



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
MESTRADO**

**RECURSOS HÍDRICOS LOCAIS E FATORES BIOFÍSICOS ENVOLVIDOS NA APA
DO CARIRI/PB**

PAULO SÉRGIO DE ARAÚJO FILHO

**JOÃO PESSOA - PB
2021**

PAULO SÉRGIO DE ARAÚJO FILHO

**RECURSOS HÍDRICOS LOCAIS E FATORES BIOFÍSICOS ENVOLVIDOS NA APA
DO CARIRI/PB**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos obrigatórios exigidos pelo referido programa para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Linha de pesquisa: Gestão do território e Análise Geoambiental.

Orientador: Prof. Dr. Bartolomeu Israel de Souza.

**JOÃO PESSOA – PB
2021**

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

A663r Araújo Filho, Paulo Sérgio de.

Recursos hídricos locais e fatores biofísicos
envolvidos na APA do Cariri/PB / Paulo Sérgio de Araújo
Filho. - João Pessoa, 2021.
79 f. : il.

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

1. Semiárido. 2. Hidrologia. 3. Lajedos. 4. Minibiomas.
5. Florestas Tropicais Sazonalmente Secas. I. Souza,
Bartolomeu Israel de. II. Título.

UFPB/BC

CDU 551.585(043)



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Ciências Exatas e da Natureza
Programa de Pós-Graduação em Geografia

ATA DA SESSÃO PÚBLICA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE Mestrado DO ALUNO PAULO SÉRGIO DE ARAÚJO FILHO, CANDIDATO AO TÍTULO DE MESTRE EM GEOGRAFIA, NA ÁREA DE TERRITÓRIO TRABALHO E AMBIENTE.

1 Aos 31 (trinta e um) dias do mês de maio de dois mil e vinte e um, às 15:00
2 (quinze) horas, por meio virtual, reuniram-se em caráter de solenidade pública, os
3 membros da comissão designada para avaliar **Paulo Sérgio de Araújo Filho**,
4 candidato ao grau de mestre em Geografia, na área de Território, Trabalho e
5 Ambiente. Foram componentes da banca examinadora, os professores Bartolomeu
6 Israel de Souza (orientador) - Doutor em Geografia; Camila Cunico (examinadora
7 interna) - Doutora em Geografia e Lucas Costa de Souza Cavalcanti (examinador
8 externo) - Doutor em Geografia, sendo o primeiro e a segunda integrantes do corpo
9 docente da UFPB e o terceiro integrante do corpo docente da Universidade Federal de
10 Pernambuco - UFPE. Dando início aos trabalhos, o Presidente da banca, Prof.
11 Bartolomeu Israel de Souza, após declarar os objetivos da reunião, apresentou o
12 candidato Paulo Sérgio de Araújo Filho, a quem concedeu a palavra para que
13 dissertasse, oral e sucintamente, sobre o tema apresentado, intitulado: "**Recursos**
14 **Hídricos Locais e Fatores Biofísicos Envolvidos na APA do Cariri/PB**".
15 Após discorrer sobre o referido tema, o candidato foi arguido pelos examinadores, na
16 forma regimental. Ato contínuo, passou a comissão em caráter secreto, a proceder a
17 avaliação e julgamento do trabalho, concluindo por atribuir-lhe o conceito
18 **Aprovado**. Face a aprovação, declarou o Presidente achar-se o avaliado, legalmente
19 habilitado a receber o Grau de mestre em Geografia, cabendo a Universidade Federal
20 da Paraíba, providências como de direito, à expedição do Diploma a que o mesmo fez
21 jus. Nada mais havendo a tratar, eu, Sônia Maria do Nascimento, na qualidade de
22 secretária, lavrei a Ata, que submeto a aprovação da Comissão Examinadora.

23
24
25
26

Sônia Maria do Nascimento
Secretária

Bartolomeu Israel de Souza

27
28
29
30
31
32

Prof. Dr. Bartolomeu Israel de Souza
Orientador

Camila Cunico
Prof.ª Dr.ª Camila Cunico
Examinadora interna

33
34
35

Lucas Costa de Souza Cavalcanti
Prof. Dr. Lucas Costa de Souza Cavalcanti
Examinador externo

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, eu gostaria de agradecer a Deus por me permitir ir tão longe, nas vezes que eu duvidei, foste um farol de confiança e fé para mim, me sustentando e me dando forças para não deixar de sonhar “Ele escolheu você, olha para trás e vê, tudo mudou, alguém te salvou, seu nome é Jesus”.

Em seguida aos meus pais, que como diria Isaac Newton, eu vi mais longe por estar nos ombros de gigantes, e eles são os meus gigantes, eles sonharam o meu sonho, me deram suporte para que eu pudesse estudar com tranquilidade e todo fruto desse resultado eu devo a eles, eles são os melhores pais do mundo inteiro e no final, todo choro vai se tornar risos de felicidade.

Tão importante quanto, são meus avós, em especial meu falecido avô paterno, que sempre me incentivou a estudar e conhecer os mistérios do mundo, me fazendo perguntas curiosas que me faziam querer saber a resposta para contar a ele. Ele também viajou muito e suas histórias de viagem me encantavam, obrigado por tudo meu vô, meu amor pela Geografia vem de ti, sinto muito sua falta.

Quero agradecer também a Bartô, o meu incrível orientador, que além da relação de professor e aluno, ele se tornou um grande amigo! Sua relação com a Geografia, seu amor pelo Cariri e o seu cuidado com seus alunos e com as pessoas que lhe rodeiam é algo que eu vou guardar para sempre em meu coração. Me estendo também a todos os professores que contribuíram para a minha formação, destacando os que participaram da minha banca, aos quais nutro uma profunda admiração.

Ao meu grupo de estudos o LAESA, pelos debates que serviram para o meu crescimento como pesquisador e pelas ajudas em campo, pelos momentos compartilhados e pelo imenso aprendizado mútuo, bem como as pessoas que me receberam durante esses dois anos de mestrado, em todas as viagens que fiz ao Cariri. Me sinto um pouco caririzeiro depois de tudo e vou sentir muitas saudades de vivenciar momentos nesse lugar tão lindo e importante.

Por fim, eu não poderia deixar de citar meus amigos e familiares, que me fizeram companhia nessa longa caminhada, fazendo com que ela fosse muito mais feliz e divertida. Um grande obrigado a todos, que permaneceram durante as tempestades, sendo um poderoso alívio, meu coração tem um lugar para cada um.

“Tornamos nosso mundo significativo pela coragem de nossas perguntas e pela profundidade de nossas respostas. ”

(COSMOS - Carl Sagan)

RESUMO

A pesquisa foi desenvolvida na Área de Preservação Ambiental do Cariri, localizada no espaço rural dos municípios de Cabaceiras, Boa Vista e São João do Cariri, na região do Cariri paraibano, onde o clima seco, a escassez hídrica e a pronunciada sazonalidade na distribuição de chuvas, se fazem presentes como parte da estrutura dos ambientes existentes, fazendo com que essa região seja considerada a mais seca do país. Com o objetivo de identificar como os fatores biofísicos influenciam a disponibilidade de água nesta área, a pesquisa foi embasada na utilização do sensoriamento remoto para aplicação de índices espectrais como instrumentos metodológicos. A partir dos dados dos satélites *Sentinel-2* e *ALOS*, foram empregados procedimentos técnicos em *Software GIS* e gerado mapas temáticos para os anos de 2016 a 2020, que representam o Índice de Vegetação Ajustada ao Solo (SAVI), o Índice de Área Foliar (IAF), a temperatura do solo, o Índice Topográfico de Umidade (TWI) e a Declividade, para que, com a intersecção desses dados, seja possível analisar o potencial de umidade para cada *pixel* em toda a área de estudo. Para evitar a ocorrência de interpretações equivocadas do resultado, os dados finais foram validados estatisticamente, em ambiente R e por meio de atividades de campo, com a aplicação da metodologia adaptada de Cavalcanti (2014), que se mostraram fundamentais para identificar o quanto os dados produzidos foram representativos da realidade. Como resultado geral, a aplicação da metodologia permitiu identificar e analisar onde a confluência da topografia com a vegetação, os solos e a atmosfera de maneira sistêmica, geraram microcondições de umidade, que se mantiveram estáveis por todo o período de tempo estudado.

Palavras-chave: Semiárido; Hidrologia; Lajedos; Minibiomas; Florestas Tropicais Sazonalmente Secas.

ABSTRACT

The research was developed in the Cariri Environmental Preservation Area, located in the rural areas of the cities of Cabaceiras, Boa Vista and São João do Cariri, in the Cariri region of Paraíba, where the dry climate, water privation and the pronounced seasonality in the distribution of rains are present as a part of the structure of existing environments, making this region considered the driest in the whole country. In order to identify how the biophysical factors influence the availability of water in this area, the research was based on the use of remote sensing for the application of spectral indices as methodological instruments. Based on data from the Sentinel-2 and ALOS satellites, technical procedures were used in GIS software and thematic maps were generated for the years 2016 to 2020, which represent the Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI), the Leaf Area Index (LAI), soil temperature, Topographic Wetness Index (TWI) and Declivity, so that, with the intersection of these data, it is possible to analyze the moisture potential for each pixel in the entire study area. To avoid the occurrence of misinterpretations of the result, the final data were validated statistically, in an R environment and through field activities, with the application of the methodology adapted from Cavalcanti (2014), which proved to be fundamental to identify how much the data produced were representative of reality. A general result is the application of the methodology allowed to identify and analyze where the confluence of the topography with the vegetation, the soils and the atmosphere in a systemic approach, generated micro-conditions of humidity, which remained stable for the entire period of time studied.

Keywords: Semiarid; Hydrology; Lajedos; Micro-conditions; Seasonal Tropical Dry Forest.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 JUSTIFICATIVA.....	4
1.2 OBJETIVOS.....	5
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	6
2.1 FLORESTAS TROPICAIS SAZONALMENTE SECAS (FTSS).....	10
2.2 MINIBIOMAS.....	14
2.3 SENSORIAMENTO REMOTO E ÍNDICES ESPECTRAIS.....	15
2.4 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO.....	17
2.4.1.1 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO AJUSTADA AO SOLO (SAVI).....	18
2.4.1.2 ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF).....	18
2.4.2 BALANÇO DE ENERGIA E ALGORITMO SAFER.....	19
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	21
3.2 METODOLOGIA.....	24
3.2.1 PARÂMETROS BIOFÍSICOS.....	28
3.2.1.1 SAVI.....	28
3.2.1.2 IAF.....	29
3.2.1.3 ALGORITMO SAFER – TEMPERATURA DO SOLO.....	30
3.2.2 PARÂMETROS TOPOGRÁFICOS.....	31
3.2.2.1 ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE UMIDADE (TWI).....	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
4.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS PARÂMETROS BIOFÍSICOS.....	32
4.2 ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO E SUA CORRELAÇÃO COM OS PARÂMETROS BIOFÍSICOS.....	35
4.3 ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DOS PARÂMETROS BIOFÍSICOS.....	37
4.4 HETEROGENEIDADE ESTRUTURAL E FLORÍSTICA DOS MINIBIOMAS EM ÁREAS DE CAATINGA.....	45
5. CONCLUSÕES GERAIS.....	60
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização geográfica da APA do Cariri, onde o estudo foi desenvolvido.	21
Figura 2: Fluxograma detalhando a metodologia utilizada na pesquisa.	25
Figura 3: Mapa do Modelo Digital de Elevação (MDE) sobreposto ao sombreamento do próprio relevo, para a APA do Cariri.	38
Figura 4: Representação cartográfica em prancha do índice SAVI da APA do Cariri, para todos os anos definidos na escala de tempo do estudo.	39
Figura 5: Representação cartográfica em prancha do índice IAF da APA do Cariri, para todos os anos definidos na escala de tempo do estudo.	41
Figura 6: Representação cartográfica em prancha da temperatura do solo em Celsius para a APA do Cariri, em todos os anos definidos na escala de tempo do estudo.	44
Figura 7: Mapa das Microcondições de umidade espacializadas sobre o sombreamento do relevo, para toda a extensão da APA do Cariri.	46
Figura 8: Área extremamente pedregosa, localizada na Serra do Caruá.	49
Figura 9: Solo com maior presença de matéria orgânica, ocasionada pela serrapilheira decomposta.	49
Figura 10: Terraço Fluvial tomado por Algarobas (<i>Prosopis juliflora</i> (sw) D.C.)	50
Figura 11: Mapa do índice topográfico de umidade para a APA do Cariri.	52
Figura 12: Mapa de Declividade, classificado pela porcentagem de inclinação do relevo.	53
Figura 13: A formação de Líquens, incrustados em uma rocha.	55
Figura 14: Mosaico da vegetação densa e arbórea encontrada nos pontos 3, 4, 5 e 6, respectivamente.	56
Figura 15: Vegetação densa e preservada em contraste com o padrão xérico da Caatinga típica.	57
Figura 16: Alta disponibilidade de matéria orgânica em forma de serapilheira, disponibilizada pela vegetação densa presente no local.	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Metodologia adaptada de Cavalcanti (2014) utilizada durante o campo.	27
Tabela 2: Associação entre os índices espectrais, através das correlações de <i>Pearson</i>	34
Tabela 3: Precipitações organizadas em intervalos de tempo para cada imagem utilizada. ...	36
Tabela 4: Quadro síntese dos resultados, referente a aplicação da metodologia adaptada de Cavalcanti (2014).	47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Representação em um gráfico dos valores máximos, mínimos e medianos do Índice de Área Foliar (IAF) para todos os anos.....	32
Gráfico 2: Representação em um gráfico dos valores máximos, mínimos e medianos do Índice de vegetação ajustada ao solo (SAVI) para todos os anos.	33
Gráfico 3: Representação em um gráfico dos valores máximos, mínimos e medianos da temperatura do solo expressos em celsius, para todos os anos.....	34
Gráfico 4: Precipitação referente ao mês de dezembro, na escala de tempo definida para o estudo, em comparação com a média histórica para o mês.	35
Gráfico 5: Comparativo das médias das precipitações anuais em relação à média histórica para a área de estudo.....	36
Gráfico 6: Comparativo entre o SAVI e o IAF em extensão (Km ²) das áreas de maior valor e sua variação durante o decorrer do tempo de estudo.....	42

1. INTRODUÇÃO

A água é um bem essencial à vida, que inicia seu ciclo hidrológico a partir das precipitações e o cumpre retornando à atmosfera por meio da evaporação de corpos de água e transpiração dos vegetais. Todavia, este bem é um recurso natural escasso, onde os componentes deste ciclo hidrológico, se distribuem de forma desuniforme entre as diversas regiões do planeta em termos quantitativos e qualitativos (INSA, 2011).

Dentre as regiões submetidas aos cenários de escassez de água, se destacam as terras secas, que compreendem as regiões áridas e semiáridas. Algumas projeções apontam que estas estão expostas a sérios riscos e vulnerabilidades, pois a disponibilidade de água nas terras secas, já é, em média, um terço abaixo do limiar para o bem-estar humano mínimo e o seu desenvolvimento sustentável, e tende a diminuir ainda mais devido as mudanças climáticas e uso da terra (SAFRIEL et al., 2005). Conseqüentemente, as incertezas associadas à disponibilidade de água em um futuro próximo, para os mais diversos usos, são elevadas.

Nas terras secas, os ecossistemas que ali estão inseridos, têm a taxa de precipitação anual muito baixa e a evapotranspiração potencial anual média é alta, tornando-os vulneráveis as mudanças no uso da terra, degradação e sobretudo aos impactos das mudanças climáticas. As Florestas Tropicais Sazonalmente Secas são um dos tipos de ecossistemas que estão em áreas secas e tem sua distribuição ampla e fragmentada, estando localizadas principalmente na América Latina e no Caribe. As florestas tropicais são provavelmente o tipo de vegetação mais comumente associado a América do Sul, devido ao fato da maior parte dela estar sob o clima tropical e subtropical. Mas mesmo em áreas tropicais, encontramos uma gama diversificada de condições climáticas, como é o caso das Florestas Tropicais Sazonalmente Secas (LINNARES-PALLOMINO et al., 2011).

As Florestas Tropicais Sazonalmente Secas se caracterizam por apresentar altas temperaturas e precipitação anual inferior a 1.600 mm. A irregularidade temporal e espacial das chuvas é tão pronunciada que se constitui fator tão relevante quanto os totais pluviométricos. Esse ecossistema é detentor de qualidades paisagísticas dentro de padrões concebidos como adversos, bem como, foram historicamente degradadas, restando hoje menos de 10% de sua extensão original em muitos países. (MORO et al., 2015).

Uma das maiores áreas de Florestas Tropicais Sazonalmente Secas de clima semiárido do mundo, é o Domínio Fitogeográfico da Caatinga. A Caatinga é o único bioma

exclusivamente brasileiro, contando com uma extensão superior a 800.000 km² e compreende grande parte da região Nordeste do Brasil (IBGE, 2004).

Este bioma possui uma grande diversidade de ambientes, propiciando uma rica biodiversidade, o que acarreta na ocorrência de muitas espécies endêmicas de alto valor para a conservação. Em função disto, alguns autores preferem o termo no plural "Caatingas", ao se referirem ao conjunto formado por seus ecossistemas (SOUZA, 2008). Esta grande variabilidade espacial na composição e no arranjo da sua vegetação, se dá a nível local nos chamados Minibiomas em função de diversos fatores ambientais, onde as características geomorfológicas, edáficas e climáticas são determinantes para a sua densidade e composição florística (CAVALCANTI, 2014), o que vem despertando o interesse dos pesquisadores, que pouca atenção tem dado a este bioma quando comparado com a floresta tropical úmida.

No caso das Unidades de Conservação ou Áreas Protegidas, estes são locais que resguardam valor natural e/ou cultural, sendo fundamentais para as estratégias nacionais e internacionais de conservação de biomas. As áreas protegidas assumem um papel cada vez mais importante, como indicadoras das condições dos ecossistemas e suas funções tanto do ponto de vista micro como macro, sendo cada vez mais reconhecidas como provedoras essenciais dos serviços ecológicos e mantenedora dos recursos biológicos, portanto, o monitoramento das alterações ocorridas em seus domínios e nas áreas adjacentes, gera informações capazes de mitigar ou minimizar os impactos negativos das ameaças externas sobre seus recursos (MACHADO, 2014).

Nossa área de estudo está localizada na Área de Preservação Ambiental (APA) do Cariri, inserida dentro do que se conhece por diagonal mais seca do Brasil, onde é comum em determinados setores, como este, o registro pluviométrico médio anual inferior a 300 mm (SOUZA, 2008). A APA está exposta a temperaturas médias bastante elevadas (cerca de 27°C) e o seu déficit hídrico é acentuado. Os recursos hídricos subterrâneos também são escassos, pois essa região está localizada sobre formações do tipo cristalino.

Apesar dessas generalizações em escala macro, no interior do domínio da APA do Cariri é possível encontrar diferentes arranjos do bioma Caatinga, a exemplo da Caatinga Arbórea Densa com uma fitofisionomia que contrasta com a Caatinga mais antropizada, apresentando distintas formas de acordo com as modificações do relevo e do solo, abrigando ainda enclaves de outros tipos de Biomas, como o Cerrado, a Mata Atlântica e a Floresta Amazônica,

estabelecendo-se como uma espécie de pequenas zonas ecotonais, para as quais ainda existem poucas informações científicas.

A vegetação se mostra como um elemento chave na dinâmica hidrológica, por necessitar de água para sua sobrevivência, logo, a distribuição, composição e estrutura das comunidades vegetais são influenciadas pelos padrões espaço temporais da disponibilidade de água (ASBJORNSEN et al. 2011). Esta relação influencia o desenvolvimento dos solos que estão diretamente ligados à manutenção da vegetação e do aporte de água (BRESHEARS e BARNES, 1999). Estes padrões que se formam com base na contribuição hidrológica, gerando solos mais desenvolvidos e permitindo a presença de vegetações normalmente associadas ao clima úmido, o que faz com que essas áreas sejam identificadas como pequenos refúgios, chamados de Minibiomas, onde atuam em um sistema de condição microclimática que lhes é particular.

A geomorfologia da paisagem é outro aspecto importante para se levar em consideração. Nesse caso, os afloramentos rochosos presentes na área de estudo, compreendem um tipo de formação geomorfológica típica do semiárido brasileiro. No estudo foi constatado que essas áreas têm um papel fundamental no que tange o aporte de água, desenvolvendo diversos ambientes específicos com características próprias (LUNGUINHO, 2018).

Do ponto de vista metodológico, o desenvolvimento das ciências e tecnologias que dão suporte ao sensoriamento remoto tem propiciado e contribuído para a compreensão e manejo das áreas de maior potencial de umidade, encontradas nas áreas de Caatinga preservada, apresentando vantagens únicas, a partir de perspectivas espaciais (elevada resolução espacial e elevada cobertura espacial) em diferentes frequências temporais (observações diárias, semanais, mensais e anuais), com diferentes propriedades espectrais (luz visível, infravermelho próximo, micro-ondas) (WANG, 2012). A combinação do uso do sensoriamento remoto, com estudos de campo, criou oportunidades para atender às necessidades de monitoramento dessas áreas (FANCY et al., 2009).

Esses estudos são de fundamental importância em análises quantitativas e qualitativas de numerosos processos físicos e biológicos relativos à dinâmica da paisagem estudada (CHEN et al., 2002) e podem subsidiar o diagnóstico de alterações na superfície terrestre, para o monitoramento das condições de vegetação e variáveis bioclimáticas, decorrentes de causas naturais ou antrópicas, fornecendo assim estimativas uniformes e dados contínuos de alta frequência espaço-temporal (ROBINOVE et al., 1981). Essas informações são importantes para melhorar o entendimento das interações humanas com o ambiente e, para prover fundamentos

científicos para a sustentabilidade, vulnerabilidade e resiliência dos sistemas terrestres e de suas funções.

1.1 JUSTIFICATIVA

O domínio morfoclimático semiárido em que a Caatinga se encontra inserida tem sua história alicerçada por eventos severos de secas e cheias, que derivam dos ciclos de fortes estiagens e enchentes, que costumam atingir a região em intervalos que vão de poucos anos até décadas. Isso evidencia ainda mais que a escassez hídrica e a pronunciada sazonalidade da distribuição de chuvas, são características que marcam a região semiárida brasileira. Desta forma, a ocorrência da água e sua apropriação pela sociedade (transformando-a em recursos hídricos) são centrais para o entendimento da dinâmica da natureza e da sociedade desta região. Esse conhecimento é fundamental para que se possa garantir a qualidade de vida para a sociedade dessa região.

Por esses motivos os ecossistemas de zonas semiáridas são considerados particularmente frágeis e são locais onde a população humana está crescendo rapidamente, onde segundo Patriarca et. al. (2019) 30% de toda população da América do Sul estão nessas áreas, mesmo com suas características bastante severas para o desenvolvimento da vida humana, apresentando baixa produtividade biológica e níveis de pobreza elevados (AVALIAÇÃO ECOSSISTÊMICA DO MILÊNIO, 2005).

Para gerenciar os recursos hídricos tão escassos, primeiramente é fundamental entendê-los, pois qualquer alteração na dinâmica hidrológica local potencializa os impactos na paisagem (SOUZA, 2014). A preservação dos mananciais é fundamental e se correlaciona diretamente para com a manutenção do ecossistema. As discussões pertinentes aos recursos hídricos no semiárido perpassam por reflexões ligadas a como manter a estrutura hídrica diante de chuvas irregulares (JEMMA, 1993; IBESA, 2004; RODRIGUES et al. 2013).

Do ponto de vista técnico, a aplicação de índices de vegetação associados a temperatura do solo e variáveis topográficas como instrumentos metodológicos da pesquisa, almejam responder esse questionamento, principalmente frente à constatação de que os processos que ocorrem na bacia hidrográfica repercutem tanto nos recursos hídricos superficiais como nos subsuperficiais e/ou subterrâneos. De maneira sistêmica a combinação entre condições

climáticas, cobertura vegetal, composição edáfica embasamento geológico, geomorfologia e ação antrópica se mostram como fatores decisivos para uma maior ou menor vulnerabilidade hídrica (PAULA et al. 2018).

Esse estudo visa ir além da compreensão superficial da entrada da água no sistema, por meio da pluviosidade, podendo fornecer as informações necessárias em termos quantitativos e qualitativos de como a água após entrar no sistema se distribui e interage com outros elementos dentro de uma perspectiva em microescala.

Diante do exposto, a influência das características em microescala sobre a presença de água no ambiente é o que vai nortear a pesquisa, analisando se existe relação entre os parâmetros biofísicos e a riqueza e estrutura da comunidade vegetal.

1.2 OBJETIVOS

- **OBJETIVO GERAL**

- Identificar como os fatores biofísicos influenciam a disponibilidade de água na APA do Cariri/PB.

- **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Distinguir as áreas com os maiores e menores índices climáticos e de cobertura do solo.

- Correlacionar as variáveis climáticas com a cobertura do solo, a fim de identificar a sua relação de interdependência.

- Entender como os Minibiotomas se destacam numa escala local em relação a Caatinga típica.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Na busca pela interpretação e explicação da complexidade que envolve a organização de um sistema espacial, segundo as interações entre os atributos formadores que lhes confere caráter dinâmico e não-linear que se processam em seu interior, se emprega o pensamento sistêmico nos estudos geográficos (VICENTE e PEREZ FILHO, 2003).

A Teoria Geral dos Sistemas (TGS) foi apresentada em caráter inaugural no seminário filosófico em Chicago no ano de 1937 pelo biólogo Ludwig von Bertalanffy. O autor sedimenta a concepção sistêmica salientando que:

É necessário estudar não somente partes e processos isoladamente, mas também resolver os decisivos problemas encontrados na organização e na ordem que os unifica, resultante da interação dinâmica das partes, tornando o comportamento das partes diferentes quando estudado isoladamente e quando tratado no todo (BERTALANFFY, 1973, p. 53 apud MARQUES NETO, 2008, p.70).

Alicerçado na formulação supracitada, Ludwig von Bertalanffy mostra sensibilidade em relação ao esgotamento e às limitações dos esquemas metodológicos da ciência clássica, entendendo a necessidade do estudo integrado dos fenômenos em detrimento de uma óptica separativa e reducionista.

A interpretação integrada da natureza exige visões mais abrangentes que escapam da óptica reducionista; o todo deve ser considerado como sendo algo mais que a simples soma das partes, e a fragmentação do objeto implica num obscurecimento das relações de interdependência entre as partes de um todo, e que constituem a realidade principal (BRANCO,1989).

A partir das concepções de Bertalanffy, portanto, vários avanços acompanhados de críticas foram realizados no estudo dos sistemas, entre os quais destacamos aqueles levados a efeito pelas discussões de Edgard Morin acerca da estrutura e complexidade dos sistemas e da abordagem sistêmica como método de interpretação conjunta da realidade (MARQUES NETO, 2008).

As considerações feitas por Edgard Morin indicam uma preocupação de sua parte em avançar as bases teóricas da abordagem sistêmica. Portanto, ele conceitua de forma geral, um sistema como “uma inter-relação de elementos que constituem uma entidade ou unidade global” (MORIN, 1977, p.99). Prosseguindo com a ressalva para o fato de que não basta associar inter-

relação e totalidade, sendo preciso ligar os dois elementos por intermédio da ideia de organização (MORIN, 1977; MARQUES NETO, 2008).

O termo “organização” constitui palavra-chave para o entendimento do esquema teórico que Edgard Morin concebe dentro da Teoria dos Sistemas. Para ele, um sistema possui uma dinâmica calcada em manifestações recíprocas de ordem e desordem atuando conjuntamente no processo de organização do sistema, processo este que tem a interação como elemento viabilizador de seu funcionamento (MARQUES NETO, 2008).

Os sistemas devem ter suas partes componentes, denominadas unidades ou elementos, as quais devem encontrar-se inter-relacionadas, dependentes umas das outras, através de ligações que realçam os fluxos (CHRISTOFOLETTI, 1979). É necessário que haja interações, cuja ocorrência depende dos encontros gerados por manifestações de desordem (agitação, turbulência). Em um sistema complexo, ordem/desordem/interações/organização são eventos que estruturam a dinâmica existente, na qual cada um destes termos não pode ser concebido isoladamente aos outros (CHRISTOFOLETTI, 1979).

A extensa maioria dos sistemas que interessam ao estudo geográfico não atuam de modo isolado, mas funcionam dentro de um contexto e fazem parte de um universo maior. Esse conjunto maior, no qual se encontram inseridos os sistemas que se está estudando, pode ser denominado de universo, o qual compreende o conjunto de todos os fenômenos e eventos que, através de suas mudanças e dinamismo, apresentam repercussões no sistema focalizado, e também de todos os fenômenos e eventos que sofrem alterações e mudanças por causa do comportamento do referido sistema particular. (CHRISTOFOLETTI, 1979).

Todo o processo de compreensão do sistema a ser estudado parte do princípio de definição do mesmo, pois ao definir os seus elementos e as suas relações, é mais fácil delimitá-lo no espaço e no tempo, diferenciar suas unidades componentes, interligadas pelas relações internas e estabelecer os sistemas ambientais controlantes que atuam sobre o sistema escolhido através das relações externas. A identificação desses limiares é difícil de ser feita, principalmente porque a medida que decresce a escala do nível de análise, aumenta-se o número de sistemas que se pode citar em cada nível e os limiares são cada vez mais arbitrários. A cada relação individualizada entre os sistemas, inúmeras são as variáveis passíveis de mensuração que expressam atributos relevantes para o estudo (VALE, 2012). Para a análise geográfica, o critério funcional e o da complexidade estrutural são os mais importantes (VICENTE e PEREZ FILHO, 2003).

A aplicação e o aprimoramento dos estudos sistêmicos somando-se aos conceitos próprios das geociências, auxiliaram a Geografia a transcender as limitações do método cartesiano em busca de uma nova epistemologia. A partir disso diversos autores de diferentes áreas se utilizaram desse conceito em seus trabalhos, assumindo uma necessidade latente de sistematização e visão holística do objeto de estudo (VICENTE e PEREZ FILHO, 2003).

O conceito de paisagem assume essa função, frente ao entendimento deste como uma formação espaço-temporal sistêmica, que conta com diversos processos atuantes, permitindo a análise e diagnóstico das condições atuais e pretéritas da área de estudo, bem como das suas transformações decorrentes da evolução natural e das intervenções humanas (BASTOS e CORDEIRO, 2012).

A ciência geográfica apresenta uma grande complexidade no tange aos seus objetos de estudos nas suas mais diversas áreas de atuação. Conceitos básicos como espaço, região, lugar e paisagem sempre têm sido focos de análise por parte dos geógrafos, mas de maneira geral, pode-se afirmar que a paisagem sempre teve uma relação muito mais forte com a Geografia física (BASTOS e CORDEIRO, 2012).

Nesse sentido, surge o conceito de Geossistema, onde a perspectiva de análise integrada do sistema ambiental converge para a perspectiva da abordagem sistêmica da Teoria Geral do Sistema. Esse conceito foi criado pelo geógrafo russo Vitor Sotchava, na década de 1960, influenciado por geógrafos como Grigoriev, Issatchenko, dentre outros. Seu objetivo era elaborar um método para estudar a espacialidade dos fenômenos geográficos nas planícies soviéticas e isso só foi possível a partir do aprofundamento dos estudos da paisagem. Focando principalmente nas noções de homogêneo e diferenciado, como princípios fundamentais à classificação do Geossistema (VALE, 2012).

Dentre as diversas definições de paisagem, pode-se destacar a de Bertrand (1969), que entende também a paisagem como uma formação espaço-temporal sistêmica e afirma que a paisagem é o resultado da interação dialética existente entre os fatores naturais e a ação antrópica. Para Bertrand (1972):

A paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, numa determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução. (BERTRAND, 1972, p.2 apud MARQUES NETO, 2008, p.77).

No contexto de ambientes secos os estudos hidrológicos ganham ênfase ao estabelecer análises da dinâmica hídrica e suas relações com a paisagem (BIRKELAND, 1984; THOMAS, 1989). É importante destacar que a área de análise do presente texto encontra-se delimitada em função de critérios climáticos, tendo em vista a singularidade geoambiental da região semiárida do Brasil. Para se compreender os processos naturais de formação das paisagens nesta região é imprescindível que se entenda primeiramente a influência exercida pelos componentes ambientais que são de ordem geológica, hidroclimática, geomorfológica, pedológica e fitogeográfica (BASTOS e CORDEIRO, 2012).

Os aspectos hidroclimáticos são os responsáveis diretos pelos mecanismos que condicionam a dinâmica natural e se refletem nas características relacionadas às elevadas temperaturas e às irregularidades pluviométricas, nos processos e formas geomorfológicas, no regime dos rios e, portanto, na disponibilidade dos recursos hídricos, na formação e espessura dos solos e na distribuição e padrão da cobertura vegetal, dentre outras (ZANELLA, 2007).

As discussões que orientam os processos que regem este comportamento são esclarecidas no conceito de sistemas complexos. Os sistemas complexos atribuem ao comportamento coletivo à reorganização das propriedades que fazem parte deste sistema (NUSSENZVEIG, 1999).

A dinâmica da água de um sistema pode ser estudada a partir do balanço hídrico, que consiste na contabilização dos componentes de entrada e saída de água num volume de solo durante determinado intervalo de tempo. O balanço hídrico contempla todos os processos de retenção e condução de água no sistema solo-planta-atmosfera (SILVA et al., 2014). Entre os componentes do balanço hídrico o escoamento superficial, que é frequentemente desprezado em estudos de balanço hídrico, tem grande importância, sobretudo em regiões semiáridas nas quais normalmente ocorrem longos períodos de seca seguidos de curtos períodos chuvosos (SOUZA et al. 2015). É possível identificar que os impactos exercidos pelo clima têm impacto direto na dinâmica do transporte de sedimentos e conseqüentemente na formação do solo e manutenção da vegetação (FRANZ et al., 2012).

A vegetação em ambientes secos mantém sua sobrevivência através de estratégias adaptativas, devido à alta escassez de água. Uma das adaptações as quais favorece a vegetação está na adaptação a diferentes topografias (GUTIÉRREZ-JURADO e VIVONI, 2013).

A condução da água através das encostas influencia os aspectos erosivos e formações de depósitos de água e sedimentos, resultando nas interações dos fatores bióticos (flora e fauna),

abióticos (clima, rocha, solo e posição topográfica) e antrópicos (uso da terra) os quais geram condições locais microclimáticas de temperatura e umidade específicas. Estes aspectos podem ser refletidos no comportamento fisiológico das plantas (SVORAY e KARNIELI, 2011).

2.1 FLORESTAS TROPICAIS SAZONALMENTE SECAS (FTSS)

As Nações Unidas definiram a partir de estudos relacionados ao clima e a vegetação, que as terras secas cobrem 41% da superfície terrestre, ou cerca de 6,1 bilhões de hectares e que estão distribuídas por todos os continentes, em latitudes tropicais e temperadas. A África é o continente que conta com a maior área, aproximadamente 32% do total mundial, seguida pela Ásia, América do Norte, Oceania, América do Sul e Europa (PATRIARCA et al. 2019).

Por definição, as terras secas são as regiões do mundo em que a taxa de precipitação anual é muito baixa e a evapotranspiração potencial anual média é alta. O comportamento sistêmico em terras secas apresenta uma regulação pela água e pelo clima (MILES et al. 2006).

De acordo com o Atlas Mundial de Desertificação, as terras secas expandiram-se significativamente nos últimos 60 anos e continuam a crescer. Projeta-se que elas aumentem sua extensão de 10 a 23% até o final do século XXI, principalmente nas regiões áridas do sudoeste da América do Norte, na margem norte e sul da África e Austrália, enquanto as regiões semiáridas devem se expandir no norte do Mediterrâneo, África do Sul e América do Norte e do Sul (CHERLET et al., 2018; FENG e FU, 2013).

As Florestas Tropicais Sazonalmente Secas são um dos tipos de biomas que se desenvolvem em áreas secas, destacando o conceito de bioma por sua concepção mais ecológica e prática, conforme desenvolvido por Walter (1986) e adotado no presente trabalho, considera-se como bioma, uma área do espaço geográfico em que os principais elementos que caracterizam as diversas paisagens, a nível continental, são representados uniformemente, sendo identificados e classificados de acordo com o macroclima, a fitofisionomia, o solo e a altitude.

Sua distribuição ocorre de forma ampla e fragmentada se caracterizando por uma acentuada sazonalidade na distribuição das chuvas, resultando em vários meses de seca. As florestas que se desenvolvem sob tais condições climáticas compartilham espécies e gêneros em comum, variando em fisionomia e localização geográfica (LINNARES-PALLOMINO et

al., 2011). Estas são adaptadas à essa escassez de água, com espécies na sua maioria, caducifólias, espinhosas ou com folhas pequenas (MORO et al., 2016).

São provavelmente o tipo de vegetação mais comumente associado a América do Sul, devido ao fato da maior parte dela estar sob o clima tropical e subtropical, isso se exemplifica pelo fato de que as duas áreas mais extensas estão ambas localizadas na América do Sul, uma no nordeste do Brasil e outra no sudeste da Bolívia, Paraguai e norte da Argentina (LINNARES-PALLOMINO et al., 2011). Outras concentrações notáveis de TDF ocorrem na península de Yucatan, no México, no norte da Venezuela e na Colômbia, e na Indochina Central (Tailândia, Vietnã, Laos e Camboja) (PATRIARCA et al. 2019).

Na maioria das outras áreas onde ocorrem florestas secas, elas tendem a apresentar uma distribuição bastante dispersa ou fragmentada, essas concentrações difusas de florestas secas ocorrem ao longo da costa do Pacífico do México, leste da Índia e Sri Lanka, na cadeia de ilhas a leste de Java e no norte da Austrália. Na África, as FTSS são distribuídas em uma extensa área geográfica, mas em nenhum lugar formam grandes áreas contínuas. Os dois principais centros de distribuição estão localizados no oeste da Etiópia, sul do Sudão e República Centro-Africana e na Zâmbia, Zimbábue e Moçambique (PATRIARCA et al. 2019).

Esse mesmo padrão se reflete na análise da distribuição relativa desse tipo de floresta entre as diferentes regiões, o que indica que mais da metade (54,2%) das florestas secas restantes estão localizadas na América do Sul. A área restante de florestas secas é quase igualmente dividida entre América do Norte e Central (12,5%), África (13,1%) e Eurásia (16,4%), com uma proporção relativamente pequena ocorrendo na Australásia e no Sudeste Asiático (insular) (3,8%). A área total estimada das FTSS restante é de cerca de 1.048.700 km² (PATRIARCA et al. 2019).

As FTSS são um dos principais biomas mundiais, mesmo que conservando hoje menos de 10% de sua extensão original em muitos países. A sua degradação é alta até os dias atuais e foi acelerada pelo cultivo intensivo de culturas, como cana-de-açúcar, arroz e soja, ou pela conversão em pastagem para gado (MILES et al. 2006).

Anualmente esse bioma está exposto a déficits hídricos por um período de 3 a 6 meses, onde a precipitação é inferior a ~ 1800 mm por ano, recebendo em diversos locais, menos de 100 mm por mês (MORO, 2013). São vulneráveis a escassez de água, desertificação, mudança no uso da terra, degradação e os impactos das mudanças climáticas. Todavia, essa vulnerabilidade não corresponde diretamente a um ecossistema improdutivo e sem importância,

os resultados da avaliação feita pela FAO em 2019, demonstram que os ecossistemas em terras secas são paisagens produtivas com considerável potencial econômico e valor ambiental.

Uma das maiores áreas de Florestas Tropicais Sazonalmente Secas de clima semiáridas do mundo, com extensão superior a 800.000 km², é o Domínio Fitogeográfico da Caatinga, localizado a nordeste do continente da América do Sul. Um bioma que é exclusivamente brasileiro e está presente nos estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí, em uma pequena área do Maranhão e no norte de Minas Gerais (LEAL et al., 2003).

A Caatinga compreende um conjunto de diferentes tipos de ambiente, grupos florísticos e fisionomias. O principal tipo de vegetação da Florestas Tropicais Sazonalmente Secas de clima semiárido é a Caatinga *sensu stricto*, que ocorre nas extensas planícies cristalinas que dominam a região (MORO, 2013). Via de regra, suas características compreendem uma floresta arbórea ou arbustiva, com principalmente árvores e arbustos baixos, muitos dos quais apresentando espinhos e microfilia e algumas características xerofíticas, dando destaque a espécies pesquisadas das famílias das Fabaceae, Apocynaceae, Burseraceae, Euphorbiaceae, além de Leguminosae e Cactaceae (SOUZA, 2008; LEAL et al., 2003).

A Caatinga se destaca quanto a sua heterogeneidade, no tocante às formas em que se apresenta. Dependendo do regime de chuvas, do tipo de solo e relevo pode-se ter uma fitofisionomia bastante diferenciada (SOUZA, 2008).

Seu clima é semiárido, o que é incomum para uma região tropical, pois ocupa a mesma latitude dos domínios da Amazônia e da Mata Atlântica, as Florestas Tropicais Sazonalmente Secas de clima semiáridas recebe muito menos chuvas do que as regiões vizinhas (LINNARES-PALLOMINO et al., 2011). Sua sazonalidade acentuada é uma característica marcante, com a estação seca durando de 6 a 11 meses a cada ano e a maioria das áreas normalmente recebendo menos de 1.000 mm de precipitação anual nas zonas de transição para o cerrado, de altas altitudes ou nas faces de barlavento das montanhas na região com algumas áreas recebendo menos de 500 mm por ano nos locais mais secos (NIMER, 1989).

Além do impacto dos baixos volumes de chuva a região é exposta a forte radiação solar e a alta potencial evapotranspiração o que é comum se tratando de áreas secas. O volume de precipitação também varia muito de um ano para o outro, devido a essa forte sazonalidade, ou seja, em um ano pode haver eventos extremos seguidas por anos consecutivos de secas

(NASCIMENTO e ALVES, 2008). Assim, as comunidades vegetais devem estar preparadas para lidar com anos de abundância de recursos e anos com chuvas escassas.

No que se refere a pedologia da Caatinga, esta é muito diversa e um grande número de tipos de solo podem ser encontrados na região (SOUZA, 2008), com mudanças de um tipo de solo para outro geralmente ocorrendo a poucos metros (VELLOSO et al., 2002). Porém, de maneira geral esses solos são rasos, com baixa fertilidade natural, baixo teor de matéria orgânica, drenagem limitada, baixa capacidade de infiltração e de retenção de umidade e apresentam grande potencial para a erosão hídrica provocada principalmente pela ocorrência de chuvas de alta intensidade (SAMPAIO e GOMES, 1981). Geologicamente falando, o Domínio da Caatinga se apresenta como dois grandes ambientes geológicos. O primeiro e mais difundido é o ambiente cristalino e o segundo, os ambientes sedimentares (AB'SÁBER, 1974).

Os maciços cristalinos componentes do relevo do semiárido brasileiro são compostos por afloramentos rochosos denominados popularmente como lajedos. O termo afloramento é designado para rochas expostas na superfície terrestre e são o produto final da pedimentação, caracterizados por processos erosivos provenientes de condições climáticas diferente das atuais (BIGARELLA et al. 1994).

Lages et. al. (2013) destaca em seu estudo a formação de plútons ígneos que são grandes massas de rochas magmáticas cristalizada em profundidade, na crosta, e quando afloram constituem os batólitos que, de acordo com Bigarella et al. (1994) são provenientes de formações intrusivas discordantes onde a massa magmática foi empurrada de baixo para cima através de rochas sobrejacentes, sendo estas quebradas ou deslocadas de modo que o resultado é uma intrusão discordante.

As formações geomorfológicas que se encontram dentro dos limites da área deste estudo, contribuem para a compreensão da influência das encostas rochosas nos ambientes secos, as quais promovem aspectos microclimáticos de temperatura e umidade, indicando um papel fundamental na exportação de água e manutenção de enclaves arbóreos nas bases dos afloramentos rochosos (LUNGUINHO, 2018).

2.2 MINIBIOMAS

O regime de chuvas aliado as diferenças no ambiente como o tipo de solo, geologia e geomorfologia, são reconhecidos como fatores determinantes na estruturação das comunidades vegetais (PIRES, 2012). Assim, dentro de um amplo e heterogêneo domínio como a Caatinga, poderemos encontrar em microescala, diferentes comunidades vegetais, associadas a diferentes terrenos geológicos, tipos de ambiente e gradientes de precipitação (LEAL et al., 2003).

Essas variações em microescala são responsáveis pela formação dos Minibiomas, conforme entende Ab'Sáber (2006). O Minibioma envolve diferentes elementos componentes se sobrepondo, dentro do que Ab'Sáber (2006) considera como a menor unidade de paisagem, e estes devem ser avaliados conjuntamente através de um raciocínio sintético, onde clima, formas de relevo, litotipo, drenagem, vegetação, solos e uso da terra, tem relevante influência (CAVALCANTI, 2014).

Dessa forma todo domínio morfoclimático e fitogeográfico do país, como a Caatinga, podem apresentar, ao observarmos o mosaico de ambientes naturais presentes em seu interior com uma escala mais detalhada, um tipo de ecossistema absolutamente predominante, com enclaves ou redutos com características de outros sistemas ecológicos (AB'SÁBER, 2003).

Múltiplos Minibiomas pontilham diferentes subespaços na Caatinga (AB'SÁBER, 2006), onde certas espécies podem apresentar preferências por se instalarem em um ambiente mais úmido que o seu entorno (DE ARAÚJO, 2005). Existem comunidades vegetais de diferentes domínios climáticos que se encontram dispersas nesses ambientes de convivência com “Lajedos, paredes de pontões rochosos (inselbergs) e aquelas amarradas a faixas de areia de veredas, campos de dunas interiores e bordas semirrochosas de canyons (padrão Xingó).” (AB'SÁBER, 2006, p. 3).

Os Minibiomas enquanto menor unidade de paisagem, foram classificados por tipologia por Walter (1986), com base no fator condicionante para o seu desenvolvimento, para tanto, foi utilizada nomenclaturas que indicam quais são estes fatores e resumem de forma geral os aspectos dos Minibiomas estudados.

Sobre as rochas encontramos os Rupestrebiomas, ou seja, Minibiomas compostos por uma vegetação adaptada a conviver com lajedos, inselbergs e também em topografias ruiniforme. Nos solos arenosos temos os Psamobiomas, em áreas alagadas e de várzea os

Helobiomas, os Pedobiomas se encontram em áreas com tipos distintos de solo, refletindo numa vegetação atípica, por estarem associadas a um certo tipo de solo (WALTER, 1986).

Em ambientes montanhosos se desenvolvem um certo tipo de Minibioma, denominado como Orobioma e que pode ser subdividido em faixas altitudinais, apresentando consideráveis diferenças de acordo com a zona em que estes ocorrem (WALTER, 1986). Uma característica de todos os Orobiomas é a diminuição da temperatura média conforme o aumento da altitude. Os Minibiomas também foram classificados por Ab'Sáber (2003) conforme sua posição no relevo, e nessa classificação, foram intitulados como: Enclaves de brejos, por serem Minibiomas úmidos e florestados, com solos de boa fertilidade natural, porém frágeis, são estes os Brejo de cimeira ou de altitude, Brejo de encostas, Brejo de pé de serra e Brejo de vales úmidos (AB'SÁBER, 2003).

Walter (1986) traz em seu estudo o conceito de Biogeocenose, que faz frente ao conceito de Minibiomas, onde segundo ele é a menor unidade de um ecossistema. Correspondendo a uma comunidade de plantas com um certo nível de associação ecológica, essa associação se dá por uma origem em comum ou estão ligados uns aos outros por processos dinâmicos, os processos intermediários que envolvem a formação dessas associações como resultado de alterações graduais em um dos fatores do habitat, se chamam de complexos Biogeocenóticos.

Contudo, o autor não aprofunda a discussão sobre complexos Biogeocenóticos, pois, a área de um complexo Biogeocenótico pode variar consideravelmente e até o presente, não foi elaborada uma tipologia com uma nomenclatura própria que abarcasse os diferentes complexos, o que torna a discussão genérica segundo o autor, seguindo em busca de uma descrição de exemplos mais concretos.

2.3 SENSORIAMENTO REMOTO E ÍNDICES ESPECTRAIS

O sensoriamento remoto pode ser definido, de forma geral, como o método para se obter informações de um objeto ou alvo, sem que haja contato físico com ele (FLORENZANO, 2005). As informações são obtidas utilizando-se a radiação eletromagnética refletida e/ou emitida pelos alvos. Para tal, é necessária a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados e equipamentos de transmissão desses dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves ou outras plataformas (ROSA, 2005).

O objeto alvo vai refletir a radiação em cada comprimento de onda de forma que lhe é particular e de acordo com suas propriedades, formando uma curva singular no espectro eletromagnético denominada de assinatura espectral. Tais sensores podem captar por meio de suas bandas, tanto o espectro visível como também a radiação em outros comprimentos de onda, como o infravermelho, ultravioleta, e as micro-ondas (MACHADO, 2014).

As imagens obtidas através do sensoriamento remoto proporcionam uma visão multitemporal de extensas áreas da superfície terrestre. Esta visão sinóptica da paisagem possibilita estudos regionais e integrados, envolvendo vários campos do conhecimento (ROSA, 2005). Para minimizar a variabilidade causada por fatores externos ao foco do estudo, que interferem na assinatura obtida, se realiza operações matemáticas entre os valores numéricos que compõe os pixels das bandas das imagens captadas, onde a refletância espectral é transformada e combinada em vários índices (GALVÃO et al. 2001). Os Índices voltados ao estudo da vegetação são mais sensíveis ao diferenciar as informações relacionadas com parâmetros biofísicos da vegetação do que as bandas trabalhadas individualmente (EPIPHANIO et al., 1986).

Os satélites que obtêm as imagens que no futuro serão tratadas e trabalhadas pelo Sensoriamento Remoto, podem ser classificados em relação a seu posicionamento em órbita, como geoestacionário e não geoestacionário. Os geoestacionários têm um período de rotação igual ao do nosso planeta terra, ou seja, 24 horas, com isso a velocidade de rotação do satélite se iguala à da Terra e tudo se passa como se o satélite estivesse parado no espaço em relação a um observador na Terra. Logo, os não geoestacionários demoram mais de 24 horas para passar novamente sobre o mesmo ponto terrestre. O *Sentinel-2*, por exemplo, é não geoestacionário, e demora cinco dias para retornar a um mesmo ponto (ROSA, 2005).

As geotecnologias referentes ao Sensoriamento Remoto e aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) estão cada vez mais interligadas (AUGUSTO, 2016). Nas ciências Geográficas essas tecnologias têm uma vasta aplicação. Lang e Blaschke (2009), discorrem sobre esse tema em sua obra *Análise da Paisagem com SIG*, onde demonstram as contribuições do sensoriamento remoto e do geoprocessamento na observação, processamento, integração, análise e representação de paisagens, através da manipulação de diferentes dados temáticos georreferenciados em ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) (AUGUSTO, 2016).

Dentro da pluralidade de trabalhos referentes a aplicações de dados de sensoriamento remoto sobre o domínio fitogeográfico da Caatinga e os processos que a envolvem, verifica-se uma grande falta de informações, o que coloca essa esta região como um dos mais promissores campos de aplicação das tecnologias de sensoriamento remoto, visando prover informações sobre os seus recursos (MACHADO, 2014).

A cartografia se insere nesse contexto como forma de articulação para os diferentes níveis de análise em conformidade com as ordens de grandeza em que os fenômenos se manifestam, também tem o papel de sistematizar as combinações e contradições que acontecem entre os conjuntos espaciais de conteúdos distintos, necessários a pesquisa, que foram designados sob o mesmo nível temporo-espacial (MARTINELLI e PEDROTTI, 2001).

2.4.1 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Diversos parâmetros biofísicos da vegetação podem ser medidos através do seu comportamento espectral, que foi traduzido por meio dos índices de vegetação. Tais parâmetros incluem o índice de área foliar (IAF), a porcentagem de cobertura verde, o teor de clorofila, a biomassa e a radiação fotossinteticamente ativa absorvida (NOVO, 2008).

Este comportamento espectral recebe diversas interferências durante sua captação pelos sensores, como a posição das folhas, a arquitetura do dossel, o substrato, a características químicas das folhas e presença de água. Pois, apesar de possuir características capazes de se distinguir de outros elementos da paisagem, a assinatura espectral da vegetação se modifica em função da variação destes condicionantes, podendo representar algo diferente (NOVO, 2008).

A quantidade de radiação refletida no espectro visível do vermelho e no infravermelho próximo que chega ao sensor, proveniente da vegetação, pode sofrer alterações em áreas com características específicas como no semiárido. A lógica desses índices baseia-se não somente no fato de que a energia refletida no vermelho e no infravermelho próximo são diretamente relacionadas a atividades fotossintéticas da vegetação, mas também na suposição de que a utilização de duas ou mais bandas espectrais podem minimizar as principais fontes de “ruídos” que afetam as respostas da vegetação (SILVA, 2004; EPIPHANIO et al., 1986)

Diversos estudos já foram realizados utilizando os índices de vegetação como indicador qualitativo e quantitativo da vegetação no semiárido, dentre os quais podemos citar os trabalhos

realizados por Machado (2014); Francisco et al. (2012); Francisco et al. (2015); Chaves et al. (2015) dentre outros.

2.4.1.1 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO AJUSTADA AO SOLO (SAVI)

O *Soil Adjusted Vegetation Index* - Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) é um índice de vegetação que foi proposto por Huete (1988) como uma adaptação de um outro índice de vegetação chamado NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) que representa com seus maiores valores as áreas com maiores quantidades de vegetação fotossinteticamente ativa.

O cálculo do SAVI, surge então a partir da percepção que o solo exerce uma considerável influência no resultado espectral final do índice de vegetação, causando “ruídos” na assinatura do espectro eletromagnético, principalmente em áreas de vegetação mais esparsa e solo exposto (HUETE, 1988). Para minimizar o efeito do solo sobre os resultados do índice de vegetação, introduz-se uma constante “L”, considerado como um fator de ajuste, que pode variar de acordo com o grau de densidade do dossel presente na área de estudo (HUETE, 1988).

Trata-se de um índice amplamente utilizado até os dias atuais, tendo sido explorado em diferentes abordagens em estudos de culturas agrícolas, florestais e climáticas (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009).

2.4.1.2 ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)

O índice de área foliar (IAF) é uma variável-chave relacionada à produção de biomassa vegetal e sua produtividade primária. A razão entre a área foliar de uma vegetação por unidade de área utilizada pela mesma, contabiliza o balanço de carbono e água nas plantas, porque descreve a área de superfície potencial disponível para troca gasosa da folha (GALVÍNCIO et al. 2013).

A área foliar da planta, controla muitos processos biológicos e físicos, incluindo a interceptação da água da chuva, atenuação da luz através do dossel, transpiração, fotossíntese,

respiração autotrófica e a ciclagem dos nutrientes (por exemplo, nitrogênio, fósforo, etc.) (GALVÍNCIO et al. 2013).

O cálculo de IAF é de fundamental importância para o monitoramento e avaliação da dinâmica da vegetação, haja visto que sua utilização ajuda na compreensão da sua produtividade e previsão do microclima dentro e abaixo do dossel (DELEGIDO et al. 2011).

As equações anteriores que costumavam estimar o IAF são resultantes da calibração em áreas irrigadas, onde a vegetação está em ótimas condições e sem estresse hídrico. Essas equações não são adequadas para estimar IAF em florestas secas, como no caso das florestas encontradas no semiárido do Nordeste do Brasil (MACHADO, 2014).

Uma equação foi desenvolvida por Galvinctio et. al. (2013) afim de estimar o IAF adequadamente para a vegetação desta área do país, durante a estação de clima normal e seco. Aplicando os dados de NDVI as relações propostas para o IAF, o estado da vegetação e a produção de Biomassa será rapidamente estimada, de forma acurada e não destrutiva, o que é útil para gestão e uso sustentável da terra (MACHADO, 2014).

2.4.2 BALANÇO DE ENERGIA E ALGORITMO SAFER

O balanço de energia na superfície terrestre representa a contabilização das interações dos diversos tipos de energia com a própria superfície, determinada pela radiação solar incidente e pela radiação atmosférica, acarretando na quantidade de energia disponível na superfície para processos como a evapotranspiração, aquecimento do ar e das plantas e aquecimento do solo (PEREIRA et al., 2002).

O *Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving* (SAFER), elaborado por Teixeira (2010), é um modelo que envolve a temperatura da superfície (TS) e a evapotranspiração como parâmetros obtidos por meio da associação de dados de sensoriamento remoto com dados climáticos provenientes de estações agrometeorológicas.

O algoritmo foi criado para ser aplicado e validado nas condições semiáridas do Nordeste brasileiro, mas pode ser aplicado em áreas com variados biomas e sob diferentes condições termo-hidrológicas, como o Pantanal (TEIXEIRA et al., 2015) e nos pampas do Rio Grande do Sul (LEIVAS et al., 2015).

O saldo de radiação do solo que é um componente do balanço de energia, é distribuído dentro desse balanço como calor latente, calor sensível e fluxo de calor (HERNANDEZ et al., 2014). O algoritmo SAFER estima a temperatura do solo por meio de equações empíricas, sendo estas baseadas na equação de Penman-Monteith para obter a temperatura real em larga escala (TEIXEIRA, 2010). Além disso, existe a vantagem prática de não serem necessárias faixas térmicas e a possibilidade de aplicação conjunta com dados agrometeorológicos, possibilitando a avaliação das tendências históricas e dos componentes de produtividade (TEIXEIRA, 2014).

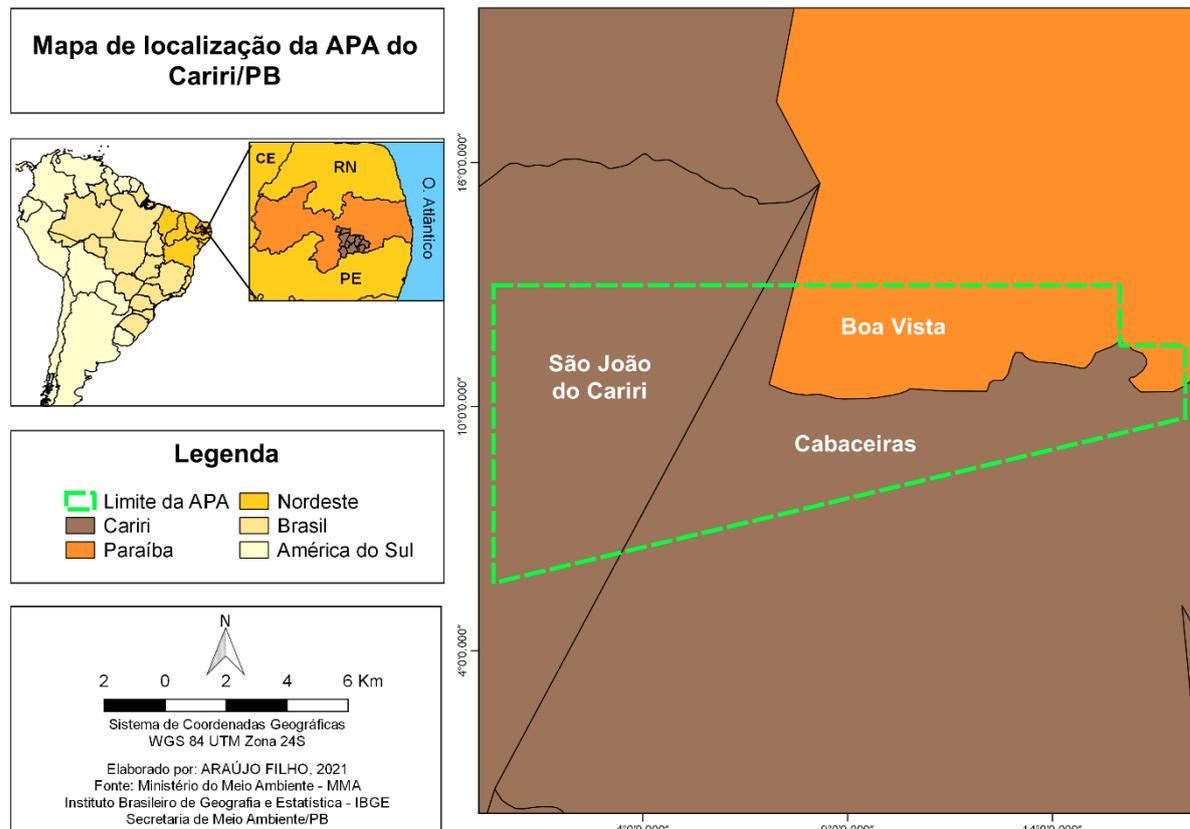
Os resultados das estimativas dos componentes do balanço de energia e da evapotranspiração em diferentes tipos de uso e ocupação do solo com aplicação do algoritmo SAFER e uso de imagens do *Sentinel – 2*, mostraram a eficiência que o algoritmo teve na identificação da variabilidade espacial dos resultados, em condições de sazonalidade climática, o que confirma a sua suscetibilidade a diferentes tipos de uso e ocupação do solo, tornando-se assim, uma ótima ferramenta no monitoramento dos recursos hídricos (TEIXEIRA, 2010).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

Esse trabalho foi desenvolvido na Área de Proteção Ambiental (APA) do Cariri, uma Unidade de Conservação (UC) criada pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado da Paraíba, a partir do Decreto nº 25.083 em de 8 de junho de 2004 (PARAÍBA, 2004), com o objetivo de garantir a conservação da vegetação, dos recursos hídricos e dos sítios arqueológicos, encontrados dentro de seus limites, compatibilizando a conservação com o uso sustentável (BRASIL, 2000). Com uma área de 158 km², a APA do Cariri está inserida (Figura 1) dentro dos limites de três municípios, que são Cabaceiras, Boa Vista e São João do Cariri, onde ambos pertencem a Região Geográfica imediata de Campina Grande, porção central do estado da Paraíba, entre as latitudes 07° 20' 00" e 07° 25' 00" (S) e longitudes 36° 25' 00" e 36° 15' 00" (W).

Figura 1: Localização geográfica da APA do Cariri, onde o estudo foi desenvolvido.



Fonte: Autor (2021).

No que tange o interior do domínio da APA do Cariri, domina a Caatinga, Floresta Tropical Sazonalmente Seca, com diversas fitofisionomias, geradas por fatores naturais e uso

do solo. Por fazer parte da diagonal mais seca do Brasil, é comum em determinados setores, como este, as temperaturas médias são bastante elevadas (cerca de 27°C) e o seu déficit hídrico acentuado, onde a extensa maioria dos rios presentes na região são intermitentes. Os recursos hídricos subterrâneos também são escassos, pois essa região está localizada sobre formações do tipo cristalino. Por essas razões, essa região é considerada a mais seca do país (SOUZA, 2008; INSA, 2011).

As variabilidades sazonais e anuais da precipitação nesta região, onde se encontra essa Unidade de Conservação, estão relacionadas aos fenômenos atmosféricos de grande escala interligados, como: ZCIT, Oscilação da Temperatura da Superfície do oceano Pacífico (El Niño e La Niña) e também as Anomalias de temperatura da superfície do oceano Atlântico (Dipolo SST do Atlântico Tropical) (NIMER, 1972).

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), circunda a faixa equatorial do globo terrestre, sendo formada principalmente pela confluência dos ventos alísios do hemisfério norte com os ventos alísios do hemisfério sul, que age como a principal fonte de chuva durante a estação chuvosa na área do Nordeste (NIMER, 1972). O fenômeno El Niño tem a capacidade de inibir a formação de nuvens e descida da ZCIT, dependendo da intensidade e de sua fase de ocorrência e conseqüentemente, pode haver deficiência de chuvas na região Nordeste. O que faz com que o fenômeno El Niño, aja de forma mais intensa, é sua ação conjunta com o Dipolo Positivo do Atlântico, que também é desfavorável às chuvas nessa região (NIMER, 1972).

Em escala regional, a topografia exerce influência no clima local. Um dos motivos pelos quais o Cariri paraibano apresenta deficiência pluviométrica é sua localização na vertente a sotavento do Planalto da Borborema, o que confirma a influência que a distância do oceano e a morfologia do relevo exercem na distribuição dos climas (MOLION e BERNARDO, 2002).

O regime pluviométrico da APA do Cariri apresenta precipitações concentradas no período de fevereiro a maio, devido as influências citadas anteriormente. Na maioria dos anos, há uma predominância de estações chuvosas com menor duração que o esperado, ou chove torrencialmente num local e quase nada na sua circunvizinhança (NASCIMENTO e ALVES, 2008). Relacionado a esse ritmo irregular e pouco frequente das precipitações, a rede de drenagem que está presente na APA é afetada, sendo composta então por rios intermitentes e sazonais, como as bacias dos rios Boa Vista, Gurjão, Soledade e Taperoá, localizadas no médio curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba. Eles não têm vazão suficiente para garantir-se como fonte hídrica permanente para a população durante todo o ano,

pois param de escoar algumas semanas após a interrupção da estação das chuvas, uma vez que com o fim da estação chuvosa, as elevadas taxas de insolação e as altas temperaturas rapidamente fazem secar a água do seu leito (INSA, 2011).

Como já nos referimos, a Floresta Tropical Sazonalmente Seca que está presente na APA é o Bioma da Caatinga, um tipo de formação vegetal de grande adaptação a seca e até mesmo, a níveis elevados de degradação. Sendo extremamente heterogênea, se caracterizando por uma fisionomia e composição florística variável em função do tipo de solo e da pluviosidade que está exposta, com espécies na sua maioria, caducifólias, espinhosas ou com folhas pequenas, existindo, inclusive, algumas sem folhas (áfilas) para reduzir ao máximo a perda de água por transpiração (SOUZA, 2008). Ab'Saber (1974) destaca a excepcionalidade dessa formação vegetal, marcante tanto no contexto climático como no hidrológico.

Estas áreas apresentam, em geral, ocorrência de solos derivados de rochas cristalinas, que em sua maioria são rasos, com baixa fertilidade natural, baixo teor de matéria orgânica, drenagem limitada, baixa capacidade de infiltração e de retenção de umidade e apresentam grande potencial para a erosão hídrica provocada principalmente pela ocorrência de chuvas de alta intensidade (SAMPAIO, 1981; BALLÉN et al., 2016).

Como pode ser observado, por toda a extensão da área de estudo, é comum a ocorrência de extensos afloramentos rochosos graníticos, conhecidos popularmente como lajedos (LUNGUINHO, 2018). De acordo com Lages et al. (2013) O lajedo é um grande pavimento rochoso de granito, oriundo de rochas ígneas e/ou metamórficas, resultante de um processo erosivo de pediplanação que atuou no topo do Planalto da Borborema. Estes lajedos são cobertos por muitos matacões esfoliados com variadas formas, graus de arredondamento e dimensões (MAIA e NASCIMENTO, 2018). Destaca-se aqui o Plutão Bravo, grande batólito granítico presente na área, que se cristalizou há aproximadamente 580 Ma. O Plutão Bravo apresenta forma elipsoidal, com aproximadamente 12 km de comprimento por 5 km de largura (LAGES, et. al., 2013), que se desmembra em vários outros afloramentos rochosos, onde os mais conhecidos na região são o Saca de Lã, Lajedo Sítio Bravo, Lajedo Manuel de Souza, Lajedo Salambaia e Lajedo Pai Mateus, concentrados principalmente nas porções Nordeste (NE), Leste (L) e Sudeste (SE) da APA, estes formam um dos mais famosos atrativos geoturísticos do interior do estado da Paraíba (SILVA et al. 2019).

A influência antrópica gerou grandes transformações da paisagem nesta área e esse processo tem cunho histórico, estando relacionado primeiramente à ocupação das margens dos

rios (planícies aluviais e terraços) pela atividade agrícola, onde normalmente ocorre o plantio de grãos, legumes, frutas e hortaliças, principalmente na estação chuvosa (SILVA et al. 2019). A extração do minério de Bentonita é outro ponto fundamental a ser salientado nesse processo histórico de transformação da paisagem da APA do Cariri, onde teve seu início no final dos anos 60 com duas grandes áreas de extração denominadas de Sítio Bravo e Urubu (ARAÚJO, 2008) na porção Nordeste (NE) da APA. A partir da introdução da mineração nesta região, houve uma transformação baseada em uma dinâmica focada nas necessidades da indústria, onde segundo Silva (2011) essa região concentra 60% das reservas brasileiras de Bentonita.

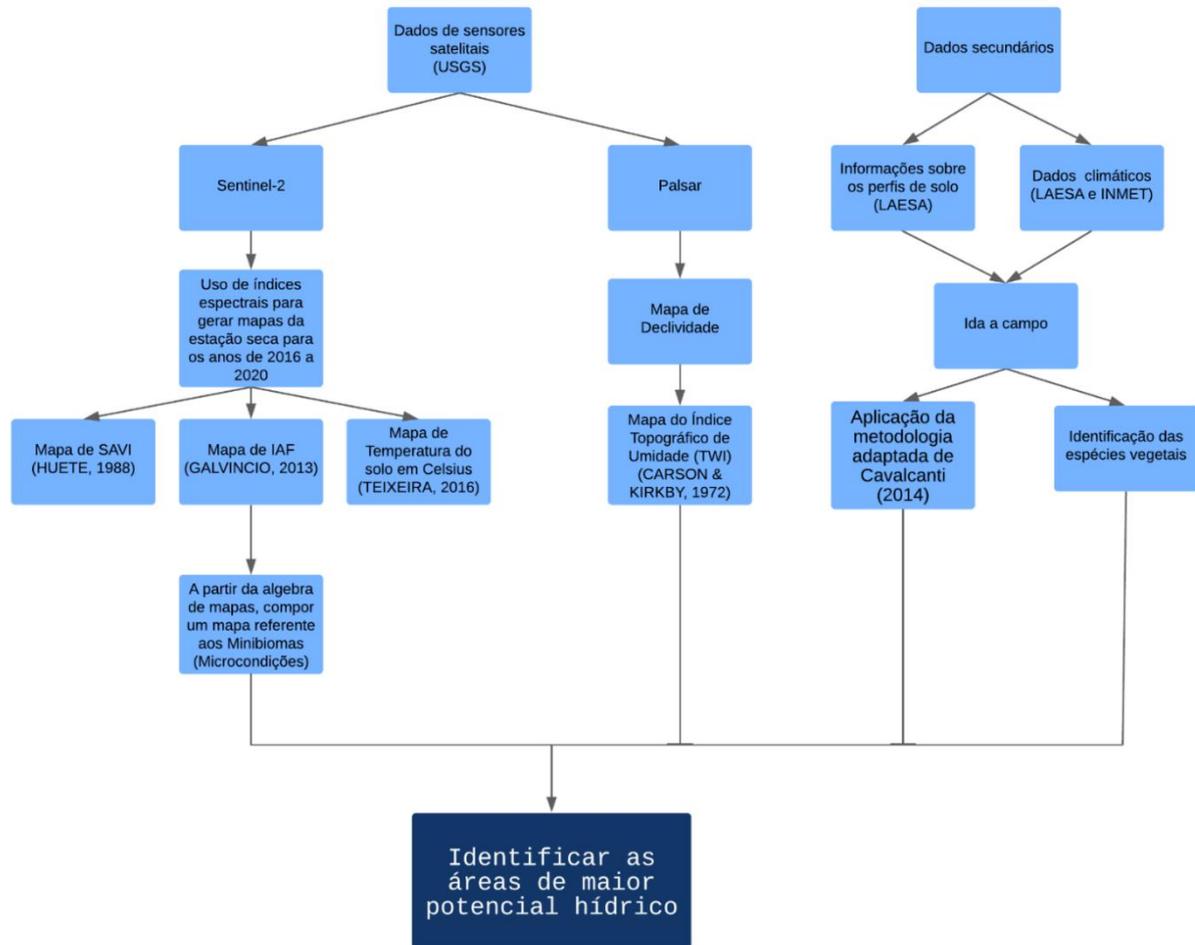
É importante salientar que a atividade de mineração de Bentonita segue em paralelo com a atividade agropecuária da região, e que ambas se misturam tanto no tocante as relações com os ambientes naturais impressos na paisagem, quanto as relações econômicas e sociais de organização e reprodução desse espaço (ARAÚJO, 2008; SILVA et al. 2019).

3.2 METODOLOGIA

Para gerenciar os recursos hídricos, primeiramente é fundamental entendê-los. Do ponto de vista técnico, quantificar e visualizar a dinâmica hídrica de uma dada paisagem, auxilia os decisores a tomarem decisões mais sustentáveis no que tange o uso fruto da água. A integração desses estudos com os sistemas de informação geográfica (SIG) tem sido discutida, analisada e utilizada por muitos pesquisadores, principalmente ligados às ciências exatas e ambientais, cuja tendência é um reflexo da grande capacidade dos SIGs em armazenar, manipular, analisar, recuperar e visualizar informações geográficas (FEITOSA et al. 2010).

O fluxograma a seguir (Figura 2), sintetiza a metodologia utilizada nesse trabalho, seguido da sua explicação mais detalhada.

Figura 2: Fluxograma detalhando a metodologia utilizada na pesquisa.



Fonte: Autor (2021).

Para atingir os objetivos propostos, primeiramente foi utilizada uma série de variáveis ambientais e topográficas, geoprocessadas em *softwares* GIS's. As variáveis ambientais são os cálculos de SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index* – Índice de Vegetação Ajustado ao Solo), IAF (Índice de área foliar) e Temperatura do solo. Tais dados serão gerados a partir das imagens obtidas junto ao sensor imageador multiespectral *Sentinel-2*, que apresenta uma resolução espacial de 10 metros.

Concomitantemente, será utilizado uma imagem do sensor imageador ativo de alta frequência por micro-ondas chamado PALSAR, acoplado ao Satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) que apresenta uma resolução de 12,5 metros, para gerar as informações referente as variáveis topográficas, como o MDE (modelo digital de elevação) e Declividade, e a partir dessas informações produzir o Índice Topográfico de Umidade (TWI). Todas as imagens estão disponíveis no *site Earth Explorer*, adquiridas do banco de dados da U.S. *Geological Survey* (USGS).

O *SENTINEL-2* foi escolhido por apresentar resolução espacial e temporal adequadas para os objetivos do estudo, o qual era necessário imagens com baixa cobertura de nuvens e que abrangesse os meses mais secos dos anos analisados. O *ALOS* também foi escolhido por apresentar a melhor resolução espacial dentre os satélites livres que geram informações sobre topografia.

A seleção das imagens que foram utilizadas se deu com base em duas premissas gerais: A baixa cobertura de nuvens, dando preferência então para imagens que correspondem a estação seca e estar dentro do acervo de imagens disponíveis para o satélite *SENTINEL-2*, que iniciou o imageamento da área de estudo a partir do fim de 2015. Após essa filtragem, foram selecionadas ao todo cinco imagens, de 2016 a 2020, uma para cada ano, correspondendo à órbita 215 e ponto 66 com as seguintes datas de passagem: 07/12/2016; 07/12/2017; 27/12/2018; 02/12/2019 e 11/12/2020.

Houve uma padronização na escolha das imagens, sendo elas todas do mês de dezembro, o que vai nos permitir, trabalhar com dados climáticos do mês de dezembro, captados pela estação meteorológica presente na área de estudo e complementados pelos dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), após isso tecer comparações ano a ano, englobando anos mais chuvosos e anos mais secos e como as variáveis escolhidas reagiram a essas mudanças da precipitação.

Para verificar a ocorrência de interpretações equivocadas do resultado, os dados finais foram sujeitos a uma análise estatística, primeiro, buscando a compreensão da influência dos eventos chuvosos nos parâmetros biofísicos analisados, de forma a constatar se a precipitação acumulada antes dos imageamentos difere entre os anos estudados.

Na segunda análise, aplicamos as correlações de *Pearson*, para cada par de variáveis, a partir dos resultados da regressão linear e exponencial realizadas em ambiente R, procuramos entender como uma variável se comporta em um cenário onde outra está variando, visando identificar se existe alguma relação entre a variabilidade de ambas, quantificando a relação entre o IAF, o SAVI e a Temperatura do Solo. O grau de correlação se dá por meio de valores situados entre -1 e 1, quanto mais próximos dos extremos, mais forte é a relação. Quando o coeficiente de correlação se aproxima de 1, nota-se um aumento no valor de uma variável quando a outra também aumenta, ou seja, há uma relação linear positiva. Quando o coeficiente se aproxima de -1, também é possível dizer que as variáveis são correlacionadas, mas nesse

caso quando o valor de uma variável aumenta o da outra diminui. Isso é o que é chamado de correlação negativa ou inversa. O coeficiente de correlação próximo de zero indica que não há relação entre as duas variáveis.

A terceira análise estatística é a variação das áreas que representam os mais altos valores positivos de cada índice, para cada ano. Essas áreas são isoladas dos outros valores de uma mesma imagem e então são comparadas entre os anos e com a área total da APA do Cariri, o resultado é representado em porcentagem.

Com os resultados mais positivos de cada variável isolados, realizou-se um procedimento técnico de álgebra de mapas, em um *software* GIS, criando uma intersecção entre todos estes resultados, gerando um mapa que representa os Minibiomas, onde o sistema solo-planta-atmosfera criou microcondições de umidade e que se mantiveram estáveis por todo o período de tempo estudado, após isso, foram comparados com os resultados topográficos.

Ir a campo, visitar a área de estudo para realização de atividades *in loco*, é necessário para o processo de elaboração da pesquisa, com o propósito de identificar o quanto os dados gerados foram representativos da realidade encontrada na área de estudo e também na aplicação da metodologia adaptada de Cavalcanti (2014) (TABELA 1).

Tabela 1: Metodologia adaptada de Cavalcanti (2014) utilizada durante o campo.

Crítérios	Atributos
Posição da vertente	Topo; E. superior; E. média; E. inferior; Base e Canal.
Curvatura da vertente	Retilíneo; Convexo e Côncavo.
Declividade da vertente	Plana; Suave; Moderada; Forte; Muito forte e Escarpada.
Pedregosidade	Ausente; pouco pedregosa <3%; pedregosa 3-15%; muito pedregosa 15-50% e extremamente pedregosa >50%.
Rochosidade	Ausente; ligeiramente rochosa <10%; moderadamente rochosa 10-25%; rochosa 25-50% e muito rochosa >50%.
Indicadores Morfodinâmicos	Sulcos; ravinas; pedestais; terracetes; movimento de serapilheira; canais de escoamento e <i>pipes</i> .
Erosão	Não aparente; Incipiente; Moderada e Acentuada.
Uso da Terra	Cultivo temporário; cultivo permanente; pomares; silvicultura; desmatamento; extrativismo vegetal; mineração; extrativismo

	mineral; residencial; religioso; barragem/açude/barreiro; trilha; estrada não pavimentada; estrada pavimentada; queimada; pecuária extensiva; pecuária intensiva e cerca.
Vegetação	Florística e forma.

Fonte: Autor (2021).

Cavalcanti (2014) também propõe no que concerne a sua metodologia, a análise dos perfis de solo, com base em seu Horizonte, Textura, Estrutura e Cor. Porém, essa seção foi subtraída, devido a existência de um banco de dados já disponível para a área de estudo, com alguns perfis de solo já classificados.

Seis pontos foram escolhidos e visitados, a partir de um controle seletivo dos locais de modo a se obter o reconhecimento da maior diversidade possível de Minibiomas, aplicando-se então a metodologia adaptada, gerando descrições completas que confirmam o papel dessas áreas como fontes mantenedoras de umidade e servem de referência para o estabelecimento de uma tipologia para estes Minibiomas.

Esta visita foi realizada em janeiro de 2021, em um período de dois dias e tivemos como ponto de apoio a Fazenda Salambaia, que se localiza dentro da área de estudo. Os materiais que subsidiaram a realização das atividades, foram o mapa gerado com os Minibiomas sobre a base cartográfica do *Google Earth*, uma câmera, a tabela para cada ponto analisado, onde tiveram lacunas a serem preenchidas com a altitude e as coordenadas dos locais e o GPS para traçarmos as rotas, além do veículo disponibilizado pela instituição Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

3.2.1 PARÂMETROS BIOFÍSICOS

3.2.1.1 SAVI

O cálculo do *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI) que foi proposto por Huete (1988) é uma adaptação do NDVI e possui a propriedade de minimizar os efeitos do solo na resposta do espectro eletromagnético em áreas de solo exposto ou de vegetação esparsa, que consequentemente exercem influência no resultado final dos cálculos de índices de vegetação (HUETE, 1988).

O SAVI é calculado a partir da seguinte equação:

$$SAVI = \left(\frac{NIR - R}{NIR + R + L} \right) \cdot (1 + L)$$

Onde:

NIR: Banda do Infravermelho Próximo;

R: Banda 4, correspondente ao espectro vermelho do RGB.

Então, para o cálculo do SAVI, introduziu-se uma constante “L” que pode variar de acordo com o grau de densidade do dossel presente na área de estudo. De acordo com os autores estudados (BORATTO e GOMIDE, 2013; RÊGO et al, 2012; SILVA e GALVÍNCIO, 2012) L=0,5 é o valor mais comumente utilizado para a região, também foi levado em consideração o padrão de vegetação encontrado na área de estudo, que em geral corresponde a baixas densidades.

Os resultados são expressos em um intervalo de -1 a 1, onde quanto mais próximo de 1, maior é a atividade fotossintética, ou seja, onde há forte presença de clorofila. Valores próximos a zero indicam áreas com pouca ou nenhuma vegetação, que desempenham pouca ou nenhuma atividade de clorofila, já seus valores negativos indicam áreas de corpos hídricos, como lagos e rios (BEZERRA et al., 2014).

3.2.1.2 IAF

O Índice de Área Foliar (IAF) é um índice biofísico definido pela razão entre a área foliar de uma vegetação por unidade de área utilizada pela mesma (GALVÍNCIO et al. 2013). A sua equação pode ser ajustada para diferentes tipos de vegetação, mas a priori foi desenvolvida por Galvínio, et al. (2013) para a região semiárida do Brasil.

O IAF proposto por Galvínio, et al. (2013) é calculado a partir da equação:

$$\text{EXP}(1,426 + (-0,542/SAVI))$$

Onde: 1,426 e -0,542 são constantes adotadas pelo autor.

Os resultados do índice de área foliar variam entre 0 e 10, desde áreas com pouca ou nenhuma vegetação a áreas densas. Quanto menor for a biomassa da vegetação, menor será o valor do IAF (ALLEN et al., 2007).

3.2.1.3 ALGORITMO SAFER – TEMPERATURA DO SOLO

Para modelar a temperatura superficial sem uso das bandas termais dos sensores imageadores foi utilizado em ambiente R a equação de Stefan-Boltzmann (TEIXEIRA, 2010) :

$$T_S = \sqrt[4]{\frac{\varepsilon_A \sigma T_A^4 + a_L \tau_{sw}}{\varepsilon_S \sigma}}$$

Onde T_A é a temperatura média do ar obtida junto a estação agrometeorológica dentro da própria área de estudo; T_{sw} é a transmissividade atmosférica de ondas curtas, E_A e E_s são, respectivamente, as emissividades atmosféricas e superficiais. e σ é a constante de Stefan-Boltzmann.

E_A e E_s foram calculadas pelas equações a seguir:

$$\varepsilon_A = a_A (-\ln \tau_{sw})^{b_A}$$

$$\varepsilon_S = a_S \ln NDVI + b_S$$

A constante de Stefan-Boltzmann foi calculada a partir da seguinte equação:

$$(5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4})$$

Os componentes a_A, b_A, a_s e b_s são coeficientes de regressão, respectivamente quantificados como: 0,94; 0,10; 0,06 e 1,00.

Por fim, o coeficiente é dado pela Equação:

$$a_L = cT_A - d$$

Onde c e d são coeficientes de regressão iguais a 6,99 e 39,93.

3.2.2 PARÂMETROS TOPOGRÁFICOS

3.2.2.1 ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE UMIDADE (TWI)

O TWI foi calculado para indicar os potenciais locais de maior acumulação de umidade e sedimento no relevo (CARSON & KIRKBY, 1972). Foi rodado pelo *software* QGIS, que a partir de suas ferramentas *Slope* e *Catchment*, transformaram o MDE em mapas que evidenciam as vertentes e áreas de captação, com essas informações, foi possível enfim gerar o mapa de TWI.

O TWI atribui que o logaritmo da razão do fluxo acumulado pela declividade crie correlações e aponte para as áreas de maior umidade.

$$\ln \left(\frac{FA}{\tan Slope} \right)$$

Onde:

FA: Fluxo Acumulado;

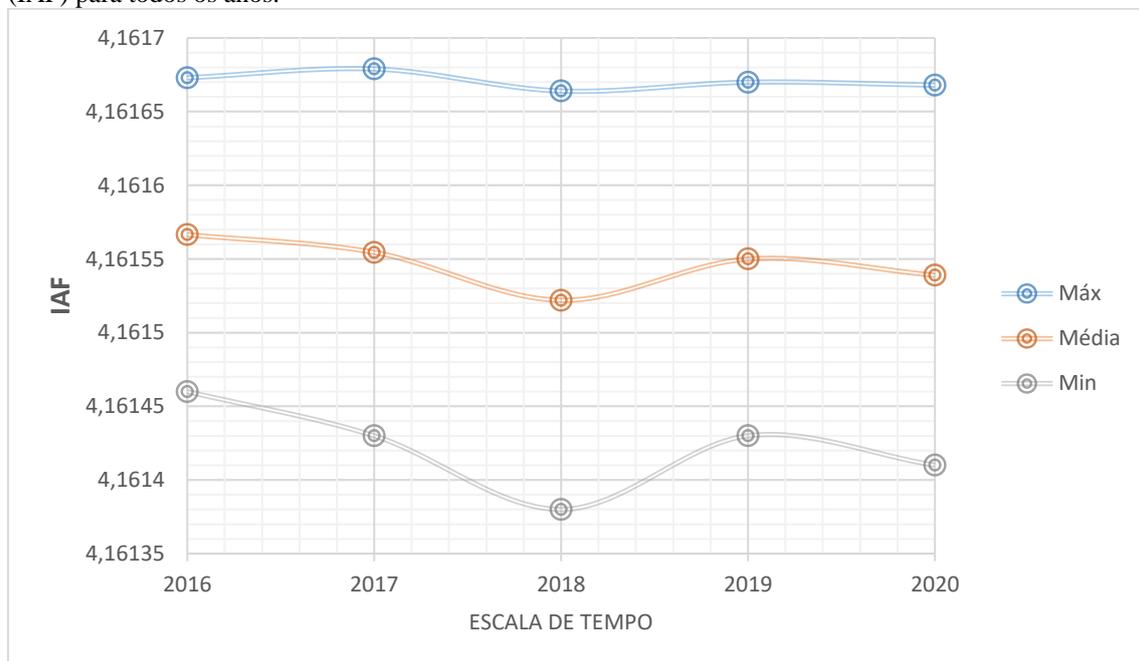
Slope: Declividade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS PARÂMETROS BIOFÍSICOS

Foram elaborados gráficos com os valores máximos, mínimos e a sua média para cada parâmetro biofísico, a fim de se analisar as mudanças desses valores com o passar do tempo, plotados em um gráfico que vai dimensionar de maneira mais clara essas mudanças. Segue no Gráfico 1 os valores de IAF:

Gráfico 1: Representação em um gráfico dos valores máximos, mínimos e medianos do Índice de Área Foliar (IAF) para todos os anos.

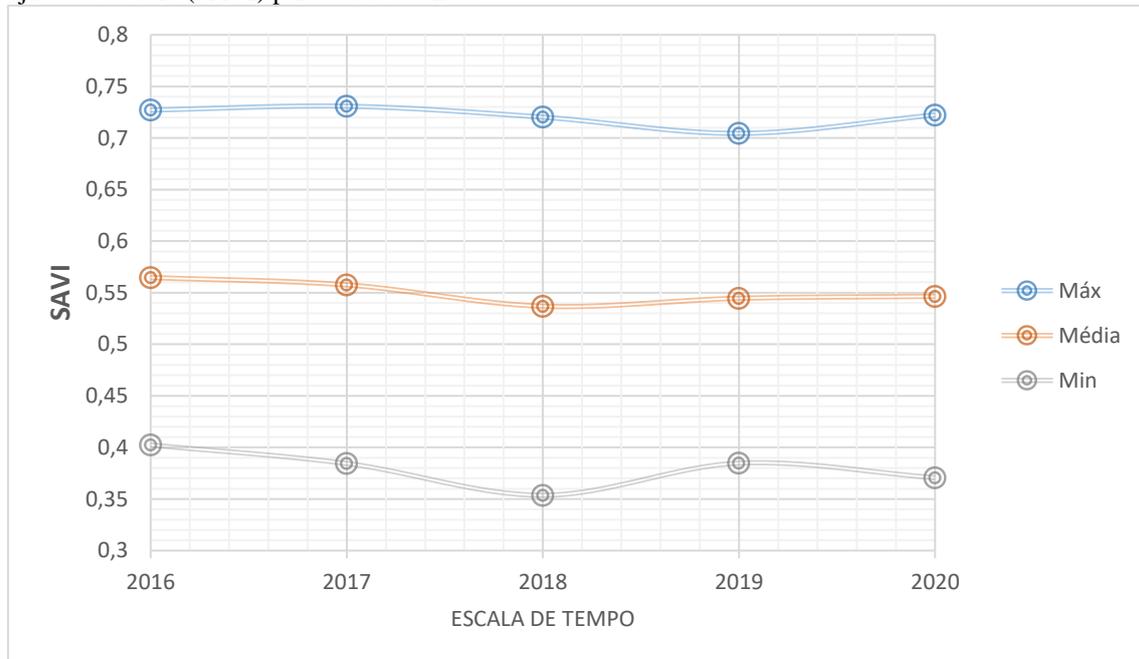


Fonte: Autor (2021).

Como pode ser verificado, as informações referentes ao IAF tiveram uma variação pouco expressiva em seu valor máximo, se distinguindo a partir da quinta casa decimal, nesse quesito 2016 e 2017 obtiveram os maiores valores, IAF 2016 = 4,161673 e IAF 2017 = 4,161679, já 2018 obteve o menor valor, IAF = 4,161664. Os valores mínimos e máximos de IAF oscilam entre os anos imageados e a média gerada por esses valores, segue o mesmo padrão, não demonstrando uma tendência geral de aumento nem de diminuição. Considerando que o índice apresenta resultados que podem ir até 10, esses valores são considerados baixos e retratam a distribuição espaçada da vegetação (GALVÍNCIO et al. 2013).

No que se refere ao índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI), que está representado no Gráfico 2. Os valores mostraram também uma oscilação, mas sem grandes alterações nos valores durante o período analisado.

Gráfico 2: Representação em um gráfico dos valores máximos, mínimos e medianos do Índice de vegetação ajustada ao solo (SAVI) para todos os anos.



Fonte: Autor (2021).

Assim sendo, 2017 foi o ano em que o valor máximo do SAVI apresentou-se mais elevado, $SAVI_{2017} = 0,7308$. Já no ano seguinte, o valor mínimo alcançou o ponto mais baixo do gráfico, $SAVI_{2018} = 0,3537$, estando mais próximo a 0. Novamente percebeu-se uma oscilação nos valores máximos e mínimos, onde a média acompanhou o padrão do gráfico. O SAVI por sua vez, apresentou valores mais próximos de 1, o que denota uma forte atividade clorofílica.

Por fim, o último fator a ser analisado é a temperatura do solo, que está expressa em Celsius no Gráfico 3, onde se pode notar que os dados sofreram várias alterações de um ano para o outro.

Gráfico 3: Representação em um gráfico dos valores máximos, mínimos e medianos da temperatura do solo expressos em Celsius, para todos os anos.



Fonte: Autor (2021).

As maiores temperaturas chegaram a 44.6°C e 44.4°C nos anos de 2016 e 2019, respectivamente, já a imagem de 2018 se destaca por apresentar os valores mais baixos, 42.2°C de máxima e 35.5°C de mínima, acompanhado de perto por 2017 com 41.8°C de máxima e 36°C de mínima e 2020 com 42.7°C de máxima e 36.1°C de mínima. Todos esses valores estiveram acima da média para essa parte do país, que é 35,2°C segundo Silva et al. (2015).

De forma a averiguar se existe uma correlação entre os valores máximos dos índices de vegetação e da temperatura da superfície, foi aplicado as correlações de *Pearson* para quantificar o grau de associação entre os pares de variáveis (Tabela 2).

Tabela 2: Associação entre os índices espectrais, através das correlações de *Pearson*.

Índices Espectrais	Correlação de <i>Pearson</i>
IAF/SAVI	0,478102
IAF/TEMP	-0,211471
SAVI/TEMP	-0,30408

Fonte: Autor (2021).

O coeficiente de correlação entre IAF e SAVI foi positivo, expresso pelo valor 0,478102, significando que as variáveis tendem a aumentar juntas, pois ambas são índices de vegetação e pela resposta da correlação, onde existe uma vegetação fotossinteticamente ativa, existirá uma vegetação mais densa que corresponderá a um maior IAF.

A temperatura da superfície também se correlacionou de forma significativa com os outros parâmetros biofísicos analisados, só que o coeficiente de correlação entre essas variáveis foi negativo, com valores de $-0,211471$ para o IAF pela Temperatura e $-0,30408$ quando se correlacionou com o SAVI. Isso significa que quando uma das variáveis aumenta a outra diminui, ou seja, quanto mais densa e/ou fotossinteticamente ativa a vegetação é, menor é a temperatura da superfície. Esse comportamento foi observado em diversos trabalhos (BEZERRA et al., 2011; LOPES et al., 2012; OLIVEIRA, 2012), e segundo os mesmos, uma superfície com elevada cobertura vegetal utiliza boa parte do saldo de radiação nos processos de evapotranspiração o que acaba por arrefecer a superfície.

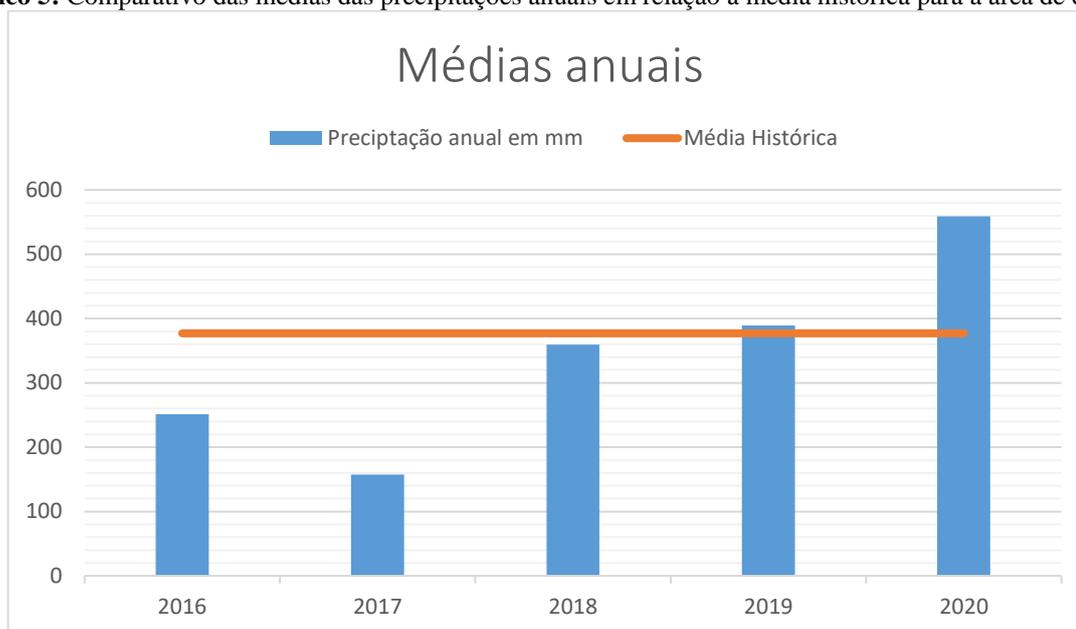
4.2 ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO E SUA CORRELAÇÃO COM OS PARÂMETROS BIOFÍSICOS

A fim de se compreender se a precipitação exerceu alguma influência direta nos resultados dos parâmetros biofísicos analisados, foram gerados gráficos com a média mensal e as médias anuais de toda precipitação ocorrida no mês de dezembro (Gráfico 4) e nos anos designados para o estudo (Gráfico 5), compreendendo todas as imagens utilizadas.

Gráfico 4: Precipitação referente ao mês de dezembro, na escala de tempo definida para o estudo, em comparação com a média histórica para o mês.



Fonte: Autor (2021).

Gráfico 5: Comparativo das médias das precipitações anuais em relação à média histórica para a área de estudo.

Fonte: Autor (2021).

Pela análise do gráfico 4, percebe-se que existe uma escassez de chuvas no mês de dezembro, a partir de 2017, mesmo em anos com chuvas acima da média, expressos pelo gráfico 5, como é o caso de 2019 e 2020. Essa situação é esperada, uma vez que, na APA do Cariri, cerca de 60 a 75% das chuvas ocorrem no período de fevereiro a maio, que é sua quadra chuvosa, podendo se estender até junho e julho (NIMER, 1966). Dessa forma, ao se trabalhar com imagens de dezembro, conclui-se que a vegetação já estaria apresentando, como regra, elevado estresse hídrico. Reforça-se a questão da escassez de chuvas, ao se estipular intervalos de tempo, a partir da data de obtenção das imagens, a fim de contabilizar as precipitações incidentes na área de estudo (Tabela 3).

Tabela 3: Precipitações organizadas em intervalos de tempo para cada imagem utilizada.

	5 dias	10 dias	20 dias	1 mês	2 meses
07 de DEZ de 2016	0	0	0	0	0
07 de DEZ de 2017	0	0	0	0	0
27 de DEZ de 2018	0	2,1	0	15,2	0
02 de DEZ de 2019	0	0	0	0	0
11 de DEZ de 2020	0	0	0	0	0

Fonte: Autor (2021).

O único ano que apresentou algum tipo de precipitação no período de tempo definido foi 2018, ao receber entrada de água no sistema, 10 dias e 1 mês antes da obtenção da imagem. O que não foi suficiente para causar alguma alteração nos valores relacionados a vegetação, mas causou as menores temperaturas do solo dentro da escala de tempo observada. Essas

precipitações ocorridas nesse espaço de tempo antes do imageamento, interferem nos parâmetros biofísicos constituintes do balanço de radiação e de energia (SCORIZA e PIÑARODRIGUES, 2014), haja visto que o solo se encontrava mais úmido em relação as outras imagens, causando uma diminuição da temperatura da superfície, situação que foi vista no gráfico 3.

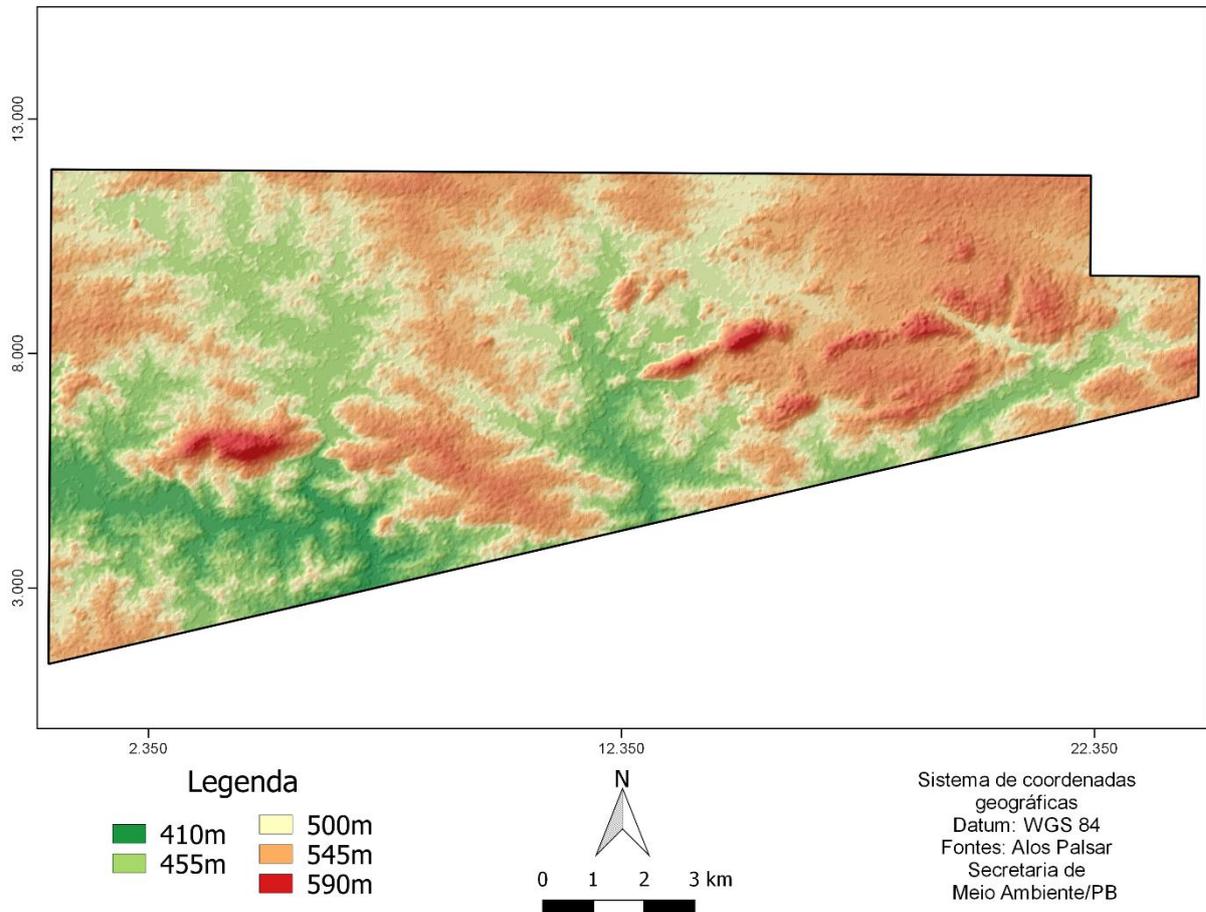
O resultado dos estudos de Braga et al. (2003) afirmam que o tempo de resposta da vegetação a um evento de chuva nas diferentes regiões heterogêneas do Semiárido Nordeste, ocorre com a defasagem de um a dois meses a depender do tipo de cobertura vegetal. As espécies da Caatinga respondem rapidamente às alterações na umidade, resultado de um mecanismo adaptativo à captação e uso da água (COPPIN et al., 2004). Almeida (1997) encontrou o mesmo tempo de resposta da vegetação a precipitação na região do cerrado brasileiro, mostrando que embora as condições climáticas sejam diferentes, a vegetação respondeu igualmente a entrada de água no sistema.

Dessa forma, pode-se excluir a precipitação como causadora principal das diferenças obtidas nos parâmetros biofísicos analisados e concluir que elas se devem, mais provavelmente, a alterações ocorridas no uso e cobertura do solo por intervenção humana.

4.3 ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DOS PARÂMETROS BIOFÍSICOS

As informações referentes a altimetria da área de estudo (Figura 3) providas pelo mapa de Modelo Digital de Elevação (MDE) são fundamentais no processo de identificação das unidades de paisagem, que servirão de base para as discussões sobre a espacialização dos parâmetros biofísicos e como estes se relacionam com a topografia.

Figura 3: Mapa do Modelo Digital de Elevação (MDE) sobreposto ao sombreamento do próprio relevo, para a APA do Cariri.



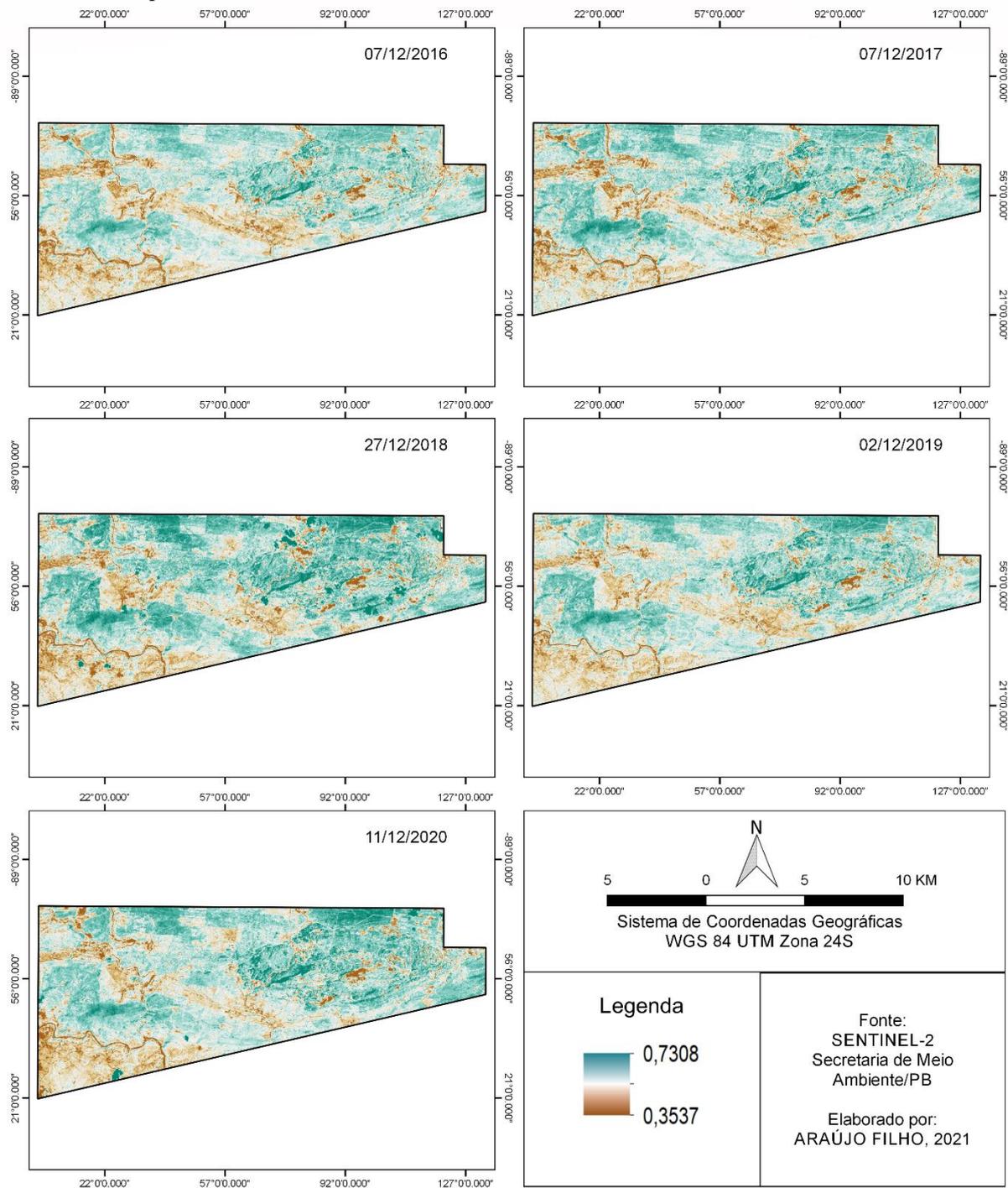
Fonte: Autor (2021).

As maiores cotas altimétricas apresentadas são referentes a serra do Caruá, na porção Oeste da APA, alcançando 590 metros em seu topo. Os outros elementos que se destacam por suas altitudes são os afloramentos rochosos (Lajedos) na parte Leste e Nordeste, que juntos compõem o Plutão Bravo. As áreas mais rebaixadas, por sua vez, correspondem as drenagens, várzeas dos rios e vales.

Partindo para a análise da evolução temporal da paisagem, veremos a resposta da vegetação e de outros atributos biofísicos ao serem submetidos a condições climáticas decorrentes do período seco do ano, onde em alguns casos as precipitações estiveram muito abaixo do padrão climático anual. Este fato colaborou para ressaltar as áreas que mantêm a biomassa fotossinteticamente ativa, mesmo frente a escassez de chuvas.

Para o índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) foram obtidos os seguintes resultados de 2016 a 2020, expressos na figura 4, a seguir.

Figura 4: Representação cartográfica em prancha do índice SAVI da APA do Cariri, para todos os anos definidos na escala de tempo do estudo.



Fonte: Autor (2021).

Os valores representados se mostraram estáveis, sem grandes alterações drásticas durante o período analisado. No entanto, 2017 foi o ano em que os valores máximos do SAVI apresentaram valores mais altos (SAVI = 0,7308) já o ano seguinte, teve os valores mínimos mais próximos a 0 (SAVI = 0,3537). Os maiores valores representados correspondem às áreas de vegetação com maior vigor, enquanto que os menores valores equivalem as áreas de

vegetação estressada, bem menos densas e até inexistentes, o que engloba o solo exposto e os afloramentos rochosos presentes na área de estudo. A constante “L” de ajuste ao solo teve uma boa resposta em destacar a presença desses elementos.

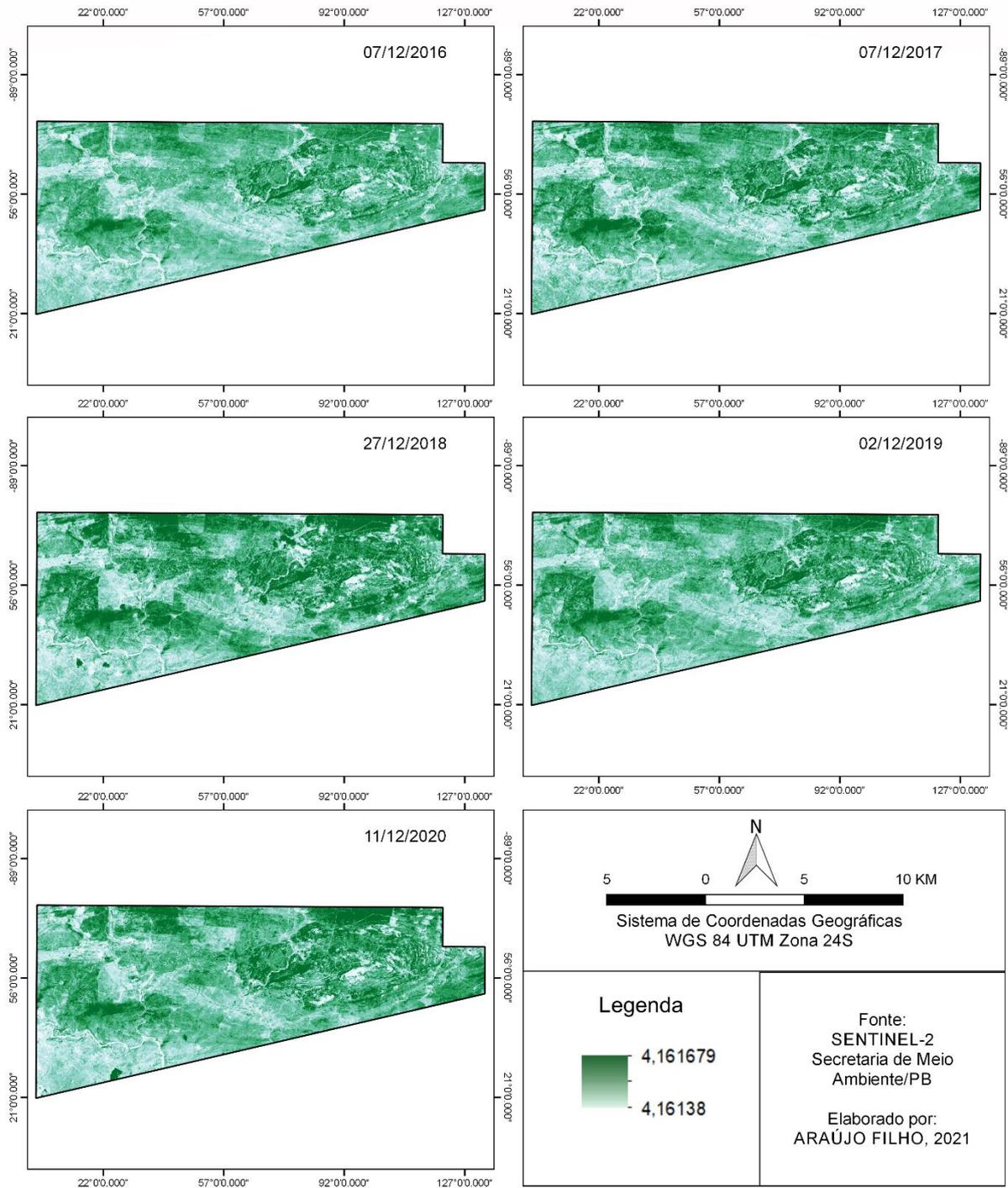
Analisando em uma escala mais detalhada, com foco nos valores mais representativos, verifica-se que independente do ano analisado o índice é maior nos entornos dos afloramentos rochosos e na serra, o que confirma a presença de enclaves florestais preservados nessas localidades. Principalmente por serem regiões onde o acesso humano é dificultado devido às altas elevações com declividades bastante acentuadas, freando alguns processos de antropização mais intensos (SOUZA et al., 2015).

As várzeas dos rios apresentaram um índice alto, como as outras áreas citadas anteriormente, porém, são áreas muito mais antropizadas que estas, uma vez que o processo de transformação da paisagem tem cunho histórico relacionado à ocupação das margens dos rios (SOUZA et al., 2015). Atualmente as áreas de várzea e planícies dos rios na região da APA encontram-se alteradas a ponto de ter sua vegetação de Mata Ciliar que é nativa, substituída em grande parte para dar espaço para a atividade agrícola (SILVA et al. 2019).

Em contrapartida, os valores mais baixos que se distribuíram principalmente na porção central e sudoeste da APA, representam grandes extensões de áreas degradadas, resultantes de ações antrópicas mais intensas, provocadas pelo desmatamento da vegetação nativa para a extração de lenha de forma ilegal e a caprinocultura, levando a uma maior erodibilidade pelo uso inadequado do solo, desencadeando em processos de desertificação (SOUZA et al., 2015).

A figura 5, por sua vez, apresenta os resultados de 2016 a 2020 para o índice de área foliar (IAF) que pode ser visto, a seguir.

Figura 5: Representação cartográfica em prancha do índice IAF da APA do Cariri, para todos os anos definidos na escala de tempo do estudo.



Fonte: Autor (2021).

O outro índice de vegetação utilizado para gerar as imagens, foi o IAF (índice de área foliar), indicando a biomassa em cada pixel da imagem, definida pela razão entre a área foliar de toda vegetação pela unidade de área utilizada pela mesma. Como o IAF é um subproduto do SAVI (GALVÍNCIO et al. 2013), tanto a espacialização da informação como as análises dos

resultados obtidos para esse índice são muito semelhantes aos resultados já apresentados na Figura 3. Os valores máximos de IAF (Figura 5) se alteraram minimamente para todos os anos, nesse quesito, 2016 e 2017 obtiveram os maiores valores (IAF 2016 = 4,161673 e IAF 2017 = 4,161679) ao se distinguir apenas a partir da quinta casa decimal.

O resultado indica que mesmo variando espacialmente, as áreas onde a biomassa apresenta seus maiores valores são muito parecidas no que tange sua fitofisionomia. A variação entre os valores mínimos foi pouco expressiva também, onde 2018 novamente obteve o menor valor (IAF = 4,16138) se modificando dos outros resultados apenas a partir da quarta casa decimal após a virgula. Os valores mínimos e máximos de IAF entre os anos imageados, não demonstram uma tendência geral de aumento nem de diminuição.

A importância desses índices de vegetação para o estudo, concentra-se principalmente em dois aspectos: o monitoramento de mudanças sazonais e interanuais e do desenvolvimento da vegetação, como pode ser observado no Gráfico 6 que corresponde as áreas de maior valor de SAVI e IAF e sua variação em extensão durante o decorrer do tempo.

Gráfico 6: Comparativo entre o SAVI e o IAF em extensão (Km²) das áreas de maior valor e sua variação durante o decorrer do tempo de estudo.



Fonte: Autor (2021).

A área total da APA do Cariri é de 158 km². Ao isolar as áreas de maior valor encontrados nos índices de vegetação (Gráfico 6), o SAVI máximo de 2016 ocupou 33,7 km², enquanto no ano seguinte ele cresceu 21,65%, chegando a 36,1 km². Em 2018 houve uma queda de 9,98% em relação ao resultado de 2017, passando de 36,1 km² para 32,5 km². Em 2019

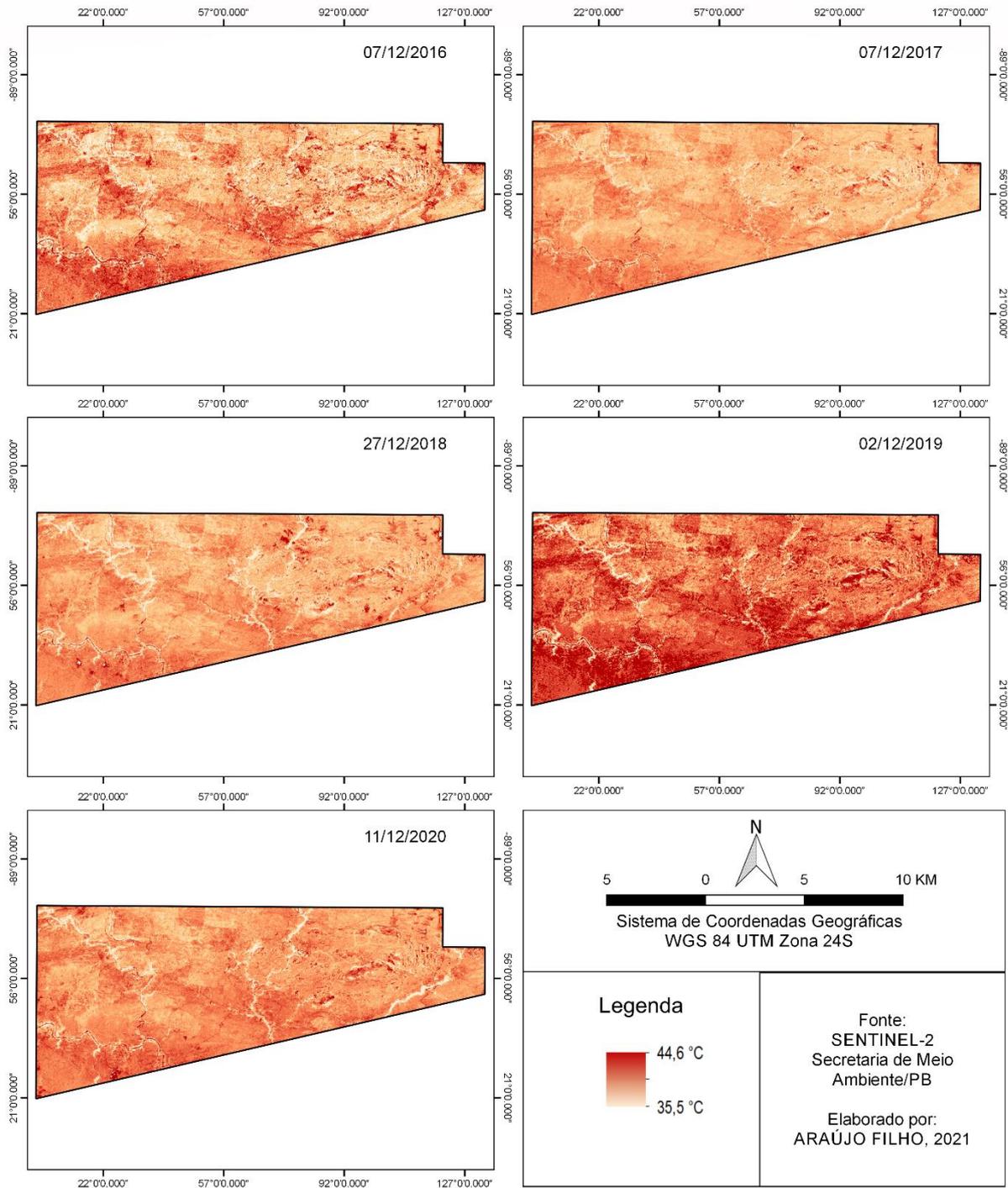
houve mais uma queda de 8,93% em relação a 2018, passando de 32,5 km² para 29,6 km². Por fim, o SAVI de 2020 aumentou 7,09% alcançando 31,7 km².

O IAF máximo de 2016 ocupou 8,35 km² da área total. Em 2017 o IAF cresceu 56,88% em relação a 2016, passando de 8,35 km² para 13,1 km². Em 2018 o IAF saiu de 13,1 km² para 20,5 km², crescendo mais 56,48%. Em 2019 essa tendência positiva se alterou bruscamente, onde tivemos uma regressão da área em 40,49% em relação ao ano anterior, passando de 20,5 km² para 12,2 km². Em 2020 essa regressão continua, com o IAF atingindo 9 km², uma diminuição de 26,23% em relação ao resultado do ano anterior.

Apesar de ambos serem índices de vegetação, eles se diferenciaram bastante em sua área de ocorrência, onde os valores máximos de SAVI abrangeram mais áreas e obtiveram uma oscilação menor, pelo fato de que uma vegetação fotossinteticamente ativa compreende também áreas antropizadas, onde se desenvolvem plantios agrícolas (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009), que estão espalhados por toda a área de estudo, como por exemplo o plantio de grãos, legumes, frutas e hortaliças (SILVA et al. 2019), portanto, os valores mais positivos acabaram alcançando um crescimento no último ano, representando 20,06% da área total da APA do Cariri. O IAF, por sua vez, representa a vegetação em área de ocorrência, logo, ele traduz melhor a perda da vegetação, cujo um dos principais motivos para apresentar uma tendência negativa nos dois últimos anos, é o desmatamento. Por fim, o IAF corresponde apenas 5,69% da área de estudo.

Os resultados referentes a temperatura do solo, representados em graus Celsius, foram expressos na figura 6, a seguir.

Figura 6: Representação cartográfica em prancha da temperatura do solo em Celsius para a APA do Cariri, em todos os anos definidos na escala de tempo do estudo.



Fonte: Autor (2021).

Ao se incluir à discussão as informações sobre temperatura do solo, percebe-se que sua variação espacial no período de tempo analisado (Figura 6) mantêm a mesma representação dos índices de vegetação, onde áreas com maiores valores de IAF e SAVI, como as áreas de entorno dos afloramentos rochosos e a serra, que apresentam uma vegetação mais densa, do tipo

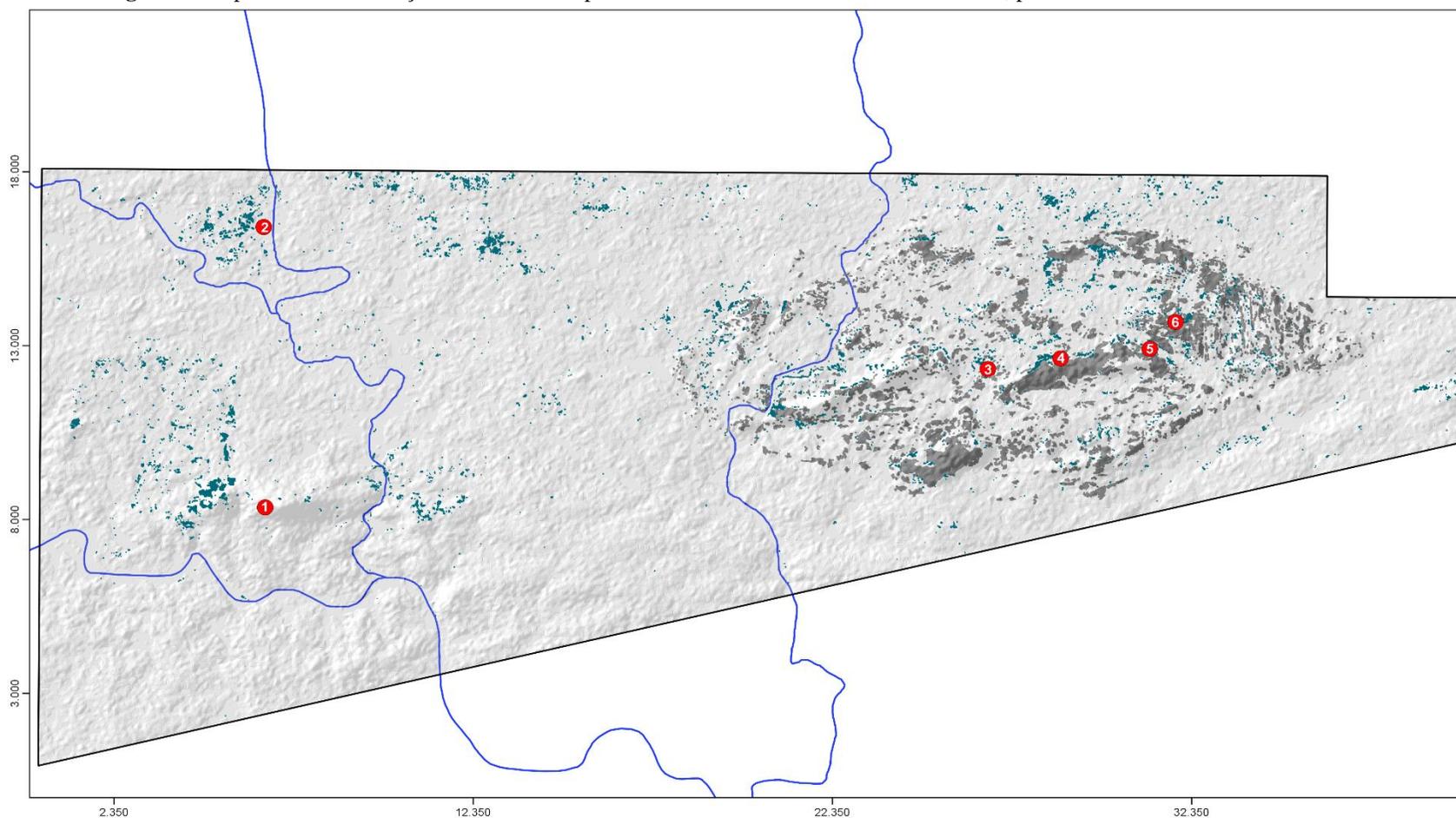
arbórea, obtiveram valores mais baixos de temperatura (inferior a 40°C) pois, uma vegetação de porte mais alto cria uma superfície mais rugosa, que absorve maior porcentagem da radiação incidente, determinando uma correlação inversa entre a altura da vegetação e o albedo do dossel (DICKINSON e HANSON, 1984).

Por sua vez, as áreas com menores valores de IAF e SAVI, que apresentaram vegetação mais esparsa, devido ao desmatamento, atingiram temperaturas mais elevadas (superiores a 40°C) constatando que a diminuição na cobertura vegetal reflete diretamente na temperatura da superfície. Os maiores valores que o cálculo da temperatura do solo geraram, estão entre 42°C a 44 °C e foram encontrados nas superfícies de afloramentos rochosos e também em áreas com solo exposto que podem estar passando por um processo de desertificação. Esses dados confirmam que o tipo de cobertura da superfície e a densidade da vegetação vai influenciar diretamente a temperatura e o albedo da superfície, haja visto, que o tipo de cobertura do solo, vai o proteger da insolação, amenizando a temperatura ambiente e do próprio solo (MACHADO et al. 2011).

4.4 HETEROGENEIDADE ESTRUTURAL E FLORÍSTICA DOS MINIBIOMAS EM ÁREAS DE CAATINGA

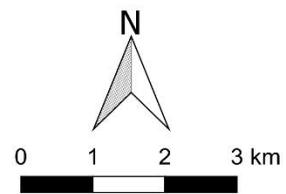
Para se alcançar um entendimento de como as áreas com maior valor positivo dos produtos gerados interagem entre si, estas foram espacializadas em conjunto com os dados vetoriais dos afloramentos rochosos, e então, foi aplicada uma intersecção desses dados, para restar apenas os pontos onde os três parâmetros compartilham a mesma área de ocorrência, gerando microcondições de umidade, como pode ser visto na figura 7.

Figura 7: Mapa das Microcondições de umidade espacializadas sobre o sombreamento do relevo, para toda a extensão da APA do Cariri.



Legenda

- Pontos - Campo
- Rede de Drenagem
- Minibiomas (Microcondições)
- Afloramentos Rochosos
- Limite da APA do Cariri



Fonte: Autor (2021)

Sistema de coordenadas geográficas

Datum: WGS 84

Fontes: Sentinel-2

Alos Palsar

Secretaria de

Meio Ambiente/PB

Esses resultados reforçam a necessidade de atividades *in loco*, para se compreender a dimensão dessas áreas apontadas como determinantes e aplicar a metodologia escolhida. Os Minibiomas aqui representados pelos resultados expressos na Figura 7 e também na Tabela 4, se distribuem principalmente nas áreas de topografia mais elevada, como a serra do Caruá que detém a maior altitude e também nas áreas mais rebaixadas que tem características particulares, como o entorno dos lajedos e as várzeas dos rios. Confirmando o papel dessas áreas como fontes mantenedoras de umidade.

Tabela 4: Quadro síntese dos resultados, referente a aplicação da metodologia adaptada de Cavalcanti (2014).

Pontos em campo	Minibiomas (WALTER, 1986)	Crítérios e Atributos	Vegetação: Florística (Forma)
1 – Serra do Caruá	• Orobioma	<ul style="list-style-type: none"> • Altitude: 576 m • Posição: Topo da Serra • Curvatura: Convexa • Declividade: Forte Ondulada • Extremamente pedregosa • Erosão não aparente 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão (Arbórea); • <i>Schinopsis brasiliensis</i> Engl. (Arbórea); • <i>Spondias tuberosa Arruda</i> (Arbórea); • <i>Jatropha mollissima (Pohl) Baill</i> (Arbórea); • <i>Sapium glandulosum (L.) Morong</i> (Arbórea); • <i>Mimosa ophthalmocentra Mart. ex Benth.</i> (Arbórea); • <i>Ceiba glaziovii (Kuntze) K.Schum.</i> (Arbórea).
2 – Terraço Fluvial	• Helobioma	<ul style="list-style-type: none"> • Altitude: 458 m • Posição: Base • Curvatura: Côncava • Declividade: Plana • Presença de canais de escoamento • Erosão Incipiente 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Prosopis juliflora (Sw.) DC.</i> (Arbórea); • <i>Tabebuia aurea (Silva Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore</i> (Arbórea); • <i>Encholirium spectabile</i> Mart. ex Schult. f. (Arbustiva); • <i>Tacinga palmadora</i> (Britton & Rose) N.P.Taylor & Stuppy (Arbustiva).

3/4/5/6 - Entorno dos Afloramentos	<ul style="list-style-type: none"> • Pedobioma 	<ul style="list-style-type: none"> • Altitude: (3) 489m; (4) 473m; (5) 478m; (6) 502m • Posição: Base dos Lajedos • Curvatura: Côncava • Declividade: Plana • Concentração de serapilheira • Erosão não aparente 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Hymenaea courbaril</i> L. (Arbórea); • <i>Tocoyena formosa</i> K.Schum. (Arbórea); • <i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam. (Arbórea); • <i>Myrcia tomentosa</i> (Aubl.) DC. (Arbórea); • <i>Ziziphus joazeiro</i> Mart. (Arbórea); • <i>Erythrina velutina</i> Willd (Arbórea); • <i>Libidibia ferrea</i> var. <i>leiostachya</i> (Benth.) L.P.Queiroz (Arbórea); • <i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong (Arbórea); • <i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan (Arbórea); • <i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) J.B.Gillett (Arbórea); • <i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore (Arbórea); • <i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos (Arbórea); • <i>Syagrus cearensis</i> Noblick. (Arbórea).
------------------------------------	---	--	--

Fonte: Autor (2021).

O primeiro ponto (figura 7) está na Serra do Caruá, se diferenciando de todos os outros por estar numa posição de topo de relevo montanhoso, a sua curvatura é convexa, o que significa que esta é uma zona de transporte de sedimentos e água. Apesar de contar com uma declividade acentuada, sua erosão foi incipiente, o que pode ser explicado por sua pedregosidade de mais de 50% (Figura 8), que faz o papel de proteger o solo contra a erosão, criando pontos de

acúmulo de sedimentos e água, mesmo em um relevo convexo. Essa microcondição local cria um Minibioma propício a permanência e alta diversidade de espécies com alto requerimento hídrico e a presença dessas espécies, por sua vez, geram uma quantidade maior de serrapilheira como pode visualizar *in loco* (Figura 9).

Figura 8: Área extremamente pedregosa, localizada na Serra do Caruá.



Fonte: Autor (2021).

Figura 9: Solo com maior presença de matéria orgânica, ocasionada pela serrapilheira decomposta.



Fonte: Autor (2021).

A pedregosidade também impediu de haver um maior desmatamento nessa área, ligado ao uso mais intensivo do solo, pois o acesso é mais difícil, havendo apenas uma pecuária extensiva (SILVA et al. 2019). Devido a sua posição topográfica ser o topo de uma serra, o clima se configura mais ameno que o seu entorno. De acordo com Marques (2014), serras e planaltos favorecem a ocorrência de zonas de clima úmido, pois, ficam expostas ao barlavento, resultando em um orografismo que garante uma maior umidade atmosférica no local. Logo, se entende que a confluência da topografia com a pedologia e a vegetação criou esse Orobioma, pontuado no mapa acima.

O ponto 2 (figura 7) está entre os rios Gurjão e Soledade, sendo considerado um terraço fluvial. Os terraços fluviais são superfícies formadas por sedimentos aluviais depositados ao longo das calhas fluviais. Essas áreas são relevantes pois apresentam os Neossolos flúvicos que são muito importantes para as atividades agrícolas tendo em vista a sua alta disponibilidade hídrica e a topografia plana, onde ele é encontrado (PERREIRA e SILVA, 2007). Justificando assim a sua identificação como um Minibioma que pode ser classificado como Helobioma, por estar numa área alagada de várzea.

Figura 10: Terraço Fluvial tomado por Algarobas (*Prosopis juliflora* (sw) D.C.).



Fonte: Autor (2021).

Devido a esse alto potencial agrícola, as populações locais desenvolvem nessas áreas os chamados cultivos de várzea, contudo, como pôde ser reparado em campo, toda a vegetação desse ponto de interesse foi substituída por Algaroba (Figura 10). A Algaroba é uma planta xerófila nativa de regiões áridas, que vão do sudoeste americano até a Patagônia, na Argentina. A introdução da Algaroba (*Prosopis juliflora* (sw) D.C.) no semiárido nordestino ocorreu na década de 1940, com o objetivo de transformar terras áridas em terras produtivas. Sua escolha como alternativa a essa situação se deu, em virtude de sua grande adaptação a temperaturas elevadas e solos mais pobres de nutrientes, outro ponto foi sua alta produtividade, que gera uma multiplicidade de usos da sua madeira (fornecimento de lenha, estaca, carvão) e fonte de alimento para os animais nos períodos secos (CUNHA e GOMES, 2012).

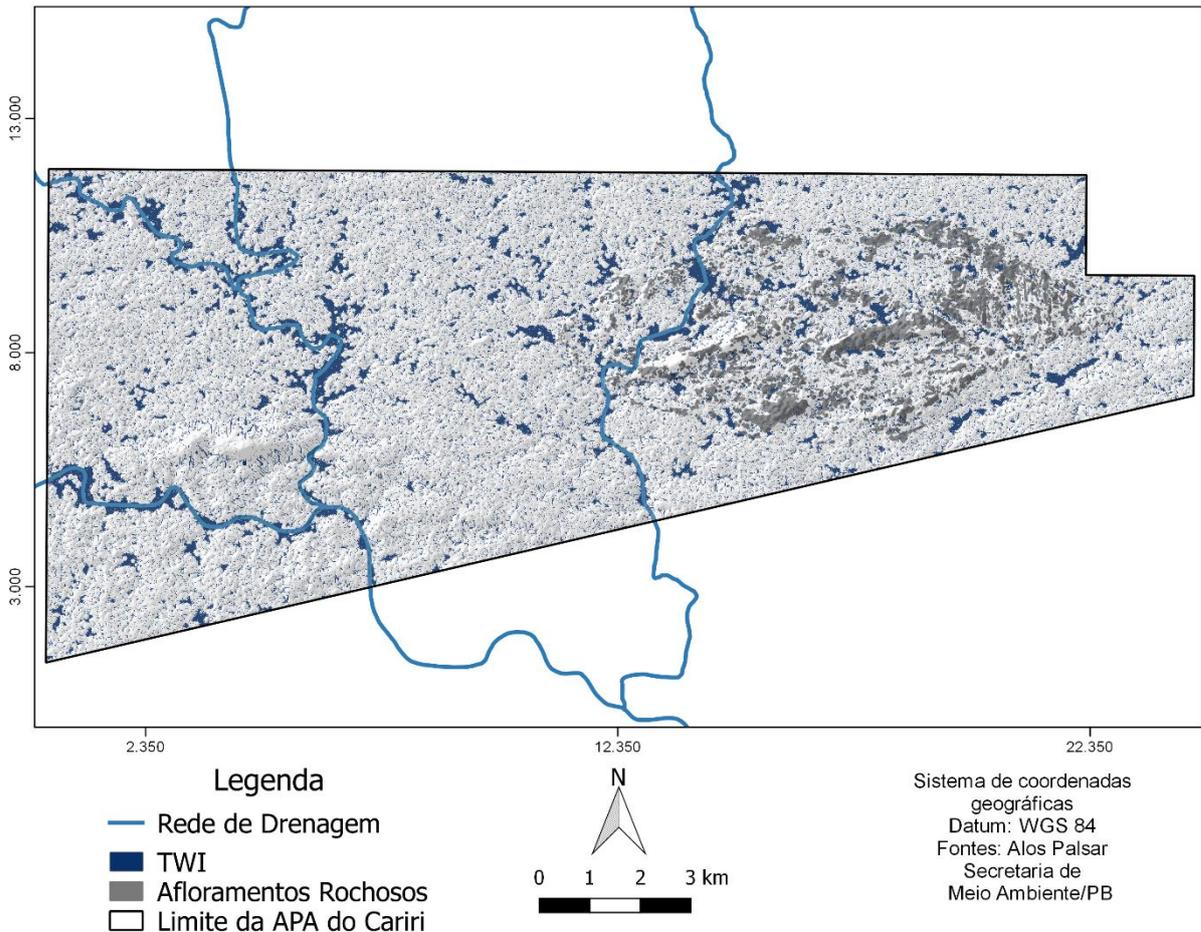
Em meados da década de 1980, a Algaroba já ocupava mais de 500 mil hectares no Nordeste, 90 mil deles plantados com recursos governamentais advindos do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), secretarias de agricultura e empresas de assistência técnica estaduais. A fim de desenvolver a atividade agropecuária na região, financiaram grandes proprietários rurais, através do Fundo de Investimento Setorial (FISSET) visando o reflorestamento como solução técnica para o desmatamento da cobertura vegetal nativa da Caatinga (ANDRADE, 2004; CUNHA e GOMES, 2012).

A falta de manejo e a criação extensiva do gado (que atua como dispersor das sementes) transformou a Algaroba em espécie invasora, se alastrando por vastas áreas da Caatinga, competindo com outras espécies e acarretando, segundo alguns pesquisadores, em sérios problemas, tanto para os ecossistemas locais como para os agricultores familiares, ou seja, um problema de ordem ambiental e social (ANDRADE, 2004; PEGADO et al., 2006; PERERA et al., 2005).

Os pontos 3, 4, 5 e 6 (figura 7) são muito semelhantes entre si, portanto, foram agrupados para a análise. Todos eles se localizam na base de um relevo formado por afloramentos rochosos, cuja curvatura do terreno é côncava, diretamente após uma curvatura convexa, com pouca pedregosidade, sem rochiosidade e contando com uma vegetação densa de extrato arbóreo. Essa descrição da análise em campo subsidiada pela metodologia aplicada, nos permitiu entender esses Minibiomas como Pedobiomas, pois a relação sistêmica desses fatores citados anteriormente, promovem a formação de solos diferenciados, com maior teor de matéria orgânica, estes se encaixam também na terminologia de Ab'Sáber (2003), sendo considerados Brejos de Encostas, em conformidade com as suas posições no relevo.

Com a aplicação do Índice Topográfico de Umidade (TWI), na área da APA do Cariri, essas semelhanças são enfatizadas, pois as potenciais áreas de acumulação de água e sedimentos mostradas pelo TWI, estão, em geral, associadas as áreas côncavas do terreno, como os pontos 3, 4, 5 e 6 foram classificados (Figura 11).

Figura 11: Mapa do índice topográfico de umidade para a APA do Cariri.

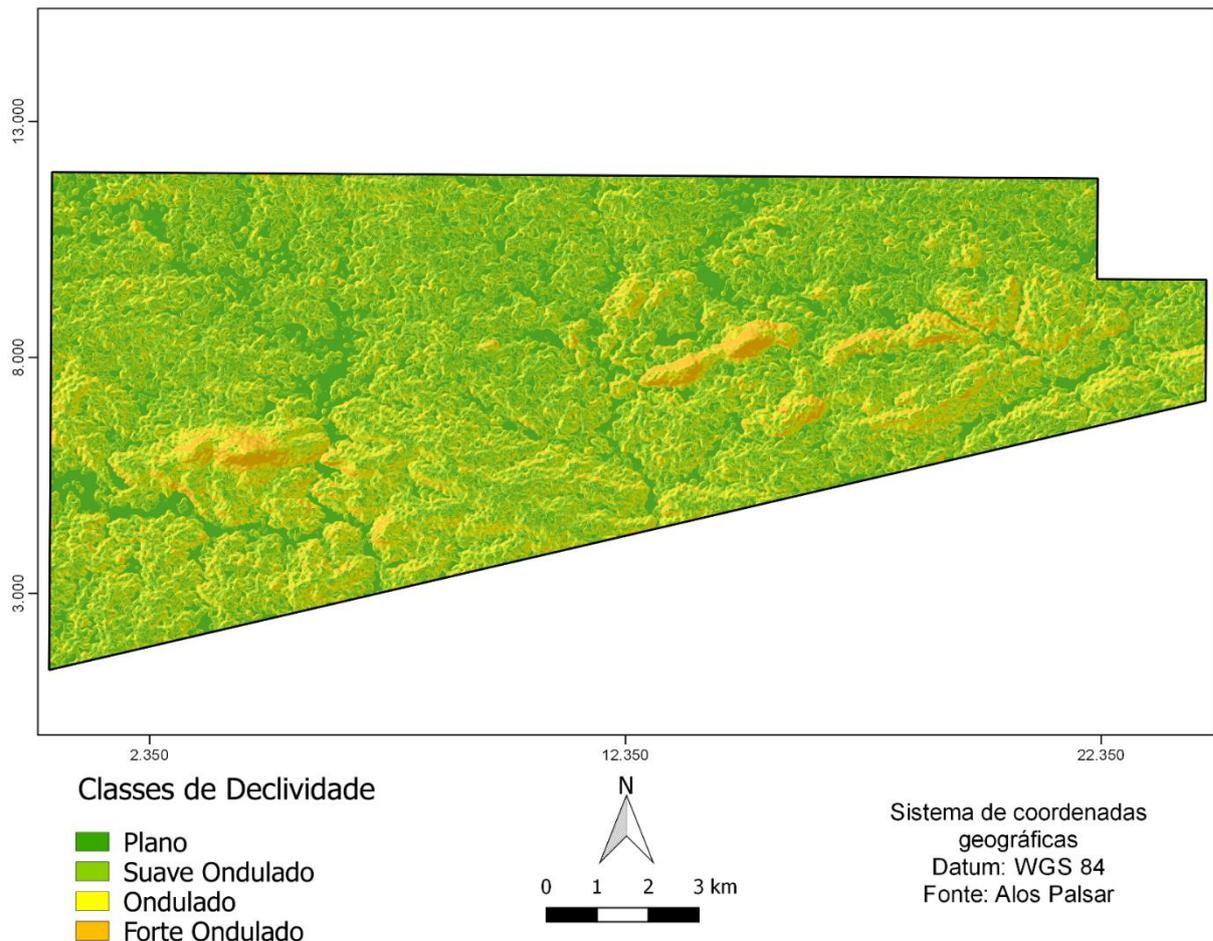


Fonte: Autor (2021).

A cada evento chuvoso, a água e os sedimentos erodidos vão sendo depositados em locais com topografia favorável, gerando múltiplas superfícies aluviais (BRAGA et al., 2014). As áreas de borda dos Afloramentos Rochosos, apresentam formato côncavo, recebendo altas taxas dos fluxos de chuva e sedimentos proveniente das partes mais elevadas das encostas, se mostrando como uma área potencial para o acúmulo de água, assim como o leito dos rios intermitentes. Os canais de rios que recebem essas águas e sedimentos, formam os depósitos aluvionais, possibilitando o armazenamento dessa água no subsolo, reduzindo sua perda pela alta evaporação do Semiárido.

A curvatura do relevo é preponderante na aceleração ou desaceleração dos fluxos da água sobre o terreno. Os Lajedos enquanto geradores de aporte hídrico, tem nas áreas de maior inclinação as maiores concentrações de escoamento de água e conseqüentemente as mais altas taxas de erosão, essas zonas são definidas como zonas de transporte (Figura 12). A partir da diminuição dessa inclinação, a água e os sedimentos que vinham sendo transportados, vão se depositando, conforme a forma do relevo vai se tornando côncava (BRACKEN e CROKE, 2007; FRYIRS e BRIERLEY, 2013). As formas geométricas do relevo, convexas e côncavas, estão interligadas como componentes da bacia de drenagem e são resultados da ação dos processos erosivos e/ou deposicionais no tempo. Entre os topos e os fundos dos vales transitam sedimentos e diversos elementos detriticos ou solúveis, por meio dos mecanismos associados a água em integração com as forças gravitacionais (COELHO NETTO, 2009).

Figura 12: Mapa de Declividade, classificado pela porcentagem de inclinação do relevo.



Fonte: Autor (2021).

Segundo Lunguinho (2018), as áreas de encostas dos afloramentos rochosos estudadas por ele na APA do Cariri, contribuem com 98,13% de aporte hídrico, para as áreas de entorno imediato, onde estas apresentaram uma captação de 2058524,05 L, o que corresponde a um total de 104,49 mm, contabilizados num período de 10 meses, que começou em outubro de 2016 e se estendeu até agosto de 2017. Observa-se que os volumes de água aportados pelas encostas, são muito consideráveis em relação ao que é captado diretamente pela chuva nas áreas de entorno dos afloramentos rochosos.

Essas condições topográficas são fundamentais no processo de formação da paisagem que se encontram em seus entornos, onde, em função desses aspectos, é possível o aparecimento de solos mais desenvolvidos e com alto potencial de matéria orgânica na superfície, o que se reflete na presença de espécies vegetais mais exigentes em água (BÉTARD et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2009).

Hassan et al. (2005) apresentam a importância da vegetação como mantenedora da umidade local que consequentemente contribui para uma maior riqueza de biodiversidade. Corroborando com esse fato, os levantamentos de espécies feitos em campo, destacaram a alta presença de espécies arbóreas nos pontos visitados e dentre essas espécies as que se destacam por sua exigência de água.

No ponto 1, encontramos espécies como a Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão); Baraúna (*Schinopsis brasiliensis* Engl.); Umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda); Pinhão brabo (*Jatropha mollissima* (Pohl) Baill.); Burra leiteira (*Sapium glandulosum* (L.) Morong); Maniçoba (*Manihot carthagenensis* subsp. *glaziovii* (Müll. Arg.) Allem.); Jurema vermelha (*Mimosa ophthalmocentra* Mart. ex Benth.) e Barriguda (*Ceiba glaziovii* (Kuntze) K.Schum.) No ponto 2 como citado anteriormente, avistamos uma grande concentração de Algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.) e algumas espécies arbustivas e herbáceas como Macambira de flecha (*Encholirium spectabile* Mart. ex Schult. f.) e Palma (*Tacinga palmadora* (Britton & Rose) N.P.Taylor & Stuppy).

A presença de Líquens, chamou a atenção em todos os pontos visitados, mas teve uma maior concentração no ponto 3 (Figura 13). Líquens são pioneiros na colonização de rochas nuas e pioneiros na sucessão ecológica em áreas naturais (LUMBSCH e LEAVITT, 2011). Estão distribuídos em todos os ecossistemas terrestres, desde os mais quentes e áridos, como desertos, aos mais frios como a floresta Boreal e Antártica (SØCHTING e CASTELLO, 2012). Todavia, sua distribuição está diretamente atrelada a disponibilidade de água no ambiente

(NASH, 2008). Apresentando-se como importantes biomonitoradores da qualidade ambiental e bioindicadores de microcondições de umidade (MENDONÇA et. al. 2013).

Figura 13: A formação de Líquens, incrustados em uma rocha.



Fonte: Autor (2021).

Nos pontos 3, 4, 5 e 6 a vegetação é bastante adensada (Figura 14), ocorrendo várias espécies arbóreas de grande porte as quais foram identificadas como Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.); Genipapo brabo (*Tocoyena formosa* K.Schum.); Mamica de Porca (*Zanthoxylum rhoifolium* Lam.); Juazeiro (*Sarcomphalus joazeiro* (Mart.) Hauenschild.); Mulungu (*Erythrina velutina* Willd); Pau ferro (*Libidibia ferrea* var.); Goiabinha (*Myrcia tomentosa* (Aubl.) DC); Tamboril (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong); Angico de Carço (*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan); Imburana de Cambão (*Commiphora leptophloeos* (Mart.) J.B.Gillett); Craibeira (*Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore); Ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos) e Catolé (*Syagrus cearensis* Noblick.).

Figura 14: Mosaico da vegetação densa e arbórea encontrada nos pontos 3, 4, 5 e 6, respectivamente.



Fonte: Autor (2021).

Dentre todas as espécies identificadas, o Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), o Genipapo brabo (*Tocoyena formosa* (Cham. & Schltdl.) K.Schum.), a Goiabinha (*Myrcia tomentosa* (Aubl.) DC), a Mamica de porca (*Zanthoxylum rhoifolium* Lam.) e o Pau ferro (*Libidibia ferrea* var. *leiostachya* (Benth.) L.P.Queiroz) têm suas ocorrências ligadas as áreas com biomas úmidos ou subúmidos, como a Mata Atlântica, Cerrado e até mesmo a Floresta Amazônica (MEDEIROS, 2019). O que corrobora com as informações relacionadas ao aporte hídrico gerado pelos afloramentos rochosos. Em função da disponibilidade hídrica presente em seus

entornos, acaba-se criando padrões distintos ao padrão xérico predominante de forma geral em áreas de Caatinga típica (Figura 15).

Figura 15: Vegetação densa e preservada em contraste com o padrão xérico da Caatinga típica.



Fonte: Autor (2021).

A cobertura vegetal tem uma estreita relação com a temperatura do ambiente, onde a condutividade térmica está ligada ao aumento de conteúdo de água, a água no sistema solo-planta busca sempre o equilíbrio termodinâmico (LACERDA, 2007; PREVEDELLO, 2010). A vegetação densa mantém a umidade no solo, através de processos relacionados a matéria orgânica gerada pela própria vegetação, o que contribui positivamente na diminuição da temperatura da superfície, pois o dossel denso tem a capacidade maior de interceptar os raios solares que se dirigem diretamente à superfície, atenuando assim a temperatura, criando um microclima específico abaixo do dossel (AMADO et al., 1990). Isso denota que qualquer alteração que porventura ocorra na cobertura vegetal, terá uma resposta no aumento da temperatura e diminuição da umidade, que poderá interferir no comportamento das plantas mais exigentes em água e menos resistentes ao déficit hídrico, causando um impacto no ecossistema (LIMA e AMORIM, 2011).

As informações sobre os solos referente aos pontos estudados, que estão presentes no banco de dados pesquisado, são o Cambissolo Háplico Tb Distrófico úmbrico no ponto 4 e o Neossolo Regolítico Eutrófico léptico arênico no ponto 5 e 6, ambos localizados nos entornos

dos afloramentos rochosos. O Cambissolo é um solo composto por argila de baixa atividade e de baixa fertilidade, isto afirma que mesmo tendo uma menor fertilidade, está área consegue manter uma vegetação densa e florestal pois a presença da argila o confere a capacidade de reter a água recebida pelos Afloramentos rochosos. O Neossolo Regolítico, por sua vez, se caracteriza por ser arenoso. Os solos arenosos do ponto de vista pedológico, tem alta capacidade de infiltração, porém retêm pouca água que é rapidamente drenada não havendo tempo para que a água esteja disponível para as plantas (IBGE, 2007). Ambos os solos apresentaram profundidades maiores de um metro, o que se diferencia do que é comum para a área de estudo, pois, de modo geral os solos do semiárido apresentam pouca profundidade (JACOMINE, 1996).

No que concerne à cobertura do solo, como foi observado em campo, se encontra a presença de matéria orgânica no horizonte superficial do solo, representada pela serapilheira produzida pela vegetação densa (Figura 16). A matéria orgânica melhora a qualidade do solo, aumentando a estabilidade dos seus agregados e outras características físicas decorrentes da agregação, tais como porosidade do solo, capacidade de infiltração, e de percolação da água (CUNHA et al. 2015) bem como passa a fazer o papel que seria da argila, retendo a água no solo. Reichardt (1987) afirma que a textura é o principal determinante na retenção de água, por atuar diretamente na área de contato entre as partículas sólidas e a água. Devido a essas características provenientes da presença da matéria orgânica, até solos arenosos como o Neossolo Regolítico, conseguem absorver e armazenar a água de forma efetiva em seu interior.

Figura 16: Alta disponibilidade de matéria orgânica em forma de serapilheira, disponibilizada pela vegetação densa presente no local.



Fonte: Autor (2021).

Após as interpretações dos dados obtidos, se faz necessário destacar o comportamento evidenciado pelas áreas de borda de lajedo e topo de serra, que nos proporcionaram visualizar a relação sistêmica de interdependência entre os elementos: topografia, solo e planta, que se mostraram como elementos chave na conservação do potencial de umidade dentro da área de estudo e também a influência deste potencial no ambiente.

Devido à dependência de água para a sua sobrevivência, a planta é um elemento que em razão de sua resposta rápida ao estresse hídrico provocado pela escassez de água, nos permitiu visualizar e compreender a dinâmica hidrológica, por meio do sensoriamento remoto, onde a distribuição, composição e estrutura das comunidades vegetais são influenciadas diretamente pelos padrões espaço temporais da disponibilidade de água (ASBJORNSEN et al. 2011).

Logo, a linha de raciocínio que permeou o processo de classificação dos Minibiomas perpassou pela influência que cada variável que deu nome à tipologia, exerceu na conservação do potencial de umidade destas áreas. Com ênfase na topografia que gerou um aporte hídrico inicial, que influenciou diretamente na presença de vegetação de maior porte, isto contribuiu para o desenvolvimento de solos mais desenvolvidos, no que tange a presença de matéria orgânica, o que está diretamente ligado à manutenção da própria vegetação e então na presença de maior umidade no ambiente, viabilizando estes diversos Minibiomas (BRESHEARS & BARNES, 1999).

5. CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados das relações entre as espécies encontradas em campo com as variáveis ambientais estudadas por sensoriamento remoto, estabeleceram a existência de diferentes Minibiomas e seus marcantes gradientes ambientais que contribuem para o estabelecimento de uma flora diversificada em escala local. A presença dos lajedos graníticos proporcionam condições específicas de umidade causadores da formação destes Minibiomas, influenciando na distribuição e composição das espécies arbóreas encontradas.

Essas microcondições de umidade são peças-chave para a caracterização dos diferentes tipos fitofisionômicos de Caatinga dentro de uma macrocondição de Caatinga típica. A importância ecológica e conservacionista dessas áreas deve ser cada vez mais enfatizada, uma vez que correspondem a áreas detentoras de uma flora rica e endêmica.

Contudo, a carência de estudos científicos para esse tipo de condição específica, evidencia a necessidade de se pesquisar mais a fundo sobre a distribuição de espécies e estrutura destes ambientes que estão dispersos pelo Bioma da Caatinga, assim como realizar pesquisas sobre a dinâmica dessas comunidades, a fim de se obter com melhor clareza os limites geográficos desses Minibiomas e avaliar o grau de conservação dos remanescentes florestais de Caatinga presentes neles, dado o elevado nível de degradação atual, dominante em grande parte dessa parte do país.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. **O Domínio Morfoclimático Semiárido das Caatingas Brasileiras**. Revista Geomorfologia, São Paulo, 1974.

AB'SÁBER, A. **Brasil, paisagens de exceção: o litoral e o Pantanal mato-grossense, patrimônios básicos**. Ateliê editorial, 2006.

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **Satellite-Based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Model**. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v. 133, p. 380-394, 2007.

ALMEIDA, S.A.O. **Determinação de redução de umidade superficial na região dos cerrados com imagens AVHRR/NOAA e precipitação pluviométrica**. Brasília: UNB, 1997. 316 p. Tese (Doutorado em Ecologia) – Curso de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade de Brasília, 1997.

AMADO, T. J. C.; DE MATOS, A. T.; TORRES, L.; **Flutuação de temperatura e umidade do solo sob preparo convencional e em faixas na cultura da cebola**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 25, n. 4, p. 625-631, 1990.

ANDRADE, L. A. **Os impactos provocados pela invasão da Algaroba na Caatinga nordestina**. Areia: UFPB/Fundação O Boticário de Proteção à Natureza, mimeo, 2004.

ARAÚJO, F. S. **Vegetação e flora fanerogâmica da área Reserva Serra das Almas, Ceará**. Análise das variações da biodiversidade do bioma Caatinga, p. 91, 2005.

ARAÚJO, J. S. B.; FARIAS, P. S. C.; SÁ, A. J.; **Mineração e industrialização da Bentonita e as transformações/permanências no espaço agrário de Boa Vista-PB: um estudo de caso dos Sítios Bravo e Urubu**. Revista de Geografia, v. 25, n. 3, p. 122-142, 2008.

ASBJORNSEN, H; GREGORY, R; ALVARADO-BARRIENTOS, M; REBEL, K; FLOORTJE, P; OSCH, V; RIETKERK, M; CHEN, J; GOTSCH, S; TOBO'N, C; GEISSERT, D; TAGLE, A; VACHE, K; DAWSON, T. **Ecohydrological advances and applications in plant–water relations research: a review**. *Journal Plant Ecology*, V.4, 2011.

AUGUSTO, R. C. **A Cartografia de Paisagens e a perspectiva geossistêmica como subsídios ao planejamento ambiental**. Revista Tamoios, v. 12, n. 1, 2016.

AVALIAÇÃO ECOSSISTÊMICA DO MILÊNIO. **Ecosistemas e bem-estar humano: Estrutura para uma avaliação**. Conselho de Avaliação Ecosistêmica do Milênio. São Paulo: Ed.SENAC, 2005. 379 p.

BALLÉN, L. A. C.; SOUZA, B, I.; LIMA, E, R. V. **Análise espaço-temporal da cobertura vegetal na área de proteção ambiental do Cariri, Paraíba, Brasil**. Boletim. Goiano de Geografia, v, 36, n, 3. p. 55-571, 2016.

BASTOS, F. H.; CORDEIRO, A. M. N. **Fatores naturais na evolução das paisagens no semiárido brasileiro: uma abordagem geral.** Revista Geonorte, Manaus, v. 2, n.4, p. 464-476, 2012.

BÉTARD, F; PEULVAST, J. P; SALES, V. **Caracterização morfopedológica de uma serra úmida no semi-árido do nordeste brasileiro: o caso do maciço de baturité-CE.** Revista Mercator - Revista de Geografia da UFC, ano 06, número 12, 2007.

BEZERRA, M.V.C.; SILVA, B.B.; BEZERRA, B.G. **Avaliação dos efeitos atmosféricos no albedo e NDVI obtidos com imagens de satélite.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, n.7, p.709-717, 2011.

BEZERRA, J. M.; MOURA, G. B.; SILVA, B. B.; LOPES, P. M.; SILVA, Ê. F. F. **Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 18, n. 1, p. 73-84, 2014.

BIGARELLA, J. J. BECKER, R. D. SANTOS, G. F. dos; PASSOS, e SUGUIO, K. Inselbergs, In: **Estrutura e origem das paisagens Tropicais e subtropicais.** Florianópolis: Ed. UFSC, vol. 3, 1994.

BIRKELAND, P.W.; **Soils and Geomorphology**, 3rd ed. Oxford University Press, New York. 1984.

BRACKEN, L. J.; CROKE, J. **The concept of hydrological connectivity and its contribution to understanding runoff-dominated geomorphic systems.** Wiley InterScience, v. 21, Hydrol. Process., p. 1749–1763, 2007.

BRAGA, C. C., BRITO, J. D., SANSIGOLO, C. A., & RAO, T. V. R.; **Tempo de resposta da vegetação às variabilidades sazonais da precipitação no Nordeste do Brasil.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, 11(1), 2003. 149-157.

BRAGA, R.A.P.; PAIVA, A.L.R.de; ARAÚJO FILHO, P.F.; CABRAL, J.J.S.P.; SILVA, A.V.da; GUSMÃO, P.T.de; CAVALCANTI, E.; FARIAS, C.R.; COSTA, W.D. **A sustentabilidade do uso da água subterrânea frente à exploração de areias em leito de rios do semiárido brasileiro.** In: XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Anais. Belo Horizonte, MG. 2014.

BRANCO, S. M. **Ecossistêmica: uma abordagem integrada dos problemas do meio ambiente.** São Paulo: Edgard Blücher, 1989. 143p.

BRASIL. Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000 (**Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC**) regulamentou os incisos I, II, III e VII do parágrafo 1º do art. 225 da Constituição Federal, ao estabelecer os critérios e normas para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=322>>. Acesso em: 20 de set. De 2020.

BRESHEARS, D; BARNES, F; **Interrelationships between plant functional types and soil moisture heterogeneity for semiarid landscapes within the grassland/forest continuum: a unified conceptual model.** Landscape Ecology, v.14, 1999.

- CARSON, M. A.; KIRKBY, M. J. **Hillslope form and process**. Cambridge, 1972.
- CAVALCANTI, L. **Cartografia da Paisagem: Fundamentos**. Ed. Oficina de Textos, São Paulo, 2014.
- CHAVES, I., FRANCISCO, P. R. M., DE LIMA, E. R. V., & CHAVES, L. H. G.; **Modelagem e mapeamento da degradação da caatinga**. Revista Caatinga, 28(1), 2015. 183-195.
- CHEN, J.M. et al. **Derivation and validation of Canada-wide coarse-resolution leaf area index maps using high-resolution satellite imagery and ground measurements**. Remote Sensing of Environment, v.80, p.165-184, 2002.
- CHERLET, M., HUTCHINSON, C., REYNOLDS, J., HILL, J., SOMMER, S. & VON MALTITZ, G., EDS.; **Aridity projections**. In World atlas of desertification. Luxembourg, Publication Office of the European Union. 2018.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec-Edusp, 1979. 106p.
- COELHO NETTO, A. L. **Hidrologia de encosta na interface com a Geomorfologia**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 9ª. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. p. 93-148.
- COPPIN, P.; JONCKHEERE, I.; NACKAERTS, K.; MUYS, B.; LAMBIN, E.; **Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review**. International Journal of Remote Sensing, v.25, n.9, p.1565-1596, 2004.
- CUNHA, L. H.; GOMES, R. A.; **A trajetória da Algaroba no semiárido nordestino: dilemas políticos e científicos**. Raízes: Revista de Ciências Sociais e Econômicas, v. 32, n. 1, p. 72-95, 2012.
- CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. M. S.; GIONGO, V. **Cap. 9 Matéria orgânica do solo**. In: NUNES, R. R.; REZENDE, M. O. O. (Org.). Recurso solo: propriedades e usos. São Carlos: Cubo, 2015, p. 273-293.
- BORATTO, I. M.; GOMIDE, R. L.; **Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais**. In: Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. Anais. São José dos Campos: INPE, 2013. p. 7345-7352., 2013.
- DELEGIDO, J., VERRELST, J., ALONSO, L., & MORENO, J.; **Evaluation of sentinel-2 red-edge bands for empirical estimation of green LAI and chlorophyll content**. Sensors, 11(7), 2011. 7063-7081.
- DICKINSON, R.E.; HANSON, B. **Vegetation-albedo feedbacks**. Climate Processes and Climate Sensitivity, v.29, p.180-186, 1984.
- EPIPHANIO, J. C. N.; **Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 31, n.6, p. 445-454, 1996.

FANCY, S.G.; GROSS, J.E.; CARTER, S.L. **Monitoring the condition of natural resources in U.S. National Parks.** Environmental Monitoring and Assessment, v. 151, n. 1-4, p.161-174, 2009.

FEITOSA, A; FECHINE, J. A. L; FERREIRA, C; ARAÚJO, M. S.; **Modelagem dinâmica de escoamento superficial influenciando a susceptibilidade à erosão dos solos num município do semiárido de Pernambuco.** II Seminário Ibero Americano de Geografia Física, v. 2, p.13, 2010.

FEITOSA, P. H. C., DE ANDRADE, K., BARBOSA, M. P.; **Avaliação do processo de degradação da cobertura vegetal em Serra Branca e Coxixola-PB.** Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, 5(1), 01-07. 2010.

FENG, S. & FU, Q.; **Expansion of global drylands under a warming climate.** Atmospheric Chemistry and Physics, 10081–10094. 2013.

FLORENZANO, T. G. **Geotecnologias na geografia aplicada: difusão e acesso.** Revista do Departamento de Geografia, v. 17, p. 24-29, 2005.

FRANCISCO, P. R. M., MEDEIROS, R. D., SANTOS, D., & MATOS, R. D.; **Classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o estado da Paraíba.** Revista Brasileira de Geografia Física, 8(04), 2015. 1006-1016.

FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. B.; LIMA, E. R. V.; BANDEIRA, M. M.; SILVA, B. B.; **Mapeamento da caatinga com uso de geotecnologia e análise da umidade antecedente em bacia hidrográfica.** Revista Brasileira de Geografia Física, v.5, n.3, 2012. p.676-693.

FRANZ, T; CAYLOR, K; KING, E; NORDBOTTEN, J; CELIA, M; RODRIGUEZITURBE, I. **An ecohydrological approach to predicting hillslope-scale vegetation patterns in dryland ecosystems.** Water Resources Research, v. 48, 2012.

FRYIRS, K. A.; BRIERLEY, G. J. **Geomorphic Analysis of River Systems: An Approach to Reading the Landscape.** Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2013.

GALVÃO, L. S., PONZONI, F. J., EPIPHANIO, J. C. N., & FORMAGGIO, A. R.; **Efeitos da geometria de visada sobre a determinação de índices de vegetação.** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10, 2001. 1403-1409.

GALVÍNCIO, J.D.; MOURA, M.S.B.de; SILVA, T.G.F.da; SILVA, B.B.da; NAUE, C.R. **LAI improved to dry forest in semiarid of the Brazil.** International Journal of Remote Sensing Applications, v.3, n.4, p.193-202, 2013.

GUTIERREZ-JURADO, H; VIVONI, E.; **Ecogeomorphic expressions of an aspect-controlled semiarid basin: I. Topographic analyses with high-resolution data sets.** Ecohydrology, 2013.

HASSAN, R; SCHOLLES, R; NEVILLE, A. **Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends,** v. 1, ISLAND PRESS: The Center for Resource Economics. Library of Congress, 2005.

HERNANDEZ, F. B. T.; NEALE, C. M. U.; TEIXEIRA, A. H. C.; TAGHVAEIAN, S. **Determining large scale actual evapotranspiration using agrometeorological and remote sensing data in the northwest of São Paulo state, Brazil**. *Acta Horticulturae*, v.1038, p.263-270, 2014.

HUETE, A.R. **Adjusting vegetation indices for soil influences**. *International Agrophysics*, v.4, n.4, p.367-376, 1988.

IBESA – **Projeto de Implantação de Bacias Experimentais do Semiárido**. Relatório Técnico, FINEP FUNPEC, 2004. IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 02 fev. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico de Pedologia**, 2ª edição. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Diretoria de Geociências. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Manuais Técnicos em Geociências, número 4, 2007, p. 316.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de biomas do Brasil: primeira aproximação**. IBGE, Rio de Janeiro, 2004.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO (INSA). **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, 2011.

JACOMINE, P. T. K. **Solos sob caatinga: características e uso agrícola**. In: ALVAREZ V., V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Universidade Federal de Viçosa, 1996. p. 96-111.

JEMMA, F. **GIS Application to Water Resources Management in the Land Planning Context: A Methodological Proposal**. *Revista International Association of Hydrological Sciences (IAHS)*, ed. 211 p. 101 a 106, 1993.

LACERDA, C. F. **Relações Solo-água-plantas em ambientes naturais e agrícolas do nordeste Brasileiro**. Promoção (Departamento de Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

LAGES, G. A.; MARINHO, M. S.; NASCIMENTO, M. A. L.; MEDEIROS, V. C.; DANTAS, E. L. FIALHO, D. **Mar de Bolas do Lajedo do Pai Mateus, Cabaceiras, PB – Campo de matacões graníticos gigantes e registros rupestres de civilização pré-colombiana**. In: *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*, 2013.

LANG, S.; BLASCHKE, T.; **Análise da Paisagem com SIG [Brazil version]**. 2009.

LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; DA SILVA, J. M. C.; **Ecologia e conservação da Caatinga**. Editora Universitária UFPE, 2003.

LEIVAS, J.F.; TEIXEIRA, A.H. C.; ANDRADE, R.G.; VICTORIA, D. de C.; SILVA, G.B.; BOLFE, E.L. **Application of agrometeorological spectral model in rice area in southern Brazil**. *Proceedings of SPIE*, v. 9637, p. 96372B-1-96372B-8, 2015.

LIMA, V.; AMORIM, M. C.; **A utilização de informações de temperatura da superfície, do NDVI e de temperatura do ar na análise de qualidade ambiental urbana.** XV Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, p. 1028-1035, 2011.

LINARES-PALOMINO R, OLIVEIRA-FILHO AT, PENNINGTON RT. **Neotropical seasonally dry forests: diversity, endemism and biogeography of woody plants.** In: Dirzo R, Mooney H, Ceballos G, Young H, eds. *Seasonally dry tropical forests: ecology and conservation.* Washington D.C.: Island Press, 3–21. 2011.

LOPES, H.L.; SILVA, B.B.; TEIXEIRA, A.H. **Spatialization of instantaneous and daily average net radiation and soil heat flux in the territory of Itaparic, Northeast Brazil.** Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems and Hydrology XIV, proceedings, v. 8531, 2012.

LUMBSCH, H. T., LEAVITT, S. D. **Goodbye morphology? A paradigm shift in the delimitation of species in lichenized fungi.** Fungal Diversity, v. 50, n. 1, p. 59–72, 2011.

LUNGUINHO, R. L. **Nos caminhos dos relevos residuais. Contribuição a ecohidrologia de encostas no semiárido brasileiro.** Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal da Paraíba. Programa de Pós-graduação em Geografia, João Pessoa-PB, 2018.

MACHADO, C. C. C. **Alterações na superfície do Parque Nacional do Catimbau/PE: consolidação dos aspectos biofísicos na definição dos indicadores ambientais do bioma Caatinga.** 221f. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Ciência Geográficas, Universidade Federal de Pernambuco, 2014. Recife.

MACHADO, C.C.C.; GALVÍNCIO, J.D.; OLIVEIRA, T.H. **Análise espacial e temporal do IVAS e do Albedo da superfície no município de São José de Sabugi - PB.** Geografia, v.36, p.359-369, 2011.

MAIA, R; NASCIMENTO, M. **Relevos graníticos do nordeste brasileiro.** Revista Brasileira de Geomorfologia. (Online), São Paulo, v.19, n.2, (Abr-Jun) p.373-389, 2018.

MARQUES NETO, R. **A abordagem sistêmica e os estudos geomorfológicos: algumas interpretações e possibilidades de aplicação.** GEOGRAFIA. v.17, p. 67-87, 2008.

MARQUES, A. L.; SILVA, J. B. **Refúgios Úmidos do Semiárido: Um Estudo sobre o Brejo de Altitude de Areia-PB.** GEOTemas, Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil, v.4, n.2, p.17-31, jul./dez., 2014.

MARTINELLI. M; PEDROTTI. F. **A cartografia das unidades de paisagem: Questões metodológicas.** Revista do departamento de Geografia, v.4, 39 – 46, 2001.

MEDEIROS, J. **Diversidade Florística e de Paisagens no Lajedo da Salambaia, Cariri Paraibano.** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal da Paraíba. Paraíba, p. 94. 2019.

MENDONÇA, O. APTROOT, CÁCERES, M. E.; **Two new species of *Cryptothecia* from NE Brazil.** The Lichenologist, v. 45, n. 3, p. 361–365, 2013.

MILES, L., NEWTON, A.C., DEFRIES, R.S., RAVILIOUS, C., MAY, I., BLYTH, S., KAPOS, V. & GORDON, J.E.; **A global overview of the conservation status of tropical dry forests.** J. Biogeogr. 33:491-505. 2006.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. **Uma Revisão da Dinâmica das Chuvas no Nordeste Brasileiro.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 17, n. 1, p 1-10, 2002.

MORIN, E. **O Método 1: a natureza da natureza.** Publicações Europa-América Ltda. 1977.

MORO, M. F. **Síntese florística e biogeográfica do domínio fitogeográfico da caatinga: Floristic and biogeographical synthesis for the caatinga phytogeographical domain.** Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Instituto de Biologia. 2013.

MORO, M. F., LUGHADHA, E. N., DE ARAÚJO, F. S., & MARTINS, F. R.; **A phytogeographical metaanalysis of the semiarid Caatinga domain in Brazil.** The Botanical Review, 82(2), 2016. 91-148.

MORO, M.F.; ARAÚJO, F.S; RODAL, M.J.N.& MARTINS, F.R. **Síntese dos estudos florísticos e fitossociológicos realizados no semiárido brasileiro (no prelo).** Eisenlohr, P.V. (eds.). Fitossociologia no Brasil: métodos e estudos de caso. Vol. II. Editora da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2015.

NASCIMENTO, S.S.; ALVES, J.J.A. **Um Alerta Ambiental do Grau da Desertificação no Estado da Paraíba.** Encontro Internacional de Geografia: Tradições e Perspectivas. Universidade de São Paulo-USP, 2008.

NASH, T. H. III. **Lichen Biology.** Cambridge, Cambridge University Press. p. 498, 2008.

NIMER, E. **Climatologia da Região Nordeste do Brasil: Introdução à climatologia dinâmica.** Revista Brasil. Geogr. 34:3-51. 1972.

NIMER, Edmon. **Climatologia do Brasil.** IBGE, 1989.

NOVO, E.M.L. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações.** 2. Ed. São Paulo: Edigard Bliicher Ltda, 2008, 363p.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Introdução à complexidade.** In: Nussenzveig, H. M. (org.). Complexidade e caos. Rio de Janeiro, Editora UFRJ/COPEA, 1999, p.9-26.

OLIVEIRA, L.M.M. **Estimativa da evapotranspiração real por sensoriamento remoto na bacia do rio Tapacurá - PE.** Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Pernambuco, Recife - Brasil, 2012, 136p.

OLIVEIRA, L; FONTES, M; RIBEIRO, M; KER, J. **Seção v - gênese, morfologia e classificação do solomorfologia e classificação de luvisolos e Planossolos desenvolvidos de rochas Metamórficas no semiárido do Nordeste brasileiro.** R. Brasileira de Ciência do Solo, 33:1333-1345, 2009.

PARAÍBA. Decreto nº 25.083, de 08 de junho de 2004. **Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental do Cariri. João Pessoa, 2004.** Disponível em: <<http://www.sudema.pb.gov.br>>. Acesso em 18 de set. 2020.

PATRIARCA, C., BAKO, M., BRANTHOMME, A., FRESCINO, T. S., HADDAD, F. F., HAMID, A. H., ... & ZIADAT, F.; **Trees, forests and land use in drylands: The first global assessment.** FAO Forestry Paper No. 184. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 184 p. 2019.

PEGADO, C. M. A; ANDRADE, L. A.; FÉLIX, L. P. e PEREIRA, I. M. **Efeitos da invasão biológica de algaroba - *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. Sobre a composição e a estrutura do estrato arbustivo-arbóreo da caatinga no Município de Monteiro, PB, Brasil.** Acta bot. bras., v. 20 (04): 887-898, 2006.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas.** Gauíba: Livraria e Editora Agropecuária Ltda., 2002, 478p.

PEREIRA, R. C. M; SILVA, E. V. **Solos e vegetação do Ceará: características gerais.** In: SILVA, J. B.; CAVALCANTE, T. C.; DANTAS, W. C. (Orgs.). Ceará: um novo olhar geográfico. 2. ed. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007. 480p

PERERA, A.N.F.; PASIECZNIK, N.M.; SMITH, S.J.; HARRIS, P.J.C.; PERERA, E.R.K. e PREMALAR, G.C. **Turning invasive *Prosopis* to improving livelihoods in Sri Lanka.** 17th Commonwealth Forestry Conference, Colombo, Sri Lanka, 2005.

PIRES, G. G. **Estudos ecológicos de microambientes em áreas de Florestas Tropicais Sazonalmente Secas (FTSS).** Tese de Doutorado. Dissertação (mestrado em Engenharia Florestal) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestais, Universidade Federal de Lavras, UFLA. 2012.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação.** São José dos Campos: Parêntese, v.1, 2009, 127p

PREVEDELLO, C. **Energia Térmica do Solo,** In: Física do Solo. Viçosa - MG: Ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010.

RÊGO, S, LIMA, P; LIMA, M; MONTEIRO, T. **Análise Comparativa dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI no município de São Domingos do Cariri-PB.** Revista Geonordeste, Ed. Especial, v.2,n4, 2012, p.1217-1225.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas.** São Paulo, 1987. 188p.

ROBINOVE, C.J.; CHAVEZ, P.S.; GEHRING, D.; HOLMGREN, R. **Arid land monitoring using Landsat albedo difference images.** Remote Sensing of Environment, v.11, p.133-156, 1981.

RODRIGUES, J; ANDRADE, E; PALACIO, H; MENDONÇA, L. **Comparativo Hidrológico em Pequenas Bacias Semiáridas.** In: I Simpósio Brasileiro de Recursos Naturais do Semiárido. 2013.

ROSA, R. **Geotecnologias na geografia aplicada**. Revista do Departamento de Geografia, v. 16, p. 81-90, 2005.

SAFRIEL, U., ADEEL, Z., NIEMEIJER, D., PUIGDEFABREGAS, J., WHITE, R., LAL, R., WINSLOW, M., ZIEDLER, J., PRINCE, S., ARCHER, E. & KING, C. **Dryland systems**. In R. Hassan, R. Scholes & N. Ash, eds. *Ecosystems and human well-being: current state and trends*. Millennium Ecosystem Assessment, pp. 623-662. Island Press. 2005.

SCORIZA, R. N.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; **Influência da precipitação e temperatura do ar na produção de serapilheira em trecho de Floresta Estacional em Sorocaba, SP**. Floresta, v. 44, n. 4, p. 687-696, 2014.

SILVA, E. T. J. B. **Utilização dos índices de Vegetação do Sensor MODIS para Detecção de desmatamentos no Cerrado: Investigação de Parâmetros e Estratégias**. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2004. 146.

SILVA, A. A. **Contribuição ao estudo das Bentonitas do município de Boa Vista estado da Paraíba**. Tese/Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

SILVA, L. G.; GALVÍNIO, J. D. **Análise comparativa da variação nos índices NDVI e SAVI no Sítio PELD – 22, em Petrolina – PE, na primeira década do século XXI**. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 5, n. 6, p. 1446-1456, 2012.

SILVA, A.M.; R.M. SILVA; B.B. SILVA. **Determinação de Temperatura da Superfície e Estimativa do Saldo de Radiação e Evapotranspiração Usando Imagens Landsat e Dados Observados**. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 67/6, p. 1203 – 1216, 2015.

SILVA, L. F.; SOUZA, B. I.; BACANI, V. M.; **Intensidade da Ação Antrópica na Área de Proteção Ambiental do Cariri paraibano**. *Caminhos de Geografia*, v. 20, n. 71, p. 364-383, 2019.

SILVA, R. A. B.; **Balanco hídrico em Neossolo Regolítico cultivado com braquiária (Brachiaria decumbens Stapf)**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, n. 1, p. 147-157, 2014.

SØCHTING, U.; CASTELLO, M. **The polar lichens Caloplaca darbishirei and C. soropelta highlight the direction of bipolar migration**. *Polar Biology*, v. 35, p. 1143–1149, 2012.

SOUZA, B. I. **Cariri Paraibano: Do Silêncio do Lugar à Desertificação**, Rio Grande do Sul. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008, Porto Alegre.

SOUZA, B.C., OLIVEIRA, R. S., ARAÚJO, F. S., LIMA, A. L., & RODAL.; **Divergências funcionais e estratégias de resistência à seca entre espécies decíduas e sempre verdes tropicais**. *Revista Rodriguesia*, 66, 21-32, 2015.

SOUZA, J. **Modelos de Evolução da Dinâmica Fluvial em Ambiente Semárido – Bacia do Riacho do Saco, Serra Talhada, Pernambuco**; Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco. 2014, Recife.

SVORAY, T; KARNIELI, A. **Rainfall, topography and primary production relationships in a semiarid ecosystem**. *Ecohydrology*, 2011.

TEIXEIRA, A. H. C.; HERNANDEZ, F.B.T.; LOPES, H.L.; SCHERER-WARREN, M.; BASSOI, L.H.; **A Comparative Study of Techniques for Modeling the Spatiotemporal Distribution of Heat and Moisture Fluxes in Different Agroecosystems in Brazil**. In: George G. Petropoulos. (Org.). *Remote Sensing of Energy Fluxes and Soil Moisture Content*. 1ed. Boca Raton, Florida: CRC Group, Taylor and Francis, 2014, p. 169-191.

TEIXEIRA, A. H. C.; PADOVANI, C. R.; ANDRADE, R. G.; LEIVAS, J. F.; VICTORIA, D. DE C.; GALDINO, S. **Use of MODIS images to quantify the radiation and energy balances in the Brazilian Pantanal**. *Remote Sensing*, v. 7, p. 14597-14619, 2015.

TEIXEIRA, A.H.C. **Determining regional actual evapotranspiration of irrigated crops and natural vegetation in the São Francisco River Basin (Brazil) using remote sensing and Penman-Monteith equation**. *Remote Sensing*, v.2, n.5, p.1287-1319, 2010.

THOMAS, David. **Arid Zone Geomorphology**. London, UK: Belhaven Press, 1989. 372.

VALE, Cláudia Câmara. **Teoria geral do sistema: histórico e correlações com a geografia e com o estudo da paisagem**. *Entre-Lugar*, v. 3, n. 6, p. 85-108, 2012.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. **Ecorregioes propostas para o Bioma caatinga. Recife: Associação Plantas do Nordeste, Instituto de Conservação Ambiental**. *The Nature Conservancy do Brasil*, v. 74, n. 07, 2002.

VICENTE, L. E.; PEREZ FILHO, A.; **Abordagem sistêmica e geografia**. *GEOGRAFIA*. v.28, n.3, p.323-344. Rio Claro: 2003.

WALTER, H. **Vegetação e zonas climáticas: tratado de ecologia global**. São Paulo: E.P.U., 1986, 325p.

WANG, Y. **Remote sensing of protected lands: an overview**. In: Wang, Y. (Ed.) *Remote sensing of protected lands*. Boca Raton: CRC Press, 2012, 582p

XU, H. **Extraction of Urban Built-up Land Features from Landsat Imagery Using a Thematic-oriented Index Combination Technique**. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 73, n. 12, p. 1381-1391, 2007.

ZANELLA, M. E. **As características climáticas e os recursos hídricos do Ceará**. In: SILVA, J. B.; CAVALCANTE, T. C.; DANTAS, W. C. (Orgs.). *Ceará: um novo olhar geográfico*. 2. ed. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007. 480p.