



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO
E MEIO AMBIENTE



LUKAS BARBOSA VEIGA DE MELO

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA COBERTURA VEGETAL NO MICROCLIMA
EM DIFERENTES AMBIENTES DO CARIRI PARAIBANO.

JOÃO PESSOA

2023

LUKAS BARBOSA VEIGA DE MELO

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA COBERTURA VEGETAL NO MICROCLIMA EM
DIFERENTES AMBIENTES DO CARIRI PARAIBANO.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Desenvolvimento e Meio Ambiente
da Universidade Federal da Paraíba, para
obtenção do título de Mestre.

Orientador: BARTOLOMEU ISRAEL DE
SOUZA

JOÃO PESSOA

2023

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

M528a Melo, Lukas Barbosa Veiga.

Análise da influência da cobertura vegetal no microclima em diferentes ambientes do Cariri paraibano / Lukas Barbosa Veiga Melo. - João Pessoa, 2023.
77 f. : il.

Orientação: Bartolomeu Israel de Souza.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN.

1. Microclima - Cariri paraibano. 2. Temperatura do solo. 3. Umidade do solo. 4. Precipitação pluviométrica. 5. Semiárido nordestino. 6. Caatinga - Nordeste. I. Souza, Bartolomeu Israel de. II. Título.

UFPB/BC

CDU 551.584(813.3)(043)

LUKAS BARBOSA VEIGA DE MELO

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA COBERTURA VEGETAL NO MICROCLIMA EM
DIFERENTES AMBIENTES DO CARIRI PARAIBANO.**

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA – da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Trabalho Aprovado. João Pessoa, 28 de agosto de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



BARTOLOMEU ISRAEL DE SOUZA

Data: 25/10/2023 15:10:06-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Bartolomeu Israel de Souza

Universidade Federal da Paraíba

Documento assinado digitalmente



EDUARDO RODRIGUES VIANA DE LIMA

Data: 25/10/2023 23:19:22-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Eduardo Rodrigues Viana de Lima

Universidade Federal da Paraíba

Documento assinado digitalmente



JOSE JOAO LELIS LEAL DE SOUZA

Data: 29/10/2023 13:14:42-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. José João Lelis Leal de Souza

Universidade Federal de Viçosa

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a toda minha família, pelos momentos de reflexão, suporte e pela preocupação, em especial a minha mãe Edna, meu pai Marcos e meu irmão Marcos por estarem sempre perto, dando todo o apoio necessário e atenuando os momentos árdios durante a minha caminhada. E também a minha namorada Natália, presente durante todo o processo e sempre me dando forças para persistir.

Ao professor Bartolomeu Israel de Souza por toda paciência, orientação, suporte e motivação, aconselhando e mostrando como construir um futuro promissor não só no âmbito profissional.

A todos os meus colegas do mestrado, poucos continuarão na caminhada após essa fase, mas todos que em algum momento compartilharam comigo desse processo, contribuíram de uma forma especial no meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Ao Laboratório de Estudos do Semiárido (LAESA) pelas oportunidades e conhecimentos que me foram apresentados e, a todos os pesquisadores desse grupo que serviram de inspiração e compartilharam dos seus conhecimentos.

A todos os professores que fazem parte do Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal da Paraíba por todo conhecimento compartilhado durante as disciplinas, em especial, Professor George, coordenador do Programa, pelo suporte durante todo o percurso.

A CAPES pela concessão de bolsa de estudos, nível Mestrado.

RESUMO

A Caatinga, bioma de clima semiárido que possui a maior biodiversidade do mundo, apresenta mais de 50% do seu território em processo de degradação resultado de anos de intervenção humana. Esses processos de degradação impactam diversos fatores que regem o funcionamento do ecossistema, como a temperatura e umidade do solo, resultando na diminuição da capacidade de regeneração natural e acelerando fenômenos que impactam o meio ambiente, como o caso da desertificação. Este estudo teve como objetivo analisar a influência de diferentes tipos de cobertura do solo, em ambientes de uma região semiárida na Paraíba, sob variáveis climáticas cruciais para a regulação desse ecossistema. A coleta de dados envolveu informações de temperatura, umidade do solo e precipitação obtidas de 12 estações meteorológicas automáticas distribuídas na área de estudo. Além disso, foram empregados dados sobre a cobertura do solo, obtidos por meio do índice de vegetação MSAVI derivado de imagens do satélite Sentinel 2. A análise compreendeu a observação das tendências climáticas durante diferentes períodos, ajustados de acordo com a sazonalidade das chuvas na região entre os anos de 2017 e 2021. Para tal, foram aplicados testes de correlação de *Spearman*, análises de distribuição utilizando os testes de *Kruskal-Wallis* e *Nemenyi*, além de técnicas de agrupamento pelo método *K-means*. Os resultados indicam que ambientes com vegetação mais conservada manifestam menor sensibilidade às variações climáticas entre os períodos, promovendo, assim, uma maior estabilidade climática para o ecossistema. Especificamente, a estação meteorológica em São Sebastião do Umbuzeiro, caracterizada como um ambiente de referência com condições superiores de conservação, demonstrou os valores mais baixos de temperatura do solo, principalmente em termos de temperaturas máximas. Como também, exibiu uma variação reduzida na umidade do solo durante distintos eventos de precipitação, o que delineia um ecossistema mais resiliente em relação aos processos erosivos.

Palavras-chave: Temperatura do Solo. Umidade do Solo. Precipitação. Semiárido. Caatinga.

ABSTRACT

The Caatinga, a semi-arid biome possessing the highest biodiversity in the world, presents over 50% of its territory undergoing degradation as a result of years of human intervention. These degradation processes impact various factors governing ecosystem functioning, such as temperature and soil humidity, leading to a decline in natural regenerative capacity and accelerating phenomena that affect the environment, such as desertification. This study aimed to analyze the influence of different types of land cover in semi-arid environments of Paraíba, Brazil, on crucial climatic variables regulating this ecosystem. Data collection involved temperature, soil humidity, and precipitation information obtained from 12 automatic weather stations distributed across the study area. Additionally, land cover data obtained through the MSAVI vegetation index extracted from Sentinel 2 satellite images were utilized. The analysis encompassed the observation of climatic trends during different periods, adjusted according to the region's rainfall seasonality between 2017 and 2021. To achieve this, Spearman correlation tests, distribution analyses using Kruskal-Wallis and Nemenyi tests, and clustering techniques through the K-means method were applied. The results indicate that environments with better-preserved vegetation exhibit lower sensitivity to climatic variations between periods, thereby promoting greater climatic stability for the ecosystem. Specifically, the meteorological station in São Sebastião do Umbuzeiro, characterized as a reference environment with superior conservation conditions, demonstrated the lowest values of soil temperature, especially in terms of maximum temperatures. Furthermore, it showed reduced soil humidity variation during different precipitation events, outlining a more resilient ecosystem concerning erosive processes.

Key-words: Soil Temperature. Soil Moisture. Precipitation. Semi-arid. Caatinga.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Delimitação do Semiárido Brasileiro.....	11
Figura 2 - Mapa hipsométrico com a localização das estações meteorológicas.....	25
Figura 3 - (Artigo 1) Figura 1: Mapa hipsométrico com a localização das estações meteorológicas, 2023.....	30
Figura 4 - (Artigo 1) Figura 2: Mapa da média do MSAVI no período seco, com a identificação das estações meteorológicas: (a)* 2017; (b) 2018; (c) 2019; (d) 2020; (e) 2021, 2023.....	33
Figura 5 - (Artigo 1) Figura 3: Mapa da média do MSAVI no período úmido, com a identificação das estações meteorológicas: (a) 2017; (b) 2018; (c)* 2019; (d) 2020; (e) 2021, 2023.....	34
Figura 6 - (Artigo 1) Figura 4: Valores médios do MSAVI dentro da área de influência (20 m) para cada estação meteorológica entre o período de 2017 a 2021 no período seco, 2023.....	35
Figura 7 - (Artigo 1) Figura 5: Valores médios do MSAVI dentro da área de influência (20 m) para cada estação meteorológica entre o período de 2017 a 2021 no período úmido, 2023.....	35
Figura 8 - (Artigo 1) Figura 6: Série temporal do desvio padrão do MSAVI médio para os raios de influência de cada estação meteorológica, 2023.....	36
Figura 9 - (Artigo 1) Figura 5: Grupos formados com o modelo de agrupamento K-means utilizando a metodologia Dynamic Time Warping (DTW) para a temperatura mínima do solo, 2023.....	41
Figura 10 - (Artigo 1) Figura 8: Grupos formados com o modelo de agrupamento K-means utilizando a metodologia Dynamic Time Warping (DTW) para a temperatura máxima do solo, 2023.....	42
Figura 11 - (Artigo 1) Figura 9: Correlação das variáveis climáticas (temperaturas máximas e mínimas do solo, e precipitação) com a umidade do solo com tempo de atraso entre 0 a 90 dias no período seco (precipitação diária < 2.5 mm) (p-value < 0,01), 2023.....	43
Figura 12 - (Artigo 1) Figura 10: Correlação das variáveis climáticas (temperaturas máximas e mínimas do solo, e precipitação) com a umidade do solo com tempo de atraso entre 0 a 90 dias período úmido (precipitação diária > 2.5 mm) (p-value < 0,01), 2023.....	43
Figura 13: (Artigo 2) Figura 1: Mapa hipsométrico com a localização das estações	

meteorológicas e as paisagens dominantes nas áreas estudadas, com base nas imagens do Google Earth.....	57
Figura 14: (Artigo 2) Figura 2: Distribuição da densidade de precipitação entre 2017 e 2021 para as estações meteorológicas analisadas.....	60
Figura 15: (Artigo 2) Figura 3: Distribuição da umidade média do solo, de acordo com as subdivisões sazonais para as estações meteorológicas: São José dos Cordeiros (SJC), São João do Tigre (SJT), São Sebastião do Umbuzeiro (SSU) e Coxixola.....	61
Figura 16: (Artigo 2) Figura 4: Distribuição da precipitação acumulada, de acordo com as subdivisões sazonais para as estações meteorológicas: São José dos Cordeiros (SJC), São João do Tigre (SJT), São Sebastião do Umbuzeiro (SSU) e Coxixola.....	62
Figura 17: (Artigo 2) Figura 5: Correlação com tempo de atraso em dias entre a precipitação diária acumulada e umidade do solo média diária. Os valores do eixo X correspondem ao período de atraso aplicados a umidade do solo (*pvalue < 0.01).....	62
Figura 18: (Artigo 2) Figura 6: Comportamento da umidade do solo dois dias antes e depois do evento de baixa precipitação para as estações meteorológicas: São José dos Cordeiros (SJC), São João do Tigre (SJT), São Sebastião do Umbuzeiro (SSU) e Coxixola.....	63
Figura 19: (Artigo 2) Figura 7: Comportamento da umidade do solo dois dias antes e depois do evento de média precipitação para as estações meteorológicas: São José dos Cordeiros (SJC), São João do Tigre (SJT), São Sebastião do Umbuzeiro (SSU) e Coxixola.....	64
Figura 20: (Artigo 2) Figura 8: Comportamento da umidade do solo dois dias antes e depois do evento de alta precipitação para as estações meteorológicas: São José dos Cordeiros (SJC), São João do Tigre (SJT), São Sebastião do Umbuzeiro (SSU) e Coxixola.....	65
Figura 21: (Artigo 2) Figura 9: Comportamento da umidade do solo dois dias antes e depois do evento de extrema precipitação para as estações meteorológicas: São José dos Cordeiros (SJC), São João do Tigre (SJT), São Sebastião do Umbuzeiro (SSU) e Coxixola.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estações meteorológicas com os respectivos tipos de uso, altitude e coordenadas.	27
Tabela 2 - (Artigo 1) Tabela 1: Estações meteorológicas com os respectivos tipos de uso, valores médios do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo Modificado (MSAVI), coordenadas e altitude, 2023.....	32
Tabela 3 - (Artigo 1) Tabela 2: Média anual das temperaturas máximas e mínimas do solo e a precipitação acumulada entre os anos de 2017 e 2021 para todas as estações meteorológicas no período seco (precipitação diária < 2.5 mm), 2023.....	39
Tabela 4 - (Artigo 1) Tabela 3: Média anual das temperaturas máximas e mínimas do solo e a precipitação acumulada entre os anos de 2017 e 2021 para todas as estações meteorológicas no período úmido (precipitação diária > 2.5 mm), 2023.....	40
Tabela 5 - (Artigo 1) Tabela 4: Média da umidade do solo e precipitação acumulada no período seco (precipitação diária < 2.5 mm) entre os anos de 2017 e 2021 para todas as estações meteorológicas, 2023.....	40
Tabela 6 - (Artigo 1) Tabela 5: Média da umidade do solo e precipitação acumulada no período úmido (precipitação diária > 2.5 mm) entre os anos de 2017 e 2021 para todas as estações meteorológicas, 2023.....	41
Tabela 7 - (Artigo 1) Tabela 6: Correlação entre as variáveis climáticas e o índice de vegetação MSAVI para as estações meteorológicas, “*” e “**” representam o intervalo de confiança de 99% e 95%, respectivamente, 2023.....	46

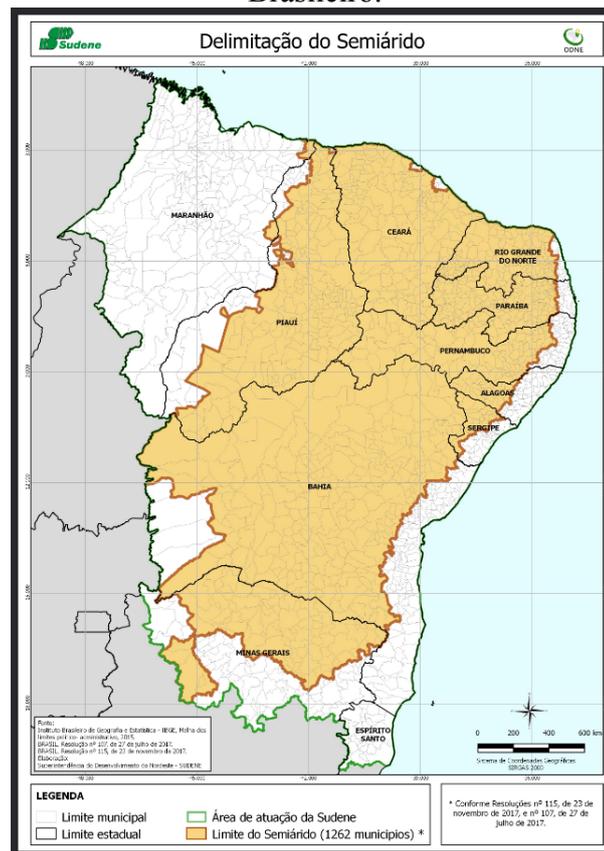
SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1	CAATINGA.....	14
2.2	MUDANÇA DA COBERTURA DA TERRA.....	16
2.3	TEMPERATURA DO SOLO.....	18
2.4	UMIDADE DO SOLO.....	20
2.5	MICROCLIMA.....	21
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	24
3.2	DADOS METEOROLÓGICOS.....	25
4	CAPÍTULO 1.....	26
4.1	RESUMO.....	26
4.2	INTRODUÇÃO.....	27
4.3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
4.4	RESULTADOS.....	32
4.5	DISCUSSÃO.....	44
4.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
4.7	REFERÊNCIAS.....	48
5	CAPÍTULO 2.....	53
5.1	RESUMO.....	54
5.2	INTRODUÇÃO.....	54
5.3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	55
5.4	RESULTADOS.....	58
5.5	DISCUSSÃO.....	65
5.6	CONCLUSÃO.....	67
5.7	REFERÊNCIAS.....	68
6	CONCLUSÃO.....	71
7	REFERÊNCIAS.....	73

1 INTRODUÇÃO

Os ambientes de clima semiárido brasileiros são fortemente marcados pela insuficiência e irregularidade de chuvas, concentradas em curto período de tempo, em média, de três a quatro meses, com elevadas temperaturas variando na média anual entre 23° C a 27° C e altas taxas de evapotranspiração chegando a 2000 mm.ano⁻¹ que influenciam a paisagem dominante (SILVA et al. 2010). Inseridos em grande parte na região Nordeste do Brasil e abrangendo os estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e parte norte do Estado de Minas gerais.

Figura 1 - Delimitação do Semiárido Brasileiro.



O bioma Caatinga, inserido na região semiárida brasileira, é considerado um dos mais importantes *hotspots* do planeta (WILLIAMS et al., 2011), o bioma de clima semiárido que possui a maior biodiversidade do mundo, apresentando também elevada importância econômica e cultural (SILVA et al., 2019).

Nessa região predominam depressões interplanálticas quentes e secas. As precipitações regionais são relativamente escassas, com uma média anual variando entre 500 e 800 mm (SILVA et al., 2004), e muito irregulares tanto no tempo quanto no espaço, caracterizando um comportamento imprevisível em relação a sua variação de ano para ano. Sujeita a um clima subequatorial e tropical semiárido, nessa região ocorrem matas ralas e caducifólias fadadas a fortes deficiências hídricas (AB'SABER, 1977).

A Caatinga apresenta mais de 50% do seu território com processos de degradação crônica (SILVA; BARBOSA, 2017; ANTONGIOVANNI et al., 2020), resultado de anos de intervenção humana, sendo a densidade de pessoas e do gado os principais fatores impulsionadores de mudanças nas comunidades de plantas (RIBEIRO et al., 2015; LEDRU et al., 2020). Nesse contexto, uma vez perdida ou alterada intensamente essa cobertura vegetal, são estabelecidas determinadas condições ambientais que originam e alimentam, em muitos casos, processos de desertificação, afetando a capacidade do bioma em se regenerar naturalmente (GEIST; LAMBIN, 2004; SOUZA et al., 2011; 2015a; 2015b).

Nos processos que envolvem mudanças na cobertura vegetal, o clima pode ser seriamente afetado, uma vez que a atmosfera é sensível às características da superfície continental (TWINE, 2004), ainda mais em um ambiente que possui extremos climáticos que colaboram com o aumento da vulnerabilidade na região. Segundo Nimer (1980), as variações pluviométricas e a instabilidade climática acabam refletindo para a região as piores condições relativas às ações auto reguladoras e de autodefesa ambiental das comunidades da Caatinga.

Além disso, a mudança no uso da terra é uma das principais causas de degradação do solo em todo o planeta, porém sua intensidade irá depender do tipo de uso praticado e da resiliência do bioma impactado (GUNDERSON, 2000). O conhecimento sobre essas modificações, principalmente no tocante a distribuição da cobertura vegetal, tradicionalmente é feito utilizando imagens orbitais com resolução espacial mais grosseira, entretanto, em processos que envolvem mudanças na cobertura vegetal, como o clima local é seriamente afetado, se torna fundamental o uso de imagens com escala mais detalhada nas análises realizadas (LEMBRESCHTS et al., 2019, 2020), além de outros sensores.

O bioma também está sujeito aos impactos das mudanças climáticas. Segundo Maeda et al. (2012), é crescente a preocupação com o aquecimento global induzido pelo Homem levantando sérias discussões sobre a relação entre a intensidade das precipitações e o aumento na temperatura da superfície. Nesse caso, os efeitos desse aquecimento não são restritos apenas a temperatura do ar, mas também podem alterar os padrões de precipitação, bem como a temperatura do solo (JUNGQVIST et al., 2014).

Dentro dos ecossistemas existem diversos processos que regem a dinâmica de cada ambiente, sendo esses os processos bióticos, abióticos e químicos onde o principal fornecedor de energia é o clima. A variação climática pode acarretar em alterações na composição vegetal, características pedogenéticas e distribuição dos organismos vivos, sendo os efeitos em microescala ainda pouco conhecidos.

Entre as variáveis climáticas que regem o funcionamento dos processos na superfície, a temperatura do solo apresenta um papel fundamental. Esta influencia processos biológicos como: germinação de sementes, emergência de mudas, crescimento das raízes das plantas e disponibilidade de nutrientes (PROBERT, 2000). A temperatura do solo é responsável pela alteração na taxa de decomposição da matéria orgânica e na mineralização de diferentes materiais orgânicos no solo e, também, afeta a retenção de água no solo, transmissão e disponibilidade para as plantas (ONWUKA, 2018).

O conhecimento sobre a temperatura do solo é um dos fatores fundamentais para o crescimento das espécies vegetais (KOHNEKE, 1968; ONWUKA; MANG, 2018), influenciando particularmente a brotação e a fotossíntese (BRADY; WEIL, 2013). Acrescentamos ainda que as condições do solo, mais que as do ar, são as principais definidoras de diversas funções ecossistêmicas, sendo altamente sensíveis às temperaturas dominantes nessa parte do ambiente (PORTILLO-ESTRADA et al., 2016; MEDINETS et al., 2019).

Além da temperatura do solo, a umidade do solo também é responsável por diversos processos na superfície. É um dos principais componentes do ciclo hidrológico, sendo fundamental nos processos que regem o desenvolvimento vegetativo, tanto em termos naturais quanto no desenvolvimento econômico, além dos processos hidrológicos, como infiltração, evaporação, abastecimento de água subterrânea e disponibilidade para as plantas (PURI; STEPHEN; AHMAD, 2011). Em ambientes secos, a disponibilidade de água no solo é o principal orquestrador, controlando e organizando o funcionamento desses ecossistemas, especialmente a questão da disponibilidade de nutrientes (CANTÓN; SOLÉ-BENET; DOMINGO, 2004).

Para além do aquecimento global, em escala microclimática, a cobertura vegetal exerce papel fundamental na redução da temperatura do solo e do ar, proporcionando também uma maior capacidade de armazenamento de água no solo, diminuindo a intensidade do processo evaporativo, como apontam os estudos de Lozano-Parra et al. (2018) e Song et al. (2013). Apesar dessa importância, dados sobre microclima ainda são pouco explorados em todo o mundo (MACLEAN et al., 2017; PINCEBOURDE et al., 2016).

O presente estudo tem como objetivo analisar a influência da cobertura vegetal na variação de fatores climáticos, fundamentais para os processos de recuperação natural do bioma e desenvolvimento econômico, em diferentes regiões do semiárido paraibano. Sob a hipótese de que ambientes que apresentam melhores condições de preservação, conseqüentemente uma maior quantidade e diversidade de espécies, possuem uma menor variabilidade das principais variáveis, temperatura e umidade do solo, que regem o funcionamento do bioma Caatinga entre as sazonalidades. Dessa forma, fornecendo um ambiente mais estável, do ponto de vista climatológico, que favoreça a recuperação natural e o desenvolvimento econômico na região.

O trabalho foi dividido em dois capítulos. O primeiro, verificando o impacto do tipo de cobertura vegetal nas variações dos extremos de temperatura do solo de acordo com a sazonalidade da região. E, o segundo, analisando a distribuição temporal e espacial da umidade do solo, subdividindo a sazonalidade da região em 4 períodos, e o impacto de diferentes eventos de precipitação na região.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CAATINGA

A Caatinga é uma das maiores e mais ecologicamente diversas *Seasonally Dry Tropical Forest* (SDTF) do Novo Mundo. Situada principalmente no interior do Nordeste brasileiro, o seu nome tem origem do Tupi-guarani significando “Mata branca” devido à coloração da vegetação predominante durante os frequentes eventos de seca. Com uma extensão de 912,529 km², é composta por 135 unidades geoambientais e nove ecorregiões (SILVA et al., 2017). Mesmo com essa diversidade o bioma tem sido negligenciado pela comunidade brasileira tanto no âmbito de políticas públicas quanto no enfoque das pesquisas, se comparado aos demais biomas existentes no país.

Nessa região ocorrem depressões interplanálticas quentes e secas, com baixa distribuição das chuvas tropicais. As precipitações regionais são relativamente escassas e muito irregulares tanto no tempo quanto no espaço, caracterizando um comportamento imprevisível em relação a sua variação de ano para ano. Sujeita a um clima subequatorial e tropical semiárido, essa região é revestida por matas ralas, caducifólias, muito resistentes, adaptadas a um ambiente quente e seco, e fadado a fortes deficiências hídricas (AB’SABER, 1977).

Desde a década de 1980, a proporção da população vivendo nas cidades tem sido maior que em áreas rurais (THÉRY; MELLO 2005 apud SILVA et al., 2017). A economia formal da região é baseada em sua maioria em serviços. Em média, os serviços contribuem com 69,7% do Produto Interno Bruto (PIB) dos municípios (SILVA et al., 2017). Uma economia baseada em serviços pode ser considerada um ponto positivo se em sua maioria for originada do setor privado ao invés do setor público. Porém, nos municípios presentes no bioma Caatinga os serviços públicos são responsáveis, em média, por 44,4% do PIB local (SILVA et al., 2017). Contudo, boa parte da população rural que vive nessa região depende da agricultura, que contribui apenas com 11% em média da atividade econômica local. Esse fato pode ser consequência da baixa produtividade dos sistemas agrícolas da região, como também por causa de boa parte dos produtos agrícolas da região serem destinados a subsistência, ou troca no mercado informal.

O Cariri paraibano é uma região que está inserida no ecossistema das SDTF situada no

interior do Nordeste brasileiro. É uma microrregião do Estado da Paraíba localizada na franja ocidental do planalto da Borborema. Composta por 29 municípios ocupando uma área de 11.233 km² e, segundo o censo demográfico de 2000, possui uma população de 173.323 habitantes (CANTALICE et al., 2006).

Nessa região é possível observar os menores índices de precipitação pluviométrica do semiárido brasileiro, com médias anuais históricas inferiores a 400 mm (COHEN; DUQUÉ, 2001). Caracteriza-se também por elevadas temperaturas, com médias anuais entorno de 26°C, fracas amplitudes térmicas anuais e chuvas escassas, muito concentradas no tempo e irregulares (NASCIMENTO; ALVES, 2008). Grande parte da região apresenta áreas em processo de desertificação, caracterizado pela degradação dos solos a partir da degradação da cobertura vegetal e em um empobrecimento cada vez maior dos ecossistemas e populações (CONTI, 2008). Consequentemente, a paisagem apresenta altos níveis de alteração, com raras áreas apresentando remanescentes de vegetação nativa em bom estado de conservação (BARBOSA et al, 2007).

O Cariri Paraibano apresenta uma flora composta por 396 espécies, distribuídas em 90 famílias botânicas, dentre essas famílias 85 são de Angiospermas. A família com maior diversidade é a Leguminosae, com 71 espécies. As 11 famílias de maior riqueza representam 57% do total de espécies identificadas até então. Dentre estas estão Asteraceae, Cyperaceae, Poaceae e Amaranthaceae, compostas principalmente por espécies herbáceas, efêmeras, presentes apenas durante o curto período de chuvas. Destaca-se também por sua riqueza florística a família Euphorbiaceae, com representantes lenhosos e herbáceos. Cactaceae e Bromeliaceae, tradicionalmente associadas à fisionomia da caatinga apresentam uma boa representatividade na região, com 10 e sete espécies respectivamente. Por outro lado, 40 famílias estão representadas por apenas uma espécie. (BARBOSA et al., 2007)

Segundo Alves (2013) os parâmetros climáticos e edáficos são os principais responsáveis pelos diferentes aspectos fisionômicos do bioma, porém, deve ser considerado os fatores antrópicos para a estruturação de sua diversidade. O autor ainda aponta que as possibilidades de reconstituição da vegetação primitiva são muito raras, devido ao desaparecimento do ambiente microclimático do sub-bosque, que auxiliaria a regeneração natural das espécies florestais; a lentidão do crescimento das espécies lenhosas; a degradação dos solos e das condições hídricas frutos da remoção da vegetação nativa. Essa situação sendo ainda mais problemática em função da fertilidade dos solos se encontrarem muito alterada, apresentando baixos níveis de potássio e matéria orgânica, o que pode influenciar de forma negativa no estabelecimento de espécies mais exigentes em função desses elementos (SOUZA

et al., 2015).

Em relação a disponibilidade de água na região relacionada com a vegetação, Souza et al. (2015) verificou um balanço hídrico deficitário ao longo de todo ano, enquanto que o balanço bioclimático, demonstrou que existem 6 meses sem atividade vegetativa, 2 meses com atividade vegetativa limitada às espécies com baixas necessidades hídricas e 4 meses sem restrição a atividade vegetativa. Além disso, os autores apontam a existência de indicativos de que a atividade vegetativa é influenciada pela presença de orvalho e do vapor d'água e com a presença de biomassa a umidade na camada mais superficial dos solos é mais elevada.

2.2 MUDANÇA DA COBERTURA DA TERRA

A cobertura da terra consiste nas camadas do solo e biomassa presente, incluindo a vegetação, biota, topografia, corpos d'água, plantações e estruturas humanas que cobrem a superfície da terra. Podendo ser observada de forma direta, tanto em campo quanto por meio de imagens de sensoriamento remoto (VERBURG et al., 2009, LAMBIN; GEIST; LEPERS, 2003).

As ações humanas, mais do que as forças naturais, são a fonte das maiores mudanças contemporâneas no estado e fluxos da biosfera. Além disso, a demanda global por produtos derivados da terra tende a acelerar nos cenários futuros. A capacidade da terra e do ambiente no geral de sustentar essa demanda permanecerá como assunto de fundamental importância. (TURNER; MAYER, 1994).

Lambin, Geist e Lepers (2003) apontam que as mudanças no uso da terra, que caracterizam a cobertura da terra, sempre são causadas por múltiplas interações entre fatores originados nos diferentes níveis de relação entre o ser humano e o sistema ambiental. Onde forças que alimentam essas mudanças podem ser classificadas como variáveis lentas, que determinam os limites da sustentabilidade e a trajetória governamental do uso da terra, como exemplo a salinização das terras decorrentes dos sistemas de irrigação, ou variáveis rápidas, como exemplo a variabilidade climática associada com a oscilação do El Niño.

O autor explica os principais fatores que contribuem para as mudanças no uso da terra, onde destacamos os seguintes:

- 1) A variabilidade natural, que consiste nas variações do ecossistema condicionadas pelas variações climáticas ampliando as pressões decorrentes das altas demandas pelos recursos naturais, especialmente em ambientes de clima seco a subúmido.

- 2) Fatores econômicos e tecnológicos, onde as alterações no uso da terra resultam de

forma geral das respostas individuais e sociais a mudança nas condições econômicas mediadas por fatores institucionais; o acesso ao mercado condicionado pelo investimento em infraestrutura no transporte, onde a distribuição desigual desses investimentos entre países e regiões determinam diferenças geográficas nas oportunidades e contrastes econômicos.

3) Fatores institucionais, caracterizados pelos direitos de propriedade das terras, políticas ambientais, sistemas de gerenciamento dos recursos naturais, sistemas de informação relacionados aos indicadores ambientais determinando a percepção das mudanças nos ecossistemas, movimentos sociais que representam os interesses relacionados a gestão dos recursos, políticas de resolução dos conflitos relativos ao acesso aos recursos e que auxiliem na distribuição desses recursos com o objetivo de minimizar as desigualdades.

4) Fatores culturais também influenciam nas tomadas de decisão sobre o uso da terra. Tanto gestores quanto a população que utiliza dos recursos naturais possuem valores, crenças e percepções individuais em relação as decisões referentes as alterações do ambiente, associadas ao conhecimento, informação de habilidades de gestão das terras.

Segundo Silva et al. (2017) existem três principais distúrbios causados pelos humanos nos ecossistemas da Caatinga:

1) A rápida conversão de grandes áreas de vegetação nativa em ecossistemas antropizados, como estradas, reservatório ou agricultura comercial, sendo esse considerado um distúrbio agudo na região;

2) Superexploração da vegetação nativa e pastejo pelos animais de forma lenta e contínua, caracterizando assim um distúrbio crônico; e

3) Introdução de espécies de animais e plantas exóticas servindo de estratégia para garantir a segurança alimentar da população rural.

Os três processos impactam o sistema ecológico da Caatinga que é fundamental para sustentabilidade da população local, como também para o suporte de serviços ambientais de relevância global.

A cobertura vegetal da região, refletindo o que ocorre em todo o bioma Caatinga, se encontra bastante antropizada devido às atividades culturais e econômicas da população que habita essas terras. Segundo Lessa et al. (2019), o desenvolvimento agropecuário e o desmatamento vêm resultando em uma rápida e ampla mudança da paisagem, onde mais de 60% da Caatinga já se encontra significativamente modificada por ação humana, que por sua vez, vem aumentando os problemas com a desertificação em todas regiões de clima seco do mundo e, em particular, na Caatinga (SALAZAR et al., 2007), tornando-as ainda mais vulneráveis aos efeitos da mudança climática antropogênica (CHOUBIN et al., 2017).

Nos processos que envolvem mudanças na cobertura vegetal, o clima pode ser seriamente afetado, uma vez que a atmosfera é sensível às características da superfície continental (SOUZA et al., 2011). Estes impactos decorrentes das alterações da cobertura vegetal ocorrem devido às mudanças nas características biofísicas e no ciclo de carbono. Como exemplo, as características biofísicas, que estão relacionadas às propriedades radiativas da superfície afetam o balanço de energia e as trocas turbulentas de calor sensível e latente, entre a superfície e a atmosfera. Alterações no albedo da superfície podem afetar significativamente as trocas de água e energia entre a superfície e a atmosfera e, conseqüentemente, a temperatura do ar, pressão de vapor, estabilidade atmosférica e a precipitação (NOBRE et al., 1991; CLARK et al., 2001; TWINE, 2004).

Associados às alterações na superfície e nas mudanças climáticas, a elevação da temperatura pode induzir mudanças na composição, abundância ou atividades das plantas associadas à comunidade microbiana (COMPANT et al., 2010). Segundo Verheyen et al. (2003), a regeneração de áreas impactadas vai depender da presença de bancos de sementes, cobertura vegetal e qualidade do solo depois da utilização da terra. Se essa regeneração não ocorrer por causa da contínua pressão no uso da terra, a exposição dos solos irá aumentar a degradação vegetal acelerando os processos de desertificação (MAESTRE; ESCUDERO, 2009).

2.3 TEMPERATURA DO SOLO

A temperatura do solo desempenha um importante papel no crescimento e desenvolvimento vegetal, afetando a germinação das sementes, o desenvolvimento das raízes e da planta, a atividade dos microrganismos, a difusão dos solutos e dos gases e as reações químicas. Em contrapartida, ela é afetada pela composição mineralógica do solo, pela densidade e umidade, pela cor da superfície do solo, pela estrutura, pela matéria orgânica, entre outros (REICHARDT; TIMM, 2004).

O regime térmico de um solo é determinado pelo aquecimento da superfície pela radiação solar e transporte, por condução, de calor sensível para seu interior. Durante o dia, a superfície se aquece, gerando um fluxo de calor para o interior. À noite, o resfriamento da superfície, por emissão de radiação terrestre, inverte o sentido do fluxo, que é transferido do interior do solo para a superfície. O fluxo de calor no solo depende, predominantemente, da sua condutividade térmica, de seu calor específico e de sua emissividade, os quais por sua vez dependem do tipo de solo (CHESWORTH; SPAARGAREN; HADAS, 2008).

Uma vez que boa parte das reações químicas e transporte de nutrientes ocorre na água, como a água no solo é afetada pela temperatura do solo essa impacta diretamente a absorção de nutrientes. Foi estimado que, apenas 1% dos nutrientes que chegam à superfície do sistema radicular das plantas, isto é devido à interceptação direta, enquanto o restante é transportado para as raízes por fluxo de massa, transpiração e dispersão hidrodinâmica, e por difusão (PREGITZER; KING, 2005).

Um dos principais efeitos da temperatura do solo na umidade do solo é o aumento na taxa e profundidade da evaporação com o aumento da temperatura do solo, especialmente em situações onde o suprimento de água pode ser limitado. Cortina e Vallejo (1994) reportaram o declínio na decomposição de matéria orgânica devido à secagem do solo associado a elevadas temperaturas do solo em um campo de *Pinus radiata* desmatados em um ecossistema mediterrâneo do nordeste da Espanha. Paláez et al. (1992) reportaram uma forte relação inversa entre a temperatura do solo e o potencial de umidade no solo, a 5 centímetros de profundidade, em um ecossistema de *Prosopis* em uma região semiárida da Argentina.

Todas as reações químicas que ocorrem no solo, incluindo o intemperismo mineral, transformação biológica de nitrogênio, e grande parte das reações envolvendo íons de nutrientes na solução do solo (SPARKS, 1995), são fortemente influenciadas pela temperatura. Inúmeros processos no solo, bióticos e abióticos, que controlam a concentração de nutrientes na solução do solo ocorrem em taxas aceleradas nos solos mais quentes (PREGITZER; KING, 2005).

A elevação da temperatura do solo tem como resultado a diminuição da matéria orgânica e redução da fração de tamanho de argila levando a uma diminuição na capacidade de troca de cátion no solo (CERTINI, 2005). Outro impacto referente ao aumento de temperatura do solo é o aumento do pH do solo em intervalos entre 25°C a 39°C resultado da desnaturação de ácido orgânico que aumenta com a elevação da temperatura (MENZIES; GILLMAN, 2003).

Segundo Geiger et al. (2003), a vegetação apresenta um papel fundamental na variação de temperatura, ocupando um espaço entre a superfície da terra e a atmosfera. A cobertura vegetal forma uma zona de transição, onde as partes individuais das plantas como folhas, galhos e ramos tem um comportamento similar ao solo, absorvendo e emitindo radiação, evaporando e desempenhando seu papel na troca de energia com o ar circundante. Quando a radiação chega às folhas, parte é refletida pela superfície e isso é expresso como a porcentagem de radiação incidente chamado de albedo. A parte da radiação que atravessa a folha é expressa em uma porcentagem conhecida como coeficiente de transmissão. A radiação

restante é representada pelo coeficiente de absorção, onde a energia é absorvida e convertida em calor, aumentando a temperatura da folha. Dessa forma o aumento da distribuição vertical de radiação recebida e emitida pela vegetação resulta em menores extremos de temperatura da superfície do que em solos que estão descobertos. As temperaturas da superfície sob uma cobertura vegetal são mais baixas durante o dia e mais altas durante a noite.

Souza et al. (2016) verificou o aumento da temperatura do solo na região da Caatinga ao longo do tempo, em específico no Cariri Paraibano, consequência do aumento da remoção da vegetação e dos processos de desertificação. Ressaltando o impacto do aumento da temperatura da germinação de sementes o que dificulta a regeneração natural do bioma por meio dos processos de sucessão ecológica, mesmo que cessados os impactos antrópicos.

Gomes et al. (2021) observou maiores valores da temperatura do solo em região da Caatinga em áreas de cultivo agrícola na estação seca uma vez que existe uma maior desuniformidade vegetacional. O estudo ainda aponta que a diminuição na cobertura vegetal ocasiona maior susceptibilidade do ambiente aos efeitos da radiação solar, acarretando nas variações de temperatura, dessa forma acelerando a atividade microbiana e as perdas de CO_2 do solo.

2.4 UMIDADE DO SOLO

A umidade do solo é um componente vital do ciclo hidrológico, com fortes efeitos sobre o carbono, a água e as dinâmicas de energia na interface superfície-atmosfera (QUEIROZ et al., 2020). Sendo um fator determinante nos padrões de distribuição e crescimento da vegetação em ambientes semiáridos, além de ser a principal fonte de água para agricultura e a vegetação natural. No caso dos ecossistemas, é diretamente associado com a evapotranspiração e crescimento vegetativo, apesar de ser diretamente relacionado a ocorrência de secas agrícolas (PENG et al., 2017).

As mudanças na umidade do solo podem afetar o transporte e a viabilidade dos nutrientes no solo, o que intensifica ou alivia a competição por nutrientes entre plantas e os microrganismos presentes nos microambientes. Conseqüentemente, a umidade do solo durante os estágios de sucessão da vegetação pode fortemente favorecer o metabolismo microbiano com os nutrientes do solo, especialmente em ambientes com déficit hídrico (CUI et al., 2020).

Fries et al. (2020) observou que a viabilidade de água em regiões semiáridas estão relacionados com as condições climáticas predominantes, com a vegetação e os típicos

específicos de solo. E também, que a vegetação natural, especialmente a floresta, não apresenta déficit hídrico ao longo do ano, destacando as regiões mais altas, devido ao efeito de sombra das copas, o qual promove condições climáticas de umidade. Já as regiões de pasto e que apresentam erosão com a mesma altitude perderam muito ou totalmente a capacidade natural de reter água.

No estudo de Queiroz et al. (2020) foram analisadas três tipos diferentes de cobertura da terra, um agroecossistema de cactus forrageiros, um ambiente desflorestado e uma área com vegetação típica de Caatinga, ambos localizados em região semiárida do Brasil. Na área desflorestada, sucessivos anos de cultivo agrícola e degradação do pasto pelo gado doméstico resultou na redução da umidade do solo nas camadas intermediárias. No solo da cobertura vegetal, é comum observar o aumento da densidade e a diminuição da porosidade devido a atividade de pastejo dos animais, compactação da terra pelos maquinários agrícolas e o impacto da precipitação. Essas alterações da vegetação natural para áreas de cultivo de cactus para forragem e desflorestadas resultaram em uma diminuição de 26% e 47% no conteúdo de água no solo, respectivamente.

A seca edáfica, que é a deficiência da umidade em termos do sistema radicular das plantas e que resulta em considerável redução da produção agrícola (CAMPOS, 1994), é um dos requisitos principais para o desenvolvimento eventos extremos de temperatura, considerando que a dinâmica atmosférica controla o início desses eventos. Durante as secas, a baixa umidade do solo limita a evapotranspiração, que é o mais eficiente sistema de resfriamento da superfície. Essa modificação do balanço de energia na superfície aumenta a temperatura do ar, reduz a umidade relativa e aumenta o déficit de pressão de vapor (HUMPHREY et al., 2021) impactando tanto o ambiente natural quanto as atividades humanas.

2.5 MICROCLIMA

Os microclimas vem sendo definidos de diversas formas dependendo da disciplina e do contexto da análise. Em síntese, eles são constituídos por variáveis climáticas em uma escala fina e que, pelo menos na escala temporal, são desacoplados da dinâmica atmosférica que abrange o macroclima. Muitas são as variáveis, ou combinação delas, que podem ser utilizadas para definir um microclima, incluindo a temperatura, precipitação, radiação solar, cobertura de nuvens, velocidade e direção dos ventos, umidade, evaporação e viabilidade de água. Essas variáveis são influenciadas pelas variações bióticas e abióticas em escala fina,

incluindo a topografia, tipos de solo, cobertura vegetal e proximidade da costa (BRAMER et al., 2018).

A temperatura experienciada por pequenos organismos e pela vegetação em uma escala fina pode desviar da temperatura atmosférica (macroclima), as vezes de forma exacerbada, em mais de 15°C. Por tanto, é fundamental identificar esses desvios na temperatura para qualquer tipo de microábitat em qualquer lugar do planeta (PINCEBOURDE; SALLE, 2020).

Ao longo das últimas décadas vem sendo visto um importante aumento no número de pesquisas reportando os padrões microclimáticos em pequenas escalas, focando em sua maioria na temperatura (PINCEBOURDE, 2016). Silva et al. (2020) analisou duas áreas na região semiárida brasileira, uma com presença floresta tropical sazonalmente seca (Caatinga) e uma região desflorestada, em termos de microclima a segunda área apresentou uma maior temperatura do ar e no deficit de pressão de vapor, onde essas condições favorecem a redução da precipitação. E concluiu que a remoção da vegetação natural pode contribuir com a avanço dos processos de desertificação e pode afetar as atividades agrícolas nessa região.

Uma das mais importantes fontes de dados para o mapeamento da cobertura da terra são as imagens de satélite obtidas por meio do sensoriamento remoto (TOPALOĞLU et al., 2016) em função da sua ampla cobertura geográfica com baixo custo, fornecendo informações insubstituíveis na superfície da terra (KHATAMI et al., 2016). Com o aumento do número de satélites de observação da terra diversos produtos podem ser combinados para fornecer uma melhor cobertura temporal (LI; ROY, 2017) e diversos estudos já documentam a necessidade da utilização de dados de alta resolução espacial e temporal para um melhor monitoramento das mudanças na cobertura da terra (HANSEN; LOVELAND, 2012). Ainda mais, o sensoriamento remoto está oferecendo oportunidades para ultrapassar barreiras técnicas no estudo microclimático, produzindo camadas de dados detalhadas e espacialmente contínuas que podem ser usadas como variáveis explanatórias para entender e modelar as variações das temperaturas em grandes escalas temporais e espaciais (ZELLWEGER et al., 2019).

Segundo Crumley (1993) a seleção de uma dada escala no processo de análise ocorre porque, naquela escala em específico, certos padrões podem ser identificados e compreendidos. Dessa forma, o clima próximo ao solo, onde vivem a maior parte dos organismos terrestres, possui características distintas daquele que é medido por estações meteorológicas. Conforme Geiger et al. (2003), esse fato é conhecido a muito tempo, porém frequentemente negligenciado, e diversos estudos relacionados a ecologia utilizam dados climáticos medidos por estações meteorológicas convencionais ou dados interpolados dessas

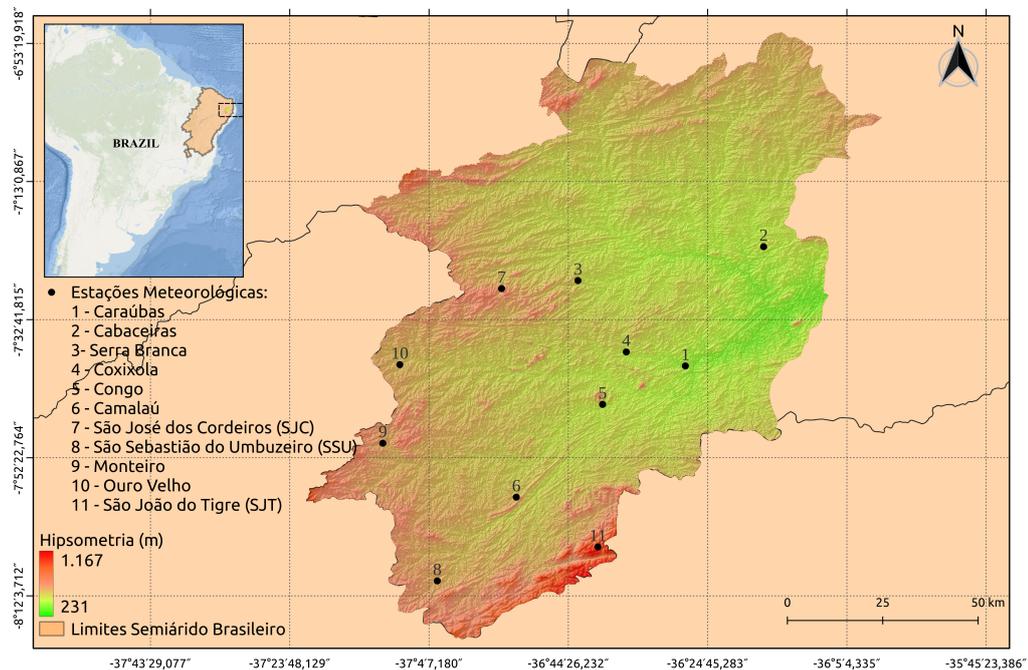
medições. Medições em escala microclimática são, portanto, essenciais para revelar os requisitos ecológicos das espécies (ASHCROFT et al., 2009; SLAVICH et al., 2014), especialmente em face da mudança climática que está em curso.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A bacia hidrográfica em análise é composta pelo Alto Curso do rio Paraíba e do rio Taperoá, seu afluente mais importante (Figura 1), tratados a partir de agora como Alto Curso do rio Paraíba, onde estão instaladas estações meteorológicas desde 2017. Essa bacia abrange uma área de 12.251,315 km², e está inserida, predominantemente, em clima tropical semiárido, fazendo parte da região de menor pluviosidade do Brasil, com médias de chuva inferiores a 500mm/ano e temperaturas superiores a 27°C (SOUZA et al., 2011).

Figura 2 - Mapa hipsométrico com a localização das estações meteorológicas.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023.

As estações meteorológicas de onde foram extraídos os dados de temperatura e umidade dos solos, além da pluviosidade, encontram-se localizadas em áreas degradadas, altitudes inferiores a 600m e clima semiárido. Como exceções, temos as estações de Monteiro e São Sebastião do Umbuzeiro (SSU), com maior cobertura vegetal, e São João do Tigre

(SJT), com altitude de 1.047m (Tabela 1) e clima subúmido seco (QUEIROZ et al., 2020; QUEIROZ et al., 2021; RAMOS et al., 2021).

Tabela 1 - Estações meteorológicas com os respectivos tipos de uso, altitude e coordenadas.

Nº	Estação Meteorológica	Tipo de Uso	Altitude (m)	Latitude	Longitude
1	Caraúbas	Pecuária Extensiva	388	7° 39.330'S	36° 27.910'O
2	Cabaceiras	Pecuária Extensiva	495	7° 22.329'S	36° 16.858'O
3	Serra Branca	Pecuária Extensiva	563	7° 27.152'S	36° 43.096'O
4	Coxixola	Pecuária Extensiva	489	7° 37.328'S	36° 36.264'O
5	Congo	Pecuária Extensiva	515	7° 44.806'S	36° 39.613'O
6	Camalaú	Pecuária Extensiva	603	7° 58.028'S	36° 51.809'O
7	São José dos Cordeiros (SJC)	Sem uso econômico	616	7° 28.301'S	36° 53.883'O
8	São Sebastião do Umbuzeiro (SSU)	Integração Lavoura-Pecuária-Floresta	639	8° 9.962'S	37° 2.977'O
9	Monteiro	Pecuária Extensiva	646	7° 50.346'S	37° 10.671'O
10	Ouro Velho	Avicultura	616	7° 39.140'S	37° 8.269'O
11	São João do Tigre (SJT)	Pecuária Extensiva	1045	8° 5.118'S	36° 40.281'O

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023.

3.2 DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados foram extraídos de uma rede de estações meteorológicas automáticas (11) pertencentes ao Laboratório de Estudos do Semiárido (LAESA) da Universidade Federal da Paraíba, no período entre 2017 e 2021.

As estações medem os dados climáticos de forma horária, sendo eles:

- 1) Temperatura do ar em graus Celsius (°C) a 1,5 metros de distância da superfície;
- 2) Velocidade (m/s) e direção do vento em graus;
- 3) Precipitação (mm);
- 4) Temperatura do solo em graus Celsius (°C) a 10 centímetros de profundidade;
- 5) Umidade do solo (Centibars) a 10 centímetros de profundidade;

No estudos foi aplicado um redução da escala temporal das variáveis climáticas resultando em valores diários da precipitação acumulada e valores médios de temperatura e umidade do solo.

4 CAPÍTULO 1

Influência da cobertura vegetal na temperatura do solo em regiões microclimáticas do semiárido brasileiro.

4.1 RESUMO

A Caatinga, floresta seca de maior biodiversidade do planeta, vêm apresentando mudanças na cobertura da terra ocorrendo ao longo dos séculos que ameaçam a biodiversidade e o desenvolvimento socioeconômico. Esse trabalho teve como objetivo analisar o impacto das mudanças na cobertura vegetal entre 2017 e 2021 sobre o microclima no Alto Curso do Rio Paraíba/Brasil. Os dados de temperatura e umidade do solo, e precipitação foram extraídos de estações meteorológicas distribuídas na região. Também foram extraídos valores do índice de vegetação *MSAVI* para a região e dentro das áreas de influência de cada estação meteorológica. Análises de agrupamento, utilizando *K-means*, como também análises de correlação (*Spearman*) mostraram grande influência da cobertura da terra na temperatura do solo, principalmente valores máximos. A estação meteorológica de São Sebastião do Umbuzeiro, com vegetação relativamente mais preservada, foi classificada pelo modelo como um grupo a parte das demais estações. Essa estação apresentou o maior valor de correlação entre temperatura máxima do solo e *MSAVI* (-0,76), além de alta correlação entre a temperatura e umidade do solo (0.50) com 30 dias de atraso. Tais resultam demonstram um menor impacto da temperatura na redução de água do solo, diferente das demais estações que apresentaram correlação direta.

Palavras-chave: Temperatura do solo. Microclima. Caatinga. Semiárido. Vegetação.

Influence of Vegetation Cover on Soil Temperature in Microclimatic Regions of the Brazilian Semiarid.

ABSTRACT

The Caatinga, the most biodiverse dry forest on the planet, has been undergoing land cover changes over the centuries that threaten biodiversity and socioeconomic development. This study aimed to analyze the impact of changes in vegetation cover between 2017 and 2021 on the microclimate in the Alto Curso do Rio Paraíba/Brasil. Temperature and soil humidity data, as well as precipitation, were extracted from meteorological stations distributed in the region. Vegetation Index *MSAVI* values were also extracted for the region and within the influence areas of each meteorological station. Cluster analysis using *K-means*, as well as correlation analysis (*Spearman*), revealed a significant influence of land cover on soil temperature, especially maximum values. The meteorological station in São Sebastião do Umbuzeiro, with relatively more preserved vegetation, was classified by the model as a separate group from the other stations. This station showed the highest correlation value between maximum soil temperature and *MSAVI* (-0.76), along with a high correlation between temperature and soil humidity (0.50) with a 30-day lag. These results demonstrate a lower impact of temperature on soil water reduction, unlike the other stations that exhibited a direct correlation.

Keywords: Soil temperature. Microclimate. Caatinga. Semiarid. Vegetation.

4.2 INTRODUÇÃO

A Caatinga é o bioma predominante na Região Nordeste do Brasil, incluindo ainda o norte do Estado de Minas Gerais, na Região Sudeste, chegando a abranger cerca de 10% do território nacional (SOUZA et al., 2015a). É considerado um dos mais importantes hotspots do planeta (WILLIAMS et al., 2011), o bioma de clima semiárido que possui a maior biodiversidade do mundo, apresentando também elevada importância econômica e cultural (SILVA et al., 2019).

Nessa região predominam depressões interplanálticas quentes e secas (AB'SABER, 1977). As precipitações regionais são relativamente escassas, com uma média anual variando entre 500 e 800 mm (SILVA et al., 2004), e muito irregulares tanto no tempo quanto no espaço, caracterizando um comportamento imprevisível em relação a sua variação de ano para ano. Sujeita a um clima subequatorial e tropical semiárido, nessa região ocorrem matas ralas e caducifólias fadadas a fortes deficiências hídricas (FERNANDES; QUEIROZ, 2018).

A Caatinga apresenta mais de 50% do seu território com processos de degradação crônica (SILVA; BARBOSA, 2017; ANTONGIOVANNI et al., 2020), resultado de anos de intervenção humana, sendo a densidade de pessoas e do gado os principais fatores impulsionadores de mudanças nas comunidades de plantas (RIBEIRO et al., 2015; LEDRU et al., 2020). Nesse contexto, uma vez perdida ou alterada intensamente essa cobertura vegetal, são estabelecidas determinadas condições ambientais que originam e alimentam, em muitos casos, processos de desertificação e também de erosão que afetam a capacidade do bioma em se regenerar naturalmente (XAVIER et al., 2023; GEIST; LAMBIN, 2004; SOUZA et al., 2011; 2015a; 2015b).

A mudança no uso da terra é uma das principais causas de degradação do solo em todo o planeta, porém sua intensidade irá depender do tipo de uso praticado e da resiliência do bioma impactado (GUNDERSON, 2000). O monitoramento do ambiente e modelagens ambientais são tradicionalmente feitos utilizando imagens orbitais com uma menor resolução espacial (ZELLWEGGER et al., 2019). Entretanto, em processos que envolvem mudanças na cobertura vegetal, como o clima local é seriamente afetado, se torna fundamental o uso de imagens com escala mais detalhada nas análises realizadas (LEMBRESCHTS et al., 2019, 2020), além de outros sensores.

E, se tratando de microclima, a utilização de dados coletados *in situ* que se aproximem das resoluções específicas do táxon é fundamental para o monitoramento do ambiente, dos ecossistemas e espécies, e como estes serão afetados pelas alterações futuras no mundo (BRAMER et al., 2018).

A temperatura do solo (TS) influencia processos físico-químicos e biológicos, tais como germinação de sementes, fotossíntese trocas gasosas entre a atmosfera e o solo, decomposição da matéria orgânica, como também a umidade do solo e disponibilidade de água para as plantas (KOHNEKE, 1968; HAMDI et al., 2013; HURSH et al., 2017; ONWUKA; MANG, 2018; JIAN et al., 2022).

Acrescentamos ainda que as condições de temperatura do solo, mais que as do ar, são as principais definidoras de diversas funções ecossistêmicas, sendo essas funções altamente sensíveis às temperaturas dominantes nessa parte do ambiente (PORTILLO-ESTRADA et al., 2016; MEDINETS et al., 2019).

Nos cenários de aquecimento da temperatura do ar, como o que consta no quinto relatório de avaliação das mudanças climáticas globais (IPCC, 2022), o regime térmico do solo é diretamente afetado (KURYLYK et al, 2014). Nesse contexto, as investigações sobre a TS contribuem decisivamente para o entendimento das mudanças no clima regional e nas condições ambientais locais (ZHU et al., 2018), gerando informações essenciais para o entendimento do funcionamento dos ecossistemas e o uso sustentável desses ambientes, inclusive para o futuro.

A hipótese da presente investigação é de que ambientes com cobertura vegetal possuem relação com o controle da variação sazonal do clima, proporcionando uma menor variabilidade da temperatura, principalmente em função dos extremos de temperatura do solo, dessa forma preservando serviços ecossistêmicos fundamentais para a manutenção e desenvolvimento de regiões semiáridas, tais como a disponibilidade de água no solo e condições climáticas que permitem a germinação de sementes de diversas espécies no bioma Caatinga.

O objetivo desse trabalho foi analisar as variações temperatura do solo em escala microclimática em diferentes ambientes da Caatinga, e sua correlação com a cobertura vegetal e os impactos ambientais decorrentes dessas variações.

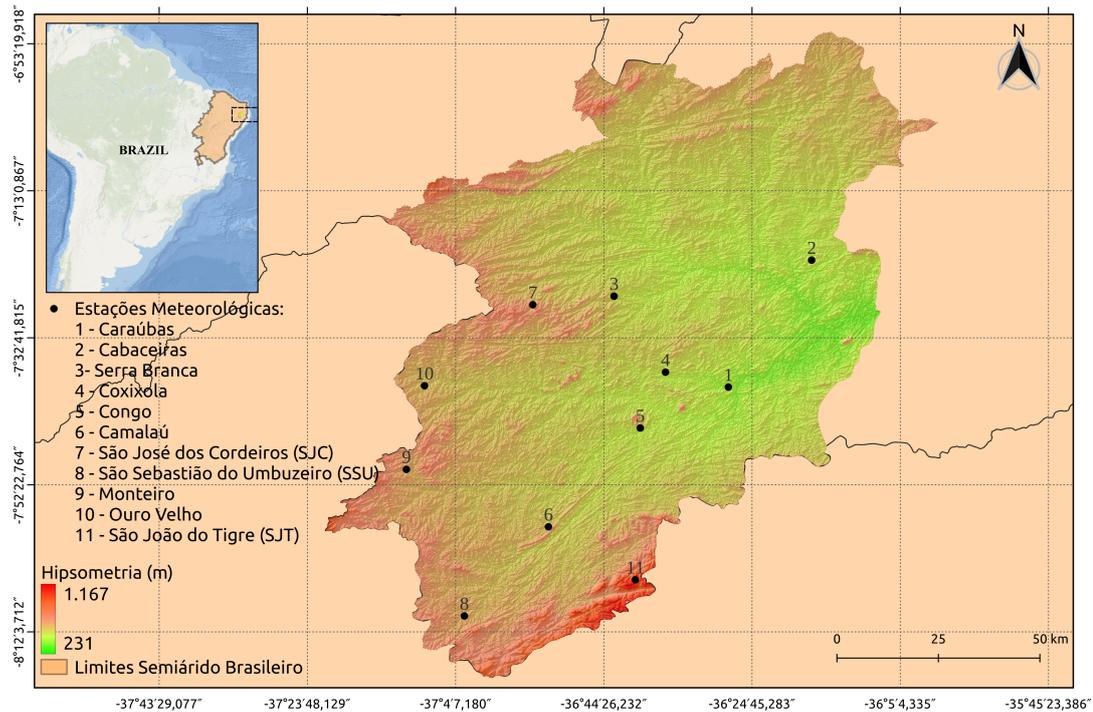
4.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área

A bacia hidrográfica em análise é composta pelo Alto Curso do rio Paraíba e do rio Taperoá, seu afluente mais importante (Figura 1), tratados a partir de agora como Alto Curso do rio Paraíba. Onde estão instaladas estações meteorológicas desde 2017. Essa bacia abrange

uma área de 12.251,315 km², e está inserida, predominantemente, em clima tropical semiárido, com médias de chuva inferiores a 500 mm/ano e temperaturas superiores a 27°C (SOUZA et al., 2011).

Figura 3 - (Artigo 1) Figura 1: Mapa hipsométrico com a localização das estações meteorológicas, 2023.



Fonte: Autores, 2023.

As estações meteorológicas estão localizadas em áreas degradadas, altitudes inferiores a 600 m e clima semiárido. As estações de Monteiro e São Sebastião do Umbuzeiro (SSU) com maior cobertura vegetal, e São João do Tigre (SJT), com altitude de 1.047m (Tabela 1) e clima subúmido seco (QUEIROZ et al., 2020; QUEIROZ et al., 2021; RAMOS et al., 2021) são exceções.

Tabela 2 - (Artigo 1) Tabela 1: Estações meteorológicas com os respectivos tipos de uso, valores médios do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo Modificado (MSAVI), coordenadas e altitude, 2023.

Nº	Estação Meteorológica	Tipo de Uso	MSAVI Médio	Altitude (m)	Latitude	Longitude
1	Caraúbas	Pecuária Extensiva	0,291	388	7° 39.330'S	36° 27.910'O
2	Cabaceiras	Pecuária Extensiva	0,366	495	7° 22.329'S	36° 16.858'O
3	Serra Branca	Pecuária Extensiva	0,336	563	7° 27.152'S	36° 43.096'O
4	Coxixola	Pecuária Extensiva	0,325	489	7° 37.328'S	36° 36.264'O
5	Congo	Pecuária Extensiva	0,313	515	7° 44.806'S	36° 39.613'O
6	Camalaú	Pecuária Extensiva	0,374	603	7° 58.028'S	36° 51.809'O
7	São José dos Cordeiros (SJC)	Sem uso econômico	0,34	616	7° 28.301'S	36° 53.883'O
8	São Sebastião do Umbuzeiro (SSU)	Integração Lavoura-Pecuária-Floresta	0,491	639	8° 9.962'S	37° 2.977'O
9	Monteiro	Pecuária Extensiva	0,454	646	7° 50.346'S	37° 10.671'O
10	Ouro Velho	Avicultura	0,358	616	7° 39.140'S	37° 8.269'O
11	São João do Tigre (SJT)	Pecuária Extensiva	0,465	1045	8° 5.118'S	36° 40.281'O

Fonte: Autores, 2023.

A cobertura vegetal apresenta, em geral, porte baixo a médio variando entre 2,6 a 3,6 metros (SABINO; CUNHA; SANTANA, 2016), com alterações em quantidade e diversidade, devido principalmente as atividades ligadas à agropecuária e também ao uso da madeira para a produção de cercas e como fonte energética, para uso doméstico e industrial (SOUZA et al., 2011; TRAVASSOS; SOUZA, 2014). Apresentando com dominância as espécies arbustivas como: pinhão-bravo (*Jatropha molissima*), marmeleiro (*Croton blanchatianus*), mofumbo (*Combretum leprosum*), jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*), pereiro (*Aspidosperma pyrifuluim*) e a catingueira (*Poincianella gardneriana*) (SOUZA; SOUZA, 2016).

Alguns setores, como topos de serras e áreas de entorno de inselbergs, apresentam maior riqueza vegetal, (SILVA et al., 2019; QUEIROZ et al., 2020), inclusive com encaves de outros ecossistemas não pertencentes à Caatinga (QUEIROZ et al., 2021).

Variáveis climáticas

Temperaturas mínima e máxima do solo (°C), umidade média (Centibar) e precipitação acumulada (mm) correspondem ao período entre 2017 e 2021, medidos diariamente por estações meteorológicas. A temperatura e umidade do solo foram medidos a 10 cm de profundidade. A medição da umidade é realizada através de um tensiômetro que mede a força física que retém a água no solo em Centibars, variando de zero (solo saturado) a 200 (extremamente seco) entretanto, para melhor visualização da relação entre as variáveis, a escala da umidade do solo foi invertida. Os dados das estações foram analisados de forma agrupada em períodos seco e úmido. Precipitação igual ou inferior a 2,5 mm definiu eventos

secos (JALE et al, 2019). Precipitação superior a 2,5 mm definiu eventos chuvosos.

A correlação entre as variáveis climáticas foi calculada pelo coeficiente de *Spearman* com intervalos de tempo variando entre 0 e 90 dias para a umidade do solo. Segundo Wu & Dickinson (2004) a memória da umidade do solo é um aspecto fundamental nas interações superfície-atmosfera, o que pode acarretar em um efeito de atraso entre a umidade do solo e os fatores climáticos.

Para o estabelecimento de diferentes microclimas com base na temperatura do solo, foi realizado o processo de agrupamento *K-means*, baseado em particionamento (BHOLOWALIA, 2014). Nesse caso, o agrupamento foi realizado para séries temporais, utilizando o método *Dynamic Time Warping* (DTW), para calcular a distância entre as séries.

Índice de vegetação

A análise da cobertura da terra foi baseada nos dados extraídos de imagens do satélite *Sentinel 2* (n= 372), resolução de 10 m e resolução temporal igual a cinco dias, fornecidas pela Agência Espacial Europeia, referentes aos anos 2017 a 2021, sendo escolhidas as que possuíam índice de cobertura de nuvens abaixo de 10%.

Nessa etapa, também foi levada em consideração a sazonalidade pluviométrica do semiárido brasileiro, tendo sido selecionadas imagens representativas dos períodos: Chuvoso – março a junho, caracterizando o quadrimestre de maior concentração de chuvas dessa região segundo os dados de pluviosidade das estações meteorológicas; Seco - outubro a dezembro (normalmente, sem ocorrência de chuvas).

A densidade da cobertura vegetal foi mensurada através do Índice de Vegetação Ajustado aos Solo Modificado – MSAVI (QI et al., 1994).

Nas análises de dados climáticos, coletados *in situ*, diversos estudos utilizam a metodologia da área de entorno, delimitando raios de influência e avaliando o comportamento local próximo aos pontos de coleta. Como os estudos de: 50 m (SENIOR et al., 2018), 25 m (FREY et al., 2016) e 20 m (ELBONDIRA et al., 2021).

Levando em consideração a baixa heterogeneidade paisagística da maioria das áreas onde estão localizadas as estações meteorológicas foi adotado o menor raio de influência (RI) – 20 m, para avaliar a correlação entre os dados climáticos e os valores de MSAVI.

Foram extraídos a média, os valores máximos e mínimos dos pixels dentro do RI no entorno de cada estação meteorológica sem a redução das imagens, retornando assim uma série temporal do índice de vegetação pontual para o mesmo período analisado. Com isso, foi selecionado o período das variáveis climáticas coincidentes com as séries temporais de

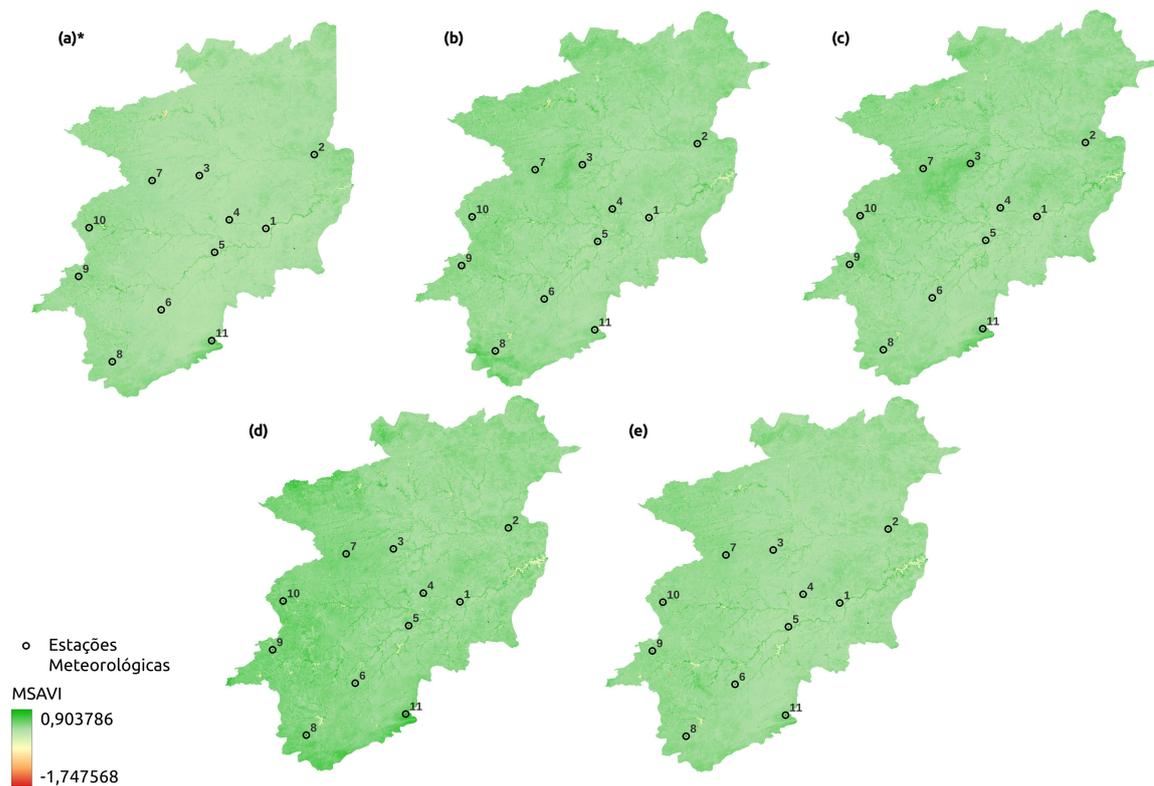
MSAVI para cada estação meteorológica e calculada a correlação de *Spearman* entre o índice de vegetação e cada variável climática.

4.4 RESULTADOS

Índice de Vegetação MSAVI

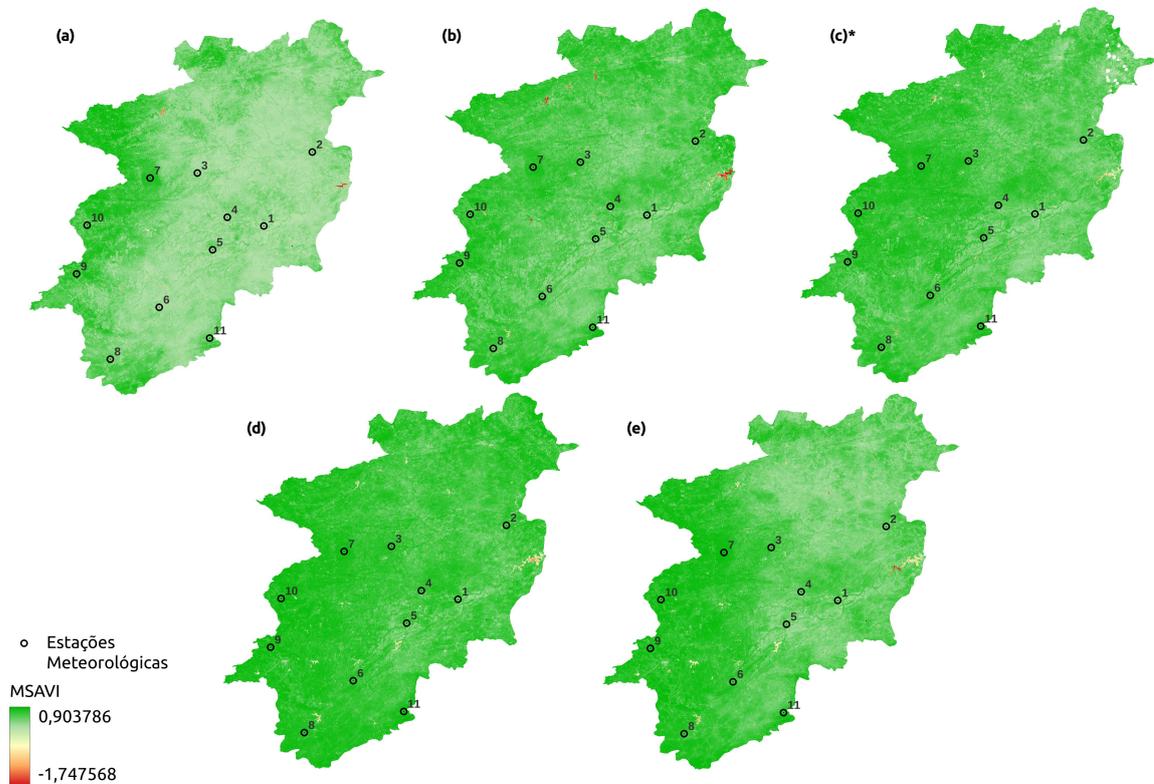
Nas figuras 2 e 3 são mostrados os mapas do índice vegetação do período entre 2017 e 2021, para as estações seca e úmida, respectivamente.

Figura 4 - (Artigo 1) Figura 2: Mapa da média do MSAVI no período seco, com a identificação das estações meteorológicas: (a)* 2017; (b) 2018; (c) 2019; (d) 2020; (e) 2021, 2023.



Fonte: Autores, 2023.

Figura 5 - (Artigo 1) Figura 3: Mapa da média do MSAVI no período úmido, com a identificação das estações meteorológicas: (a) 2017; (b) 2018; (c)* 2019; (d) 2020; (e) 2021, 2023.

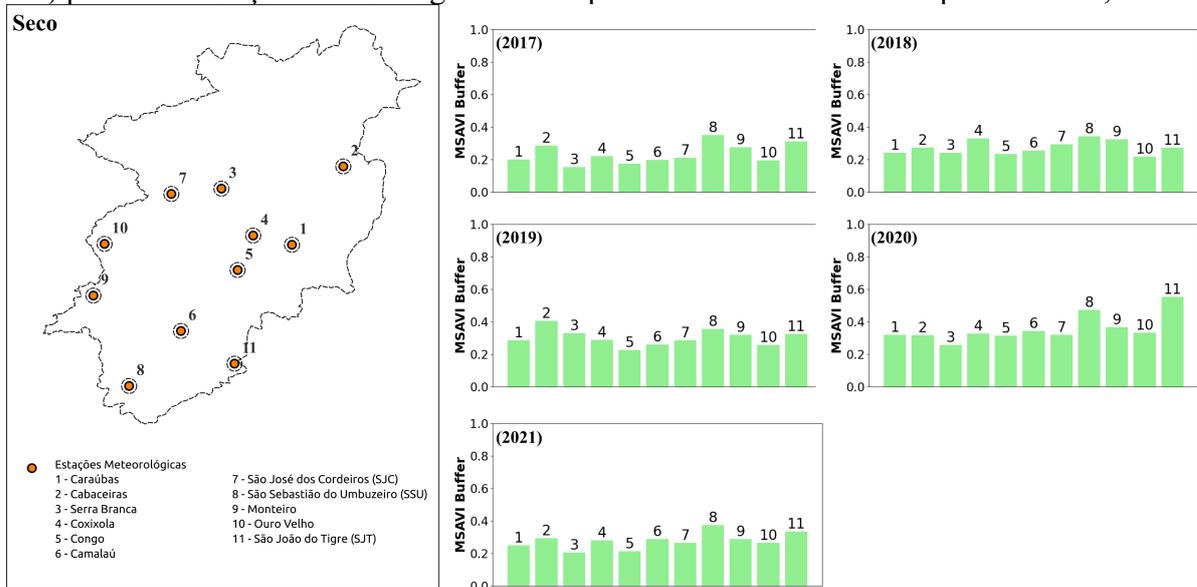


Fonte: Autores, 2023.

Ao examinar os mapas do Índice de Vegetação por Ajuste do Solo Modificado (MSAVI), é evidente a existência de uma relação significativa entre o crescimento vegetativo e a sazonalidade, que é determinada pela precipitação. Esse fator é característico da região, devido à predominância de uma vegetação com características xerófilas. Além disso, ao comparar diferentes períodos, observa-se que cada período apresenta uma resposta distinta em relação à quantidade acumulada de precipitação a cada ano. Em 2017, por exemplo, verificou-se o menor índice de precipitação, seguido de uma melhoria desse número nos anos subsequentes e uma nova redução no último ano analisado.

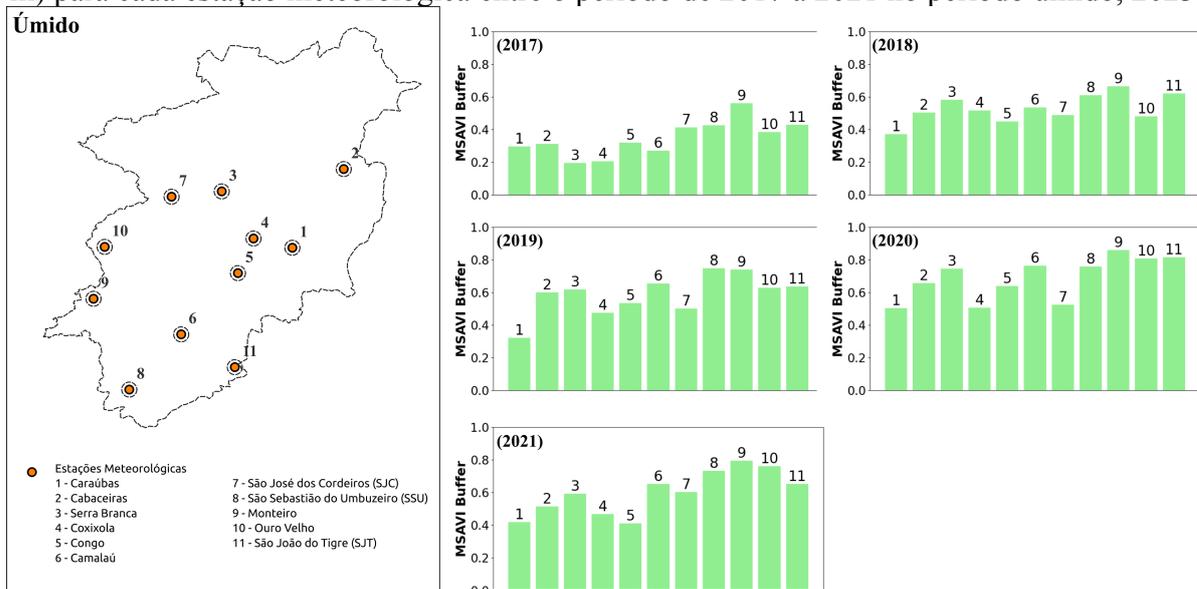
Nas figuras (4) e (5) temos a distribuição do MSAVI médio na área de influência (20 m) para cada estação meteorológico, representando a dinâmica vegetativa no entorno dos equipamentos para o período seco e úmido, respectivamente.

Figura 6 - (Artigo 1) Figura 4: Valores médios do MSAVI dentro da área de influência (20 m) para cada estação meteorológica entre o período de 2017 a 2021 no período seco, 2023.



Fonte: Autores, 2023.

Figura 7 - (Artigo 1) Figura 5: Valores médios do MSAVI dentro da área de influência (20 m) para cada estação meteorológica entre o período de 2017 a 2021 no período úmido, 2023.



Fonte: Autores, 2023.

Ao restringir a análise à região de entorno das estações de monitoramento, é possível observar o comportamento local da vegetação. Durante o período seco, conforme previsto, a estação meteorológica de São Sebastião do Umbuzeiro exibe a média mais alta do índice de vegetação em comparação com as outras estações, refletindo o tipo de uso da terra nessa região e sua consequente cobertura vegetal.

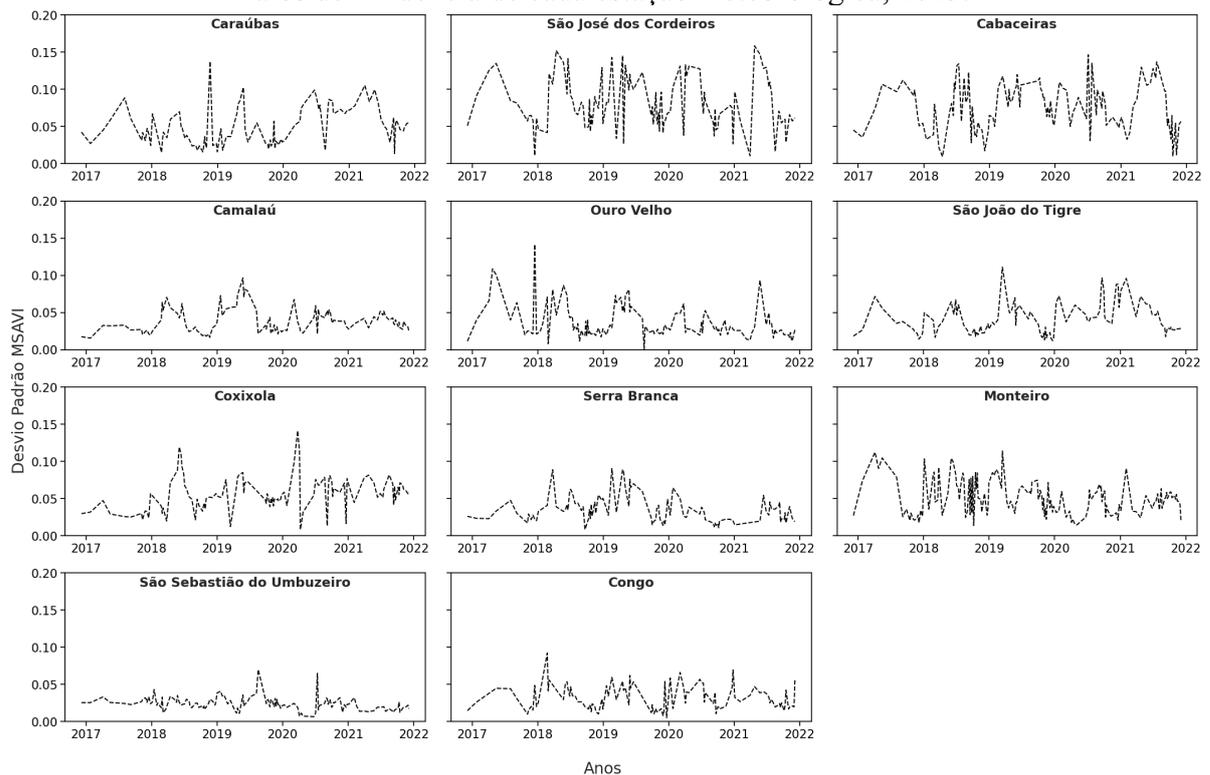
Por outro lado, durante o período úmido, há um aumento significativo na média do

índice de vegetação em todas as estações, com destaque para a região de Monteiro, que registra um valor médio de 0,724. Esse padrão de comportamento também reflete o tipo de uso e cobertura das estações, sendo que a vegetação predominante consiste principalmente de gramíneas e arbustos de rápido crescimento durante a estação chuvosa.

Em contraste, a estação de São Sebastião do Umbuzeiro exibe uma composição vegetal menos suscetível a sazonalidade da região, característica de áreas com maior predominância de espécies arbóreas, resultando em uma variação menor do índice de vegetação entre os períodos, em comparação com as demais estações. Essa tendência será corroborada nos resultados subsequentes, nos quais o desvio padrão do MSAVI é calculado para a região.

A figura (6) mostra os valores do desvio padrão de MSAVI dentro dos RI de cada estação para o período de 2017 a 2021.

Figura 8 - (Artigo 1) Figura 6: Série temporal do desvio padrão do MSAVI médio para os raios de influência de cada estação meteorológica, 2023.



Fonte: Autores, 2023.

O desvio padrão do MSAVI dentro de cada RI do entorno das estações representa a variabilidade da composição vegetativa, com os valores mínimos de MSAVI variando de -0,43 a 0,85; e os valores máximos variando de -0,07 a 0,90. Dentre todas as estações, temos

como destaque São Sebastião do Umbuzeiro, apresentando uma baixa variabilidade, com um desvio padrão médio igual a 0.02, do índice de vegetação ao longo dos anos, resultado de uma vegetação nativa relativamente preservada e contínua.

As demais estações, que apresentam uma maior variabilidade em comparação a estação de São Sebastião do Umbuzeiro, variando no valor médio de 0.03 á 0.08, são reflexo da antropização e remoção da vegetação nativa, caracterizadas com a presença de poucas espécies pioneiras e uma distribuição no espaço de forma pouca adensada, como já mencionado neste estudo.

Variáveis climáticas

A precipitação apresenta alta variabilidade espacial e temporal, com a ocorrência de eventos extremos influenciados por diferentes sistemas meteorológicos atuantes na região como a Zona de Convergência Intertropical e os Distúrbios Ondulatórios de Leste (TINÔCO et al., 2018).

Durante o período analisado, observou-se uma variação significativa nos níveis de precipitação média na região. Em 2017, registrou-se o menor índice pluviométrico, com apenas 276,5 mm de chuvas. Nos anos subsequentes, houve um aumento gradual, atingindo o pico em 2020, quando a região recebeu uma média de 575,56 mm de precipitação. No entanto, em 2021, os níveis de chuva voltaram a decrescer, totalizando 348 mm.

O ano mais seco da série foi marcado por condições extremas em duas estações meteorológicas específicas: Camalaú e Serra Branca, que apresentaram os menores níveis de precipitação, com apenas 75,2 mm e 89,2 mm, respectivamente. No mesmo período, destacaram-se também as estações de Ouro Velho e Monteiro, que registraram os maiores índices de chuva, alcançando 547,2 mm e 738,2 mm, respectivamente.

Durante o período de maior umidade, as estações de Monteiro e Serra Branca também se destacaram, mas dessa vez pelos menores valores de precipitação, registrando apenas 26,6 mm e 149,2 mm, respectivamente. Em contraste, nesse mesmo período, as estações de São José dos Cordeiros e São João do Tigre foram as mais afetadas pelas chuvas, com índices de 867,6 mm e 1112,4 mm, respectivamente.

Em relação à temperatura do solo, o ano de 2019 registrou os menores valores tanto para as temperaturas máximas quanto para as mínimas, atingindo 25,7 °C e 29,6 °C, respectivamente. Por outro lado, em 2020, as temperaturas máximas e mínimas alcançaram os valores mais altos, com 26,4 °C e 30,8 °C, respectivamente.

No ano de 2019, destacam-se as estações de São João do Tigre (24,3 °C) e Cabaceiras

(24,4 °C), que apresentaram os menores valores mínimos de temperatura do solo. Em contrapartida, as estações de Ouro Velho e Congo registraram os maiores valores mínimos, atingindo 27,3 °C e 27,8 °C, respectivamente.

Quanto às temperaturas máximas, as estações de São João do Tigre e Serra Branca apresentaram os menores valores, com 27,9 °C em ambas. Já as estações de Camalaú e Congo foram as que apresentaram as maiores temperaturas máximas, alcançando 32 °C e 32,4 °C, respectivamente.

No ano mais quente (2020), as estações de São João do Tigre (22,2 °C) e São José dos Cordeiros (25,2 °C) apresentaram as menores temperaturas mínimas, enquanto as estações de Congo e Monteiro registraram os maiores valores, com 28,5 °C e 29,8 °C, respectivamente.

Em relação à temperatura máxima, destacaram-se as estações de São João do Tigre (24,5 °C) e Ouro Velho (29 °C), apresentando os menores valores. Já as estações de Congo e Monteiro continuaram a exibir os maiores valores, alcançando 32,4 °C e 35,7 °C, respectivamente.

Tabela 3 - (Artigo 1) Tabela 2: Média anual das temperaturas máximas e mínimas do solo e a precipitação acumulada entre os anos de 2017 e 2021 para todas as estações meteorológicas no período seco (precipitação diária < 2.5 mm), 2023.

Estações Meteorológicas	2017			2018			2019			2020			2021		
	TS Min(°C)	TS Máx(°C)	Precipitação (mm)	TS Min(°C)	TS Máx(°C)	Precipitação (mm)	TS Min(°C)	TS Máx(°C)	Precipitação (mm)	TS Min(°C)	TS Máx(°C)	Precipitação (mm)	TS Min(°C)	TS Máx(°C)	Precipitação (mm)
Camalaú	26,64	33,45	29,00	27,38	34,62	11,40	25,83	33,42	30,40	26,50	33,58	45,40	26,95	33,64	24,80
Cabaceiras	27,05	38,36	32,60	27,09	35,27	25,60	25,51	32,37	34,00	27,08	35,10	51,60	27,68	36,81	25,20
São José dos Cordeiros	27,26	36,07	30,80	26,43	34,46	26,20	25,29	31,92	44,80	26,04	33,59	28,40	26,86	34,13	26,20
São João do Tigre	23,51	28,36	80,20	24,11	28,89	45,60	25,00	29,07	36,40	23,18	26,55	72,80	24,77	30,42	64,60
Ouro Velho	27,68	34,67	34,40	27,29	32,17	39,80	27,43	32,66	24,60	26,90	31,35	12,80	28,24	34,43	24,20
Monteiro	26,50	32,80	46,80	25,42	29,34	25,60	24,96	29,18	35,48	29,37	37,00	2,60	27,58	32,67	27,80
Coxixola	28,87	34,64	39,60	28,41	34,51	17,60	26,66	31,66	39,80	26,82	32,06	31,20	28,02	33,62	25,60
Congo	28,02	35,38	24,00	28,59	36,39	19,40	27,63	33,05	40,00	28,76	32,82	24,60	30,14	34,68	28,40
São Sebastião do Umbuzeiro	26,63	32,39	36,00	26,39	31,59	28,20	25,08	28,52	25,20	25,51	29,45	23,20	27,01	31,86	38,80
Caráúbas	27,68	36,62	49,80	27,85	34,77	30,20	27,20	32,92	27,40	27,89	32,54	26,80	28,12	33,64	15,60
Serra Branca	26,43	34,51	44,40	26,61	31,77	21,40	25,30	28,47	46,40	27,31	31,97	24,40	28,72	33,56	24,20
Média	26,93	34,30	40,69	26,87	33,07	26,45	25,99	31,20	34,95	26,85	32,37	31,25	27,64	33,59	29,58
Coefficiente de Variação (%)	4,8	7,3	35,8	4,6	7,1	35,0	3,8	6,0	20,4	5,9	8,1	58,6	4,6	4,6	41,3

Fonte: Autores, 2023.

Tabela 4 - (Artigo 1) Tabela 3: Média anual das temperaturas máximas e mínimas do solo e a precipitação acumulada entre os anos de 2017 e 2021 para todas as estações meteorológicas no período úmido (precipitação diária > 2.5 mm), 2023.

Estações Meteorológicas	2017			2018			2019			2020			2021		
	TS Min(°C)	TS Máx(°C)	Precipitação (mm)	TS Min(°C)	TS Máx(°C)	Precipitação (mm)	TS Min(°C)	TS Máx(°C)	Precipitação (mm)	TS Min(°C)	TS Máx(°C)	Precipitação (mm)	TS Min(°C)	TS Máx(°C)	Precipitação (mm)
Camalaú	26,61	33,33	104,20	27,31	34,49	193,60	25,87	33,25	480,80	26,42	33,33	719,00	26,88	33,38	460,20
Cabaceiras	26,82	37,77	156,20	26,97	34,97	181,80	25,35	31,81	275,60	26,94	34,76	459,80	27,60	36,53	161,80
São José dos Cordeiros	27,19	35,87	327,60	26,30	34,03	507,80	25,26	31,68	568,80	25,95	33,29	896,00	26,69	33,87	718,00
São João do Tigre	23,30	27,90	466,80	24,01	28,62	409,80	24,94	28,96	448,40	23,03	26,22	1185,20	24,64	30,10	484,20
Ouro Velho	27,53	34,29	581,60	27,05	31,81	668,20	27,43	32,55	103,00	26,43	30,62	781,60	28,03	34,09	442,40
Monteiro	26,42	32,58	785,00	25,37	29,18	395,40	25,03	29,17	712,68	29,38	36,96	29,20	27,50	32,53	400,80
Coxixola	28,75	34,44	215,00	28,38	34,45	461,20	26,60	31,47	288,20	26,80	31,82	609,80	27,95	33,44	228,00
Congo	28,02	35,27	278,20	28,50	36,19	455,40	27,65	32,99	537,60	28,74	32,78	760,40	30,09	34,55	271,40
São Sebastião do Umbuzeiro	26,63	32,32	278,40	26,37	31,51	258,80	25,14	28,55	516,80	25,60	29,52	321,60	26,98	31,72	316,80
Caraúbas	27,63	36,46	162,60	27,31	34,49	193,60	27,11	32,65	144,40	27,80	32,41	738,80	28,06	33,58	187,60
Serra Branca	26,40	34,37	133,60	26,45	31,42	363,60	25,30	28,39	633,00	27,30	31,92	173,60	28,59	33,36	491,40
Média	26,84	34,06	317,20	26,73	32,83	371,75	25,97	31,04	428,12	26,76	32,15	606,82	27,55	33,38	378,42
Coefficiente de Variação (%)	4,9	7,3	64,0	4,6	7,2	39,4	3,8	5,8	44,3	6,0	8,3	52,7	4,7	4,6	41,5

Fonte: Autores, 2023.

Observando os dados das tabelas acima (Tab. 2 e Tab. 3) é possível perceber a influência da precipitação na variação da temperatura do solo, destacando os valores máximos, sendo mais proeminente nos ambientes que apresentam um uso do solo que favorece uma melhor estrutura vegetativa, como exemplo a estação de São Sebastião do Umbuzeiro, que apresenta o maior valor médio de MSAVI (0,491) dentre as estações.

Tabela 5 - (Artigo 1) Tabela 4: Média da umidade do solo e precipitação acumulada no período seco (precipitação diária < 2.5 mm) entre os anos de 2017 e 2021 para todas as estações meteorológicas, 2023.

Estações Meteorológicas	2017		2018		2019		2020		2021	
	Umidade do Solo (Centibar)	Precipitação (mm)								
Camalaú	171,27	29,00	158,54	11,40	133,39	30,40	147,14	45,40	144,27	24,80
Cabaceiras	179,82	32,60	163,13	25,60	112,20	34,00	132,90	51,60	168,32	25,20
São José dos Cordeiros	157,09	30,80	159,02	26,20	106,54	44,80	122,72	28,40	156,63	26,20
São João do Tigre	125,65	80,20	169,03	45,60	148,07	36,40	99,79	72,80	168,13	64,60
Ouro Velho	145,31	34,40	156,03	39,80	178,26	24,60	59,60	12,80	145,48	24,20
Monteiro	138,55	46,80	112,19	25,60	190,07	35,48	187,62	2,60	157,16	27,80
Coxixola	184,80	39,60	179,85	17,60	159,87	39,80	150,51	31,20	184,83	25,60
Congo	184,50	24,00	163,63	19,40	161,90	40,00	152,69	24,60	191,34	28,40
São Sebastião do Umbuzeiro	184,37	36,00	183,96	28,20	162,51	25,20	118,85	23,20	189,29	38,80
Caraúbas	183,08	49,80	172,98	30,20	169,58	27,40	147,30	26,80	167,55	15,60
Serra Branca	179,29	44,40	149,80	21,40	39,43	46,40	152,95	24,40	158,75	24,20
Média	166,70	40,69	160,74	26,45	141,98	34,95	133,82	31,25	166,52	29,58
Coefficiente de Variação (%)	12,27	35,82	11,32	35,01	28,73	20,42	23,92	58,57	9,34	41,26

Fonte: Autores, 2023.

Tabela 6 - (Artigo 1) Tabela 5: Média da umidade do solo e precipitação acumulada no período úmido (precipitação diária > 2.5 mm) entre os anos de 2017 e 2021 para todas as estações meteorológicas, 2023.

Estações Meteorológicas	2017		2018		2019		2020		2021	
	Umidade do Solo (Centíbar)	Precipitação (mm)								
Camalaú	95,19	75,20	89,90	182,20	94,79	450,40	63,47	673,60	71,29	435,40
Cabaceiras	85,85	123,60	55,06	156,20	32,11	241,60	41,61	408,20	69,69	136,60
São José dos Cordeiros	132,93	296,80	71,54	481,60	54,99	524,00	54,33	867,60	87,42	691,80
São João do Tigre	84,65	386,60	124,27	364,20	106,98	412,00	54,37	1112,40	131,21	419,60
Ouro Velho	103,90	547,20	64,30	628,40	161,33	78,40	33,04	768,80	50,63	418,20
Monteiro	97,06	738,20	61,23	369,80	188,81	677,20	114,19	26,60	71,11	373,00
Coxixola	196,08	175,40	141,36	443,60	121,30	248,40	83,43	578,60	150,65	202,40
Congo	185,11	254,20	88,11	436,00	101,72	497,60	63,87	735,80	171,19	243,00
São Sebastião do Umbuzeiro	176,91	242,40	125,20	230,60	104,79	491,60	111,82	298,40	183,88	278,00
Caraúbas	157,17	112,80	93,83	398,00	122,78	117,00	47,52	712,00	151,15	172,00
Serra Branca	154,38	89,20	60,64	342,20	39,07	586,60	94,61	149,20	59,53	467,20
Média	133,57	276,51	88,68	366,62	102,61	393,16	69,30	575,56	108,89	348,84
Coefficiente de Variação (%)	30,11	72,05	32,19	35,93	44,56	47,19	38,25	53,75	43,08	44,37

Fonte: Autores, 2023.

Temperatura e umidade do solo apresentam um comportamento sazonal influenciado pela ocorrência das estações seca e chuvosa, sendo, em média maior na primeira e menor na segunda situação. De forma geral entre o período seco e úmido houve um aumento médio de 35% na umidade do solo, demonstrando assim o contraste presente nessa região em relação a disponibilidade de água.

Na análise de agrupamento *K means*, utilizando a temperatura mínima do solo, foram identificados três grupos representando diferentes microclimas, sendo: a) O grupo 0 formado pelas estações de Cabaceiras, Camalaú, Caraúbas, Congo, Ouro Velho, São José dos Cordeiros, São Sebastião do Umbuzeiro e Serra Branca.; b) O grupo 1 formado pelas estações de Coxixola e Monteiro e, por fim, o grupo 2 composto apenas pela estação meteorológica de São João do Tigre.

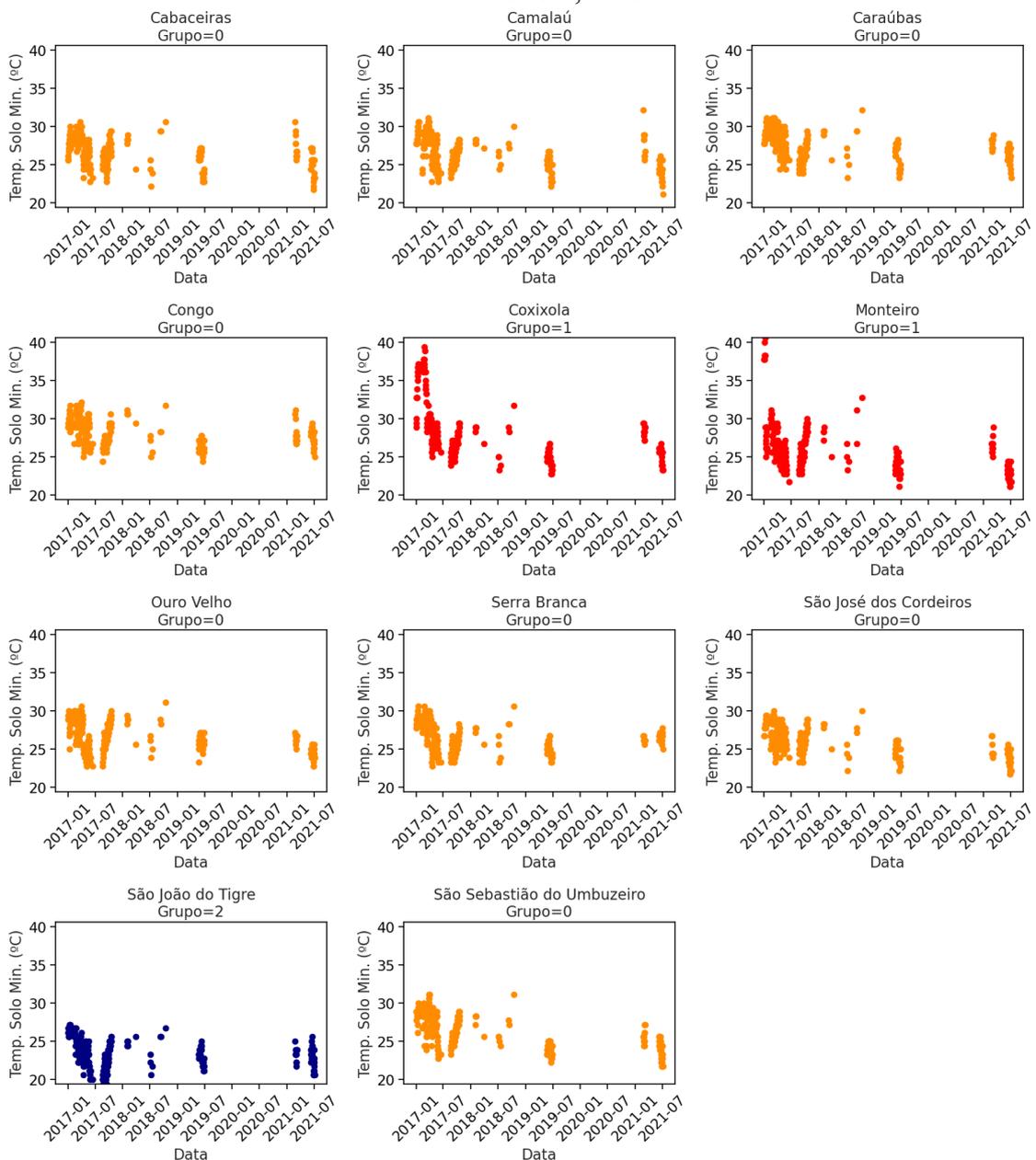
As estações meteorológicas que formam o grupo 0 apresentam uma maior variação em termos de composição e densidade vegetal, apresentando espécies gramíneas, arbustivas de pequeno e médio porte e arbóreas, enquanto o grupo 1 existe uma predominância de espécies gramíneas nas proximidades das estações, com maior dependência da precipitação para formação da cobertura vegetal.

Temos assim uma homogeneidade entre a maioria das estações, com exceção do grupo 1, o qual apresenta temperaturas mínimas relativamente maiores, principalmente no ano de

2017 caracterizado pelo ano mais seco da série, e também o grupo 2, devido a condição de elevada altitude da região da estação de São João do Tigre (1045 m).

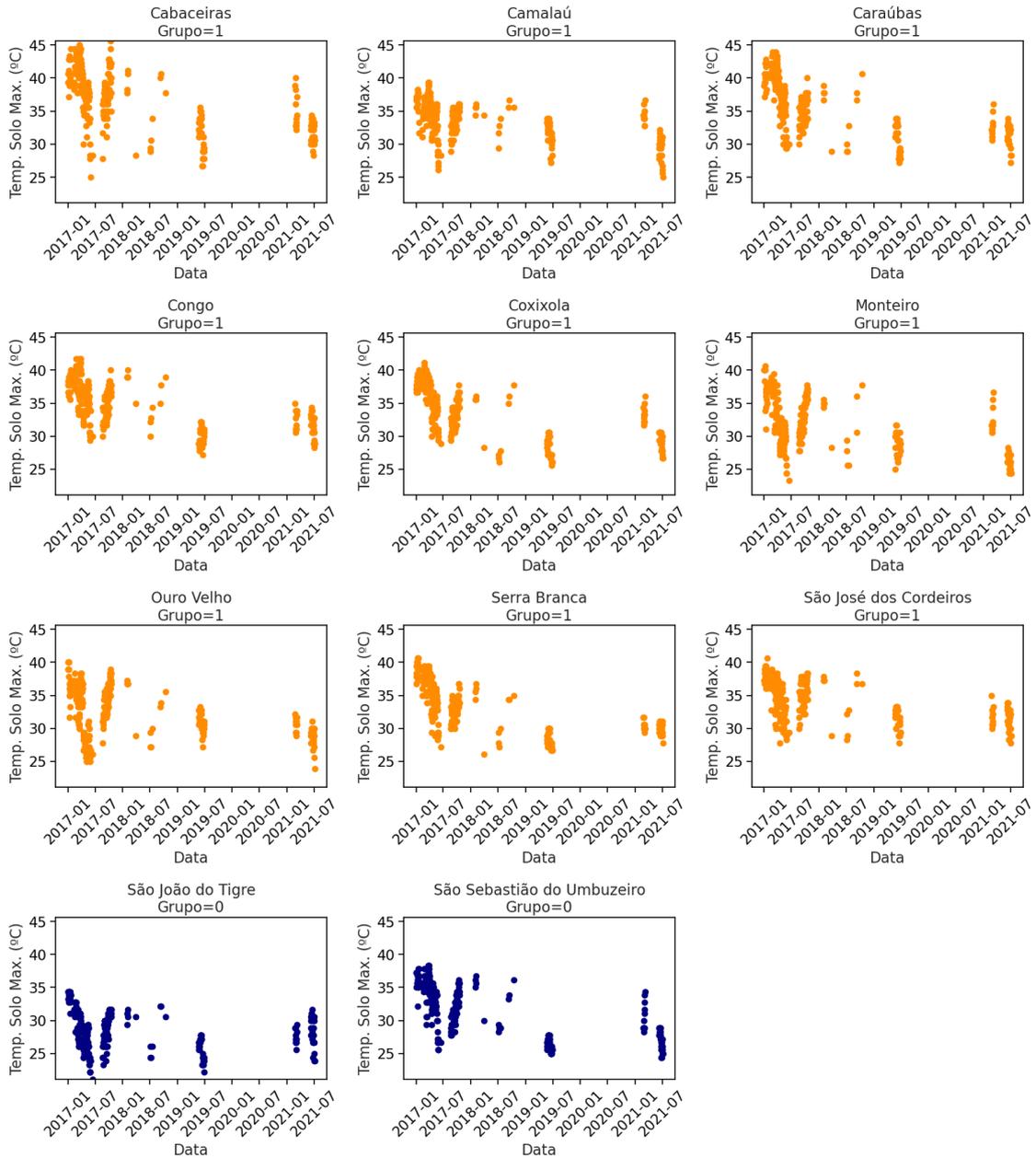
Para a temperatura máxima do solo, apenas dois grupos foram identificados, sendo o grupo 0 formado pelas estações de São Sebastião do Umbuzeiro e São João do Tigre, enquanto as demais estações formam o grupo 1. Sendo a estação de São Sebastião do Umbuzeiro a que apresenta os melhores níveis de cobertura vegetal.

Figura 9 - (Artigo 1) Figura 5: Grupos formados com o modelo de agrupamento K-means utilizando a metodologia Dynamic Time Warping (DTW) para a temperatura mínima do solo, 2023.



Fonte: Autores, 2023.

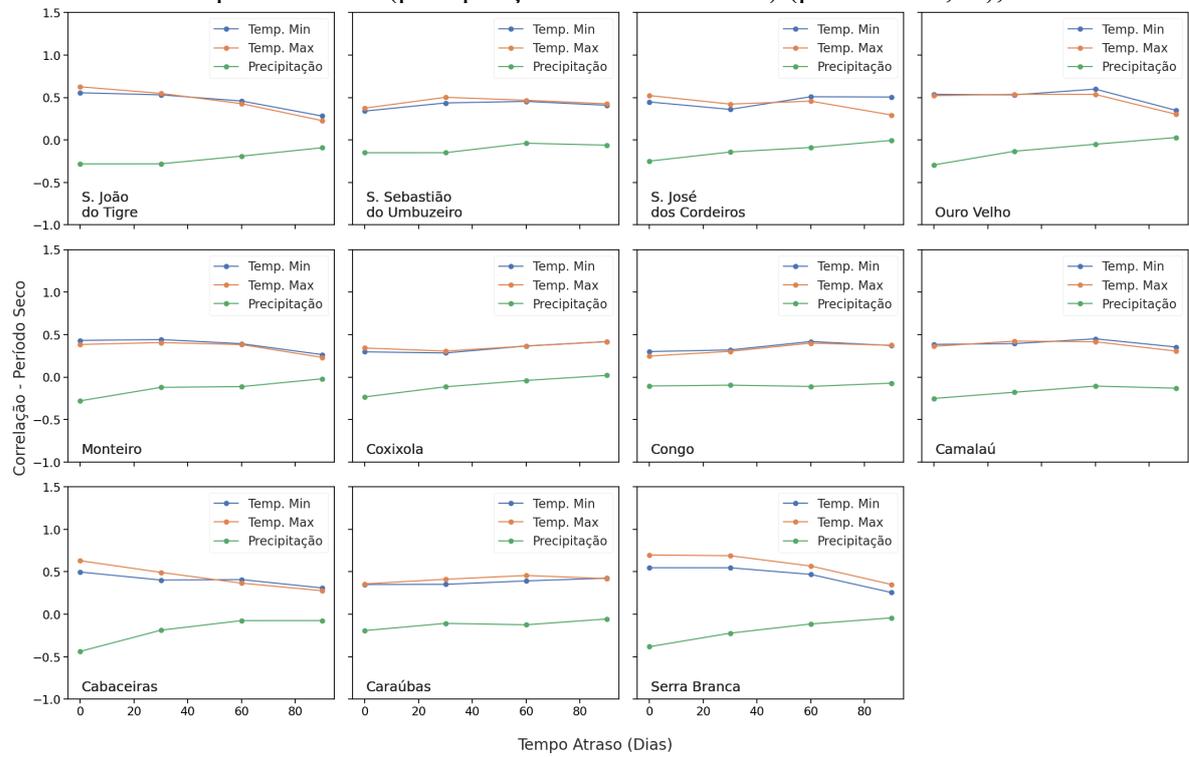
Figura 10 - (Artigo 1) Figura 8: Grupos formados com o modelo de agrupamento K-means utilizando a metodologia Dynamic Time Warping (DTW) para a temperatura máxima do solo, 2023.



Fonte: Autores, 2023.

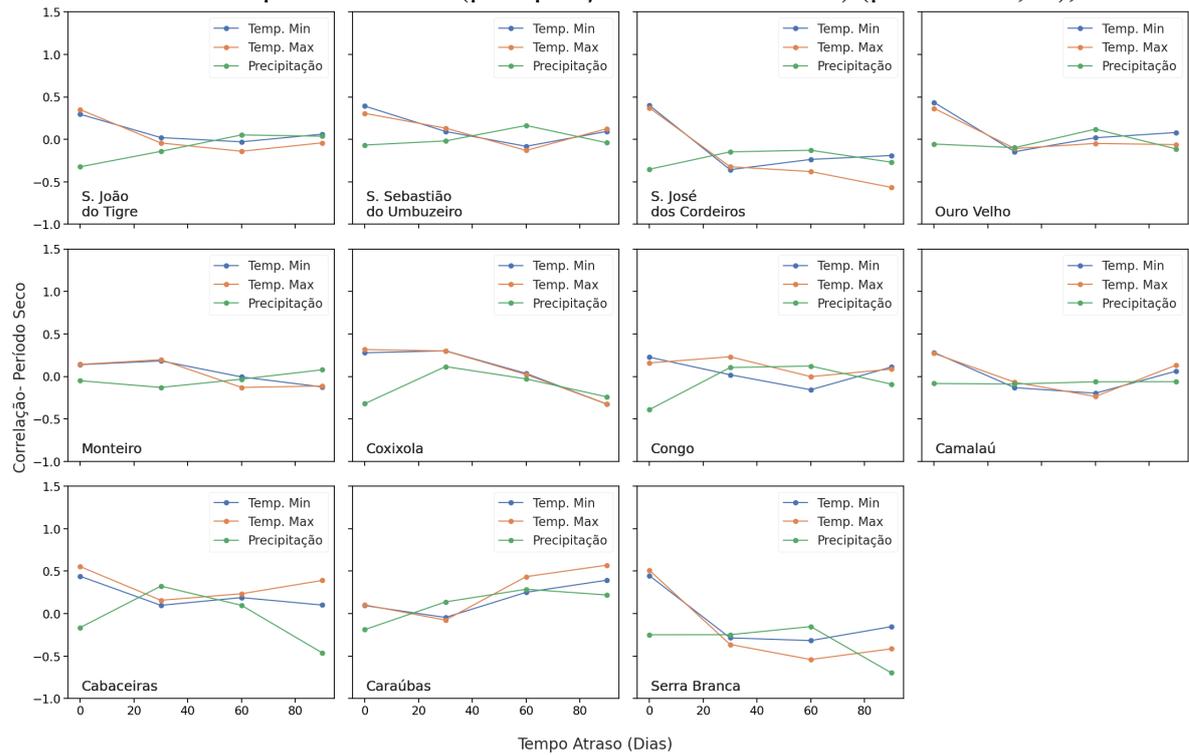
Nas figuras 9 e 10 são mostrados os resultados da correlação entre a precipitação, temperaturas máximas e mínimas com a umidade do solo, aplicado um período de atraso de 0 a 90 dias, nas estações seca e úmida.

Figura 11 - (Artigo 1) Figura 9: Correlação das variáveis climáticas (temperaturas máximas e mínimas do solo, e precipitação) com a umidade do solo com tempo de atraso entre 0 a 90 dias no período seco (precipitação diária < 2.5 mm) (p-value < 0,01), 2023.



Fonte: Autores, 2023.

Figura 12 - (Artigo 1) Figura 10: Correlação das variáveis climáticas (temperaturas máximas e mínimas do solo, e precipitação) com a umidade do solo com tempo de atraso entre 0 a 90 dias período úmido (precipitação diária > 2.5 mm) (p-value < 0,01), 2023.



Fonte: Autores, 2023.

Na figura (9) o comportamento da correlação entre as temperaturas máximas e mínimas, em sua maioria, apresenta uma correlação mais forte no tempo de atraso de 0 dias e que tende a decrescer ou permanecer estável à medida que esse tempo aumenta. Esses dados apontam uma grande e imediata influência da temperatura do solo na redução de umidade do solo. Porém, a estação de São Sebastião do Umbuzeiro aparece como uma exceção, apresentando uma correlação mais forte com 30 dias de atraso, indicando uma maior resiliência à perda de umidade devido ao aumento da temperatura do solo.

No período úmido, representado na figura (10), a correlação entre a precipitação e umidade do solo apresenta o comportamento similar ao período seco, uma correlação negativa mais forte com 0 dias de atraso na umidade do solo que tende a diminuir com o aumento desse atraso. Dessa forma, é possível observar que a precipitação exerce uma influência nos valores de umidade do solo de forma mais imediata e que essa influência reduz ao longo do tempo.

Na correlação da temperatura do solo com a umidade do solo, existe um comportamento similar ao comportamento com a precipitação. Apresentando uma correlação mais forte com 0 dias de atraso na umidade do solo. Porém, é possível observar uma rápida queda nessa correlação, à medida que aumenta o tempo de atraso, tendendo a valores negativos.

A influência da cobertura vegetal na diminuição da temperatura do solo, principalmente a máxima, é observada com os valores de correlação (Tabela 6). Apesar da forte dependência da vegetação à disponibilidade de água, a precipitação e umidade do solo apresentam valores relativamente baixos em comparação com a temperatura do solo. Em destaque temos a estação de São Sebastião do Umbuzeiro, com a maior correlação absoluta (-0,76), confirmando os resultados apresentados anteriormente e evidenciando o papel da vegetação preservada na atenuação da temperatura dos solos.

Tabela 7 - (Artigo 1) Tabela 6: Correlação entre as variáveis climáticas e o índice de vegetação MSAVI para as estações meteorológicas, “*” e “**” representam o intervalo de confiança de 99% e 95%, respectivamente, 2023.

Estações Meteorológicas	Precipitação	Umidade do Solo	Temp. Solo Mín.	Temp. Solo Máx.
Camalaú	0.18	-0.39*	-0.55*	-0.51*
Cabaceiras	0.27**	-0.43*	-0.28**	-0.39*
São José dos Cordeiros	0.22**	-0.47*	-0.48*	-0.49*
São João do Tigre	0.20**	-0.28*	-0.51*	-0.51*
Ouro Velho	0.23	-0.20	-0.43*	-0.57*
Monteiro	0.38*	-0.34*	-0.69*	-0.67*
Coxixola	0.22**	-0.50*	-0.62*	-0.66*
Congo	0.24**	-0.27**	-0.40*	-0.47*
São Sebastião do Umbuzeiro	0.01	-0.23**	-0.67*	-0.76*
Caraúbas	0.36*	-0.42*	-0.39*	-0.58*
Serra Branca	0.43*	-0.56*	-0.49*	-0.59*

Fonte: Autores, 2023.

4.5 DISCUSSÃO

Índice de Vegetação MSAVI

Os dados que mostram a distribuição geral do MSAVI na área de estudo (Fig. 2 e 3), demonstram duas situações distintas, refletindo, em princípio, a heterogeneidade das chuvas e das secas na Caatinga, tanto no tempo como no espaço, mas também o resultado de centenas de anos de atuação humana (BRITO et al., 2018). Essa atuação, intervém em processos naturais, principalmente através da retirada da cobertura vegetal para diversos fins, dentre os quais, a construção de cercas para as propriedades, o uso energético da lenha e a expansão agropecuária (SOUZA et al., 2011; SOUZA; SOUZA, 2016).

Um dos resultados desse conjunto de intervenções humanas ao longo do tempo, além da diminuição da cobertura vegetal, é a homogeneização taxonômica de parte desse bioma (MORANTE-FILHO et al., 2017), facilmente percebida em áreas degradadas ou desertificadas nessa bacia, onde é marcante a presença de poucas espécies pioneiras, principalmente *Croton sonderianus*, *Croton echioides*, *Aspidosperma pyriformis*, *Poecyanella pyramidalis* e *Jatropha. Molíssima*, geralmente distribuídas no espaço de forma pouca adensada (SOUZA et al., 2015a). Dessas, *C. sonderianus*, *A. pyriformis* e *P. pyramidalis* prevalecem em grande parte dos levantamentos fitossociológicos realizados em todo esse bioma (SAMPAIO, 1996; AMORIM et al., 2005; SOUZA et al., 2015a, 2015c; SILVA et al., 2017), o que indica o alto grau de antropização existente nessas terras.

As alterações na composição vegetal são percebidas na análise das séries temporais de MSAVI no entorno de cada estação meteorológica (Fig. 6). Ocorrendo uma grande

variabilidade entre os períodos seco e úmido, como também ao longo dos anos. Enfatizando, dessa forma, a predominância de espécies mais sensíveis as alterações climáticas, principalmente a variabilidade da precipitação, característica de espécies gramíneas e arbustivas de porte baixo a médio.

Segundo Santos et al. (2020), entre 2000 e 2018 houve uma tendência crescente na perda total de cobertura florestal no semiárido brasileiro, apontando uma conversão dessa vegetação em áreas de cultivo e pastagem, consequência da extração de madeira pela população local. Silva et al. (2020) também evidenciaram o aumento das áreas agrícolas, pastagens e a diminuição da floresta nativa da Caatinga entre os anos de 2012 e 2015. Além disso, mostraram o impacto severo da seca e do uso da terra, reduzindo os corpos hídricos e aumentando as áreas com solo exposto na região semiárida.

Entretanto, a estação de São Sebastião do Umbuzeiro, apresenta uma menor variabilidade nos valores de MSAVI entre o período seco e úmido, como também ao longo dos anos. Esse comportamento é visto nos resultados do desvio padrão do índice de vegetação ao longo dos anos (Fig. 6), com também no comportamento médio do índice vegetação no entorno da estação meteorológica (Fig. 4 e 5). Esse comportamento é reflexo da composição vegetal, que apresenta uma maior diversidade e densidade em comparação as demais estações.

Nos resultados de correlação entre as variáveis climáticas e o índice de vegetação MSAVI, é observado a influência da cobertura vegetal na diminuição da temperatura do solo (Tabela 6). Destacando, mais uma vez, a estação de São Sebastião do Umbuzeiro, com a maior correlação (-0,76), confirmando os resultados apresentados anteriormente e evidenciando o papel da vegetação preservada na atenuação da temperatura dos solos.

Além da redução da temperatura da superfície, a vegetação preservada fornece um importante serviço ecossistêmico, a conservação de água. Experimentos desenvolvidos por Alcântara et al. (2021) em áreas de Caatinga submetidas a diversos tipos de uso, mostraram que as áreas preservadas apresentaram a maior taxa de infiltração de água e a menor perda de água e solo, em comparação com as áreas de pasto. Uma possível razão para isso seria o solo bem estruturado nas áreas preservadas, levando a uma maior taxa de porosidade total e infiltração de água do que um solo com pastagem, mal agregado e compactado, como destacado por Cantalice et al. (2017) para esse bioma, observação compartilhada por Thurow (2000) e Mills; Fey (2004), com base em estudos desenvolvidos em outras regiões de clima seco do mundo.

Dessa forma, os impactos previstos quanto as mudanças climáticas para a Caatinga, obedecendo ao que tem sido observado nas florestas secas em todo o mundo, dependerão da

relação das chuvas com outros fatores ambientais, especialmente a capacidade dos solos de reterem água (PINHO et al., 2019), aspecto que, para além da questão natural inerente, é amplamente influenciado pela forma como os solos são manejados em decorrência das atividades humanas, o que, em conjunto, influenciam decisivamente as condições térmicas dominantes, em superfície e subsuperfície, as quais devem ser mais e melhor investigadas.

Variáveis Climáticas

Os resultados do agrupamento reforçam a influência da cobertura vegetal na diminuição da temperatura do solo, principalmente quanto aos valores extremos observados, e corrobora com outros estudos que demonstram o papel de uma vegetação preservada na redução da temperatura e também no aumento da umidade nos microclimas da região semiárida (LUCENA et al., 2019; BORGES et al., 2020).

Isso se deve a resposta da vegetação aos eventos de precipitação, proporcionando uma maior cobertura vegetal do solo e conseqüentemente diminuindo o impacto da temperatura do solo sobre a umidade do solo, como é possível observar nos resultados das correlações com tempo de atraso entre a temperatura do solo e a umidade do solo. Segundo Olmos-Trujillo et al. (2020), a vegetação de gramíneas anuais e arbustos esparsos, que caracteriza grande partes das estações meteorológicas analisadas em áreas degradadas, apresenta uma grande sensibilidade ao estresse hídrico e dependência da precipitação anual.

Fica evidente a importância da composição da vegetação quando observado a correlação com tempo de atraso entre a temperatura do solo e a umidade do solo no período seco, pondo em destaque a estação de São Sebastião do Umbuzeiro.

A temperatura do solo apresentou uma maior correlação com a umidade do solo em comparação a precipitação, principalmente no período seco. Resultados semelhantes foram encontrados no estudos de Saadatabadi et al. (2021) em uma região semiárida no Iran, onde é mostrado a sensibilidade da umidade do solo as variações climáticas, principalmente em relação a temperatura, e que essas variação afetam um elemento crítico no ciclo hidrológico.

Em relação a precipitação, a maioria das estações apresenta uma baixa e negativa correlação com a umidade do solo, que tende a aumentar de forma sutil com o aumento do período de atraso, com exceção das estações de Cabaceiras e Serra Branca que apresentam uma alta correlação negativa com o tempo de atraso de 0 dias. O primeiro caso pode estar relacionado a presença de formações rochosas superficiais próximas a área da estação, as quais captam a precipitação e favorecem o escoamento para o seu entorno imediato (PASCUAL et al., 2017); o segundo caso pode estar associado ao tipo de solo e sua

permeabilidade, sendo necessária uma investigação específica a respeito da estrutura dos solos em cada região.

Os efeitos das mudanças nas temperaturas do solo e os impactos derivados ainda são pouco conhecidos, de forma mais específica e detalhada, em todo o mundo. Como regra geral, é sabido até o momento que as mudanças são capazes de afetar a maioria dos processos dos solos e que tais transformações alteram a dinâmica de Carbono e outros nutrientes, fertilidade, produtividade, germinação de sementes, emergência de plântulas, desenvolvimento e extensão de raízes, emissão de gases de efeito estufa, com repercussões em transformações na produtividade, função e estabilidade dos ecossistemas e nas mudanças climáticas (ZHANG et al., 2016; AALTO et al., 2017; KEARNEY; PORTER, 2017; MACLEAN et al., 2019).

Dessa forma, é nítida a necessidade de mudança das atividades econômicas, principalmente em ambientes propícios aos estresses naturais como as regiões semiáridas. Substituindo as atividades tradicionais de pecuária extensiva por atividades que integrem diferentes composições vegetais, favorecendo a diversidade e variabilidade da cobertura vegetal, aumentando dessa forma a resistência do ambiente. Entretanto, essa resistência às temperaturas extremas na Caatinga está intimamente ligada a continuidade dos ciclos de hidratação, portanto, uma possível diminuição das chuvas terá forte impacto (DANTAS et al., 2020; ARIAS et al., 2021; NASCIMENTO et al., 2021).

4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Boa parte das áreas onde estão localizadas as estações meteorológicas de onde foram extraídos os dados climáticos apresentam forte degradação, fruto dos processos antrópicos ao longo dos anos, por meio da remoção da vegetação nativa e manuseio das terras para agricultura com a utilização do fogo. Esses processos são capazes de transformar o microclima local, elevando as temperaturas próximas a superfície, em um nível que impacta a manutenção de todo o sistema ecológico, incluindo a recuperação vegetal natural nessas áreas.

Em contrapartida, foi observada uma exceção na estação meteorológica de São Sebastião do Umbuzeiro, que mesmo possuindo uma distribuição pluviométrica, altitude e solos semelhantes as demais estações apresentou temperaturas amenas em função do estado de conservação da vegetação, evidenciando a necessidade e importância da preservação dos serviços ecossistêmicos por meio da proteção da vegetação nativa.

Os dados analisados, além de apontarem para a atual situação dominante nessa

importante bacia hidrográfica para o semiárido brasileiro, ao demonstrarem as relações entre a cobertura vegetal e as condições térmicas de superfície nos solos, indicam a necessidade de recuperação ambiental da mesma, a partir da sua revegetação, acompanhada da preservação e ampliação das áreas protegidas por lei (Unidades de Conservação, entre outras categorias previstas oficialmente) e o estímulo ao uso de sistemas agroflorestais, capazes de gerar ambientes com preservação de diversos serviços ecossistêmicos, principalmente relacionados a permanência da umidade do solos, aspecto fundamental quando pensamos nas previsões existentes sobre as mudanças climáticas e os seus efeitos para toda essa região, mas já perceptíveis no tempo atual em algumas áreas como a bacia hidrográfica analisada.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, através de Bolsa de Capacitação no Exterior para o segundo autor, também tendo recebido suporte financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Chamada CNPq n° 4/2021 – Bolsas de Produtividade em Pesquisa – PQ, Processo 309735/2021-1, do Programa de Pesquisa Ecológica de Longa Duração (PELD)/RIPA/FAPESQ - PB/CNPq, Chamada CNPq/MCTI/CONFAP-FAPS/PELD n° 21/2020, através de financiamento de subprojeto, e da Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (FAPESQ), Edital n° 09/2021 Demanda Universal, Protocolo 47900.73.27692.11082021. O primeiro autor agradece à CAPES pela concessão de bolsa de estudos, nível Mestrado.

4.7 REFERÊNCIAS

- AALTO, J. et al. Revealing topoclimatic heterogeneity using meteorological station data. **International Journal of Climatology**, v. 37, p. 544–556, 2017.
- AB’SABER, A. N. Problemática da desertificação e da savanização no Brasil intertropical. **Geomorfologia**, n. 53, p. 1–19, 1977.
- AMORIM, I. L. DE; SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, E. DE L. Flora e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea de uma área de caatinga do Seridó, RN, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, p. 615–623, set. 2005.
- ANTONGIOVANNI, M. et al. Chronic anthropogenic disturbance on Caatinga dry forest fragments. **Journal of Applied Ecology**, v. 57, n. 10, p. 2064–2074, 2020.
- ARIAS, P. et al. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Technical Summary**. 1 jan.

2021.

BHOLOWALIA, P. EBK-Means: A Clustering Technique based on Elbow Method and K-Means in WSN. **International Journal of Computer Applications**, v. 105, n. 9, p. 8, 2014.

BORGES, C. K.; DOS SANTOS, C. A. C.; CARNEIRO, R. G.; *et al.* Seasonal variation of surface radiation and energy balances over two contrasting areas of the seasonally dry tropical forest (Caatinga) in the Brazilian semi-arid. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 8, p. 524, 2020.

BRAMER, I. *et al.* Advances in Monitoring and Modelling Climate at Ecologically Relevant Scales. Em: **Advances in Ecological Research**. [s.l.] Elsevier, 2018. v. 58p. 101–161.

BRITO, S. S. B. *et al.* Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region: FREQUENCY, DURATION AND SEVERITY OF DROUGHT IN THE BRAZILIAN SEMIARID, **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 2, p. 517–529, 2018.

CANTALICE, R. B.; VICTOR, C. P.; VIJAY, P. S.; *et al.* Hydrology and water quality of a underground dam in a semiarid watershed. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 28, p. 2508–2518, 2017.

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. **Environ Monit Assess** 192:317, 2020.

DE ALCÂNTARA, L. R. P. *et al.* Modeling of the Hydrological Processes in Caatinga and Pasture Areas in the Brazilian Semi-Arid. **Water**, v. 13, n. 13, p. 1877, jan. 2021.

ELBONDIRA, T. A. *et al.* Impact of neighborhood spatial characteristics on the microclimate in a hot arid climate – A field based study, **Sustainable Cities and Society**, v.75, p.103273, 2021.

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

FREY, S. J. K. *et al.* Spatial models reveal the microclimatic buffering capacity of old-growth forests, **Science Advances**, v.2, n.4, p.e1501392, 2016.

GEIST, H. J. & LAMBIN, E. F. Dynamic causal patterns of desertification. **BioScience**, vol. 54, n. 9, p. 817 – 829, 2004.

GUNDERSON, L. H. Ecological Resilience—In Theory and Application. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 31, n. 1, p. 425–439, nov. 2000.

HAMDI, S. *et al.* Synthesis analysis of the temperature sensitivity of soil respiration from laboratory studies in relation to incubation methods and soil conditions. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 58, p. 115–126, mar. 2013.

HURSH, A. *et al.* The sensitivity of soil respiration to soil temperature, moisture, and carbon supply at the global scale. **Global Change Biology**, v. 23, n. 5, p. 2090–2103, maio 2017.

IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Ed. H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama. **Cambridge University Press**. Cambridge, Reino Unido e Nova York, EUA, 2022. 3056 p.

JALE, J. S.; JÚNIOR, S. F. A. X.; XAVIER, É. F. M.; *et al.* Application of Markov chain on daily rainfall data in Paraíba-Brazil from 1995-2015. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 41, p. e37186–e37186, 2019.

JIAN, J. *et al.* On the use of air temperature and precipitation as surrogate predictors in soil respiration modelling. **European Journal of Soil Science**, v. 73, n. 1, jan. 2022.

- KEARNEY, M. R.; PORTER, W. P. NicheMapR – an R package for biophysical modelling: the microclimate model. **Ecography**, v. 40, n. 5, p. 664–674, 2017.
- KOHNKE, H. 1968. **Soil physics**. New York: McGraw - Hill Book Company.
- KURYLYK, B. L.; MACQUARRIE, K. T. B.; MCKENZIE, J. M. Climate change impacts on groundwater and soil temperatures in cold and temperate regions: Implications, mathematical theory, and emerging simulation tools. **Earth-Science Reviews**, v. 138, p. 313–334, nov. 2014.
- LEDRU, M. P. et al. When archives are missing, deciphering the effects of public policies and climate variability on the Brazilian semi-arid region using sediment core studies. **Science of The Total Environment**, v. 723, p. 137989, 25 jun. 2020.
- LUCENA, R. L. et al. Analysis of air temperature and humidity in the Caatinga (semi-arid) area of Brazil: Contributions to the recovery, conservation, and preservation of the biome. **Journal of Earth Sciences & Environmental Studies**, v. 4, n. 4, 11 set. 2019.
- MACLEAN, I. M. D.; MOSEDALE, J. R.; BENNIE, J. J. Microclima: An r package for modelling meso- and microclimate. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 10, n. 2, p. 280–290, 2019.
- MARENGO, J. A. et al. Assessing drought in the drylands of northeast Brazil under regional warming exceeding 4°C. **Natural Hazards**, v. 103, n. 2, p. 2589–2611, 1 set. 2020.
- MEDINETS, S. et al. Seasonal dynamics and profiles of soil NO concentrations in a temperate forest. **Plant and Soil**, v. 445, n. 1, p. 335–348, 1 dez. 2019.
- MILLS, A. J.; FEY, M. V. Transformation of ticket to savana reduces soil quality in the Eastern Cape, South Africa. **Plant and Soil**, 265, p. 153 – 163, 2004.
- MORANTE-FILHO, J. C. et al. Compensatory dynamics maintain bird phylogenetic diversity in fragmented tropical landscapes. **Journal of Applied Ecology**, v. 55, n. 1, p. 256–266, 2018.
- NASCIMENTO, J. P. B.; DANTAS, B. F.; MEIADO, M. V. Hydropriming changes temperature thresholds for seed germination of tree species from the Caatinga, a Brazilian tropical dry forest. **Journal of Seed Science**, v. 43, 15 mar. 2021.
- OLMOS-TRUJILLO, E. et al. Spatio-Temporal Response of Vegetation Indices to Rainfall and Temperature in A Semiarid Region. **Sustainability**, v. 12, n. 5, p. 1939, jan. 2020.
- ONWUKA, B. Effects of Soil Temperature on Some Soil Properties and Plant Growth. **Advances in Plants & Agriculture Research**, v. 8, n. 1, 12 jan. 2018.
- PASCUAL S., M. et al. Efecto de la inclinación y pedregosidad sobre el reparto del agua de lluvia, su cuantificación y aplicación al estudio de la vegetación en zonas áridas. **Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía**, v. 2017, n. 92, p. 51–63, 1 abr. 2017.
- PINHO, B. X. et al. Plant functional assembly is mediated by rainfall and soil conditions in a seasonally dry tropical forest. **Basic and Applied Ecology**, v. 40, p. 1–11, 1 nov. 2019.
- PORTILLO-ESTRADA, M. et al. Climatic controls on leaf litter decomposition across European forests and grasslands revealed by reciprocal litter transplantation experiments. **Biogeosciences**, v. 13, n. 5, p. 1621–1633, 16 mar. 2016.
- QI, J.; CHEHBOUNI, A.; HUETE, A. R.; KERR, Y. H.; SOROOSHIAN, S. A. Modified Soil Adjusted Vegetation Index. **Remote Sensing of Environment**, vol. 48, p. 119-126, 1994.
- QUEIROZ, A. B. de Q. B. et al. STRUCTURE AND DIVERSITY OF A TROPICAL DRY FOREST ON

- RESIDUAL RELIEFS IN NORTHEASTERN BRAZIL. **RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise**, [S.l.], v. 49, p. 129-142, dez. 2020.
- QUEIROZ, R. et al. EXTENDING THE LIMITS OF CAMPOS RUPESTRES IN BRAZIL. **Caminhos de Geografia**, v. 22, p. 115–137, 2 ago. 2021.
- RAMOS, R. P. S.; SOUZA, B. I.; LUCENA, D. B. Application of the hierarchical process analysis technique to the development of methodology for mapping the distribution of Altitudinal Rain Forests in the Brazilian semiarid. **GEOGRAFIA ENSINO & PESQUISA**, v. 24, p. 1, 2021.
- RIBEIRO, E. M. S.; ARROYO-RODRÍGUEZ, V.; SANTOS, B. A.; *et al.* Chronic anthropogenic disturbance drives the biological impoverishment of the Brazilian Caatinga vegetation. **Journal of Applied Ecology**, v. 52, n. 3, p. 611–620, 2015.
- SAADATABADI, A. R. et al. Investigating relationship between soil moisture, hydro-climatic parameters, vegetation, and climate change impacts in a semi-arid basin in Iran. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 14, n. 17, p. 1796, set. 2021.
- SABINO, F. G. D. S.; CUNHA, M. D. C. L.; SANTANA, G. M. Estrutura da Vegetação em Dois Fragmentos de Caatinga Antropizada na Paraíba. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 4, p. 487–497, 7 jun. 2016.
- SAMPAIO, E. V. S. B. Fitossociologia. In: Sampaio, E. V. S. B.; Mayo, S. J.; Barbosa, M. R. V. (Eds.). **Pesquisa botânica nordestina: progresso e perspectivas**. Recife (PE): SBB, 1996, p. 203-230.
- SANTOS, C. A. G.; DO NASCIMENTO, T. V. M.; DA SILVA, R. M. Analysis of forest cover changes and trends in the Brazilian semiarid region between 2000 and 2018. **Environmental Earth Sciences**, v. 79, n. 18, p. 418, 2020.
- SENIOR, R. A. *et al.* Tropical forests are thermally buffered despite intensive selective logging. **Global Change Biology**, v. 24, n. 3, p. 1267–1278, 2018.
- SILVA, J. et al. EFEITO DE DIFERENTES USOS DO SOLO NA EROSÃO HÍDRICA EM REGIÃO SEMIÁRIDA. **REVISTA ENGENHARIA NA AGRICULTURA - REVENG**, v. 27, p. 272–283, 19 jun. 2019.
- SILVA, J. L. B. DA et al. Changes in the water resources, soil use and spatial dynamics of Caatinga vegetation cover over semiarid region of the Brazilian Northeast. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 20, p. 100372, 1 nov. 2020.
- SILVA, J. M. C. DA et al. (EDS.). **Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para conservação**. Brasília, DF: [Recife, Brazil]: Ministério do Meio Ambiente; Universidade Federal de Pernambuco: Fundo de Apoio ao Desenvolvimento da UFPE: Conservation International do Brasil: Fundação Biodiversitas: EMBRAPA Semi-Árido, 2004.
- SILVA, J. M. C.; BARBOSA, L. C. F. Impact of human activities on the Caatinga. In: Silva, J. M. C.; Leal, I. R. & Tabarelli, M. **Caatinga: the largest Tropical Dry Forest region in South America**. Cham (SWI): Springer, p. 359 – 368, 2017.
- SOUZA, B. I. DE; ARTIGAS, R. C.; LIMA, E. R. V. DE. CAATINGA E DESERTIFICAÇÃO. **Mercator (Fortaleza)**, v. 14, p. 131–150, abr. 2015a.
- SOUZA, B. I.; MACÊDO, M. L. A.; SILVA, G. J. F.. TEMPERATURA DOS SOLOS E SUAS INFLUÊNCIAS NA REGENERAÇÃO NATURAL DA CAATINGA NOS CARIRIS VELHOS – PB. **RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise**, [S.l.], v. 35, p. 261-287, abr. 2015b.
- SOUZA, B. I.; SOUZA, R. S. Processo de ocupação dos Cariris Velhos - PB e efeitos na cobertura vegetal:

- contribuição à Biogeografia Cultural do semiárido. **Caderno de Geografia**, v. 26, p. 229-258, 2016.
- SOUZA, B. I.; SUERTEGARAY, D. M. A.; LIMA, E. R. V. Evolução da desertificação no Cariri paraibano a partir da análise das modificações na vegetação. **Geografia**, vol. 36, n. 1, p. 193–205, jan./abr. 2011.
- SOUZA, D. C., OYAMA, M. D. Climatic consequences of gradual desertification in the semi-arid area of Northeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 103, p. 345-357, 2011.
- THUROW, T. L. Hydrological effects of rangeland degradation and restoration processes. In: **Rangeland desertification**. Kluwe, Dordrecht, p. 53 – 66, 2000.
- TINÔCO, I. C. M.; BEZERRA, B. G.; LUCIO, P. S.; et al. Characterization of Rainfall Patterns in the Semiarid Brazil. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 41, n. 2, p. 397–409, 2018.
- TRAVASSOS; SOUZA, B. I. Desmatamento e desertificação no Cariri paraibano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 07, p. 103-116, 2014.
- WILLIAMS, K. J. et al. Forests of East Australia: The 35th Biodiversity Hotspot. Em: ZACHOS, F. E.; HABEL, J. C. (Eds.). **Biodiversity Hotspots: Distribution and Protection of Conservation Priority Areas**. Berlin, Heidelberg: Springer, 2011. p. 295–310.
- WU, W.; DICKINSON, R. E. Time Scales of Layered Soil Moisture Memory in the Context of Land–Atmosphere Interaction. **Journal of Climate**, v. 17, n. 14, p. 2752–2764, 2004.
- XAVIER, R. A. et al. Processos de voçorocamento no Planalto da Borborema, semiárido da Paraíba. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n. 00, 3 jul. 2023.
- ZELLWEGER, F. et al. Advances in Microclimate Ecology Arising from Remote Sensing. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 34, n. 4, p. 327–341, abr. 2019.
- ZHANG, H. et al. Rising soil temperature in China and its potential ecological impact. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 35530, 21 out. 2016.
- ZHU, K. et al. Limits to growth of forest biomass carbon sink under climate change. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, p. 2709, 13 jul. 2018.

5 CAPÍTULO 2

Variation of Soil Moisture in different soil covers in Cariri Paraibano – PB.

Highlights

1. Precipitation was the main factor in the variability of soil moisture.
2. The correlation between soil moisture and precipitation is direct, and no significant values are observed with the application of time lag.
3. The type of vegetation cover has a significant influence on the variation of soil moisture in the face of different precipitation events.

Abstract

Soil moisture is a crucial component in the hydrological cycle, playing a fundamental role in vegetative development, particularly in environments characterized by water deficit, such as semi-arid regions. This study aimed to examine the temporal and spatial variability of soil moisture in regions with different types of vegetation cover between the years 2017 and 2021 in the Upper Paraíba River Basin, Brazil. Soil moisture and precipitation data were collected from four meteorological stations located within the watershed. The data were divided into four sub-periods based on the distribution of precipitation over the analyzed years. For each sub-period, the Kruskal-Wallis test was applied, followed by the Nemenyi test for groups exhibiting significant differences (p -value < 0.05). Additionally, a correlation analysis was conducted, considering time lags between variables. Finally, the influence of different precipitation events was assessed, categorized as: low (2.6 mm – 2.8 mm), moderate (16.4 mm – 20.4 mm), high (30.8 mm – 40.8 mm), and extreme (> 85.6 mm). The findings indicated that precipitation is the primary factor influencing soil moisture variability, and while vegetation cover may not significantly impact this variation, it does play a role in regulating moisture levels during various precipitation events. In the relatively more preserved São Sebastião do Umbuzeiro station, soil moisture is less susceptible to low to high-intensity events, in contrast to the other stations.

Keywords: Semi-arid, soil moisture, precipitation, vegetation cover.

Variação da umidade do solo em diferentes coberturas do solo no Cariri Paraibano – PB.

5.1 RESUMO

A umidade do solo é um componente fundamental no ciclo hidrológico, sendo fundamental no desenvolvimento vegetativo, principalmente em ambientes caracterizados pelo déficit hídrico, como os ambientes semiáridos. Esse estudo teve como objetivo analisar o comportamento da variabilidade temporal e espacial da umidade do solo em

regiões com distintos tipos de cobertura vegetal, entre os anos de 2017 e 2021 no Alto Curso do Rio Paraíba/Brasil. Os dados de umidade do solo e precipitação foram extraídos de 4 estações meteorológicas localizadas na bacia hidrográfica, sendo divididos em 4 subperíodos, de acordo com a distribuição da precipitação ao longo dos anos analisados. Para cada subperíodo foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis e, em seguida, Nemenyi, para os grupos que apresentaram valores significativos ($pvalue < 0.05$). Também foi aplicada uma análise de correlação com tempo de atraso entre as variáveis e, por fim, analisada a influência de diferentes eventos de precipitação, sendo eles: baixo (2.6 mm – 2.8 mm), médio (16.4mm – 20.4 mm), alto (30.8 mm – 40.8mm) e extremo (> 85.6mm). Os resultados apontaram que o principal fator que influencia a variabilidade da umidade do solo é a precipitação e que apesar da cobertura vegetal não apresentar uma influência significativa dessa variação, ela atua no controle da umidade nos diferentes eventos de precipitação. Na estação de São Sebastião do Umbuzeiro, relativamente mais preservada, a umidade do solo é menos suscetível a eventos de baixa a alta intensidade, ao contrário das demais estações.

Palavras-chave: Semiárido, umidade do solo, precipitação, cobertura do solo.

5.2 INTRODUÇÃO

A Caatinga é o bioma predominante na Região Nordeste do Brasil, incluindo ainda o norte do Estado de Minas Gerais, na Região Sudeste, chegando a abranger cerca de 10% do território nacional (SOUZA et al., 2015a). É considerado um dos mais importantes hotspots do planeta (WILLIAMS et al., 2011), o bioma de clima semiárido que possui a maior biodiversidade do mundo, apresentando também elevada importância econômica e cultural (SILVA et al., 2019).

Fatores que controlam a umidade em ambientes semiáridos são diferentes dos que atuam em ambientes úmidos. Em ambientes secos, a disponibilidade de água no solo é o principal orquestrador, controlando e organizando o funcionamento desses ecossistemas, especialmente a questão da disponibilidade de nutrientes (CANTÓN; SOLÉ-BENET; DOMINGO, 2004). É amplamente aceito que, se água for um recurso limitado no ambiente, ela se tornará o principal recurso limitante do crescimento vegetativo (NASH; WIERENGA; GUTJAHR, 1991, RODRIGUEZ-ITURBE et al., 1999).

A umidade do solo é importante componente do ciclo hidrológico nos ecossistemas terrestres e atua sinergicamente com as demais propriedades do ambiente, como o solo e as plantas, desempenhando funções cruciais no desenvolvimento vegetativo, tanto em termos naturais quanto no desenvolvimento econômico, além dos processos hidrológicos, como infiltração, evaporação, abastecimento de água subterrânea e disponibilidade para as plantas

(PURI; STEPHEN; AHMAD, 2011).

Experimentos desenvolvidos por Alcântara et al. (2021) em áreas de Caatinga submetidas a diversos tipos de uso, observaram que as áreas preservadas apresentaram a maior taxa de infiltração de água e a menor perda de água e solo, em comparação às áreas de pasto. Uma possível razão para isso seria o solo bem estruturado nas áreas preservadas, levando a uma maior taxa de porosidade total e infiltração de água do que um solo de pastagem mal agregado e compactado, como destacado por Cantalice et al. (2017) para esse bioma, observação compartilhada por Thurow (2000) e Mills; Fey (2004), com base em estudos desenvolvidos em outras regiões de clima seco do mundo.

O presente trabalho tem como objetivo investigar a variação temporal e espacial da umidade do solo em camadas mais superficiais (0 – 10 cm), em diferentes tipos de cobertura vegetal no bioma Caatinga/Brasil, assim como avaliar o impacto de diferentes intensidades de eventos de precipitação na recarga de água no solo.

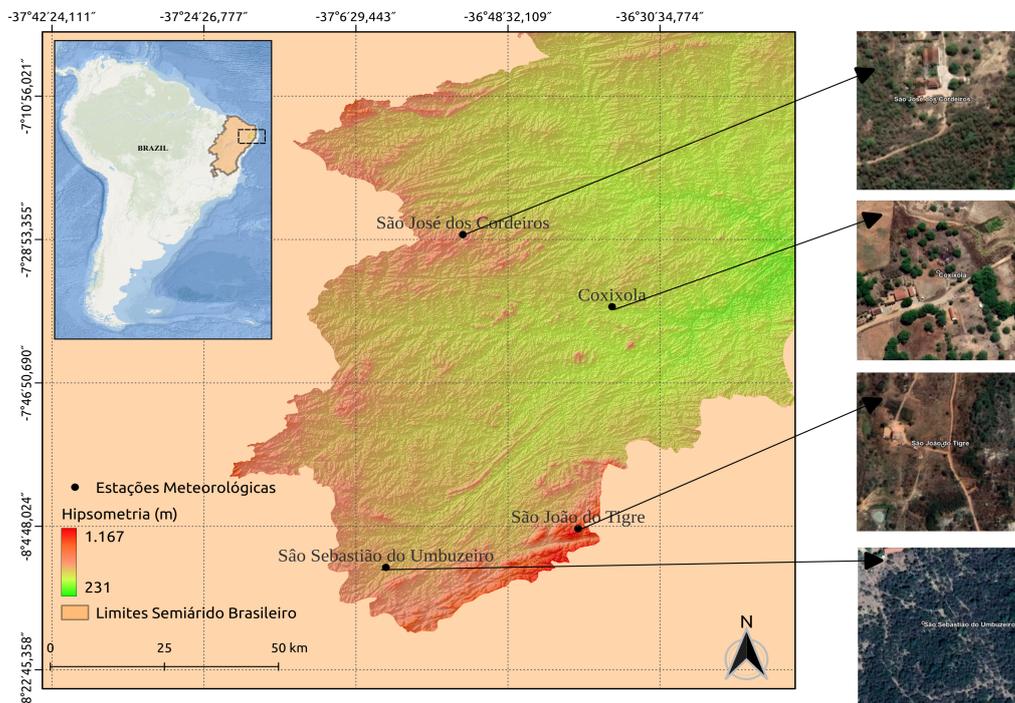
5.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área

Esse estudo foi conduzido na bacia hidrográfica do Alto Curso do Rio Paraíba, localizada no estado da Paraíba/Brasil, onde se encontra instalada uma rede de estações meteorológicas automáticas pertencentes ao Laboratório de Estudos do Semiárido (LAESA) da Universidade Federal da Paraíba. Essa bacia abrange uma área de 12.251,315 km², e está inserida, predominantemente, em clima tropical semiárido, fazendo parte da região de menor pluviosidade do Brasil, com médias de chuva inferiores a 500mm/ano e temperaturas superiores a 27°C (SOUZA et al., 2011).

Dentre as estações meteorológicas pertencentes a essa rede, foram selecionadas quatro, onde suas localidades representam amostras significativas dos diferentes tipos de uso e cobertura vegetal, assim como solos típicos dessa região semiárida. Na figura (1) é apresentado a localidade de cada estação, a altimetria da bacia e também imagens áreas extraídas do *Google Earth* (2023) apresentando um pouco das paisagens dominantes encontradas.

Figura 13: (Artigo 2) Figura 1: Mapa hipsométrico com a localização das estações meteorológicas e as paisagens dominantes nas áreas estudadas, com base nas imagens do Google Earth.



Fonte: Autores, 2023.

As estações meteorológicas selecionadas exemplificam diferentes cenários de preservação encontrados em toda a bacia hidrográfica. Em geral, a vegetação nessas áreas demonstra uma predominância de porte baixo a médio, com variações tanto em termos de quantidade quanto de diversidade. Essas características são reflexo das atividades agropecuárias, bem como da exploração madeireira para a produção de cercas e como fonte energética, abarcando usos tanto domésticos quanto industriais (SOUZA et al., 2011; TRAVASSOS; SOUZA, 2014).

Em Coxixola, domina atualmente a atividade de pecuária extensiva, ocorrendo pequenos remanescentes florestais, uma paisagem predominantemente herbácea/arbustiva e presença de Neossolo Litólico. A estação de São José dos Cordeiros, apresentando um solo Gleissolo Háptico, está situada na Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Almas, que é reconhecida como a maior reserva particular de Caatinga no estado da Paraíba, representando uma área única no Cariri e de grande relevância ecológica para todo o bioma (DE LIMA, 2014). Contudo, no entorno dessa estação, nota-se uma escassez de vegetação nativa e sinais de degradação.

São João do Tigre destaca-se por uma peculiaridade marcante, com uma altitude

superior a mil metros, diferindo das outras estações que possuem em média 600 metros de altitude e presença de solo Argissolo Vermelho. Caracterizada por declives e áreas circundantes de inselbergs, a região exhibe uma riqueza maior e uma preservação mais eficiente (SILVA et al., 2019; QUEIROZ et al., 2020), incluindo até mesmo elementos de outros ecossistemas que não pertencem à Caatinga (QUEIROZ et al., 2021). Entretanto, a área mais próxima da estação meteorológica é dominada por atividades de pecuária extensiva.

Por fim, a estação de São Sebastião do Umbuzeiro é a que apresenta os níveis mais elevados de preservação em comparação com as demais estações, com uma economia local caracterizada pela integração entre agricultura, pecuária e floresta, com presença de solo Cambissolo Háplico. Como resultado, sua cobertura vegetal é composta por amplas áreas com diversas espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas.

Análise dos dados

Os dados das estações têm sido originalmente medidos automaticamente de forma horária. Nesse estudo esses dados foram reduzidos em valores diários, calculando para a precipitação o seu valor acumulado e para a umidade do solo o seu valor médio.

A umidade do solo foi medida a 10 centímetros de profundidade. Essa medição é realizada através de um tensiômetro que mede a força física que retém a água no solo em Centibars, variando de 0 (solo saturado) a 200 (extremamente seco), entretanto, para melhor visualização da relação entre as variáveis, a escala da umidade do solo foi invertida. Já a precipitação foi medida a 1,5 m metros da superfície em milímetros de chuva.

Devido a forte sazonalidade da região, caracterizada por uma maior concentração de precipitação nos primeiros meses do ano (MARENGO et al., 2011), e tendo em consideração a densidade das chuvas em cada estação, a umidade do solo foi analisada em quatro subperíodos distintos:

Período Pré-úmido: Janeiro e Fevereiro, correspondendo ao período que antecede os meses mais chuvosos e sucede o período mais seco na região.

Período Úmido: Março a Maio, caracterizado pelos maiores índices pluviométricos.

Período Pós-úmido: Junho a Agosto, durante o qual ocorre uma redução significativa na precipitação.

Período Seco: Setembro a Dezembro, com a ocorrência rara de eventos de precipitação.

Para investigar a existência de diferenças estatisticamente significativas na distribuição da umidade do solo entre as estações meteorológicas em cada subperíodo, empregou-se o método não paramétrico de Kruskal-Wallis. Em seguida, o teste de Nemenyi

foi aplicado para identificar quais estações apresentaram diferenças significativas entre si, quando o resultado do teste de Kruskal-Wallis indicava significância ($p < 0.05$).

Considerando que, devido à direção vertical do solo, os efeitos da precipitação na umidade demoram cerca de 1 a 2 meses (CAI et al., 2017), foi utilizada a análise de correlação entre esses dois elementos, aplicando uma variação do tempo de atraso de 0 a 2 meses nos dados.

Para avaliar a relação entre a umidade e os eventos de precipitação em cada estação meteorológica, foram estabelecidos intervalos de umidade referentes a quatro categorias distintas de eventos de precipitação, adaptando a proposta feita por Dai et al. (2022). Dessa forma, para cada evento, foram coletados dados de umidade dos dois dias anteriores e dos dois dias posteriores ao evento, antecedendo à ocorrência do próximo evento de precipitação.

Os eventos de precipitação foram agrupados em quatro categorias, a saber: baixa precipitação, que engloba valores entre 2.6 mm e 2.8 mm; média precipitação, compreendendo valores entre 16.4 mm e 20.4 mm; alta precipitação, abrangendo valores entre 30.8 mm e 40.8 mm; e extrema precipitação, considerando valores acima de 85,6 mm. Essa classificação permite uma análise mais detalhada da resposta da umidade em diferentes intensidades de eventos de precipitação em cada estação meteorológica.

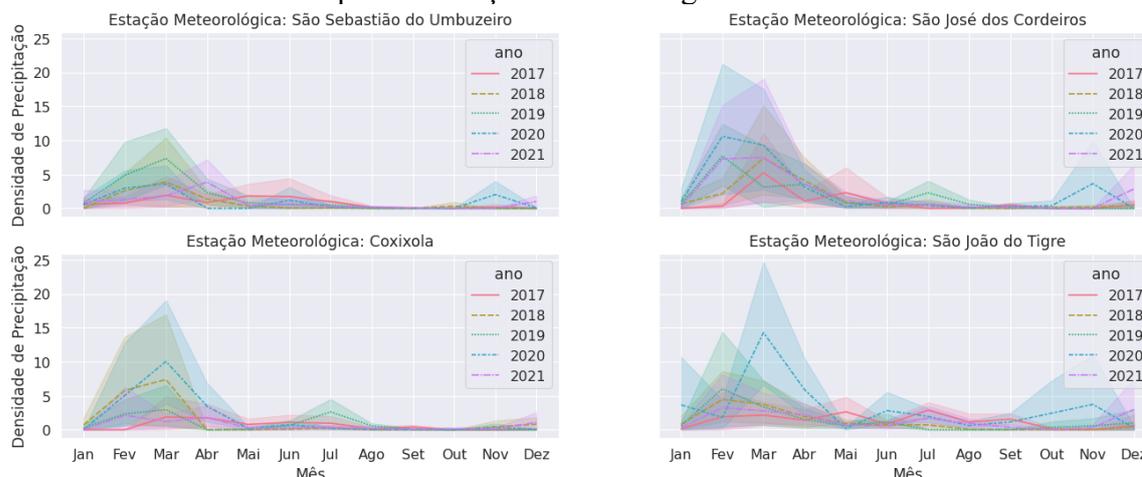
5.4 RESULTADOS

Comportamento da umidade do solo e precipitação

Os eventos de precipitação pluviométrica apresentam uma alta variabilidade temporal e espacial na região semiárida, onde estão inseridas as estações meteorológicas analisadas, sendo essa irregularidade tanto temporal quanto espacial um fator de relevância para a região, mais do que os totais pluviométricos anuais (MARENGO et al., 2011).

Analisando a distribuição da densidade pluviométrica (Figura 2) entre as estações meteorológicas, para os anos entre 2017 e 2021, é possível perceber a concentração dos eventos de chuva em poucos meses do ano, nesse caso, março a maio. Em contraste, nos demais meses temos uma redução significativa nos eventos de precipitação, demonstrando um padrão sazonal característico, repercutido em toda a região analisada, como também em todos os anos de análise.

Figura 14: (Artigo 2) Figura 2: Distribuição da densidade de precipitação entre 2017 e 2021 para as estações meteorológicas analisadas.



Fonte: Autores, 2023.

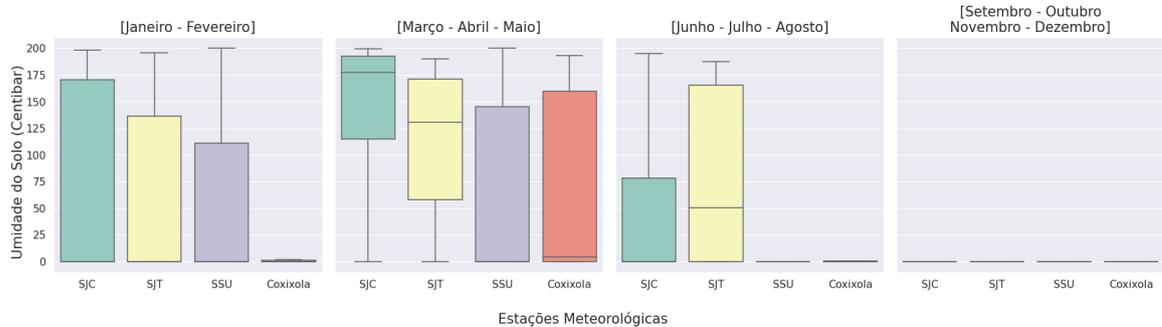
Utilizando o padrão de distribuição da precipitação na área de análise, foi realizado o agrupamento dos dados de umidade do solo para cada estação meteorológica (Figura 3). O primeiro grupo, constituído dos dados dos meses de janeiro e fevereiro, apresentou níveis medianos de umidade do solo, com destaque positivo para a estação de São José dos Cordeiros apresentado uma média de 69.9 Centibars. Em contraste, a estação de Coxixola apresentou o menor valor médio de umidade, com 35.7 Centibars.

No segundo grupo, temos os melhores valores de umidade do solo, demonstrando a resposta dessa variável aos eventos de precipitação. A estação de São José dos Cordeiros, mais uma vez, apresentou o maior valor de umidade, com uma média de 141.8 Centibars, seguida de São João do Tigre (110.7 Centibars), Coxixola (68.4 Centibars) e, por último, São Sebastião do Umbuzeiro (62.3 Centibars).

O terceiro grupo apresenta uma redução significativa em relação ao período anterior, demonstrando indícios do início do período mais seco na região. Como destaque negativo, temos as estações de São Sebastião do Umbuzeiro e Coxixola com os menores valores médios de umidade do solo, 25.9 e 28.6 Centibars, respectivamente. A estação de São João do Tigre apresentou os melhores valores em comparação as demais estações, com uma média de 78.0 Centibars.

O último grupo é constituído pelos menores valores de umidade do solo da série temporal, caracterizando de fato o período seco na região. Todas as estações nesse período apresentaram valores médios abaixo de 20 Centibars. Destaque, mais uma vez, para as estações de São Sebastião do Umbuzeiro (5.8 Centibars) e Coxixola (3.9 Centibars), com os menores valores médios de umidade identificados.

Figura 15: (Artigo 2) Figura 3: Distribuição da umidade média do solo, de acordo com as subdivisões sazonais para as estações meteorológicas: São José dos Cordeiros (SJC), São João do Tigre (SJT), São Sebastião do Umbuzeiro (SSU) e Coxixola.



Fonte: Autores, 2023.

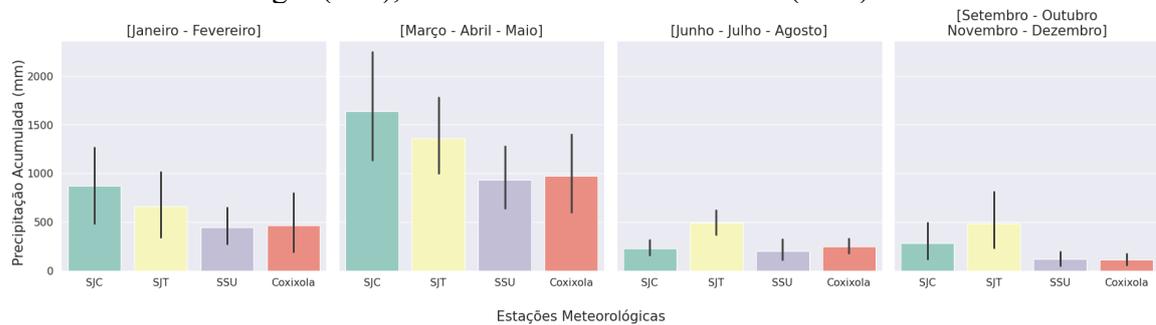
Analisando a distribuição da precipitação acumulada entre os subperíodos (Figura 4), é possível observar um comportamento semelhante ao da umidade do solo.

No primeiro grupo, temos valores medianos de precipitação, com destaque para a estação de São José dos Cordeiros, que no mesmo período também apresentou os maiores valores de umidade do solo, com um valor acumulado de precipitação igual a 873.4 mm. Já as estações de São Sebastião do Umbuzeiro e Coxixola, apresentaram os menores valores de precipitação acumulada, 441.4 mm e 463.4 mm respectivamente.

No segundo grupo, apresentando os maiores valores de precipitação, destacamos a estação de São José dos Cordeiros, assim como ocorreu em relação a umidade do solo, com uma precipitação acumulada igual a 1635.6 mm. Mais uma vez, as estações de São Sebastião do Umbuzeiro e Coxixola, apresentaram os menores valores de precipitação acumulada, 931.6 mm e 976.9 mm respectivamente.

Nos grupos três e quatro, observa-se uma notável diminuição da precipitação acumulada, com destaque para a estação de São João do Tigre, onde ambos os subperíodos exibiram valores de precipitação ligeiramente superiores a 400 mm. Por outro lado, nas demais estações, os registros de precipitação não excederam 300 mm de acumulação pluviométrica.

Figura 16: (Artigo 2) Figura 4: Distribuição da precipitação acumulada, de acordo com as subdivisões sazonais para as estações meteorológicas: São José dos Cordeiros (SJC), São João do Tigre (SJT), São Sebastião do Umbuzeiro (SSU) e Coxixola.



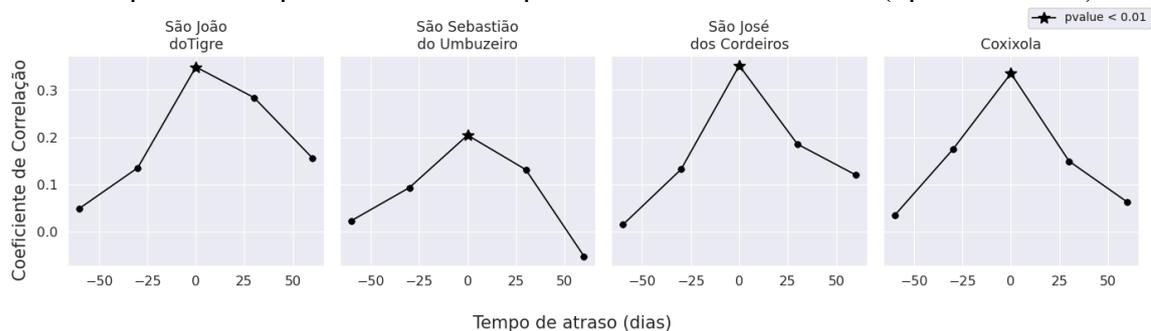
Fonte: Autores, 2023.

Análises estatísticas

Nos gráficos de correlação entre a precipitação e a umidade do solo (Figura 5), quando aplicado um atraso temporal na variável umidade, verifica-se uma correlação geralmente baixa entre essas duas variáveis. As estações de São João do Tigre e São José dos Cordeiros exibem os coeficientes de correlação mais elevados, com valores de 0.34 e 0.35, respectivamente, seguidas pela estação de Coxixola com um coeficiente de correlação de 0.33, e por fim, São Sebastião do Umbuzeiro com 0.20.

Em todas as situações, as maiores correlações foram obtidas com um atraso temporal igual a zero, o que indica uma correlação direta entre a umidade e a precipitação, independente do tipo de cobertura vegetal.

Figura 17: (Artigo 2) Figura 5: Correlação com tempo de atraso em dias entre a precipitação diária acumulada e umidade do solo média diária. Os valores do eixo X correspondem ao período de atraso aplicados a umidade do solo (*pvalue < 0.01).



Fonte: Autores, 2023.

Os resultados do teste de Kruskal-Wallis revelaram um valor de significância estatística $p\text{-value} < 0,05$ para todos os subperíodos, indicando, assim, uma diferença

significativa nos valores de umidade do solo entre as estações meteorológicas.

Para identificar as diferenças entre as estações, foi utilizado o método de Nemenyi, e os resultados foram os seguintes, considerando o valor de significância estatística $p\text{-value} < 0.05$:

a) Período pré-úmido: Entre as combinações analisadas, as únicas estações que apresentaram uma diferença significativa entre si foram São José dos Cordeiros e Coxixola. São José dos Cordeiros apresentou o maior valor de umidade do solo, enquanto Coxixola apresentou o menor valor nesse subperíodo.

b) Período úmido: Durante esse subperíodo, a única combinação que não demonstrou uma diferença significativa foi observada entre as estações de Sebastião do Umbuzeiro e Coxixola, confirmando assim o comportamento observado na distribuição da umidade do solo.

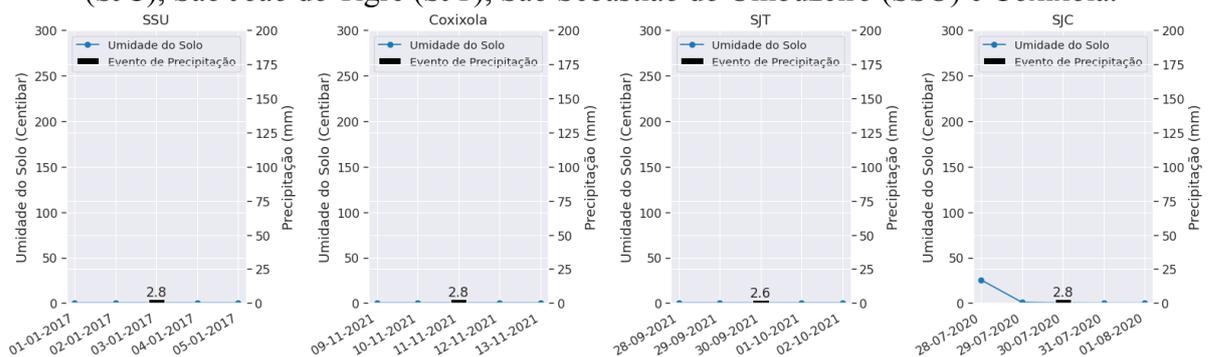
c) Período pós-úmido: Neste subperíodo, a estação de São José dos Cordeiros apresentou uma diferença significativa apenas com a estação de São João do Tigre. No entanto, esta última estação apresentou uma diferença significativa em relação às estações de São Sebastião do Umbuzeiro e Coxixola.

d) Período seco: Embora o teste de Kruskal-Wallis tenha indicado a existência de uma diferença significativa durante o subperíodo seco, nenhuma comparação entre as estações revelou uma diferença significativa utilizando o método de Nemenyi.

Influência dos eventos de precipitação

Analisando os gráficos do comportamento da umidade, para os eventos de baixa precipitação (Figura 6), é verificado que não existiram alterações nos valores dessa variável após o evento, permanecendo o valor de 0 Centibars para todas as estações.

Figura 18: (Artigo 2) Figura 6: Comportamento da umidade do solo dois dias antes e depois do evento de baixa precipitação para as estações meteorológicas: São José dos Cordeiros (SJC), São João do Tigre (SJT), São Sebastião do Umbuzeiro (SSU) e Coxixola.



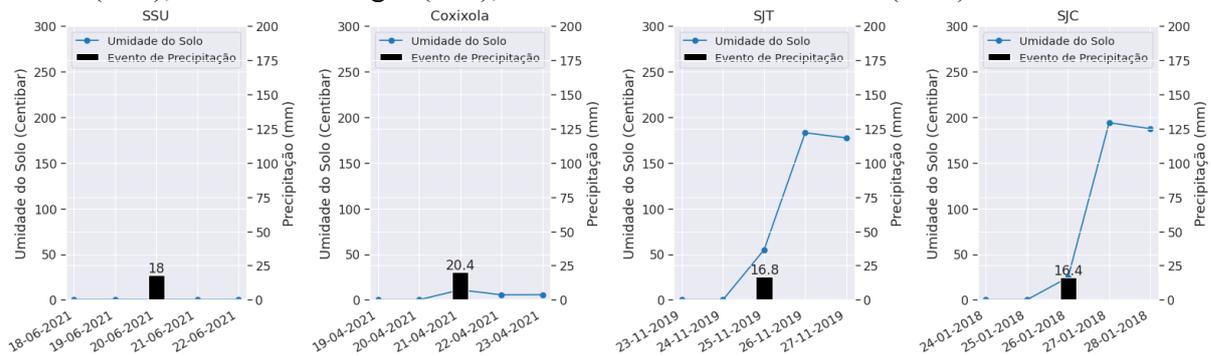
Fonte: Autores, 2023.

Por outro lado, nos gráficos referentes aos eventos de média precipitação (Figura 7), pode-se observar uma rápida alteração nos valores de umidade do solo após a ocorrência do evento nas estações de São João do Tigre e São José dos Cordeiros.

No primeiro caso, os valores de umidade do solo variaram de 0 a 54.8 Centibars no dia do evento, aumentando para 183 Centibars um dia após o evento e reduzindo para 177.4 Centibars dois dias após a precipitação.

No segundo caso, a variação no dia do evento foi de 0 a 24.4 Centibars, com aumento para 194.1 Centibars um dia após o evento e redução para 187.6 Centibars dois dias após a precipitação. As estações de São Sebastião do Umbuzeiro e Coxixola não apresentaram mudanças significativas em relação às demais nesses eventos.

Figura 19: (Artigo 2) Figura 7: Comportamento da umidade do solo dois dias antes e depois do evento de média precipitação para as estações meteorológicas: São José dos Cordeiros (SJC), São João do Tigre (SJT), São Sebastião do Umbuzeiro (SSU) e Coxixola.



Fonte: Autores, 2023.

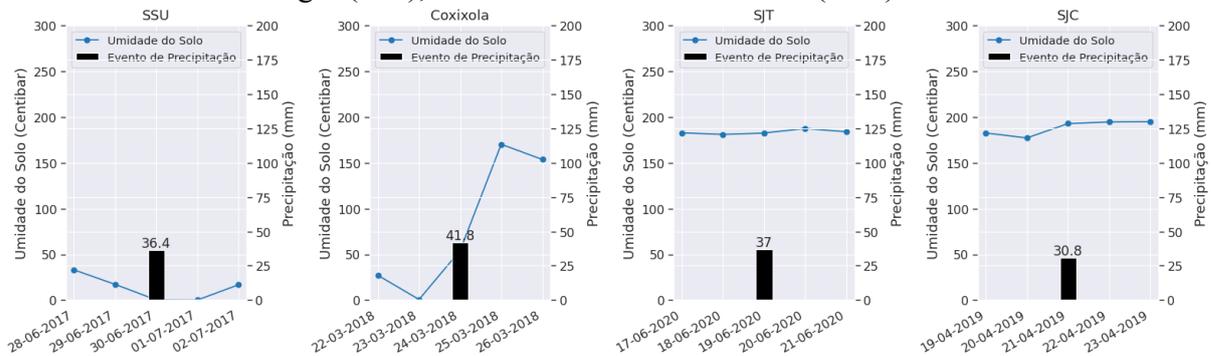
Quanto aos eventos de precipitação alta (Figura 8), a estação de Coxixola registrou uma grande variação nos valores de umidade do solo, indo de 0 a 54.2 Centibars no dia do evento de precipitação, aumentando para 170.3 Centibars um dia após o evento e reduzindo para 153.7 Centibars no segundo dia.

A estação de São João do Tigre apresentou valores elevados de umidade do solo, que se mantêm elevados durante os dias analisados, com valores ligeiramente superiores a 180 Centibars, mesmo antes do evento de precipitação.

A estação de São José dos Cordeiros exibe um comportamento semelhante à última estação mencionada, com uma variação de umidade do solo de 177.3 Centibars no dia anterior ao evento, aumentando para 192.9 Centibars no dia do evento e mantendo-se estável nos dias

subsequentes. A estação de São Sebastião do Umbuzeiro não apresentou variações significativas nos valores de umidade do solo durante os dias analisados.

Figura 20: (Artigo 2) Figura 8: Comportamento da umidade do solo dois dias antes e depois do evento de alta precipitação para as estações meteorológicas: São José dos Cordeiros (SJC), São João do Tigre (SJT), São Sebastião do Umbuzeiro (SSU) e Coxixola.

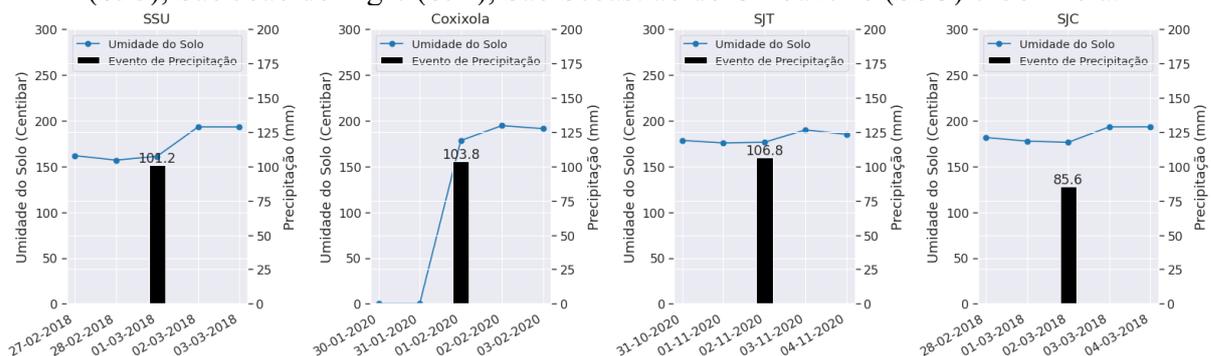


Fonte: Autores, 2023.

Em relação aos eventos de extrema precipitação (Figura 9), todas as estações registraram uma variação significativa da umidade do solo durante e após o evento de precipitação. A estação de São Sebastião do Umbuzeiro, apesar de apresentar valores elevados de umidade anteriormente ao evento, apresentou uma variação de 161.16 Centibars para 193.3 Centibars um dia após o evento, mantendo esse valor no dia seguinte.

A estação de Coxixola exibiu a maior variação, com a umidade do solo partindo de 0 Centibars antes do evento, aumentando para 178.4 Centibars no dia do evento e chegando a 194.7 Centibars nos dias posteriores. As estações de São João do Tigre e São José dos Cordeiros apresentaram comportamento semelhante ao observado durante os eventos de alta precipitação, com variações na umidade nos dias anteriores variando entre 170 Centibars e 190 Centibars, mantendo-se estáveis nos dias subsequentes.

Figura 21: (Artigo 2) Figura 9: Comportamento da umidade do solo dois dias antes e depois do evento de extrema precipitação para as estações meteorológicas: São José dos Cordeiros (SJC), São João do Tigre (SJT), São Sebastião do Umbuzeiro (SSU) e Coxixola.



Fonte: Autores, 2023.

5.5 DISCUSSÃO

As variações temporais e espaciais da umidade do solo sempre foram um ponto crucial na restauração e gestão dos recursos hídricos, principalmente em ecossistemas áridos e semiáridos (BREVIK et al., 2015; YU et al., 2015). Essas variações são peças fundamentais nos ciclos hidrológicos e são influenciados por diversos fatores como as propriedades do solo, padrões de precipitação, composição da cobertura vegetal e a profundidade do solo (NIU et al., 2015).

Nesse estudo, foi analisado o comportamento da umidade do solo em uma profundidade de 10 cm, para diferentes regiões com distintos tipos de cobertura vegetal. Nessa camada foi possível identificar que a precipitação foi o principal fator que controla a variabilidade da umidade no solo. Apesar das análises estatísticas apontarem diferenças significativas entre as regiões, não foi possível confirmar a influência do tipo de cobertura na distribuição da umidade nas estações meteorológicas.

Esses resultados corroboram com a pesquisa de Gao et al. (2014) em uma região semiárida na China, onde não foram encontradas diferenças significativas na umidade do solo superficial (0-20 cm) para cinco tipos distintos de uso da terra.

Entretanto, estudos como o de Montenegro et al. (2019) apontam diferenças significativas entre diferentes tipos de cobertura da terra, onde áreas com presença de vegetação natural são mais eficientes em termos de conservação da água tanto no período seco quanto no período úmido, em comparação a áreas degradadas em uma região semiárida no Brasil. Dessa forma, fica uma lacuna a ser preenchida a respeito do comportamento da umidade do solo diante de estudos controlados e realizados *in situ*, uma vez que os dados foram extraídos de estações meteorológicas automáticas em uma região que apresenta alta variabilidade temporal e espacial dos eventos de precipitação.

Nos resultados da correlação com tempo de atraso, todas as estações meteorológicas apresentaram a maior correlação com o tempo igual a zero, demonstrando uma correlação direta entre a variação da umidade do solo com a precipitação. Entretanto, apesar da maior correlação também ter sido o tempo de atraso igual a zero, a estação de São Sebastião do Umbuzeiro apresentou a menor correlação dentre as estações meteorológicas. Esse resultado

pode estar relacionado com a maior presença de cobertura vegetal, tanto em quantidade como em variedade de estratos, o que favorece a interceptação da precipitação, com efeitos diretos na taxa de umidade dos solos.

Os resultados da correlação desse trabalho corroboram com os estudos de Saadatabadi et al. (2021), onde foi verificada situação similar em uma região semiárida no Iran. O estudo concluiu que a umidade do solo é diretamente afetada pela precipitação na camada mais superficial (0-10 cm) devido a maior taxa de infiltração nessa camada.

Segundo Ma et al. (2019) a estrutura vegetal de ecossistemas florestais em regiões semiáridas, devido ao mecanismo de interceptação, pode remover uma significativa porção da água da chuva da umidade do solo, transpiração e recarga das águas superficiais e subterrâneas.

Apesar da estrutura florestal, como a que existe na área da estação de São Sebastião do Umbuzeiro, fornecer um efetivo controle da erosão, principalmente em eventos extremos de precipitação em regiões semiáridas (WU et al., 2020, WEN; DENG; ZHANG, 2019), existe uma preocupação em relação ao armazenamento de água durante os eventos de média e baixa intensidade em função dos processos de transpiração, interceptação e evapotranspiração que ocorrem de forma mais acentuada nesse tipo de cobertura vegetal (WANG et al., 2011, FENG et al., 2016).

A variação de umidade do solo após três distintos eventos de precipitação foi diferente entre os tipos de cobertura vegetal das regiões onde se encontram as estações meteorológicas. Nos eventos de baixa precipitação (2.6 - 2.8 mm) não houve alterações na umidade do solo, permanecendo em 0 Centibars antes e depois do evento. Fica confirmado então, nessas áreas da Caatinga, tal como ocorre em outras áreas de clima seco, que a intensidade de eventos dessa magnitude não é capaz de aumentar a quantidade de água no solo, podendo até, em alguns casos, existir a redução devido a alta demanda de evapotranspiração (DAI et al., 2022).

Nos eventos de média precipitação (16.4 – 20.4 mm), as estações de São João do Tigre e São José dos cordeiros apresentaram uma significativa variação na umidade do solo durante e após a ocorrência do evento. Nas áreas dessas estações temos localmente uma menor variação da composição vegetal em termos de quantidade e diversidade, com predominância de poucas espécies arbustivas perenes e herbáceas anuais.

Para os eventos de alta precipitação (30.8 – 41.8 mm), apenas a estação de São Sebastião do Umbuzeiro permaneceu sem variações significativas na umidade do solo, em contraste, as demais estações apresentaram grande variação. E, por fim, nos eventos de

precipitação extrema todas as estações apresentaram uma grande variação na umidade do solo durante e após o evento.

No geral, São Sebastião do Umbuzeiro, onde temos uma vegetação relativamente mais preservada, conseqüentemente mais abundante em espécies arbóreas, arbustivas e herbáceas anuais apresentou uma maior resistência a variação de umidade do solo para os eventos de precipitação de baixa a alta intensidade. Em contrapartida, as demais estações foram mais suscetíveis as variações de umidade a partir de eventos de precipitação de intensidade média.

Dai et al. (2022) encontraram resultados semelhantes em áreas de clima seco na China, levando em consideração o impacto de diferentes eventos de precipitação. O estudo sugere ainda que, regiões com predominância de vegetação com estratos diversificados e com relativa abundância podem apresentar uma menor susceptibilidade ao escoamento superficial proveniente do aumento dos eventos extremos de precipitação devido as mudanças climáticas futuras.

Diversos estudos apontam para os serviços ecossistêmicos prestados por áreas com melhor cobertura vegetal, principalmente em regiões áridas e semiáridas, como controle da erosão, diminuição do escoamento superficial e aumento significativo do armazenamento de água no solo. Sob essa situação, temos rápido acúmulo de matéria orgânica no solo, um sistema radicular que favorece o aumento da porosidade do solo, menor interceptação e consumo da água proveniente dos eventos de precipitação (HUANG et al., 2019; WU et al., 2020; CUI et al., 2019; MARQUART et al., 2020).

Em função do exposto, coberturas vegetais com maiores níveis de preservação e, conseqüentemente, maior diversidade, assumem uma importância fundamental na prevenção de processos de desertificação e no aumento da resiliência do ecossistema diante das flutuações climáticas (MA et al., 2019, LIPOMA et al., 2020, GÜL; ERŞAHIN, 2019).

5.6 CONCLUSÃO

O tipo de cobertura vegetal não apresentou grande influência na variação espacial e temporal da umidade do solo na camada mais superficial (0 – 10 cm), em contrapartida, a precipitação foi o principal fator na variabilidade de água no solo entre os subperíodos analisados. Entretanto, na análise da influência de diferentes eventos de precipitação, para São Sebastião do Umbuzeiro, estação com vegetação relativamente mais preservada, verificou-se que a variabilidade da umidade do solo apresentou uma maior resistência a eventos baixos e

médio de precipitação. Em contraste, as demais estações apresentaram uma susceptibilidade à alteração na umidade do solo a partir de eventos médios de precipitação.

Esses resultados apresentaram informações demonstrando mecanismos distintos na Caatinga sob diferentes situações de uso e cobertura vegetal, cuja observância, se utilizados de forma devida, é capaz de aumentar a resiliência de ecossistemas semiáridos aos usos econômicos, assim como na diminuição do impacto erosivo provocado por eventos extremos de precipitação, inclusive diante dos cenários futuros das mudanças climáticas, assim como o aproveitamento de eventos de menor magnitude na recarga de água no solo e favorecimento dos processos de recuperação do bioma.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, através de Bolsa de Capacitação no Exterior para o segundo autor, também tendo recebido suporte financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Chamada CNPq nº 4/2021 – Bolsas de Produtividade em Pesquisa – PQ, Processo 309735/2021-1, do Programa de Pesquisa Ecológica de Longa Duração (PELD)/RIPA/FAPESQ - PB/CNPq, Chamada CNPq/MCTI/CONFAP-FAPS/PELD nº 21/2020, através de financiamento de subprojeto, e da Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (FAPESQ), Edital nº 09/2021 Demanda Universal, Protocolo 47900.73.27692.11082021. O primeiro autor agradece à CAPES pela concessão de bolsa de estudos, nível Mestrado.

5.7 REFERÊNCIAS

- Alcântara, L.R.P.; Coutinho, A.P.; dos Santos Neto, S.M.; Carvalho de Gusmão da Cunha Rabelo, A.E.; Antonino, A.C.D. Modeling of the Hydrological Processes in Caatinga and Pasture Areas in the Brazilian Semi-Arid. **Water**, 2021, 13, 1877.
- BREVIK, E. C. et al. The interdisciplinary nature SOIL. **SOIL**, v. 1, n. 1, p. 117–129, 16 jan. 2015.
- CAI, J. et al. Analyzing the Characteristics of Soil Moisture Using GLDAS Data: A Case Study in Eastern China. **Applied Sciences**, v. 7, n. 6, p. 566, 31 maio 2017.
- CANTALICE, J. R. B. et al. Interrill erosion and roughness parameters of vegetation in rangelands. **CATENA**, v. 148, p. 111–116, jan. 2017.
- CANTÓN, Y.; SOLÉ-BENET, A.; DOMINGO, F. Temporal and spatial patterns of soil moisture in semiarid badlands of SE Spain. **Journal of Hydrology**, v. 285, n. 1–4, p. 199–214, jan. 2004.

- CUI, Z. et al. Fine roots determine soil infiltration potential than soil water content in semi-arid grassland soils. **Journal of Hydrology**, v. 578, p. 124023, nov. 2019.
- DAI, L. et al. Soil Moisture Variations in Response to Precipitation Across Different Vegetation Types on the Northeastern Qinghai-Tibet Plateau. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 854152, 6 abr. 2022.
- DE LIMA, I. B. Composição florística da RPPN Fazenda Almas, no Cariri paraibano, Paraíba, Brasil. v. 23, 2014.
- FENG, X. et al. Revegetation in China's Loess Plateau is approaching sustainable water resource limits. **Nature Climate Change**, v. 6, n. 11, p. 1019–1022, nov. 2016.
- GAO, X. et al. Effects of land use on soil moisture variations in a semi-arid catchment: implications for land and agricultural water management: effects of land use on soil water variations. **Land Degradation & Development**, v. 25, n. 2, p. 163–172, mar. 2014.
- GÜL, E.; ERŞAHİN, S. Evaluating the desertification vulnerability of a semiarid landscape under different land uses with the environmental sensitivity index. **Land Degradation & Development**, v. 30, n. 7, p. 811–823, 30 abr. 2019.
- HUANG, Z. et al. Natural grasslands maintain soil water sustainability better than planted grasslands in arid areas. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 286, p. 106683, dez. 2019.
- LIPOMA, M. L. et al. Where does the forest come back from? Soil and litter seed banks and the juvenile bank as sources of vegetation resilience in a semiarid Neotropical forest. **Journal of Vegetation Science**, v. 31, n. 6, p. 1017–1027, nov. 2020.
- MA, C. et al. The modelling of rainfall interception in growing and dormant seasons for a pine plantation and a black locust plantation in semi-arid Northwest China. **Journal of Hydrology**, v. 577, p. 123849, out. 2019.
- MA, C. et al. The modelling of rainfall interception in growing and dormant seasons for a pine plantation and a black locust plantation in semi-arid Northwest China. **Journal of Hydrology**, v. 577, p. 123849, out. 2019.
- MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. In: Medeiros, S. S.; Gheyi, H. R.; Galvão, C. de O.; Paz, V. P. da S. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas. Campina Grande: INSA, 2011. p. 383-422.
- MARQUART, A. et al. Interconnected effects of shrubs, invertebrate-derived macropores and soil texture on water infiltration in a semi-arid savanna rangeland. **Land Degradation & Development**, v. 31, n. 16, p. 2307–2318, out. 2020.
- MILLS, A. J.; FEY, M. V. Transformation of ticket to savana reduces soil quality in the Eastern Cape, South Africa. **Plant and Soil**, 2004, 265, p. 153 – 163.
- NASH, M. S.; WIERENGA, P. J.; GUTJAHR, A. Time series analysis of soil moisture and rainfall along a line transect in arid rangeland. *Soil Science*, v. 152, p. 189-198, 1991.
- NIELSEN, U. N.; BALL, B. A. Impacts of altered precipitation regimes on soil communities and biogeochemistry in arid and semi-arid ecosystems. **Global Change Biology**, v. 21, n. 4, p. 1407–1421, abr. 2015.
- NIU, C. Y.; MUSA, A.; LIU, Y. Analysis of soil moisture condition under different land uses in the arid region of Horqin sandy land, northern China. **Solid Earth**, v. 6, n. 4, p. 1157–1167, 23 out. 2015.
- PURI, S.; STEPHEN, H.; AHMAD, S. Relating TRMM precipitation radar land surface backscatter response to soil moisture in the Southern United States. **Journal of Hydrology**, v. 402, n. 1–2, p. 115–125, maio 2011.
- QUEIROZ, A. B.; LIMA, V. R. P.; ARTIGAS, R. C.; SOUZA, B. I.; QUIRINO, Z. G. M. Structure and diversity

- of a tropical dry forest on residual reliefs in northeastern Brazil. *Revista Ra'e Ga* Espaço Geográfico em Análise, v. 8, p. 129-142, 2020.
- QUEIROZ, R. et al. Extending the limits of Campos Rupestres in Brazil. *Caminhos de Geografia*, v. 22, p. 115–137, 2 ago. 2021.
- RODRIGUEZ-ITURBE, I. et al. On the spatial and temporal links between vegetation, climate, and soil moisture. *Water Resources Research*, v. 35, n. 12, p. 3709–3722, dez. 1999.
- SAADATABADI, A. R. et al. Investigating relationship between soil moisture, hydro-climatic parameters, vegetation, and climate change impacts in a semi-arid basin in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, v. 14, n. 17, p. 1796, set. 2021.
- SILVA, J. et al. Efeito de diferentes usos do solo na erosão hídrica em região semiárida. *Revista Engenharia na Agricultura - REVENG*, v. 27, p. 272–283, 19 jun. 2019.
- SOUZA, B. I. DE; ARTIGAS, R. C.; LIMA, E. R. V. DE. Caatinga e desertificação. *Mercator (Fortaleza)*, v. 14, p. 131–150, abr. 2015
- SOUZA, B. I.; SUERTEGARAY, D. M. A.; LIMA, E. R. V. Evolução da desertificação no Cariri paraibano a partir da análise das modificações na vegetação. *Geografia*, vol. 36, n. 1, p. 193–205, jan./abr. 2011.
- THUROW, T. L. Hydrological effects of rangeland degradation and restoration processes. In: **Rangeland desertification**. Kluwe, Dordrecht, 2000, p. 53 – 66.
- TRAVASSOS; SOUZA, B. I. Desmatamento e desertificação no Cariri paraibano. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 07, p. 103-116, 2014.
- WANG, Y. et al. Annual runoff and evapotranspiration of forestlands and non-forestlands in selected basins of the Loess Plateau of China. *Ecohydrology*, v. 4, n. 2, p. 277–287, mar. 2011.
- WEN, X.; DENG, X.; ZHANG, F. Scale effects of vegetation restoration on soil and water conservation in a semi-arid region in China: Resources conservation and sustainable management. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 151, p. 104474, dez. 2019.
- WILLIAMS, K. J. et al. Forests of East Australia: The 35th Biodiversity Hotspot. Em: ZACHOS, F. E.; HABEL, J. C. (Eds.). **Biodiversity Hotspots: Distribution and Protection of Conservation Priority Areas**. Berlin, Heidelberg: Springer, 2011. p. 295–310.
- WU, G. et al. Trade-off between vegetation type, soil erosion control and surface water in global semi-arid regions: A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, v. 57, n. 5, p. 875–885, maio 2020.
- YU, Y. et al. Responses of vertical soil moisture to rainfall pulses and land uses in a typical loess hilly area, China. *Solid Earth*, v. 6, n. 2, p. 595–608, 28 maio 2015.
- MONTENEGRO, A. A. A. et al. Spatio Temporal Soil Moisture Dynamics and Runoff under Different Soil Cover Conditions in a Semiarid Representative Basin in Brazil. **Advances in Geosciences**, v. 48, p. 19–30, 5 jun. 2019.

6 CONCLUSÃO

As áreas onde estão localizadas as estações meteorológicas de onde foram extraídos os dados climáticos, de ambos os capítulos, apresentam diferentes características em aspectos altimétricos, geomorfológicos, climatológicos e principalmente em termos de cobertura da terra. Porém, uma característica compartilhada entre as áreas, mesmo que em níveis diferentes, é a presença de degradação, fruto dos processos antrópicos ao longo dos anos, por meio da remoção da vegetação nativa e manuseio das terras para agricultura com a utilização do fogo.

Esses processos são capazes de transformar o microclima local, elevando as temperaturas próximas a superfície, em um nível que impacta a manutenção de todo o sistema ecológico, incluindo a recuperação vegetal natural nessas áreas. Além de afetar de forma direta e indireta um dos principais fatores limitantes da região, a água. Alterando o funcionamento dos ciclos hidrológicos e reduzindo a capacidade de armazenamento de água no solo.

Em contrapartida, nos resultados do capítulo 1, foi observado uma exceção na estação meteorológica de São Sebastião do Umbuzeiro, que mesmo possuindo uma distribuição pluviométrica, altitude e solos semelhantes as demais estações apresentou temperaturas amenas em função do estado de conservação da vegetação, evidenciando a necessidade e importância da preservação dos serviços ecossistêmicos por meio da proteção da vegetação nativa.

Mesmo os resultados do capítulo 2 não evidenciando significativamente a influência do tipo de cobertura do solo na variação temporal e espacial da umidade do solo, as análises da influência de diferentes eventos de precipitação demonstraram que a estação de São Sebastião do Umbuzeiro apresentou uma maior resistência a eventos médios e altos de precipitação. Em contraste, as demais estações apresentaram uma susceptibilidade a alteração na umidade do solo a partir de eventos médios de precipitação.

Esses resultados demonstram mecanismos distintos que são capazes, se utilizados de forma devida, de aumentar a resiliência de ecossistemas semiáridos diminuindo o impacto erosivo dos eventos extremos de precipitação, diante dos cenários futuros das mudanças climáticas, como o aproveitamento de eventos de menor magnitude na recarga de água no solo e favorecimento dos processos de recuperação do bioma.

O resultado do estudo mostra, de forma geral, a necessidade da preservação da

vegetação nativa da Caatinga como também a utilização de atividades econômicas menos degradantes e que integrem a própria vegetação nativa do bioma. Preservando assim uma estrutura vegetativa capaz de fornecer os serviços ecossistêmicos necessários para o funcionamento do ecossistema e que também promovam a resiliência do bioma, principalmente diante das alterações nos padrões de precipitação e temperatura resultados das mudanças climáticas que terão consequências particularmente significativas em ecossistemas semiáridos.

7 REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Problemática da desertificação e da savanização no Brasil intertropical, **Geomorfologia**, n. 53, p. 1–19, 1977.
- ALVES, J. J. A. CAATINGA DO CARIRI PARAIBANO. **Geonomos**, 15 fev. 2013.
- ANTONGIOVANNI, M. et al. Chronic anthropogenic disturbance on Caatinga dry forest fragments. **Journal of Applied Ecology**, v. 57, n. 10, p. 2064–2074, 2020.
- ASHCROFT, M. B.; CHISHOLM, L. A.; FRENCH, K. O. Climate change at the landscape scale: predicting fine-grained spatial heterogeneity in warming and potential refugia for vegetation. **Global Change Biology**, v. 15, n. 3, p. 656–667, mar. 2009.
- BARBOSA, M. R. DE V. et al. Vegetação e Flora no Cariri Paraibano. **Oecologia Brasiliensis**, v. 11, n. 03, p. 313–322, dez. 2007.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Tradução técnica: Igo Fernando Lepsch, 3ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- BRAMER, I. et al. Advances in Monitoring and Modelling Climate at Ecologically Relevant Scales. Em: **Advances in Ecological Research**. [s.l.] Elsevier, 2018. v. 58p. 101–161.
- CAMPOS, J. N. B. VULNERABILIDADE DO SEMI-ÁRIDO ÀS SECAS, SOB O PONTO DE VISTA DOS RECURSOS HÍDRICOS. **Projeto Áridas**, v. 2, n. 3, 1994.
- CANTALICE, L. R.; MARTINS, M. F.; CÂNDIDO, G. A. Turismo e desenvolvimento sustentável nos assentamentos da reforma agrária do cariri paraibano, p. 9, 2006.
- CANTÓN, Y.; SOLÉ-BENET, A.; DOMINGO, F. Temporal and spatial patterns of soil moisture in semiarid badlands of SE Spain. **Journal of Hydrology**, v. 285, n. 1–4, p. 199–214, jan. 2004.
- CERTINI, G. Effects of fire on properties of forest soils: a review. **Oecologia**, v. 143, n. 1, p. 1–10, mar. 2005.
- CHESWORTH, W.; SPAARGAREN, O.; HADAS, A. Thermal Regime. In: CHESWORTH, W. (Ed.). *Encyclopedia of Soil Science*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Dordrecht: Springer, 2008. p. 593.
- CHOUBIN, B.; MALEKIAN, A.; SAMADI, S.; KHALIGHI-SIGAROODI, S.; SAJEDI-HOSSEINI, F. An ensemble forecast of semi-arid rainfall using large-scale climate predictors: Ensemble forecast of rainfall using large-scale climate predictors, **Meteorological Applications**, v. 24, n. 3, p. 376–386, 2017.
- CLARK, D. B.; XUE, Y.; HARDING, R. J.; et al. Modeling the Impact of Land Surface Degradation on the Climate of Tropical North Africa. **Journal of Climate**, v. 14, n. 8, p. 1809–1822, 2001.
- COHEN, M.; DUQUÉ, G.; INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT (FRANCE). **Les deux visages du Sertão: stratégies paysannes face aux sécheresses (Nordeste du Brésil)**. Paris: Éditions de l'IRD (Institut de recherche pour le développement), 2001.
- COMPANT, S.; VAN DER HEIJDEN, M. G. A.; SESSITSCH, A. Climate change effects on beneficial plant-microorganism interactions: Climate change and beneficial plant-microorganism interactions. **FEMS Microbiology Ecology**, p. no-no, 4 maio 2010.
- CONTI, J. B. O CONCEITO DE DESERTIFICAÇÃO. **Climatologia e Estudos da Paisagem**, v. 3, n. 2, p. 39, 2008.
- CORTINA, J.; VALLEJO, V. R. Effects of clearfelling on forest floor accumulation and litter decomposition in a

- radiata pine plantation. **Forest Ecology and Management**, v. 70, n. 1–3, p. 299–310, dez. 1994.
- CRUMLEY, C. L. Historical Ecology: Cultural Knowledge and Changing Landscapes. **The Journal of the Royal Anthropological Institute**, v. 2, n. 1, p. 170, mar. 1996.
- CUI, Y. et al. Soil moisture mediates microbial carbon and phosphorus metabolism during vegetation succession in a semiarid region. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 147, p. 107814, ago. 2020.
- FRIES, A. et al. Water Balance and Soil Moisture Deficit of Different Vegetation Units under Semiarid Conditions in the Andes of Southern Ecuador. **Climate**, v. 8, n. 2, p. 30, 8 fev. 2020.
- GEIGER, R.; ARON, R. H.; TODHUNTER, P. **The Climate Near the Ground**. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2003.
- GEIST, H. J. & LAMBIN, E. F. Dynamic causal patterns of desertification. **BioScience**, vol. 54, n. 9, p. 817 – 829, 2004.
- GOMES, D. DA S. et al. CO₂ flux e temperatura da superfície edáfica em áreas de caatinga. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 4, p. 1898–1908, 2021.
- GUNDERSON, L. H. Ecological Resilience—In Theory and Application. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 31, n. 1, p. 425–439, nov. 2000.
- HANSEN, M. C.; LOVELAND, T. R. A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data. **Remote Sensing of Environment**, v. 122, p. 66–74, jul. 2012.
- HUMPHREY, V. et al. Soil moisture–atmosphere feedback dominates land carbon uptake variability. **Nature**, v. 592, n. 7852, p. 65–69, 1 abr. 2021.
- JIAN LI; DAVID ROY. A Global Analysis of Sentinel-2A, Sentinel-2B and Landsat-8 Data Revisit Intervals and Implications for Terrestrial Monitoring. **Remote Sensing**, v. 9, n. 9, p. 902, 31 ago. 2017.
- JUNGQVIST, G.; ONI, S. K.; TEUTSCHBEIN, C.; FUTTER, M. N. Effect of Climate Change on Soil Temperature in Swedish Boreal Forests. **PLoS ONE**, v. 9, n. 4, p. e93957, 18 abr. 2014.
- KHATAMI, R.; MOUNTRAKIS, G.; STEHMAN, S. V. A meta-analysis of remote sensing research on supervised pixel-based land-cover image classification processes: General guidelines for practitioners and future research. **Remote Sensing of Environment**, v. 177, p. 89–100, maio 2016.
- KOHNKE, H. **Soil physics**. New York: McGraw - Hill Book Company. 1968.
- KURYLYK, B. L.; MACQUARRIE, K. T. B.; MCKENZIE, J. M. Climate change impacts on groundwater and soil temperatures in cold and temperate regions: Implications, mathematical theory, and emerging simulation tools. **Earth-Science Reviews**, v. 138, p. 313–334, nov. 2014.
- LAMBIN, E. F.; GEIST, H. J.; LEPERS, E. Dynamics of Land-Use and Land-Cover Change in Tropical Regions. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 28, n. 1, p. 205–241, nov. 2003.
- LEDRU, M. P. et al. When archives are missing, deciphering the effects of public policies and climate variability on the Brazilian semi-arid region using sediment core studies. **Science of The Total Environment**, v. 723, p. 137989, 25 jun. 2020.
- LEMBRECHTS, J. J. et al. SoilTemp: A global database of near-surface temperature. **Global Change Biology**, v. 26, n. 11, p. 6616–6629, 2020.
- LEMBRECHTS, J. J.; NIJS, I.; LENOIR, J. Incorporating microclimate into species distribution models. **Ecography**, v. 42, n. 7, p. 1267–1279, jul. 2019.
- LESSA, T.; DOS SANTOS, J. W.; CORREIA, R. A.; LADLE, R. J.; MALHADO, C. M. Known unknowns:

- Filling the gaps in scientific knowledge production in the Caatinga, **PLOS ONE**, v. 14, n. 7, p. 1-12, 2019.
- LOZANO-PARRA, J.; PULIDO, M.; LOZANO-FONDÓN, C.; SCHNABEL, S. How do Soil Moisture and Vegetation Covers Influence Soil Temperature in Drylands of Mediterranean Regions? **Water**, v. 10, n. 12, p. 1747, 28 nov. 2018.
- MACLEAN, I. M. D. et al. Fine-scale climate change: modelling spatial variation in biologically meaningful rates of warming. **Global Change Biology**, v. 23, n. 1, p. 256–268, jan. 2017.
- MAEDA, E. E.; UTSUMI, N.; OKI, T. Decreasing precipitation extremes at higher temperatures in tropical regions. **Natural Hazards**, v. 64, n. 1, p. 935–941, out. 2012.
- MAESTRE, F. T.; ESCUDERO, A. Is the patch size distribution of vegetation a suitable indicator of desertification processes? **Ecology**, v. 90, n. 7, p. 1729–1735, jul. 2009.
- MEDINETS, S. et al. Seasonal dynamics and profiles of soil NO concentrations in a temperate forest. **Plant and Soil**, v. 445, n. 1, p. 335–348, 1 dez. 2019.
- MENZIES, N. W.; GILLMAN, G. P. Plant growth limitation and nutrient loss following piled burning in slash and burn agriculture. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 65, n. 1, p. 23–33, 2003.
- NASCIMENTO, S.S., ALVES, J.J.A. Ecoclimatologia do Cariri Paraibano. **Revista Geográfica Acadêmica**, V. 2, n. 3, p. 28-41, 2008.
- NIMER, E. Subsídio ao plano de ação mundial para combater a desertificação: programa das Nações Unidas. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 42, n. 3, p. 612-37, 1980.
- NOBRE, C. A.; SELLERS, P. J.; SHUKLA, J. Amazonian Deforestation and Regional Climate Change. **Journal of Climate**, v. 4, n. 10, p. 957–988, 1991.
- ONWUKA, Brownmang. Effects of Soil Temperature on Some Soil Properties and Plant Growth. **Advances in Plants & Agriculture Research**, v. 8, n. 1, 2018.
- PELAEZ, D. V.; BOO, R. M.; ELIA, O. R. Emergence and Seedling Survival of Calden in the Semiarid Region of Argentina. **Journal of Range Management**, v. 45, n. 6, p. 564, nov. 1992.
- PENG, F.; MU, M.; SUN, G. Responses of soil moisture to climate change based on projections by the end of the 21st century under the high emission scenario in the ‘Huang–Huai–Hai Plain’ region of China. **Journal of Hydro-environment Research**, v. 14, p. 105–118, mar. 2017.
- PINCEBOURDE, S. et al. Fine-Scale Microclimatic Variation Can Shape the Responses of Organisms to Global Change in Both Natural and Urban Environments. **Integrative and Comparative Biology**, v. 56, n. 1, p. 45–61, jul. 2016.
- PINCEBOURDE, S.; SALLE, A. On the importance of getting fine-scale temperature records near any surface. **Global Change Biology**, v. 26, n. 11, p. 6025–6027, nov. 2020.
- PORTILLO-ESTRADA, M. et al. Climatic controls on leaf litter decomposition across European forests and grasslands revealed by reciprocal litter transplantation experiments. **Biogeosciences**, v. 13, n. 5, p. 1621–1633, 16 mar. 2016.
- PREGITZER, K. S.; KING, J. S. Effects of Soil Temperature on Nutrient Uptake. In: BASSIRIRAD, H. (Ed.). **Nutrient Acquisition by Plants**. Ecological Studies. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag. v. 181p. 277–310, 2005.
- PROBERT, R. J. The role of temperature in the regulation of seed dormancy and germination. In: FENNER, M. (ED.). **Seeds: the ecology of regeneration in plant communities**. 2nd ed ed. Oxon, UK; New York: CABI Pub.

p. 261-292, 2000.

PURI, S.; STEPHEN, H.; AHMAD, S. Relating TRMM precipitation radar land surface backscatter response to soil moisture in the Southern United States. **Journal of Hydrology**, v. 402, n. 1–2, p. 115–125, maio 2011.

QUEIROZ, M. G. et al. Spatial and temporal dynamics of soil moisture for surfaces with a change in land use in the semi-arid region of Brazil. **CATENA**, v. 188, p. 104457, maio 2020.

QUEIROZ, R. et al. EXTENDING THE LIMITS OF CAMPOS RUPESTRES IN BRAZIL. **Caminhos de Geografia**, v. 22, p. 115–137, 2 ago. 2021.

RAMOS, R. P. S.; SOUZA, B. I.; LUCENA, D. B. Application of the hierarchical process analysis technique to the development of methodology for mapping the distribution of Altitudinal Rain Forests in the Brazilian semiarid. **GEOGRAFIA ENSINO & PESQUISA**, v. 24, p. 1, 2021.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo. Manole. 524 p., 2004.

RIBEIRO, E. M. S.; ARROYO-RODRÍGUEZ, V.; SANTOS, B. A.; *et al.* Chronic anthropogenic disturbance drives the biological impoverishment of the Brazilian Caatinga vegetation. **Journal of Applied Ecology**, v. 52, n. 3, p. 611–620, 2015.

SALAZAR, L. F.; NOBRE, Carlos A.; OYAMA, Marcos D., Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America: Climate Change and biome distribution, **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 9, 2007.

SILVA, J. L. B. DA et al. Changes in the water resources, soil use and spatial dynamics of Caatinga vegetation cover over semiarid region of the Brazilian Northeast. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 20, p. 100372, 1 nov. 2020.

SILVA, J. M. C. DA et al. (EDS.). **Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para conservação**. Brasília, DF: [Recife, Brazil]: Ministério do Meio Ambiente; Universidade Federal de Pernambuco: Fundo de Apoio ao Desenvolvimento da UFPE: Conservation International do Brasil: Fundação Biodiversitas: EMBRAPA Semi-Árido, 2004.

SILVA, J. M. C.; BARBOSA, L. C. F. Impact of human activities on the Caatinga. In: Silva, J. M. C.; Leal, I. R. & Tabarelli, M. **Caatinga: the largest Tropical Dry Forest region in South America**. Cham (SWI): Springer, p. 359 – 368, 2017.

SILVA, J. M. C.; BRBOSA, L. C. F.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. The Caatinga: Understanding the Challenges, *in*: SILVA, José Maria Cardoso da; LEAL, Inara R.; TABARELLI, Marcelo (Orgs.), **Caatinga**, Cham: Springer International Publishing, p. 3–19., 2017.

SILVA, P. C. G. DA et al. **Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos**. In: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (Ed.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010., 2010.

SLAVICH, E. et al. Topoclimate versus macroclimate: how does climate mapping methodology affect species distribution models and climate change projections? **Diversity and Distributions**, v. 20, n. 8, p. 952–963, ago. 2014.

SONG, Y. et al. Effects of vegetation height and density on soil temperature variations. **Chinese Science Bulletin**, v. 58, n. 8, p. 907–912, mar. 2013.

SOUZA, B. I. DE; ARTIGAS, R. C.; LIMA, E. R. V. DE. CAATINGA E DESERTIFICAÇÃO. **Mercator**

(Fortaleza), v. 14, p. 131–150, abr. 2015a.

SOUZA, B. I. DE; MACÊDO, M. L. A.; SILVA, G. J. F. TEMPERATURA DOS SOLOS E SUAS INFLUÊNCIAS NA REGENERAÇÃO NATURAL DA CAATINGA NOS CARIRIS VELHOS – PB. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 35, p. 261, 3 abr. 2016.

SOUZA, B. I.; MÂCEDO, M. L. A.; SILVA, G. J. F. Temperatura dos solos e suas influências na regeneração natural da caatinga nos cariris velhos – PB. **RA'EGA**, Curitiba, vol. 35, p. 261-287, dez. 2015b.

SOUZA, B. I.; SUERTEGARAY, D. M. A.; LIMA, E. R. V. Evolução da desertificação no Cariri paraibano a partir da análise das modificações na vegetação. **Geografia**, vol. 36, n. 1, p. 193–205, jan./abr. 2011.

SPARKS, D. L. **Environmental Soil Chemistry**. Elsevier Science & Technology Books, 2003.

TOPALOĞLU, R. H.; SERTEL, E.; MUSAOĞLU, N. ASSESSMENT OF CLASSIFICATION ACCURACIES OF SENTINEL-2 AND LANDSAT-8 DATA FOR LAND COVER / USE MAPPING. **ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. XLI-B8, p. 1055–1059, 24 jun. 2016.

Turner, B. L., & Meyer, W. B. Global land-use and land-cover change: An overview. In W. B. Meyer & B. L. Turner (Eds.), **Changes in land use and land cover: A global perspective**. Cambridge: Cambridge University Press. Cambridge University Press, 1994.

TWINE, T. E.; KUCHARIK, C. J.; FOLEY, J. A. Effects of Land Cover Change on the Energy and Water Balance of the Mississippi River Basin. **Journal of Hydrometeorology**, v. 5, n. 4, p. 640–655, 2004.

VERBURG, P. H. et al. From land cover change to land function dynamics: A major challenge to improve land characterization. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 3, p. 1327–1335, mar. 2009.

VERHEYEN, K.; GUNTENSPERGEN, G. R.; BIESBROUCK, B.; HERMY, M.. An integrated analysis of the effects of past land use on forest herb colonization at the landscape scale: Land use and forest herb colonization. **Journal of Ecology**, v. 91, n. 5, p. 731–742, out. 2003.

WILLIAMS, K. J. et al. Forests of East Australia: The 35th Biodiversity Hotspot. Em: ZACHOS, F. E.; HABEL, J. C. (Eds.). **Biodiversity Hotspots: Distribution and Protection of Conservation Priority Areas**. Berlin, Heidelberg: Springer, 2011. p. 295–310.

ZELLWEGGER, F. et al. Advances in Microclimate Ecology Arising from Remote Sensing. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 34, n. 4, p. 327–341, abr. 2019.

ZHU, K. et al. Limits to growth of forest biomass carbon sink under climate change. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, p. 2709, 13 jul. 2018.