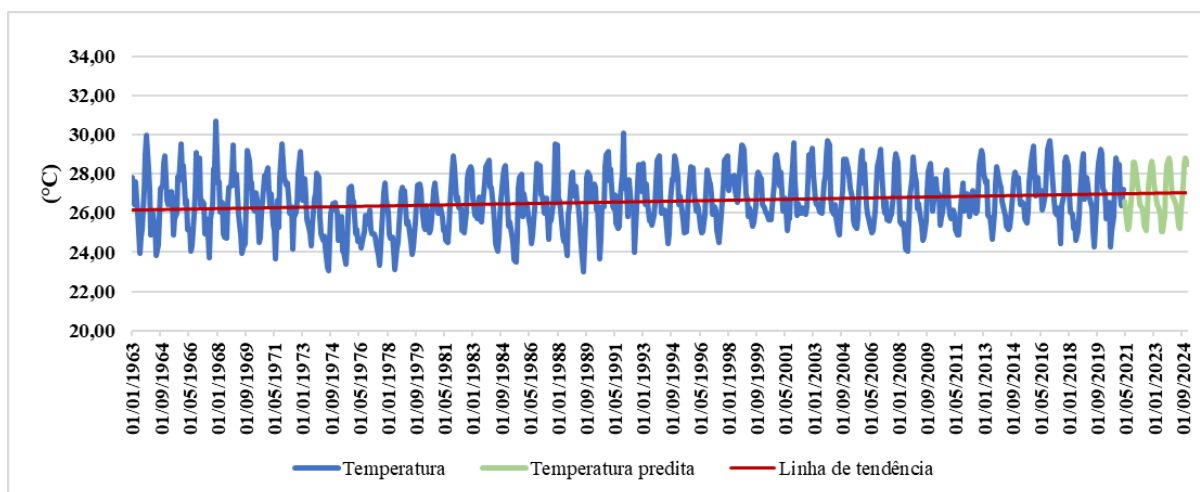
Posteriormente, o modelo de CO₂ foi utilizado para modelagem das variáveis de temperatura e precipitação, correlacionando-as com os parâmetros de qualidade de água analisados, sendo estes o oxigênio dissolvido, o nitrogênio e fósforo. Para as variáveis climáticas de temperatura e precipitação, diversos estudos apontam para projeções de aumento da ocorrência de eventos extremos, sejam estes de seca ou de intensas precipitações, além do aumento de dias mais secos e mais quentes (GIORGI; RAFFAELE; COPPOLA, 2019; ZÁKHIA et al., 2021). Guimarães et al. (2016) simularam cenários futuros para o Nordeste brasileiro até o ano de 2099. Os autores observaram um aumento da temperatura entre 2,1°C e 4°C à longo prazo, com redução da precipitação e aumento da evapotranspiração, sugerindo uma tendência de aumento da aridez sobre a região.

Para a temperatura, pode-se identificar uma média histórica foi de 28,14°C, com valor máximo de temperatura média mensal predita de 28,80° C, para novembro de 2024, enquanto o valor mínimo predito foi de 25,03°C, no mês junho de 2023. O melhor modelo para predição da temperatura foi o modelo SARIMA foi (3,0,3) (0,1,1), com R² de 0,79 e RMSE de 0,64 °C. Valores similares foram obtidos por Chechi e Bayer (2012), em análise de séries temporais para temperatura mínima máxima mensal no Rio Grande do Sul, utilizando o SARIMA. Os autores realizaram a predição das variáveis para três e seis meses, identificando valores mais baixos para o RMSE nas previsões mais curtas, obtendo para temperaturas mínimas valores de 1,41

°C e 2,70 °C, para três e seis meses respectivamente. Para as temperaturas máximas, os valores encontrados foram de 0,13 °C e 0,57°C para três e seis meses, nessa ordem. Silva et al. (2015) aplicaram o modelo SARIMA (1,1,1) (0,1,1) para a predição de temperaturas médias mensais para o semiárido nordestino, calculando cenários futuros de março de 2009 à março de 2012. A série histórica apresentou média de 25,18 °C, enquanto que para os três anos preditos, a média de temperatura foi de 25,71 °C.

No presente estudo, pode-se identificar uma tendência para temperaturas médias mais altas, entre 25°C a 28°C, conforme demonstrado na Figura 9. O mesmo foi constatado por Sales et al. (2015), nos modelos de projeções para a temperatura do Nordeste Brasileiro, para os anos de 2016 a 2099. Os autores identificaram o aumento da temperatura durante toda a série predita. Assim como Lacerda (2015), que aplicou modelos para simular cenários de mudanças climáticas para o estado de Pernambuco até 2050. A autora evidencia a elevação da temperatura em todo o estado, indicando a possibilidade de processos de aridificação do semiárido. Dantas et al. (2022), segundo projeções, alertam que até 2050, tem-se um acréscimo em até 2°C para a temperatura no nordeste brasileiro, acarretando o aumento da evaporação e da evapotranspiração, o que impactaria negativamente os volumes de água dos reservatórios.

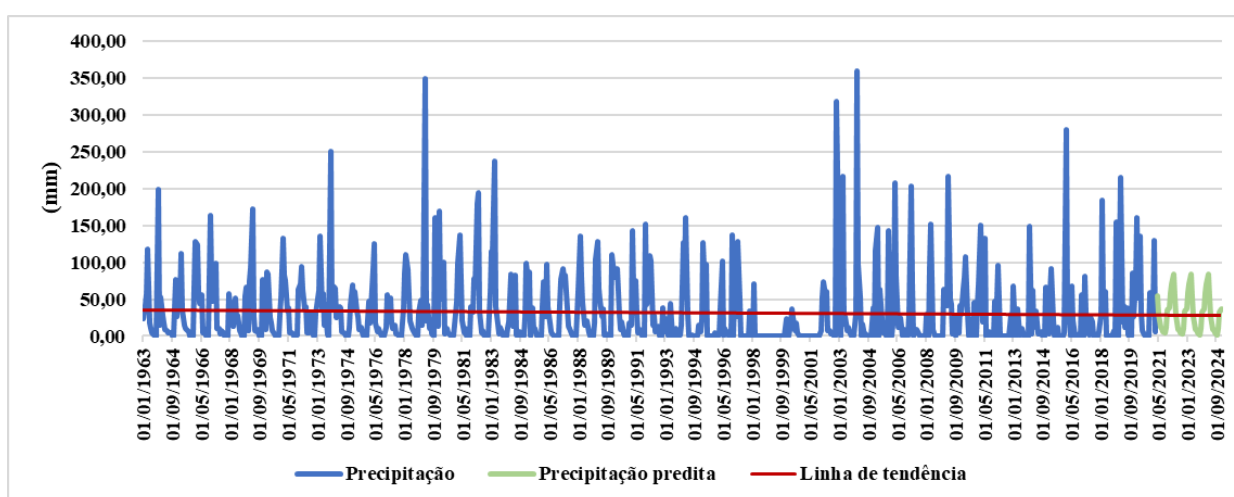
Figura 9 - Predição da temperatura até o ano de 2024



No que se refere à precipitação, a média histórica foi de 30,09 mm, com maior valor mensal predito de 84,46 mm, identificado no mês de março de 2022, e menor valor de 1,83 mm, para o mês de setembro de 2024. O modelo SARIMA para precipitação foi (1,0,0) (1,0,1), com R^2 de 0,76 e um RMSE de 41,92 mm. Já Lima et al. (2020), em estudo desenvolvido na cidade de Rondonópolis (MT), aplicaram o modelo SARIMA (2,0,0) (0,1,2) para análise de séries de precipitação, identificando valores de RMSE para o modelo de 66,16 mm, apresentando bons ajustes quanto à série de dados.

De acordo com o exposto na Figura 10, pode-identificar uma tendência para a redução dos volumes de chuvas para a região, corroborando com os estudos desenvolvidos no estado de Pernambuco por Lacerda (2015), Sales et al. (2015), Andrade et al., (2018) e Almeida et al. (2020), que evidenciaram uma tendência de redução para as precipitações anuais, com maiores chances de ocorrências períodos de estiagens severas e secas (DANTAS et al., 2022). Silva, Montenegro e Souza (2017), após análise das tendências das mudanças climáticas na precipitação pluviométrica das bacias hidrográficas de Pernambuco, também observaram tendências de diminuição das chuvas para a Bacia Hidrográfica do Terra Nova.

Figura 10 - Predição da precipitação até o ano de 2024



Prever o comportamento e as condições dos corpos hídricos é uma ferramenta importante para a proposição de medidas que visem combater a poluição nesses ecossistemas, além de evitar problemas ambientais, como a eutrofização dos reservatórios (MARQUES, 2018). Diversos estudos tem aplicado a modelagem ARIMA para análise dos corpos hídricos, como para avaliação e predição do volume de águas subterrâneas (TAKAFUJI; ROCHA; MANZIONE, 2019), na análise volumétrica de reservatórios (HAMMAD-UR-REHMAN et al., 2022; MORAIS; BARBOSA, 2022), para predição de vazões (BAYER; CASTRO; BAYER, 2012; DUARTE et al., 2019; BLEIDORN et al., 2019; CAIXETA; MENEXES FILHO; FONSECA, 2021), na previsão do consumo de água potável em cidades (OLIVEIRA, 2012; SANDOVAL, 2021), além da análise de padrões pluviométricos (SANTANA et al., 2021), todavia, estudos sobre a modelagem ARIMA aplicada a predição de parâmetros de qualidade de água ainda são escassos, sobretudo para o nordeste brasileiro.

A predição dos parâmetros de qualidade de água foi realizada utilizando a correlação entre as variáveis de temperatura e precipitação. Para o oxigênio dissolvido, a média histórica foi de 6,38 mg L⁻¹, com faixa de concentração predita entre de 0,82 mg L⁻¹ e 8,39 mg L⁻¹.

Quanto ao nitrogênio, o valor da média histórica foi de 3,78 mg L⁻¹, com valores entre 0,09 mg L⁻¹ e 3,71 mg L⁻¹. Já o fósforo obteve média histórica de 0,96 mg L⁻¹, com faixa de variação entre 0,20 mg L⁻¹ e 1,10 mg L⁻¹. As figuras 11, 12 e 13 apresentam os gráficos das séries temporais preditas do oxigênio dissolvido, nitrogênio e fósforo.

Figura 11 - Predição do oxigênio dissolvido até o ano de 2024

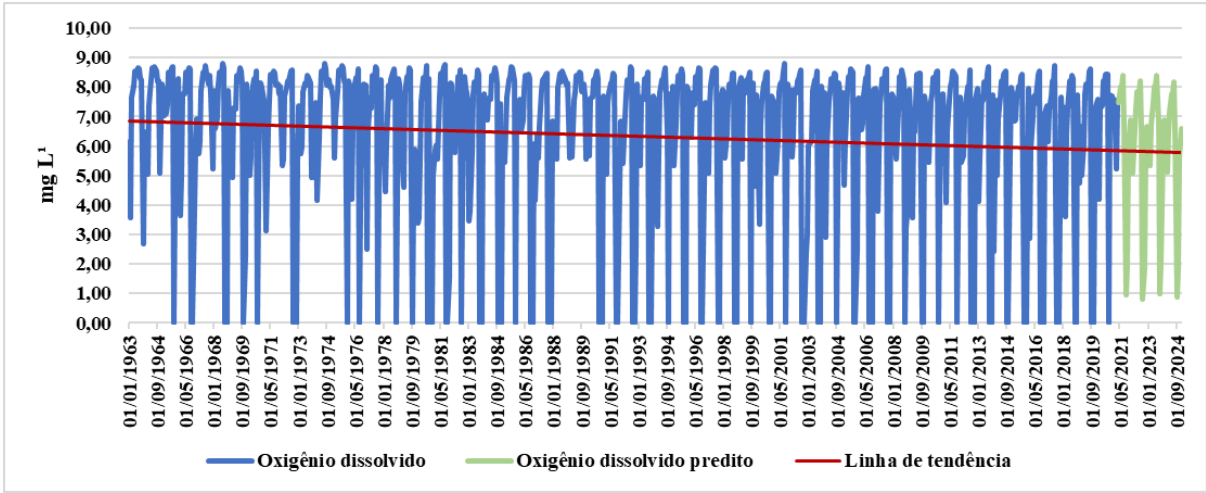


Figura 12 - Predição do nitrogênio até o ano de 2024

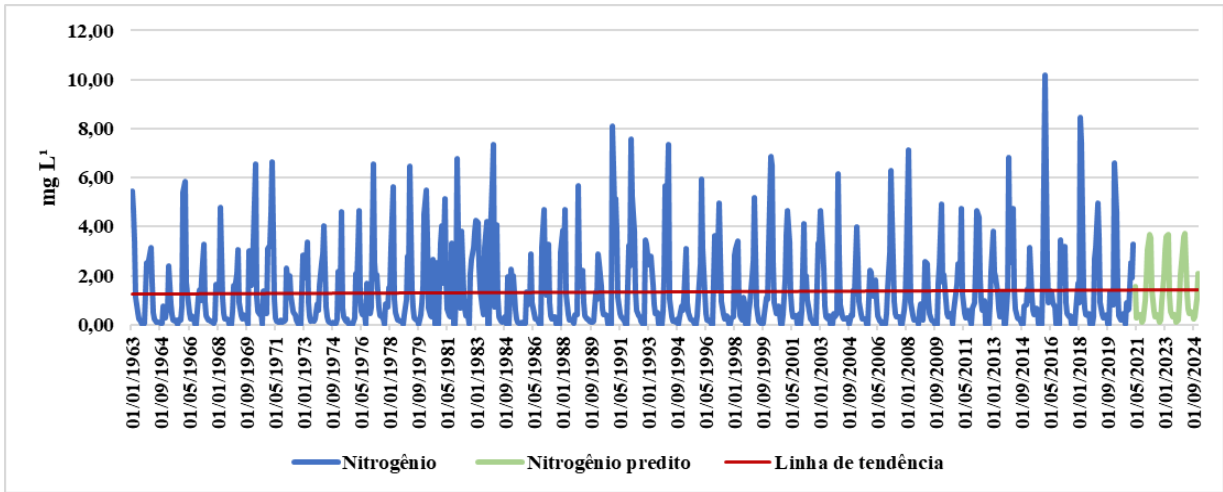
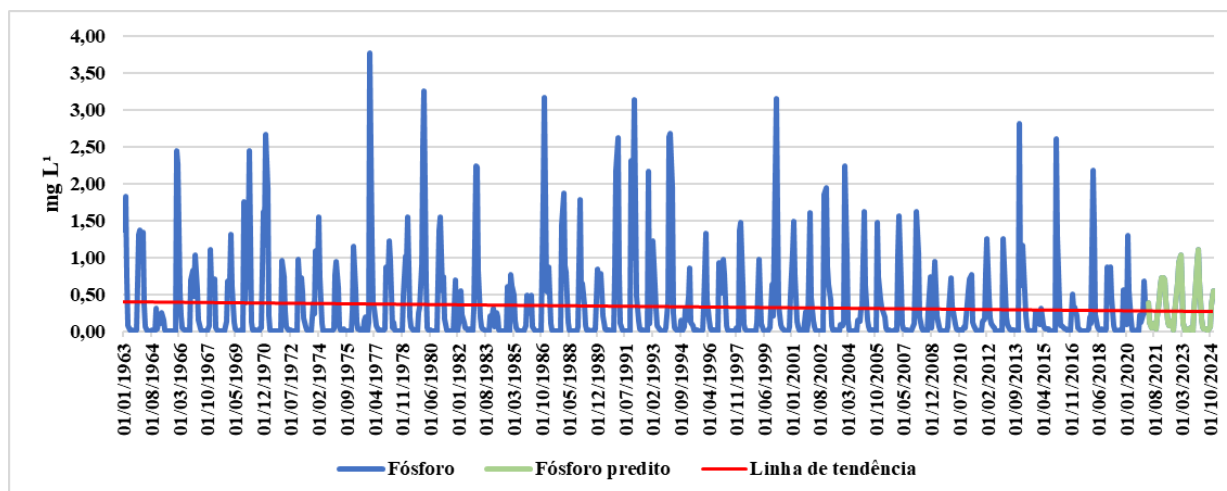


Figura 13 - Predição do fósforo até o ano de 2024



No estado de Pernambuco, os corpos hídricos ainda não foram enquadrados, deste modo a Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco (CPRH) utiliza os limites dos parâmetros da classe 2 de água doce estabelecido pela Resolução 357 do CONAMA. Para os meses preditos de qualidade de água, que compreendem o período de abril de 2021 à dezembro de 2024, (45 meses), em apenas 8 meses, os valores do oxigênio dissolvido estiveram abaixo de 5 mg L⁻¹, em concordância a legislação, porém apresentando tendência de redução. Gowthaman et al. (2022), observaram resultados similares com o presente estudo ao realizarem a predição de 12 meses para o oxigênio dissolvido, demonstrando que os valores das variáveis preditas se encontram dentro dos limites, mas também apresentaram tendência de redução das concentrações de OD.

Quanto ao nitrogênio, dos 45 meses, em 29 meses esta variável esteve em conformidade com o limite de 1,27 mg L⁻¹, com tendência de crescimento para as concentrações. Já para o fósforo, dos 45 meses preditos, em 19 meses as concentrações estiveram de acordo com o limite proposto de 0,10 mg L⁻¹, com tendência de redução para esta variável. Todavia, pode-se destacar que as maiores concentrações de nitrogênio e fósforo preditos ocorreram no período chuvoso, entre os meses de janeiro à abril. Zhang, Zhang e Li (2016) aplicaram a metodologia ARIMA para prever as concentrações de nitrogênio e fósforo no nordeste da China. Os autores identificaram um aumento das concentrações de nitrogênio, enquanto que para o fósforo, as variações não foram significativas.

A tabela 6 dispõe dos modelos SARIMA para cada variável de qualidade de água, além dos critérios de avaliação de cada modelo.

Tabela 6 – Modelo SARIMA e valores de R^2 e RMSE para cada variável

Variável	Modelo SARIMA	R^2	RMSE
Oxigênio dissolvido (mg L^{-1})	(2,0,0) (2,0,1)	0,59	1,94
Nitrogênio (mg L^{-1})	(0,0,1) (0,1,1)	0,59	1,07
Fósforo Total (mg L^{-1})	(0,0,1) (1,0,1)	0,56	0,31

Zhou et al. (2022) desenvolveram um modelo híbrido utilizando o modelo ARIMA, para prever a qualidade da água em região de Pequim num período de um mês para os parâmetros de qualidade da água, dentre os quais o oxigênio dissolvido. Os autores identificaram um grau de qualidade para o modelo de cerca de 97%, com um R^2 de 0,94 e o RMSE de $0,58 \text{ mg L}^{-1}$ para o OD, enquanto que no presente estudo, para o OD, o R^2 foi de 0,59 e o RMSE de $1,94 \text{ mg L}^{-1}$. Os autores pontuaram que o modelo pode ser aplicado em outros reservatórios da região, todavia, a previsão possui maior robustez à curto prazo, não obtendo resultados satisfatórios à longo prazo.

Zhang, Zhang e Li (2016) desenvolveram um modelo híbrido aplicando ARIMA e Redes Neurais para prever as concentrações de nitrogênio e fósforo no nordeste da China. Os autores identificaram valores de RMSE para o nitrogênio de $0,139 \text{ mg L}^{-1}$ e para o fósforo $0,036 \text{ mg L}^{-1}$, em contrapartida, o presente estudo obteve valores mais altos de RMSE, com valor de $1,07 \text{ mg L}^{-1}$ e $0,31 \text{ mg L}^{-1}$ para o nitrogênio e o fósforo, nesta ordem. Elhag et al. (2020) aplicaram a modelagem SARIMA para predição do nitrogênio. Os modelos apresentaram previsões mais robustas para os três primeiros meses, com níveis de confiança de 96%, 82% para o período de seis meses, não identificando modelos sólidos para previsão de 12 meses. O modelo SARIMA para o nitrogênio foi (2,1,2) (1,0,1), com R^2 de 0,51, com faixa de concentração entre $0,8 \text{ mg L}^{-1}$ e $4,1 \text{ mg L}^{-1}$, corroborando com o presente estudo, em que o R^2 do modelo para o nitrogênio foi de 0,59, com média para série de $3,78 \text{ mg L}^{-1}$.

Outros autores como Dastorani et al. (2020), Asadollah et al. (2021) Wang, Tian e Liao (2021), analisaram o desempenho de modelos de séries temporais (ARIMA e SARIMA) para previsão da qualidade da água em corpos hídricos, obtendo resultados satisfatórios. Deste modo, a modelagem e previsão dos parâmetros de qualidade da água se apresentam como uma ferramenta necessária para gestão e controle dos recursos hídricos, já que podem ser utilizados para planejar, gerenciar e prever os efeitos das alterações nos ecossistemas aquáticos, contribuindo para a proposição de políticas públicas para a garantia da segurança hídrica (WAHID; ARUNBABU, 2022; WU; WANG, 2022).

4. CONCLUSÃO

A análise do comportamento da série histórica frente às alterações climáticas, utilizando dados de órgãos como o IPCC e a Fiocruz, para modelagem de parâmetros de qualidade de água se mostram como uma alternativa para a gestão dos recursos hídricos em áreas do semiárido brasileiro. A combinação das alterações do clima, na forma de falta e/ou pouca chuva acompanhada de altos valores de temperaturas e taxas altas de evapotranspiração associadas aos conflitos pelos usos múltiplos dos recursos hídricos, pode levar a uma crise de grandes proporções, sendo mais vulneráveis as populações que habitam o semiárido. O SUPer pode ser considerado software essencial para os órgãos públicos pela grande aplicabilidade, em diversos usos no que tange análise de disponibilidade e qualidade da água em Pernambuco, problemática recorrente no estado.

A aplicação da modelagem SARIMA para a previsão dos parâmetros de qualidade de água foram satisfatórios, quando comparados com outros estudos. Os resultados para os cenários de análise da série história do SUPer corroboram com os cenários modelados com a metodologia SARIMA, em que as concentrações do oxigênio dissolvido e do fósforo, apresentam tendências de redução, enquanto que as concentrações de nitrogênio tendem a aumentar.

Vale ressaltar que a simulação das variáveis de qualidade da água são um grande desafio, em razão das incertezas relacionadas à grande variabilidade da precipitação e temperatura, além de outros parâmetros que interferem nas concentrações do oxigênio dissolvido, nitrogênio e fósforo. Portanto, a continuidade do monitoramento *in loco* é primordial para o desenvolvimento de mais modelos, além da calibração dos modelos já existentes, contribuindo para o planejamento de políticas públicas que sejam efetivas, em relação a distribuição da água em quantidade e em qualidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da pouca quantidade de dados observados disponíveis, comparados à série histórica disponível no SUPer, pode-se sugerir a utilização desse software para a gestão dos recursos hídricos. Recomenda-se a aplicação de estudos de precisão da série de dados de qualidade de água estimados pelo SUPer para outros reservatórios do Estado, em que haja estações de monitoramento. Todavia, é fundamental a realização de mais coletas para análise e monitoramento da qualidade da água, possibilitando uma melhor validação do SUPer, além de disponibilização dos dados para a comunidade, como recomenda a Política Nacional de Recursos Hídricos.

Quanto a análise temporal da qualidade de água, pode-se concluir que a água do reservatório Nilo Coelho pode ser classificada como pouco comprometida, já que maior parte dos dados se encontram dentro dos limites estabelecidos pela resolução. Percebe-se uma maior variação nos valores de fósforo, que pode ser associado à presença de áreas urbanas, além de áreas agrícolas no entorno do reservatório. Recomenda-se um monitoramento contínuo na região, já que o reservatório também é utilizado para o abastecimento humano.

O mapeamento do uso e ocupação do solo na região da bacia demonstrou que ao longo do período analisado (30 anos) houve o crescimento da disponibilidade hídrica e das áreas agrícolas e, conseqüentemente a redução das áreas de Caatinga, principalmente após a construção dos reservatórios do PISF. A elaboração dos mapas de uso e ocupação do solo auxiliam na compreensão das conseqüências dos impactos das ações antrópicas na região. Além disso, os mapas gerados fornecem dados que podem ser utilizados pela sociedade, além do poder público para fins de planejamento ambientais e formulação de políticas públicas visando trazer qualidade de vida à população.

A análise do comportamento da série histórica frente às alterações climáticas, utilizando dados de órgãos como o IPCC e a Fiocruz, para modelagem de parâmetros de qualidade de água se mostram como uma alternativa para a gestão dos recursos hídricos em áreas do semiárido brasileiro. A combinação das alterações do clima, na forma de falta e/ou pouca chuva acompanhada de altos valores de temperaturas e taxas altas de evapotranspiração associadas aos conflitos pelos usos múltiplos dos recursos hídricos, pode levar a uma crise de grandes proporções, sendo mais vulneráveis as populações que habitam o semiárido. O SUPer pode ser considerado um sistema essencial para os órgãos públicos pela grande aplicabilidade, em diversos usos no que tange análise de disponibilidade e qualidade da água em Pernambuco, problemática recorrente no estado.

A aplicação da modelagem SARIMA para a previsão dos parâmetros de qualidade de água foram satisfatórios, quando comparados com outros estudos. Os resultados para os cenários de análise da série história do SUPer corroboram com os cenários modelados com a metodologia SARIMA, em que as concentrações do oxigênio dissolvido e do fósforo, apresentam tendências de redução, enquanto que as concentrações de nitrogênio tendem a aumentar.

Vale ressaltar que a simulação das variáveis de qualidade da água são um grande desafio, em razão das incertezas relacionadas à grande variabilidade da precipitação e temperatura, além de outros parâmetros que interferem nas concentrações do oxigênio dissolvido, nitrogênio e fósforo. Portanto, a continuidade do monitoramento in loco é primordial para o desenvolvimento de mais modelos, além da calibração dos modelos já existentes, contribuindo para o planejamento de políticas públicas que sejam efetivas, em relação a distribuição da água em quantidade e em qualidade.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. 2021. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.ana.gov.br>. Acesso em 22 fev. 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos: avaliações e diretrizes para adaptação**. 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/panorama-das-aguas/mudancas-climaticas-recursos-hidricos/publicacoes-e-estudos-sobre-mudancas-climaticas>. Acesso em: 25 maio 2022
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Os Efeitos das Mudanças Climáticas Sobre os Recursos Hídricos: Desafios para a Gestão**. 2010. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/panorama-das-aguas/mudancas-climaticas-recursos-hidricos/publicacoes-e-estudos-sobre-mudancas-climaticas>. Acesso em: 25 maio 2022.
- AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Relatório de situação de recursos hídricos do Estado de Pernambuco 2011/2012**. Recife. 2013. 166 p.
- AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Bacias Hidrográficas - Rio Terra Nova**. 2021. Disponível em: <http://200.238.107.184/bacias-hidrograficas/40-bacias-hidrograficas/207-bacia-do-rio-terra-nova>. Acesso em: 26 mar. 2022.
- AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **PISF – O projeto**. 2022. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/pisf>. Acesso em: 25 nov. 2022.
- AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Bacia do Rio Terra Nova**. 2022. Disponível em: <http://200.238.107.184/bacias-hidrograficas/40-bacias-hidrograficas/207-bacia-do-rio-terra-nova>. Acesso em: 25 maio 2022.
- ALCÂNTARA, Lucas Ravellys Pyrrho de et al. Mudanças climáticas e tendências do regime pluviométrico do Recife. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 9, n. 3, p. 178932583, 6 mar. 2020. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i3.2583>.
- ALEXANDRE, Luana Martins da Silva et al. Uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Açude Acarape do Meio: o semiárido brasileiro: realidades e perspectivas. In: V WINOTEC, 5., 2018, Sobral. **Anais do WINOTEC**. Sobral: 2018. p. 1-5.
- ALILOU, Hossein *et al.* A novel approach for selecting sampling points locations to river water quality monitoring in data-scarce regions. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 573, n. 1, p. 109-122, jun. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.03.068>.
- ALMAGRO, André; OLIVEIRA, Paulo Tarso Sanches; BROCCA, Luca. Assessment of bottom-up satellite rainfall products on estimating river discharge and hydrologic signatures in Brazilian catchments. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 603, n. 1, p. 1-14, dez. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126897>.

ALMEIDA, Anderson et al. Modelagem e Predição temporal de Parâmetros de Qualidade de Água usando Redes Neurais Profundas. In: Workshop de Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais (WCAMA), 11., 2020, Evento Online. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2020. p. 121-130. ISSN 2595-6124. DOI: <https://doi.org/10.5753/wcama.2020.11026>.

ALMEIDA, Débora Natália Oliveira de et al. Uso e cobertura do solo utilizando geoprocessamento em municípios do Agreste de Pernambuco. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, [S.I], v. 4, n. 1, p. 58-68, jan. 2018. ISSN: 2595-4431.

ALMEIDA, Guilherme Giorgi Leite de et al. Análise de índices climáticos para avaliação do efeito de mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 001-017, 29 fev. 2020. Revista Brasileira de Geografia Física. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v13.1.p001-017>.

AMÉRICO-PINHEIRO, Juliana Heloisa Pinê; RIBEIRO, Lucíola Guimarães. Monitoramento de Recursos Hídricos e Parâmetros de Qualidade de Água em Bacias Hidrográficas. In: AMÉRICO-PINHEIRO, Juliana Heloisa Pinê; BENINI, Sandra Medina (org.). **Bacias hidrográficas: fundamentos e aplicações**. 2. ed. [S.I]: Anap, 2019. p. 89-109. (ISBN: 978-85-68242-83-4).

ANDERSON, Paulo Renda et al. Simulação do Efeito Estufa, da intensificação do Efeito Estufa pela presença de CO₂ e do impacto da mudança da cobertura da Terra na temperatura média do meio utilizando o Arduino. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 43, p. 1-4, 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2020-0355>.

ANDRADE, Antônio Ricardo Santos *et al.* Geoestatística aplicada à variabilidade espacial e padrões nas séries temporais da precipitação no agreste pernambucano. **Journal Of Environmental Analysis And Progress**, [S.L.], v. 3, n. 1, p. 126-145, 31 jan. 2018. Journal of Environmental Analysis and Progress - JEAP. <http://dx.doi.org/10.24221/jeap.3.1.2018.1668.126-145>.

ASADOLLAH, Seyed Babak Haji Seyed et al. River water quality index prediction and uncertainty analysis: a comparative study of machine learning models. **Journal Of Environmental Chemical Engineering**, [S.L.], v. 9, n. 1, fev. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2020.104599>.

ANGELOTTI, Francislene; SIGNOR, Diana; GIONGO, Vanderlise. Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro: experiências e oportunidades para o desenvolvimento. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 8, p. 1097-1111, 2 dez. 2015. Revista Brasileira de Geografia Física. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v8.0.p484-495>.

ANJOS, Rafael Silva; WANDERLEY, Lucas Suassuna de Albuquerque; NÓBREGA, Ranyére Silva. Análise espacial da precipitação e possíveis fatores que contribuem para sua espacialização em Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 018-34, 29 fev. 2020. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v13.1.p018-034>.

ARAUJO JUNIOR, João Carlos Moraes de. Análise do monitoramento da qualidade da água de rios da Bacia Hidrográfica do Rio Goiana. **Geociências Ung-Ser**, Guarulhos, v. 19, n. 2, p. 24-34, jan. 2020. DOI: 10.33947/1981-741X-v19n2-4450.

ARAUJO JUNIOR, João Carlos Moraes de. Variação temporal e sazonal do estado trófico do rio Maracáipe, litoral sul do estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, [S.I], v. 9, n. 1, p. 51-64, jan. 2021.

ARAÚJO, Fernanda Benício Coelho de et al. Avaliação espacial e sazonal da qualidade da água do rio Corrente dos Matões (Piauí), utilizando análise multivariada. *Ambiência*, Paraná, v. 16, n. 1, p. 900-917, mar. 2020. ISSN 2175-9405. DOI: 10.5935/ambiencia.2020.01.02.

ARAÚJO, João Paulo Rodrigues de; GRIGIO, Alfredo Marcelo; PEREIRA NETO, Manoel Cirício. Análise multitemporal de uso e ocupação do solo (1977-2018) e identificação de impactos ambientais negativos no município de Assú/RN. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.I], v. 12, n. 4, p. 1538-1553, maio 2019. ISSN:1984-2295.

ASSIS, Janaína Maria Oliveira de. **Análise de Tendências de Mudanças Climáticas no Semiárido de Pernambuco**. 2012. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

ASSIS, Janaina Maria Oliveira de et al. Mapeamento do Uso e Ocupação do Solo no Município de Belém de São Francisco – PE nos anos de 1985 e 2010. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.I], v. 7, n. 5, p. 949-959, dez. 2014. Número Especial-VIWMCRHPE. ISSN:1984-2295.

BARROSO, Gabriela Rodrigues; PINHEIRO, Wagner Ferreira; PEREIRA, Adriana Alves. Avaliação da qualidade da água do reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponto (MG) e sua relação com o volume de água do reservatório. **Revista Geográfica Acadêmica**, [S.I], v. 12, n. 2, p. 91-109, dez. 2018. ISSN 1678-7226.

BAYER, Débora Missio; CASTRO, Nilza Maria dos Reis; BAYER, Fábio Mariano. Modelagem e Previsão de Vazões Médias Mensais do Rio Potiribu Utilizando Modelos de Séries Temporais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.I], v. 17, n. 2, p. 229-239, jun. 2012.

BENTO, Nicole Lopes et al. Impactos do lançamento de efluentes na qualidade das águas do rio Catolé Grande. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 4, p. 39134-39149, abr. 2021. ISSN: 2525-8761.

BERLANDA, Adriana et al. Avaliação temporal e espacial da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Desquite, Santa Catarina. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.I], v. 26, n.1, p. 45-51, fev. 2021. FapUNIFESP (SciELO). DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220180094>

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 25 out. 2021.

BLEIDORN, Michel Trarbach *et al.* Modelagem e Previsão de Vazões Médias Mensais do Rio Jucu, ES, utilizando o Modelo SARIMA. **Irriga**, [S.L.], v. 24, n. 2, p. 320-335, 27 jun. 2019. Brazilian Journal of Irrigation and Drainage - IRRIGA. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2019v24n2p320-335>.

CALADO, Tatiana de Oliveira. **Análise da Relação do Uso do Solo com a Qualidade da Água do Açude Epitácio Pessoa no Eixo Leste do Projeto de Integração do Rio São Francisco**. 2020. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.

CAIXETA, Lorena Taís; MENEZES FILHO, Frederico Carlos Martins de; FONSECA, Vitor Luís Amorim. Modelagem e previsão de vazões médias mensais do Rio Paranaíba utilizando o modelo SARIMA. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [S.L.], v. 12, n. 3, p. 255-267, 14 jan. 2021. Companhia Brasileira de Producao Cientifica. <http://dx.doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2021.003.0022>.

CALDAS, Hidaiane Fayga Matias. **Análise da Evolução Espaço-Temporal da Qualidade da Água no Eixo Leste do Projeto de Integração do Rio São Francisco**. 2021. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.

CARVALHO, A. T. F. Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento: Discussão sobre os Impactos da Produção Social na Gestão de Recursos Hídricos no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, [S. l.], v. 1, n. 42, p. 140–161, 2020.

CHAWLA, Ila; KARTHIKEYAN, L.; MISHRA, Ashok K. A review of remote sensing applications for water security: quantity, quality, and extremes. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 585, n. 1, p. 1-28, jun. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124826>.

CHECHI, Leonardo; BAYER, Fábio M.. Modelos univariados de séries temporais para previsão das temperaturas médias mensais de Erechim, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 12, p. 1321-1329, set. 2012.

CHEN, Y. et al. Improving SWAT auto-irrigation functions for simulating agricultural irrigation management using long-term lysimeter field data. **Environmental Modelling & Software**, [S.L.], v. 99, p. 25-38, jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.09.013>.

COELHO, Victor H. R. et al. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 64-72, jan. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662014000100009>.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Apêndice E Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem**. 2016. São Paulo, SP. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2020/09/Apendice-E-Significado-Ambiental-e-Sanitario-das-variaveis.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2022.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Enquadramento dos Corpos Hídricos**. 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/enquadramento-dos-corpos-hidricos/>. Acesso em 20 julho 2022.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, 18 mar. 2005. n. 053, p. 58-63.

DA SILVA, E. de J.; COELHO, F.; DA SILVA, W. P. Sensoriamento remoto no monitoramento da qualidade dos recursos hídricos. **Cadernos UniFOA**, Volta Redonda, v. 12, n. 33, p. 121–130, 2017. DOI: 10.47385/cadunifoa.v12.n33.437.

DAMASCENO, Manuella Lima; PEREIRA, João Antônio dos Santos; SCHULER, Carlos Alberto Borba. Análise espaço temporal da cobertura vegetal do município de Arcoverde (Pernambuco). **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, [S.I.], v. 1, n. 1, p. 38-50, abr. 2020. ISSN: 2675-5491.

DANESHI, Alireza et al.. Modelling the impacts of climate and land use change on water security in a semi-arid forested watershed using InVEST. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 593, p. 125621-125639, fev. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125621>.

DANTAS, Leydson G. et al. Future Changes in Temperature and Precipitation over Northeastern Brazil by CMIP6 Model. **Water**, [S.L.], v. 14, n. 24, p. 4118-4144, 16 dez. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w14244118>.

DASTORANI, Mostafa et al. Simulation and prediction of surface water quality using stochastic models. Sustainable **Water Resources Management**, [S.L.], v. 6, n. 4, p. 1-17, ago. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s40899-020-00430-7>.

DELAVAR, M. et al. Basin-wide water accounting based on modified SWAT model and WA+ framework for better policy making. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 585, p. 124762-124772, jun. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124762>.

DIAS, Eric Mateus Soares. **Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos: Percepções sobre Riscos Climáticos e Capacidade Adaptativa na Região Semiárida do Rio Grande do Norte, Brasil**. 2020. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Estudos Urbanos e Regionais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.

DINIZ, Paulo Cesar O.; MALUF, Renato Sérgio. Usos e Conflitos por Água no Rio Paraíba em face da Transposição do Rio São Francisco: segurança hídrica e segurança alimentar no semiárido. In: OLIVEIRA, Robson José de (org.). **Agricultura em Foco: tópicos em manejo, fertilidade do solo e impactos ambientais - volume 2**. [S.I.]: Editora Científica, 2020. p. 251. (ISBN: 978-65-87196-17-6).

DUARTE, Victor Braga Rodrigues et al. Previsão de vazão na bacia hidrográfica do rio Manuel Alves da Natividade utilizando o modelo de séries temporais SARIMA. **Journal Of**

Biotechnology And Biodiversity, [S.L.], v. 7, n. 4, p. 457-468, 31 dez. 2019. Universidade Federal do Tocantins. <http://dx.doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v7n4.duarte>.

ELHAG, Mohamed; GITAS, Ioannis; OTHMAN, Anas; BAHRAWI, Jarbou; PSILOVIKOS, Aris; AL-AMRI, Nassir. Time series analysis of remotely sensed water quality parameters in arid environments, Saudi Arabia. **Environment, Development And Sustainability**, [S.L.], v. 23, n. 2, p. 1392-1410, 31 jan. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10668-020-00626-z>.

ESTEVEZ, Francisco de Assis. **Fundamentos de Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602 p.

FARIAS, Carolyne Wanessa Lins de Andrade et al. Calibrações Parciais do Modelo Swat como Suporte ao Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica Para Pernambuco. In: XV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 15., 2020, [S.I.]. **Anais do XV Simpósio de Recurso Hídricos do Nordeste**. [S.I]., 2020. p. 1-10.

FERNANDES, Renato de Oliveira *et al.* Implicações das Mudanças Climáticas na Disponibilidade de Água de Grandes Reservatórios do Semiárido. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 22., 2017, Florianópolis. **Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Florianópolis: ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2017. p. 1-8. Disponível em: <https://anais.abrhydro.org.br/events/60>. Acesso em: 22 mar. 2022.

FERREIRA, Yuciara Barbosa Costa *et al.* Segurança Hídrica em Região Semiárida: Avaliação da Capacidade Adaptativa em Municípios do Agreste Paraibano. In: FERREIRA, Yuciara Barbosa Costa. **Meio ambiente e sociedade: análises, diálogos e conflitos ambientais**. Campina Grande: Editora Amplla, 2020. p. 429. ISBN: 978-65-88332-07-8.

FIGUR, Cassia; REIS, Janete Teresinha. A Influência do Uso e Cobertura da Terra nos Parâmetros da Qualidade da Água na Bacia Hidrográfica do Rio Abaúna, Getúlio Vargas, RS. **Ciência e Natura**, [S.L.], v. 39, n. 2, p. 352, 23 maio 2017. Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/2179460x24335>.

FRANÇA, Luciana Mayla de Aquino et al. Análise do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú (Pernambuco) com o produto MODIS MCD12Q1. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, [S.I.], v. 1, n. 1, p. 11-27, 2020. ISSN: 2675-5491.

FREIRE, Letícia Lacerda; COSTA, Alexandre Cunha; LIMA NETO, Iran Eduardo. Spatio-temporal Patterns of River Water Quality in the Semiarid Northeastern Brazil. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 232, n. 11, p. 1-22, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05406-7>.

FREITAS, Letícia Oliveira; CALHEIROS, Tomás; REIS, Rui Bran Januário dos. Vulnerabilidade da mesorregião Norte de Minas Gerais face às mudanças climáticas \ The vulnerability of the Northern Minas Gerais mesoregion in the face of climate change. **Caderno de Geografia**, [S.L.], v. 29, n. 56, p. 134-155, 20 fev. 2019. Pontificia Universidade Católica de Minas Gerais. <http://dx.doi.org/10.5752/p.2318-2962.2019v29n56p134>.

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ. **Projeto Vulnerabilidade À Mudança Climática**. 2022. Acesso em: 20 julho 2022. Disponível em: <https://projetovulnerabilidade.fiocruz.br/>.

GALVINCIO, Josiclêda Domiciano. Estimativa da temperatura da superfície com imagens obtidas com drones. **Journal Of Hyperspectral Remote Sensing**, [S.I], v. 9, n. 6, p. 397-406, dez. 2019. ISSN:2237-2202.

GALVINCIO, Josiclêda Domiciano. Impacto do aumento de CO₂ nas Precipitações do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 14, n. 3, p. 1828-1839, jun. 2021. Revista Brasileira de Geografia Física. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v14.3.p1828-1839>.

GALVINCIO, Josiclêda Domiciano; LUZ, Gabrielly Gregorio da. Desenvolvimento de Modelo que Estima o Impacto do CO₂ Atmosférico nas Precipitações do Estado de Pernambuco, utilizando ARIMA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.I], v. 8, n. 3, p. 1840-1851, jun. 2021. ISSN:1984-2295.

GARCIA, Cairê A. et al. Análise da Qualidade da Água e do Uso e Ocupação do Entorno dos Corpos Hídricos da Estação Ecológica e Estação Experimental de Itirapina – Itirapina, SP. In: V Jornada de Gestão e Análise Ambiental, 5., 2018, São Carlos. **Anais da Jornada de Gestão e Análise Ambiental**. São Carlos, 2018. p. 458-468.

GARCIA, Carlos Alexandre Borges et al. Avaliação da qualidade da água do rio Paripe, Indiaroba-SE, com emprego de indicadores quantitativos. In: SOUSA, Inajá Francisco de; MONTEIRO, Adnivia Santos Costa; SANTANA, Neuma Rubia Figueiredo (org.). **Olhar dos recursos e do meio ambiente do estado de Sergipe**. Belo Horizonte: Poisson, 2020. p. 73-92. (ISBN: 978-85-7042-208-8).

GIORGI, Filippo; RAFFAELE, Francesca; COPPOLA, Erika. The response of precipitation characteristics to global warming from climate projections. **Earth System Dynamics**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 73-89, 6 fev. 2019. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/esd-10-73-2019>.

GLORIA, Lucivania Pereira; HORN, Bruna Carolina; HILGEMANN, Maurício. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS ATRAVÉS DA FERRAMENTA DO ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA - IQA. **Revista Caderno Pedagógico**, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 103-119, 8 jun. 2017. Editora Univates. <http://dx.doi.org/10.22410/issn.1983-0882.v14i1a2017.1421>.

GOMES, Ana Carla dos Santos *et al.* Construção de cenários futuros da temperatura máxima do ar: Capitais do Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.I], v. 14, n. 4, p. 2427-2445, jun. 2021. ISSN:1984-2295.

GOVERNO DE PERNAMBUCO. Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade. **Plano Estadual de Mudanças Climáticas**. 2011. 43 p.

GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO. Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco (PERH-PE): Diagnóstico Integrado**. Recife: Seinfra. 2022. 299p.

GOWTHAMAN, T. et al. Trend Analysis and ARIMA Models for Water Quality Parameters of Brahmani River, Odisha, India. **International Journal Of Environment And Climate**

Change, [S.L.], p. 219-228, 21 nov. 2022. Sciencedomain International.
<http://dx.doi.org/10.9734/ijecc/2022/v12i121457>.

GUIMARÃES, Sullyandro Oliveira et al. Projeções de Mudanças Climáticas sobre o Nordeste Brasileiro dos Modelos do CMIP5 e do CORDEX. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 31, n. 3, p. 337-365, set. 2016. FapUNIFESP (SciELO).
<http://dx.doi.org/10.1590/0102-778631320150150>.

GUO, Aijun *et al.* Uncertainty analysis of water availability assessment through the Budyko framework. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 576, n. 1, p. 396-407, set. 2019. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.06.033>.

HALLAK, Ricardo; PEREIRA FILHO, Augusto José. Metodologia Para Análise De Desempenho De Simulações De Sistemas Convectivos Na Região Metropolitana De São Paulo Com O Modelo ARPS: Sensibilidade A Variações Com Os Esquemas De Advecção E Assimilação De Dados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.I.], v. 26, n. 4, p. 591-608, fev. 2011.

HAMMAD-UR-REHMAN et al. Developing monthly hydrometeorological timeseries forecasts to reservoir operation in a transboundary river catchment. **Theoretical And Applied Climatology**, [S.L.], v. 147, n. 3-4, p. 1663-1674, 21 jan. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-021-03901-9>.

HUANG, Shengzhi et al. Quantitative contribution of climate change and human activities to vegetation cover variations based on GA-SVM model. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 584, p. 124687-124697, maio 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124687>.

IDE, Andre Keiiti; ANDRADE, Marcia Cristiane Kravetz. Impactos da perenização do riacho terra nova na agricultura irrigada do município de Cabrobó/PE. **Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade**, [S.I.], v. 10, n. 6, p. 1-21, 17 abr. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Terra Nova**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/salgueiro.html>. Acesso em: 21 abr. 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2014: Synthesis Report**. Geneva, Switzerland: IPCC, p.151, 2014 b.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **The Sixth Assessment Report: The numbers behind the science**. Geneva, Switzerland. 2022.

JAISWAL, Rahul Kumar; LOHANI, Anil Kumar; TIWARI, Hari Lal. A decision support system framework for strategic water resources planning and management under projected climate scenarios for a reservoir complex. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 603, n. 1, p. 1-25, dez. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127051>.

KAHIL, Mohamed Taher; DINAR, Ariel; ALBIAC, Jose. Modeling water scarcity and droughts for policy adaptation to climate change in arid and semiarid regions. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 522, n. 1, p. 95-109, mar. 2015. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.12.042>.

KISI, Ozgur; ALIZAMIR, Meysam; GORGII, Alireza Docheshmeh. Dissolved oxygen prediction using a new ensemble method. **Environmental Science And Pollution Research**, [S.L.], v. 27, n. 9, p. 9589-9603, 10 jan. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-019-07574-w>.

LACERDA, Francinete Francis. **Tendências de Temperatura e Precipitação e Cenários de Mudanças Climáticas de Longo Prazo no Nordeste Do Brasil e em Ilhas Oceânicas**. 2015. 114 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

LACERDA, Francinete Francis *et al.* Tendência do Clima do Semiárido Frente as Perspectivas das Mudanças Climáticas Globais: O Caso De Araripina, Pernambuco. **Geography Department University Of Sao Paulo**, [S.L.], v. 31, p. 132-141, 24 jul. 2016. Universidade de Sao Paulo, Agencia USP de Gestao da Informacao Academica (AGUIA). <http://dx.doi.org/10.11606/rdg.v31i0.114843>.

LEITE, Luan Carlos Octaviano Ferreira *et al.* Análise Do Uso e Ocupação Do Solo Na Bacia Hidrográfica Do Córrego Cantagalo, Três Rios-RJ. In: SIMPÓSIO DE GESTÃO AMBIENTAL E BIODIVERSIDADE, 7., 2018, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: Michael Alvim Milward-de-Azevedo e Erika Cortines, 2018. p. 149-152. Disponível em: <http://itr.ufrj.br/sigabi/anais>. Acesso em: 21 maio 2021.

LIMA, Berthyer Peixoto; MAMEDE, George Leite; LIMA NETO, Iran Eduardo. Monitoramento e modelagem da qualidade de água em uma bacia hidrográfica semiárida. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 23, n. 1, p. 125-135, fev. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522018167115>.

LIMA, Cleene Agostinho de et al. Uso de coberturas alternativas do solo para o controle das perdas de solo em regiões semiáridas. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 25, n. 3, p. 531-542, jun. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522020193900>.

LIMA, D. L. et al. Bibliometric Review about Turbidity and Suspended Solids by Remote sensing. **Anuário do Instituto de Geociências - Ufrj**, [S.L.], v. 42, n. 1, p. 107-116, 25 mar. 2019. Instituto de Geociencias - UFRJ. http://dx.doi.org/10.11137/2019_1_107_116.

LIMA, Luis Philippe de Arruda et al. Utilização de Estatística Descritiva e de Modelo SARIMA no Estudo de Precipitação na Região Sudeste de Mato Grosso. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 14, n. 1, p. 25-34, jan. 2020. <http://dx.doi.org/10.18316/rca.v14i.5739>.

LIMA, Thaís Silva; CANDEIAS, Ana Lúcia Bezerra; CUNHA, Maristela Casé Costa. Bioindicadores e Sensoriamento Remoto como Subsídios à Gestão dos Recursos Hídricos no Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.I.], v. 10, n. 6, p. 1974-1994, fev. 2018.

LIU, Xueqi *et al.* Evaluating potential impacts of land use changes on water supply-demand under multiple development scenarios in dryland region. **Journal Of Hydrology**, [S.I.], v. 610, p. 1-17, jul. 2022. Elsevier BV <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127811>.

LOPES, Fernando B. et al. Modelagem da qualidade das águas a partir de sensoriamento remoto hiperespectral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 18, p. 13-19, 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18nsupps13-s19>.

MARENGO, José A. et al. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. In: MEDEIROS, Salomão de Sousa; GHEY, Hans Rai; GALVÃO, Carlos de Oliveira; PAZ, Vital Pedro da Silva. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. Campina Grande. Instituto Nacional do Semiárido, 2011. P. 470. (ISBN 978-85-64265-011).

MARQUES, Amanda Carneiro; VERAS, Carlos Eduardo; RODRIGUEZ, Daniel Andrés. Assessment of water policies contributions for sustainable water resources management under climate change scenarios. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 608, n. 1, p. 1-13, maio 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127690>.

MARTINS, Letícia Lopes et al. Calibração hidrológica do modelo SWAT em bacia hidrográfica caracterizada pela expansão do cultivo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 576, 7 abr. 2020. Revista Brasileira de Geografia Física. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v13.2.p576-594>.

MEDEIROS, Ana Helena Coelho et al. ANÁLISE TEMPORAL DO USO DO SOLO NO TRECHO SUBMÉDIO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. **Sustentare**, [S.L.], p. 69-79, jan. 2018. Universidade Vale do Rio Verde (UninCor). <http://dx.doi.org/10.5892/st.v0i0.5218>.

MEDEIROS, Waneska Maria Vasconcelos; SILVA, Carlos Ernando da; LINS, Ruceline Paiva Melo. Avaliação sazonal e espacial da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Longá. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 1-17, 16 abr. 2018. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2054>.

MELO, Bartolomeu Vieira de et al. GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS EM RESERVATÓRIOS ATENDIDOS PELO PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO. **Sustentare**, [S.L.], p. 80-92, 2018. Universidade Vale do Rio Verde (UninCor). <http://dx.doi.org/10.5892/st.v0i0.5219>.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de (org.). **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: Cnpq, 2012. 276 p.

MENEZES, João Paulo Cunha et al. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 21, n. 3, p. 519-534, set. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016145405>.

MINHONI, Renata Teixeira de Almeida et al. Monitoramento de macrófitas aquáticas no rio São Francisco no trecho urbano de Petrolina-PE. **Scientia Plena**, [S.L.], v. 14, n. 3, p. 1-9, 30 abr. 2018. Associacao Sergipana de Ciencia. <http://dx.doi.org/10.14808/sci.plena.2018.039901>.

Ministério do Desenvolvimento Regional - MDR. **Projeto de Integração do Rio São Francisco**. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/projeto-sao-francisco>. Acesso em: 22 jun. 2022.

MO, Kangle et al. Spatiotemporal variation of correlation between vegetation cover and precipitation in an arid mounta. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 574, n. 1, p. 138-147, jul. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.044>.

MORAIS, Ana Clara da Silva; BARBOSA, Nyedja Fialho Morais. Modelagem de dados volumétricos do açude Eptácio Pessoa (Boqueirão). **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 11, n. 11, p. 1-10, 26 ago. 2022. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i11.33772>

MORAIS, Maria Alcilene et al. Qualidade da água como instrumento para a gestão hídrica da Bacia Hidrográfica Piranhas-Açu (Rio Grande do Norte, Brasil). **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, [S.L.], v. 7, n. 17, p. 1563-1573, 2020. Revista Brasileira de Gestao Ambiental e Sustentabilidade. [http://dx.doi.org/10.21438/rbgas\(2020\)071733](http://dx.doi.org/10.21438/rbgas(2020)071733).

NASCIMENTO, Katarina Romênia Pinheiro et al. Impacto da precipitação e do uso e ocupação do solo na cobertura vegetal na Caatinga. **Journal Of Environmental Analysis And Progress**, [S.L.], v. 5, n. 2, p. 221-231, 30 jun. 2020. Journal of Environmental Analysis and Progress - JEAP. <http://dx.doi.org/10.24221/jeap.5.2.2020.3058.221-231>.

NUNES, Francisco Miquéias Sousa. **AVALIAÇÃO HIDROSEDIMENTOLOGICA DE UMA BACIA SEM DADOS DE VAZÃO UTILIZANDO O MODELO SWAT**. 2018. 188 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.

OKUMURA, Adriana Tiemi Ramos et al. Determinação da qualidade da água de um rio tropical sob a perspectiva do uso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.I.], v. 13, n. 04, p. 1835-1850, jun. 2020. ISSN:1984-2295.

OLIVEIRA, Paulo José Alves de. **Previsão de Demanda de Água em Sistemas de Abastecimento Através de Modelos ARIMA Sazonais**. 2012. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2012.

OLIVEIRA FILHO, Sileno Fernandes *et al.* Uso da ferramenta SIG para o monitoramento no desenvolvimento de culturas na região do semiárido paraibano. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 1-22, 26 mar. 2022. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i4.27728>.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Agenda 2030**. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 03 jun. 2021.

ORTIZ, Ana Carolina Tomaz Duarte Tobaruela; GUIMARÃES, Ednaldo Carvalho. Análise de cluster aplicada às emissões de CO2 no Brasil. **Geografia**, [S.L.], v. 47, n. 1, p. 1-23, 8 nov. 2022. UNESP - Universidade Estadual Paulista. <http://dx.doi.org/10.5016/geografia.v47i1.16714>.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Base Científica das Mudanças Climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas. 2013. Rio de Janeiro – RJ. Disponível em: <http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/>. Acesso em 22. mar. 2022.

PANG, Shujiang et al. Development and testing of a modified SWAT model based on slope condition and precipitation intensity. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 588, p. 125098-125111, set. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125098>.

PROBIO - Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira. **Relatório de atividades – PROBIO 1996-2002**. Brasília. 2002.

QUINELATO, Raquel Viana et al. Análise espaço temporal da qualidade da água dos rios Peruípe, Itanhém e Jucuruçu, Bahia. **Scientia Plena**, [S.L.], v. 16, n. 7, p. 1-12, 27 ago. 2020. Associação Sergipana de Ciencia. <http://dx.doi.org/10.14808/sci.plena.2020.071701>.

RAHMAN, Khalil Ur et al. Hydrological evaluation of merged satellite precipitation datasets for streamflow simulation using SWAT: a case study of potohar plateau, pakistan. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 587, p. 125040-125050, ago. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125040>.

RAMOS, Nyadja Menezes Rodrigues. **Modelagem na Gestão de Sistemas Hídricos Integrados do Semiárido Brasileiro: Estudo de caso do Agreste Pernambucano**. 2017. 145 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

REIS NETO, Afonso Feitosa et al. MUDANÇAS CLIMÁTICAS, EVENTOS EXTREMOS E DESLOCADOS AMBIENTAIS: CASO PALMARES/PE. **Revista Movimentos Sociais e Dinâmicas Espaciais**, Recife, v. 7, n. 1, p. 210-228, maio 2018. ISSN: 2238-8052.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. Conceitos básicos de modelagem hidrológica. **Santa Maria: INPE**, 2008.

RODRIGUES, Bruno Magro et al. Avaliação da influência do uso e cobertura da terra na qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Pirapozinho (SP). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.I.], v. 12, n. 3, p. 738-753, dez. 2018. ISSN:1984-2295.

RODRIGUES, Italo Sampaio et al. Trends of evaporation in Brazilian tropical reservoirs using remote sensing. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 598, n. 1, p. 1-13, jul. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126473>.

SALES, Domingo Cassain et al. Projeções de mudanças na precipitação e temperatura no nordeste brasileiro utilizando a técnica de downscaling dinâmico. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 30, n. 4, p. 435-456, dez. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620140075>.

SALES, João Marcos de Jesus et al. Variabilidade espaço-temporal da qualidade da água em área de agricultura irrigada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. Fortaleza, v. 14, n. 3, p. 4071-4085, out. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.7127/rbai.v14n101167>.

SAMIMI, Maryam et al. Modeling arid/semi-arid irrigated agricultural watersheds with SWAT: applications, challenges, and solution strategies. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 590, p. 125418-125428, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125418>.

SANDOVAL, Elmer Marcial Limache. Modelo ARIMA sobre el consumo de agua de uso poblacional en la ciudad de Tacna. **Revista Veritas Et Scientia**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 69-82, 22 maio 2021. Universidad Privada de Tacna. <http://dx.doi.org/10.47796/ves.v10i1.461>.

SANTANA, Cícero Fellipe Diniz de et al. Análise de desempenho de modelos preditivos para determinação do comportamento padrão de séries pluviométricas. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [S.L.], v. 12, n. 4, p. 229-244, 8 fev. 2021. Companhia Brasileira de Produção Científica. <http://dx.doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2021.004.0020>.

SANTOS, Rosa Cecília Lima et al. Aplicação de índices para avaliação da qualidade da água da Bacia Costeira do Sapucaia em Sergipe. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 23, n. 1, p. 33-46, 3 ago. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522017159832>.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356 p.

SANTOS, Antônio Genessis Bezerra dos et al. Caracterização Morfométrica e Uso e Ocupação do Solo em Bacia Hidrográfica do Semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 14, n. 2, p. 1036-1043, 14 abr. 2021. Revista Brasileira de Geografia Física. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p1036-1043>.

SANTOS, Antônio Marcos dos; GALVINCIO, Josicleda Domiciano; MOURA, Magna Soelma Bezerra de. Mudanças climáticas e o escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Goiana - Pernambuco - Brasil. **Investigaciones Geográficas - Boletín del Instituto de Geografía**, [S.I.], v. 81, n. 1, p. 51-65, ago. 2013. ISSN 0188-4611.

SANTOS, José Yure Gomes dos et al. Modeling the impacts of future LULC and climate change on runoff and sediment yield in a strategic basin in the Caatinga/Atlantic forest ecotone of Brazil. **Catena**, [S.L.], v. 203, n. 1, p. 1-14, ago. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2021.105308>.

SANTOS, Sizabeli; GASTALDINI, Maria do Carmo Cauduro; PIVETTA, Glaucia Ghesti; SCHMIDT FILHO, Osmar. Qualidade da água na bacia hidrográfica urbana Canela Tamandaí, Santa Maria/RS. **Sociedade & Natureza**, [S.L.], v. 30, n. 2, p. 23-44, 2018. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/sn-v30n2-2018-2>.

SANTOS, Wesley de Oliveira et al. Variabilidade espacial e temporal das precipitações para a Microrregião de Pau dos Ferros-RN. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.I.], v. 7, n. 3, p. 434-441, set. 2014. ISSN:1984-2295.

SENA, Aderita et al. Medindo o invisível: análise dos objetivos de desenvolvimento sustentável em populações expostas à seca. **Ciência & Saúde Coletiva**, [S.L.], v. 21, n. 3, p.

671-684, mar. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1413-81232015213.21642015>.

SILVA, Adriana Maria Cunha; CUNHA, Maristela Casé Costa; LOPES, Denise Vieira. Qualidade da água como reflexo de atividades antrópicas em bacias hidrográficas do Nordeste, Brasil. **Geosul**, [S.L.], v. 34, n. 72, p. 102-123, 25 jul. 2019. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). <http://dx.doi.org/10.5007/1982-5153.2019v34n72p102>.

SILVA, Fabrício Brito et al. Evidências de Mudanças Climáticas na Região de Transição Amazônia-Cerrado no Estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 31, n. 3, p. 330-336, set. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778631320150149>.

SILVA, Francisca de Fátima Nascimento et al. (NOTA DE PESQUISA) ESTUDO DE CASO: temperatura média mensal de regiões do litoral e semiárido do nordeste brasileiro (case study). **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.L.], v. 17, p. 282-299, 31 dez. 2015. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v17i0.42313>.

SILVA, Greicy Kelly da et al. Análise de projeções das mudanças climáticas sobre precipitação e temperatura nas regiões hidrográficas brasileiras para o século XXI. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, [S.L.], v. 55, n. 3, p. 420-436, 19 jun. 2020. Zeppelini Editorial e Comunicação. <http://dx.doi.org/10.5327/z2176-947820200624>.

SILVA, Isabela Regina da et al. Influência da precipitação e do uso e ocupação do solo na qualidade da água da bacia do Ribeirão Espírito Santo – Juiz de Fora/MG. **Revista de Estudos Ambientais**, [S.L.], v. 22, n. 1, p. 35, 18 dez. 2020. Fundacao Universidade Regional de Blumenau. <http://dx.doi.org/10.7867/1983-1501.2020v22n1p35-51>.

SILVA, Marcela Alves da. Algumas considerações sobre a modelagem hidrológica aplicada à gestão ambiental. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, [S.I.], v. 1, n. 1, p. 15-21, nov. 2014. ISSN 2359-1412.

SILVA, Roberto Omena Barbosa da; MONTENEGRO, Suzana Maria Gico Lima; SOUZA, Weronica Meira de. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 22, n. 3, p. 579-589, maio 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522017142481>.

SILVA, M.I. et al. Assessment of groundwater quality in a Brazilian semiarid basin using an integration of GIS, water quality index and multivariate statistical techniques. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 598, p. 1-14, jul. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126346>.

SILVEIRA, Cleiton et al. Mudanças climáticas na bacia do rio São Francisco: uma análise para precipitação e temperatura / climate change in the são francisco river basin. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.L.], v. 21, n. 2, p. 416-428, 1 abr. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v21n2.p416-428>.

SILVEIRA, Nara Tôrres; MARTINS, Lyndyanne Dias; OLIVEIRA, Tiago Henrique de. Análise Espaço Temporal da Cobertura Vegetal da Bacia Hidrográfica do Terra Nova -

Pernambuco. In: LISTO, Fabrizio de Luiz Rosito; LISTO, Danielle Gomes da Silva; OLIVEIRA, Igor Gustavo Ferreira de; FREITAS, Leonardo Cristiano da Silva. **A Cartografia na Era Digital**: Danielle gomes da silva listo. Recife: Editora Mapgeo - Mapeamentos e Soluções Geográficas, Empresa Jr., 2022. Cap. 7. p. 71-80. (ISBN: 978-65-00-45596-0).

SILVEIRA, Nara Tôrres; SILVEIRA, Heitor Tôrres; TIBÚRCIO, Igor Maciel; GALVÍNCIO, Josiclêda Domiciano. Avaliação da qualidade da água do reservatório Nilo Coelho, Terra Nova, Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 15, n. 6, p. 2866-2877, 2022. *Revista Brasileira de Geografia Física*. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v15.6.p2866-2877>.

SIMONETTI, Vanessa Cezar; SILVA, Darllan Collins da Cunha e; ROSA, André Henrique. Análise da influência das atividades antrópicas sobre a qualidade da água da APA Itupararanga (SP), Brasil. **Geosul**, [S.L.], v. 34, n. 72, p. 01-27, 25 jul. 2019. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). <http://dx.doi.org/10.5007/1982-5153.2019v34n72p01>.

SOARES, Rafael Diego Barbosa; CRUZ, Ronne Wesley Lopes; SILVA, Carlos Ernando. A influência da precipitação na variabilidade da qualidade da água do rio Parnaíba. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 5, n. 9, p. 16645-16674, 2019. *Brazilian Journal of Development*. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv5n9-204>.

SOARES, Thiago Costa; CUNHA, Dênis Antônio da. Emissões de gases de efeito estufa e eficiência ambiental no Brasil. **Nova Economia**, [S.L.], v. 29, n. 2, p. 429-458, ago. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-6351/3795>.

SOBRAL, Maria do Carmo Martins et al. Impacto das Mudanças Climáticas nos Recursos Hídricos no Submédio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – Brasil. **Rede - Revista Eletrônica do Prodepa**, Fortaleza, v. 12, n. 3, p. 95-106, ago. 2018. ISSN 1982-5528. <https://doi.org/10.22411/rede2018.1203.10>.

SOUSA, Rayssa Garcia de et al. Mapeamento da distribuição espacial da qualidade da água em função do uso e da ocupação do solo e da precipitação na Bacia do Rio Pará, MG. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 27, n. 4, p. 817-829, ago. 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-415220200369>.

SOUZA NETO, Luiz Tavernard de; GRÍGIO, Alfredo Marcelo; CARVALHO, Rodrigo Guimarães de. Identificação e análise dos padrões de uso do solo e cobertura vegetal do município de Portalegre/RN. **Revista Pensar Geografia**, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 55-70, ago. 2020. *Revista Pensar Geografia*. <http://dx.doi.org/10.26704/rpgeo>.

SOUZA, Naiane Barros de et al. Avaliação bacteriológica da água em uma piscicultura, no reservatório Moxotó-BA, destinada ao cultivo de *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). In: MARTINS, Wiaslan Figueiredo; OLIVEIRA, Cybelle Pereira de (org.). **Tecnologia e microbiologia sob a perspectiva da segurança dos alimentos**. Guarujá: Editora Científica Digital, 2022. p. 13-23. (ISBN 978-65-5360-066-9). <https://dx.doi.org/10.37885/210906224>.

SOUZA, Sirius Oliveira; FOLHARINI, Saulo de Oliveira. Mapeamento do uso e ocupação da terra do município de Petrolina (PE) – Médio Vale do rio São Francisco através do NDVI de

imagem Landsat 8 (OLI). **Revista Equador**, [S.L.], v. 8, n. 2, p. 489-502, 31 ago. 2019. Universidade Federal do Piauí. <http://dx.doi.org/10.26694/equador.v8i2.9204>.

SPERLING, Marcos Von. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243 p.

TAKAFUJI, Eduardo Henrique de Moraes; ROCHA, Marcelo Monteiro da; MANZIONE, Rodrigo Lilla. Groundwater Level Prediction/Forecasting and Assessment of Uncertainty Using SGS and ARIMA Models: a case study in the Bauru aquifer system (Brazil). **Natural Resources Research**, [S.L.], v. 28, n. 2, p. 487-503, 17 ago. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11053-018-9403-6>.

TAO, Hai et al. Determination of biochemical oxygen demand and dissolved oxygen for semi-arid river environment: application of soft computing models. **Environmental Science and Pollution Research**, [S.L.], v. 26, n. 1, p. 923-937, 12 nov. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-018-3663-x>.

TAVARES, Válter Cardoso; ARRUDA, Ítalo Rodrigo Paulino de; SILVA, Danielle Gomes da. Desertificação, mudanças climáticas e secas no semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica. **Geosul**, [S.L.], v. 34, n. 70, p. 385-405, 25 mar. 2019. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). <http://dx.doi.org/10.5007/2177-5230.2019v34n70p385>.

TIEZZI, Rafael O. et al. Trends of streamflow under climate change for 26 Brazilian basins. **Water Policy**, [S.L.], v. 21, n. 1, p. 206-220, 24 dez. 2018. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/wp.2018.207>.

TIYASHA; TUNG, Tran Minh; YASEEN, Zaher Mundher. A survey on river water quality modelling using artificial intelligence models: 2000-2020. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 585, n. 1, p. 1-62, jun. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124670>.

TUCCI, C. E. M. Modelos hidrológicos distribuídos. **Rhama**, Porto Alegre, fev. 2010.

VEETTIL, Anoop Valiya; MISHRA, Ashok K.; GREEN, Timothy R. Explaining water security indicators using hydrologic and agricultural systems models. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 607, p. 1-15, abr. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127463>.

VEIGA, Lilian Bechara Elabras; CARVALHO, Diego de Oliveira; MEDRONHO, Lorena Martins. Gestão recursos hídricos: adaptação em um cenário de mudanças climáticas. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 23., 2019, Foz do Iguaçu. **Anais do Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Foz do Iguaçu: ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2019. p. 1-10.

VIANA, Jussara Freire de Souza et al. Modelagem Hidrológica da Bacia Hidrográfica do Rio Pirapama – PE utilizando o modelo SWAT. **Journal Of Environmental Analysis And Progress**, [S.L.], v. 3, n. 1, p. 155-172, 31 jan. 2018. Journal of Environmental Analysis and Progress - JEAP. <http://dx.doi.org/10.24221/jeap.3.1.2018.1709.155-172>.

VIEIRA, Isabel Cristina Bohn; RIBEIRO, Eduardo Augusto Werneck. Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água no rio Itajaí-Açu, Santa Catarina. **Revista de**

Geografia, [S.L.], v. 38, n. 2, p. 396, 23 jul. 2021. Universidade Federal de Pernambuco. <http://dx.doi.org/10.51359/2238-6211.2021.248822>.

VIEIRA, Sabrina Antunes *et al.* Metodologia de imputação de dados hidrometeorológicos para análise de séries históricas para avaliação de impactos das mudanças climáticas – bacia do rio dos Sinos, RS, BRASIL. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.L.], v. 23, p. 189-204, 23 out. 2018. Universidade Federal do Parana. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v23i0.56219>.

WAHID, A. Abdul; ARUNBABU, E.. Forecasting water quality using seasonal ARIMA model by integrating in-situ measurements and remote sensing techniques in Krishnagiri reservoir, India. **Water Practice And Technology**, [S.L.], v. 17, n. 5, p. 1230-1252, 1 maio 2022. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/wpt.2022.046>.

WANG, Xuan; TIAN, Wenchong; LIAO, Zhenliang. Statistical comparison between SARIMA and ANN's performance for surface water quality time series prediction. **Environmental Science And Pollution Research**, [S.L.], v. 28, n. 25, p. 33531-33544, 27 fev. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-021-13086-3>.

WU, Jingwen *et al.* Development of reservoir operation functions in SWAT+ for national environmental assessments. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 583, n. 1, p. 1-21, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124556>.

WU, Junhao; WANG, Zhaocai. A Hybrid Model for Water Quality Prediction Based on an Artificial Neural Network, Wavelet Transform, and Long Short-Term Memory. **Water**, [S.L.], v. 14, n. 4, p. 610-636, 17 fev. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w14040610>.

XAVIER, Ana Paula Campos; SILVA, Richarde Marques da. Modelagem temporal dinâmica do uso e ocupação do solo baseado em SIG para a bacia do rio Tapacurá (PE). **Geosciences = Geociências**, [S.L.], v. 37, n. 1, p. 193-210, 4 abr. 2018. UNESP - Universidade Estadual Paulista. <http://dx.doi.org/10.5016/geociencias.v37i1.12623>.

XIONG, Lvyang *et al.* Enhancing the capability of hydrological models to simulate the regional agro-hydrological processes in watersheds with shallow groundwater: based on the swat framework. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 572, p. 1-16, maio 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.02.043>.

ZÁKHIA, Estefânia Maria Sousa *et al.* Impactos das Mudanças Climáticas em uma Bacia Hidrográfica no Sul do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 36, n. 4, p. 667-681, dez. 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786360002>.

ZHANG, Gengxi *et al.* Remote-sensing precipitation and temperature evaluation using soil and water assessment tool with multiobjective calibration in the Shiyang River Basin, Northwest China. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 590, p. 125416-125426, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125416>.

ZHANG, Lei; ZHANG, G. X.; LI, R. R. **Water quality analysis and prediction using hybrid time series and neural network models**. 2018.

ZHANG, Ling *et al.* Evaluation and integration of the top-down and bottom-up satellite precipitation products over mainland China. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 581, n. 1, p. 1-15, fev. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124456>.

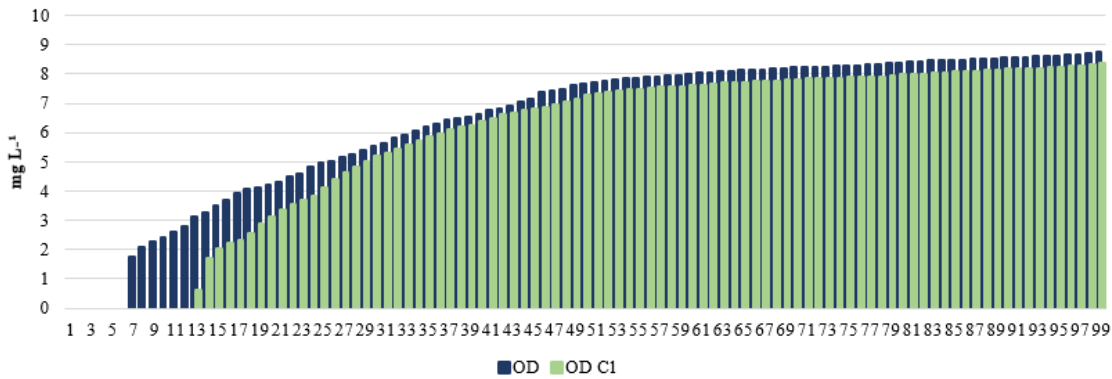
ZHAO, Fen *et al.* Analyzing the influence of landscape pattern change on ecological water requirements in an arid/semiarid region of China. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 578, p. 124098-124108, nov. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124098>.

ZHENG, Wenbo *et al.* Response of soil water movement and groundwater recharge to extreme precipitation in a headwater catchment in the North China Plain. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 576, n. 1, p. 466-477, set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.06.07>.

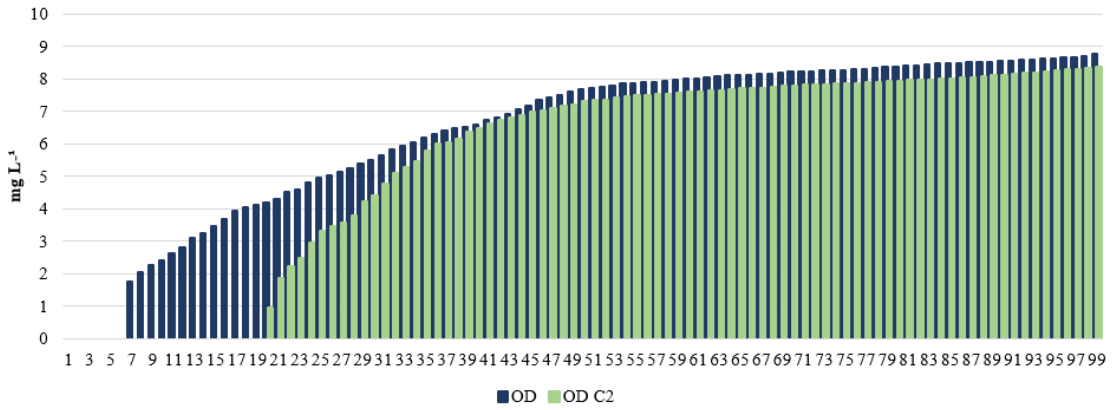
ZHOU, Shenghan *et al.* A Hybrid Prediction Framework for Water Quality with Integrated W-ARIMA-GRU and LightGBM Methods. **Water**, [S.L.], v. 14, n. 9, p. 1-23, 19 abr. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w14091322>.

APÊNDICE

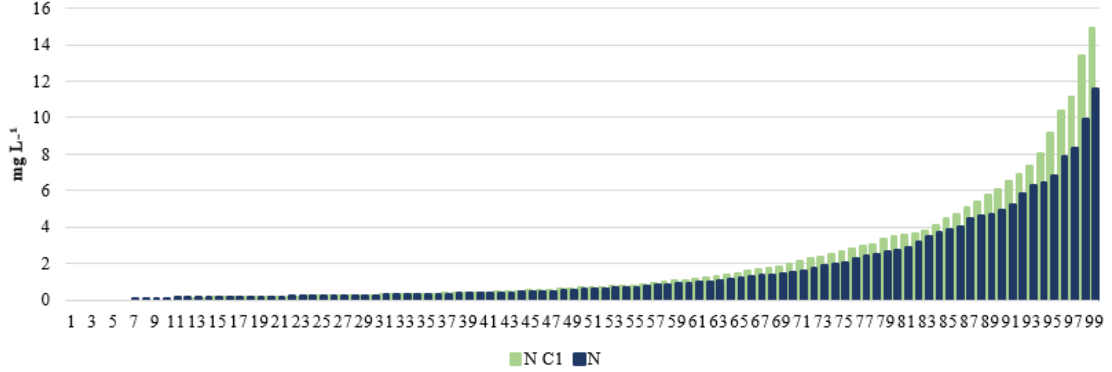
Apêndice A - Percentis aplicados para análise do comportamento da série histórica com cenário sem alteração, em azul, e o C1, em verde, para o oxigênio dissolvido



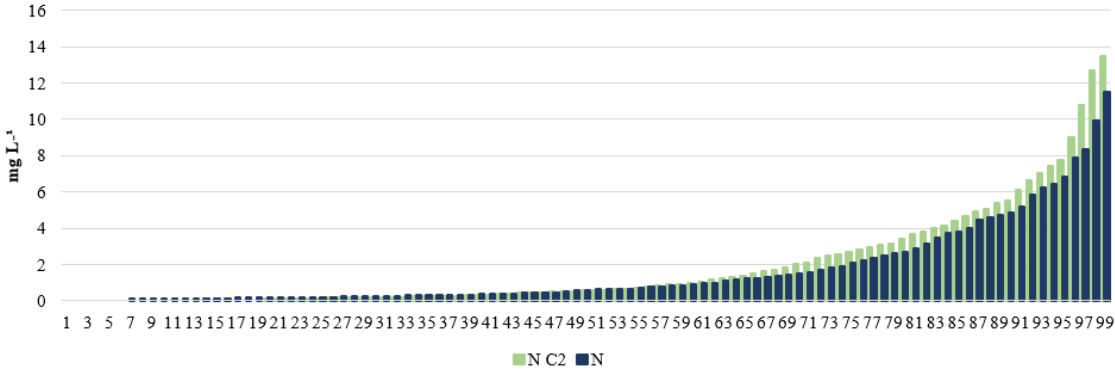
Apêndice B - Percentis aplicados para análise do comportamento da série histórica com cenário sem alteração, em azul, e o C2, em verde, para o oxigênio dissolvido



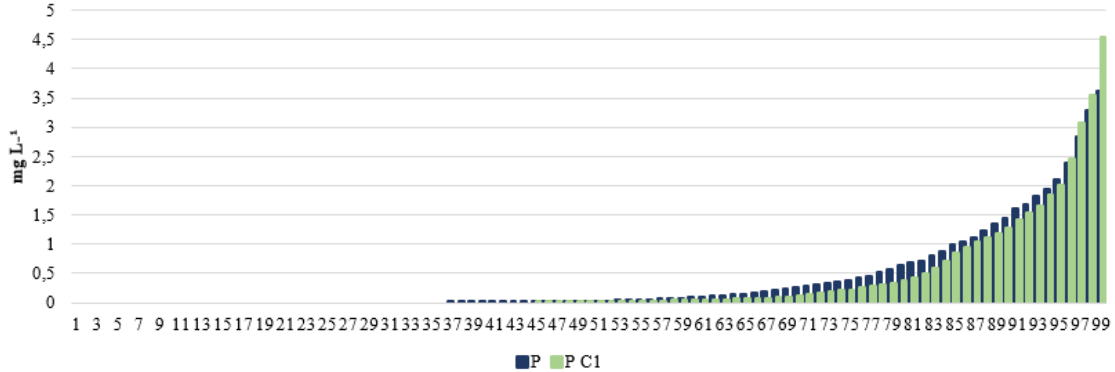
Apêndice C - Percentis aplicados para análise do comportamento da série histórica com cenário sem alteração, em azul, e o C1, em verde, para o nitrogênio



Apêndice D - Percentis aplicados para análise do comportamento da série histórica com cenário sem alteração, em azul, e o C2, em verde, para o nitrogênio



Apêndice E - Percentis aplicados para análise do comportamento da série histórica com cenário sem alteração, em azul, e o C1, em verde, para o fósforo



Apêndice F - Percentis aplicados para análise do comportamento da série histórica com cenário sem alteração, em azul, e o C2, em verde, para o fósforo

