



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I - CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL

TÁSSIO JORDAN RODRIGUES DANTAS DA SILVA

EFEITOS DA PRECIPITAÇÃO E DA EROSIVIDADE DA CHUVA NA QUALIDADE
DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO NO
SEMIÁRIDO PARAIBANO

CAMPINA GRANDE - PB

2022

TÁSSIO JORDAN RODRIGUES DANTAS DA SILVA

**EFEITOS DA PRECIPITAÇÃO E DA EROSIVIDADE DA CHUVA NA QUALIDADE
DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO NO
SEMIÁRIDO PARAIBANO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA) da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

Linha de pesquisa: Tecnologias de Tratamento de Água e de Resíduos.

Orientador: Prof. Dr. Laércio Leal dos Santos

Coorientador: Prof. Dr. William de Paiva

CAMPINA GRANDE – PB

Fevereiro de 2022

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586e Silva, Tássio Jordan Rodrigues Dantas da.
Efeitos da precipitação e da erosividade da chuva na qualidade da água em reservatórios de abastecimento público no semiárido paraibano [manuscrito] / Tássio Jordan Rodrigues Dantas da Silva. - 2022.

76 p. : il. colorido.

Digitado.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2022.

"Orientação : Prof. Dr. Laércio Leal dos Santos, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."

"Coorientação: Prof. Dr. William de Paiva, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."

1. Bacia hidrográfica. 2. Gerenciamento de recursos hídricos. 3. Abastecimento de água. 4. Qualidade da água. I. Título

21 ed. CDD.628.1

TÁSSIO JORDAN RODRIGUES DANTAS DA SILVA

EFEITOS DA PRECIPITAÇÃO E DA EROSIVIDADE DA CHUVA NA QUALIDADE DA
ÁGUA EM RESERVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO NO SEMIÁRIDO
PARAIBANO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA) da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

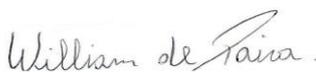
Linha de pesquisa: Tecnologias de Tratamento de Água e de Resíduos.

Aprovado em 18 / 02 / 2022.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Laércio Leal dos Santos
Orientador - UEPB/Campus Campina Grande – PB



Prof. Dr. William de Paiva
Coorientador - UEPB/Campus Campina Grande - PB



Prof.^a Dr.^a. Ana Roberta da Silva Paulino
Examinadora Interna - UEPB/Campus Campina Grande - PB



Prof.^a Dr.^a. Jussara Silva Dantas
Examinadora Externa - UFCG/Campus Patos - PB



Prof. Dr. Valmir Cristiano Marques de Arruda
Examinador Externo - UFRPE/Campus Recife - PE

*Aos meus pais, Sr. João Cesário da Silva &
D. Eliúd Rodrigues Dantas da Silva (in memoriam), DEDICO.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me ajudou em cada etapa desse trabalho e nunca me deixou fraquejar.

Aos meus pais, João e Eliúd por tudo que fizeram e ainda fazem por mim, por todo apoio, incentivo e compreensão, nos momentos de alegria e dificuldade. Pela formação do meu caráter, e dos meus valores, sem vocês não teria chegado tão longe.

À minha namorada, Daniele Almeida, pelos conselhos, apoio e incentivo. Pôr sempre estar ao meu lado, obrigado meu amor!

Aos meus orientadores, o professor Dr. Laercio Leal dos Santos, e o professor Dr. William de Paiva, agradeço pela orientação incansável, o empenho, a paciência e a confiança depositada em mim e nesta pesquisa. Como também, ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA), sou grato e honrado pelos ensinamentos que colhi e pela plena convicção da contribuição árdua desses profissionais.

À Universidade Estadual da Paraíba, só posso demonstrar minha gratidão e reconhecimento.

Aos meus colegas, em especial a José Ludemario, Janaína Cesário e Maxsuel do Nascimento, bem como a todos que fazem parte do Grupo de Pesquisa em Tecnologia Ambiental (GPTecA), que fizeram a diferença nesses anos de pós-graduação, pela amizade e prontidão em auxiliar.

À agência de fomento pela concessão da bolsa de estudos: "O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001".

À minha família e aos meus amigos que sempre me apoiaram, deixo uma enorme palavra de agradecimento. Hoje sou um homem bastante realizado e feliz porque não estive só nesta longa jornada. Vocês foram minha base.

Aqueles que não mencionei, mas sempre estiveram ao meu lado, de forma direta ou não, eu quero lembrar que vocês não foram esquecidos, ao contrário foram infinitamente importantes para a concretização deste sonho!

*“Mesmo quando tudo parece desabar, cabe a mim decidir entre rir ou chorar,
ir ou ficar, desistir ou lutar; porque descobri, no caminho
incerto da vida, que o mais importante
é o decidir”.*

Cora Coralina

RESUMO

A água é um recurso natural essencial para a sustentação da vida, e sua qualidade está relacionada a diversos processos que ocorrem na bacia hidrográfica. A chuva, através do escoamento superficial e aliada as atividades antrópicas na bacia, promovem a erosão hídrica, transportando toneladas de sedimentos para o interior dos reservatórios que são utilizados para o abastecimento público provocando a deterioração da água em virtude da mudança de parâmetros físicos, químicos e biológicos da água. Nessa pesquisa, teve-se por objetivo avaliar a influência da precipitação e erosividade sobre a qualidade da água em reservatórios de abastecimento público no semiárido do Estado da Paraíba, Nordeste do Brasil. A área de estudo corresponde a porção paraibana da bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu (BHRPPA-PB). Em síntese, os procedimentos metodológicos utilizados foram: análise de consistência dos dados pluviométricos, cálculo do Índice de Erosividade das Chuvas (EI_{30}), caracterização geomorfológica simplificada e a correlação da precipitação e erosividade com os parâmetros de qualidade da água, em seis mananciais. Para avaliar a correlação, a análise de componentes principais (ACP) foi usada como um método estatístico multivariado. A partir dos resultados, foi possível observar que os três primeiros componentes principais (CP) explicam pelo menos 80% da variação total dos dados e apresentaram autovalores maiores que 1. A CP1 foi relacionada com a dissolução de minerais do solo, a CP2 ao aporte de sedimentos e a CP3 as alterações microbiológicas da água. Por fim, pôde-se concluir que as variáveis precipitação e erosividade possuíram elevado grau de correlação com parâmetros de qualidade da água em todos os reservatórios analisados.

Palavras-Chave: Bacia Hidrográfica. ACP. USLE. Gerenciamento de Recursos Hídricos.

ABSTRACT

Water is an essential natural resource for sustaining life, and its quality is related to several processes that occur in the hydrographic basin. Rain, through surface runoff and combined with anthropic activities in the basin, promote water erosion, transporting tons of sediment into the reservoirs that are used for public supply, causing water deterioration due to the change in physical and chemical parameters and biological water. This research aimed to evaluate the influence of precipitation and erosivity on water quality in public supply reservoirs in the semiarid region of Paraíba State, Northeastern Brazil. The study area corresponds to the Paraíba portion of the Piancó-Piranhas-Açu river basin (BHRPPA-PB). In summary, the methodological procedures used were: consistency analysis of rainfall data, calculation of the Rainfall Erosivity Index (EI30), simplified geomorphological characterization and the correlation of rainfall and erosivity with water quality parameters in six springs. To assess the correlation, principal component analysis (PCA) was used as a multivariate statistical method. From the results, it was possible to observe that the first three main components (CP) explain at least 80% of the total data variation and presented eigenvalues greater than 1. CP1 was related to the dissolution of minerals from the soil, CP2 to the input sediments and CP3 the microbiological changes in water. Finally, it was possible to conclude that the precipitation and erosivity variables had a high degree of correlation with water quality parameters in all analyzed reservoirs.

Keywords: Hydrographic basin. PCA. USLE. Water Resource Management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da porção paraibana da bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu (BHRPPA-PB).....	26
Figura 2 - Fluxograma da metodologia utilizada na pesquisa.....	28
Figura 3 - Curvas de dupla massa dos postos pluviométricos das UPHs Piancó (A), Alto Piranhas-Peixe (B), Médio Piranhas (C) e Espinharas (D).	35
Figura 4 - Box-plot da precipitação pluviométrica mensal para a BHRPPA-PB.....	37
Figura 5 - Precipitações médias mensais para as UPHs Piancó, Alto Piranhas-Peixe, Médio Piranhas e Espinharas e BHRPPA-PB.	38
Figura 6 - Box-plot do índice de erosividade da chuva mensal para a BHRPPA-PB.	41
Figura 7 - Médias mensais de erosividade para as UPHs Piancó, Alto Piranhas-Peixe, Médio Piranhas e Espinharas, e para a BHRPPA-PB.....	41
Figura 8 - Mapa pedológico da BHRPPA-PB.....	43
Figura 9 - Mapa geológico da BHRPPA-PB.....	45
Figura 10 - Mapa hipsométrico da BHRPPA-PB.....	47
Figura 11 - Mapa uso e ocupação do solo da BHRPPA-PB.	49
Figura 12- <i>Box-plot</i> dos parâmetros de qualidade da água nos reservatórios.	52
Figura 13- <i>Box-plot</i> dos parâmetros de qualidade da água nos reservatórios (continuação). ...	53
Figura 14 - Análise de Componentes Principais entre as variáveis estudadas.	58
Figura 15 – Análise de semelhança e dessemelhança mensal entre CP1 e CP2.	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Postos pluviométricos e UPHs utilizados na pesquisa.	29
Tabela 2 - Classes para interpretação do índice de erosividade anual.	31
Tabela 3 - Descrição dos reservatórios selecionados.....	33
Tabela 4 - Estatística descritiva da precipitação pluviométrica mensal e anual do período de 1962 a 2020 na BHRPPA-PB.....	36
Tabela 5 - Estatística descritiva da erosividade da chuva mensal e anual do período de 1962 a 2020 na BHRPPA-PB.	39
Tabela 6- Distribuição das classes de uso do solo na BHRPPA-PB.	48
Tabela 7 - Resultado do carregamento das componentes principais para os reservatórios estudados.....	55
Tabela 8 - Resultado do carregamento das componentes principais para os reservatórios estudados (continuação).....	56

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

% - Porcento (unidade da porcentagem)

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

ANA - Agência Nacional de Águas

APPs - Áreas de Preservação Permanente

AV - Autovalor

BDTD - Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD)

BHRPPA - Bacia Hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu

BHRPPA-PB - Parte Paraibana da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu

CAGEPA - Companhia de Água e Esgotos da Paraíba

CBHPPA - Comitê da Bacia Hidrográfica Piancó-Piranhas-Açu

CV - Coeficiente de variação

CP – Componente principal

EI30 - Índice de Erosividade das Chuvas

ETM⁺ - *Enhanced Thematic Mapper Plus*

Fator R - erosividade da chuva para a USLE

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDE - Índice de Dependência Espacial

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

IQD - Inverso do Quadrado da Distância

LANDSAT - *Land Remote Sensing Satellite*

m - Metro (unidade de comprimento do SI)

MDE - Modelo Digital de Elevação

MFI - Índice de Fournier Modificado

MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ - Unidade da erosividade

mm - Milímetro

PCA - *Principal component analysis*

pH - Potencial Hidrogeniônico

PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos

R² - Coeficiente de Determinação

Scielo - *Scientific Electronic Library Online*

SIG - Sistema de Informações Geográficas

STD - Sólidos Totais Dissolvidos

TRMM - *Tropical Rainfall Measuring Mission*

UPHs - Unidades de Planejamento Hidrológico

USGS - *United States Geological Survey*

USLE - Equação Universal da Perda de Solo

ZCIT - Zonas de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Geral	16
2.2	Específicos	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	Bacias hidrográficas e unidades de planejamento hidrológico (UPHs)	17
3.2	Precipitação e erosividade	18
3.3	Qualidade da água	20
3.4	Sistema de informação geográfica (sig) e sua utilização em análises ambientais	23
3.5	Análise de componentes principais (ACP)	24
4	MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1	Área de estudo	26
4.2	Base de dados e procedimentos metodológico	28
4.2.1	Levantamento bibliográfico.....	28
4.2.2	Aquisição e análise de consistência dos dados pluviométricos.....	29
4.2.3	Cálculo do EI ₃₀ e análise descritiva dos dados.....	31
4.2.4	Caracterização geomorfológica simplificada.....	32
4.2.5	Análise estatística multivariada dos parâmetros de qualidade de água.....	32
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1	Análise de consistência e estatística descritiva dos dados	35
5.1.1	Análise de consistência dos dados de precipitação.....	35

5.1.2	Precipitação.....	36
5.1.3	Erosividade.....	39
5.2	Aspectos geomorfológicos.....	42
5.2.1	Pedologia.....	42
5.2.2	Geologia.....	44
5.2.3	Hipsometria.....	46
5.2.4	Uso do solo.....	48
5.3	Análise da correlação entre a precipitação, erosividade e a qualidade da água.....	50
5.3.1	Parâmetros de qualidade da água.....	50
5.3.2	Análise de componentes principais.....	54
6	CONCLUSÕES.....	62
	REFERÊNCIAS.....	63
	APÊNDICE A - VALORES DE PRECIPITAÇÃO MENSAL (mm) PARA SUB-BACIAS DO RIO PIANCÓ.....	75
	APÊNDICE B - VALORES DE PRECIPITAÇÃO MENSAL (mm) PARA SUB-BACIA DO RIO DO PEIXE.....	76

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, notou-se elevada variabilidade das chuvas em todo o mundo. As pesquisas indicam significativo aumento na intensidade pluviométrica e diminuição no número de dias chuvosos (LUKIC et al., 2019). Secas, enchentes e deslizamentos são exemplos de eventos extremos altamente oscilantes que causam perdas ambientais e financeiras irreparáveis, e nos piores casos até vítimas fatais (MATOS et al., 2020; PECL et al., 2017).

As mudanças climáticas influenciam diretamente na intensidade da erosividade das chuvas em razão à variação dos níveis de precipitação. Essa variação na precipitação e a eventualidade de episódios extremos impulsionam a erosão do solo, especialmente, em regiões áridas e semiáridas. A erosão do solo ocasionada pela chuva, ou erosão hídrica, também chamada apenas de erosão do solo é um fenômeno natural bastante complexo, sendo recorrente em todos os continentes e um dos principais propulsores à degradação ambiental mundial (ALMAGRO et al., 2017; DASH et al., 2019).

A instabilidade das chuvas provoca significativo impacto social e econômico, como migração da população sertaneja devido à falta de água para consumo, diminuição da produção agrícola e energética (hidroelétricas), principalmente em regiões frequentemente atingidas pela seca, o que torna fundamental o estudo do comportamento pluviométrico para esses territórios.

Além dos desastres provocados pelo fenômeno natural da seca ou por enchentes, a alta concentração de chuvas em um curto período, típico do semiárido brasileiro, contribuem para o agravamento de problemas ambientais, especialmente a formação de processos erosivos (BRITO et al., 2018; DANTAS, DA SILVA e SANTOS, 2020). Dessa forma, o conhecimento do Índice de Erosividade das Chuvas (EI30), que representa a razão entre a energia cinética da chuva pela sua intensidade em 30 minutos consecutivos, torna-se indispensável no controle, manejo e na conservação dos solos.

A erosividade da chuva é uma das componentes de entrada na equação universal da perda de solo (USLE), descrita por Wischmeier e Smith (1978) e posteriormente modificada para as condições tropicais por Bertoni e Lombardi Netto (1990), sendo a mais utilizada em todo o mundo e nas condições brasileiras, respectivamente (BACK e POLETO, 2017; BACK et al., 2017; RISAL et al., 2018). Cálculos dos valores de EI30 são importantes para o entendimento da distribuição do padrão de erosividade no espaço, bem como, o mês ou época do ano que

apresentam maior perda de solo e água, contribuindo assim para uma melhor utilização das práticas conservacionistas e gestão dos recursos hídricos.

Os processos erosivos do solo, quando intensificados pela ação antropogênica, são um dos mais impactantes na questão ambiental, no que se refere à qualidade da água e do solo (DE MEDEIROS et al., 2019). Estes, quando acontecem de forma intensificada e sem adoção de práticas conservacionistas eficientes, tem a capacidade de afetar a qualidade da água nos corpos hídricos, lançando excessos de nutrientes como potássio, fosforo e nitrogênio em forma de matéria orgânica, que são os principais responsáveis pela eutrofização d'água. Além disso, há o risco de assoreamento dos mananciais superficiais, devido as elevadas cargas de sedimentos transportados pelas enxurradas, comprometendo o ecossistema aquático, bem como a quantidade e qualidade das águas (ISSAKA e ASHRAF, 2017; NEARING et al., 2017; BORRELLI et al., 2020).

Nesse contexto, a presente pesquisa busca responder a seguinte hipótese: “Existe relação entre a erosividade da chuva e a precipitação com a qualidade da água dos reservatórios do semiárido brasileiro”. Em busca de responder essa hipótese, a porção paraibana da bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu (BHRPPA-PB) foi definida como unidade de estudo para avaliar a distribuição pluviométrica e erosiva, bem como suas influências na qualidade da água dos principais reservatórios de abastecimento público da BHRPPA-PB.

Com base nesse cenário, o desenvolvimento dessa pesquisa vem a contribuir com informações relevantes e inovadoras no que tange a influência da erosividade na qualidade da água em reservatórios da região semiárida do Brasil, contribuindo para preservação e manutenção dos recursos naturais, especialmente os recursos hídricos. Como também, permite uma melhor compreensão da situação atual da área de estudo.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Verificar a correlação entre a precipitação e a erosividade da chuva na qualidade da água em reservatórios de abastecimento do semiárido paraibano.

2.2 Específicos

- ✓ Compreender o regime de precipitação da região em estudo analisando a sua homogeneidade;
- ✓ Avaliar a erosividade para a BHRPPA-PB através do Índice de Erosividade das Chuvas (EI₃₀);
- ✓ Caracterizar a área de estudo quanto a pedologia, geologia, hipsometria e ao uso do solo;
- ✓ Verificar se existe alguma correlação entre a precipitação e a erosividade da chuva com a qualidade da água em reservatórios de abastecimento público da área de estudo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Bacias hidrográficas e unidades de planejamento hidrológico (UPHs)

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 (CECONI et al., 2018).

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 (BRASIL, 1997). Assim, é de alta relevância para governantes e cientistas a concepção do termo bacia hidrográfica e de suas ramificações para políticas e ações ambientais (WU e CHANG, 2020).

As bacias hidrográficas são células naturais básicas para o pleno desempenho dos dispositivos ambientais, como espaços físicos para o estudo técnico-científico (WU e CHANG, 2020). Cada vez mais estão sendo utilizadas como unidades para o gerenciamento ambiental e 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 desordenado (BLAINSKI, ACOSTA e NOGUEIRA, 2017). 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 (RECANATESI et al., 2017; BROMBAL et al., 2018; DUAN et al., 2021).

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 (RECANATESI et al., 2017). Desta forma, a bacia hidrográfica apresenta-se como um recorte ideal para o desenvolvimento de pesquisas, e estudos nas mais diversas áreas, principalmente as que tangem a temática ambiental, e por ser considerada a unidade de planejamento da Lei 9433 de 1997.

Visando um melhor gerenciamento dos recursos hídricos a ANA (2016) define as Unidades de Planejamento Hídrico (UPHs), como: “subdivisões das bacias hidrográficas, caracterizadas por uma homogeneidade de fatores geomorfológicos, hidrográficos e hidrológicos que permitem a organização do planejamento e do aproveitamento dos recursos

hídricos ali existentes”. Estas unidades territoriais exibem-se como recortes que proporcionam as atividades de organização e gestão ambiental em diferentes 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 (CECONI et al., 2018; DUAN et al., 2021).

Estudos como os de Zhang et al. (2021) na bacia do rio Wei, na China e, Bagwan (2020) na bacia hidrográfica do rio Urmodi de Maharashtra, na Índia, são exemplos de estudos que abraçaram a bacia hidrográfica como unidade territorial em pesquisas relacionadas a distribuição espaço-temporal da precipitação e erosividade, bem como, avaliações da condição de degradação do solo por estes fatores.

Nas regiões semiáridas, as bacias hidrográficas se evidenciam como instrumentos que facultam a prática de ações e políticas mitigadoras de convivência com a seca (HUAZHEN et al., 2017). Nesse contexto, para o semiárido paraibano, destaca-se a pesquisa de Da Silva et al. (2020), sobre distribuição espacial e estimativa das tendências de precipitação e erosividade na bacia hidrográfica do reservatório Epitácio Pessoa.

3.2 Precipitação e erosividade

Entre os fenômenos atmosféricos, a precipitação pluviométrica é um dos que se apresentam com maior relevância, visto que profusos setores socioambientais, econômicos e culturais mantêm um elevado grau de dependência com essa variável climatológica (SILVA, MONTENEGRO e SOUZA, 2017). A quantidade, intensidade e a variabilidade da chuva no tempo e espaço são algumas das características que intervêm diretamente na sociedade e nos recursos naturais, em especial, os recursos hídricos. Nas regiões áridas e semiáridas a dependência à dinâmica das chuvas é ainda maior, uma vez que, a biodiversidade, o agronegócio e o abastecimento público ficam à mercê desse fenômeno climático que influencia diretamente no desenvolvimento local.

Os processos erosivos ocasionam o empobrecimento do solo por meio da lavagem da camada superficial, transportando nutrientes, sedimentos, herbicidas e fertilizantes para os terrenos mais baixos, lençol freático ou para os corpos hídricos superficiais, o que provoca a contaminação das águas. O assoreamento dos corpos hídricos é outro problema ocasionado pela erosão do solo, aumentando o risco de enchentes e interferindo na qualidade da água devido ao material lixiviado (NEARING et al., 2017; BORRELLI et al., 2020).

Diversos índices de erosividade já foram elaborados para o cálculo da estimativa de erosão do solo. Entre os mais importantes, destaca-se o índice EI₃₀, que relaciona a energia

cinética da chuva com a erosão do solo (BACK e POLETO, 2018; RISAL et al., 2018). Porém, para a estimativa desse índice necessita-se de uma grande quantidade de dados pluviométricos, com um intervalo de tempo de pelo menos quinze minutos, que de acordo com Beguería et al. (2018), são dados extremamente raros em escalas regionais, principalmente, em grande quantidade de séries temporais, o que dificulta a realização deste método.

A erosividade da chuva, também conhecida como o fator R de entrada na USLE, é considerado um dos principais fatores desta equação, especialmente, na atualidade quando as mudanças climáticas estão cada vez mais relacionadas com o desequilíbrio dos ecossistemas ambientais e a sua degradação (LEE e LIN, 2015; BACK e POLETO, 2018; FURTADO, 2019).

Na literatura nacional, inúmeras pesquisas destacam o índice EI_{30} com ótima correlação com as perdas de solo, em escala experimental, e sobressaindo em relação aos demais índices, a exemplo dos estudos de Lombardi Neto e Modenhauer (1992), e Cantalice e Margolis (1993). Nesse contexto, Wischmeier e Smith (1978) sugerem que para o cálculo do EI_{30} deve-se utilizar uma série histórica de no mínimo vinte anos, o que aumenta a limitação desse índice, uma vez que é modesto o número de estações pluviográficas no país.

Na carência de dados pluviográficos, o índice EI_{30} pode ser calculado a partir da utilização das médias mensais ou total anual de dados pluviométricos. A grande quantidade de postos pluviométricos e boa distribuição espacial com longas séries históricas facultam a favor da estimativa desse índice (BACK e POLETO, 2018; FURTADO, 2019). Apesar disso, para o emprego desse tipo de método necessita-se de equações associando à erosividade com as precipitações médias mensais (FURTADO, 2019). Este mesmo autor, destaca que essas equações apenas podem ser utilizadas na ausência de dados pluviográficos e em regiões com características climáticas similares, para que estas equações não possam levar a generalidades ou superestimação da erosividade local. Tal metodologia é denominada de método pluviométrico (WALTRICK et al., 2015).

No Brasil este tipo de método é bastante empregado, devido sua praticidade, insuficiência de estações pluviográficas e apresentar resultados satisfatórios, a exemplo do estudo de Trindade et al. (2016), que estimou a variabilidade erosiva para o território brasileiro com base em 1521 estações pluviométricas, com séries acima de 20 anos, e 75 equações de regressão que relacionaram a precipitação com o índice de erosividade EI_{30} .

Alguns estudos no Brasil têm utilizado o recorte das unidades federativas como área de estudo na estimativa de mapas de erosividade. Dentre eles destacam-se as pesquisas de

Amaral et al. (2014) para o estado da Paraíba, Viola et al. (2014) para o estado do Tocantins, Waltrick et al. (2015) para o estado do Paraná, Back e Poletto (2018) para o estado de Santa Catarina, e Martins, Blanco e Melo (2020) para os estados do Pará e Maranhão.

No entanto, Reddy, Saharawat e George (2017) ressaltam a adoção da bacia hidrográfica como unidade ideal para análises ambientais, uma vez que este recorte apresenta condições climáticas, hidrológicas e geomorfológicas mais similares no que tange aos estudos do ciclo hidrológico como as mudanças climáticas e a erosividade. Neste contexto, evidenciam-se os trabalhos de Bagwan (2020) na bacia do rio Urmodi de Maharashtra, na Índia, e Guesri, Megnounif e Ghenim (2020) na bacia hidrográfica de K'sob, nordeste da Argélia. No Brasil, destacam-se os estudos de Duarte e Silva Filho (2019) na bacia hidrográfica do rio Juma no estado do Amazonas, e Terassi et al. (2019) na bacia hidrográfica do rio Alto do Iguçu, estado do Paraná.

No semiárido brasileiro são raros os trabalhos que empregam a bacia hidrográfica como unidade de estudo para cálculos de erosividade, com poucas exceções, a exemplo dos manuscritos de França, Medeiros e Araújo (2020) na bacia do rio Ipojuca no Pernambuco, e Silva et al. (2020) na bacia do rio Apodi/Mossoró, estado do Rio Grande do Norte. Vale destacar, também, a pesquisa de Almeida et al. (2017) que utilizaram séries mensais de 210 postos pluviométricos, a partir de 15 anos de dados históricos, englobando toda a região do semiárido do Brasil, e obtiveram uma variação do EI_{30} de 1439 a 5864 MJ.mm.ha⁻¹ por ano.

Nessa conjuntura, fica evidente a necessidade de estudos sobre a distribuição da erosividade nas demais localidades do semiárido do Brasil, especialmente, em bacias hidrográficas. Sobretudo, que contemplem séries históricas pluviométricas mais longas e com o mesmo número de anos entre estas, assim, apresentando resultados mais coesos e que auxiliem no planejamento ambiental e na conservação dos solos do semiárido.

3.3 Qualidade da água

A água é um dos recursos naturais mais abundantes na natureza, ocupando aproximadamente 70% da superfície do planeta. Devido a sua importância, este recurso deve estar disponível em suficiente quantidade, 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 pelo homem para garantir o desenvolvimento econômico e social da comunidade é garantir uma demanda apropriada de água, em quantidade e qualidade suficientes para diversos usos, em função da crescente

escassez e comprometimento da qualidade dos corpos hídricos (IGHALO e ADENIYI, 2020; KELLY et al., 2020).

Segundo Liu et al. (2017), o termo “qualidade da água” diz respeito à um padrão de qualidade o mais próximo possível do “natural”, como o encontrado nas nascentes ainda intocadas pelo homem. A qualidade da água é definida pelas condições naturais como o contato com substâncias, partículas, e impurezas do solo através do escoamento e infiltração da água da chuva. Além das interferências causadas pelas ações antrópicas, como a geração de resíduos e efluentes domésticos 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 que 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 na bacia.

A determinação da qualidade da água pode ser realizada utilizando medidas quantitativas de parâmetros físicos, químicos, 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 através do agentes patogênicos. Estas determinações são utilizadas para produzir vários tipos de informação e fornece interpretações técnicas distintas. (JAMDADE e GAWANDE, 2017).

Dentre os parâmetros físicos, a turbidez é uma medida do espalhamento e absorção de um feixe de luz ao atravessar a água. Isso ocorre devido a presença de matéria suspensa de diferentes tamanhos na água, como substâncias orgânicas, argila, silte, microrganismos e outros. Essa característica pode ocorrer em função de lançamento de esgotos e efluentes industriais e atividades de mineração. Outra fonte que pode causar elevação da turbidez em águas é a erosão dos solos, quando em épocas chuvosas, são carregados e depositados nos

corpos d'água grandes quantidades de sedimentos pelas águas pluviais, ocorrendo muitas vezes problemas relacionados ao assoreamento 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 realizada 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).

O parâmetro de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) representa a matéria orgânica e inorgânica em solução ou em estado coloidal presente na água. Os STD são introduzidos na água através de fontes naturais como processos erosivos e micro-organismos ou fontes antrópicas, através 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, sendo quanto menor o valor, maior a acidez da amostra e maior o valor, maior a alcalinidade. A variação do pH pode ocorrer naturalmente por meio da dissolução de rochas e fotossíntese ou pela ação antropogênica, pela introdução de resíduos domésticos e industriais. O pH está relacionado ao metabolismo de diversas espécies aquáticas. A Resolução CONAMA 357 estabelece que a faixa de pH entre 6 e 9, 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 calcária e antropicamente pelo lançamento de efluentes industriais (LIU et al., 2017; SPERLING, 2017).

Em relação aos parâmetros biológicos, 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 (BRASIL, 2013). Fazem parte desse grupo de microorganismos bactérias isoladas de águas e solos (origem ambiental) e fezes humanas e de animais de sangue quente. A maioria das bactérias deste grupo pertence aos gêneros *Escherichia*, *Klebsiella*, *Citrobacter* e *Enterobacter*.

A existência da avaliação da qualidade da água dos corpos hídricos e seu monitoramento e interpretação permitem uma melhor compreensão da evolução da qualidade ambiental no decorrer do tempo e sua correlação com outros fenômenos, como por exemplo, a produção de sedimentos em função da erosão em uma bacia, permitindo definir prioridades

para a elaboração de ações fiscalização, controle, investimentos e de legislações específicas de forma a garantir a proteção/conservação e/ou à melhoria da qualidade ambiental. Dessa forma, a existência de dados e seu monitoramento, estudos e pesquisas são fundamentais para avaliar corretamente a situação da qualidade ambiental em um ecossistema (IGHALO e ADENIYI, 2020; KELLY et al., 2020).

3.4 Sistema de informação geográfica (sig) e sua utilização em análises ambientais

Os SIG's são ferramentas de amplo estudo contemplado pelo geoprocessamento, abrangendo este, diversas tecnologias que permite a manipulação e tratamento de dados geográficos. Yuaça et al. (1997) define SIG como a integração de um conjunto de equipamentos, programas, dados, métodos e usuários, capaz realizar o armazenamento, processamento e a análise de dados georreferenciados, como também a geração de informações derivadas de sua aplicação.

De forma geral, a estrutura de um SIG, é composta pelos módulos de interface com o usuário, as ferramentas de processamento dos dados, visualização e plotagem, e a recuperação e armazenamento de dados organizados sob a forma de banco de dados geográficos (CÂMARA NETO, 1995; FITZ, 2018). A base de dados é um dos principais componentes do sistema, esse papel ocorre devido aos procedimentos do sistema dependerem totalmente da qualidade e disponibilidade desses dados, sendo um fator limitante na realização de determinados estudos.

A utilização dos SIG's permite realizar análises múltiplas, através da integração de dados geográficos, oriundos de diversas áreas da ciência como: sensoriamento remoto, biologia, cartografia, geologia e 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 estudo, tal como, recursos minerais, agricultura, planejamento territorial e urbano, recursos hídricos e entre outras (ZAIDAN, 2017).

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, isso 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). Dessa forma, deve ser usado como instrumento

de apoio no gerenciamento e planejamento de recursos naturais (ZAIDAN, 2017; FITZ, 2018).

Em seus estudos, Duarte e Silva Filho (2019) buscaram estimar a erosividade da chuva na bacia hidrográfica do rio Juma, no estado do Amazonas, a partir da espacialização de dados do sensor TRMM em ambiente SIG, permitindo a distribuição espacial da erosividade média e localização de regiões com maiores índices ao longo tempo, sendo constatado que a erosividade média anual tende a aumentar da nascente do rio Juma em direção a foz. Em estudo semelhante, Pasquatto (2016) cita a eficiência da utilização de SIG, ao estudar a influência do uso e ocupação do solo nos processos erosivos e qualidade da água em uma bacia hidrográfica, sendo verificado por meio de análise multitemporal uma variação da abrangência das classes e uso e ocupação do solo, sendo as áreas com vegetação arbórea com menores valores ao longo do tempo, como também a distribuição dessa classes no relevo do terreno.

Além disso, nessa mesma pesquisa, os dados coletados em ambientes SIG auxiliaram na quantificação do processo de erosão hídrica e qualidade da água de captação, constatando-se que a maioria das áreas apresentam baixo potencial de erosão do solo e uma diminuição da qualidade da água desde a nascente até o último ponto amostral. Esses resultados demonstram a utilidade do SIG como ferramenta auxiliar no fornecimento de informações relacionadas aos indicadores de desenvolvimento sustentável na dimensão ambiental. Outros estudos também descrevem a utilização de SIG em análises ambientais (Sánchez-Lozano e Bernal-Conesa (2017), Colvero et al. (2018), Fatehian et al. (2018), Peruchi Trevisan et al. (2020), Zolfaghary et al. (2021).

3.5 Análise de componentes principais (ACP)

A ACP (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 com métodos computacionais práticos por Hotelling (1933), cujo o propósito seria analisar as estruturas de correlação (HAIR JUNIOR et al., 2015). A ACP é um procedimento estatístico de análise multivariada que muda linearmente um conjunto original de variáveis, inicialmente correlacionadas entre si, num conjunto substancialmente menor de variáveis não correlacionadas que contém a maior parte da informação do conjunto original (VICINI, 2005).

O método de ACP tem sido bastante utilizado para correlacionar variáveis ambientais como no estudo de Finkler et al. (2015) que avaliaram a variação espacial e temporal da

qualidade da água superficial nas bacias hidrográficas do município de Caxias do Sul, e a pesquisa de Medeiros, Silva e Lins (2018), que com base em sete pontos de monitoramento avaliaram a qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Longá no Estado do Piauí.

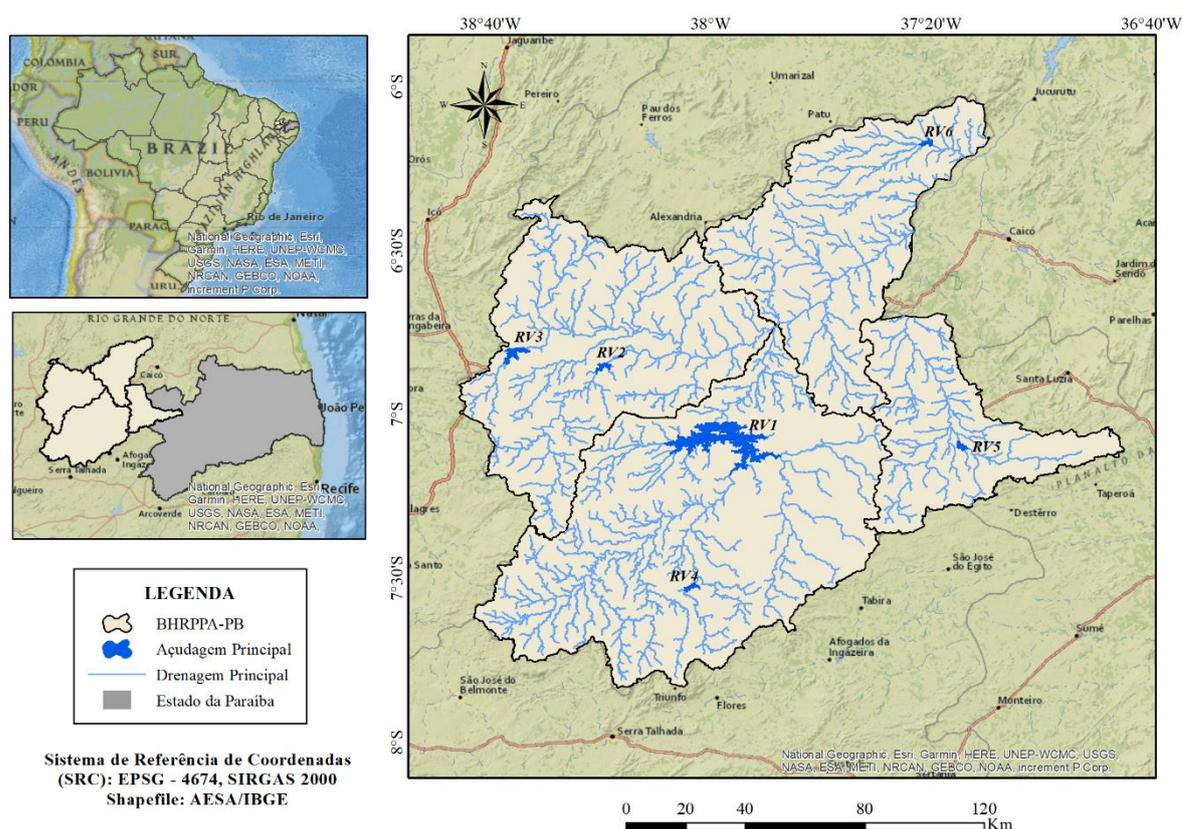
A matriz de carregamento que é a medida relativa da importância de cada variável em relação às componentes principais e os respectivos sinais, ao ser multiplicada pela matriz original de dados fornecerá a matriz de contagens (scores). Esses valores poderão ser dispostos num diagrama de dispersão e assim mostrar o relacionamento entre os casos condicionados pelas variáveis medidas (BERNARDI et al., 2009; PORTELA, 2013).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

A área de estudo corresponde a porção paraibana da bacia hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu (BHRPPA-PB), localizada na região semiárida do Nordeste brasileiro entre as coordenadas geográficas 05°46'54" e 07°55'16" de latitude Sul e 38°35'42" e 36°15'10" de longitude Oeste (Figura 1). Seu território abrange 102 municípios no Estado da Paraíba, com uma população de 897.162 habitantes e totalizando uma área de 25.948 km², entre as principais cidades destacam-se: Patos, Sousa, Cajazeiras, São Bento, Pombal e Catolé do Rocha, todas pertencentes ao Estado da Paraíba (CBHPPA, 2018).

Figura 1 - Localização da porção paraibana da bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu (BHRPPA-PB)



RV1: Sistema Hídrico Curema-Mãe D'água; RV2: Açude São Gonçalo; RV3: Açude Lagoa do Arroz; RV4: Açude Saco; RV5: Barragem da Farinha; RV6: Açude Baião. Fonte: Autoria Própria (2021).

A bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu (BHRPPA) é a maior bacia hidrográfica da Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental, sua rede de drenagem é formada por cursos d'água intermitentes e efêmeros, com exceção do curso d'água do rio

principal, que nasce no município de Santa Inês/PB com o nome de Rio Piancó, e ao passar pelo Sistema Hídrico Curema-Mãe D'Água o rio é perenizado. Após sua confluência com o Rio Piranhas no município de Pombal/PB, o Rio Piancó passa a ser chamado apenas por Rio Piranhas, recebe as águas dos rios Espinharas e Seridó, já no Estado do Rio Grande do Norte, até chegar ao reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, no município de Assú/RN, após este manancial o Piranhas é chamado por Rio Açu, antes de desaguar no Oceano Atlântico, no município de Macau/RN (ANA, 2016).

A BHRPPA-PB engloba as sub bacias hidrográficas do rio Piancó, rio do Peixe, Alto e Médio Piranhas e do rio Espinharas, além de uma pequena parte da sub bacia hidrográfica do rio Seridó (CBHPPA, 2018). Por apresentar apenas uma estreita faixa de terras e condições geoambientais distintas, essa pequena região da sub bacia do Seridó, pertencente ao estado da Paraíba, não fará parte da área de estudo dessa pesquisa.

O relevo da BHRPPA-PB corresponde à Depressão Sertaneja, com a presença do Planalto da Borborema na porção sudeste da bacia, e ocorrência de serras e maciços rochosos, os solos predominantes são o Luvisolo Crômico, o Neossolo Litólico, Argissolo vermelho-amarelo e coberturas sedimentares representadas pelos aluviões (ANA, 2016; CBHPPA, 2018). A geologia é formada pelo predomínio do embasamento cristalino, com a presença de rochas ígneas e metamórficas, a exemplo os xistos e granitos, há existência de rochas sedimentares, especialmente, na sub bacia do rio do Peixe e depósitos quaternários distribuídos ao longo de toda a bacia hidrográfica (ANA, 2016).

O clima é o semiárido do tipo BSh seco e quente, de acordo com a classificação de Köppen, o período chuvoso é curto e irregular, com chuvas que alteram do verão ao outono, decorrentes da atuação das zonas de convergência intertropical (ZCIT), as temperaturas médias variam de 24°C a 28°C, com umidade relativa do ar inferior a 75% (DE ARAÚJO et al., 2017). A cobertura vegetal é espaçada com árvores de pequeno a médio porte, com a presença de arbustos, cactáceas e trechos de florestas caducifólias, típica da caatinga xerófila e bastante presente no sertão nordestino (FERNANDES e QUEIROZ, 2018).

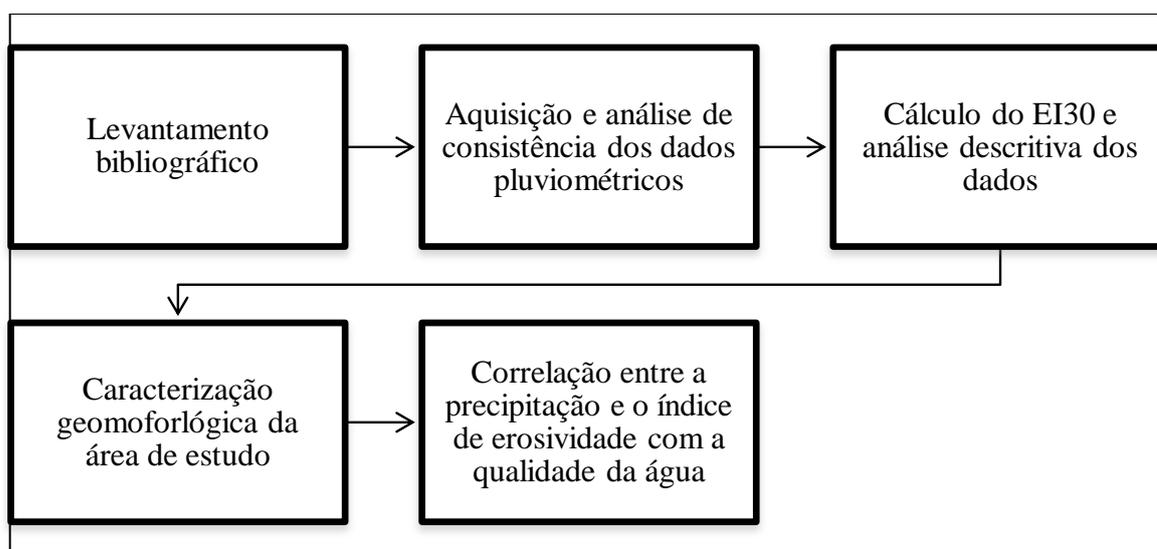
Com o declínio da cultura do algodão no final da década de 1980, a pecuária se tornou a principal atividade econômica da região, devido aos incentivos governamentais e principalmente, a fácil introdução de bovinos, caprinos e ovinos as condições ambientais locais. A agricultura, o setor de serviços, bem como, a fruticultura nas imediações das várzeas de Sousa/PB são outros exemplos de atividades econômicas desenvolvidas na BHRPPA-PB (MATTOS et al., 2020).

Sob o aspecto da segurança hídrica, visando o abastecimento público e a irrigação, vale destacar a construção de reservatórios estratégicos, como o Curema - Mãe d'Água em 1942, que propiciou a perenização do rio Piancó-Piranhas-Açu, bem como a construção dos Açudes de São Gonçalo e Engenheiro Ávidos, contribuindo para o desenvolvimento econômico e o surgimento dos perímetros irrigados no sertão paraibano (ANA, 2016;). Vale comentar também, que a BHRPPA-PB será contemplada com as águas da transposição do rio São Francisco (Eixo Norte), com data de finalização prevista para 2022 (SACCONI, 2019).

4.2 Base de dados e procedimentos metodológicos

Na figura 2 estão sintetizadas todas as etapas do procedimento metodológico adotado para este estudo

Figura 2 - Fluxograma da metodologia utilizada na pesquisa



Fonte: Autoria Própria (2021).

4.2.1 Levantamento bibliográfico

Para efetivação do trabalho foi realizado um extenso levantamento bibliográfico, exercido de forma exploratória, com abordagem qualitativa, utilizando o método dedutivo, sendo a pesquisa literária alcançada por meio de plataformas digitais como o Portal Capes Periódicos, *Scientific Electronic Library Online (SciELO)*, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e *Google Scholar*. Como critério, prioriza-se o uso de artigos de revisão por pares publicados nos últimos cinco anos, leis, documentos oficiais/governamentais e a literatura clássica. Por fim, o estudo trata-se de uma pesquisa descritiva e observacional.

4.2.2 Aquisição e análise de consistência dos dados pluviométricos

A obtenção dos dados pluviométricos foi realizada através de buscas junto aos bancos de dados digitais da Agência Nacional de Águas (ANA), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA). Empregou-se, como critério de seleção, a utilização de séries históricas superiores a 30 anos e com falhas inferiores a 5% dos dados pluviométricos.

Inicialmente, foi realizada uma análise minuciosa com a intenção de identificar erros grosseiros (*outliers*) no banco de dados através do *box-plot*, e em sequência, o preenchimento de falhas nas séries históricas foi realizado por meio do método da ponderação regional, escolhendo os três postos pluviométricos mais próximos do ponto a corrigir e situados em locais com características geográficas semelhantes. Esse método é descrito por Bertoni & Tucci (2007), por meio da Equação 1:

$$P_y = \frac{1}{3} \left(\frac{P_{My}}{P_{Mx1}} P_{x1} + \frac{P_{My}}{P_{Mx2}} P_{x2} + \frac{P_{My}}{P_{Mx3}} P_{x3} \right) \quad (1)$$

Em que:

- ✓ P_y = Precipitação do posto a corrigir;
- ✓ P_{My} = Precipitação média do posto Y;
- ✓ P_{x1} a P_{x3} = Precipitação dos postos x1 a x3;
- ✓ P_{Mx1} a P_{Mx3} – Precipitação média dos postos x1 a x3.

Com a intenção de identificar possíveis mudanças no comportamento da precipitação ao longo do tempo, foi introduzida uma análise de consistência dos dados por meio do método da Curva dupla-massa (ou duplo-acumulativa). Para melhores resultados, esta análise foi categorizada em grupos ou Unidades de Planejamento Hidrológico (UPHs), conforme classificação da ANA (2016), essa classificação leva em consideração características geo-hidrológicas, assim, auxiliando na subdivisão da área de estudo. Na Tabela 1 estão listados os postos pluviométricos utilizados na pesquisa e suas divisões nas UPHs.

Tabela 1 - Postos pluviométricos e UPHs utilizados na pesquisa

Posto pluviométrico	Unidade de Planejamento Hidrológico	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Aguiar	Piencó	-7,083	-38,183	280

Bom		-7,350	-38,367	470
Jesus				
Conceição		-7,550	-38,517	370
Itaporanga		-7,300	-38,167	230
Juru		-7,533	-37,833	470
Manaíra		-7,700	-38,167	605
Nova				
Olinda		-7,467	-38,050	315
Olho				
D'Água		-7,217	-37,767	275
Piancó		-7,214	-37,926	250
Princesa				
Isabel		-7,733	-38,017	660
Serra				
Grande		-7,250	-38,317	585
<hr/>				
Bonito de				
Santa Fé		-7,317	-38,517	575
Engenheiro				
Avidos	Peixe - Alto Piranhas	-6,967	-38,467	250
Faz. Timbaúba		-7,017	-38,300	520
Sousa		-6,750	-38,233	200
<hr/>				
Belém do Brejo				
do Cruz		-6,183	-37,533	190
Bom Sucesso	Médio Piranhas	-6,450	-37,933	210
Cajazeirinhas		-6,967	-37,783	400
São Bento		-6,483	-37,450	250
<hr/>				
Água				
Branca		-7,517	-37,650	710
Catingueira		-7,133	-37,617	290
Imaculada	Espinharas	-7,383	-37,500	750
Mãe				
D'Água		-7,250	-37,433	370
Malta		-6,900	-37,533	340

Patos	-7,017	-37,283	250
São José do Sabugí	-6,717	-37,200	175
São Mamede	-6,917	-37,100	270
Teixeira	-7,217	-37,267	770

Fonte: Autoria Própria (2021).

4.2.3 Cálculo do EI₃₀ e análise descritiva dos dados

Para o cálculo da estimativa do EI₃₀ foi utilizada a Equação 2 proposta por Cantalice et al. (2009), para as condições da região semiárida do Brasil em função do índice de Fournier modificado (MFI), descrita conforme a equação 2.

$$EI_{30} = 95,48 (pi2 / Pa)^{0,56} \quad (2)$$

Em que,

- ✓ EI₃₀ = Índice de erosividade das chuvas médio mensal (MJ.mm.ha⁻¹ por mês);
- ✓ Pi = Precipitação pluvial (mm) histórica para o mês i;
- ✓ Pa = Precipitação pluvial (mm) histórica anual.

O valor anual de erosividade foi estimado pelo somatório dos valores mensais de cada posto analisado, este resultado representa o “fator R”, da USLE proposta por Wischmeier e Smith (1978), para o território da BHRPPA-PB. O EI₃₀ anual foi classificado de acordo com Carvalho (2008) e representado na Tabela 2. Como também, foi realizada a estatística descritiva dos dados de precipitação e erosividade por meio da média, valor máximo e mínimo, desvio-padrão, coeficiente de variação (CV), assimetria e curtose dos 28 postos pluviométricos, para as séries históricas mensais e total anual de 1962 a 2020.

Tabela 2 - Classes para interpretação do índice de erosividade anual

Erosividade (MJ.mm. (ha.h) ⁻¹)	Classe de erosividade
R < 2452	Erosividade fraca
2452 < R < 4905	Erosividade moderada
4905 < R < 7357	Erosividade moderada a forte
7357 < R < 9810	Erosividade forte

Fonte: Carvalho (2008).

4.2.4 Caracterização geomorfológica simplificada

Afim de auxiliar na interpretação dos dados, foram confeccionados mapas referentes a pedologia, geologia, hipsometria e ao uso e ocupação do solo da BHRPPA-PB. Além de melhor caracterizar a área de estudo, estes mapas serviram de base para compreensão da análise de componentes principais. O processamento das imagens e geração dos mapas ocorreram em ambiente SIG, com o auxílio do *software* ArcGIS/ArcMap 10.8

Os mapas geológico e pedológico da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó foram obtidos por meio do *site* do IBGE - 2021, na escala de 1:250.000 no formato de arquivo *shapefile*. O recorte com a delimitação dos limites da bacia hidrográfica foi obtido por meio da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AES/A), também no mesmo formato. Para a geração do mapa hipsométrico, foi utilizado o modelo digital de elevação do SRTM, com resolução espacial de 30 metros, adquiridos gratuitamente no site da USGS.

Para a elaboração do mapa de uso e ocupação do solo foram usadas imagens multiespectrais do satélite *Landsat* 8, adquiridas gratuitamente na plataforma da USGS, datadas de 15 de setembro de 2018. Inicialmente foi realizada a correção atmosférica das imagens, e o recorte para a área de interesse utilizando a ferramenta *clip*. Posteriormente foram utilizadas as bandas espectrais R (6), G (5) e B (6), para composição colorida, afim de facilitar a identificação das diferentes formas de uso do solo. Foram consideradas cinco classes de uso e ocupação do solo, sendo elas: vegetação densa, vegetação esparsa, solo exposto/desmatado, corpos hídricos superficiais e áreas urbanas, em que foram selecionadas as amostras e realizada a classificação supervisionada. Afim de se quantificar cada classe, foi realizada a vetorização do *raster* e utilizada a ferramenta *calculate geometry* na tabela de atributos para determinação das áreas.

4.2.5 Análise estatística multivariada dos parâmetros de qualidade de água

Os dados referentes a qualidade da água dos reservatórios de abastecimento público da BHRPPA-PB foram fornecidos pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), sendo utilizados nesse estudo os parâmetros: alcalinidade total, dureza, condutividade elétrica

(CE), cloretos, oxigênio consumido, cor aparente, pH, turbidez, sólidos totais dissolvido (SDT), *Escherichia coli* e coliformes totais. Para verificar a relação entre esses parâmetros com a precipitação e a erosividade foram utilizados apenas os postos pluviométricos referentes a bacia de drenagem do seu respectivo reservatório, e empregada a estatística multivariada por meio da ACP, com o intuito de simplificar e melhor observar/ analisar as inter-relações entre o vasto número de variáveis. Essa análise foi desenvolvida no *software* livre *Statistica* versão 12.0.

Foi empregado como critério de seleção para os reservatórios o recorte temporal dos dados, ou seja, foram utilizados apenas, aqueles que apresentaram no banco de dados fornecidos pela CAGEPA, uma sequência mínima mensal de 12 meses consecutivos com dados para todos os parâmetros de qualidade da água supracitados, sendo possível observar o comportamento da relação entre as variáveis estudadas durante todos os meses do ano, abrangendo o período seco e chuvoso. Com base nesses critérios, foram selecionados seis mananciais de abastecimento público (Tabela 3), sendo o ano de 2018, referente a 12 meses de dados, como o recorte temporal de estudo.

Tabela 3 - Descrição dos reservatórios selecionados

Reservatório	Capacidade Máxima (hm³)	Município	UPH
Açude São Gonçalo	44,6	Sousa	Alto Piranhas
Barragem da Farinha	25,7	Patos	Espinharas
Sistema Hídrico Curema-Mãe D'água	1.159,0	Coremas	Piancó
Açude Lagoa do Arroz	80,2	Cajazeiras	Peixe
Açude Saco	97,5	Nova Olinda	Piancó
Açude Baião	39,2	São José do Brejo do Cruz	Médio Piranhas

Fonte: ANA (2016).

Nessa pesquisa a ACP foi empregada em 13 variáveis, sendo 11 parâmetros de qualidade da água, a precipitação e erosividade. Os CP seguem o princípio da ortogonalidade e são independentes uns dos outros. Portanto, o primeiro componente explica a variância total máxima dos dados, o segundo componente explica a primeira variância total restante máxima inexplicada e assim por diante, de modo que o número de componentes principais é igual ao número de variáveis menos 1 (GUEDES et al., 2012; PALACIO, 2004). Cada CP possui um

valor característico associado, que representa a importância do componente na explicação da variabilidade total dos dados. Logo, quanto maior for o valor da característica, maior será a capacidade do CP para resumir as variáveis.

Segundo Ouyang (2005), matematicamente, a análise dos componentes principais inclui as seguintes etapas:

- (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 3;

$$X_{sij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_i}{S_i} \quad (3)$$

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 4)

$$(R - \lambda_i \cdot I) = 0 \quad (4)$$

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.

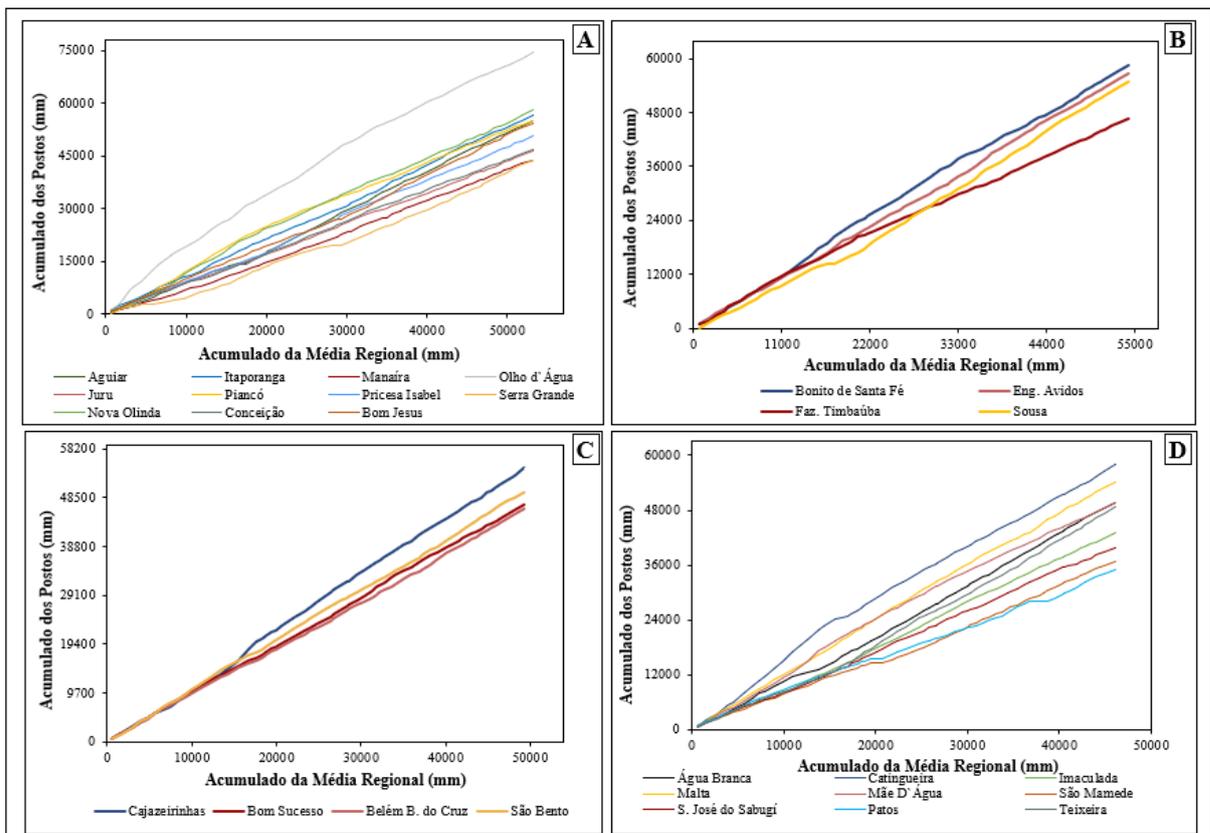
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise de consistência e estatística descritiva dos dados

5.1.1 Análise de consistência dos dados de precipitação

A Figura 3 apresenta as curvas de duplas massas resultantes para os quatro grupos (UPHs) previamente definidos.

Figura 3 - Curvas de dupla massa dos postos pluviométricos das UPHs Piancó (A), Alto Piranhas-Peixe (B), Médio Piranhas (C) e Espinharas (D)



Fonte: Autoria Própria (2021).

Na Figura 3, as curvas obtidas da relação entre os acumulados das estações pluviométricas com o acumulado da média regional para cada UPH não apresentaram irregularidades, ou seja, todos os postos pluviométricos das quatro UPHs em estudo apresentaram homogeneidade regional.

A homogeneidade dos dados foi confirmada pelos resultados da correlação entre a média do acumulado regional e o acumulado para cada estação pluviométrica, pois os coeficientes de determinação (R^2) foram todos superiores a 0,992 e em sua grande maioria

alcançaram 0,999. Vale comentar também, que como as séries pluviométricas não sofreram um preenchimento de falhas maior que 5% dos dados mensais, houve uma tendência pela dispersão linear dos dados, uma vez que as curvas de dupla massa não apresentaram grandes distorções de declividade em relação à acumulada da média regional.

Mello e Oliveira (2016) destacam a importância da análise de consistência de dados pluviométricos, visto que as séries temporais podem, muitas vezes, não serem homogêneas e por isso é fundamental a aplicação de métodos estatísticos para que não haja erros na utilização futura desses dados. Portanto, após coleta, tabulação, preenchimento de falhas e análise de consistência das séries históricas, foi possível alcançar um banco de dados íntegro dos 28 postos pluviométricos para a área da BHPPA-PB (1962-2020), em razão da baixa dispersão entre os dados. Nesse contexto, diversos trabalhos utilizaram testes estatísticos para análise de consistência dos dados de chuva, a citar Trindade et al., (2016), Mello e Oliveira (2016), Silva et al. (2017), Almeida et al. (2017) e Terassi et al. (2019).

5.1.2 Precipitação

Os maiores valores de precipitação foram observados no período de janeiro a abril, sendo o mês de março o mais chuvoso com média de 206,2 mm, e os menores de julho a novembro com médias de no máximo 22,1 mm (Tabela 4). Esse último período representa a estação seca no semiárido paraibano com raros eventos de precipitação (DA SILVA JALE et al., 2019).

Tabela 4 - Estatística descritiva da precipitação pluviométrica mensal e anual do período de 1962 a 2020 na BHRPPA-PB

Mês	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-Padrão	Coefficiente de variação (%)	Assimetria	Curtose
	----- (mm) -----						
Janeiro	9,7	428,5	102,9	74,7	73	2,120	6,168
Fevereiro	21,0	349,7	140,8	75,2	53	0,518	-0,371
Março	52,2	463,3	206,2	86,4	42	0,437	0,299
Abril	35,2	414,0	176,5	102,0	58	0,726	-0,393
Mai	2,7	217,3	83,0	54,2	65	0,471	-0,516
Junho	3,0	122,2	36,4	27,5	75	1,094	0,841
Julho	0	76,2	22,1	17,3	78	1,225	1,351
Agosto	0	47,0	7,1	8,6	121	2,814	9,178
Setembro	0	32,5	4,9	6,7	138	2,198	4,965
Outubro	0	90,5	9,4	15,3	162	3,359	14,009
Novembro	0	108,0	16,1	20,0	124	2,312	6,933

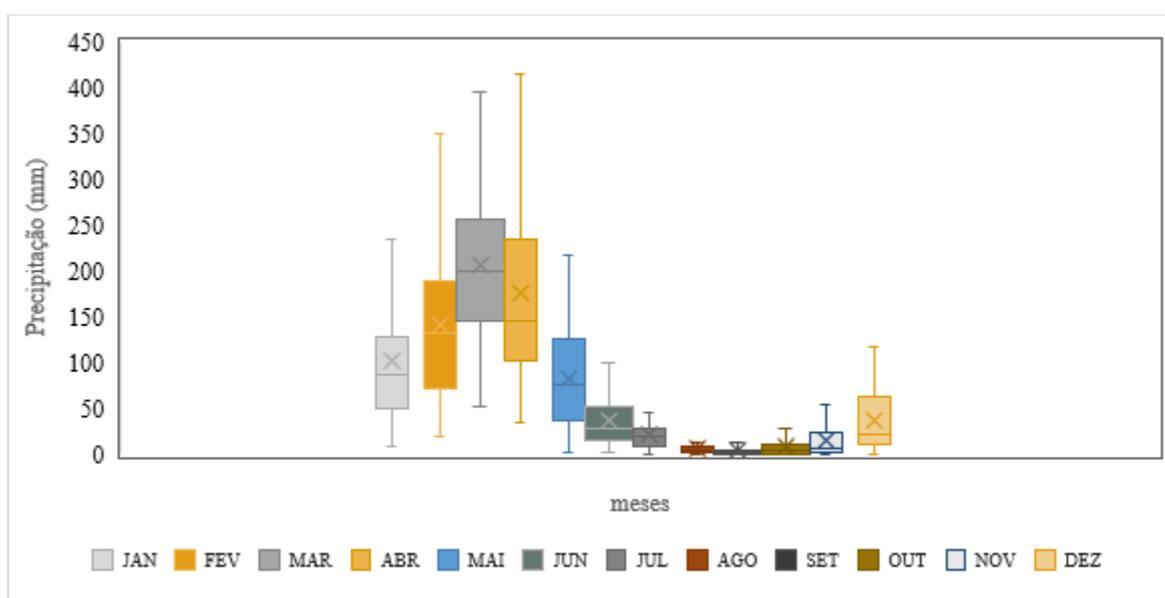
Dezembro	0,1	149,8	37,7	35,3	94	1,413	1,719
Ano	291,8	1615,8	843,0	282,8	34	0,528	0,352

Fonte: Autoria Própria (2021).

O maior desvio-padrão dos dados foi verificado para o mês de abril e o menor para setembro, que também representa o mês com maior déficit hídrico da área em estudo com média de 4,9 mm. Os elevados valores do coeficiente de variação indicam significativa dispersão entre os dados, isto é, grande variabilidade da precipitação na BHRPPA-PB, principalmente, entre os meses de agosto e novembro quando o desvio-padrão é maior que a média devido a esse período apresentar médias mensais próximas a zero (período da estiagem) corroborando com os estudos de De Souza, Nogueira e Da Silva Nogueira (2017), Silva et al., (2017), e Da Silva Jale et al. (2019). Segundo De Almeida e Medeiros (2017) essa alta variabilidade no semiárido paraibano acontece devido as diversas interferências atmosféricas que atingem essa região como os fenômenos *El Niño* e *La Niña*.

Todos os meses apresentaram assimetria positiva, entre os meses de fevereiro a maio distribuição próxima do normal, visto que as variáveis com medidas de assimetria entre 0 e $\pm 0,5$ tendem a exibir distribuição normal. Na Figura 4, observa-se que todas as médias mensais são maiores que as medianas, o que confirma a assimetria positiva dos dados, como também, evidencia a elevada dispersão dos dados, principalmente, no período de janeiro a maio que é caracterizado pelo maior volume de precipitação.

Figura 4 - Box-plot da precipitação pluviométrica mensal para a BHRPPA-PB



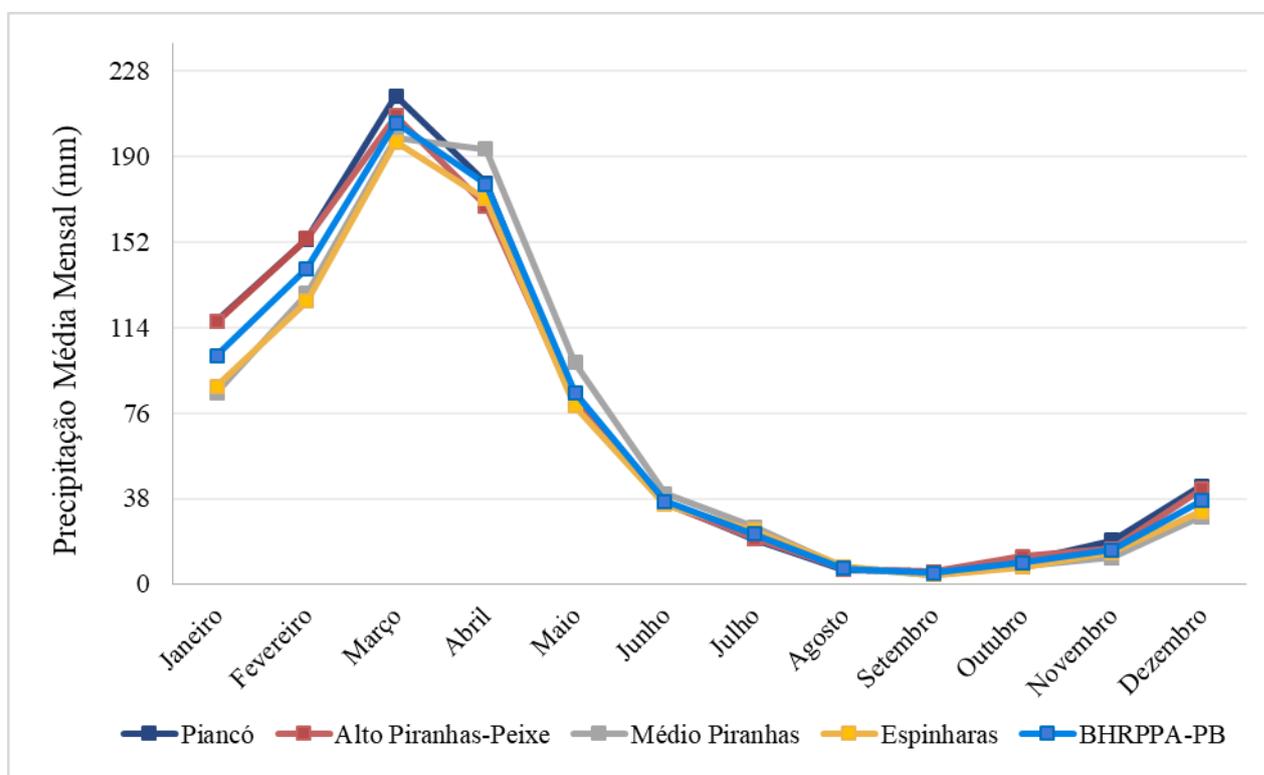
Fonte: Autoria Própria (2021).

No tocante à curtose, somente os resultados de fevereiro, abril e maio apresentaram valores negativos, evidenciando que a distribuição é do tipo platicúrtica, em outras palavras, significa dizer que é bem mais fácil alcançar valores que se distanciem da média, devido a esses meses se concentrar o período chuvoso da região.

Em relação aos valores anuais, a precipitação da BHRPPA-PB teve média, valor máximo e mínimo de 843 mm, 1615,8 mm e 291,8 mm respectivamente. Resultados semelhantes foram encontrados por Dos Santos et al. (2017), para o semiárido brasileiro; Silva et al., (2017) ao analisar a variabilidade das precipitações, no período de 1975 a 2016, para o município de Petrolina no semiárido pernambucano; e por De Souza, Nogueira e Da Silva Nogueira (2017) em cidades do semiárido, pertencentes aos estados de Pernambuco, Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte.

Na Figura 5 são apresentados os dados de precipitação mensal ao longo do ano para as UPHs do Piancó, Alto-Piranhas-Peixe, Médio Piranhas e Espinharas, como também a média da BHRPPA-PB, onde se confirma que o regime de chuvas mensais das quatro UPHs e da bacia hidrográfica seguem uma mesma tendência.

Figura 5 - Precipitações médias mensais para as UPHs Piancó, Alto Piranhas-Peixe, Médio Piranhas e Espinharas e BHRPPA-PB



Fonte: Autoria Própria (2021).

No período de janeiro a março apresenta precipitações superiores nas UPHs do Piancó e Alto Piranhas-Peixe, seguido pela média da bacia e com os menores valores no Médio Piranhas e Espinharas. Para o período seco, que compreende os meses de julho a novembro o regime de precipitações segue a mesma tendência para todas as UPHs e conseqüentemente para a bacia, tendo os meses de abril, maio, junho e dezembro com variações no regime das precipitações por serem considerados de transição entre as estações seca e chuvosa.

Vale destacar que o período de janeiro a maio representa grande parte da precipitação anual da área de estudo, onde aproximadamente 80% da precipitação anual está concentrada nesse período. Do ponto de vista ambiental, Santos et al. (2017) ressaltam que as precipitações pluviométricas são escassas durante as estações do inverno e primavera e se concentram em um curto período nessa região e, geralmente, ocorrem na forma de chuvas torrenciais, assim, essas precipitações são a principal causa das perdas de solo no semiárido brasileiro, provocando danos irreparáveis como a perda da camada fértil do solo e o assoreamento dos corpos hídricos superficiais.

Os problemas ambientais são ainda mais graves quando estas chuvas ocorrem logo no início do período chuvoso e atingem um solo totalmente exposto, sem nenhuma proteção vegetal, onde a ação erosiva da chuva acarretará danos ainda mais significativos, como o surgimento de voçorocas e afloramentos de rocha (OCHOA et al., 2016; ZHOU et al., 2016).

5.1.3 Erosividade

A Tabela 5 apresenta os dados obtidos da erosividade da BHRPPA-PB, utilizando o EI_{30} . Na mesma pode-se verificar a estatística descritiva da erosividade da chuva para a série histórica de 59 anos (1962-2020). São expostos os valores de média, valor máximo e mínimo, CV, desvio-padrão, assimetria e curtose.

Tabela 5 - Estatística descritiva da erosividade da chuva mensal e anual do período de 1962 a 2020 na BHRPPA-PB

Mês	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-	Coeficiente	Assimetria	Curtose
	----- (MJ.mm.ha ⁻¹) -----			Padrão	de variação (%)		
Janeiro	27	1728	410	308	75	2,137	6,047
Fevereiro	116	1309	555	283	51	0,470	-0,236
Março	252	1884	873	345	40	0,588	0,895
Abril	156	1602	691	368	53	0,557	-0,674

Maio	8	828	303	197	65	0,476	-0,175
Junho	6	413	124	96	77	1,089	0,622
Julho	0	230	73	60	82	1,121	0,631
Agosto	0	101	18	19	105	2,176	6,164
Setembro	0	86	14	21	145	2,084	3,917
Outubro	0	192	26	39	150	2,397	6,401
Novembro	0	335	56	72	129	1,925	3,829
Dezembro	0	528	134	133	100	1,374	1,036
Ano	1767	4745	3275	622	19	0,063	0,044

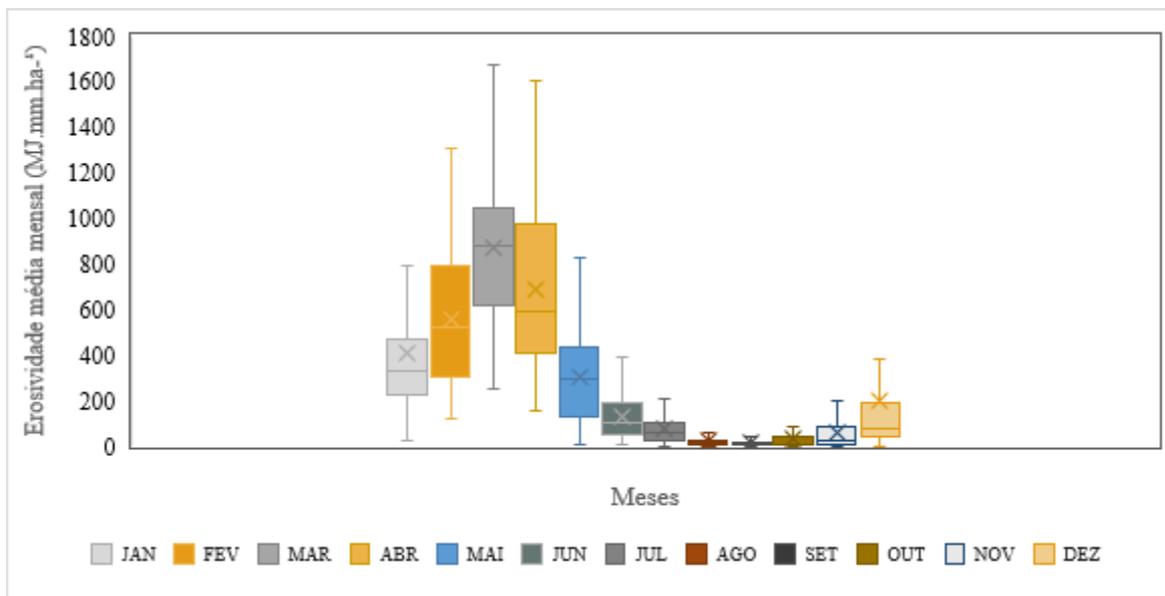
Fonte: Autoria Própria (2021).

Conforme Vanni (1998), um CV menor que 35% indica homogeneidade da série e que a média é significativa, ou seja, a média anual da erosividade é representativa para a série histórica em estudo, pois o CV anual foi de 19%. Assim, a média anual de 3275 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹ da erosividade da chuva com base no índice EI₃₀ para a BHRPPA-PB representa com significância o “Fator R” da USLE para a área de estudo. Resultado semelhante foi encontrado por Ribeiro Filho et al. (2017) que obteve um CV de 23,35% da erosividade média anual para o Estado do Ceará, que assim como a BHRPPA-PB é inserido quase que totalmente na região semiárida do Brasil. Entretanto, os CVs mensais apresentaram elevada percentagem, isto pode estar relacionado com a grande variabilidade das precipitações mensais, como também, pelos baixos valores de erosividade média que no período seco (agosta a novembro) foram menores que os seus respectivos desvios-padrão.

Os maiores valores de EI₃₀ foram obtidos no período de janeiro a abril, enquanto, os menores valores foram observados no semestre de julho a dezembro tendo zero como valor mínimo para todos os meses, tal resultado deriva da distribuição das chuvas na região que como visto na Tabela 4 se concentram nos primeiros meses do ano, e praticamente ausentam-se no segundo semestre do ano.

Na Figura 6, nota-se que os valores das médias mensais de erosividade ao longo do ano, comprovam que o segundo semestre compreende os meses com os menores índices de erosividade e menor amplitude dos dados, deste modo, as características da chuva para esse semestre não representa grandes riscos a eventuais percas de solo por erosão hídrica. Entretanto, no período de janeiro a maio foram observados os maiores valores, bem como as maiores amplitudes de erosividade, apontando para que as práticas conservacionistas de manejo e uso do solo sejam intensificadas nesse período para a região.

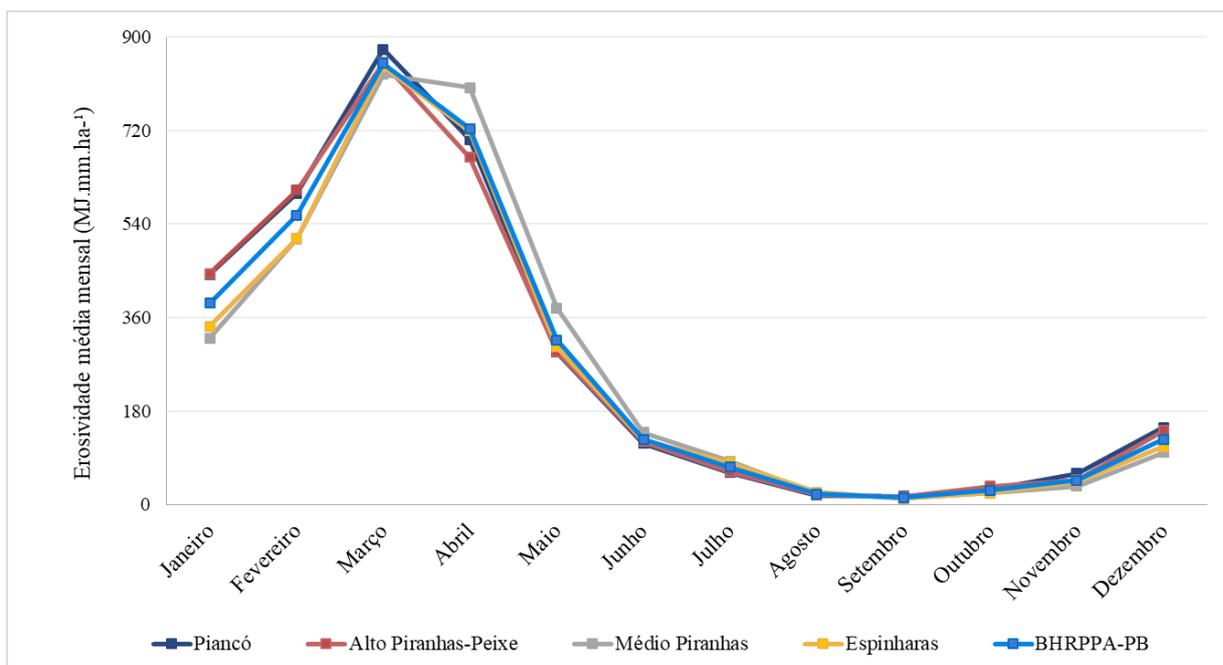
Figura 6 - Box-plot do índice de erosividade da chuva mensal para a BHRPPA-PB



Fonte: Autoria Própria (2021).

Ao analisar as Figuras 5 e 7, observa-se similaridade entre a distribuição da precipitação e do EI_{30} , que pode ser compreendida pela proximidade entre os valores de assimetria e curtose dessas duas variáveis climáticas. Nesse contexto, nota-se na Figura 7, a mesma tendência de distribuição da erosividade entre as quatro UPHs e a BHRPPA-PB.

Figura 7 - Médias mensais de erosividade para as UPHs Piancó, Alto Piranhas-Peixe, Médio Piranhas e Espinharas, e para a BHRPPA-PB



Fonte: Autoria Própria (2021).

As UPHs do Piancó, Alto Piranhas-Peixe, Médio Piranhas, Espinharas e a bacia hidrográfica obtiveram uma erosividade anual média, para a série histórica de 1962 a 2020, de 3362, 3305, 3295, 3138 e 3275 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹ respectivamente. Resultados semelhantes foram obtidos por Almeida et al. (2017) ao modelarem a dependência espacial e mapearem o EI₃₀ para a região semiárida do Brasil, alcançando uma erosividade média anual de 2988 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹ para séries históricas iguais ou superiores a 15 anos. De acordo com a classificação de Carvalho (2008), todas as UPHs assim como a bacia hidrográfica foram classificadas com erosividade moderada quanto ao grau de erosividade. Deste modo, indicando a necessidade da adoção de medidas mitigadoras para todas as regiões da BHRPPA-PB, afim de combater os possíveis transtornos provocados pela erosão hídrica.

Segundo Borrelli et al. (2020) a erosão hídrica é um fenômeno de grande relevância não apenas para o setor agropecuário, mas também para a economia e o meio ambiente, uma vez que, a rapidez com que ocorre e magnitude acarreta significativos danos as características do solo e ao uso dos recursos naturais. Assim, evidencia-se para que governantes, pesquisadores e a sociedade auxiliem no controle desse fenômeno, perante seu poder de degradação.

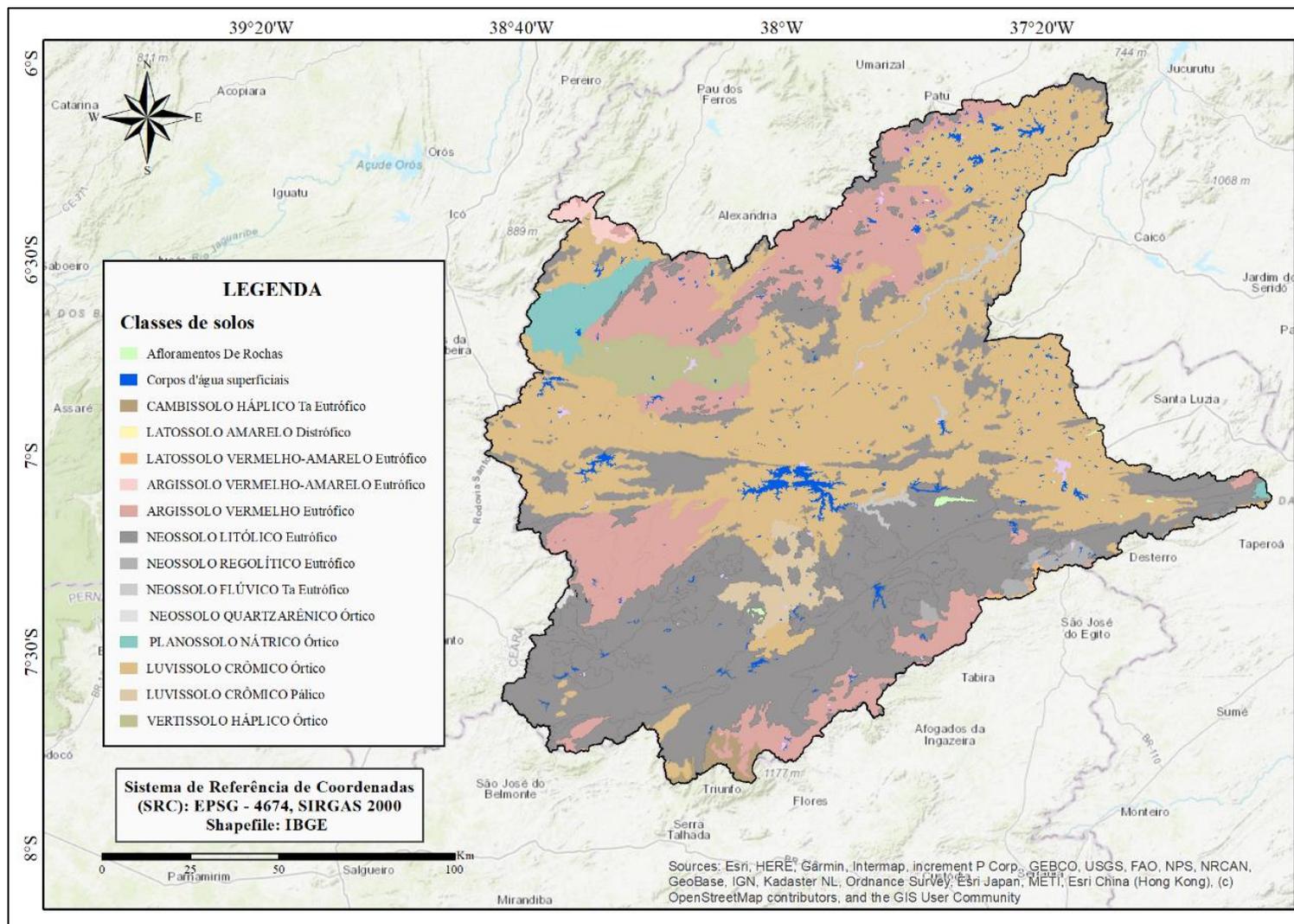
Com base nesse cenário, percebe-se uma tendência em que a precipitação e a erosividade da chuva tende a influenciar na qualidade da água dos corpos hídricos na área em estudo, especialmente, no período de janeiro a maio quando ocorre a estação chuvosa.

5.2 Aspectos geomorfológicos

5.2.1 Pedologia

O mapa pedológico da BHRPPA reflete os tipos de solo existentes na área de estudo. Oito categorias de solo e afloramentos rochosos foram identificadas, conforme mostrado na Figura 8. O tipo de solo dominante é o Luvisolo Crômico, com área de 12.454 Km² (48,1% da área), seguido pelo Neossolo Litólico com 6.227 Km² (24,9%), e Argissolo com 2.854 Km² (11,2%), enquanto os demais não chegam a 3% da área.

Figura 8 - Mapa pedológico da BHRPPA-PB



Fonte: Autoria Própria (2021).

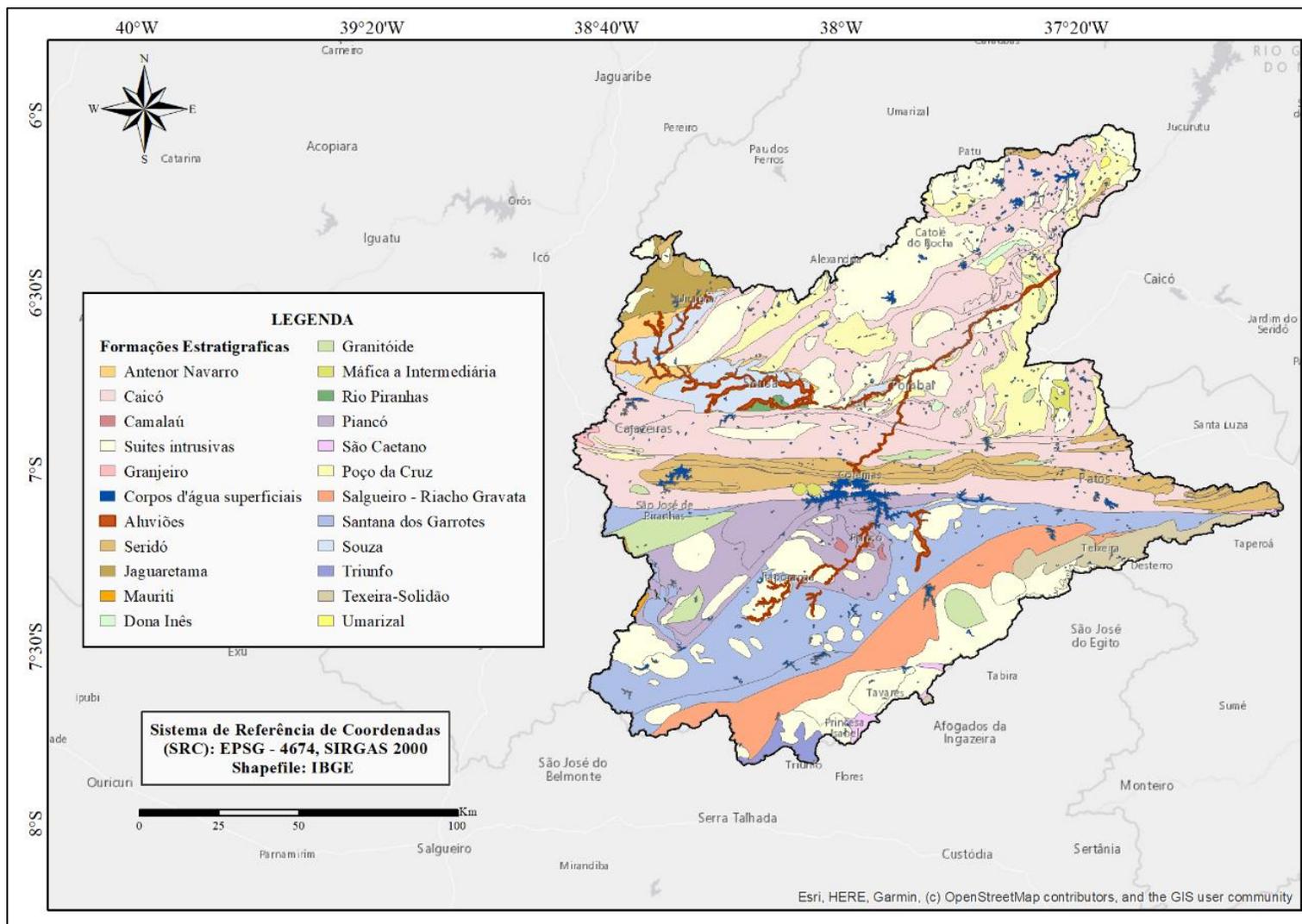
Na BHRPPA foram encontrados vários tipos de solos, dentre eles destaca-se o solo do tipo Luvissole Crômico, que está inserido no Nordeste Central, região do Médio Piranhas, onde é a área mais plana. Esses solos são superficiais (camadas rasas), pouco desenvolvido e ricos em minerais (SANTOS, 2017). Além disso, é um solo pedregoso e possui alto teor de argila superficial, o que dificulta diretamente a infiltração da água da chuva e potencializa a erosão.

Também pode-se destacar a presença dos solos Neossolo Litólico e Argissolo. Esses solos estão inseridos nas cabeceiras da bacia hidrológica (área de nascentes), onde a declividade do terreno é elevada, logo a velocidade de escoamento é maior, o que auxilia no transporte de sedimentos até os reservatórios. O Neossolo Litólico é caracterizado por um solo pouco desenvolvido, com baixa profundidade, cascalho e afloramentos rochosos frequentes, ou seja, solo com extrema sensibilidade à erosão, considerado frágil na classificação de fragilidade (KUNDE et al., 2020). Enquanto, os Argissolos são solos evoluídos, medianamente profundos a profundos, mas com a presença de argila nas camadas subjacente o que pode favorecer o escoamento superficial (SANTOS, 2017).

5.2.2 Geologia

A geologia da BHRPPA-PB apresenta inúmeras unidades litoestratigráficas, e a classificação digital apresenta um total de 22 grupos (formações/ complexos estratigráficos): Aluviões, Camalaú, Caicó, Piancó, Salgueiro-Riacho Gravatá, São Caetano, Antenor Navarro, Mauriti, Santana dos Grupo Garrotes, Seridó, Granitóide, Granjeiro, Jaguaretama, Dona Inês, Piranhas, Máfica a Intermediaria, Poço da Cruz, Souza, Triunfo, Texeira-Solidão, Umarizal e Suítes Intrusivas, conforme mostrado na Figura 9.

Figura 9 - Mapa geológico da BHRPPA-PB



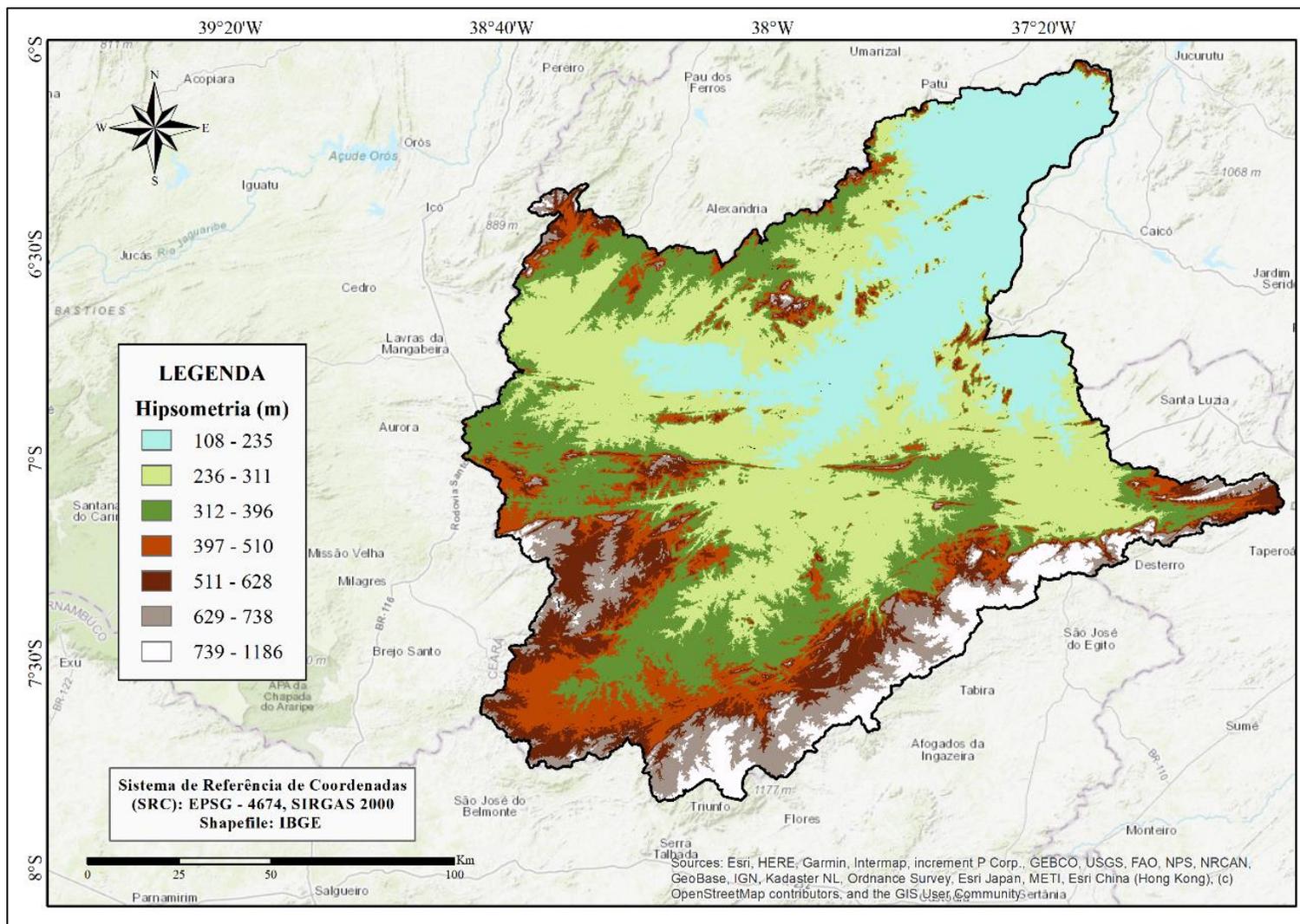
Fonte: Autoria Própria (2021).

Quanto à geologia, a área de estudo é composta por áreas de cristalização, as quais são dominadas por materiais magmáticos, xistos, gnaisse e granitos. Esses tipos de rochas são altamente resistentes à ação erosiva da chuva, sendo consideradas resistentes ao intemperismo (SANTOS et al., 2002), e representam 97% das formações litoestratigráfica na BHRPPA-PB. No entanto, vale ressaltar que a existência de camadas aluviais nos leitos e às margens de rios, córregos e em valas de drenagem, servem como indicação da ação erosiva local, promovendo à deposição de sedimentos aos canais de drenagem, reservatórios de abastecimento público, e aos médios e pequenos açudes que são tão comuns no sertão paraibano. Assim, sinalizando uma possível alteração na qualidade das águas desses mananciais.

5.2.3 Hipsometria

Na Figura 10 exibe-se o mapa hipsométrico da BHRPPA-PB, que por sua vez estabelece os valores da escala altimétrica para esta localidade. A análise da Figura 10 mostra que as menores altitudes são encontradas na região do Médio Piranhas (ao Norte), região mais plana e com maior quantidade de redes de drenagem. Enquanto os maiores declives estão presentes na região Centro-Sul, em consequência das maiores altitudes e relevo acidentado, característica de uma área acentuada e que favorece o transporte de nutrientes/sedimentos pelos processos erosivos.

Figura 10 - Mapa hipsométrico da BHRPPA-PB



Fonte: Autoria Própria (2021).

A amplitude altimétrica de um terreno está diretamente associada com a dissecação do relevo, relacionada a dimensão interfluvial da área (drenagem) e a profundidade dos talwegues, caracterizando o indicador como um expoente da energia potencial local. Quanto maior a amplitude altimétrica, maior a energia potencial, pois essa característica é propícia à obtenção da energia cinética do sedimento (de acordo com a lei da conservação de energia, em que a energia potencial é convertida em energia cinética), a água flui para a parte inferior do terreno, resultando em maior capacidade de erosão (CREPANNI et al., 2001; HILGENDORF et al., 2020). Dessa forma, em comparação com áreas planas, áreas a montante localizadas nas cabeceiras das bacias hidrológicas são mais suscetíveis ao transporte de sedimentos, para canais de drenagem e leitos de reservatórios, e apresentam maiores amplitudes altimétricas.

5.2.4 Uso do solo

A categoria de uso e ocupação do solo mais comum na BHRPPA-PB é a vegetação (vegetação densa mais esparsa), que tem cerca de 16.762 km², representando 73,84% da área total (Figura 11 e Tabela 6). Esse tipo de cobertura do solo pode proporcionar uma redução na erosividade, especialmente ao se tratar de vegetação densa.

A vegetação desempenha um papel único e extremamente importante na proteção do solo contra as gotas de chuva na natureza. Além da proteção, a cobertura morta também ajuda a aumentar a penetração e o armazenamento de água no solo, por meio da adição de matéria orgânica e da presença de raízes, reduzindo a erosão (WANG et al., 2021).

Tabela 6 - Distribuição das classes de uso do solo na BHRPPA-PB

Classes de uso do solo	Área (km²)	Área Percentual
Vegetação densa	9305,02	40,99
Vegetação esparsa	7456,96	32,85
Corpos hídricos	110,65	0,49
Solo exposto/desmatado	5753,81	25,34
Áreas urbanas	76,93	0,34
Total	22703,37	100

Fonte: Autoria Própria (2021).

No entanto, a bacia hidrográfica estudada está localizada no bioma Caatinga. A vegetação local é classificada como savana de pastagem arborizada, apresentando estratos arbustivo-esparços, há árvores caducifólias de pequeno e médio porte, que perdem a folhagem na estiagem (IBGE, 2012), esta situação contribui para a formação do processo erosivo, principalmente no início do período chuvoso, quando a precipitação atinge o solo sem proteção natural, contribuindo para desagregação das partículas de solo (WANG et al., 2021).

Dentre os tipos de cobertura do solo com maior susceptibilidade à erosão hídrica, o solo exposto é a que mais carece de atenção, cobre uma área de 5.784 Km², o que equivale a 25,34% da área total. Essas áreas são as mais vulneráveis a processos de degradação e provavelmente decorrem do uso da terra para produção agrícola e pecuária, pois essas localidades concentram-se na porção Centro-Norte da BHRPPA-PB, onde há mais recursos hídricos disponíveis, devido a perenização do rio Piancó-Piranhas-Açú. As classes de menor abrangência na bacia foram corpos hídricos superficiais e áreas urbanas com respectivamente, 111 Km² (0,49%) e 77 Km² (0,34%).

Na bacia do rio do Cervo, estado de Minas Gerais, o solo exposto, pastos e lavouras são a principal causa da perda superficial de solos, com déficit superior a dez toneladas por hectare (t. ha⁻¹), de acordo com o estudo de Rodrigues et al. (2018). Nesse contexto, Lepsch (2016) tem ressalvas quanto aos danos causados por solos expostos nas atividades agrícolas, principalmente na ausência de intervenções da conservação do solo, destacando o uso de medidas educacionais, sociais e econômicas que favoreçam a conservação do solo, tornando-se hoje um fator indispensável para uma agricultura mais sustentável. Para os especialistas em processos erosivos, Bertoni e Lombardi Neto (2014), o sucesso de qualquer programa de conservação do solo não depende apenas do fator político-econômico mais sim do social, evidenciando o papel da população na luta ambiental.

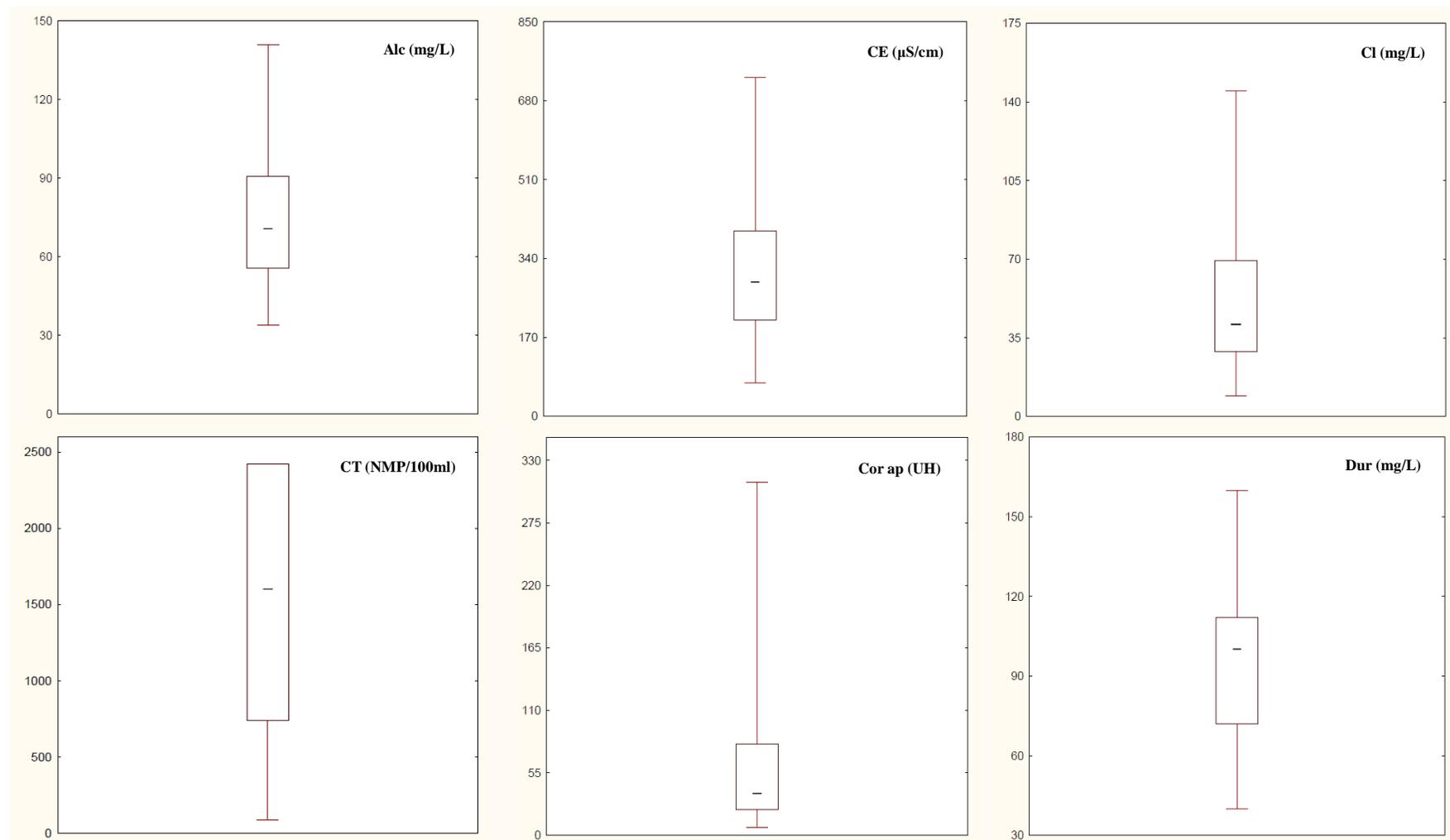
5.3 Análise da correlação entre a precipitação, erosividade e a qualidade da água

5.3.1 Parâmetros de qualidade da água

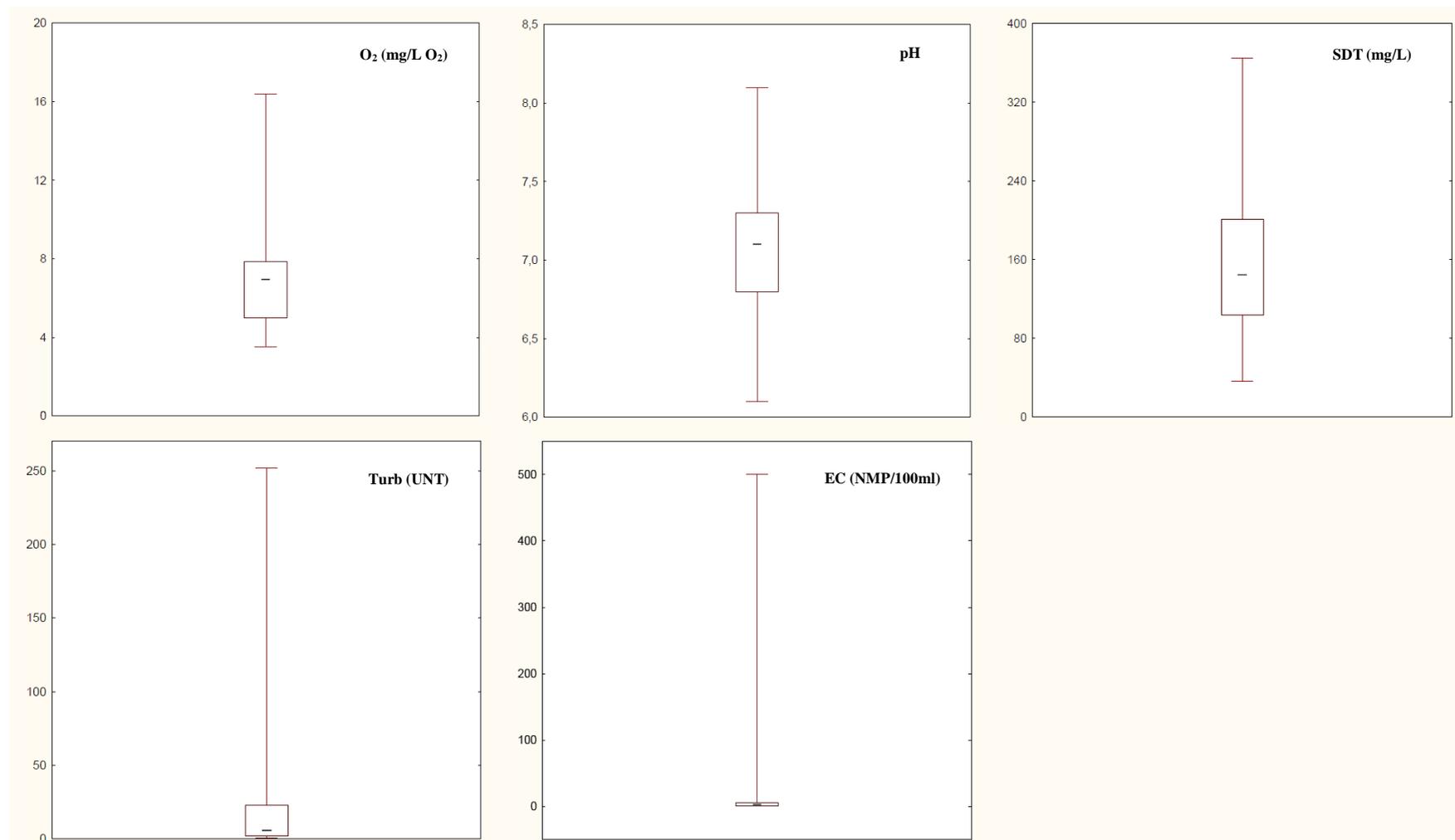
Nas Figuras 12 e 13, são expostos os dados relativos aos parâmetros de qualidade da água, incluindo os seis reservatórios analisados. O gráfico *Box-plot* apresenta maiores mudanças nas concentrações de *Escherichia coli*, turbidez, coliformes totais e cor aparente, como também uma maior dispersão dos dados, ou seja, valores distantes da média. Cor e turbidez são parâmetros associados ao tipo de solo e a erosividade das chuvas (fator natural), enquanto *Escherichia coli* e coliformes totais são parâmetros microbiológicos e estão

relacionados com as emissões domésticas, a criação de gado e falta de saneamento básico (fator antrópico), o que explica a grande dispersão nesses parâmetros, em particular, quando se leva em consideração todo o período analisado.

Em contrapartida, os parâmetros alcalinidade, CE, pH, dureza, SDT, cloretos e oxigênio consumido não apresentaram grande variabilidade, sendo os valores mais próximos da média. Assim, no geral, para os seis reservatórios analisados os parâmetros de qualidade da água apresentam-se pouco dispersivos, resultado esse que pode ser explicado pela similaridade das áreas (mesma bacia hidrográfica).

Figura 12- *Box-plot* dos parâmetros de qualidade da água nos reservatórios

Alc – Alcalinidade total; CE – Condutividade elétrica; Cl – Cloretos; CT–Coliformes totais; Cor – Cor aparente; Dur- Dureza. Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 13- *Box-plot* dos parâmetros de qualidade da água nos reservatórios (continuação)

O₂ –Oxigênio consumido; SDT – Sólidos dissolvidos totais; Turb – Turbidez; EC-*Escherichia coli*. Fonte: Autoria própria (2021)

5.3.2 Análise de componentes principais

Para a análise de componentes principais, foram escolhidos os três primeiros componentes principais (CP) porque eles explicam pelo menos 80% da variação total dos dados e têm autovalores maiores que 1. Os resultados de carregamento obtidos para cada reservatório da pesquisa são relatados nas Tabela 7 e 8. O carregamento de fator (cargas fatoriais) ajuda a entender as propriedades básicas do componente, semelhante à correlação entre a variável original e CP. Portanto, um valor de carga próximo a 1 ou -1 indica uma forte contribuição das variáveis no componente relevante.

Analisando os resultados expostos nas tabelas 7 e 8, a CP1 explicou uma variação de 68,4% para o Açude São Gonçalo, 66,5% para a Barragem da Farrinha, 52,0% para o Sistema Hídrico Curema-Mãe D'água, 49,8% para o Açude Lagoa do Arroz, 49,3% para o Açude Saco, e 48,2% para o Açude Baião. Considerando a carga obtida pelo CP1, comportamentos semelhantes são observados para as variáveis de maior impacto nos seis reservatórios analisados, a saber: alcalinidade, cloretos, CE, SDT, dureza, precipitação e erosividade. Logo, pode-se deduzir que a CP1 está relacionada com a dissolução de minerais, especialmente, os sais alcalinos terrosos (cálcio e magnésio), que influem diretamente nos supracitados parâmetros de qualidade da água.

A presença de solos como o Luvissole Crômico e Neossolo Litólico (fator pedológico), estratigráfica do cristalino (fator geológico) e os baixos índices de pluviosidade local acarretam no acúmulo de sais nas camadas superficiais na área de estudo (SANTOS, 2017), o que justifica a semelhança de elevada correlação das variáveis precipitação, erosividade, alcalinidade, cloretos, CE, SDT e dureza para o CP1 em todos os reservatórios.

Tabela 7 - Resultado do carregamento das componentes principais para os reservatórios estudados

	Açude Lagoa Do Arroz			Açude Baião			Sistema Hídrico Curema-Mãe D'água		
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3
Alcalinidade	-0,944	-0,094	-0,016	0,735	0,425	-0,194	0,974	-0,095	-0,048
Cloretos	-0,842	-0,486	-0,096	0,863	-0,097	-0,248	0,812	0,228	-0,130
CE	-0,857	-0,091	-0,331	0,571	0,341	-0,724	0,678	0,689	0,046
Cor ap	0,199	0,908	0,076	-0,829	-0,149	-0,501	-0,800	0,531	-0,098
Dureza	-0,864	-0,125	-0,092	0,399	0,615	0,302	0,895	0,020	0,349
O2	0,593	-0,347	-0,128	-0,890	0,266	-0,166	-0,762	0,195	-0,488
pH	-0,530	-0,642	0,184	0,911	-0,219	-0,213	0,882	0,184	-0,264
STD	-0,925	-0,157	0,004	0,571	0,349	-0,715	0,433	0,783	-0,174
Turbidez	-0,158	0,780	-0,491	-0,697	-0,311	-0,618	-0,751	0,573	-0,132
Colif. T	0,301	-0,507	-0,765	0,369	-0,720	-0,061	-0,889	-0,217	0,097
E coli	-0,713	0,052	0,309	-0,442	-0,755	-0,254	-0,391	-0,089	0,861
Precipitação	-0,890	0,419	0,052	-0,694	0,551	-0,033	0,095	0,796	0,482
Erosividade	-0,665	0,690	-0,183	-0,749	0,612	-0,193	-0,439	0,865	0,124
% Var.	49,8	24,4	8,8	48,2	22,6	15,7	52	25,1	11,6
% Ac	49,8	74,2	82,9	48,2	70,8	85,5	52	77,2	88,7
AV	6,5	3,2	1,1	6,3	2,8	2	6,8	3,3	1,5

CP: Componente principal; %Var.: Variância percentual; %Ac: Variância percentual acumulada; AV: Autovalor. Fonte: Autoria própria (2021).

Tabela 8 - Resultado do carregamento das componentes principais para os reservatórios estudados (continuação)

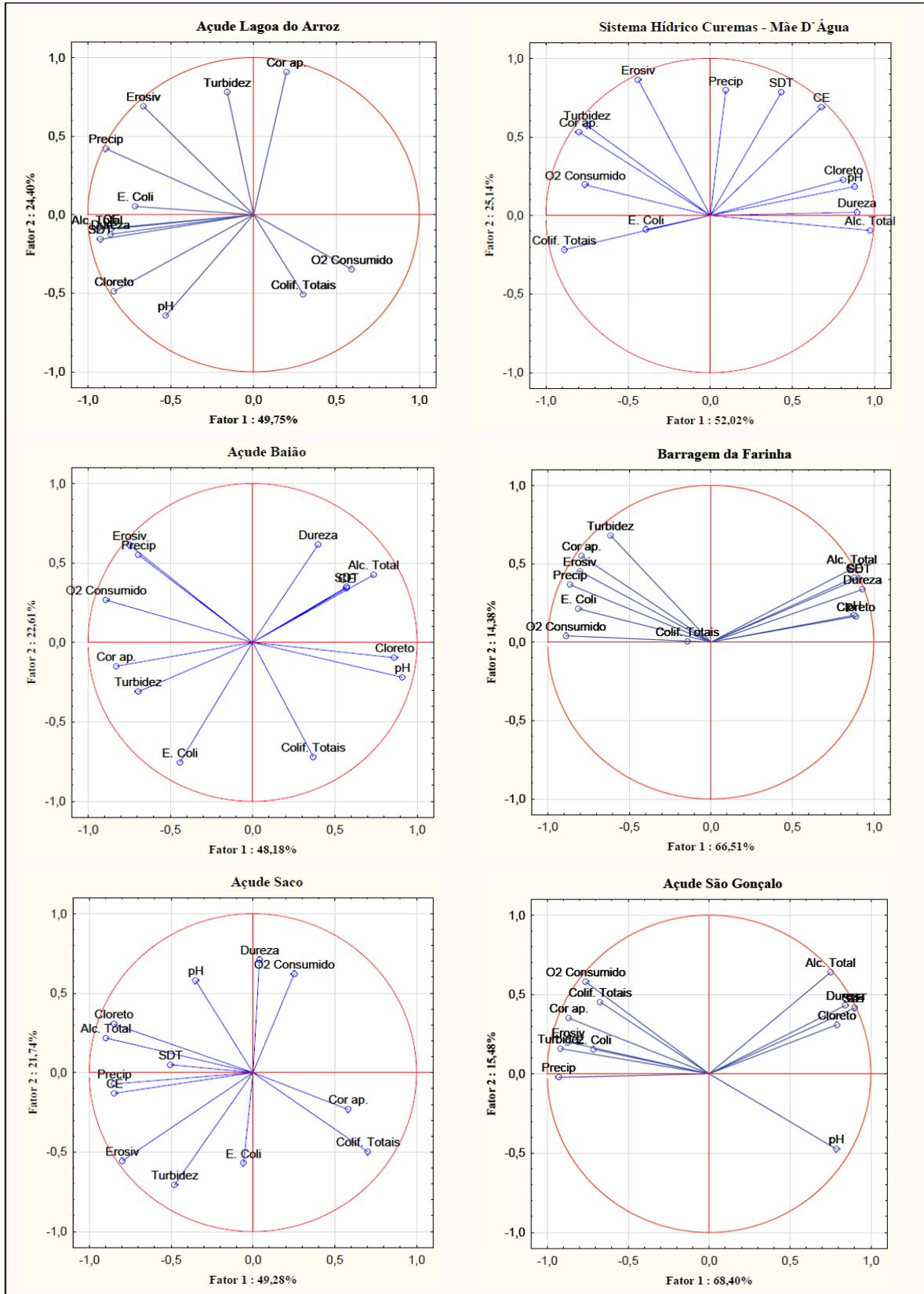
	Barragem da Farinha			Açude Saco			Açude São Gonçalo		
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3
Alcalinidade	0,865	0,467	-0,039	-0,899	0,218	-0,137	0,751	0,639	-0,042
Cloretos	0,890	0,164	0,222	-0,850	0,305	0,028	0,790	0,309	0,026
CE	0,880	0,411	-0,063	-0,845	-0,130	-0,130	0,899	0,415	0,008
Cor ap	-0,793	0,549	-0,207	0,583	-0,232	-0,329	-0,867	0,351	0,289
Dureza	0,931	0,336	0,010	0,041	0,712	0,230	0,843	0,432	-0,183
O2	-0,889	0,041	0,220	0,252	0,621	0,291	-0,762	0,579	0,149
pH	0,878	0,171	0,304	-0,350	0,578	-0,552	0,788	-0,475	0,111
STD	0,908	0,406	0,024	-0,503	0,050	0,380	0,899	0,414	0,008
Turbidez	-0,616	0,681	-0,010	-0,479	-0,706	0,453	-0,917	0,159	-0,321
Colif. T	-0,144	0,004	0,935	0,704	-0,499	0,189	-0,672	0,452	0,080
E coli	-0,811	0,212	0,272	-0,057	-0,570	-0,648	-0,713	0,155	-0,670
Precipitação	-0,864	0,366	0,172	-0,846	-0,071	-0,065	-0,930	-0,022	-0,035
Erosividade	-0,805	0,452	-0,153	-0,798	-0,555	0,137	-0,871	0,200	0,370
% Var.	66,5	14,4	9,5	49,3	21,7	10,9	68,4	15,5	6,5
% Ac	66,5	80,9	90,4	39,3	71,0	81,9	68,4	83,9	90,4
AV	8,6	1,9	1,2	5,1	2,8	1,4	8,9	2,0	1,1

CP: Componente principal; %Var.: Variância percentual; %Ac: Variância percentual acumulada; AV: Autovalor. Fonte: Autoria própria (2021).

O valor das variâncias obtido para o CP2 permite que este componente seja associado ao aporte de sedimentos nos reservatórios no período chuvoso, uma vez que as variáveis com maior correlação no CP2, na maior parte dos reservatórios, foram: cor aparente, turbidez, precipitação e erosividade. Enquanto, o CP3 está relacionado à contaminação microbiana da água e tem maior impacto das variáveis *Escherichia coli*. (Curema-Mãe D'água, São Gonçalo, e Saco) e coliformes totais (Barragem Farinha). Também foi verificado que as variáveis cor aparente, turbidez, pH (Baião, Curema-Mãe D'água, São Gonçalo e Farrinha), e *Escherichia coli* (Lagoa do Arroz, Saco e Farrinha) alcançaram cargas significativas no CP1, resultados que mostram a influência do transporte de sedimentos/ nutrientes ou até efluentes domésticos para estes reservatórios.

De um modo geral, os componentes principais selecionados revelam a pressão causada pelas atividades humanas no corpo d'água. O gráfico de carregamento dos CPs analisa o comportamento de todas as variáveis nos dois primeiros componentes, seus relacionamentos e sua importância no sistema. Na Figura 14 observa-se a formação de dois grupos distintos, com elevada correlação entre si, especialmente, nos reservatórios Barragem da Farinha e São Gonçalo. O grupo 1 é formado por parâmetros relacionados a dissolução de sais, tais como alcalinidade, dureza, CE e cloretos, explicando a maior parte da variabilidade dos dados no primeiro eixo em todos os reservatórios.

Figura 14 - Análise de Componentes Principais entre as variáveis estudadas



Fonte: Autoria Própria (2021).

O grupo 2 é formado por variáveis associadas ao aporte de sedimentos e a qualidade microbiológica da água, tais como turbidez, cor aparente, *Escherichia coli* e coliformes totais, sendo uma correlação alta entre si e com as variáveis precipitação e erosividade, quando observados do primeiro eixo, e apresentando correlação oposta com o grupo 1, principalmente, nos reservatórios Barragem da Farinha e São Gonçalo. A existência de áreas de solo exposto, vegetação espaçada, solos susceptíveis à erosão, relevos declivosos, aliado as chuvas torrenciais que são bastante comuns no semiárido paraibano, culminam em uma maior desagregação das partículas de solo e transporte do material particulado para os corpos hídricos, alterando os parâmetros de qualidade da água destes corpos receptores, o que alega o elevado grau de correlação entre as variáveis neste segundo grupo.

Por outro lado, vale destacar o comportamento dos parâmetros *Escherichia coli* e coliformes totais, correlacionados ao grupo 2, isto devido as enxurradas não transportarem apenas o material desagregado do solo, mas também, matéria orgânica, agroquímicos, dejetos de animais e despejos domésticos. Na BHRPPA-PB, predominam as atividades agrícolas, sendo um dos principais meios de subsistência, as lavouras e as pastagens representam 50% da área total dos municípios (IBGE, 2017), o que promove mudanças significativas na qualidade da água. Além disso, o destaque da pecuária nesta área alterou o padrão de uso do solo, podendo ocasionar a entrada de coliformes termotolerantes no corpo d'água (CBHPPA, 2018), o que confirma o alto impacto destes parâmetros na variância dos dados.

Há concentração de solo exposto e áreas de vegetação espaçada no entorno de todos os reservatórios estudados, o que indica alteração nas zonas de mata ciliar, dadas as funções hidrológicas desempenhadas por essas zonas, incluindo a retenção de nutrientes e sedimentos durante o escoamento e a estabilização das margens dos mananciais, o que as tornam imprescindível para a manutenção da qualidade da água (LANDUYT et al., 2019; DUNCANSON et al., 2019). Zhang et al. (2017) mencionaram que a vegetação desempenha um papel importante na resistência aos agentes de erosão, inicialmente estabilizando os agregados do solo, aumentando a permeabilidade do solo, prevenindo os efeitos diretos da precipitação e reduzindo a velocidade superficial. Porém, os reservatórios estudados estão localizados no bioma Caatinga, onde há vegetação caducifólia e arbustos esparsos, que são propícios à erosão pelas chuvas, o que justifica a forte influência da precipitação e erosividade na qualidade das águas destes mananciais.

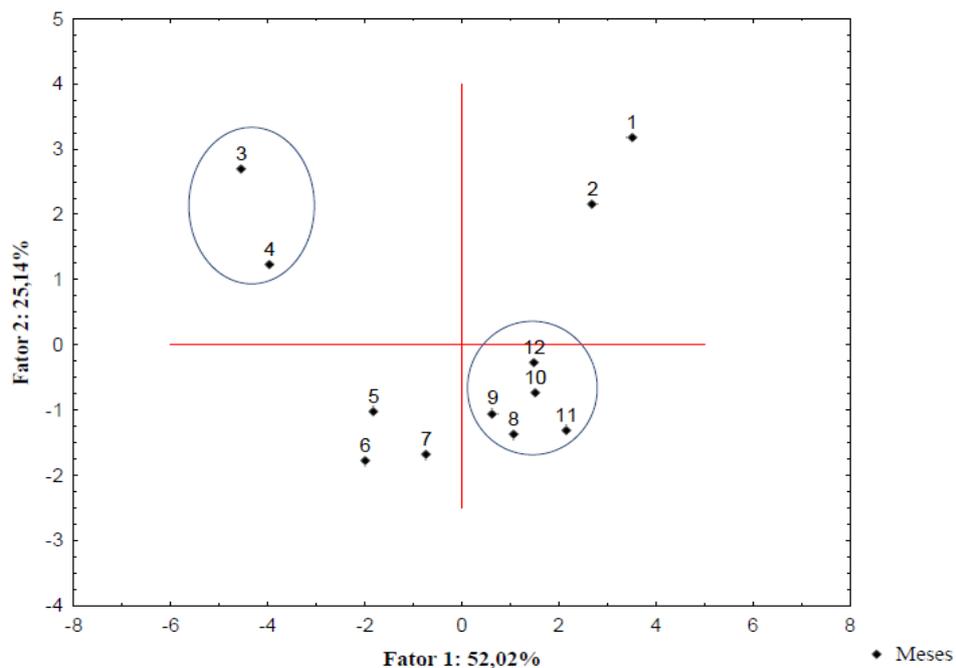
O CP2 está associado a poluentes antrópicos oriundos de descarte de efluentes, bem como ao desmatamento/ solo exposto que acelera o processo de entrada de sedimentos nos reservatórios. A falta de saneamento básico e a impermeabilização do solo provocada por

áreas urbanas são outras problemáticas que acarretam em uma maior contaminação ao corpo receptor. A descarga de águas residuais não tratadas no corpo d'água é a causa de distúrbios negativos na qualidade da água devido à alta carga de matéria orgânica e patógenos, o que prova a alta proporção de coliformes totais e *E. coli* (CP3) em CP2. Segundo o CBHPPA (2018), na BHRPPA-PB, apenas 6,7% da população possui rede de coleta e tratamento de esgoto, indicando que a situação nessa área é muito crítica.

As variáveis pH e oxigênio consumido apresentaram-se com comportamentos heterogênicos entre os seis reservatórios estudados, esse comportamento pode estar associado ao tipo de material ou aos diferentes níveis de concentrações dos efluentes lançados nos corpos hídricos, bem como, pode estar relacionado a baixa variação destes parâmetros ao longo do ano analisado, visto que o pH foi a variável com menor dispersão.

Vale ressaltar que a poluição do esgoto doméstico para o reservatório concentra-se no período das chuvas, quando a rede de drenagem efêmera e intermitente transporta o poluente para os açudes. Esse fato evidencia a necessidade de implantação de práticas de gestão eficazes para evitar o lançamento excessivo de esgoto em mananciais. A figura 15, que exhibe a variância dos dados em relação aos meses do ano entre CP1 e CP2, corrobora com a afirmativa de maior influência na qualidade da água no período das chuvas ao expor três grupos distintos, período de estiagem que vai de agosto a dezembro, os meses com maior volume de chuvas (março e abril) e os demais meses representam os períodos de transições.

Figura 15 – Análise de semelhança e dessemelhança mensal entre CP1 e CP2



Fonte: Autoria própria (2021).

Sousa et al. (2019) também obtiveram resultados semelhantes, no estudo de monitoramento das águas da Bacia do Rio Cuiá, no Estado da Paraíba, a aplicação da ACP mostrou ligação entre o lançamento de efluente de Estação de Tratamento de Esgoto - ETE e parâmetros de qualidade da água, como turbidez, *Escherichia coli* e cor aparente, em particular, no período das chuvas. Pesquisa realizada por Lacerda et al. (2019) na Bacia do Rio Peixe, uma sub-bacia da BHRPPA-PB, a análise multivariada foi usada para determinar os efeitos das atividades humanas na qualidade da água, descobrindo assim que, retirada da cobertura vegetal, processos erosivos, efluentes domésticos e rejeitos de mineração são os principais fatores que perturbaram a qualidade da água nos pontos de amostragem.

6 CONCLUSÕES

A homogeneidade dos dados de todos os 28 postos pluviométricos em estudo foi verificada, assim, os resultados alcançados pelo emprego do método de duplas massas para as séries históricas de 59 anos dos totais mensais precipitados foram considerados homogêneos. Portanto, estas podem ser empregadas em estudos das mais diversas áreas do conhecimento, que não irão apresentar erros quanto a homogeneidade dos dados.

O índice de erosividade médio anual que corresponde ao “fator R” da USLE para a área de estudo foi de $3.275 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$ e classificado como moderado. E através da estatística descritiva dos dados analisada foi possível observar que o período de janeiro a maio é o mais propício a ação da erosividade da chuva.

A análise pedológica, geológica, hipsométrica e de uso do solo foi de grande importância no estudo pois demonstra através dos mapas produzidos os locais mais susceptíveis a ação da erosão bem como as zonas de maior necessidade de ações de gestão para o enfrentamento do problema. Os resultados deixam claro que a erosão do solo devido a ação da chuva interfere diretamente na qualidade da água dos reservatórios de abastecimento, devido as condições naturais de solo, relevo e regime pluviométrico, bem como, devido as atividades humanas da bacia.

Em todos os reservatórios estudados, a análise de componentes principais explicou que a variação total dos dados dos três primeiros componentes principais selecionados foi superior a 80%. As variáveis precipitação e erosividade foram representativas nas duas primeiras componentes principais, apresentando correlação com os parâmetros de qualidade da água.

REFERÊNCIAS

- ALMAGRO, A.; OLIVEIRA, T. P. S.; NEARING, M. A.; HAGEMANN, S. Projected climate change impacts in rainfall erosivity over Brazil. **Scientific Reports**, v. 7, p. 8130, 2017.
- ALMEIDA, A. Q. D., SOUZA, R. M. S., LOUREIRO, D. C., PEREIRA, D. D. R., CRUZ, M. A. S., & VIEIRA, J. S. Modelagem da dependência espacial do índice de erosividade das chuvas no semiárido brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 6, p. 371-379, 2017.
- AMARAL, B. S. D.; DANTAS, J. C.; DA SILVA, R. M.; & DE CARVALHO, J. F. Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 04, p. 691-701, 2014.
- ANA. **Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu / Agência Nacional de Águas**. Brasília: ANA, 2016.
- BAGWAN, W. A. An assessment of rainfall-induced land degradation condition using Erosivity Density (ED) and heatmap method for Urmodi River watershed of Maharashtra, India. **Journal of Sedimentary Environments**, v. 5, p. 279-292, 2020.
- BACK, Á. J.; e POLETO, C. Avaliação do potencial erosivo das chuvas de Florianópolis-SC. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, 2017.
- BACK, A. J.; POLETO, C. Distribuição espacial e temporal da erosividade das chuvas no estado de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, 2018.
- BACK, Á. J.; POLA, A. C.; LADWIG, N. I.; & SCHWALM, H. Erosive rainfall in Rio do Peixe Valley in Santa Catarina, Brazil: Part I-Determination of the erosivity index. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 11, p. 774-779, 2017.
- 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.
- BEGUERÍA, S.; SERRANO-NOTIVOLI, R.; & TOMAS-BURGUERA, M. Computation of rainfall erosivity from daily precipitation amounts. **Science of the Total Environment**, v. 637, p. 359-373, 2018.

- 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(1) p. 079-090, 2009.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F., 2014. **Conservação do solo**. 3 eds. São Paulo: Ícone, p. 355.
- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. **Precipitação**. In: TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: UFRGS, 2007, p. 177-241.
- BLAINSKI, É.; ACOSTA, E.; NOGUEIRA, P. C. P. Calibração e validação do modelo SWAT para simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica do litoral norte catarinense. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 2, p. 226-237, 2017.
- BORRELLI, P.; ROBINSON, D. A.; PANAGOS, P.; LUGATO, E.; YANG, J. E.; ALEWELL, C.; & BALLABIO, C. Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 117, n. 36, p. 21994-22001, 2020.
- BRASIL. **Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1997/lei-9433-8-janeiro-1997-374778-norma-pl.html>>. Acesso em: 05. jan. 2021.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília, DF, 212 p. 2006.
- BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água**. 4 ed. Brasília, DF, 150 p. 2013.
- BRITO, S. S. B., CUNHA, A. P. M., CUNNINGHAM, C. C., ALVALÁ, R. C., MARENGO, J. A., & CARVALHO, M. A. Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 2, p. 517-529, 2018.
- BROMBAL, D.; NIU, Y.; PIZZOL, L.; MORIGGI, A.; WANG, J.; CRITTO, A.; & MARCOMINI, A. A participatory sustainability assessment for integrated watershed management in urban China. **Environmental Science & Policy**, v. 85, p. 54-63, 2018.

CÂMARA NETO, G. **Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos**. 1995. 282 p. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos. 1995.

CANTALICE, J.R.B.; BEZERRA, S.A.; FIGUEIRA, S.B.; INÁCIO, E. dos S.B.; SILVA, M.D.R. de O. Linhas isoerosivas do estado de Pernambuco – 1ª aproximação. **Revista Caatinga**, v.22, p.75-80, 2009.

CANTALICE, J. R. B.; MARGOLIS, E. Características das chuvas e correlação de índices de erosividade com as perdas de solo do agreste de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, p. 275-281, 1993.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 599p.

CBHPPA. **Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó - Piranhas - Açu**, 2018.

Disponível em: <<http://www.cbhpiancopiranhasacu.org.br/site/a-bacia/>>. Acesso em: 05 de dez. 2021.

CECONI, D. E.; PICCILLI, D. G. A.; BERNARDI, F.; & FENSTERSEIFER, P. Análise de vulnerabilidade visando o planejamento ambiental em bacia de captação para abastecimento público. **Ambiente & Sociedade**, v. 21, 2018.

COLVERO, D. A.; GOMES, A. P. D.; TARELHO, L. A. DA C., MATOS, M. A. A. DE, & SANTOS, K. A. DOS. (2018). Use of a geographic information system to find areas for locating of municipal solid waste management facilities. **Waste Management**, 77, p. 500–515, 2018.

CREPANI, E., MEDEIROS, J. D., HERNANDEZ FILHO, P., FLORENZANO, T. G., DUARTE, V., & BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial** (p. 124). São José dos Campos: Inpe, 2001.

DANTAS, J. C., DA SILVA, R. M., & SANTOS, C. A. G.. Drought impacts, social organization, and public policies in northeastern Brazil: a case study of the upper Paraíba River basin. **Environmental monitoring and assessment**, v. 192, n. 5, p. 1-21, 2020.

DASH, C. J.; DAS, N. K.; ADHIKAR, P. P. Rainfall erosivity and erosivity density in Eastern Ghats Highland of east India. **Natural Hazards**, v. 97, p. 727-746, 2019.

DA SILVA, R. M., SANTOS, C. A. G., DA COSTA, J. F. C. B., SILVA, A. M., & NETO, R. M. B. Spatial distribution and estimation of rainfall trends and erosivity in the Epitácio Pessoa reservoir catchment, Paraíba, Brazil. **Natural Hazards**, v. 102, n. 3, p. 829-849, 2020.

DA SILVA JALE, J., JÚNIOR, S. F. A. X., XAVIER, É. F. M., STOŠIĆ, T., STOŠIĆ, B., & FERREIRA, T. A. E. Application of Markov chain on daily rainfall data in Paraíba-Brazil from 1995-2015. **Acta Scientiarum. Technology**, 41, e37186, 2019.

DE ALMEIDA, H. A.; MEDEIROS, E. A. Variabilidade no regime pluvial em duas mesorregiões da Paraíba e sua relação com o fenômeno El Niño Oscilação Sul. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, p. 177-185, 2017.

DE ARAÚJO, I. G. D.; DINIZ, M. T. M.; DANTAS, F. L.; & DA SILVA, F. E. B. Climatologia do Sertão da Paraíba, Brasil. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 2439-2448, 2017.

DE MEDEIROS, I. C.; DA COSTA SILVA, J. F. C. B.; SILVA, R. M.; & SANTOS, C. A. G. Run-off–erosion modelling and water balance in the Epitácio Pessoa Dam river basin, Paraíba State in Brazil. **International journal of environmental science and technology**, v. 16, n. 7, p. 3035-3048, 2019.

DE SOUZA, C. L. O.; NOGUEIRA, V. F. B.; DA SILVA NOGUEIRA, V. Variabilidade interanual da precipitação em cidades do semiárido brasileiro entre os anos de 1984 e 2015. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, n. 4, p. 740-747, 2017.

DOS SANTOS, W. M.; SOUZA, R. M. S.; DE SOUZA, E. S.; DE ALMEIDA, A. Q.; & ANTONINO, A. C. D. Variabilidade espacial da sazonalidade da chuva no semiárido brasileiro. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, p. 368-376, 2017.

DUNCANSON, L., ARMSTON, J., DISNEY, M., AVITABILE, V., BARBIER, N., CALDERS, K., ... & WILLIAMS, M. The importance of consistent global forest aboveground biomass product validation. **Surveys in geophysics**, n. 40, v. 4, p. 979-999, 2019.

DUAN, S.; IWANOWICZ, L. R.; NOGUERA-OVIEDO, K.; KAUSHAL, S. S.; ROSENFELDT, E. J.; AGA, D. S.; & MURTHY, S. Evidence that watershed nutrient management practices effectively reduce estrogens in environmental waters. **Science of the Total Environment**, v. 758, p. 143904, 2021.

DUARTE, M. L.; SILVA FILHO, E. P. Estimativa da erosividade da chuva na bacia hidrográfica do rio Juma com base em dados do satélite TRMM. **Caderno de Geografia**, v. 29, n. 52, p. 45-60, 2019.

FATEHIAN, S.; JELOKHANI-NIARAKI, M.; KAKROODI, A. A.; DERO, Q. Y.; & SAMANY, N. N. A volunteered geographic information system for managing environmental pollution of coastal zones: A case study in Nowshahr, Iran. **Ocean & Coastal Management**, 163, p. 54–65, 2018.

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

FINKLER, N. R.; PERESIN, D.; COCCONI, J.; BORTOLIN, T. A.; RECH, A.; & SCHNEIDER, V. E. Qualidade da água superficial por meio de análise do componente principal. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 4, p. 782-792, 2015.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. Oficina de textos, 2018.

FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M.; & ARAÚJO, W. R. Erosividade na bacia hidrográfica do rio Ipojuca, PE–Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e931974892-e931974892, 2020.

FURTADO, S. S. F. **Índice de erosividade e fator R para Jaboticabal, SP**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista - UNESP, 2019.

GUESRI, M.; MEGNOUNIF, A.; & GHENIM, A. N. Erosividade da chuva e produção de sedimentos no Nordeste da Argélia: estudo de caso da bacia hidrográfica de K'sob. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 13, n. 7, pág. 1-11, 2020.

GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D.; ELESBON, A. A. A. 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.

HAIR JUNIOR J. F.; BLACK W. C.; BABIN B. J.; ANDERSON R. E.; TATHAM R. L. **Análise multivariada de dados**. 8. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

HILGENDORF, Z., WELLS, G., LARSON, P. H., MILLETT, J., & KOHOUT, M. From basins to rivers: Understanding the revitalization and significance of top-down drainage integration mechanisms in drainage basin evolution. **Geomorphology**, v. 3, n. 52, p.107020, 2020.

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

HUAZHEN, L. I.; ZHANG, Q.; SINGH, V. P.; SHI, P.; & SUN, P. Hydrological effects of cropland and climatic changes in arid and semi-arid river basins: a case study from the Yellow River basin, China. **Journal of Hydrology**, v. 549, p. 547-557, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Manuais técnicos em geociências, v. 1, 276 p. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Agropecuário 2017**. Disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br/>. Acessado em 18 de novembro de 2021.

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

ISSAKA, S.; ASHRAF, M. A. Impact of soil erosion and degradation on water quality: a review. **Geology, Ecology, and Landscapes**, v. 1, n. 1, p. 1-11, 2017.

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.

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.

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.

KUNDE, R. J., DE LIMA, A. C. R., DA SILVA, J. L. S., VALGAS, R. A., KOHLER, T. W., & PILLON, C. N. Qualidade física, química e biológica de um Neossolo Litólico sob integração lavoura-pecuária no Bioma Pampa. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, 2020.

LACERDA, G. L. B., NOGUEIRA, V. D. F. B., SILVA, R. M. G., AGRA FILHO, J. B., DA NÓBREGA SANTOS, E., NASCIMENTO, A. H. C., & ALVES, B. B. Temporal analysis of vegetation in the Rio Do Peixe Sub-Basin, Paraíba/Brazil. **Brazilian Journal of Development**, 5(8), 11794-11807, 2019.

LANDUYT, D., DE LOMBAERDE, E., PERRING, M. P., HERTZOG, L. R., AMPOORTER, E., MAES, S. L., ... & VERHEYEN, K. The functional role of temperate forest understorey vegetation in a changing world. **Global Change Biology**, n. 25, v. 11, p. 3625-3641, 2019.

LEE, M. H.; LIN, H. H. Evaluation of annual rainfall erosivity index based on daily, monthly, and annual precipitation data of rainfall station network in Southern Taiwan. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v. 11, n. 6, p. 214708, 2015.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. Oficina de textos, 2016.

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.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. **Bragantia**, v. 51, p. 189-196, 1992.

LUKIĆ, T.; LUKIĆ, A.; BASARIN, B.; PONJIGER, T. M.; BLAGOJEVIĆ, D.; MESAROŠ, M.; JANIĆEVIĆ, S. Rainfall erosivity and extreme precipitation in the Pannonian basin. **Open Geosciences**, v. 11, n. 1, p. 664-681, 2019.

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 TaquariRS. **Tecno-Lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 22, n.1, p.58-65, 2018.

MARTINS, W. L. D.; BLANCO, C. J. C.; & MELO, A. M. Q. Potencial erosivo das chuvas nos estados do Maranhão e Pará via análise da distribuição espacial da erosividade.

Geoambiente On-line, n. 36, p. 1-18, 2020.

MATTOS, L. C.; DE MATTOS, J. L. S.; BLACKBURN, R., DOS SANTOS SANTIAGO, F.; & DE MENEZES NETO, J. B. A saga do algodão no semiárido nordestino: histórico, declínio e as perspectivas de base agroecológica. **Desenvolvimento e Meio ambiente**, v. 55, 2020.

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, Y. R.; e OLIVEIRA, T. M. N. Análise estatística e geoestatística da precipitação média para o município de Joinville (SC). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 2, p. 229-239, 2016.

NEARING, M. A.; YIN, S. Q.; BORRELLI, P.; & POLYAKOV, V. O. Rainfall erosivity: An historical review. **Catena**, v. 157, p. 357-362, 2017.

OCHOA, P. A. A; FRIES, A.; MEJÍA, D.; BURNEO, JI; RUÍZ-SINOGA, JD; & CERDÀ, A. Efeitos do clima, cobertura do solo e topografia no risco de erosão do solo em uma bacia semiárida dos Andes. **Catena**, v. 140, p. 31-42, 2016.

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.

PASQUATTO, M. C. **Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água e no processo erosivo da bacia de captação do Rio Barro Preto, Coronel Vivida-PR**. 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

PECL, G. T.; ARAÚJO, M. B.; BELL, J. D.; BLANCHARD, J.; BONEBRAKE, T. C.; CHEN, I. C.; WILLIAMS, S. E. Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. **Science**, v. 355, n. 6332, 2017.

PERUCHI TREVISAN, D.; DA CONCEIÇÃO BISPO, P.; ALMEIDA, D.; IMANI, M., BALZTER, H.; & EDUARDO MOSCHINI, L. Environmental vulnerability index: An evaluation of the water and the vegetation quality in a Brazilian Savanna and Seasonal Forest biome. **Ecological Indicators**, 112, p. 106163, 2020.

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.

RECANATESI, F.; PETROSELLI, A.; RIPA, M. N.; & LEONE, A. Assessment of stormwater runoff management practices and BMPs under soil sealing: a study case in a peri-urban watershed of the metropolitan area of Rome (Italy). **Journal of environmental management**, v. 201, p. 6-18, 2017.

REDDY, V. R.; SAHARAWAT, Y. S.; E GEORGE, B. Gestão de bacias hidrográficas no sul da Ásia: uma revisão sinótica. **Journal of hydrology**, v. 551, p. 4-13, 2017.

RIBEIRO FILHO, J. C.; DOS SANTOS, J. C. N.; DE ARUAJO NETO, J. R.; DE AQUINO LEMOS FILHO, L. C.; & BRASIL, J. B. Estimativa Das Erosividades Anuais e Mapeamento para o Estado do Ceará/Estimation of erosivity annual and mapping for the State of Ceará. **Revista Geonorte**, v. 8, n. 30, p. 1-15, 2017.

RISAL, A.; LIM, K. J.; BHATTARAI, R.; YANG, J. E.; NOH, H.; PATHAK, R., & KIM, J. Development of web-based WERM-S module for estimating spatially distributed rainfall erosivity index (EI₃₀) using RADAR rainfall data. **Catena**, v. 161, p. 37-49, 2018.

RODRIGUES, J. A. M., de MELLO, C. R., VIOLA, M. R., & RODRIGUES, M. C. Estimativa da vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica na bacia hidrográfica do rio Cervo–MG. **Geociências (São Paulo)**, v. 36, n. 3, p. 531-542, 2018.

SACCONI, C. J. D. **A transposição do rio São Francisco: contradições da presença-ausência da obra ao longo de seus eixos.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2019.

SÁNCHEZ-LOZANO, J. M., & BERNAL-CONESA, J. A. Environmental management of Natura 2000 network areas through the combination of Geographic Information Systems (GIS) with Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods. Case study in south-eastern Spain. **Land Use Policy**, 63, 86–97, 2017.

SANTOS, E. J. D., & Ferreira, C. A. Geologia e recursos minerais do Estado da Paraíba. 94p. 2002.

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.

SANTOS, J. C. N. D.; ANDRADE, E. M. D.; MEDEIROS, P. H. A.; GUERREIRO, M. J. S.; & PALÁCIO, H. A. D. Q. Land use impact on soil erosion at different scales in the Brazilian semi-arid. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 251-260, 2017.

SILVA, R. O. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SOUZA, W. M. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 3, p. 579-589, 2017.

SILVA, A. R.; DOS SANTOS, T. S.; DE QUEIROZ, D. É.; GUSMÃO, M. O.; & DA SILVA, T. G. F. Variações no índice de anomalia de chuva no semiárido. **Journal of environmental analysis and progress**, p. 377-384, 2017.

SILVA, B. K. D. N.; SILVA, M. T.; BARBOSA, E.; SILVA, F. D. D. S.; ROCHA JÚNIOR, R. L. D.; SERRÃO, E. A. D. O.; & SILVA, C. M. S. Avaliação de Extremos de Erosividade Causados pela Precipitação na Bacia do Rio Apodi/Mossoró-RN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, n. AHEAD, 2020.

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.

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

TERASSI, P. M.; BIFFI, V. H. R.; GALVANI, E.; & OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. Estimativas de erosividade e as precipitações diárias extremas na bacia hidrográfica do rio Alto Iguaçu-Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, 2019.

TRINDADE, A. L. F.; OLIVEIRA, P. T. S. D.; ANACHE, J. A. A.; & WENDLAND, E. Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 12, p. 1918-1928, 2016.

VANNI, SERGIO MARCOS. **Modelos de regressão linear e não linear simples: estatística aplicada, inclui solução pela HP12C e EXCEL**. Legnar Informática, 1998.

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

VIOLA, M. R.; AVANZI, J. C.; MELLO, C. R. D.; LIMA, S. D. O.; & ALVES, M. V. G. Distribuição e potencial erosivo das chuvas no Estado do Tocantins. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 2, p. 125-135, 2014.

WALTRICK, P. C.; MACHADO, M. A. D. M.; DIECKOW, J.; OLIVEIRA, D. Estimativa da erosividade de chuvas no estado do Paraná pelo método da pluviometria: atualização com dados de 1986 a 2008. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 256-267, 2015.

WANG, D., YUAN, Z., CAI, Y., JING, D., LIU, F., TANG, Y. FU, X. Characterisation of soil erosion and overland flow on vegetation-growing slopes in fragile ecological regions: A review. **Journal of Environmental Management**, n. 285, p. 112165, 2021.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: USDA, p. 58, 1978.

WU, J.; CHANG, I. S. **Environmental planning**. In: Environmental Management in China. Springer, Singapore, 2020. p. 17-34.

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.

ZHOU, J.; FU, B.; GAO, G.; LÜ, Y.; LIU, Y.; LÜ, N.; & WANG, S. Efeitos da precipitação e restauração da vegetação na erosão do solo em um ambiente semi-árido no Planalto de Loess, China. **Catena**, v. 137, p. 1-11 de 2016.

ZHANG, M., LIU, N., HARPER, R., LI, Q., LIU, K., WEI, X. LIU, S. A global review on hydrological responses to forest change across multiple spatial scales: Importance of scale, climate, forest type and hydrological regime. **Journal of Hydrology**, n. 546, p. 44-59, 2017.

ZHANG, Y., CHAO, Y., FAN, R., REN, F., QI, B., JI, K., & XU, B. Spatial-temporal trends of rainfall erosivity and its implication for sustainable agriculture in the Wei River Basin of China. **Agricultural Water Management**, v. 245, p. 106557, 2021.

ZOLFAGHARY, P.; ZAKERINIA, M.; & KAZEMI, H. A model for the use of urban treated wastewater in agriculture using multiple criteria decision making (MCDM) and geographic information system (GIS). **Agricultural Water Management**, 243, p. 106490, 2021.

APÊNDICE A - VALORES DE PRECIPITAÇÃO MENSAL (MM) PARA SUB-BACIAS DO RIO PIANCÓ

	Municípios											
	Bom Jesus	Conceição	Nova Olinda	Serra Grande	Princesa Isabel	Piancó	Juru	Olho D'Água	Manaíra	Itaporanga	Aguiar	Média
Jan	122,4	109,1	125,4	109,4	100,2	114,3	97,6	132,3	116,5	131,5	126,4	116,8
Fev	139,9	147,7	176,8	156,0	139,5	157,3	141,9	182,3	128,8	161,1	153,0	153,1
Mar	216,6	192,8	247,0	190,4	185,4	216,4	181,6	346,4	178,8	217,8	209,8	216,6
Abr	188,4	139,4	186,2	144,9	160,3	203,2	142,6	274,1	128,7	189,7	202,3	178,2
Mai	85,7	57,0	77,2	47,5	82,8	104,1	75,4	135,0	50,7	88,7	94,1	81,7
Jun	48,7	30,3	31,8	16,6	42,1	36,4	32,1	68,8	23,9	37,4	29,9	36,2
Jul	28,3	16,9	19,0	7,8	31,3	19,1	22,4	25,2	15,1	18,0	17,9	20,1
Ago	9,3	4,0	7,4	2,1	9,9	6,7	6,9	9,4	4,4	5,8	5,1	6,4
Set	6,4	8,9	7,4	1,1	8,3	3,9	4,7	3,5	4,6	11,0	2,4	5,6
Out	9,0	10,4	13,3	5,9	11,4	12,7	12,1	11,4	7,5	12,8	9,2	10,5
Nov	21,7	18,4	18,9	12,1	21,7	18,9	15,7	22,7	20,6	24,0	19,4	19,5
Dez	33,0	45,8	59,8	30,4	53,2	33,8	46,1	37,1	53,4	47,0	38,5	43,5

Fonte: Autoria Própria (2021).

APÊNDICE B - VALORES DE PRECIPITAÇÃO MENSAL (MM) PARA SUB-BACIA DO RIO DO PEIXE

Municípios					
	Engenheiro Ávidos	Bonito de Santa Fé	Faz. Timbaúba	Sousa	Média
Jan	141,3	135,6	86,4	102,4	116,4
Fev	169,9	179,8	117,2	145,2	153,0
Mar	233,7	225,7	149,1	223,3	207,9
Abr	188,4	185,2	113,9	184,2	167,9
Mai	82,1	81,3	52,1	106,6	80,5
Jun	29,6	35,8	31,2	47,2	35,9
Jul	15,6	21,6	15,4	28,2	20,2
Ago	3,6	8,6	6,8	7,7	6,7
Set	4,6	10,7	3,5	3,6	5,6
Out	14,1	18,1	3,9	12,8	12,2
Nov	16,2	25,9	10,4	10,2	15,7
Dez	44,6	54,6	28,5	41,2	42,2

Fonte: Autoria Própria (2021).