



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
CAMPUS DE POMBAL-PB

DANIELE DE ALMEIDA CARREIRO

**AVALIAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA QUALIDADE AMBIENTAL
DA ÁGUA DE RESERVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO EM UMA SUB-BACIA
DO RIO PIANCÓ-PIRANHAS-AÇU**

POMBAL-PB

2021

DANIELE DE ALMEIDA CARREIRO

**AVALIAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA QUALIDADE AMBIENTAL
DA ÁGUA DE RESERVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO EM UMA SUB-BACIA
DO RIO PIANCÓ-PIRANHAS-AÇU**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. José Cleidimário Araújo Leite,

Área de concentração: Saneamento Ambiental.

POMBAL-PB

2021

C314a

Carreiro, Daniele de Almeida.

Avaliação do uso e ocupação do solo na qualidade ambiental da água de reservatórios de abastecimento em uma sub-bacia do Rio Piancó-Piranhas-Açu / Daniele de Almeida Carreiro. - Pombal, 2021.

62f. : il. Color

Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2021.

"Orientação: Prof. Dr. Cledimário Araújo Leite".

Referências.

1. Bacias Hidrográficas. 2. Recursos Hídricos. 3. Análise de Componentes Principais. 4. Impactos Ambientais. I. Leite, Cledimário Araújo. II. Título.

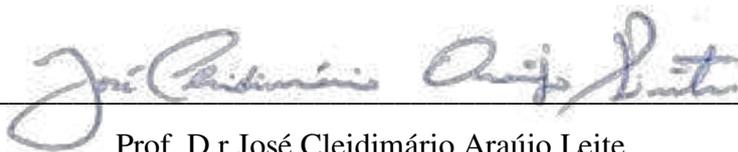
CDU 556.51(043)

DANIELE DE ALMEIDA CARREIRO

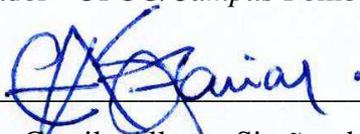
**AVALIAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA QUALIDADE
AMBIENTAL DA ÁGUA DE RESERVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO EM
UMA SUB-BACIA DO RIO PIANCÓ-PIRANHAS-AÇU**

Aprovado em 07 de outubro de 2021.

BANCA EXAMINADORA



Prof. D.r José Cleidimário Araújo Leite
Orientador - UFCG/*Campus* Pombal - PB



Prof. D.r Camilo Allyson Simões de Farias
Examinador Interno - UFCG/*Campus* de Pombal - PB



Ma. Eng. Katherine da Silva Sousa
Examinadora Externa - Empresa "*PROJECT ENGENHARIA*"

POMBAL - PB

2021

Aos meus pais, minha maior força e a razão de tudo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que nunca me desamparou, sempre me deu forças para enfrentar as dificuldades com resiliência e permanecer nesta caminhada.

Aos meus Pais, Maria de Almeida Carreiro e João Carreiro Neto (in memoriam), pelos ensinamentos passados, por tanta dedicação, amor e por nunca medirem esforços para me verem feliz e realizada. Tudo que tenho de bom em mim hoje, foi vocês que me deram.

Ao meu irmão, Daniel de Almeida, pela amizade, apoio e sempre acreditar na minha capacidade de fazer mais.

Ao meu namorado, Tássio Jordan, pela paciência, apoio e pelo auxílio sempre que necessitei.

Ao meu orientador, Prof. José Cleidimário, agradeço pela orientação não apenas na realização desse trabalho, mas também durante toda a minha graduação, pela paciência e auxílio quando precisei, por sempre confiar em mim e no meu potencial e principalmente pela amizade, aos ensinamentos passados não somente como professor, mas também como pessoa.

À Universidade Federal de Campina Grande e a todo o corpo docente do curso de Engenharia Ambiental, pelo acolhimento e suporte concedidos durante todo esse tempo, e sou grata principalmente pela contribuição desses profissionais na minha vida acadêmica, que fizeram toda a diferença.

A Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) pela concessão dos dados de análise da água.

Aos meus colegas, em especial a Milena Ketlem, Lisiane Linhares, Thadeu Formiga, Mayara Carolino e Eduardo Nascimento, pela amizade durante toda a graduação e por tornarem essa caminhada menos árdua.

À minha família e amigos, sou grata pela companhia e pelo apoio dado durante essa jornada.

A todos aqueles que não mencionei, mas que direta ou indiretamente estiveram ao meu lado, acreditaram nos meus sonhos comigo e na minha capacidade realizá-los, agradeço de coração, pois vocês foram muito importantes durante essa trajetória.

Todos vocês foram essenciais para a concretização desse sonho. Muito obrigada!

*Um pouco de ciência nos afasta de Deus.
Muito, nos aproxima.*

Louis Pasteur

CARREIRO, D. A. **AVALIAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA QUALIDADE AMBIENTAL DA ÁGUA DE RESERVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO EM UMA SUB-BACIA DO RIO PIANCÓ-PIRANHAS-AÇU.** (2021). 62 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB. 2021.

RESUMO

A água é um recurso natural essencial para a manutenção da vida, e sua qualidade está associada a diversos processos ocorrentes em uma bacia hidrográfica. Neste estudo, teve-se por objetivo avaliar a influência das formas de uso e ocupação do solo sobre a qualidade ambiental da água em reservatórios de abastecimento da bacia hidrográfica do Rio Piancó. Foram estudados quatro reservatórios, para os quais foram analisadas 05 (cinco) formas de uso e ocupação do solo: vegetação densa, vegetação aberta, solo exposto, corpos hídricos superficiais e áreas urbanas, além da elaboração do mapa pedológico da área. Os parâmetros de qualidade da água foram obtidos na Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA): Cálcio, Magnésio, Ferro, dureza, cor aparente, pH, turbidez, sólidos totais dissolvidos, coliformes totais, oxigênio consumido, cloretos e *Escherichia coli*. Para avaliar a correlação, utilizou-se a análise de componentes principais (ACP) como método estatístico multivariado. As classes de vegetação densa e vegetação aberta obtiveram os maiores percentuais nos reservatórios, que apresentaram valores de solo exposto significativos e concentrados em regiões desfavoráveis. Identificaram-se maiores extensões de Neossolo litólico, Luvisolo crômico e Argissolo-Vermelho em todas as sub-bacias. Foram selecionadas três componentes principais que explicaram uma variação total dos dados superior a 80%. As variáveis mais significativas estão associadas ao aporte de sedimentos nos reservatórios, sais dissolvidos e poluição orgânica e microbiológica. Fatores como desenvolvimento de atividades agropecuárias, principalmente às margens dos reservatórios, ausência de mata ciliar e o tipo de solo também apresentaram potencial de interferência na qualidade dos corpos hídricos.

Palavras-Chave: Recursos hídricos. Análise de componentes principais. Bacia hidrográfica do Rio Piancó.

CARREIRO, D. A. EVALUATION OF LAND USE AND OCCUPATION ON THE ENVIRONMENTAL QUALITY OF WATER FROM SUPPLY RESERVOIRS IN A SUB-BASIN OF THE PIANCÓ-PIRANHAS-AÇU RIVER. (2021). 62 p. Completion of Course Work (Graduation in Environmental Engineering) - Federal University of *Campina Grande, Pombal-PB*. 2021.

ABSTRACT

Water is a natural resource essential for the maintenance of life, and its quality is associated with various processes occurring in a watershed. In this study, the objective was to evaluate the influence of land use and occupation forms on the environmental quality of water in supply reservoirs of the Piancó River watershed. Four reservoirs were studied, for which 05 (five) forms of land use and occupation were analyzed: dense vegetation, open vegetation, exposed soil, surface water bodies and urban areas, besides the elaboration of a pedological map of the area. The water quality parameters were obtained from the Paraíba Water and Sewage Company (CAGEPA): Calcium, Magnesium, Iron, hardness, apparent color, pH, turbidity, total dissolved solids, total coliforms, total oxygen consumed, chlorides and *Escherichia coli*. To assess correlation, principal component analysis (PCA) was used as a multivariate statistical method. Dense vegetation and open vegetation classes obtained the highest percentages in the reservoirs, which presented significant exposed soil values concentrated in unfavorable regions. The largest extensions of litholic neosol, chromic luvisol and red argissol were identified in all sub-basins. Three principal components were selected that explained a total variation of the data of more than 80%. The most significant variables are associated with sediment inputs to the reservoirs, dissolved salts, and organic and microbiological pollution. Factors such as the development of agricultural activities, especially on the banks of the reservoirs, absence of riparian forest and soil type also showed potential interference in the quality of water bodies.

Keywords: Water resources. Principal component analysis. Piancó River watershed.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo	26
Figura 2 - Fluxograma da metodologia utilizada na pesquisa	28
Figura 3 - Fluxograma metodológico do processamento digital das imagens de <i>Landsat 8</i> ..	30
Figura 4 - Distribuição espacial do uso do solo para as sub-bacias: Curema-Mãe D'Água (A), Cachoeira dos Cegos (B), Saco (C), Jenipapeiro (D)	33
Figura 5 - Distribuição percentual do uso do solo para as sub-bacias estudadas	34
Figura 6 - Mapa pedológico dos reservatórios Curema-Mãe D'Água, Saco, Jenipapeiro e Cachoeiras do Cegos	36
Figura 7 - <i>Box-plot</i> dos parâmetros de qualidade da água nos reservatórios	38
Figura 8 - <i>Box-plot</i> dos parâmetros de qualidade da água nos reservatórios (continuação).....	39
Figura 9 - Análise de Componentes Principais entre as variáveis de uso do solo e qualidade da água para os reservatórios estudados.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição dos reservatórios estudados	27
Tabela 2 - Matriz de correlação de Pearson (r) entre as variáveis analisadas para o Sistema Hídrico Curema-Mãe D'Água	40
Tabela 3 - Matriz de correlação de Pearson (r) entre as variáveis analisadas para o reservatório Saco	41
Tabela 4 - Matriz de correlação de Pearson (r) entre as variáveis analisadas para o reservatório Cachoeira dos Cegos	41
Tabela 5 - Matriz de correlação de Pearson (r) entre as variáveis analisadas para o reservatório Jenipapeiro.....	41
Tabela 6 - Resultado do carregamento das componentes principais para os quatro reservatórios estudados: RV1-Sistema Hídrico Curema-Mãe D'Água, RV2-Saco, RV3-Cachoeira dos cegos e RV4-Jenipapeiro	44

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

CAGEPA - Companhia de Água e Esgotos da Paraíba

CBHPPA - Comitê da Bacia Hidrográfica Piancó-Piranhas-Açu

CP - Componente principal

CT - Coliformes totais

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LANDSAT - *Land Remote Sensing Satellite*

MDE - Modelo Digital de Elevação

SIG - Sistema de Informações Geográficas

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro

USGS - *United States Geological Survey*

PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos

PCA - *Principal Component Analysis*

SDT—Sólidos dissolvidos totais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	GERAL	16
2.2	ESPECÍFICOS	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1	BACIA HIDROGRÁFICA.....	16
3.2	QUALIDADE AMBIENTAL DA ÁGUA	18
3.3	USO DO SOLO E INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DA ÁGUA	21
3.4	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)	23
3.5	ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (<i>Principal Component Analysis</i>).....	24
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	25
4.1	ÁREA DE ESTUDO.....	25
4.2	BASE DE DADOS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	27
4.2.1	Levantamento bibliográfico.....	28
4.2.2	Aquisição dos dados de qualidade da água	28
4.2.3	Delimitação das áreas de contribuição dos reservatórios	29
4.2.4	Análise da cobertura do solo.....	29
4.2.5	Elaboração do mapa pedológico.....	31
4.2.6	Análise estatística multivariada.....	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	32
5.1.1	Pedologia.....	35
5.2	PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA	37
5.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA	40
5.3.1	Análise de componentes principais	42

6 CONCLUSÕES	48
REFERÊNCIAS.....	49
APÊNDICES.....	59

1 INTRODUÇÃO

A qualidade ambiental da água tem sofrido constante degradação em muitas bacias hidrográficas em todo o mundo, tornando-se uma das grandes preocupações ecológicas da sociedade na atualidade. Especialmente, a gestão inadequada do uso do solo, crescimento da população, urbanização acelerada e a expansão industrial, observada nas últimas décadas, têm modificado a dinâmica dos ecossistemas aquáticos, interferindo de forma significativa nos processos ambientais e hidrológicos. Dessa forma, compreender a relação entre as diferentes formas de uso do solo e a qualidade ambiental da água são fundamentais para uma gestão eficaz desse recurso natural, tanto atualmente como no futuro, garantindo uma disponibilidade adequada para as próximas gerações (ALLAN, 2004; MENEZES *et al.*, 2014; DUPASA *et al.*, 2015; FIA *et al.*, 2015)

Há conhecimento de que as diferentes formas de uso do solo têm importante influência sobre a qualidade dos corpos hídricos (superficiais e subterrâneos) e os ecossistemas aquáticos dentro de uma bacia hidrográfica. Em geral, o uso e o manejo das terras agrícolas têm grande influência nas concentrações de nutrientes na água, especialmente nitrogênio e fósforo pela utilização de fertilizantes, e na concentração de alguns metais pesados associados a agroquímicos. Áreas urbanas geralmente contribuem com altas cargas de matéria orgânica e muitos contaminantes de preocupação emergente, já atividades industriais podem variar com relação às características do efluente, podendo ter alto potencial poluidor (NGOYE; MACHIWA, 2004; KANG *et al.*, 2010; DUPASA *et al.*, 2015).

Atualmente, no Brasil, à medida que aumentam os impactos e a degradação ambiental sobre os recursos hídricos e corpos d'água, em geral, comprometendo a disponibilidade destes, estrutura-se sistemas de gestão integrada em bacias hidrográficas, assumindo uma importância cada vez maior, descentralizando as ações, visando o desenvolvimento social e econômico sustentável (BARBOSA *et al.*, 2003). Nesse sentido, a existência de um grande número de ferramentas de análise e monitoramento ambiental tem auxiliado no entendimento das relações entre os usos da terra e qualidade da água. Dentre eles, alguns modelos bastante difundidos são os baseados em análise espacial utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIG) a partir de imagens de satélite e de elevação digital, que, possuem a capacidade de processar um grande volume de dados e informações, uma característica útil para estudos que envolvem temas ambientais.

Os SIGs consistem em sistemas computadorizados que permitem a sobreposição de vários tipos de informações espaciais de uma bacia hidrográfica, apresentando-as visualmente

ou graficamente, facilitando a comparação e correlação dos dados obtidos. Dessa forma é possível analisar diferentes características da área a ser estudada, como a pedologia, formas de uso do solo, hidrografia, geomorfologia e outros, sendo possível prever riscos sobre os recursos e componentes ambientais, e assim desenvolver medidas de proteção, manejo e mitigação de impactos negativos para área, auxiliando a tomada de decisão por parte dos órgãos competentes (SOUSA, 2017; VIEIRA *et al.*, 2016).

Nesse contexto, muitos estudos têm utilizado abordagens multivariadas para analisar a interferência de uso da terra na qualidade da água de diferentes regiões (Reis *et al.*, 2017; Kändler *et al.*, 2017; Khaledian *et al.*, 2018). Dentre as técnicas exploratórias de análise, a Análise dos Componentes Principais (*Principal Component Analysis* - PCA) tem sido aplicada a dados ambientais complexos. Esse método objetiva descrever a estrutura de covariância e variância de um conjunto de variáveis, a partir de combinações lineares dos integrantes desse conjunto. Aplicada sobre dados de medições em um sistema, a PCA mostra como e com qual importância as dimensões impactam na variação dos dados medidos, podendo explicitar relacionamentos ocultos entre estes (ZEINALZADEH; REZAEI, 2017).

Em estudos envolvendo impactos antrópicos em reservatórios, essa ferramenta se destaca, pois descreve a variação espacial das variáveis físicas, químicas e biológicas da qualidade da água em reservatórios, reduzindo o número de variáveis devido à frequência de amostragem, utilizando somente aquelas que permitem uma avaliação mais precisa em relação à qualidade das águas e indicar possíveis fontes de contaminação (LEE *et al.*, 2015; MAZUR *et al.*, 2017; ZEINALZADEH; REZAEI, 2017).

A região que compreende a área de estudo deste trabalho, o semiárido nordestino, apresenta diversas características e agentes naturais e/ou antrópicos que causam impactos sobre os recursos naturais presentes no âmbito de uma bacia hidrográfica. Dessa forma, o desenvolvimento de práticas de uso do solo sem planejamento adequado somado às características naturais desta região, como a predominância de solos rasos, juntamente com uma cobertura vegetal rala e precipitações concentradas em forma de chuvas torrenciais, comprometem a qualidade da água dos corpos hídricos naturais e artificiais, principalmente em função da carga de sedimentos e nutrientes transportados nos processos erosivos e nos despejos de efluentes domésticos e industriais das cidades.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Avaliar a influência do uso e ocupação do solo na qualidade ambiental da água em reservatórios de abastecimento público na sub-bacia do Rio Piancó.

2.2 ESPECÍFICOS

- ✓ Diagnosticar o uso e ocupação do solo na área de estudo;
- ✓ Elaborar o mapa pedológico para a área de estudo;
- ✓ Analisar a correlação entre o uso e ocupação do solo e a qualidade ambiental da água nos reservatórios estudados.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 BACIA HIDROGRÁFICA

Attanasio (2004) define bacia hidrográfica como sendo uma compactação geográfica, demarcada por divisores de água e drenada por um fluxo d'água principal e seus secundários. Tucci (1993) simplifica este termo como o recorte total da superfície terrestre de captar naturalmente a água da chuva, na qual um aquífero ou um sistema superficial reúne suas águas. Para Mello e Silva (2013), a bacia hidrográfica pode ser delineada como um conjunto de sub-bacias, em que cada subdivisão representa as características intrínsecas de um determinado lugar ou região, assim facilitando para que esta seja mais bem controlada, manejada e explorada.

Uma definição mais complexa é abordada por Barrella *et al.* (2001), que descreve a bacia hidrográfica como um agrupamento de microbacias drenadas por um curso d'água principal e seus afluentes, iniciado nas cotas mais altas do terreno por seus divisores de água, em que as precipitações, ou escorrem pela superfície, formando os mananciais superficiais, ou infiltram no solo, abastecendo lençóis freáticos e nascentes. Estas nascentes surgem em áreas de maiores altitudes e declivosas, geralmente em cordilheiras, alpes, ou montanhas e ao alcance que as águas escoam para as regiões baixas, agrupam-se aumentando o seu volume até o exutório.

Segundo Medeiros (2018), foi a partir dos ofícios do engenheiro americano Robert Elmer Horton, em 1945, que as pesquisas englobando bacias hidrográficas tiveram abundante valor na Ciência. Estes ofícios serviram como suporte para uma nova geração metodológica, originando inovações na análise em unidades hidrológicas.

As bacias hidrográficas exibem-se como recortes territoriais que proporcionam as atividades de organização e gestão ambiental em definidas áreas, privilegiando a implantação de propostas focadas para a manutenção dos recursos naturais, o contentamento das necessidades humanas e a prosperidade econômica, fundamentadas nas diretrizes da sustentabilidade (FARIAS *et al.*, 2016; VASCONCELOS; SOUSA, 2019). Nas regiões semiáridas, as bacias hidrográficas se evidenciam como instrumentos que facultam a prática de ações e políticas mitigadoras de convivência com a seca.

No Brasil, foi a partir da década de 1980 que se deu uma maior intensificação de pesquisas/estudos tendo em conta a análise da figura de uma bacia hidrográfica como um objeto essencial para gestão, planejamento e estudos ambientais mais eficazes (ALVES *et al.* 2015).

Em 08 de janeiro de 1997, foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) pela Lei n 9.433, muito conhecida por Lei das Águas, que estabeleceu diretrizes para melhor gestão dos recursos hídricos, abraçando a aceção de bacias hidrográficas como unidades de pesquisas e gestão. Assim, é de alta relevância para governantes e cientistas a concepção do termo bacia hidrográfica e de suas ramificações para políticas e ações ambientais (TEODORO, 2007).

Estes sistemas de drenagem são células naturais básicas para o pleno desempenho dos dispositivos ambientais, como espaços físicos para o estudo técnico-científico. Cada vez mais estão sendo utilizadas como unidades para o gerenciamento ambiental. Sobretudo, em função do mal-uso dos recursos naturais, apresentam-se em grau de vulnerabilidade avançado em relação à poluição dos corpos hídricos e elevação dos processos erosivos, especialmente devido ao agronegócio e o crescimento urbano (SILVA *et al.* 2016). A escassez de saneamento básico, a falta de práticas de manejo e as atividades industriais são algumas das causas que modificam negativamente o equilíbrio natural da bacia, provocando impactos ambientais significativos.

Por outro lado, as iniciativas de planejamento e de estudos ambientais que analisam a bacia hidrográfica como espaço de trabalho têm avançado progressivamente, pois as características ambientais dessas bacias expõem mecanismos hidráulicos e ecológicos mais coesos, quando comparadas com outros sistemas (SOARES *et al.* 2016; SILVA *et al.*, 2016; SCHIAVETTI; CAMARGO, 2002). Desta forma, a bacia hidrográfica apresenta-se como um recorte ideal para o desenvolvimento de pesquisas/estudos nas mais diversas áreas,

principalmente na gestão dos recursos hídricos, que vem ao encontro dos anseios atuais dos órgãos competentes, buscando planejar e administrar esse recurso de forma que todos tenham acesso, integrando a água no conceito de desenvolvimento sustentável, procurando compatibilizar, a oferta e demanda adequada desse recurso para a atual e às futuras gerações (CASTRO, 2005).

Dessa forma, o uso das bacias hidrográficas como unidade de estudo se torna fundamental, tanto para a prevenção contra a degradação ambiental, quanto para o desenvolvimento de medidas mitigadoras ou corretivas.

3.2 QUALIDADE AMBIENTAL DA ÁGUA

A água é um dos recursos naturais mais abundantes na “natureza”, ocupando aproximadamente 70% da superfície do planeta Terra. Desse percentual, apenas 2,5% são de água doce, em que a maior parte (cerca de 68,9%) se encontra em geleiras e calotas polares e aproximadamente 29,9% estão armazenados em depósitos subterrâneos, de forma que a quantidade disponível em mananciais superficiais é de apenas 0,3% (ONU, 2006; WWF, 2006). É um recurso essencial para a manutenção da vida na Terra, a partir das reações químicas presentes na natureza, sendo também um fator condicionante no desenvolvimento das atividades humanas, dentre as quais estão: abastecimento humano, o uso na indústria, agricultura, geração de energia elétrica, lazer, turismo dessedentação animal e outras.

Devido a sua importância, este recurso deve estar disponível em quantidade suficiente, como também apresentar condições físicas, químicas e microbiológicas adequadas para utilização pelos organismos (BATISTA e CABRAL, 2017).

No contexto atual, um dos maiores desafios enfrentados pelos seres humanos para garantir o desenvolvimento econômico e social da comunidade é garantir uma demanda apropriada de água, em quantidade e qualidade suficientes para diversos usos, visto que nas últimas décadas, o processo de urbanização acelerada e a falta de planejamento adequado dos recursos hídricos têm refletido em uma crescente escassez e comprometimento da qualidade dos corpos hídricos (IGHALO e ADENIYI, 2020; KELLY *et al.*, 2020).

Tundisi (2003) cita que as principais causas da deterioração da qualidade dos recursos hídricos no mundo são:

- I. crescimento populacional e urbanização acelerada;
- II. falta de gerenciamento dos recursos hídricos disponíveis;

- III. diversidade de usos múltiplos;
- IV. Falta de reconhecimento sobre a relação existente entre a qualidade da água e saúde humana;
- V. degradação do solo ocasionada por pressão na produção agrícola, aumentando os processos erosivos e conseqüentemente a sedimentação dos mananciais superficiais e diminuindo o potencial produtivo das terras;
- VI. os problemas ambientais, sociais e econômicos relacionados aos recursos hídricos são tratados de forma individual, de modo que as soluções se tornam menos eficientes;
- VII. a água é tratada principalmente como um bem social e não econômico, resultando em uso inadequado e desperdício.

Segundo Liu *et al.* (2017), o termo “qualidade da água” diz respeito a um padrão de qualidade o mais próximo possível do “natural”, como o encontrado nas nascentes ainda intocadas pelo ser humano. A qualidade da água é definida pelas condições naturais como o contato com substâncias, partículas e impurezas do solo resultante do escoamento e infiltração da água da chuva. Além das interferências causadas pelas ações antrópicas, como a geração de resíduos e efluentes domésticos e/ou industriais, utilização de fertilizantes e agrotóxicos, que podem ser incorporados à água (SPERLING, 2017), considera-se também que há um grau de pureza desejável que está relacionado com a sua utilização, como abastecimento, irrigação, entre outros.

Conforme Kelly *et al.* (2020), a qualidade das águas, mesmo em suas condições naturais de equilíbrio, varia de acordo com as características dos ecossistemas correspondentes em função da ocorrência de processos físicos, químicos, hidrológicos e biológicos, assumindo propriedades distintas de acordo com o ambiente no qual estão inseridos os corpos hídricos. Dessa forma, a avaliação da qualidade de água é um estudo das características químicas, físicas e biológicas da água, em relação aos efeitos humanos e usos propostos, principalmente os que afetam a saúde pública e do ecossistema. Como a qualidade é definida a partir da combinação de processos ocorrentes ao longo dos cursos hídricos, a avaliação desta permite correlacionar esses resultados com a ocorrência de outros processos em uma bacia hidrográfica.

A determinação da qualidade da água pode ser realizada utilizando-se medidas quantitativas de parâmetros físicos, químicos e biológicos, que permitem classificar conforme o conteúdo mineral, nível de contaminação e a origem dos contaminantes e/ou testes biológicos/bioquímicos, que representam os microrganismos que assumem um importante

papel nas transformações da matéria no ciclo biogeoquímico e na transmissão de doenças por meio de agentes patogênicos. Estas determinações são utilizadas para produzir vários tipos de informação e fornecem interpretações técnicas distintas (JAMDADE; GAWANDE, 2017). Os parâmetros considerados nesse estudo foram: Cálcio, Magnésio, Ferro, dureza, cor aparente, pH, turbidez, sólidos totais dissolvidos, coliformes totais, oxigênio consumido, cloretos e *Escherichia coli*.

A turbidez é uma medida do espalhamento e absorção de um feixe de luz ao atravessar a água. Isso ocorre devido à presença de matéria emulsionada em diferentes tamanhos na água, como substâncias orgânicas, argila, silte, microrganismos e outros. Essa característica pode ocorrer em função do lançamento de esgotos e efluentes industriais e atividades de mineração, cujo aumento afeta o processo de fotossíntese das espécies aquáticas, reduzindo a produtividade dos peixes e conseqüentemente impactando diretamente os ecossistemas aquáticos. Outra fonte que pode causar elevação da turbidez em águas é a erosão dos solos, quando, em épocas chuvosas, são carregadas e depositadas nos corpos d'água grandes quantidades de sedimentos e nutrientes pelas águas pluviais, ocorrendo muitas vezes problemas relacionados ao assoreamento e eutrofização dos corpos hídricos (MACEDO *et al.*, 2018).

A coloração da água resulta da existência de substâncias dissolvidas, como da decomposição de compostos orgânicos (substâncias húmicas), presença de ferro e manganês, algas ou despejos de efluentes domésticos e industriais (KITCHENER, WAINWRIGHT e PARSONS, 2017), podendo ser classificada em cor verdadeira e aparente. Na primeira, é realizado o processo de centrifugação para remoção da turbidez, considerando apenas as partículas dissolvidas na água, enquanto na determinação da cor aparente é considerado as partículas suspensas, além do material dissolvido (BRASIL, 2006).

Sólidos totais dissolvidos (STD) representam a matéria orgânica e inorgânica em solução ou em estado coloidal presente na água. Os STD são introduzidos na água a partir de fontes naturais como processos erosivos e microrganismos ou fontes antrópicas, por meio da poluição dos corpos hídricos (BRASIL, 2006).

O potencial hidrogeniônico (pH) representa o equilíbrio entre íons OH e íons H, definindo a intensidade da acidez ou alcalinidade da água. Seu valor varia de 0 a 14, em que, quanto menor o valor, maior a acidez da amostra, e quanto maior o valor, maior a alcalinidade, podendo essa variação ocorrer naturalmente por meio da dissolução de rochas e fotossíntese ou pela ação antropogênica, por exemplo pela introdução de resíduos domésticos e industriais. O pH é um parâmetro importante nas análises dos recursos hídricos e nos estudos do saneamento em ambientes aquáticos, pois causa efeitos no equilíbrio químico da água bem como nos

processos fisiológicos das espécies aquáticas. Essa característica influencia na precipitação de elementos químicos tóxicos, como os metais pesados e na solubilidade de nutrientes, estando relacionado ao metabolismo de diversas espécies aquáticas. A Resolução CONAMA 357 estabelece que a faixa de pH entre 6 e 9, é a adequada para a proteção da vida aquática (BRASIL, 2013).

A dureza da água é definida pela concentração, principalmente, de sais alcalinos terrosos (cálcio e magnésio), como também de outros cátions como alumínio, estrôncio e zinco. Pode ocorrer a partir da dissolução de rochas calcárias e pela ação humana, pelo lançamento de efluentes industriais (LIU *et al.*, 2017). O cloro, sob a forma de íon cloreto (Cl^-), é um dos principais ânions inorgânicos presentes em águas naturais e residuárias, e provém geralmente da dissolução de rochas ou intrusão de águas salinas. Sua principal fonte antrópica, são esgotos domésticos e industriais, assim, é um dos principais indicadores de poluição (SPERLING, 2017).

O ferro se apresenta nas águas mais frequentemente na forma de íon ferroso Fe^{+2} , gerando sabor e coloração desagradável, além de dificultar o sistema de tratamento, é um indicativo de poluição, pois geralmente está presente em maiores concentrações em águas residuárias. Outra fonte desse elemento nos corpos hídricos ocorre pela erosão de solos ricos em ferro. O oxigênio consumido em meio ácido é um indicador da quantidade de matéria orgânica em corpos hídricos, e é determinado a partir da oxidação com Permanganato, sendo mais utilizado em águas limpas (LIU *et al.*, 2017)

Os Coliformes totais são bacilos gram-negativos, não formadores de esporos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, com capacidade de fermentar lactose produzindo ácido, aldeído e gás a 35 °C em 24 a 48 horas. Fazem parte desse grupo de microorganismos bactérias isoladas de águas e solos (origem ambiental) e fezes humanas e de animais de sangue quente. Nesse grupo, está a *Escherichia coli* que se caracteriza por ser uma bactéria presente nas fezes dos animais de sangue quente, sendo um indicador microbiológico de contaminação fecal da água (BRASIL, 2013).

3.3 USO DO SOLO E INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DA ÁGUA

Há décadas, a ação humana e suas diversas atividades (construção de barragens, lançamentos de efluentes domésticos e industriais, desmatamentos, mineração, desvio do curso natural e retificação dos rios) têm causado modificações significativas nos ecossistemas aquáticos, mudando sua dinâmica, e pondo em risco a qualidade ambiental da água e das

espécies presentes no meio ambiente. Portanto, as atividades humanas tanto em áreas urbanas quanto rurais apresentam impactos sobre a qualidade dos recursos hídricos da bacia hidrográfica, configurando fontes múltiplas e difusas de poluição (GOULART; CALLISTO, 2003; VALLE Jr. *et al.*, 2013).

Entende-se como uso do solo, um determinado espaço que está sendo utilizado a partir de sua ocupação, enquanto que ocupação refere-se à forma desta ação em determinado espaço (ROSA, 1991). Von Sperling (2005) cita que existe uma relação direta entre a forma de uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica e a qualidade da água em seu meio, devido este ser um fator determinante na degradação ambiental das águas. Nesta visão de uso inadequado dos recursos naturais, Gonçalves (1998) expõe que a questão ambiental, na sua essência, refere-se ao modo como a sociedade interage com a “natureza”.

A partir da dinâmica de uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica, várias fontes de poluição das águas podem existir, as quais podem ser de dois tipos, conforme a legislação específica: difusas, ocorrendo de forma espalhada dificultando a localização da fonte poluidora, e pontuais, sendo fácil definir a origem da poluição (FUCHS, 2012).

É comprovada a influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água. A retirada da vegetação, diversas práticas de preparo do solo e despejos agrícolas são alguns dos responsáveis pela modificação das características das águas. Assim, em regiões onde há um predomínio de agropecuária, o solo contribui nas características físicas, químicas e biológicas da água (FUCHS, 2012; VEIGA *et al.*, 2003).

Dessa forma, os corpos d'água podem receber grandes aportes de nutrientes, principalmente em áreas com solos desprotegidos. Eles são lixiviados juntamente com outros materiais e, uma vez nos corpos hídricos, atuam como poluentes ou contaminantes, alterando a qualidade das águas superficiais, como também das subterrâneas. Mesmo a presença destes nutrientes fazendo parte natural do ciclo da água e a maioria sem efeitos comprovadamente prejudiciais, dois particularmente são limitantes nos ecossistemas aquáticos: nitrogênio e fósforo.

O uso e a ocupação do solo estão diretamente ligados ao escoamento superficial e aporte de sedimentos nos corpos hídricos, refletindo na qualidade e quantidade de água disponível. Carreamento de grandes quantidades de solo, matéria orgânica, erosão acelerada e insumos agrícolas para rios e mananciais são consequências do uso não planejado do solo que, além de trazer prejuízos à agropecuária, afeta também a qualidade dos corpos d'água, propiciando processos de assoreamento, contaminação e eutrofização em função do aumento da concentração de sólidos e nutrientes nas águas superficiais. Assim, a ausência de práticas

adequadas de uso do solo não interfere apenas no potencial produtivo dos solos, mas também na oferta de recursos hídricos (BUENO *et al.*, 2005; VALLE JR., 2008; VANZELA *et al.*, 2010).

3.4 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

Há séculos, o ser humano tem utilizado a tecnologia para explorar a superfície terrestre. Uma das primeiras ideias de se tirar fotografias aéreas para estudar a topografia terrestre surgiu em Paris, por meio do uso de balões, pelo Francês Gaspard-Félix Tournachon, conhecido por “Nadar” em 1856.

Houve uma intensificação do uso de fotografias aéreas durante a primeira guerra mundial, em que surgiram as primeiras fotografias aéreas tiradas por aviões (1909). Ao longo das décadas foram desenvolvidos satélites orbitais como Apolo, Gemini e Mercury, sendo em 1972 o lançamento do primeiro satélite de recursos naturais, conhecido atualmente como Landsat-1.

Nesse contexto, as geotecnologias têm sido amplamente utilizadas no tratamento e análise de informações espaciais, englobando, de forma isolada ou conjunta, o Sensoriamento Remoto, a Geoestatística, a Cartografia Digital, a Aerogeofísica e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's). Os SIG's constituem-se em uma das ferramentas de amplo estudo contempladas pelo geoprocessamento, que abrange diversas tecnologias que permite a manipulação e o tratamento de dados geográficos. Yuaça *et al.* (1997) definem SIG como a integração de um conjunto de equipamentos, programas, dados, métodos e usuários, capaz de realizar o armazenamento, processamento e a análise de dados georreferenciados, como também a geração de informações derivadas de sua aplicação.

A utilização dos SIG's permite realizar análises múltiplas, por meio da integração de dados geográficos, oriundos de diversas áreas da ciência tais como: sensoriamento remoto, biologia, cartografia, geologia, entre outras. Assim, os resultados gerados a partir desse banco de dados permite a análise, representação e detalhamento de fenômenos em diversas áreas da ciência, o que torna o SIG uma ferramenta de planejamento, gestão e suporte nas mais diversas áreas de conhecimento (ZAIDAN, 2017). Fitz (2008) explica que, apesar dos produtos gerados por um SIG estarem vinculados ao espaço físico, estes possuem interação com os fenômenos climáticos, humanos, econômicos e sociais, possibilitando informações que auxiliem a gestão e a tomada de decisões.

Nas últimas décadas, observou-se uma tendência na utilização do SIG na gestão ambiental, principalmente devido às suas características relacionadas à espacialização da

análise. Esta ferramenta possui a capacidade de integrar diversas tecnologias, como a cartografia digital e o processamento digital de imagens, o que possibilita a manipulação de dados com mais facilidade, permitindo a projeção de cenários e propiciando a análise do meio ambiente e de suas mudanças (FITZ, 2018), devendo ser usado como instrumento de apoio no gerenciamento e planejamento de recursos naturais (ZAIDAN, 2017; FITZ, 2018). Para Saito (2011), “a potencialidade das geotecnologias para gestão e mitigação de desastres naturais e eventos extremos ainda é desconhecida por muitas autoridades.”

Em um ambiente SIG, dados relacionados à paisagem e cobertura vegetal podem ser analisados conjuntamente com outros dados disponíveis. (ex.: solos, modelos digitais de elevação) para modelar cenários futuros e verificar a efetividade de políticas de planejamento desenvolvidas, no que se refere à mudanças na paisagem da área monitorada (ASSAD; SANO, 1998). Saito (2011) ressalta a importância do uso de geotecnologias em função da facilidade de acesso a ferramentas de geoprocessamento. Por meio do uso de SIG's, é possível analisar áreas em diferentes escalas de tempo, simular cenários futuros, avaliar ambientes usando multicritérios, manipular e integrar diferentes tipos de dados ambientais, entre outras situações. Em função dessas características, essas ferramentas têm sido amplamente difundidas em análises ambientais.

3.5 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (*Principal Component Analysis*)

A análise de componentes principais pode ser considerada como uma das ferramentas mais importantes da análise multivariada, inclusive por ser a base em que são fundamentados a maioria dos outros métodos estatísticos multivariados de análise de dados.

A Análise de Componentes Principais (do inglês, *Principal Component Analysis* - PCA) é um método de análise multivariada de modelagem da estrutura de covariância. Esse método foi primeiramente detalhado por Pearson (1901) e posteriormente descrito como métodos computacionais práticos por Hotelling (1933), que a usou com o propósito determinado de analisar as estruturas de correlação (HAIR JUNIOR *et al.*, 2015).

A PCA é um procedimento estatístico de análise multivariada que altera linearmente um conjunto original de variáveis, inicialmente correlacionadas entre si, para um conjunto substancialmente menor de variáveis não correlacionadas que contém a maior parte da informação do conjunto original (VICINI, 2005). Essa ferramenta pode ser utilizada com o objetivo de extrair novas informações sobre um conjunto de informações específicas ou minimizar o tamanho de um conjunto de dados sem que haja perda significativa de informação,

eliminando redundâncias. Isso revela várias componentes subjacentes de novas variáveis, as denominadas componentes principais. Essas novas componentes são organizadas de forma a manter a maior parte da variância original nas primeiras componentes.

Em função da sua capacidade de simplificação de resultados, o método de PCA tem sido bastante utilizado para correlacionar variáveis ambientais, em que são obtidos um grande banco de informações, permitindo maior facilidade nos estudos de fenômenos e cenários ambientais, subsidiando o planejamento e gestão ambiental, a exemplo de estudos desenvolvidos por Hua (2017), Rodríguez-Romero *et al.* (2017) e Nascimento *et al.* (2019), que analisaram os efeitos do uso do solo na qualidade da água em bacias hidrográficas.

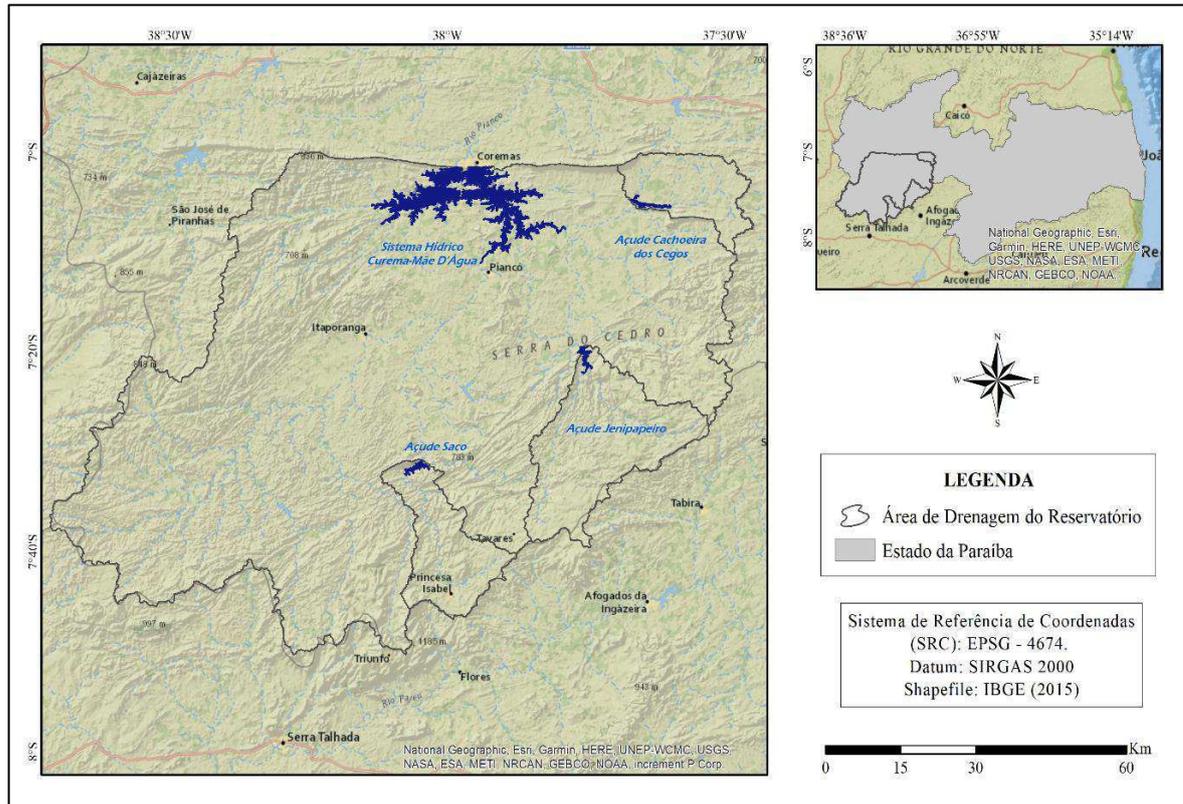
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende quatro reservatórios de água inseridos na Bacia Hidrográfica do Rio Piancó: o Sistema Hídrico Curema-Mãe D'Água, constituído pelos reservatórios Curema e Mãe D'Água; Saco; Cachoeira dos cegos e Jenipapeiro (Buiú) (Figura 1).

A sub-bacia hidrográfica do Rio Piancó localiza-se no extremo sudoeste paraibano, na fronteira com o Ceará ao oeste e Pernambuco ao sul. Seu afluente principal, o rio Piancó, nasce na serra do Piancó nos municípios de Conceição e Santa Inês, e segue até a confluência com o rio Piranhas, no município de Pombal, onde suas águas seguem até a foz, na cidade de Macau-RN, desaguando no Oceano Atlântico (CBHPPA, 2018).

Figura 1 - Localização da área de estudo



Fonte: Autoria própria (2021)

O clima predominante da região é o semiárido do tipo BSh seco e quente, conforme a classificação de Köppen (KÖPPEN, 1936), com temperatura média anual de 28°C. O período chuvoso concentra-se entre os meses de fevereiro a maio e é caracterizado pela irregularidade, com precipitação média anual de 1.100 mm. A região apresenta altas taxas de evapotranspiração, segundo o método de Hargreaves, da ordem de 1.620 mm/ano, com maiores taxas entre agosto e janeiro (CBHPPA, 2018).

A vegetação é típica do bioma Caatinga, predominando árvores de pequeno e médio porte com a presença de arbustos, cactáceas e trechos de florestas caducifólias, típica da caatinga xerofítica e bastante presente no sertão nordestino (FERNANDES; QUEIROZ, 2018). A geomorfologia da área corresponde à depressão sertaneja, com relevo plano a levemente ondulado e altimetrias inferiores a 400 m. No contexto geológico, predominam as rochas ígneas e metamórficas, representadas por xistos e granitos, formando o embasamento cristalino na região de estudo (ANA, 2016).

Vale ressaltar que o estudo compreende reservatórios de caráter estratégico da bacia hidrográfica Piancó-Piranhas-Açu (capacidade de acumulação superior ou próxima a 10 hm³)

(Tabela 1). Com relação à capacidade máxima de acumulação, estes são os quatro maiores reservatórios de abastecimento da bacia hidrográfica do Rio Piancó (ANA,2016).

Tabela 1 - Descrição dos reservatórios estudados

Reservatório	Município	Capacidade Máxima (hm³)	Área de Contribuição (Km²)
Curema-Mãe D'Água	Coremas	1.159,0	8410,9
Saco	Nova Olinda	97,5	356,2
Cachoeira dos cegos	Catingueira	71,9	279,2
Jenipapeiro (Buiú)	Olho D'Água	70,8	643

Fonte: ANA (2016)

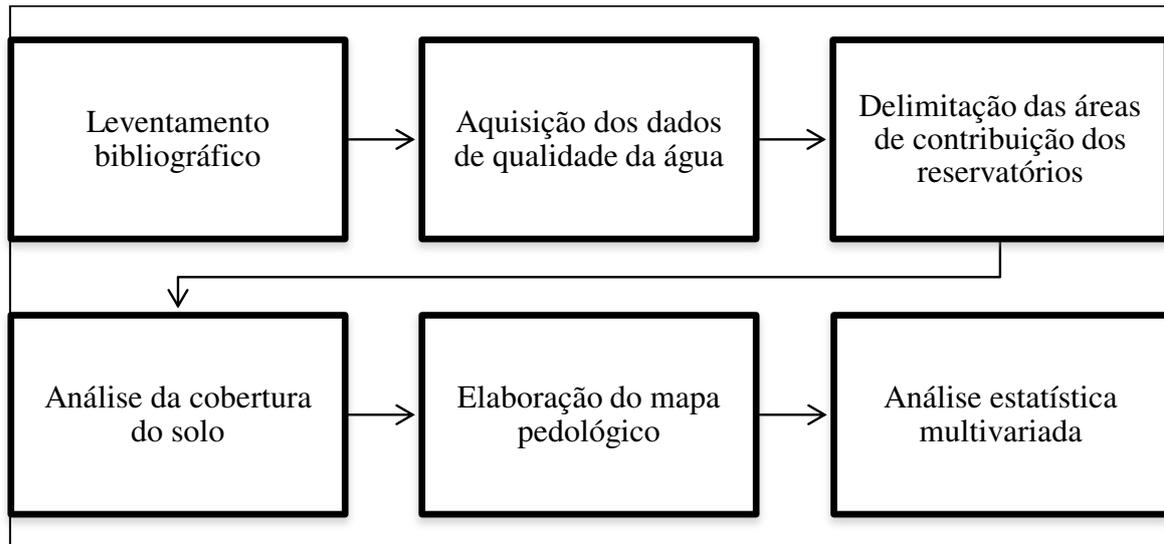
As principais demandas relacionadas a esses reservatórios incluem: abastecimento humano, irrigação, pecuária, aquicultura e uso industrial, incluindo atendimento a demandas externas, associadas a bacias adjacentes. Destaca-se a agropecuária como umas das principais atividades econômicas da região, dividindo-se principalmente em lavouras temporárias e permanentes e a criação de caprinos e bovinos para a produção de carne e leite, especialmente nos municípios de Piancó e Princesa Isabel (CBHPPA, 2018).

Os principais problemas de qualidade da água na região estão relacionados ao lançamento de efluente bruto e atividades agrícolas e pecuárias, que contribuem para maior carga orgânica e de sedimentos nos reservatórios. Além disso, há o desenvolvimento de práticas agrícolas em torno dos reservatórios e faixas marginais dos cursos d'águas, que legalmente são instituídas para preservação (ANA,2016).

4.2 BASE DE DADOS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A sequência dos procedimentos metodológicos utilizados nesta pesquisa pode ser observada em síntese na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma da metodologia utilizada na pesquisa



Fonte: Autoria própria (2021)

4.2.1 Levantamento bibliográfico

O levantamento bibliográfico foi realizado de forma exploratória, com abordagem qualitativa, utilizando o método dedutivo, sendo a pesquisa literária alcançada por meio de bibliotecas públicas e plataformas digitais, como o Periódico CAPES e o *google academic*, empregando-se artigos científicos, livros, trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses.

4.2.2 Aquisição dos dados de qualidade da água

A obtenção dos dados de qualidade da água foi realizada a partir de buscas junto aos bancos de dados digitais da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA). Utilizaram-se os dados referentes ao ano de 2018, referentes aos parâmetros: Cálcio, Magnésio, Ferro, dureza, cor aparente, pH, turbidez, sólidos totais dissolvidos, coliformes totais, oxigênio consumido, cloretos e *Escherichia coli*. Foi empregando como critério de seleção, a utilização de uma série anual sem falhas, sendo realizada uma análise em *box-plot*, a fim de visualizar a distribuição dos dados e *outliers* (valores discrepantes), fornecendo uma análise da homogeneidade dos dados de qualidade da água.

4.2.3 Delimitação das áreas de contribuição dos reservatórios

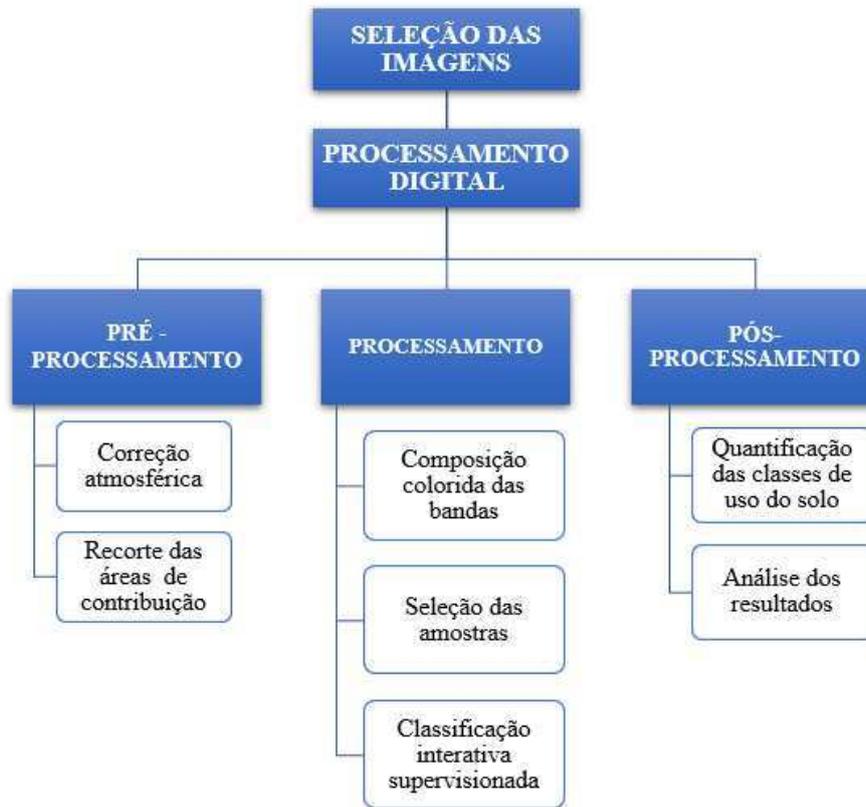
As áreas de contribuição dos reservatórios foram delimitadas automaticamente a partir do Modelo Digital de Elevação do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução espacial de 30 metros, disponibilizadas gratuitamente no *site* da *United States Geological Survey* (USGS). Para esse procedimento foi utilizada a extensão gratuita *ArcHydro* no *software* ArcGIS 10.5, compreendendo um conjunto de ferramentas que dão suporte à análise de recursos hídricos, a qual compreendeu as seguintes etapas: *Fill Sinks* (preenche falhas e remove elevações) → *Flow Direction* (definida a direção do fluxo) → *Flow Accumulation* (determina o fluxo acumulado) → *Stream Definition* (gera o *raster* da rede de drenagem) → *Stream Segmentation* (segmenta o *raster* de drenagem) → *Catchment Grid Delineation* (gera o *raster* das sub-bacias) → *Catchment Polygon Processing* (gera o vetor das sub-bacias) → *Adjoint Catchment* (junção das bacias hidrográficas) → *Batch Point Generation* (Definição do Exutório da Bacia) → *Batch Subwatershed Delineation* (Delimitação da bacia).

4.2.4 Análise da cobertura do solo

Com o intuito de avaliar a influência do uso e ocupação do solo nos parâmetros de qualidade da água dos reservatórios, foram utilizados os dados disponíveis gratuitamente na plataforma da USGS. As imagens obtidas para classificação interativa supervisionada das áreas de estudo correspondem ao do Satélite *Lansat 8*, com resolução espacial de 30 metros, datadas de 15 de dezembro de 2018, em função da qualidade das imagens, ou seja, sem interferência de nuvens.

O processamento das imagens ocorreu em ambiente SIG, com o auxílio do *software* gratuito ArcGIS/ArcMap 10.5, conforme as etapas descritas no fluxograma metodológico (Figura 3).

Figura 3 - Fluxograma metodológico do processamento digital das imagens de *Landsat 8*



Fonte: Autoria própria (2021)

Inicialmente, foi realizada a correção atmosférica das imagens, visando minimizar a influência dos fatores atmosféricos sobre a análise dos dados. Em sequência, utilizou-se a delimitação das áreas de contribuição dos quatro reservatórios para o recorte das áreas de interesse.

Para composição colorida, foram utilizadas as bandas espectrais R (6), G(5) e B (6), a fim de facilitar a seleção das feições de uso do solo a serem classificadas. Foram considerados cinco classes de uso e ocupação do solo: vegetação densa, vegetação aberta, solo exposto/desmatado, corpos hídricos superficiais e áreas urbanas, para as quais foram selecionadas as amostras correspondentes e realizada a classificação supervisionada a partir da ferramenta *interactive supervised classification*. A classificação supervisionada é frequentemente usada na análise quantitativa de dados de sensoriamento remoto. É baseada na utilização de algoritmos para determinar *pixels* em uma imagem de forma a representar valores característicos em uma determinada classe (LILLESAND; KIEFER, 1994).

Na etapa de pós-processamento, foram calculados os percentuais de áreas coberta de cada classe em relação à área total dos reservatórios e elaborado o mapa temático, representando a distribuição espacial dos dados de uso e ocupação do solo.

4.2.5 Elaboração do mapa pedológico

O mapa pedológico da área de estudo foi elaborado partir de arquivos *shapefiles*, obtidos gratuitamente na base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na escala de 1:250.000. Posteriormente, foi realizado o recorte para a área de interesse e a categorização das classes de solo, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006).

4.2.6 Análise estatística multivariada

Nesse estudo, a PCA foi aplicada em 16 variáveis, sendo os resultados obtidos utilizando o *software* gratuito *Statistica* 8.0. Para os dados de qualidade da água, foram utilizados a série anual (12 meses) para cada variável estudada, e para uso e ocupação do solo, os percentuais correspondente a cada classe identificada. As componentes principais (CP) seguem o princípio da ortogonalidade, sendo independentes entre si. Dessa forma, a primeira componente explica a maior variância total dos dados, a segunda componente explica o máximo de variância total restante não explicada pela primeira, e assim sucessivamente, de forma que o número de componentes principais seja igual ao número de variáveis (GUEDES *et al.*, 2012; PALACIO, 2004). Cada CP possui um autovalor associado, que indica a importância da componente na explicação da variabilidade total dos dados. Dessa forma, quanto maior o autovalor, maior é a capacidade da CP de resumir variáveis.

Matematicamente, a análise de componentes principais envolveu as seguintes etapas, conforme Ouyang (2005):

- (i) Padronização das medições utilizando média 0 (zero) e variância 1 (um), a fim de garantir que todas tenham pesos iguais na análise, de acordo com a Equação 1;

$$X_{sij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_i}{S_i} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

X_{sij} = observação da variável j-ésima e i-ésima normalizada;

X_{ij} = valor observado da j-ésima e i-ésima variável;

\bar{X}_i = média da variável X_{ij} ;

S_i = desvio padrão da variável X_{ij} ;

i = Índice de variáveis;

j = Índice da amostra

(ii) Cálculo da matriz de covariância Σ

(iii) Determinação dos autovalores das componentes principais (Equação 2)

$$(R - \lambda_i \cdot I) = 0 \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

λ_i : autovalores da matriz R

I: matriz identidade de dimensão $j \times j$

(iv) Descarte de componentes que tenham pouca influência na variância de dados.

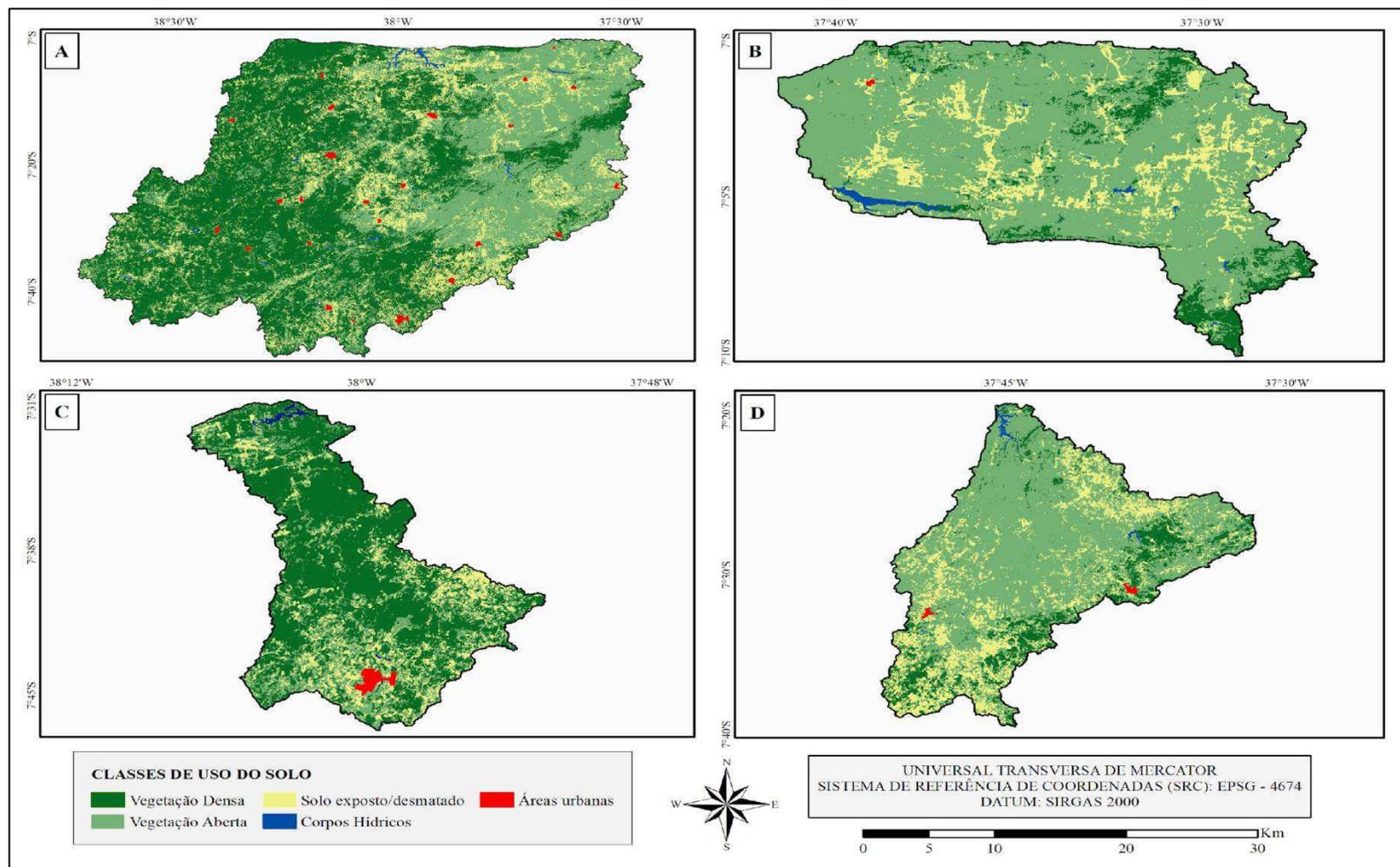
Foram selecionadas as componentes principais com autovalores superiores a um, conforme proposto por Kaiser (1958), cuja explicabilidade da variação total dos dados ultrapasse 70%, segundo Mardia *et al.*, (1979). Na composição de cada componente principal, foram consideradas as variáveis com cargas fatoriais superiores a 0,5.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O levantamento do uso e ocupação do solo nas sub-bacias estudadas está indicado na Figura 4, a qual apresenta a distribuição espacial das classes analisadas: vegetação aberta, vegetação densa, solo exposto/desmatado, corpos hídricos e áreas urbanas.

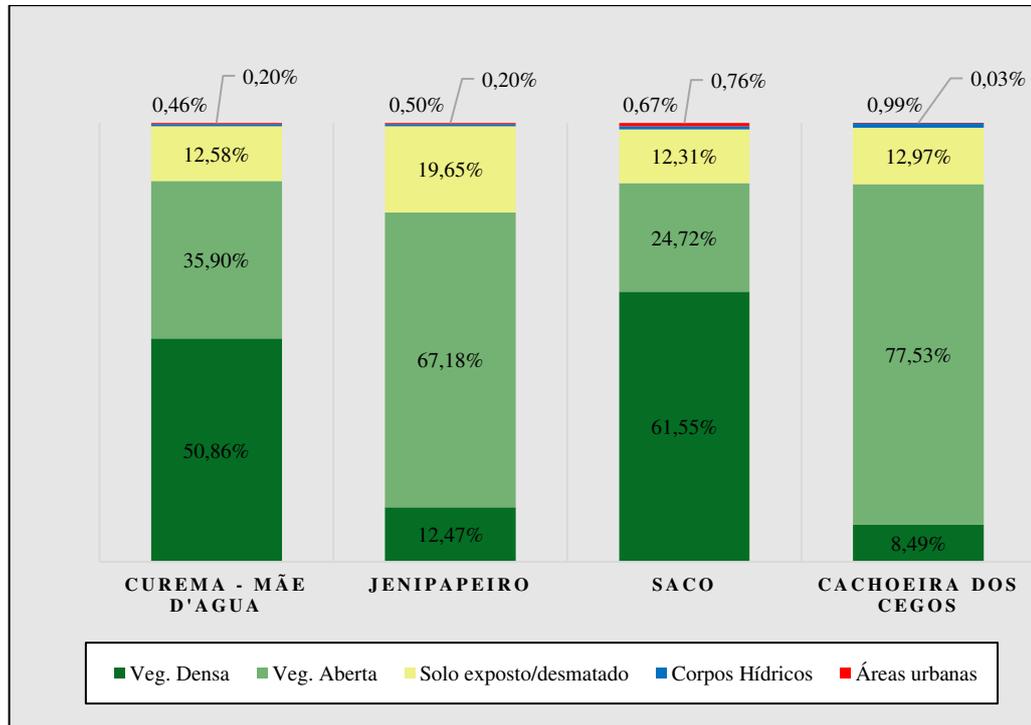
Figura 4 - Distribuição espacial do uso do solo para as sub-bacias: Curema-Mãe D'Água (A), Cachoeira dos Cegos (B), Saco (C), Jenipapeiro (D)



Fonte: Autoria própria (2021)

Na Figura 5, apresenta-se a distribuição percentual do uso e ocupação do solo para as sub-bacias estudadas.

Figura 5 - Distribuição percentual do uso do solo para as sub-bacias estudadas



Fonte: Autoria própria (2021)

A partir dessas informações, observa-se uma predominância de áreas cobertas por vegetação em todos os reservatórios. A sub-bacia do reservatório Saco apresentou o maior percentual de área coberta por vegetação densa, cobrindo 61,55% da bacia, seguido pelo sistema hídrico Curema – Mãe D'Água e Jenipapeiro, com 50,86% e 12,47%, respectivamente. A vegetação densa é caracterizada por formações arbóreas e presença de Caatinga Estépica Florestada, estando associada geralmente a elevadas altitudes, já a vegetação aberta corresponde à presença de Caatinga Hiperxerófila Herbáceo-Arbustiva Espaçados, ocorrendo em maior percentual na sub-bacia do reservatório Cachoeira dos cegos, com 77,7%, seguido respectivamente por Jenipapeiro e Curema-Mãe D'Água, com 67,18% e 35,9%.

As áreas de solo exposto/desmatado apresentaram valores significativos para todas as sub-bacias estudadas, sendo o maior percentual obtido para o reservatório Jenipapeiro (19,65%), seguido por Cachoeira dos Cegos (12,97%), Curema-Mãe D'Água (12,58%) e Saco (12,31%). As classes de solos menos expressivas para a área de estudo foram corpos hídricos e áreas urbanas, respectivamente.

Dessa forma, é possível verificar uma antropização das sub-bacias estudadas, em decorrências principalmente da utilização de áreas para exploração agrícola/pecuária e exploração de fontes de energia, como a lenha, para o funcionamento de estabelecimentos locais, como panificadoras e olarias, e para o uso doméstico (CBHPPA, 2018). A partir da espacialização dos dados, verificou-se uma maior concentração de solo exposto em torno do sistema hídrico Curema-Mãe D'Água, desencadeando uma série de processos que, de forma isolada ou conjunta, afetam os fatores ambientais dessas áreas. Além da diminuição do potencial ecológico, devido ao afugentamento da fauna, a remoção da cobertura vegetal sem um manejo adequado, aumenta a exposição do solo a agentes erosivos, causando o transporte de sedimentos para os reservatórios. Neste caso, a situação se agrava em função da ausência de áreas de preservação permanente, que exercem funções ambientais essenciais na proteção dos corpos hídricos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014).

Vale ressaltar que os reservatórios estudados estão situados em bacias rurais, compostas por centros urbanos menores, em que os municípios mais populosos dentre todas as sub-bacias estudadas foram: Itaporanga (23.192 hab), Princesa Isabel (21.283 hab), Conceição (18.363 hab) e Piancó (15.465 hab) (IBGE, 2010), o que justifica os menores percentuais de áreas urbanas.

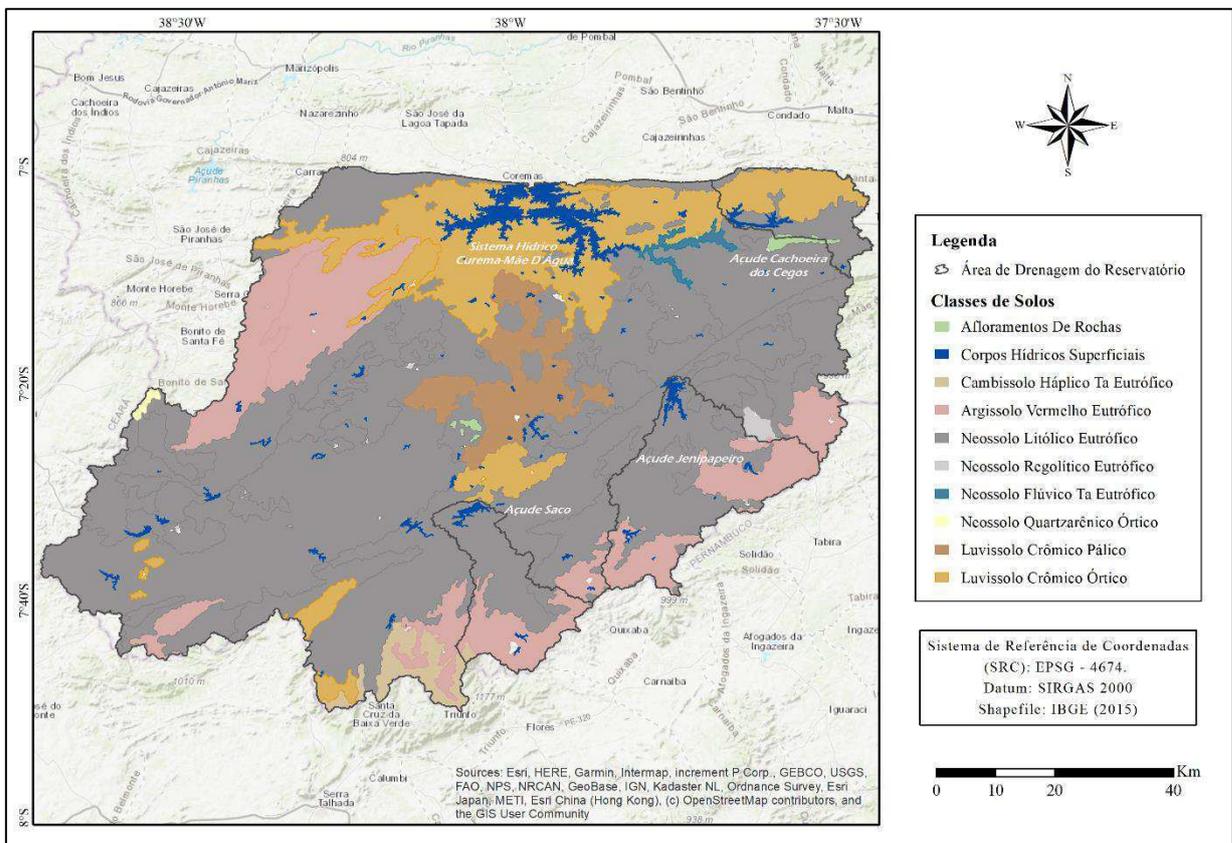
Em estudos similares na bacia do rio Piancó, Silva *et al.* (2021) constataram a predominância de áreas medianamente estáveis/vulneráveis à perda de solo por erosão hídrica (66% da área total), destacando as áreas mais vulneráveis associadas às margens do curso d'água, visto que estas apresentaram maiores percentuais de solo exposto, favorecendo a ocorrência de processos erosivos e alterando a qualidade da água dos reservatórios. Além disso, ao analisar os diferentes graus de fragilidade ambiental na mesma área de estudo, Bezerra *et al.* (2016) identificaram que a bacia apresenta fragilidade potencial e fragilidade emergente de alta e muito alta, com percentuais acima dos 95%, em ambas. Dessa forma, essas áreas, as quais incluem as sub-bacias estudadas, requerem maior atenção quanto ao uso do solo, visto que qualquer alteração compromete a funcionalidade do sistema, rompendo o seu estado de equilíbrio dinâmico (ROSS, 1994).

5.1.1 Pedologia

Quanto à pedologia, foram identificadas oito classes de solo nas áreas estudadas, e afloramento de rochas, conforme indicado na Figura 6. As classes de solo mais expressivas

foram compostas de Luvisolo crômico, Argissolo vermelho e Neossolo litólico, que predominou em todas as sub-bacias. Outros tipos de solo foram identificados em menores porções na sub-bacia Curema – Mãe D'Água, como se demonstra na Figura 6.

Figura 6 - Mapa pedológico dos reservatórios Curema-Mãe D'Água, Saco, Jenipapeiro e Cachoeiras do Cegos



Fonte: Autoria própria (2021)

Luvisolos são solos pouco profundos e rico em minerais primários. Geralmente, são pedregosos e com mudança de textura abrupta, com argila de alta atividade nas camadas superficiais, fatores que potencializam a ação erosiva da chuva. Nas sub-bacias estudadas, identificaram-se maiores extensões em torno do Sistema Hídrico Curema–Mãe D'Água, e uma porção significativa na área do reservatório Cachoeira dos Cegos, as quais, considerando as características desse tipo de solo, podem sofrer influência direta na qualidade ambiental da água (SANTOS, 2017).

Neossolos Lítólicos são solos jovens, pouco profundos, geralmente cascalhentos e/ou pedregosos e frequentemente associados a afloramentos de rocha, distribuindo-se por todas as sub-bacias estudadas. Já a classe dos argissolos vermelhos, estendeu-se por áreas com maiores

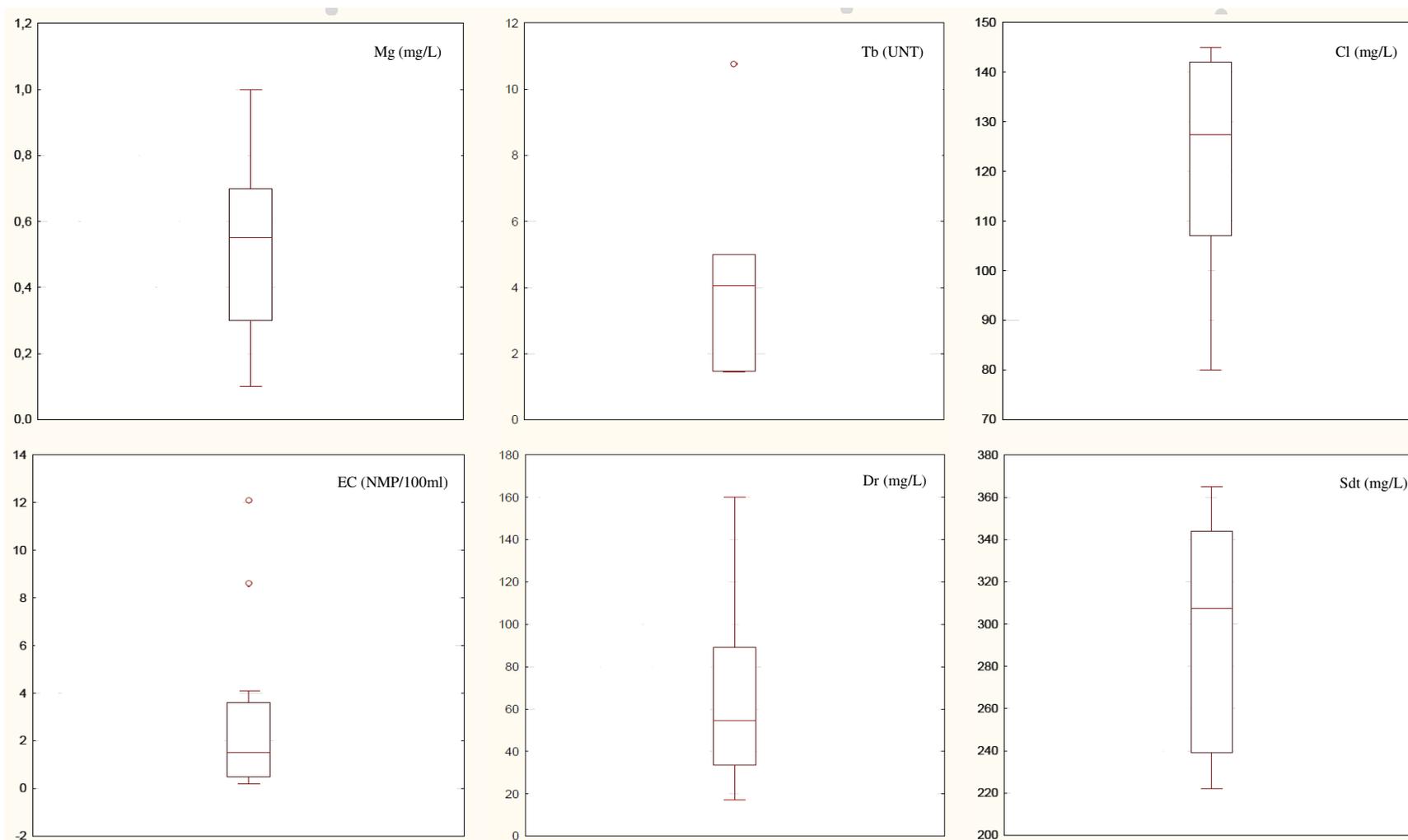
declives nos reservatórios Curema-Mãe D'Água, Jenipapeiro e Saco, sendo caracterizados por serem bastante evoluídos, apresentando profundidade mediana e incremento de argila nas camadas inferiores, o que dificulta a infiltração da água e associados à sua localização na área de estudo, podem facilitar o carreamento de sedimentos para os reservatórios (SANTOS, 2017).

5.2 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

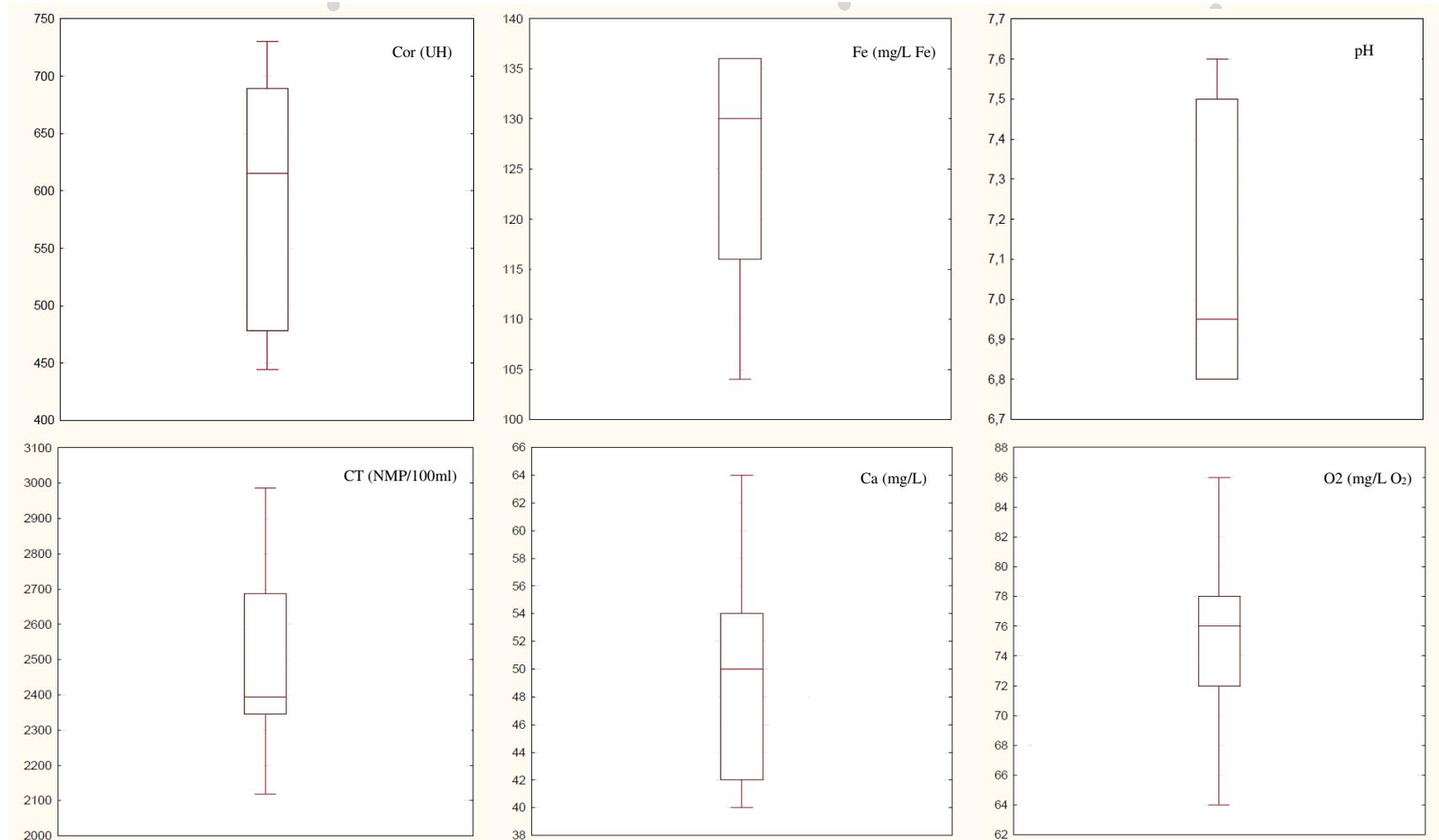
Nas Figuras 7 e 8, são apresentados os dados referentes aos parâmetros de qualidade da água, englobando os quatro reservatórios em estudo. Observa-se pelo gráfico *Box-plot*, uma maior variabilidade nas concentrações de magnésio, turbidez, cloreto, dureza, ferro, coliformes totais, cálcio e oxigênio consumido. Os parâmetros turbidez e E. Coli foram os únicos a apresentarem *outliers*, ou seja, um valor mais distante da média, o primeiro, devido a este parâmetro estar associado ao tipo de solo e às precipitações locais (fatores naturais), enquanto o segundo estar associado a descargas domésticas e à criação bovina às margens dos reservatórios (fator antrópico), que também justifica essa maior variabilidade entre os parâmetros citados.

Por outro lado, os parâmetros pH, sólidos dissolvidos totais e cor aparente não apresentaram elevada variabilidade, valores mais próximos da mediana. De forma geral, todos os parâmetros analisados apresentaram valores não dispersos, quando comparados entre os quatro reservatórios, resultado que pode ser justificado pela proximidade entre as áreas estudadas e estas pertencerem a mesma bacia hidrográfica.

Figura 7 - Box-plot dos parâmetros de qualidade da água nos reservatórios



Mg - Magnésio; Tb - Turbidez; Cl - Cloretos; EC - *Escherichia coli*; Dr - Dureza; Sdt - Sólidos dissolvidos totais. Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 8 - *Box-plot* dos parâmetros de qualidade da água nos reservatórios (continuação)

Cor – Cor aparente; Fe- Ferro; CT–Coliformes totais; Ca–Cálcio; O₂–Oxigênio consumido. Fonte: Autoria própria (2021)

5.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O coeficiente de correlação de Pearson (r) exprime o grau de relação entre variáveis quantitativas. Neste estudo, foram utilizadas variáveis relacionadas às formas de uso solo e os parâmetros de qualidade da água nos reservatórios considerados, cujo os escores discriminam a correlação existente. Valores próximos a 1 ou -1 correspondem a forte relações entre o par considerado, dessa forma, utilizaram-se das classes propostas por Cielo (2015) para a classificação quanto ao grau de correlação: correlação bem fraca (0 a 0,19); correlação fraca (0,20 a 0,39); correlação moderada (0,4 a 0,69); correlação forte (0,70 a 0,89); correlação muito forte (0,90 a 1,00).

As matrizes de correlação entre as variáveis estudadas para os quatro reservatórios estão apresentadas nas Tabelas 2 (Curema–Mãe D'Água), 3 (Saco), 4 (Cachoeira dos Cegos) e 5 (Jenipapeiro). Para todas as sub-bacias, obtiveram-se coeficientes de correlação superiores a 0,7 entre as variáveis de turbidez, cor aparente e coliformes totais com o solo exposto, sendo essa classe a que apresentou maior número de correlações. Além disso, observou-se nos reservatórios uma correlação forte entre sólidos totais dissolvidos e áreas urbanas, visto que em torno desses mananciais são desenvolvidas diversas atividades agropecuárias, como também ocorre o lançamento de efluentes domésticos, aumentando a concentração de sólidos nessas áreas, e conseqüentemente a turbidez e cor, considerando as relações entre esses parâmetros.

Para os reservatórios Saco e Cachoeira dos Cegos, o pH apresentou correlação forte e inversa com classes de vegetação e solo exposto, e no reservatório Curema–Mãe D'Água, apenas com solo exposto ($r = -0,746$), inferindo que o aumento do percentual dessas áreas causa a diminuição do pH desses corpos hídricos. Destaca-se no reservatório Saco, a correlação forte entre solo exposto e Ferro ($r = 0,881$), visto que sua área de contribuição situa-se em maiores declividades, potencializando o escoamento superficial da água e os processos erosivos, associados à classe de argissolos vermelhos presentes nessa região, que apresentam óxidos de ferro no material de origem, contribuindo para o carreamento de sedimentos ricos desse elemento, justificando também a relação com o pH pois normalmente apresentam caráter ácido.

Tabela 2 - Matriz de correlação de Pearson (r) entre as variáveis analisadas para o Sistema Hídrico Curema–Mãe D'Água

	Ca	Clor	Cor	Dur	Fe	Mg	O2	pH	STD	Turb	Colif	E coli
VD	0,441	-0,077	-0,151	0,691	-0,129	0,216	0,933	0,685	-0,510	-0,056	-0,768	-0,439

VE	-0,523	-0,010	0,233	-0,709	0,221	-0,157	-0,916	-0,746	0,503	0,137	0,846	0,517
SE	-0,645	0,181	0,824	-0,860	0,590	-0,190	-0,422	-0,557	0,854	0,795	0,779	0,014
AU	-0,278	0,769	0,044	-0,553	-0,257	-0,256	-0,797	-0,137	0,879	0,000	0,461	-0,281

Ca-Cálcio; Clor-Cloretos; Cor -Cor aparente; Dur-Dureza; Fe-Ferro; Mg-Magnésio; O2-Oxigênio consumido; STD-Sólidos totais dissolvidos; Turb-Turbidez; CT-Coliformes totais; E coli-*Escherichia coli*. Fonte: Autoria própria (2021)

Tabela 3 - Matriz de correlação de Pearson (r) entre as variáveis analisadas para o reservatório Saco

	Ca	Clor	Cor	Dur	Fe	Mg	O2	pH	STD	Turb	Colif	E coli
VD	0,388	-0,055	-0,219	0,536	-0,187	0,171	0,783	0,644	-0,790	-0,099	-0,692	-0,380
VE	-0,558	-0,002	0,299	-0,579	0,253	-0,062	-0,860	-0,738	0,764	0,170	0,852	0,446
SE	-0,632	-0,496	0,908	-0,822	0,881	-0,129	-0,271	-0,854	0,168	0,789	0,839	0,437
AU	0,183	0,449	-0,191	-0,284	-0,222	-0,456	-0,678	-0,255	0,792	-0,204	0,241	-0,019

Ca-Cálcio; Clor-Cloretos; Cor -Cor aparente; Dur-Dureza; Fe-Ferro; Mg-Magnésio; O2-Oxigênio consumido; STD-Sólidos totais dissolvidos; Turb-Turbidez; CT-Coliformes totais; E coli-*Escherichia coli*. Fonte: Autoria própria (2021)

Tabela 4 - Matriz de correlação de Pearson (r) entre as variáveis analisadas para o reservatório Cachoeira dos Cegos

	Ca	Clor	Cor	Dur	Fe	Mg	O2	pH	STD	Turb	Colif	E coli
VD	-0,441	-0,538	0,349	-0,365	0,712	0,069	-0,550	-0,774	0,253	0,188	0,817	0,874
VE	0,417	0,168	-0,465	-0,057	0,061	-0,260	-0,724	-0,181	0,402	-0,635	0,176	0,192
SE	-0,423	-0,432	0,938	-0,810	0,641	-0,331	-0,419	-0,854	0,329	0,845	0,873	0,473
AU	0,483	0,411	-0,123	-0,506	-0,077	-0,657	-0,888	-0,247	0,727	-0,274	0,322	-0,115

Ca-Cálcio; Clor-Cloretos; Cor -Cor aparente; Dur-Dureza; Fe-Ferro; Mg-Magnésio; O2-Oxigênio consumido; STD-Sólidos totais dissolvidos; Turb-Turbidez; CT-Coliformes totais; E coli-*Escherichia coli*. Fonte: Autoria própria (2021)

Tabela 5 - Matriz de correlação de Pearson (r) entre as variáveis analisadas para o reservatório Jenipapeiro

	Ca	Clor	Cor	Dur	Fe	Mg	O2	pH	STD	Turb	CT	E coli
VD	-0,492	-0,519	0,275	-0,287	0,706	0,057	-0,571	-0,415	0,212	0,157	0,791	0,846

VE	0,363	0,144	-0,372	-0,113	0,054	-0,273	-0,774	0,577	0,499	-0,532	0,210	0,119
SE	-0,441	-0,457	0,943	-0,835	0,651	-0,370	-0,428	-0,687	0,346	0,866	0,865	0,475
AU	0,345	0,268	-0,123	-0,416	-0,011	-0,528	-0,890	0,539	0,708	-0,275	0,355	-0,038

Ca-Cálcio; Clor-Cloretos; Cor -Cor aparente; Dur-Dureza; Fe-Ferro; Mg-Magnésio; O2-Oxigênio consumido; STD-Sólidos totais dissolvidos; Turb-Turbidez; CT-Coliformes totais; E coli-*Escherichia coli*. Fonte: Autoria própria (2021)

Considerando os escores da variável oxigênio consumido, observou-se uma correlação positiva com vegetação densa (Curema-Mãe D'Água e saco) e valores inversos para os demais tipos de uso, ocorrendo em função da predominância dessas classes associado a maiores valores de oxigênio consumido. Dessa forma, pode-se destacar outros fatores que influenciem esse comportamento, como o desenvolvimento de atividades agropecuárias e de piscicultura às margens dos reservatórios, além do lançamento de efluentes domésticos, levando a um aumento da concentração de nutrientes e compostos poluentes, conseqüentemente elevando a carga orgânica desses ambientes aquáticos (CBHPPA, 2018).

5.3.1 Análise de componentes principais

Para a análise de componentes principais, foram selecionados os primeiros três componentes principais (CPs) uma vez que explicavam pelo menos 70% da variação total dos dados e possuíam autovalores superiores a 1. Os resultados dos carregamentos obtidos para cada reservatório estudado são relatados na Tabela 6. As cargas fatoriais auxiliam a compreensão da natureza básica de um componente e são semelhantes à correlação entre as variáveis originais e CP. Dessa forma, valores de cargas próximos a 1 ou -1 indicam uma contribuição forte da variável na componente associada.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 5, a CP1 explicou uma variação de 48,21% para o Sistema Hídrico Curema-Mãe D'Água, 41,5% para o açude Jenipapeiro, 48,48% para o açude Saco e 43,09% para o açude cachoeira dos cegos. Analisando-se as cargas obtidas para a CP1, observou-se um comportamento semelhante para as variáveis com maior influência nos quatro reservatórios, sendo elas: Cor aparente, dureza, ferro, oxigênio consumido, pH, sólidos totais dissolvidos (RV1 e RV2), turbidez, coliformes totais, vegetação densa, vegetação aberta e solo exposto, podendo-se inferir que a CP1 está relacionada ao aporte de sedimentos nos reservatórios pelo aumento de áreas de solo exposto e vegetação aberta, poluição por

matéria orgânica pelo lançamento de efluentes e desenvolvimento de atividade às margens do cursos hídricos e sais dissolvidos.

Os valores de variância obtidos para a CP2 permitem associar esse componente principalmente à presença de áreas urbanas e ao lançamento de efluentes sob os corpos hídricos. Em todos os reservatórios, a CP3 está relacionada à contaminação microbiológica da água, com maior influência da variável *Escherichia coli*. Ainda se constatou que o parâmetro sólidos dissolvidos totais, obteve cargas significativas nas CP1 (RV1 e RV2) e CP2 para os reservatórios, resultados que indicam que o transporte de sedimentos e lançamento de efluentes podem interferir na qualidade da água desses reservatórios. A influência do elemento ferro sobre as CPs ainda sugere que processos naturais possam intervir na qualidade das águas dos mananciais, visto a presença desse na composição mineralógica dos solos da região.

Tabela 6 - Resultado do carregamento das componentes principais para os quatro reservatórios estudados: RV1–Sistema Hídrico Curema-Mãe D'Água, RV2–Saco, RV3-Cachoeira dos cegos e RV4-Jenipapeiro

RV1	CP1	CP2	CP3	RV2	CP1	CP2	CP3	RV3	CP1	CP	CP3	RV4	CP1	CP2	CP3
Ca	0,595	0,209	-0,315	Ca	0,604	-0,070	0,465	Ca	0,368	-0,504	-0,182	Ca	0,558	-0,280	0,096
Clor	0,009	0,921	-0,337	Clor	0,146	-0,734	0,539	Clor	0,399	-0,761	0,390	Clor	0,563	-0,588	-0,462
Cor ap	-0,713	-0,470	-0,508	Cor ap	-0,668	0,594	0,374	Cor ap	-0,804	0,253	0,508	Cor ap	-0,861	0,088	-0,463
Dur	0,943	-0,066	0,248	Dur	0,913	0,042	-0,401	Dur	0,808	0,420	-0,398	Dur	0,724	0,517	0,425
Fe	-0,607	-0,723	-0,310	Fe	-0,640	0,742	0,154	Fe	-0,665	0,480	-0,413	Fe	-0,749	0,321	0,475
Mg	0,301	-0,262	0,508	Mg	0,264	0,113	-0,779	Mg	0,364	0,696	-0,311	Mg	0,210	0,657	0,379
O2	0,683	-0,537	-0,459	O2	0,677	0,666	0,128	O2	0,619	0,743	0,228	O2	0,428	0,859	-0,232
pH	0,832	0,337	-0,153	pH	0,891	-0,228	0,041	pH	0,922	-0,046	0,143	pH	0,737	-0,620	0,104
STD	-0,731	0,527	-0,365	STD	-0,665	-0,662	0,245	STD	-0,429	-0,729	0,153	STD	-0,280	-0,846	-0,199
Turb	-0,645	-0,485	-0,572	Turb	-0,554	0,647	0,454	Turb	-0,669	0,304	0,675	Turb	-0,777	0,172	-0,600
Colif	-0,941	-0,108	0,220	Colif	-0,947	0,030	-0,132	Colif	-0,952	-0,103	-0,003	Colif	-0,911	-0,328	0,038
E. coli	-0,306	-0,562	0,769	E. coli	-0,441	0,250	-0,836	E. coli	-0,564	0,509	-0,621	E. coli	-0,659	0,346	0,658
VD	0,783	-0,304	-0,482	VD	0,818	0,508	0,199	VD	-0,793	0,123	-0,541	VD	-0,723	-0,106	0,604
VE	-0,831	0,204	0,492	VE	-0,869	-0,405	-0,249	VE	-0,106	-0,652	-0,750	VE	0,041	-0,767	0,629
SE	-0,890	0,020	-0,322	SE	-0,905	0,419	0,016	SE	-0,958	0,150	0,229	SE	-0,967	-0,080	-0,195
AU	-0,566	0,806	-0,002	AU	-0,583	-0,643	0,012	AU	-0,282	-0,897	-0,291	AU	-0,093	-0,918	0,340
% Var.	48,21	23,34	17,49	-	46,41	26,74	16,51	-	43,09	28,16	17,49	-	64,33	15,18	8,51
% Ac	48,21	71,55	89,04		46,41	73,15	89,66		43,09	71,25	88,74		64,33	79,51	88,02
AV	7,7	3,7	2,8	-	7,4	4,3	2,6	-	6,9	4,5	2,8	-	11,6	2,7	1,5

CP: Componente Principal; AV – Autovalor

Fonte: Autoria própria (2021)

De forma geral, as componentes principais selecionadas revelam pressões causadas por atividades antropogênicas sobre os corpos hídricos. No gráfico de carregamentos das CPs analisa-se o papel de todas as variáveis nas duas primeiras componentes, suas relações e sua importância no sistema. Na Figura 9, observa-se a formação de agrupamentos com alta correlação entre si nos reservatórios Jenipapeiro e Cachoeira dos Cegos. Os parâmetros relacionados ao aporte de sedimentos, tais como turbidez, cor aparente e SDT (RV1 e RV2) e poluição (Coliformes totais e *E. coli* nos RV3 e RV4) foram proporcionais a áreas de solo exposto e vegetação aberta (RV1 e RV2), os quais contribuíram para a ordenação do primeiro eixo, explicando a maior variabilidade da qualidade da água nos reservatórios, principalmente nos reservatórios Jenipapeiro e Cachoeira dos Cegos que obtiveram maiores cargas.

Áreas de solo exposto estão associadas geralmente a regiões antropizadas, favorecendo o surgimento de áreas impermeáveis e maior intensidade de escoamento superficial, potencializando os processos erosivos que são as principais fontes de turbidez das águas e a lavagem de áreas agricultáveis e de pecuária, alterando a qualidade da água dos reservatórios. Conforme ressaltam Prato *et al.* (1989), a agricultura é uma fonte importante de poluição difusa, contribuindo com aproximadamente 46% de sedimentos dos cursos d'água. Nas sub-bacias estudadas, há predominância de atividades agropecuárias como um dos principais meios de subsistência, onde áreas de lavouras e pastagens ocupam até 50% da área total dos municípios (IBGE, 2017), situação que contribui significativamente para a alteração da qualidade dos corpos hídricos. Além disso, o destaque da produção pecuária na região tem alterado o padrão de uso do solo, contribuindo potencialmente para entrada de coliformes nos corpos d'água (CBHPPA), confirmada pela alta influência da CT na variância dos dados na CP1, em todos os reservatórios.

Identificaram-se concentrações de solo exposto em torno do Sistema Hídrico Curema-Mãe D'Água, indicando ausência de zonas ripárias, intensificando os processos erosivos, visto as funções hidrológicas exercidas por estas que incluem a retenção de nutrientes e sedimentos durante o escoamento superficial e estabilização das margens do solo, tornando-as vitais para a manutenção da qualidade da água dos reservatórios (MENDONÇA, 2019). Bertoni e Lombardi Neto (2014) citam que a vegetação exerce importante função na proteção contra agentes erosivos, inicialmente, na estabilização dos agregados do solo, aumento da permeabilidade e infiltração, e na proteção contra o impacto direto da precipitação, diminuindo a velocidade do escoamento superficial. Entretanto, os reservatórios estudados estão inseridos em região de bioma Caatinga, onde há vegetação caducifólia com um estrato arbustivo-arbóreo espessado,

facilitando a ação erosiva da chuva, o que justifica a forte influência da classe de uso vegetação aberta na variância total dos dados.

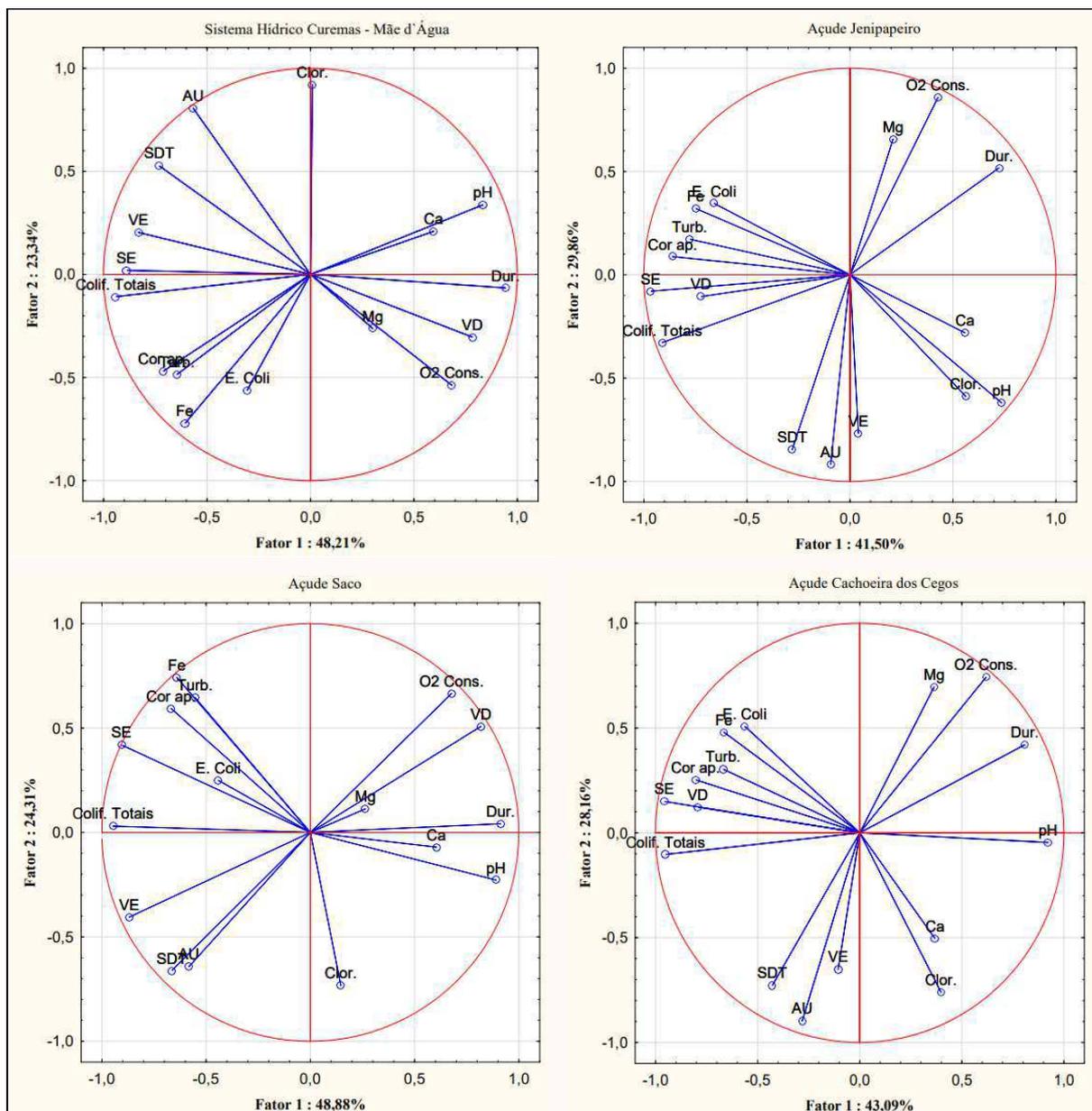
O pH obteve relação inversamente proporcional na CP1. As variações desses parâmetros podem estar relacionadas ao lançamento de efluentes e carreamento de sedimentos de áreas agricultáveis, alterando o equilíbrio nos ambientes aquáticos.

A CP2 está relacionada à fatores de contaminação antropogênica pelo lançamento de águas residuárias, com maior influência das variáveis áreas urbanas, sólidos totais dissolvidos e cloretos, indicando a presença de efluentes que contribuem para maior entrada de sedimentos nos reservatórios. Destaca-se a impermeabilização dos solos nos assentamentos humanos, aumentando a intensidade de escoamento superficial e carreamento de sedimentos. O lançamento de águas residuárias sem tratamento prévio nos corpos hídricos é responsável pela interferência negativa da qualidade da água, em função da alta carga orgânica e patogênica, justificando a alta relação de coliformes totais e *E. coli* (CP3) na CP1. Segundo CBHPPA (2018), na bacia hidrográfica do rio Piancó, apenas 6,7% da população é atendida por rede coletora e de tratamento de esgoto, demonstrando uma situação crítica na região relacionada a esse aspecto.

Ressalta-se que a poluição de reservatórios por efluentes domésticos é concentrada no período chuvoso, em que há escoamento dos rios intermitentes e o carreamento dos poluentes para os reservatórios. Este fato evidencia a necessidade de implantação de práticas eficientes de gestão para prevenir o excesso de lançamento de efluentes nos mananciais.

Resultados semelhantes foram obtidos por Sousa *et al.* (2019) em estudos de monitoramento das águas da bacia hidrográfica do rio Cuiá, em que a aplicação da PCA indicou relação com o lançamento de efluentes de ETE, estando associada a parâmetros de CT, *E. coli.*, turbidez e cor. Estudos realizados por Nascimento *et al.* (2019) na bacia do rio do Peixe, no quadrilátero ferrífero, utilizando análise multivariada, identificaram importante influência das atividades antrópicas sobre a qualidade da água, especialmente sobre os parâmetros de DBO, OD, CT, ferro e turbidez, de forma que foi constatado que os impactos relacionados a desmatamento, erosão, esgotos domésticos e rejeitos da extração de minério foram os fatores principais que afetaram a qualidade nos pontos amostrados.

Figura 9 - Análise de Componentes Principais entre as variáveis de uso do solo e qualidade da água para os reservatórios estudados



Fonte: Autoria própria (2021)

Segundo Trevisol (2002), outros fatores influenciam diretamente no escoamento superficial, podendo ser condições climáticas, relacionadas à precipitação ou relacionada à natureza fisiográfica da bacia. Os reservatórios de Jenipapeiro e Saco estão situados na região de cabeceiras da bacia do rio Piancó, em que predominam áreas declivosas, geralmente superiores a 20%, conforme descrito por Silva *et al.* (2021). Assim, é possível que a maior variância dos dados relacionados a solo exposto nesses reservatórios esteja associada a essas características, em função da maior velocidade de escoamento da chuva, potencializando os

processos erosivos, como também a presença de porções de argissolo vermelho nessas áreas, cujos atributos revelam baixa infiltração, o que facilita a ação da precipitação no carreamento de sedimentos.

Nos eixos da CP, observa-se ainda que o parâmetro Oxigênio consumido, dureza e Cálcio estão ordenados no lado positivo do eixo, indicando que, ainda que os reservatórios sofram pressões das atividades antrópicas, possuem a capacidade de autodepuração e restauração do equilíbrio ecológico nos mananciais, principalmente envolvendo reservatórios de grande porte. Cabe ressaltar que a relação entre os parâmetros Ca, Mg e dureza nas CP's ocorre em razão da dureza ser resultado da presença desses sais.

6 CONCLUSÕES

A análise da cobertura do solo revelou maiores percentuais de área coberta por vegetação densa nos reservatórios Curema-Mãe D'Água e Saco, e vegetação aberta nos reservatórios Cachoeira dos Cegos e Jenipapeiro. A classe de solo exposto apresentou percentual significativo nas áreas estudadas, e porções concentradas em torno do Sistema Hídrico Curema-Mãe D'Água, podendo estar associado à ausência de áreas de preservação.

A partir do mapa de pedologia, identificaram-se maiores porções de Neossolo Litólicos, Luvisolos Crômicos e Argissolos vermelhos nos reservatórios estudados que, em função das suas características estruturais, potencializam a ação erosiva da chuva.

A análise de componentes principais teve uma explicação na variação total dos dados superior a 80% nas três primeiras componentes principais selecionadas, em todos os reservatórios estudados. As variáveis mais representativas foram: cor aparente, dureza, ferro, oxigênio consumido, pH, sólidos totais dissolvidos, turbidez, coliformes totais, vegetação aberta, solo exposto, cloretos, áreas urbanas e *Escherichia col*, estando associadas ao aporte de sedimentos nos reservatórios, sais dissolvidos e poluição orgânica e microbiológica. A ausência de áreas de preservação nos reservatórios e desenvolvimento de atividades agropecuárias principalmente as margens dos corpos hídricos são possíveis fatores com potencial de interferência na qualidade dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

- ALLAN, J. D.. Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 35, p. 257-284, 2004.
- ALVES, R. E. et al. **Transformações da paisagem da bacia hidrográfica do ribeirão da picada, jataí (go): uma análise tempo-espacial**. *Acta geográfica*, v. 9, n. 19, p. 109-125, 2015
- ANA. **Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu / Agência Nacional de Águas**. Brasília: ANA, 2016.
- ASSAD, E.D.; SANO, E.E. **Sistemas de informações geográficas (Aplicações na Agricultura)**. 2.ed. Brasília: SPI/EMBRAPA-CPAC, 1998. 434 p.
- ATTANASIO, C. M. **Planos de manejo integrado de microbacias hidrográficas com uso agrícola: uma abordagem hidrológica na busca da sustentabilidade**. 2004. 193p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- BARBOSA et al..**Sistema de Gestão de Recursos Hídricos através de sistema de gestão ambiental (SGA) em áreas de proteção ambiental municipal (APA OU APAM)**. Instituto de Geociências. Unicamp, 2003.
- BARRELLA, W. et al. **As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes**. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) *Matas ciliares: conservação e recuperação*. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, p. 187-208, 2001.
- BATISTA, D. F.; CABRAL, João B. P. Modelos matemáticos para avaliação do índice de qualidade de água: uma revisão. **Acta Geográfica**, v. 11, n. 25, p. 111-136, 2017.
- BERNARDI, J. V. E.; Lacerda, L. D.; Dórea, J. G.; Landim, P. M. B.; Gomes, J. P. O.; Almeida, R.; Manzatto, A. G.; Bastos, W. R. Aplicação da análise das componentes principais na ordenação dos parâmetros físico-químicos no alto rio Madeira e afluentes, Amazônia ocidental, **Geochimica Brasiliensis**, v. 23, n. 1, p. 079-090, 2009.

BEZERRA, A. B.; SILVA, L. T. M. S.; SALES, L. G. L. Uso de Geotecnologias para o mapeamento da Fragilidade Ambiental da Sub-Bacia do Rio Piancó, PB. In: **Anais I Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido**. Campina Grande, PB. 2016.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água**. 4 ed. Brasília, DF, 150 p. 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília, DF, 212 p. 2006.

BUENO, L. F.; GALBIATTI, J.A.; BORGES, M. J. Monitoramento de variáveis de qualidade da água do horto Ouro Verde - Conchal – SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 742-748, set./dez. 2005.

CBHPPA. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó - Piranhas – Açu, 2018. Disponível em: <<http://www.cbhpiancopiranhasacu.org.br/site/a-bacia/>>. Acesso em: 07 de jun. 2021.

CETESB. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. São Paulo, 2009, 43 p. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/variaveis.pdf>>. Acesso em: 07 de junho de 2021..

DUPASA, R.; DELMASC, M.; DORIOZD, J. M.; GARNIERE, J.; MOATARF, F.; GASCUEL-ODOUXA, C. Assessing the impact of agricultural pressures on N and P loads and eutrophication risk. **Ecological Indicators**, v. 48, p. 396-407, 2015

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. rev. atual. Brasília, DF: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FARIAS, J. F.et al. **Caracterização de Sistemas Ambientais como Base Metodológica para o Planejamento Ambiental em Bacias Hidrográficas Semiáridas**. Revista GeoAmazônia, v. 3, n. 06, p. 14-27, 2016.

FERNANDES, M. F.; QUEIROZ, P. **Vegetação e flora da Caatinga**. Ciência e Cultura, v. 70, n. 4, p. 51-56, 2018.

FIA, R.; TADEU, H. C.; MENEZES, J. P. C.; FIA, F. R. L.; OLIVEIRA, L. F. C. Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 1. 2015

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. Oficina de textos, 2008.

FUCHS, C. R. **Classificação da qualidade da água do córrego Lanoso, Uberaba-MG**. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP - Jaboticabal, 2012. p. 50.

GONÇALVES, C. W. P. Possibilidades e limites da ciência e da técnica diante da questão ambiental. **Revista Geosul**. Editora da UFSC. nº 5 – ano – III – 1º semestre, 1998

GOULART, M. D. e CALLISTO. M. **Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental**. Revista FAPAM , ano 2, n. 1. 2003.

GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D.; ELESBON, A. A. A et al. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 558-563, 2012.

HOTELLING H. **Analysis of a complex of statistical variables into principal components**. J. Educ. Psychol. 24, 1933, 498-520p.

HUA, A. K. Land Use Land Cover Changes in Detection of Water Quality: A Study Based on Remote Sensing and Multivariate Statistics. **Journal of environmental and public health**. p. 1-12. 2017.

IGHALO, J. O.; ADENIYI, A. G. A comprehensive review of water quality monitoring and assessment in Nigeria. **Chemosphere**, p. 127569, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Agropecuário 2017**. Disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br/>. Acessado em 28 de julho de 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br/>. Acessado em 28 de julho de 2021.

JAMDADE, A. B.; GAWANDE, S. M. Analysis of water quality parameters: a review. **International Journal of Engineering Research**, v. 6, n. 3, p. 145-148, 2017.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, v. 23, n. 03, p. 187-200, 1958. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02289233>

KÄNDLER, M. et al. Impact of land use on water quality in the upper Nisa catchment in the Czech Republic and in Germany. **Science of The Total Environment**, v. 586, p. 1316- 1325, 2017.

KANG, J. H.; LEE, S. W.; CHO, K. H.; KI, S. J.; CHA, S. M.; KIM, J. H. (2010). Linking land-use type and stream water quality using spatial data of fecal indicator bacteria and heavy metals in the Yeongsan river basin. **Water Research**, v. 44, p. 4.143-4.157.

KELLY, E. R.; CRONK, R.; KUMPEL, E.; HOWARD, G.; & BARTRAM, J. How we assess water safety: A critical review of sanitary inspection and water quality analysis. **Science of The Total Environment**, v. 718, p. 137237, 2020.

KHALEDIAN, Y. et al. Assessment of water quality using multivariate statistical analysis in the Gharaso River, Northern Iran. **Urban ecology, water quality and climate change**, v. 84, p. 227-253, 2018.

KITCHENER, B. G. B.; WAINWRIGHT, J.; PARSONS, A. J. A review of the principles of turbidity measurement. **Progress in Physical Geography**, v. 41, n. 5, p. 620-642, 2017.

KÖPPEN, W. Das Geographische System der Klimatologie. Berlin, 44 p. 1936.

LEE, Y., HA, S., PARK, H. HAN, M; SHIN, K. Identification of Key Factors Influencing Primary Productivity in Two River-Type Reservoirs by Using Principal Component Regression Analysis. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, 213, p. 1- 12, 2015.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. Remote sensing and image interpretation. New York: John Wiley e Sons Inc., 1994, 708p.

LIU, G.; ZHANG, Y.; KNIBBE, W. J.; FENG, C.; LIU, W.; MEDEMA, G.; & VAN DER MEER, W. Potential impacts of changing supply-water quality on drinking water distribution: A review. **Water research**, v. 116, p. 135-148, 2017.

MACEDO, T. de L.; REMPEL, C.; MACIEL, M.J. Análise Físico-Química e Microbiológica de água de poços artesianos em um município do Vale do Taquari RS. **Tecno-Lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 22, n.1, p.58-65, 2018.

MARDIA, K. V.; KENT, J. T.; BIBBY, J. Multivariate analysis. London: Academic, 1979.

MAZUR, R.; SZOSZKIEWICZ, K.; NOWAK, A.; PIETRUCZUK, K. CHMIST, J. Ecological Classification of Artificial Reservoirs in Polish Lowlands According to Water Framework Directive Requirements. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 26, n. 1, p. 205-210, 2017.

MEDEIROS, W. M. V.; SILVA, C. E.; LINS, R. P. M. Avaliação sazonal e espacial da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Longá, Piauí, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 13, n. 2, 2018.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras: Ed. UFLA, 214 p. 2013.

MENDONÇA, G. C.; OLIVERA, L. C. M.; COSTA, L. M.; GOUVEIA, R. G. L.; PARRAS, P.; PISSARRA, T. C. T. Composição da paisagem de zonas ripárias em bacia hidrográfica antropizada. In: **Anais XLVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**. Campinas, SP. 2019.

MENEZES, J. P. C.; BERTOSSI, A. P. A.; SANTOS, A. R.; NEVES, M. A. (2014). Correlation between land use and groundwater quality. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 19. p. 173-186.

Nascimento, L. P. do, Reis, D. A., Roeser, H. M. P., & Santiago, A. D. F. (2019). Relationship between land use and water quality in a watershed impacted by iron ore tailings and domestic sewage. **Ambiente e Agua**, v. 14, n. 5, p 1-11, 2019.

NGOYE, E.; MACHIWA, J. F. (2004). The influence of land use patterns in the Ruvu river watershed on water quality in the river system. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 29, p. 1.161-1.166.

ONU – Organização das Nações Unidas. Les organismes des nations unies et l'eau. Notes d'informations à l'intention des coordonnateurs residents/représentants residents, des représentants dans les pays et des directeurs de projet associés à diverses organizations. Nova Iorque: ONU, 1982.

OUYANG, Y. Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis. **Water Research, Amsterdam**, v. 39, n. 12, p. 2621-2635, 2005.

PALACIO, H. A. Q. **Índice de qualidade das águas na parte baixa da bacia hidrográfica do rio Trussu, Ceará**. 2004. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

PEARSON, K. L. III. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, v. 2, n. 11, p. 559-572, 1901.

PORTELA, J. F. **Avaliação da qualidade da água na área de influência direta da estação ecológica de águas emendadas**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, 2013.

PRATO, T., SHI. H., RHEW, R., BRUSVEN, M., 1989, Soil erosion and nonpoint source pollution control in an Idaho watershed, **Journal of Soil and Water Conservation**, 44:323-328.

REIS, D. A. dos et al. Influência dos fatores ambientais e antrópicos nas águas superficiais no rio Matipó, afluente do rio Doce. **Revista de Gestão de Águas da América Latina**, v. 14, n. 2, 2017.

RODRÍGUEZ-ROMERO, A. J.; RICO-SÁNCHEZ, A. E.; MENDOZA-MARTÍNEZ, E.; GÓMEZ-RUIZ, A.; SEDEÑO-DÍAZ, J. E.; LÓPEZ-LÓPEZ, E. Impact of Changes of Land Use on Water Quality, from Tropical Forest to Anthropogenic Occupation: A Multivariate Approach. **Water**, V. 10, 1-16, 2018.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 2ªed. rev. Uberlândia. Ed. Da Universidade Federal de Uberlândia, 1992. Santa Maria – Edições UFSM, 1991. 181p.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizado. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo - SP, n. 8, p.24-30, 1994.

SAITO, S. M. Desastres naturais e geotecnologias: vulnerabilidade. São José dos Campos: INPE, 2011. 35p.

SANTOS, M. C. **Solos do Semiárido do Brasil – Semiárido Riquezas e Oportunidades**. Cadernos do Semiárido, CREA – PE / Academia Brasileira de Ciência Agronômica, gestão 2015 – 2017, 43p. 2017.

SCHIAVETTI A.; CAMARGO A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Editus, 524 p. 2002.

SILVA, C. N. et al. **Planejamento, Conflitos e Desenvolvimento Sustentável em Bacias Hidrográficas: experiências e ações**. GAPTA/UFPA: Belém-PA, p. 707, 2016.

SILVA, T. J. R. D.; LEITE, J. C. A.; CAVALCANTI, A. K. G.; DANTAS, J. S.; SOUSA, F. Q.; NASCIMENTO, M. B.; MEDEIROS, J. L. S.; ROCHA NETO, O.; CAMPOS, G. M.; SANTOS, L. C. A. Análise da Susceptibilidade à Erosão Hídrica em uma Bacia Hidrográfica do Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 3, p. 1443-1457, 2021.

SOARES, L. S. et al. **Análise morfométrica e priorização de bacias hidrográficas como instrumento de planejamento ambiental integrado**. Revista do Departamento de Geografia, v. 31, p. 82-100, 2016.

SOUSA, D. G.; MARQUES, D. S.; SANTOS, V. S.; SOUSA, A. C.; FIGUEIREDO, G. A.; Aplicação de técnicas de análise exploratória no monitoramento da qualidade da água do rio Cuiá, João Pessoa-PB. **Ambiência**. v.15 n.1 p. 131 – 145, Jan/abr. 2019

SOUSA, G. F. **Uso e aplicação do SIG em estudos ambientais: Identificação dos níveis de degradação da cobertura vegetal do Sítio Gerimum no município de Cabaceiras–PB**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental), Universidade Estadual da Paraíba, 66 p. 2017.

SPERLING, M.V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2017.

TEODORO, V. L et al. **O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local**. Revista Uniara, v.20, p.137-157, 2007.

TREVISOL, R. G. **Avaliação de medidas físicas para recuperação de área de empréstimo da Mata Atlântica: Diques**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, UFRRJ. 66p, 2002.

TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. Da Universidade: ABRH: EDUSP, 432 p. 1993.

TUNDISI, José Galizia. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Ciência e Cultura**, v. 55, n. 4, p. 31-33, 2003.

TUNDISI, José Galizia; MATSUMURA TUNDISI, Takako. **Limnologia**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 631p.

VALLE JÚNIOR, R. F. **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba**. Tese (Doutorado em Agronomia, Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2008. p. 222.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 55-64, 2010.

VASCONCELOS, J. O.; DE SOUZA, J. O. P. **Classificação de Unidades de Paisagem em Bacia Hidrográfica Semiárida–Uma Abordagem do Índice Topográfica de Umidade**. Revista Contexto Geográfico, v. 3, n. 6, p. 66-76, 2019.

VEIGA, M. P.; MARTINS, S. S.; TORMENA, C. A.; SILVA, O. H. **Influência da mata ciliar sobre a qualidade da água do Ribeirão Aurora, no município de Astorga, Paraná**. Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia UNIPAR, Umuarama, v. 6, n. 2, p. 149-152. 2003.

VICINI, L. **Análise Multivariada da teoria à prática**. Santa Maria: CCNE-UFSM, 2005, 215 p.

VIEIRA, P. H.; SILVA, A. C. A.; MENDES, A. M. S. Aplicação do SIG na análise do uso e ocupação das terras nas áreas de preservação permanente do Ribeirão Tatu e seus afluentes presentes no município de Cordeirópolis - SP. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 12, n. 1, p. 107-120, 2016.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. 452 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuária.

WWF – Relatório Planeta Vivo 2006. Suíça, 2006.

YUAÇA, F.; BITTENCOURT, J.; MEREGE, P.; SCHMIDLIN, D. **Introdução ao Geoprocessamento**. In GIS BRASIL 97, Curitiba – Paraná, 1997.

ZAIDAN, R. T. Geoprocessamento conceitos e definições. **Revista de Geografia-PPGEO-UFJF**, v. 7, n. 2, 2017.

ZEINALZADEH, K.; REZAEI, E. Determining Spatial and Temporal Changes of Surface Water Quality Using Principal Component Analysis. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 13, p. 1-10, 2017.

APÊNDICES

APÊNDICE A. Matriz de correlação de Pearson (r) entre as variáveis analisadas para o reservatório Curema–Mãe D’Água

	Ca	Clor	Cor ap	Dur	Fe	Mg	O2	pH	STD	Turb	Colif	E. coli	VD	VE	SE	AU
Ca	1,000	0,166	-0,443	0,365	-0,342	-0,569	0,315	0,323	-0,371	-0,411	-0,639	-0,542	0,441	-0,523	-0,645	-0,278
Clor	0,166	1,000	-0,246	-0,105	-0,588	-0,261	-0,300	0,450	0,647	-0,230	-0,183	-0,779	-0,077	-0,010	0,181	0,769
Cor ap	-0,443	-0,246	1,000	-0,750	0,918	-0,263	0,018	-0,628	0,485	0,995	0,609	0,092	-0,151	0,233	0,824	0,044
Dur	0,365	-0,105	-0,750	1,000	-0,623	0,558	0,579	0,783	-0,772	-0,695	-0,792	-0,060	0,691	-0,709	-0,860	-0,553
Fe	-0,342	-0,588	0,918	-0,623	1,000	-0,233	0,101	-0,744	0,150	0,904	0,575	0,354	-0,129	0,221	0,590	-0,257
Mg	-0,569	-0,261	-0,263	0,558	-0,233	1,000	0,234	0,392	-0,365	-0,244	-0,125	0,446	0,216	-0,157	-0,190	-0,256
O2	0,315	-0,300	0,018	0,579	0,101	0,234	1,000	0,530	-0,579	0,108	-0,705	-0,260	0,933	-0,916	-0,422	-0,797
pH	0,323	0,450	-0,628	0,783	-0,744	0,392	0,530	1,000	-0,282	-0,552	-0,864	-0,562	0,685	-0,746	-0,557	-0,137
STD	-0,371	0,647	0,485	-0,772	0,150	-0,365	-0,579	-0,282	1,000	0,459	0,559	-0,353	-0,510	0,503	0,854	0,879
Turb	-0,411	-0,230	0,995	-0,695	0,904	-0,244	0,108	-0,552	0,459	1,000	0,533	0,030	-0,056	0,137	0,795	0,000
Colif	-0,639	-0,183	0,609	-0,792	0,575	-0,125	-0,705	-0,864	0,559	0,533	1,000	0,518	-0,768	0,846	0,779	0,461
E. coli	-0,542	-0,779	0,092	-0,060	0,354	0,446	-0,260	-0,562	-0,353	0,030	0,518	1,000	-0,439	0,517	0,014	-0,281
VD	0,441	-0,077	-0,151	0,691	-0,129	0,216	0,933	0,685	-0,510	-0,056	-0,768	-0,439	1,000	-0,989	-0,481	-0,648
VE	-0,523	-0,010	0,233	-0,709	0,221	-0,157	-0,916	-0,746	0,503	0,137	0,846	0,517	-0,989	1,000	0,539	0,608
SE	-0,645	0,181	0,824	-0,860	0,590	-0,190	-0,422	-0,557	0,854	0,795	0,779	0,014	-0,481	0,539	1,000	0,576
AU	-0,278	0,769	0,044	-0,553	-0,257	-0,256	-0,797	-0,137	0,879	0,000	0,461	-0,281	-0,648	0,608	0,576	1,000

Fonte: Autoria própria (2021)

APÊNDICE B. Matriz de correlação de Pearson (r) entre as variáveis analisadas para o reservatório Saco

	Ca	Clor	Cor ap	Dur	Fe	Mg	O2	pH	STD	Turb	Colif	E. coli	VD	VE	SE	AU
Ca	1,000	0,325	-0,411	0,285	-0,332	-0,622	0,289	0,382	-0,271	-0,272	-0,631	-0,473	0,388	-0,558	-0,632	0,183
Clor	0,325	1,000	-0,476	-0,004	-0,676	-0,290	-0,358	0,459	0,622	-0,264	-0,204	-0,791	-0,055	-0,002	-0,496	0,449
Cor ap	-0,411	-0,476	1,000	-0,832	0,959	-0,290	0,041	-0,694	-0,101	0,962	0,631	0,168	-0,219	0,299	0,908	-0,191
Dur	0,285	-0,004	-0,832	1,000	-0,708	0,566	0,395	0,723	-0,399	-0,858	-0,758	0,077	0,536	-0,579	-0,822	-0,284
Fe	-0,332	-0,676	0,959	-0,708	1,000	-0,266	0,113	-0,750	-0,268	0,868	0,580	0,366	-0,187	0,253	0,881	-0,222
Mg	-0,622	-0,290	-0,290	0,566	-0,266	1,000	0,158	0,306	-0,146	-0,417	-0,120	0,416	0,171	-0,062	-0,129	-0,456
O2	0,289	-0,358	0,041	0,395	0,113	0,158	1,000	0,529	-0,834	0,088	-0,710	-0,186	0,783	-0,860	-0,271	-0,678
pH	0,382	0,459	-0,694	0,723	-0,750	0,306	0,529	1,000	-0,207	-0,549	-0,897	-0,579	0,644	-0,738	-0,854	-0,255
STD	-0,271	0,622	-0,101	-0,399	-0,268	-0,146	-0,834	-0,207	1,000	-0,078	0,465	-0,146	-0,790	0,764	0,168	0,792
Turb	-0,272	-0,264	0,962	-0,858	0,868	-0,417	0,088	-0,549	-0,078	1,000	0,525	-0,106	-0,099	0,170	0,789	-0,204
Colif	-0,631	-0,204	0,631	-0,758	0,580	-0,120	-0,710	-0,897	0,465	0,525	1,000	0,427	-0,692	0,852	0,839	0,241
E. coli	-0,473	-0,791	0,168	0,077	0,366	0,416	-0,186	-0,579	-0,146	-0,106	0,427	1,000	-0,380	0,446	0,437	-0,019
VD	0,388	-0,055	-0,219	0,536	-0,187	0,171	0,783	0,644	-0,790	-0,099	-0,692	-0,380	1,000	-0,954	-0,555	-0,802
VE	-0,558	-0,002	0,299	-0,579	0,253	-0,062	-0,860	-0,738	0,764	0,170	0,852	0,446	-0,954	1,000	0,643	0,639
SE	-0,632	-0,496	0,908	-0,822	0,881	-0,129	-0,271	-0,854	0,168	0,789	0,839	0,437	-0,555	0,643	1,000	0,048
AU	0,183	0,449	-0,191	-0,284	-0,222	-0,456	-0,678	-0,255	0,792	-0,204	0,241	-0,019	-0,802	0,639	0,048	1,000

Fonte: Autoria própria (2021)

APÊNDICE C. Matriz de correlação de Pearson (r) entre as variáveis analisadas para o reservatório Cachoeira dos Cegos

	Ca	Clor	Cor ap	Dur	Fe	Mg	O2	pH	STD	Turb	Colif	E. coli	VD	VE	SE	AU
Ca	1,000	0,216	-0,387	0,147	-0,113	-0,528	-0,118	0,160	-0,135	-0,475	-0,511	-0,462	-0,441	0,417	-0,423	0,483
Clor	0,216	1,000	-0,374	-0,139	-0,921	-0,370	-0,265	0,509	0,552	-0,255	-0,207	-0,819	-0,538	0,168	-0,432	0,411
Cor ap	-0,387	-0,374	1,000	-0,753	0,516	-0,344	-0,175	-0,705	0,182	0,968	0,686	0,249	0,349	-0,465	0,938	-0,123
Dur	0,147	-0,139	-0,753	1,000	-0,181	0,693	0,714	0,644	-0,739	-0,683	-0,800	-0,006	-0,365	-0,057	-0,810	-0,506
Fe	-0,113	-0,921	0,516	-0,181	1,000	0,038	-0,110	-0,776	-0,282	0,337	0,472	0,823	0,712	0,061	0,641	-0,077
Mg	-0,528	-0,370	-0,344	0,693	0,038	1,000	0,642	0,434	-0,442	-0,272	-0,297	0,442	0,069	-0,260	-0,331	-0,657
O2	-0,118	-0,265	-0,175	0,714	-0,110	0,642	1,000	0,566	-0,792	-0,029	-0,697	-0,117	-0,550	-0,724	-0,419	-0,888
pH	0,160	0,509	-0,705	0,644	-0,776	0,434	0,566	1,000	-0,164	-0,549	-0,827	-0,564	-0,774	-0,181	-0,854	-0,247
SDT	-0,135	0,552	0,182	-0,739	-0,282	-0,442	-0,792	-0,164	1,000	0,142	0,579	-0,126	0,253	0,402	0,329	0,727
Turb	-0,475	-0,255	0,968	-0,683	0,337	-0,272	-0,029	-0,549	0,142	1,000	0,586	0,104	0,188	-0,635	0,845	-0,274
Colif	-0,511	-0,207	0,686	-0,800	0,472	-0,297	-0,697	-0,827	0,579	0,586	1,000	0,518	0,817	0,176	0,873	0,322
E. coli	-0,462	-0,819	0,249	-0,006	0,823	0,442	-0,117	-0,564	-0,126	0,104	0,518	1,000	0,874	0,192	0,473	-0,115
VD	-0,441	-0,538	0,349	-0,365	0,712	0,069	-0,550	-0,774	0,253	0,188	0,817	0,874	1,000	0,415	0,635	0,237
VE	0,417	0,168	-0,465	-0,057	0,061	-0,260	-0,724	-0,181	0,402	-0,635	0,176	0,192	0,415	1,000	-0,171	0,827
SE	-0,423	-0,432	0,938	-0,810	0,641	-0,331	-0,419	-0,854	0,329	0,845	0,873	0,473	0,635	-0,171	1,000	0,084
AU	0,483	0,411	-0,123	-0,506	-0,077	-0,657	-0,888	-0,247	0,727	-0,274	0,322	-0,115	0,237	0,827	0,084	1,000

Fonte: Autoria própria (2021)

APÊNDICE D. Matriz de correlação de Pearson (r) entre as variáveis analisadas para o reservatório Jenipapeiro

	Ca	Clor	Cor ap	Dur	Fe	Mg	O2	pH	STD	Turb	Colif	E. coli	VD	VE	SE	AU
Ca	1,000	0,188	-0,415	0,308	-0,208	-0,441	-0,040	0,481	-0,218	-0,500	-0,583	-0,475	-0,492	0,363	-0,441	0,345
Clor	0,188	1,000	-0,391	-0,073	-0,943	-0,323	-0,174	0,749	0,519	-0,287	-0,251	-0,858	-0,519	0,144	-0,457	0,268
Cor ap	-0,415	-0,391	1,000	-0,787	0,515	-0,360	-0,175	-0,745	0,213	0,976	0,690	0,282	0,275	-0,372	0,943	-0,123
Dur	0,308	-0,073	-0,787	1,000	-0,181	0,594	0,629	0,223	-0,760	-0,738	-0,798	-0,030	-0,287	-0,113	-0,835	-0,416
Fe	-0,208	-0,943	0,515	-0,181	1,000	0,080	-0,152	-0,738	-0,263	0,373	0,516	0,890	0,706	0,054	0,651	-0,011
Mg	-0,441	-0,323	-0,360	0,594	0,080	1,000	0,628	-0,072	-0,439	-0,284	-0,311	0,408	0,057	-0,273	-0,370	-0,528
O2	-0,040	-0,174	-0,175	0,629	-0,152	0,628	1,000	-0,207	-0,763	-0,037	-0,694	-0,126	-0,571	-0,774	-0,428	-0,890
pH	0,481	0,749	-0,745	0,223	-0,738	-0,072	-0,207	1,000	0,388	-0,738	-0,454	-0,606	-0,415	0,577	-0,687	0,539
SDT	-0,218	0,519	0,213	-0,760	-0,263	-0,439	-0,763	0,388	1,000	0,184	0,584	-0,193	0,212	0,499	0,346	0,708
Turb	-0,500	-0,287	0,976	-0,738	0,373	-0,284	-0,037	-0,738	0,184	1,000	0,611	0,176	0,157	-0,532	0,866	-0,275
Colif	-0,583	-0,251	0,690	-0,798	0,516	-0,311	-0,694	-0,454	0,584	0,611	1,000	0,526	0,791	0,210	0,865	0,355
E. coli	-0,475	-0,858	0,282	-0,030	0,890	0,408	-0,126	-0,606	-0,193	0,176	0,526	1,000	0,846	0,119	0,475	-0,038
VD	-0,492	-0,519	0,275	-0,287	0,706	0,057	-0,571	-0,415	0,212	0,157	0,791	0,846	1,000	0,392	0,546	0,311
VE	0,363	0,144	-0,372	-0,113	0,054	-0,273	-0,774	0,577	0,499	-0,532	0,210	0,119	0,392	1,000	-0,085	0,936
SE	-0,441	-0,457	0,943	-0,835	0,651	-0,370	-0,428	-0,687	0,346	0,866	0,865	0,475	0,546	-0,085	1,000	0,123
AU	0,345	0,268	-0,123	-0,416	-0,011	-0,528	-0,890	0,539	0,708	-0,275	0,355	-0,038	0,311	0,936	0,123	1,000

Fonte: Autoria própria (2021)