



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

ÉLLIDA CILENE DE OLIVEIRA DANTAS

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO DESMATAMENTO NA ALTERAÇÃO
MICROCLIMÁTICA NO MUNICÍPIO DE BANANEIRAS-PB**

POMBAL – PB

2022

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO DESMATAMENTO NA ALTERAÇÃO
MICROCLIMÁTICA NO MUNICÍPIO DE BANANEIRAS-PB**

ÉLLIDA CILENE DE OLIVEIRA DANTAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof.^a Dra. Virgínia de Fatima Bezerra Nogueira

POMBAL-PB

2022

D192a Dantas, Éllida Cilene de Oliveira.

Análise da influência do desmatamento na alteração microclimática no município de Bananeiras-PB / Éllida Cilene de Oliveira Dantas. – Pombal, 2022.

53 f. il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2022.

“Orientação: Profa. Dra. Virgínia de Fátima Bezerra Nogueira”. Referências.

1. Mudanças climáticas. 2. Testes estatísticos não-paramétricos. 3. Precipitação pluviométrica. 4. Uso do solo. I. Nogueira, Virgínia de Fátima Bezerra. II. Título.

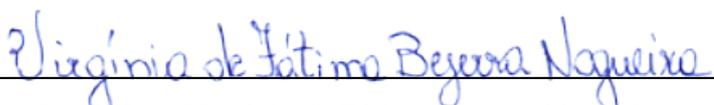
ÉLLIDA CILENE DE OLIVEIRA DANTAS

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO DESMATAMENTO NA ALTERAÇÃO
MICROCLIMÁTICA NO MUNICÍPIO DE BANANEIRAS-PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

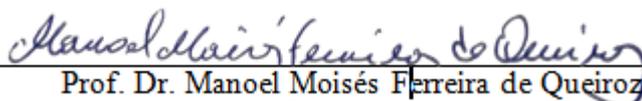
Orientadora: Profa. Dra. Virgínia de Fatima Bezerra Nogueira

BANCA EXAMINADORA



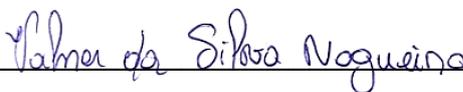
Prof.ª Dra. Virgínia de Fátima Bezerra Nogueira

Orientadora- UFCG/*Campus* de Pombal – PB



Prof. Dr. Manoel Moisés Ferreira de Queiroz

(Examinador interno) - UFCG/*Campus* de Pombal – PB



Dr. Valner da Silva Nogueira

(Examinador externo) - Meteorologista da XWeather

19 de Agosto de 2022

Pombal-PB

*Ao meu amor maior, meu bem mais precioso
minha FAMÍLIA,
por serem minha base de amor,
meu porto seguro.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, primeiramente, por ter esta oportunidade maravilhosa e nunca ter deixado de me dar forças para lutar pelos meus objetivos, que me fez enxergar que os planos D'Ele são maiores que os meus. Yeshua, meu amado, meu alívio e proteção. Porque DEle, por meio DEle e para Ele são todas as coisas. A ele a glória por toda a eternidade! Amém.

À Maria Santíssima, minha mãezinha, por ter me protegido todos esses anos entre idas e vinda de Bananeiras à Pombal. Obrigada por seu colo em todas os momentos difíceis e por sempre me levar ao encontro do seu filho e meu Amado Jesus. Pois, tudo por Jesus e nada sem Maria.

Aos meus pais, Carlos Dantas e Edna Maria pelo apoio durante esses anos longe de casa, por sempre me incentivarem a lutar pelos meus sonhos e que não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida, e me presentearam com o melhor dos presentes: a oportunidade do conhecimento.

As minhas irmãs, Thainá Ellen e Célsulla Maria por sempre me incentivarem a correr atrás dos meus objetivos, e serem o meu apoio nos momentos difíceis e atribulados, sem o apoio de vocês eu não conseguiria.

A minhas avós Naide Dantas (*in memoriam*) e Naide Leite (*in memoriam*), por serem meus exemplos de mulheres guerreiras, de força e humildade.

As minhas tias Maria Eliana de Oliveira (*in memoriam*) e Maria de Fátima Dantas (*in memoriam*), por serem meus exemplos de fé, de força e de amor.

Ao meu namorado, Guilherme Ferreira, por todo o seu amor e companheirismo, sempre esteve ao meu lado e que foi meu parceiro nessa jornada, meu ponto de paz e equilíbrio, muito obrigada meu amor, pela paciência, carinho e atenção, sem você teria sido tudo mais difícil!

As minhas cadelinhas Amora e Flor de Liz, por serem meu alívio e fonte de amor em momentos difíceis, amor que vocês demonstram me deixam feliz e tiram o melhor de mim: sorrisos e afeto. Amora, obrigada por ser minha companheira fiel em Pombal-PB.

Agradeço a todos os mestres do curso de Engenharia Ambiental que compartilharam seus conhecimentos contribuindo para a minha formação e acompanharam a minha jornada. Em especial, a Renilton Costa, Jussara Dantas, Naiara Ângelo, Rosinete Batista, José Cledimário, Helber Almeida, André Sobral e Rick Mangueira.

A minha Orientadora, Virgínia de Fátima, que foi como uma mãe, me acolheu e ajudou com muita dedicação, eternamente grata por todo apoio, pelos conselhos, atenção e paciência durante meus anos de graduação e para a realização trabalho.

Aos meus queridos amigos que fiz na universidade, Mayara Carolino, Thiago Saraiva, Anne Sales, Luzia Keli, Rhyhan Marques, Leandro Gambarra, Camilla Jane, Marina Batista,

Erika Patrícia, Antônio Neto, Johhan Faber, Junior Ferreira, Lis Marinho, Leonardo José, Otanaildo Amaral, Thadeu Formiga, Adla Jamily, Lucianne Lobatto, Ellen Mirely, Helton Sousa, Vinicius Silva, Vinicius Vieira, Daniel Viana e Nararaly Pereira. Que foram minha segunda família em Pombal-PB, agradeço pela amizade vocês são maravilhosos e foram essenciais para realização desse sonho.

Aos meus queridos amigos que fizeram parte das gestões 2019 a 2021 do Centro Acadêmico de Engenharia Ambiental – “Ariano Vilar Suassuna” – CAAM, em especial, a Priscilla Genovez, Bruno Medeiros, Vinicius Moraes, Altair Dantas.

Aos membros da banca de defesa: Prof. Dr. Manoel Moises Ferreira de Queiroz e Dr. Valner da Silva Nogueira, pela grande gentileza de aceitarem o convite para participar da banca, para enriquecer este trabalho.

A universidade, em meio a tanto choro e noites em claro estudando, pela possibilidade de realizar o maior sonho: de conquistar o meu diploma.

E por fim, a todos que contribuíram para a realização deste trabalho, seja de forma direta ou indireta, fica registrado aqui, o meu muito obrigada.

*“Em seu coração
o homem planeja o seu caminho,
mas o Senhor determina
os seus passos.”
Provérbios 16 - 9*

DANTAS, Éllida Cilene de Oliveira. **Análise da influência do desmatamento na alteração microclimática no município de Bananeiras-PB**. 2022. 51 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB. 2022.

RESUMO

O município de Bananeiras-PB está localizado no Brejo Paraibano e teve nos últimos anos um acentuado crescimento da zona urbana. A população de Bananeiras vem sofrendo com uma crise no abastecimento de água há alguns anos, além disso novos condomínios residenciais têm substituído a vegetação nativa por concreto, o que parece ter contribuído para alterar o microclima da cidade. Sendo assim, o presente estudo tem como objetivo identificar se ocorreram alterações no clima local e se estão relacionadas ao desmatamento no decorrer dos anos e analisar a crise hídrica ocorrida no ano de 2021. A metodologia envolveu aplicação da análise de regressão e os testes estatísticos não-paramétricos de Pettitt e de Mann-Kendall para na série histórica do município, foi utilizado sensoriamento remoto para determinar um possível aumento na área desmatada como também analisar o volume da Barragem Canafistula II e averiguar o colapso hídrico do ano de 2021. No qual, foi possível observar uma grande variabilidade temporal na vegetação e precipitação, além de uma tendência na redução na quantidade da precipitação e uma mudança brusca na média histórica da precipitação.

Palavras-chaves: Mudanças climáticas. Testes estatísticos não-paramétricos. Precipitação. Uso do solo.

DANTAS, Éllida Cilene de Oliveira. **Analysis of the influence of deforestation on microclimatic change in the municipality of Bananeiras-PB.** 2022. 51 leaves. Course Conclusion Work (Graduation in Environmental Engineering) - Federal University of Campina Grande, Pombal-PB. 2022.

ABSTRACT

The municipality of Bananeiras-PB is located in Brejo Paraibano and has had a sharp growth in the urban area in recent years. The population of Bananeiras has been suffering from a water supply crisis for some years, and new residential condominiums have replaced native vegetation with concrete, which seems to have contributed to altering the city's microclimate. Therefore, the present study aims to identify whether there have been changes in the local climate and whether they are related to deforestation over the years and to analyze the water crisis that occurred in the year 2021. The methodology involved the application of regression analysis and non-parametric statistical tests from Pettitt and Mann-Kendall to the historical series of the municipality, remote sensing was used to determine a possible increase in the deforested area as well as to analyze the volume of the Canafistula II Dam and to investigate the water collapse of the year 2021. In which, it was possible to observe a great temporal variability in vegetation and precipitation, in addition to a trend in the reduction in the amount of precipitation and a sudden change in the historical average of precipitation.

Key words: Climate changes. Non-parametric statistical tests. Precipitation. Land use.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização e Delimitação da área do Açude Canafistula II.	25
Figura 2 – Mapa de Localização da área de estudo.	27
Figura 3 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo (1999).	38
Figura 4 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo (2011).	39
Figura 5 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo (2021).	40
Figura 6 – Localização dos Condomínios no Município de Bananeiras-PB (2010).	40
Figura 7 – Localização dos Condomínios no Município de Bananeiras-PB (2021).	41
Figura 8 – Localização dos Condomínios no Município de Bananeiras-PB.	42
Figura 9 – Nível de água da Barragem Canafistula II – 2016.	44
Figura 10 – Nível de água da Barragem Canafistula II – 2018.	45
Figura 11 – Barragem Canafistula II – Setembro de 2021.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição da água do Açude Canafistula II.....	25
Tabela 2 – Descrição das regiões do Estado da Paraíba e seus índices anuais de precipitações.	28
Tabela 3 – Parâmetros estatísticos a partir da série de precipitação.....	34
Tabela 4 – Descrição dos Condomínios do Município de Bananeiras-PB.....	37

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Média mensal de precipitação da cidade de Bananeiras-PB.....	33
Gráfico 2 – Total Anual de precipitação.	34
Gráfico 3 – Tendência na precipitação	35
Gráfico 4 – Tendência na precipitação no período chuvoso e seco.....	36
Gráfico 5 – Volume da Barragem Canafistula II – 2011.....	43
Gráfico 6 – Volume da Barragem Canafistula II – 2014.....	43
Gráfico 7 – Volume da Barragem Canafistula II – 2021.....	45

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	16
2.	OBJETIVOS.....	18
2.1	Geral.....	18
2.2	Específicos.....	18
3.	REVISÃO DE LITERATURA.....	19
3.1	Mudanças Climáticas.....	19
3.2	Variabilidade Climática e Precipitação.....	19
3.3	Uso e Ocupação do Solo.....	20
3.4	Sensoriamento Remoto.....	21
3.5	Teste Estatísticos.....	22
3.6	Escassez e Déficit Hídrico.....	23
3.7	Barragem Canafístula II.....	24
4.	MATERIAL E MÉTODOS.....	27
4.1	Localização Área de estudo.....	27
4.2	Climatologia da Precipitação.....	28
4.3	Uso e Ocupação do Solo.....	28
4.4	Método de Mann-Kendall (MK).....	29
4.5	Estatística Descritiva.....	30
4.6	Teste de PETTITT.....	31
4.7	Barragem Canafístula II.....	32
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
5.1	Análise estatística da precipitação.....	33
5.2	Uso e Ocupação do Solo.....	36
5.3	Barragem Canafístula II.....	43
6.	CONCLUSÃO.....	47
	REFERÊNCIAS.....	48

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

MMA- Ministério do Meio Ambiente

ZCIT- Zona de Convergência Intertropical

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IPCC- Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas

INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

MO- Matéria Orgânica

LANDSAT- Land Remote Sensing Satellite

NASA- Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço

USGS- Serviço Geológico dos Estados Unidos

IV- Índices de Vegetação

NDVI- Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

DNOCS- Departamento Nacional de Obras Contra as Secas

SAB- Semiárido brasileiro

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

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

OCP- Operação Carro-Pipa

MK- Mann-Kendall

OMM- Organização Meteorológica Mundial

CAGEPA- Companhia de Água e Esgotos da Paraíba

1. INTRODUÇÃO

O clima é composto por um conjunto de elementos integrados, determinantes da vida, sendo relevante porque sua configuração pode facilitar ou dificultar o estabelecimento do ser humano e o desenvolvimento de suas atividades em diferentes regiões do planeta. Dentre os elementos climáticos, a precipitação desempenha um papel preponderante no desenvolvimento das atividades humanas gerando resultados na economia (SLEIMAN, 2008).

Impactos como desmatamentos, queimadas, emissão de gases e poluentes, que são resultantes das ações antrópicas influenciam o clima local, podendo reduzir a umidade nas áreas atingidas e afetar o fluxo das chuvas no território (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2016). Uma das variáveis meteorológicas mais importante do ciclo hidrológico é a precipitação, além de controlar o mesmo, possui a capacidade de influenciar várias atividades humanas, a exemplo da agricultura, a pesca, a pecuária, bem como recursos naturais, alterando sua paisagem e meio ambiente (PEREIRA, 2009, MEDEIROS et al., 2014).

Segundo a classificação Köppen-Geiger (1936) o Nordeste brasileiro é caracterizado pelo clima, quente e seco, com temperaturas variáveis, e a distribuição da precipitação pluviométrica é irregular. A partir dessa precipitação irregular, faz-se necessário o monitoramento por meio do emprego de índices climáticos. Com base neles, pode-se desenvolver um sistema de acompanhamento das características dos períodos secos e chuvosos, com informações anuais, sazonais ou mensais. Dessa forma é possível conhecer profundamente a climatologia de uma região, e verificar os impactos que o clima global causa sobre a distribuição pluviométrica local, ou seja, a regionalização da precipitação para determinado local (SILVA, 2009).

Assim a variabilidade climática de uma região é de grande importância para inúmeras atividades socioeconômicas, especialmente o abastecimento de água urbano. Existem fortes indícios de que o clima está de fato mudando (EMBRAPA, 2017). As décadas de 1990 e 2000 foram as mais quentes dos últimos 1.000 anos. As projeções do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) indicam que nos próximos 100 anos poderá haver um aumento da temperatura média global entre 1,8°C e 4,0°C, e um aumento do nível médio do mar entre 0,18 m e 0,59 m, o que pode afetar significativamente as atividades humanas e os ecossistemas terrestres. (INPE, 2017).

Com isso as mudanças climáticas no Brasil podem agravar dificuldades de acesso água. As mudanças climáticas combinadas na forma de falta ou pouca chuva, com altas temperaturas e altas taxas de evaporação e a competição por recursos hídricos pode levar a catastrófico, e os

mais vulneráveis são os agricultores familiares que vivem na região semiárida do Nordeste. Os extremos climáticos associados à degradação do solo podem levar a aceleração da desertificação em regiões semiáridas; portanto, é possível que as secas mais intensas e duradouras aumentem ainda mais a exposição e vulnerabilidade das populações que vivem nessas regiões (MARENGO, et al., 2011).

Compreender o impacto da vegetação no clima significa compreender a importância das florestas na manutenção do equilíbrio ambiental. A remoção da cobertura vegetal pode levar a mudanças imediatas no clima, que por sua vez podem alterar a presença de árvores em outros lugares, criando um verdadeiro efeito dominó. Portanto, é muito importante lutar pela proteção da flora natural da Terra (PENA, 2018).

Por fim, ressalta-se a importância de estudos climatológicos de forma que, só assim pode-se conhecer a variabilidade climática de uma região e tentar se adaptar as condições ambientais cíclicas dos períodos chuvosos ou secos. Além disso, com esse estudo pode-se fornecer dados importantes para os gestores do município, melhorando, desta forma, o gerenciamento do abastecimento da água, ações de adaptação e mitigação para o uso e ocupação do solo, visando a qualidade de vida da população.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliação da alteração da precipitação no município de Bananeiras buscando relação com o desmatamento ocorrido ao decorrer dos anos e realizar uma análise da crise hídrica ocorrida no ano de 2021.

2.2 Específicos

- Realizar a climatologia da precipitação do município de Bananeiras;
- Analisar as alterações de uso e ocupação do solo em Bananeiras;
- Usar os testes não-paramétricos de Mann-Kendall e Pettitt para determinar se ocorreu alteração na tendência de precipitação e qual o ano que a média teve alteração brusca;
- Analisar o volume da Barragem Canafistula II e se houve mudanças significativas no Abastecimento de Água e crise hídrica ocorrida em 2021.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Mudanças Climáticas

As mudanças climáticas ou eventos extremos de tempo ou clima são anormalidades que ocorrem em escalas de tempo que podem variar de dias até milênios, esses eventos de curta duração têm tido maior interesse para os cientistas na área de clima, devido os modelos climáticos, em alguns casos, indicarem aumento maiores frequências e intensidades desses eventos (MARENGO et al., 2016).

Esses eventos climáticos extremos podem ser observados através da redução de dias frios, aumento da duração das ondas de calor, elevação na frequência de chuvas intensas ou de secas severas os quais causam expressivos impactos na sociedade e nos ecossistemas e as consequências são sentidas no ambiente econômico, ambiental e social (MEEHL et al., 2000; FRICH et al., 2002).

3.2 Variabilidade Climática e Precipitação

O Nordeste brasileiro é uma região com características únicas, uma delas é a alta variabilidade interanual em função de um conjunto de fatores fisiográficos e de sistemas atmosféricos de diferentes escalas, particularmente na precipitação, ocasionando assim anos extremamente secos alternando-se com anos chuvosos (OLIVEIRA et al., 2014; 2017; CAVALCANTI, 2009).

A precipitação pluviométrica e a sua elevada variabilidade espacial e temporal, está relacionada aos padrões de larga escala, como a circulação geral da atmosfera, a relação presente entre os oceanos e atmosfera, os atributos da topografia e aos fatores geográficos. Dessa forma, a maioria das regiões sofrem com as variações nas precipitações totais mensais e anuais, bem como sua alternância irregular espacial, em que determinada área conta com meses de abundantes chuvas e outras há ocorrência de um número maior de meses secos. (ALMEIDA; SOUZA NETO; SILVA, 2005).

À irregularidade das chuvas no nordeste brasileiro resulta em graves problemas como as secas severas e prolongadas, assim como chuvas intensas causando inundações (DOS SANTOS FERREIRA et al., 2017). Os índices pluviométricos e no número de dias chuvosos para a região semiárida tiveram uma redução, além de um acréscimo de temperatura. Além

disso, essa região apresenta uma alta evapotranspiração, o que intensifica a problemática (ASSIS et al., 2015; CARVALHO et al., 2018).

Assim a precipitação é importante para controlar o ciclo hidrológico, além disso, é uma das variáveis climáticas que desempenha maior influência na qualidade ambiental, afetando direta ou indiretamente a população, a economia e o meio ambiente (FARIAS, 2012).

Um outro fator que interfere no regime hídrico de uma região, é sua característica fisiográfica. A exemplo da vegetação que é fundamental para o clima, podendo influenciar tanto no albedo, que corresponde a medida da quantidade de radiação solar refletida de um objeto ou alvo com relação a quantidade de energia incidente, como também nas umidades e nas variações de temperatura. Em outras palavras, as alterações climáticas de um local e/ou de outras partes do planeta, tem interferência direta da alteração da cobertura vegetal de uma determinada região. Uma maior cobertura vegetal, influencia na quantidade de umidade presente na atmosfera, conseqüentemente, um aumento na umidade do ar em decorrência da vegetação, causa uma maior incidência de chuvas, devido a condensação da umidade (PENA, 2018).

3.3 Uso e Ocupação do Solo

O solo é um meio biótico composto por microrganismos, de sólidos e interações físicas com gases provenientes de fontes minerais e orgânicas, que apresentam camadas horizontais, em que a partir do estudo das características desses horizontes, é realizada sua classificação e diferenciação dos seus tipos distintos. Entre essas características, estão suas propriedades estruturais, de acordo com a disposição de suas partículas e agregados. O conhecimento dos seus atributos permite a avaliação dos índices qualitativos e de preservação do solo. (SARAIVA, 2022 apud ALMEIDA et al., 2018).

Os microrganismos presentes no solo apresentam características diversas quanto ao tamanho e forma de metabolismo, são de vital importância para o equilíbrio do meio ambiente. Os microrganismos desempenham funções importantes como ciclagem de nutrientes, a mineralização da Matéria Orgânica (MO) partir da decomposição da mesma, ativação da biomassa microbiana, melhora os atributos físicos e a qualidade do solo no que diz respeito a agregação, porosidade e infiltração da água, desempenhando papéis tanto na decomposição como no progresso das condições físico-químicas supracitadas almejadas para o solo para que novas espécies possam habitar a área de estudo (ALMEIDA et al., 2017).

O processo de industrialização como uma atividade urbana, fez modificar completamente a estrutura das cidades. Tal atividade aumentou gradativamente o processo de migração da zona rural para a zona urbana, em virtude da oferta de emprego e à procura por mão-de-obra barata nos setores terciários e secundários. Devido a isso, a população nos centros urbanos aumentou e a procura por moradia acelerou ainda mais o processo de urbanização, que em muitas cidades ocorreu de forma desordenada por não possuírem planejamento adequado para suportar o rápido crescimento (SOUZA, 2014).

Nos países em desenvolvimento, a desorganização toma proporções maiores pela falta de gestão e planejamento do uso do solo. Esse fato influenciou na configuração de exclusão e segregação espacial e social nesses países (SILVA e WERLE, 2007). No Brasil, a expansão das áreas urbanas seguiu a tendência do capital especulador e degradante que intensificar a vulnerabilidade socioambiental dessas áreas. (SANTOS, 2011).

O uso do solo é um componente fundamental a ser considerado quando se intenciona mensurar a acessibilidade às atividades urbanas de cunho econômico, educacional, de saúde e sociocultural, dado que alterações na diversidade de usos do solo influenciam as decisões de deslocamentos. (ARAGÃO et al., 2022 apud GEURS e VAN WEE, 2003).

Além disso, é importante lembrar também que a crescente degradação do ambiente urbano, associado ao crescimento da cidade, a sua magnitude e densidade e o crescimento da população nos grandes centros, introduz elementos físicos e químicos na atmosfera que alteram as condições naturais precedentes do seu clima. Sendo assim, pode-se considerar que os problemas relacionados à atmosfera urbana se tornam mais evidentes pela precariedade da qualidade do ar, pela presença das ilhas de calor, das chuvas ácidas, das ilhas de frio, entre outros, que de tal forma influi na qualidade ambiental desses espaços (LIMA et al., 2012).

A aplicação do uso do sensoriamento remoto de imagens orbitais, é uma ferramenta eficiente para identificar mudanças no uso e cobertura do solo e transformações provocadas nas paisagens em um determinado local e escala 24 temporais. Um dos componentes da superfície terrestre que vem sendo bastante estudado por meio do sensoriamento remoto é a cobertura vegetal (SANTOS, 2016).

3.4 Sensoriamento Remoto

O geoprocessamento é uma área de estudo extensa, que envolve diversas tecnologias de tratamento e manipulação de dados geográficas, por meio de programas computacionais. O uso dessas tecnologias tem como intuito o mapeamento e monitoramento as características

biofísicas da Terra assim como as alterações provocadas por ações antrópicas, sendo utilizadas nos últimos anos para identificar áreas que necessitam de um manejo adequado, colaborando para estabelecer condições de uso sustentável, além de contribuir no estudo de áreas degradadas em diversos tipos de espaços (BORTOLUZZI et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2012).

Land Remote Sensing Satellite (LANDSAT) é um programa de satélite de sensoriamento remoto terrestre, desenvolvido pela Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (NASA) no final da década 60, visando coletar dados sobre os recursos naturais renováveis e não renováveis da superfície terrestre, além de fazer o mapeamento em alta resolução da superfície (PRATES, 2014).

O programa foi gerenciado pela NASA e pela Serviço de Geologia dos Estados Unidos (USGS) que é uma instituição de estudos geológicos dos Estados Unidos, e participou do lançamento de oito satélites. O primeiro lançamento foi do satélite ERTS-1, no ano de 1972, e teve sequência com os LANDSAT 2, 3, 4, 5, 7 e 8, sobre tudo o LANDSAT 6 teve falha de lançamento e não pode ser operado (EMBRAPA, 2013).

São inúmeras as possibilidades de aplicação dos dados de sensoriamento remoto, porém, a análise, detecção e monitoramento de cobertura vegetal vem ganhando destaque entre os estudos relacionados ao tema (BRAS; ÁGUAS; GARCIA, 2015). A aplicabilidade de Índices de Vegetação (IV) no tratamento digital de imagens de sensoriamento remoto tem proporcionado informações a respeito da presença e condições da cobertura vegetal monitorada (FONTANA; BERLATO; BERGAMASCH 1998).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) tem sido bastante utilizado em estudos de sensoriamento remoto que tem por objetivo analisar, caracterizar e monitorar a cobertura vegetal de determinado território (RAMOS, 2016). De acordo com Ponzoni e Shimabukuro (2012) o NDVI é um dos índices mais empregados nos estudos de IV, visto que apresenta de forma simples e rápida a identificação de áreas vegetadas, e é caracterizado por dispor de uma escala de variação linear entre -1 e 1, diretamente ligado ao tipo a densidade e umidade da superfície, determinando assim a condição e quantidade da vegetação (BRITO et al., 2015).

3.5 Teste Estatísticos

É fundamental ter conhecimento sobre as alterações no regime pluviométrico resultantes das mudanças climáticas. Dessa forma, a gestão e o gerenciamento de recursos hídricos são

primordiais na mitigação dos impactos ambientais para perpetuar o equilíbrio socioambiental (WANDERLEY, et al 2013).

Com o passar dos anos as alterações no clima estão modificando os regimes pluviométricos, com isso há uma crescente necessidade em compreender como essas alterações ocorrem. Todavia, a condição inicial para este entendimento seria estudar a homogeneidade de séries temporais e a permanência de tendências (BACK, 2001). Bem como é indispensável empregar o uso uma estatística probabilística que venha definir a ocorrências de fenômenos extremos de precipitação, pois através deste recurso poderá reduzir vulnerabilidade humana frente aos impactos ambientais (BLAIN; MORAES, 2011).

O teste de Mann-Kendall, proposto inicialmente por Sneyers (1975), considera que, na hipótese de estabilidade de uma série temporal, a sucessão de valores ocorre de forma independente, e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma (série aleatória simples). De acordo com Goossens & Berger (1986) o teste de Mann-Kendall é o método mais apropriado para analisar mudanças climáticas em séries climatológicas e permite também a detecção e localização aproximada do ponto inicial de determinada tendência.

Inicialmente proposto por Mann (1945) e Kendall e Stuart (1967), o teste não paramétrico de Mann-Kendall (MK), quando comparado a outros métodos paramétricos, é bastante robusto quanto a desvios da normalidade e não-estacionaridade dos dados, justificando o fato do mesmo ser muito utilizado em estudos de tendências em séries temporais (SOUZA, 2018).

Como foi observado por Berger (1986) o teste de Pettitt (PETTITT, 1979) é um dos métodos mais apropriados para observar mudanças climáticas, pois, identifica de forma precisa, o local inicial de uma determinada tendência em um parâmetro climatológico.

Com base em outros estudos, que o teste de Pettitt, se sobressai entre os outros métodos, em virtude de ser o mais sensível à distribuição heterogênea e a dados adulterados, sobretudo em pesquisas de temperatura, precipitação e vazão. O autor, relata ainda, que as mudanças abruptas presentes em séries temporais podem ser oriundas da ação antrópica, tal como, mudanças do local da medição e troca de instrumentos, como também, resultantes da alteração climática. (SOUZA, 2018 apud WANDERLEY et al., 2013).

3.6 Escassez e Déficit Hídrico

No Brasil o século XX ficou marcado de diversas formas, dentre elas, as secas no Nordeste do país, as mesmas se estabeleceram, e perduraram por muitos anos e assim ficaram

conhecidas como uma adversidade do Nordeste. Após as duas primeiras décadas, as estiagens passaram a ser tratadas e enfrentadas por instituições criadas com a específica missão de minimizar os seus efeitos sobre a população, a exemplo do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) criado em 1909 (CARVALHO, 2012).

Em regiões de secas frequentes, o estudo de séries temporais e variações espaciais de precipitação são fundamentais para o entendimento de sua distribuição e controle dos recursos hídricos, pois a partir do conhecimento do estudo, é possível planejar e gerenciar os recursos, proporcionando ações que minimizem e até evitem problemática de escassez de água (ANJOS et al., 2017).

Para Sampaio (2003) a seca é um fenômeno natural reversível, de ocorrência esporádica ou repetida numa periodicidade complexa e não esclarecida. Nestes períodos em que os reservatórios não conseguem suprir a necessidade da população, o abastecimento de água ocorre por meio de carros-pipa, que frequentemente se torna a única opção para os núcleos urbanos e comunidades rurais residentes no Semiárido Brasileiro (SAB). Essa forma de oferta de água é uma ação de mitigação emergencial para enfrentar os impactos negativos decorrentes da escassez hídrica. (MACHADO et al., 2017).

Muitos impactos ambientais podem ser observados nas áreas urbanas e neste intuito podem-se destacar os recursos hídricos que sofrem graves pressões, sobretudo em virtude do elevado nível de urbanização e industrialização, que, em muitos casos, ocorre de forma inadequada comprometendo a qualidade dos ecossistemas localizados nas cidades. Nesse cenário de degradação antrópica e consequentes impactos ambientais, a população vivencia uma situação de risco, sendo vulneráveis à essa exposição (LIMA; 2011; MEDEIROS; SILVA JÚNIOR, 2016).

No Brasil, a poluição dos cursos hídricos está, normalmente, associada ao lançamento de efluentes não tratados, à não preservação das matas ciliares, aos processos erosivos que levam à perda de solo, ao assoreamento das águas, entre outros fatores (PIERONI et al., 2015).

3.7 Barragem Canafistula II

O açude Canafistula II, localizado no município de Borborema, é um dos 124 açudes públicos monitorados pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – (AESAs) e está inserido no sistema hídrico da bacia do Rio Mamanguape. (AESAs, 2010). O reservatório possui capacidade máxima de 4.102.626 m³, área inundada de 36,64 ha

(0,3664 km²), profundidade máxima de 30 metros e tendo uma demanda de água para 117.058 usuários, (IBGE, 2010).

Figura 1 – Localização e Delimitação da área do Açude Canafistula II.



Fonte: Adaptado do *Google Earth* pro, 2022.

A sua adutora de 120,62 Km permite a distribuição de água para mais dois territórios com nove cidades, incluindo cinco distritos. Conforme a tabela abaixo observa-se a distribuição de abastecimento de água realizada pela barragem Canafistula II.

Tabela 1 – Distribuição da água do Açude Canafistula II.

Cidades	Distritos
Araruna	-
Bananeiras	-
Cacimba de Dentro	Barreiras e Logradouro
Damião	-
Dona Inês	Cozinha
Logradouro	-
Riachão	-
Solânea	-
Tacima	Bola e Cachoeira

Fonte: Adaptado PEREIRA FILHO et al., 2015.

Após a configuração de uma situação de seca, surge a questão de como evitar os impactos negativos às populações, especialmente em relação ao acesso à água. Nesse caso, uma iniciativa implantada como forma de diminuir a vulnerabilidade das famílias rurais e de pequenos núcleos urbanos, frente ao fenômeno da seca que se iniciou em 2011, merece destaque: a Operação Carro-Pipa (OCP) (DINIZ; LIMA, 2017).

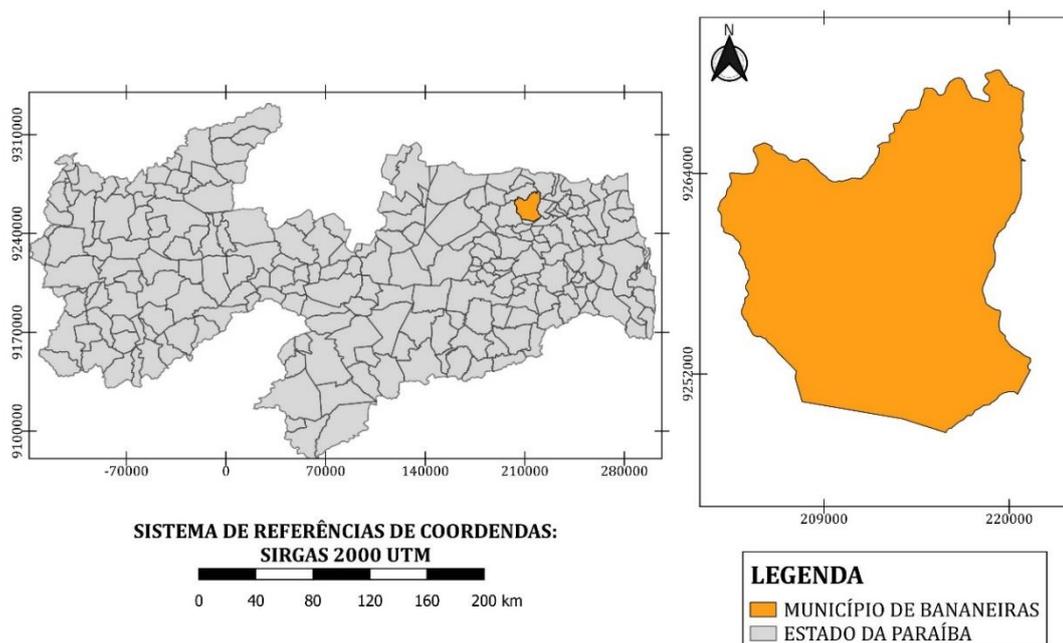
A OCP é um programa de mútua cooperação técnica e financeira entre o Ministério da Integração Nacional e o Ministério da Defesa (BRASIL, 2012), gerenciado pelo Ministério da Integração e operacionalizado pelo Exército Brasileiro para realização de ações complementares de apoio às atividades de distribuição de água às populações atingidas por estiagem e seca na região do SAB.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização Área de estudo

A Paraíba está localizada na região nordeste do Brasil compreendendo uma área equivalente à 56.372 km². O município de Bananeiras está localizado no Brejo do estado da Paraíba e apresenta uma área de 258 km², sua localização geográfica está inserida na latitude de 06°46' ao Sul e sua longitude de 35°38' a Oeste de Greenwich com uma altitude média em relação ao nível do mar de 552,0 metros (SANTOS et al., 2013). Está inserido na unidade geoambiental do Planalto da Borborema, que apresenta relevo movimentado, com vales profundos e estreitos dissecados. Inserido nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Curimataú os principais tributários são os rios Curimataú, Dantas e Picadas e os riachos: Sombrio e Carubeba, todos de regime intermitente. Conta ainda com os recursos do açude da Piaba (IBGE, 2010).

Figura 2 – Mapa de Localização da área de estudo.



Fonte: DANTAS, 2022.

O período chuvoso se inicia entre janeiro/fevereiro se estendendo até agosto, período seco ocorre de setembro a dezembro. As chuvas da região sofrem influência das massas de ar Atlânticas de Sudeste e do Norte além de possuir uma distribuição pluviométrica anual muito irregular 1.174,7 mm, apresenta uma temperatura máxima anual de 27,0°C, sua temperatura

mínima anual é por volta 18,8°C e a temperatura média de 22,0°C e sua umidade relativa do ar anual são de 63,2% (AESAs, 2011).

4.2 Climatologia da Precipitação

O estado da Paraíba é o Estado do Nordeste que apresenta uma das maiores variabilidades espaço-temporal das chuvas (ARAÚJO, 2003). Na tabela 2 estão as diversas regiões da Paraíba e seus respectivos índices anuais de precipitação, tendo o Litoral mais chuvoso e os menores índices de precipitação localizando-se no Cariri/Curimataú.

Tabela 2 – Descrição das regiões do Estado da Paraíba e seus índices anuais de precipitações.

Regiões	Mínima (mm)	Máxima (mm)
Cariri/Curimataú	300	500
Sertão e Alto Sertão	700	900
Brejo e Agreste	700	1.200
Litoral	1.200	1.600

Fonte: Adaptado de FRANCISCO et al., 2015.

Dessa forma foi realizada a coleta e análise dos dados pluviométricos fornecido pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs) e também será utilizado o programa Excel. No diagnóstico foram utilizados totais mensais e anuais, as médias mensais e anuais do período, e os valores máximos e mínimos absolutos da série histórica de 1994 a 2021.

4.3 Uso e Ocupação do Solo

Nesta etapa da pesquisa foi utilizado o *Softwares* QGIS 3.22, caracterização ambiental e/ou descrição da área em estudo, na qual compõe o georreferenciamento do local, a coleta de imagens de satélites obtidas através do site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) e dados da plataforma do *Google Earth Pro*, mostrando a delimitação da área, a parcela que compreende o uso e ocupação do solo município de Bananeiras.

4.4 Método de Mann-Kendall (MK)

O teste de Mann-Kendall é um teste não-paramétrico (MANN, 1945; KENDALL, 1975), sugerido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para avaliação da tendência em séries temporais de dados ambientais (SILVA et al., 2010).

A estatística do teste é a seguinte (SILVA *et al.*, 2010):

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(x_i - x_j) \quad (1)$$

Em que: x_j são os dados estimados da sequência de valores, n é o comprimento da série temporal e o sinal $(x_i - x_j)$ é igual a -1 para $(x_i - x_j) < 0$, 0 para $(x_i - x_j) = 0$, e 1 para $(x_i - x_j) > 0$.

O teste de Mann-Kendall é um teste regularmente usado para avaliar tendência de séries temporais de dados ambientais com bastante eficiência. Kendall (1975) mostrou que S é normalmente distribuída com média $E(S)$ e variância $\text{Var}(S)$, para uma situação na qual pode haver valores iguais de x , são calculadas pelas equações:

$$E[S] = 0 \quad (2)$$

$$\text{Var}[S] = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=t}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} \quad (3)$$

Em que: (t_p) é número de dados com valores iguais num certo grupo (p th) e q é o número de grupos contendo valores iguais na série de dados num certo grupo p . O segundo termo representa um ajuste para dados censurados.

O teste estatístico parametrizado (ZMK) é computado pela seguinte equação:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{para } S > 0; \\ 0 & \text{para } S = 0; \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{para } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

A presença de uma tendência estatisticamente significativa é avaliada utilizando o valor de Z . Essa estatística é usada para testar a hipótese nula, ou seja, que nenhuma tendência existe. Um valor positivo de ZMK indica um aumento da tendência, quando negativa indica uma tendência decrescente (SILVA et al., 2010).

Para testar a tendência crescente ou decrescente no nível de significância de p , utiliza-se a tabela da distribuição normal cumulativa padrão. Portanto, a hipótese nula é rejeitada se o valor absoluto de Z for maior que $Z_{1-p/2}$. Os níveis de significância de $p = 0,01$ e $0,05$ foram aplicados neste estudo. Uma estimativa não-paramétrica para o valor da inclinação da tendência e obtida de acordo com Silva et al. (2010):

$$\beta = \text{Median} \left[\frac{(x_j - x_i)}{(j - i)} \right], \text{ para } i < j \quad (5)$$

Em que: x_j e x_i são os pontos dados medidos no tempo j e i , respectivamente.

4.5 Estatística Descritiva

Os parâmetros da estatística descritiva, como médias, desvio padrão, coeficiente de variação e análise de regressão foram obtidos utilizando-se as seguintes equações, respectivamente:

$$\bar{x} = \sum_{i=0}^n \frac{x_i}{n} \quad (6)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (7)$$

$$CV = \frac{S}{\bar{x}} \quad (8)$$

$$Y = ax + b \quad (9)$$

Em que:

\bar{x} é a média; x_i são os valores da variável; n se refere a quantidade da variável da série; S é o desvio padrão; CV é o coeficiente de variação; Y é a precipitação; x é o tempo e “ a ” e “ b ” são coeficientes da regressão calculados pelo método dos mínimos quadrados.

4.6 Teste de PETTITT

Para determinar o ano que houve o ponto de mudança brusca na série histórica de precipitação, foi empregada a estatística não-paramétrica de Pettitt. Esse teste será utilizado como um dos indicadores de alterações no microclima de Bananeiras. De acordo com Back (2001) este aplica uma versão do teste de Mann-Whitney, em que consiste verificar se duas amostras X_1, \dots, X_t e X_{t+1}, \dots, X_T são da mesma população.

Conforme Pettitt (1979) a estatística $U_{t,T}$ pode ser calculada aplicando a seguinte equação:

$$U_{t,T} = U_{t-1,T} + V_{t,T} \quad (10)$$

Para $t=2, \dots, T$;

$$V_{t,T} = \sum_{j=1}^T (\text{sgn}(X_t - X_j)) \quad (11)$$

No momento que não houver laços nos dados, $V_{t,T} = T+1-2R_t$, onde R_t é ordem X_t na amostra de T observações. Em que, a estatística $K(t)$ identifica o ponto em que ocorreu alteração brusca na média da série temporal, descrita pela equação (12) a seguir (NOGUEIRA, 2015).

$$K(t) = \text{MAX } 1 \leq t \leq T |U_{t,T}| \quad (12)$$

No qual, o nível de significância para 5% foi calculado aproximadamente pela equação abaixo:

$$p \cong 2e^{-\frac{6(K(t))^2}{T^3+T^2}} \quad (13)$$

O ponto de mudança brusca é o t onde ocorre o máximo de $k(t)$. Os valores críticos de K podem ser calculados pela equação:

$$K_{crit} = \pm \sqrt{\frac{-\ln(\frac{p}{2})(T^3+T^2)}{6}} \quad (14)$$

4.7 Barragem Canafistula II

Foi realizada uma análise do volume do açude Canafistula II do ano de 2000 a 2021 afim de observar principalmente o abastecimento de água, através de dados obtidos da AESA.

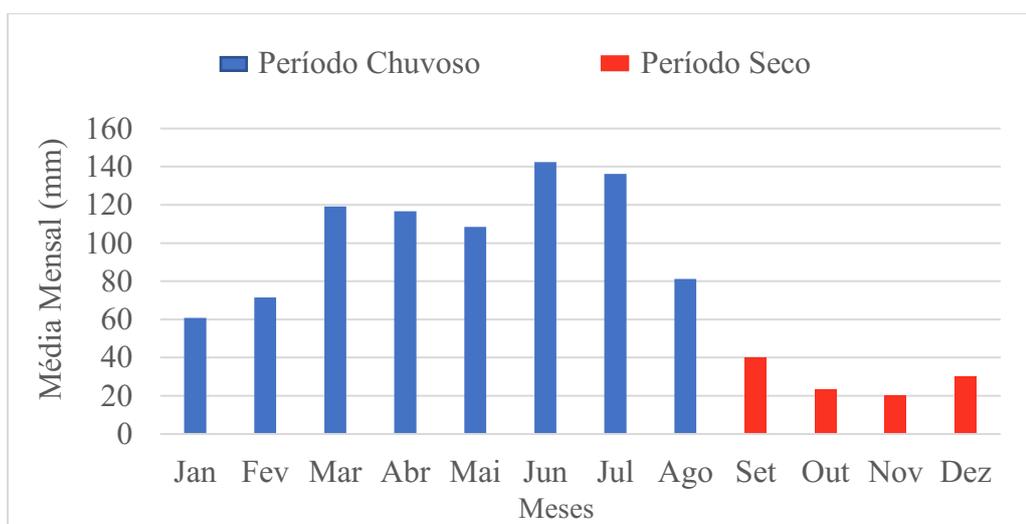
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise estatística da precipitação

A realização da análise da climatologia compreendendo um período de 28 anos de dados pluviométricos mensais de 1994 a 2021. Verificou-se uma alta variabilidade de precipitação ao longo do ano no município de Bananeiras-PB.

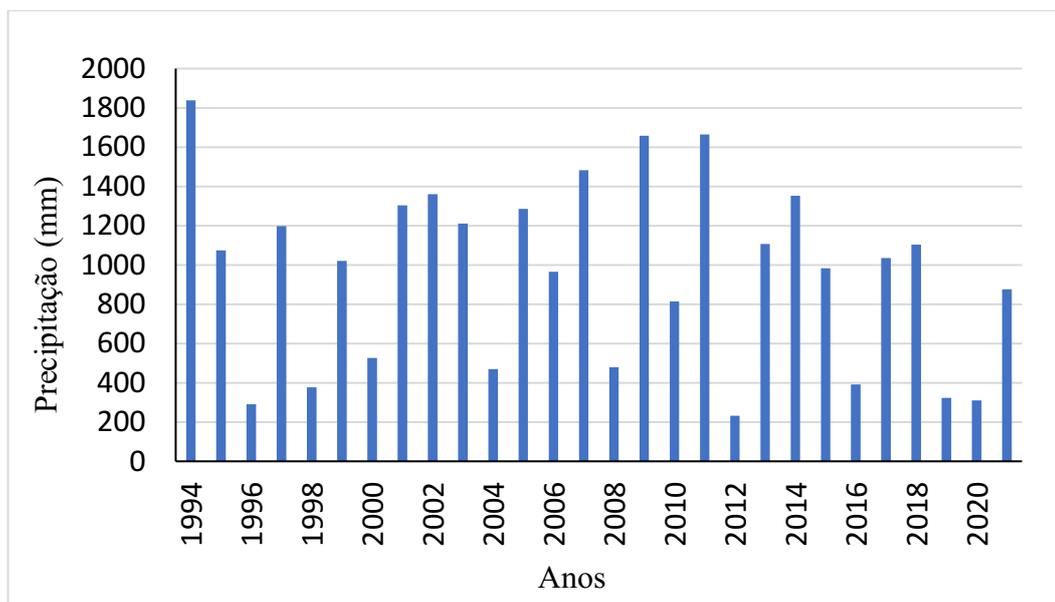
Com base no histograma (gráfico 1) nota-se dois períodos bem definidos e distintos: o chuvoso e o seco. O período chuvoso compreende os meses de janeiro a agosto, com precipitação média mensal próximo a 120 mm, onde o mês de junho se destaca com a maior média mensal de 142,5 mm. Já o período seco é caracterizado pelos meses de setembro a dezembro, tendo setembro o maior valor médio mensal com 39,7 mm, sendo novembro o mês mais seco do ano, com média de 20 mm.

Gráfico 1 – Média mensal de precipitação da cidade de Bananeiras-PB.



Fonte: DANTAS, 2022.

Como observado no gráfico 2, o ano mais chuvoso foi o ano de 1994 com acumulado de 1838,1 mm e o ano de 2012 sendo o mais seco, com total de 232,1 mm.

Gráfico 2 – Total Anual de precipitação.

Fonte: DANTAS, 2022.

A partir da Tabela 3, é possível analisar que o coeficiente de variação apresentou variações superiores a 60% para todos os meses, o que representa uma extensa variabilidade na precipitação da cidade de Bananeiras, ao longo do ano. Destacam-se os valores de desvio padrão, onde apresentaram os maiores valores para os meses do período chuvoso.

Tabela 3 – Parâmetros estatísticos a partir da série de precipitação.

Meses	Parâmetros		
	Média (mm)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
Jan	60,9	52,3	0,86
Fev	71,5	49,9	0,70
Março	119,1	76,2	0,64
Abril	116,7	81,4	0,70
Mai	108,5	81,5	0,75
Junho	142,5	118,5	0,83
Julho	136,2	95,3	0,70

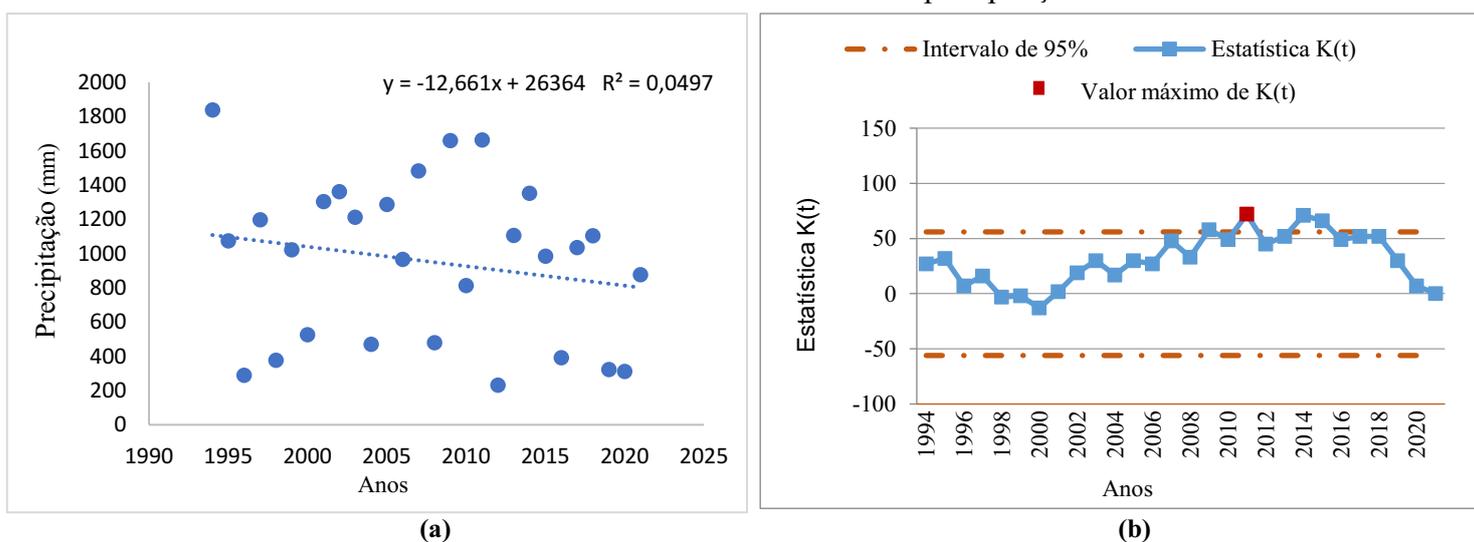
Agosto	81,2	58,9	0,73
Setembro	39,7	42,4	1,07
Outubro	23,3	34,9	1,49
Novembro	20,0	32,4	1,62
Dezembro	30,2	29,0	0,96

Fonte: DANTAS, 2022.

No teste de Mann-Kendall ocorreu uma diminuição considerável na série de Precipitação Total Anual (-118,23 mm em 28 anos). Nota-se claramente a tendência negativa da precipitação (gráfico 3a). Por sua vez, o valor de $Z_{MK} = -1,28$ que segundo SILVA et al. (2010) quando a estatística dá negativa indica uma tendência decrescente. No entanto, o teste no total anual não apresentou significância estatística ($p\text{-valor} = 0,20 = \alpha = 0,05$), sendo α o nível de significância.

De acordo com Nogueira (2015) o teste de Pettitt indica o ponto de mudança brusca do valor máximo de $K(t)$, quando este for maior que o limite crítico (intervalo de confiança) estabelecido, o teste identificou mudança para a série climatológica de Bananeiras-PB (gráfico 3b), indicando como ano de 2011 o valor máximo de $K(t)$, com significância estatística.

Gráfico 3 – Tendência na precipitação

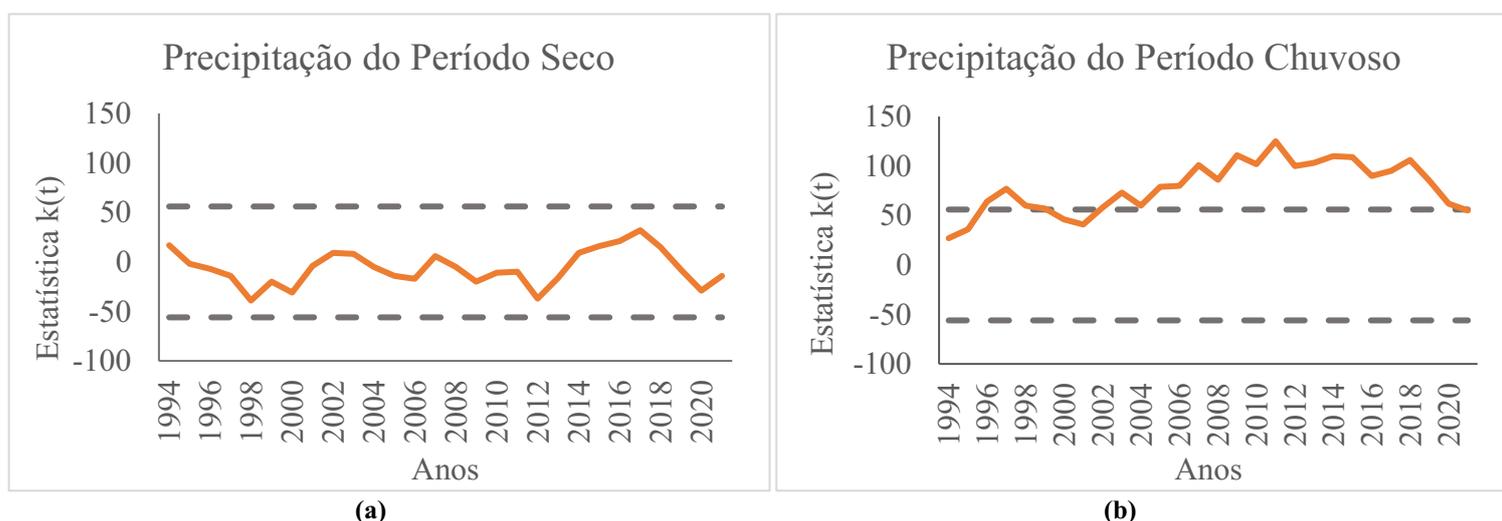


(a)- Dispersão da precipitação na série 1994-2021 (b)- Tendência na precipitação total anual na série 1994-2021

Fonte: DANTAS, 2022.

O período seco é caracterizado pelos meses de setembro a dezembro, e como mostra no gráfico 4(a) o teste não identificou mudança significativa para a série de precipitação deste período, apresentando $p = 1,34 > \alpha = 0,5$, sendo α o nível de significância. Em contrapartida, no período chuvoso (gráfico 4 b), que é caracterizado pelo pelos meses de janeiro a agosto, sendo observado que no teste houve mudança no ano de 1997 e vários anos com valores acima do nível de significância, mas o maior valor apresentando que foi identificado pelo teste, o valor máximo de $K(t)$, encontrado na série foi o do ano de 2011 ($K(t) = 125$). Esse ano já tinha sido apontado pelo teste com a série do total anual, agora o ano de 2011 foi confirmado como o ano de mudança brusca na série e com significância estatística ($p\text{-valor} = 0,03 > \alpha = 0,05$).

Gráfico 4 – Tendência na precipitação no período chuvoso e seco.



(a)- Tendência na precipitação do período chuvoso (b)- Tendência na precipitação do período seco

Fonte: DANTAS, 2022.

5.2 Uso e Ocupação do Solo

Ao longo dos anos o turismo no município de Bananeiras vem crescendo, e como consequência disso a expansão de condomínio. Áreas que antes, em sua maioria, eram propriedades rurais atualmente são condomínios residenciais. Na tabela 4 mostra a descrição de condomínios no município de Bananeiras que já se encontram em funcionamento.

Tabela 4 – Descrição dos Condomínios do Município de Bananeiras-PB.

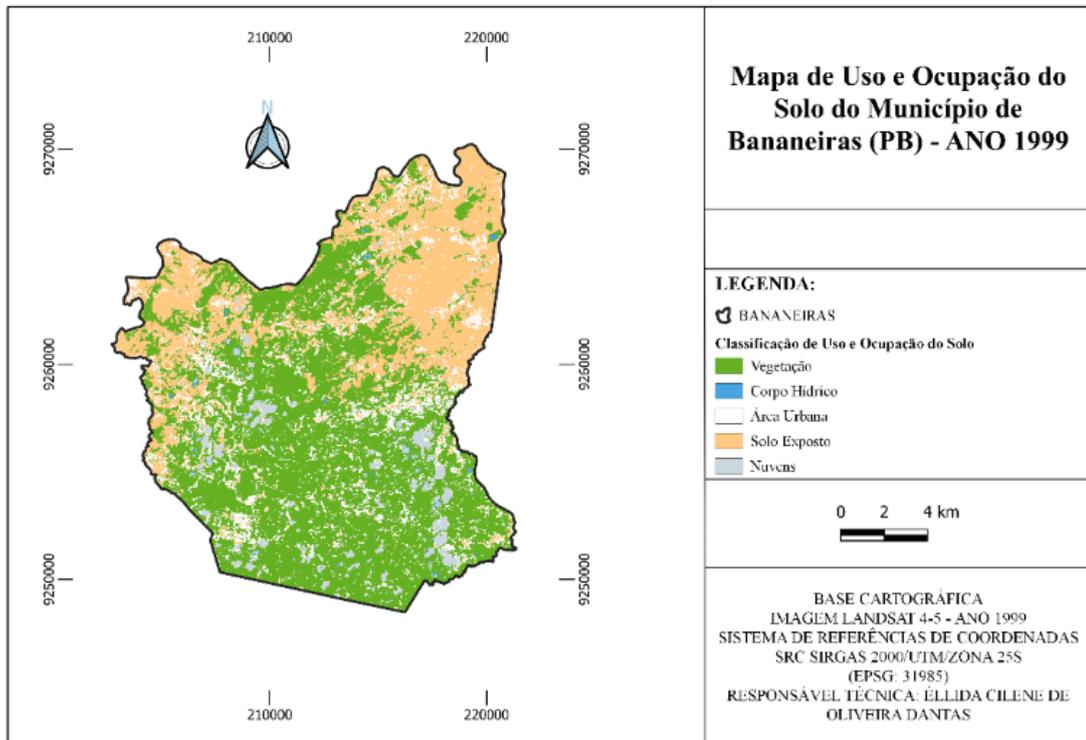
Nome	Localização
Águas da Serra Golf	Área Rural
Alto da Serra Villas	Área Urbana
Caminho da Serra	Área Rural
Jardim Imperial	Área Rural
Monte Carmelo Privê	Área Rural
Monte das Cerejeiras	Área Urbana
Montelier	Área Rural
Monte Sinai	Área Rural
Monte das Hortências	Área Rural
Serra Nevada	Área Rural
Sonhos da Serra	Área Rural
Villas de Bananeiras	Área Urbana
Yes Banana	Área Rural

Fonte: DANTAS, 2022.

O índice de vegetação NDVI foi utilizado para demonstrar o comportamento da mudança da vegetação no município de Bananeiras-PB, após o processo de intensa exploração da vegetação para construção de condomínios. A figura 3 corresponde ao mês de julho de 1999, já as figuras 4 e 5 condiz com o mês de junho de 2011 e 2021 respectivamente.

Na figura 3, observa-se o IV do ano de 1999, que compreende o período chuvoso tendo como precipitação 848,8 mm, porém mesmo estando no referido período, constata-se um elevado índice de solo exposto.

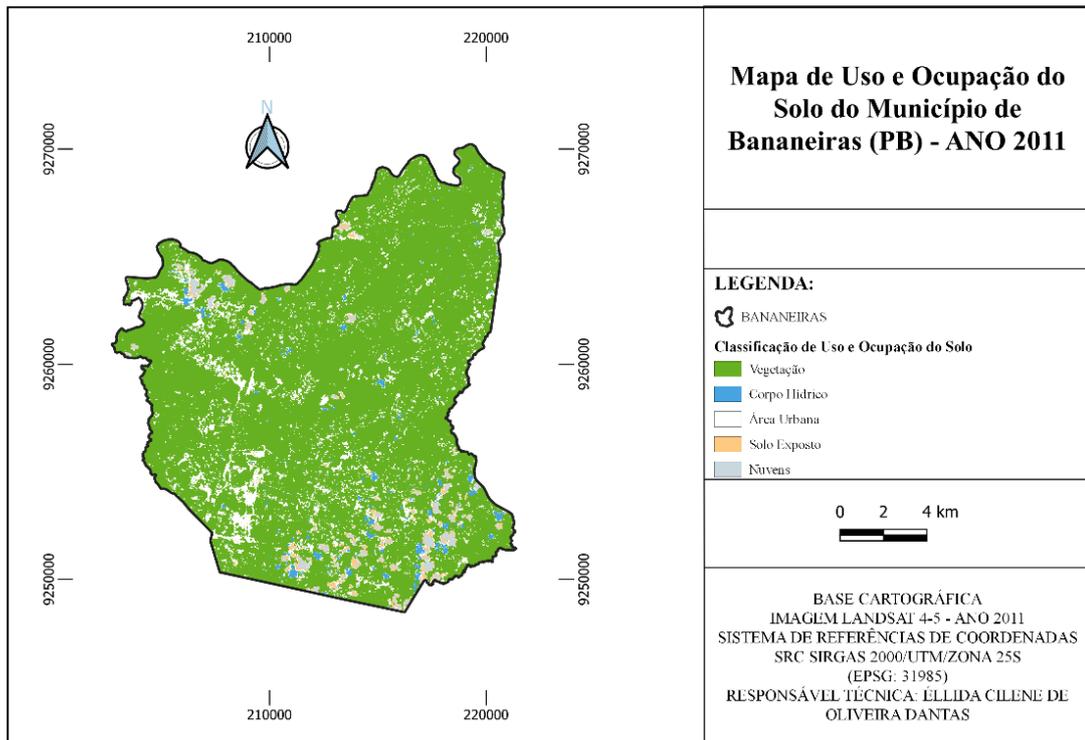
Figura 3 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo (1999).



Fonte: DANTAS, 2022.

Através da figura 4 é possível observar que a área de estudo não apresentava grandes proporções de solo exposto, neste mesmo ano o total anual da precipitação foi de 1663,9 mm, muito mais chuvoso que o ano de 1999, o índice de vegetação destacado na área representa uma vegetação mais densa. Comparando os dois anos percebe-se que a vegetação se recuperou no ano mais chuvoso, já depois de 2011 a retirada da vegetação para a construção de condomínios será de forma definitiva.

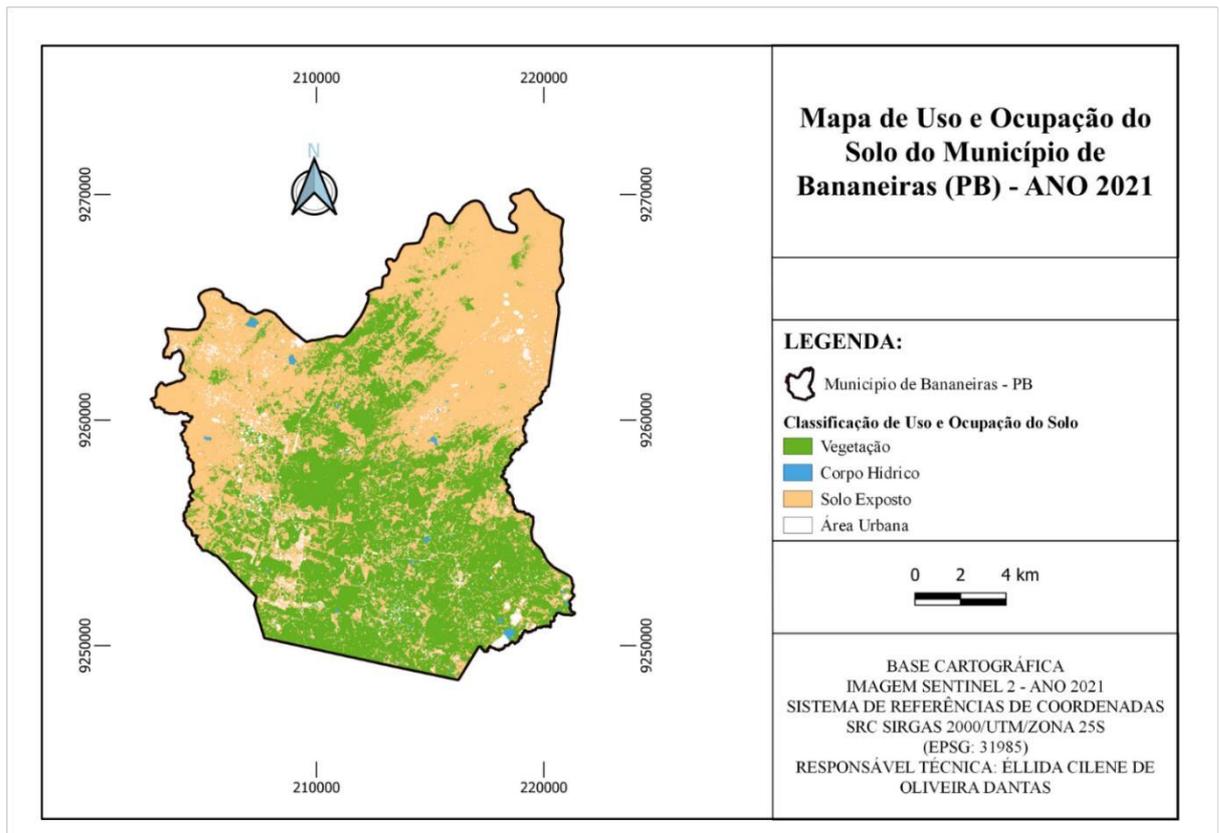
Figura 4– Mapa de Uso e Ocupação do Solo (2011).



Fonte: DANTAS, 2022.

Como se observa na figura 5 o índice de solo exposto é elevado comparado ao ano de 2011 (figura 4). Vale ressaltar que nos anos anteriores a 2021 a precipitação foi bem abaixo da média esperada e em 2021 o total anual foi de 876,1 mm, e como resultado há uma presença maior de solo exposto.

Figura 5 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo (2021).



Fonte: DANTAS, 2022.

Além disso, quando se compara as figuras 4 e 5, observa-se que após o ano de 2011 houve uma alteração na vegetação do município, no qual, perdeu maior parte da vegetação mais densa, dando espaço a vegetação menos densa e ao solo exposto. Isto também pode estar atrelado a construção de condomínios na área de estudo, que foi introduzida a partir do ano de 2011.

Na figura 6 podemos observar a localização dos condomínios em novembro de 2010, obtendo o total mensal de precipitação de 3,3 mm, e este caracteriza-se o período seco. Alguns dos empreendimentos não estavam em funcionamento, porém já havia iniciado o loteamento dos empreendimentos no referido ano, com isso averigua-se a presença a vegetação de grande e pequeno porte, e um pouco de áreas desmatadas para a construção de casas residenciais nos condomínios.

Figura 6 – Localização dos Condomínios no Município de Bananeiras-PB (2010).



Fonte: Adaptado do Google Earth pro, 2022.

A figura 7 corresponde a agosto de 2021, em que é observado uma densidade maior de vegetação, apresentando o total mensal de precipitação de 102,7 mm. Verifica-se também solo exposto nas áreas de alguns condomínios, dando destaque para o Jardim Imperial que possui grande partes de solo exposto.

Figura 7 – Localização dos Condomínios no Município de Bananeiras-PB (2021).



Fonte: Adaptado do Google Earth pro, 2022.

A figura 8(a) configura período seco e figura 8(b) período chuvoso, analisa-se que na figura 8(b) apresenta maior densidade vegetativa do que na figura(a). Ainda se constata que o solo exposto no ano de 2010 era mais abrangente devido alguns condomínios estarem na construção dos loteamentos.

Figura 8 – Localização dos Condomínios no Município de Bananeiras-PB.



(a) Outubro de 2010



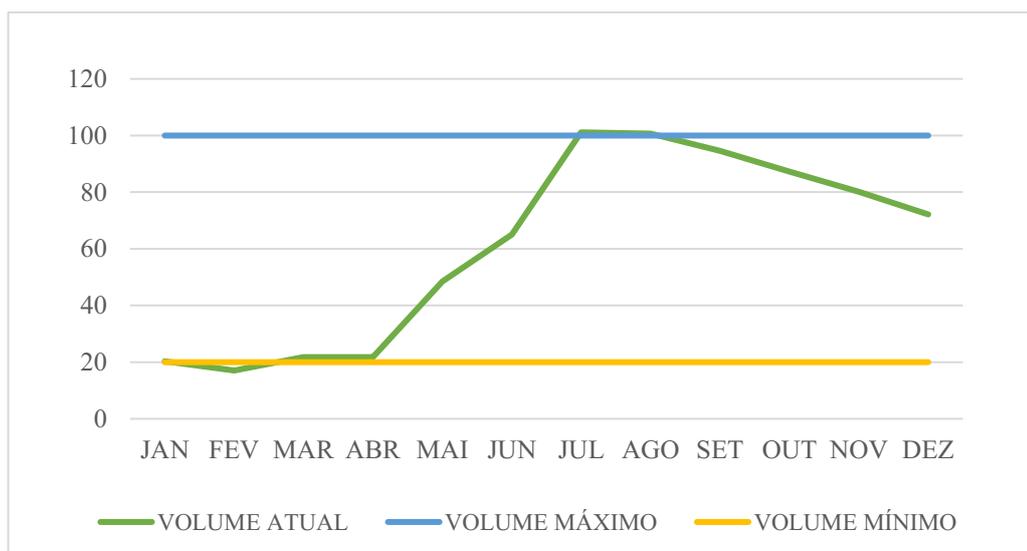
(b) Maio de 2021

Fonte: Adaptado do Google Earth pro, 2022.

5.3 Barragem Canafistula II

A barragem Canafistula II tem capacidade para 4.102.626,00 m³ de armazenamento de água em seu reservatório, no gráfico 5 pode-se observar que no ano de 2011 a barragem chegou a sua capacidade total (100%) no mês de julho.

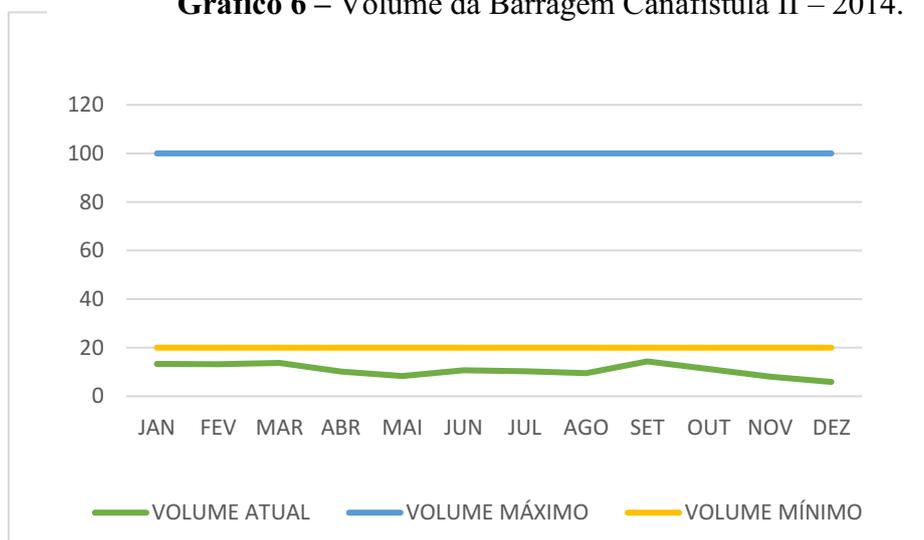
Gráfico 5 – Volume da Barragem Canafistula II – 2011.



Fonte: DANTAS, 2022.

Nos últimos anos, a barragem apresentou média abaixo de 30% da capacidade total. A CAGEPA operou por quatro anos a distribuição do reservatório Canafistula II sob racionamento. No gráfico 6 observa-se que nos meses de fevereiro e março de 2014 foi usado o volume morto, entrando em colapso no mês de abril.

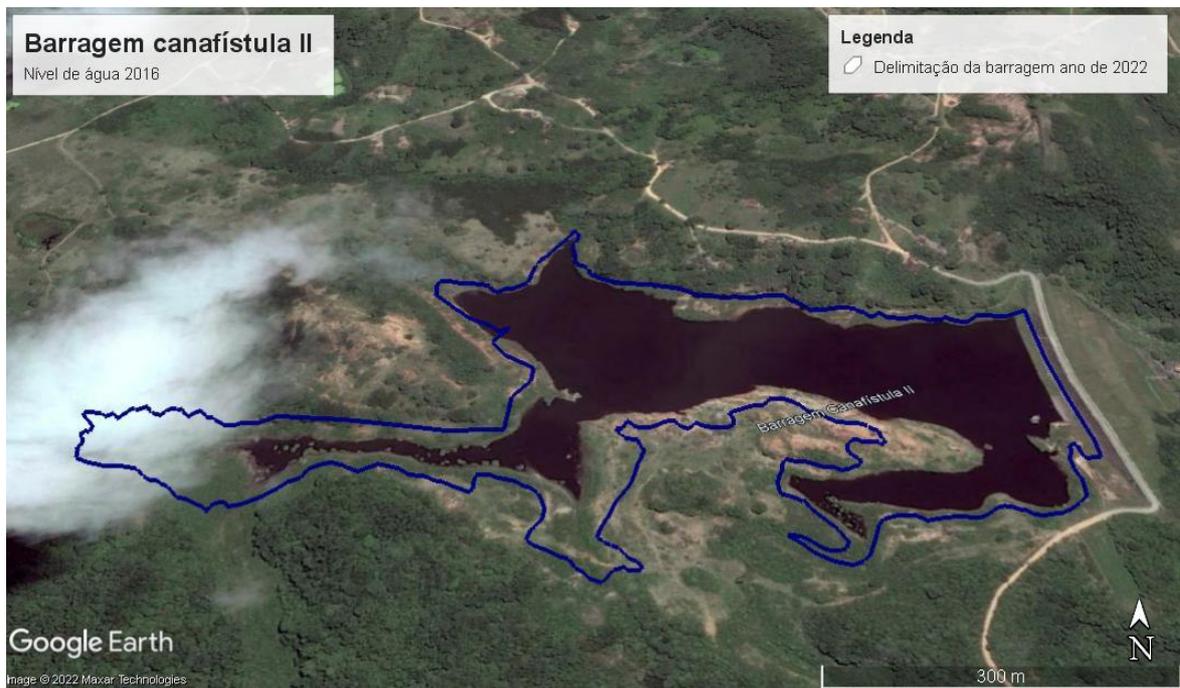
Gráfico 6 – Volume da Barragem Canafistula II – 2014.



Fonte: DANTAS, 2022.

Apenas em junho de 2018, a barragem apresentou capacidade acima dos 30%, tendo atingido 32,43% da capacidade total na ocasião. Na figura 9 e 10 exibe a delimitação da barragem e o nível da água em agosto de 2016 e 2018. Em julho de 2020, o reservatório apresentava 29,98% de sua capacidade total, depois apresentou queda livre no seu armazenamento até o colapso, em setembro de 2021.

Figura 9 – Nível de água da Barragem Canafistula II – 2016.



Fonte: Adaptado *Google Earth pro*, 2022.

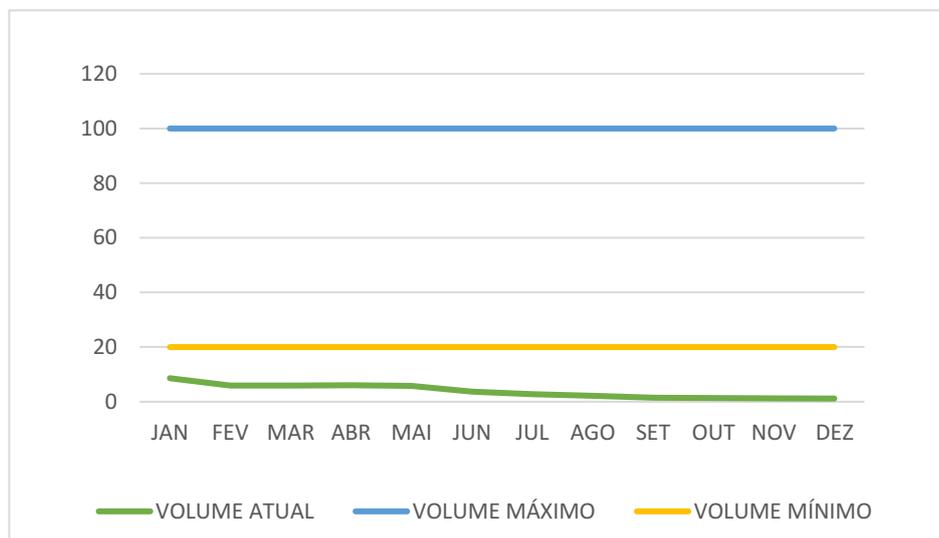
Figura 10 – Nível de água da Barragem Canafístula II – 2018.



Fonte: Adaptado *Google Earth pro*, 2022.

Uma das principais causas do colapso da barragem de Canafístula II foi a falta de chuvas na região, que não supriram a demanda para evitar a exponencial queda da capacidade do reservatório, uma vez que ele não conta com afluentes de recarga significativa. As chuvas que ocorreram entre os anos de 2019 a 2021 não foram suficientes para ter uma recarga significativa do reservatório. As chuvas foram abaixo da média, e o abastecimento ficou comprometido como se observa no gráfico 7.

Gráfico 7 – Volume da Barragem Canafístula II – 2021.



Fonte: DANTAS, 2022.

No mês de setembro de 2021 (figura 11) a barragem chegou a 1,45% armazenado, o que equivale a 59,650 m³, de acordo com a AESA. Com o colapso no abastecimento na região, diversos problemas foram acarretados por conta da falta d'água, dentre eles o abastecimento de água que teve que ocorrer por meio dos carros pipa.

Figura 11 – Barragem Canafistula II – Setembro de 2021.



Fonte: DANTAS, 2022.

Uma estratégia visualizada pelos gestores estaduais foi a construção da Barragem Jandaia no município de Bananeiras-PB. Embora tenha sido inaugurada em 2012, somente em 2014 foi assinada a ordem de serviço para construção da adutora. A barragem possui a capacidade para dez milhões de metros cúbicos e uma vazão de 236 litros por segundo, o sistema adutor irá aliviar o reservatório Canafistula II, o qual ficará abastecendo apenas os municípios de Solânea e Bananeiras, ficando a adutora de Jandaia responsável pelo abastecimento das demais cidades incluindo os distritos. Porém atualmente o reservatório Jandaia abastece apenas a cidade de Dona Inês.

6. CONCLUSÃO

A precipitação apresentou grande variabilidade temporal, e uma tendência na redução na quantidade de chuvas, levando em consideração os resultados da análise de regressão. A variabilidade temporal da precipitação evidencia-se em dois períodos distintos, de janeiro a agosto se constitui o período úmido e de setembro a dezembro o período seco.

O teste de Mann-Kendall apontou para uma diminuição considerável na série de precipitação de 1994 a 2021 (28 anos). Já o teste de Pettitt indicou que houve uma mudança no ano de 2011, obtendo significância estatística no período chuvoso, como ponto de mudança brusca na série climatológica de precipitação em Bananeiras-PB.

Segundo a análise dos mapas da caracterização do uso e ocupação do solo, as áreas urbanas cresceram consideravelmente ao longo dos períodos analisados, a expansão de condomínios em áreas que antes possuíam cobertura vegetal, o que pode ter contribuído, dentre um conjunto de fatores, na mudança da tendência da precipitação no decorrer dos anos.

A Barragem Canafistula II mesmo possuindo uma capacidade máxima de 4.102.626 m³ é insuficiente para a demanda de nove cidades e cinco distritos. Considerando a expansão das cidades aos longos anos, bem como a redução dos regimes de chuvas, a variabilidade espacial e temporal das chuvas nessa região, é imprescindível para construção de novos reservatórios capazes de garantir a autonomia de consumo e produtiva para as comunidades urbanas e rurais.

REFERÊNCIAS

- AESA, Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Meteorologia-chuvas**. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/>>. Acesso 02 mar. 2022.
- AESA, Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Volume de açudes**. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesawebsite/monitoramento/volume-acude/?id_acude=3036>. Acesso 02 mar. 2022.
- ALMEIDA, H. S.; SILVA, R. F.; GROLLI, L. A.; SCHEID, D. L. **Ocorrência e diversidade da fauna edáfica sob diferentes sistemas de uso do solo**. Revista brasileira de Tecnologia Agropecuária, v. 1, n. 1, p. 15-23. Porto Alegre - RS, 2017.
- ALMEIDA, K. M.; PEREIRA, G. M.; SILVA, J. P. S.; SILVA, J. P. S.; SANTOS, L. M. M.; SANTOS, N. C. F. **Avaliação estrutural do solo no projeto de desenvolvimento sustentável porto seguro, Marabá – Pa**. Revista Encontros Regionais de Agroecologia do Nordeste. 2, n.1. Marabá, 2018.
- ANJOS, Igor Bruno Machado dos. et al. **Análise Temporal de precipitação no município de Serra Grande-PB**. II Conidis. Campina Grande-PB: Editora Realize, 2017.
- ARAÚJO, L. E; BECKER, C. T; PONTES, A. L. **Periodicidade da precipitação pluviométrica no estado da Paraíba**. In: XIII congresso brasileiro de agrometeorologia, 2003, Rio Grande do Sul. Anais II. Santa Maria: RS, p. 947 - 948. 2003.
- ARAGÃO, A. de A.; LOUREIRO, C. F. G.; LOPES, A. S. **Impactos da Lei de Uso e Ocupação do Solo nas Desigualdades Socioespaciais da Acessibilidade às Atividades em Fortaleza**. Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v14. 2022. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.014.e20210062>.
- ASSIS, J. M. O.; SOUZA, W. M.; SOBRAL, M. C. M. **Climate analysis of the rainfall in the lower-middle stretch of the São Francisco river basin based on the rain anomaly index**. Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online), v.2, p.188-202. 2015.
- BACK, Álvaro José. **Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas**. Pesq. Agropec. Bras. Brasília-DP: [s.n.], v.36, n.5, p. 717-726, maio 2001.
- BLAIN, G. C.; MORAES, S. O. **Caracterização estatística de oito séries de precipitação pluvial máxima diária da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo**. Revista Brasileira de Meteorologia, [S.l.: s.n.], v.26, p.225-234, 2011.
- CARVALHO, A. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; TEODORO, E. V. D.; BATISTA, V. H. A. **Dinâmica hidro-salina em aquífero aluvial durante período de escassez hídrica e chuvoso no semiárido pernambucano**. In: XIV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Julho. 2018.

COSTA, M. N. de M.; BECKER, C.T.; BRITO, José Ivaldo Barbosa de. **Análise das séries temporais de precipitação do semiárido paraibano em um período de 100 anos – 1911 a 2010**. Revista Brasileira de Geografia Física. [S.l.: s.n.], v.06, n.04, p. 680-696, 2013.

DOS SANTOS FERREIRA, P., GOMES, V. P., GALVÍNCIO, J. D., DOS SANTOS, A. M., & DE SOUZA, W. M. **Avaliação da tendência espaço-temporal da precipitação pluviométrica em uma região semiárida do estado de Pernambuco**. Revista Brasileira de Climatologia, v.21. 2017.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Projeções de variáveis climáticas de interesse agrícola para o Brasil ao longo do século 21**. Brasília: Distrito Federal, 2017. Disponível em: < [ESPINOZA, Elizabeth Silvestre. **Distúrbios nos ventos de leste no Atlântico tropical**. 1996. 127f. Dissertação \(Mestrado em Meteorologia\) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996.](https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1087851/projecoes-de-variaveis-climaticas-de-interesse-agricola-para-o-brasil-ao-longo-do-seculo-21#:~:text=Para%20o%20clima%20futuro%2C%20o,pessimista%20ou%20de%20alta%20em%20iss%C3%A3o.> Acesso em: maio de 2022.</p>
</div>
<div data-bbox=)

FARIAS, M. P. **Principais características do regime pluvial das microrregiões mais secas da Paraíba**. 2012. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2012.

FIGUEREDO, Mariana Lima. **Impactos ambientais provocados pela mudança do uso solo na microrregião de Irecê-BA**. 2018. 58 fls. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB. 2018.

FRANCISCO, P. R. M.; MEDEIROS, R. M.; SANTOS, D.; MATOS, R. M. **Classificação Climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba**. Revista Brasileira de Geografia Física V. 08 N. 04. p. 1006-1016. 2015.

FRICH, P.; ALEXANDER, L.V.; DELLA-MARTA, P.; GLEASON, B.; HAYLOCK, M.; KLEIN TANK, A. M. G.; PETERSON, T. **Observed Coherent Changes in Climatic Extremes during the Second Half of the Twentieth Century**. *Climate Research*, 19: 193–212. 2002.

GOOSSENS, C.; BERGER, A. **Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century**. *Annales Geophysicae*, Berlin, v. 4, n. B4, p. 385-400, 1986.

HAMED, K. H.; RAO, A. R. **A modified Mann-Kendall trend test for auto correlated data**. *Journal of Hydrology*, 204:182-196, 1998.[http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00125-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00125-X)

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística. **Cidades e Estados: Bananeiras**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <[https:// www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pb/bananeiras.html](https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pb/bananeiras.html)>. Acesso em: 15 mar. 2022.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística. **Cidades e Estados: Borborema**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pb/borborema.html>>. Acesso em: 15 mar. 2022.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais. **Mudanças Climáticas**. 2017. Disponível em: <<http://www.inpe.br/faq/index.php?pai=9>>. Acesso em: 25 mai. 2022.

KOUSKY, V. E. **Frontal influences on northeast Brazil**. Monthly Weather Review, v. 107, n. 9, p. 1140-1153, 1979.

KOUSKY, V. E; GAN, M. A. **Upper tropospheric cyclones vórtices in the tropical south**. Atlantic. Tellus, v. 33, p. 538-551, 1981.

LIMA, João Batista. **A degradação do rio Taperoá em função do crescimento urbano: estudo de caso no município de Desterro/PB**. 2011. 92f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia – Modalidade à Distância) – Universidade Estadual da Paraíba Centro de Educação.

LIMA, N. R.; PINHEIRO, G. M.; MENDONÇA, F. **Clima urbano no Brasil: análise e contribuição da metodologia de Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro (O clima das cidades)**. Revista Geonorte, v.2, n. 5, p.626-638, 2012.

MANN, H. B. **Econometrica**. The econometric society, v.13, n.3, p.245-259, 1945.

MARENGO, J. A.; SILVA DIAS, P. **Mudanças climáticas globais e seus impactos nos recursos hídricos**. Capítulo 3 em Águas Doces do Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação, pp.63-109, Eds. A. Rebouças, B., Braga e J. Tundisi. Editoras Escrituras, SP. 2006.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. A.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. **Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. Instituto Nacional do Semiárido: Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas, Campina Grande – PB, 2011.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. **Drought in northeast Brazil—past, present, and future**. Theoretical and Applied Climatology, 129(3-4): 1189-1200. 2016.

MEEHL, G.; KARL T.; EASTERLING, D.; CHANGNON, S.; PIELKE, R.; CHANGNON, D.; EVANS, J.; GROISMAN, P.; KNUTSON, T.; KUNKEL, K.; MEARN, L.; PARMESAN, C.; PULWARTY, R.; ROOT, T.; SYLVES, R.; WHETTON, P.; ZWIERS, F. **An Introduction to Trends in Extreme Weather and Climate Events: Observations, Socioeconomic Impacts, Terrestrial Ecological Impacts and Model Projections**. Bulletin of the American Meteorological Society, 81: 413–416. 2000.

MEDEIROS, M. C. S.; SILVA JÚNIOR, J. B. **Estudo de caso da expansão do shopping Manaíra e comunidade São José sobre o Rio Jaguaribe em João Pessoa-PB**. Revista Polêmica, v. 16, n.2, p. 71-89, 2016.

MEDEIROS, R. B; PINTO, A. L; MIGUEL, A. E. S. **Índice de anomalia de chuva (IAC) aplicado à bacia hidrográfica do córrego moeda, três lagoas/MS no período de 2011 a 2013.** In: X Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 10, n. 2, p. 01-16, 2014.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Floresta, Desmatamento e Mudança do Clima.** 2016. Disponível em: <<http://redd.mma.gov.br/pt/o-que-e-redd>>. Acesso em: 28 de março de 2022.

NOGUEIRA, Virgínia de Fátima Bezerra. **Expansão da soja no cerrado maranhense: uma análise da influência antrópica no clima regional.** 2015. 165f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2015.

OLIVEIRA, P. T.; SANTOS E SILVA, C. M., LIMA, K. C. **Linear trend of occurrence and intensity of heavy rainfall events on Northeast Brazil.** Atmospheric Science Letters, 15:172-177. 2014.

OLIVEIRA, P.T.; SILVA, C. S., LIMA, K. C. **Climatology and trend analysis of extreme precipitation in subregions of Northeast Brazil.** Theoretical and Applied Climatology, 130(1-2): 77-90. 2017.

PENA, Rodolfo F. Alves. **El niño e la niña.** Geografia física. Mundo Educação, 2018. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/el-nino-la-nina.htm>. Acesso m: 25 de maio de 2022.

PENA, Rodolfo F. Alves. **A influência da vegetação sobre o clima.** Geografia física. Mundo E Educação, 2018. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/a-influencia-vegetacao-sobre-clima.htm>. Acesso em: 25 de maio de 2022.

PEREIRA, Emerson Ricardo Rodrigues. **Estudo da variabilidade da precipitação pluvial e do número de dias de chuva na região Nordeste do Brasil.** 2009. 94 f. dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2009.

PEREIRA FILHO, T. B.; LIMA, L. O. de; SILVA, M. J. R. da; VASCONCELLO, A.; MARINI, F. S. **Estudo de caso: análise situacional do açude Canafístula II.** II Workshop Internacional. Editora Realize, 2015.

PETTITT, A. N. **A non-parametric approach to the change-point problem.** Applied Statistics, London, v.28, n.2, p.126-135, 1979.

PIERONI, J. P.; RODRIGUES BRANCO, K. G.; INACHVILI, I.; FERREIRA, G. C. **Monitoramento sazonal da qualidade da água, na sub-Bacia Hidrográfica do Córrego Água Limpa, em seu trecho afetado pela mineração de níquel, no município de Pratápolis, Minas Gerais.** Geociências, v. 34, n. 3, p. 402-410, 2015.

PINTO, N. L. S; HOLTZ, A. C. T; MARTINS, J. A; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica.** São Paulo: Editora Blucher, 1976.

SAMPAIO, E. V. S. B.; BARRETO SAMPAIO, Y. S.; VITAL, T.; ARAÚJO, M. S. B.; RAMOS SAMPAIO, G. **Desertificação no Brasil: Conceitos, Núcleos e Tecnologias de Recuperação e Convivência**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2003.

SANTOS, Joel Silva dos. **Campo térmico urbano e a sua relação com o uso e cobertura do solo em uma cidade tropical úmida**. 2011. 108f. Tese (Doutorado) -Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

SANTOS, D. C. dos; MEDDEIROS, R. M. de; GOMES FILHO, M. F.; FRANCISCO, P. R. M. **Variabilidade do balanço hídrico nas últimas seis décadas em Bananeiras-PB**. Revista Educação Agrícola Superior, Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior - ABEAS - v.28, n.2, p.114-119, 2013.

SARAIVA, Thiago dos Santos. **Proposta de um plano de recuperação para uma área de preservação permanente do rio Jacaré em Ibititá - BA**. 2022. 73 fls. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB.

SILVA, Djane Fonseca da. **Análise de aspectos climatológicos, ambientais, agro econômicos e de se seus efeitos sobre a Bacia hidrográfica do rio Mundaú (AL e PE)**. 2009. 174 p. Tese de Doutorado em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande (PB). 2009.

SILVA, G. J. A.; WERLE, H. J. S. **Planejamento Urbano e Ambiental nas municipalidades: da cidade à sustentabilidade, da lei à realidade**. Paisagens em Debate: revista eletrônica da área Paisagem e Ambiente, n.5, 2007.

SILVA, R. A.; SILVA, V. P. R; CAVALCANTI, E. P.; SANTOS, D. N. **Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 14, n.5, p. 501- 509, 2010.

SLEIMAN, J., SILVA, M. E. S. **A Climatologia de Precipitação e a Ocorrência de Veranicos na Porção Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul**. SIMPGEO/SP, Rio Claro, 2008.

SNEYERS, R. **Sur l'analyse statistique des series d'observations**. Genève: Organisation Météorologique Mondial, 192 pp, OMM Note Technique, 143,1975.

SOUZA, Ianka Carolina Damasceno. **Alterações microclimáticas na cidade de Petrolina associadas a mudanças na cobertura do solo**. 2018. 44 fls. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB. 2018.

SOUZA, Jussara Freire. **Análise Das Mudanças do uso e ocupação do solo, variabilidade da temperatura e do saldo de radiação em João Pessoa-PB.** Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental. Universidade Federal da Paraíba (UFPB). João Pessoa. 130 folhas. 2014.

WANDERLEY, H. S.; SEDIYAMA, G. C.; JUSTINO, F. B.; ALENCAR, L. P. de; DELGADO, R. C. **Variabilidade da precipitação no sertão do São Francisco, estado de Alagoas.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande-PB, v.17, n.7, p.790-795, 2013.