



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
E GESTÃO DE RECURSOS NATURAIS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**ANÁLISE DE TENDÊNCIA DA MUDANÇA NA COBERTURA  
VEGETAL NA MESORREGIÃO DA BORBOREMA PARAIBANA**

**JADSON DOS SANTOS MACIEL**

**CAMPINA GRANDE-PB  
OUTUBRO/2021**

**JADSON DOS SANTOS MACIEL**

**ANÁLISE DE TENDENCIA DA MUDANÇA NA COBERTURA  
VEGETAL NA MESORREGIÃO DA BORBOREMA PARAIBANA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais.

**Orientador:** PROF. DR. MADSON TAVARES SILVA

**Área de concentração:** Engenharia de Recursos Naturais

**Subárea:** Processamento de dados ambientais

**CAMPINA GRANDE-PB**

**OUTUBRO/2021**

M152a Maciel, Jadson dos Santos.  
Análise de tendência da mudança na cobertura vegetal na mesorregião da Borborema paraibana / Jadson dos Santos Maciel. – Campina Grande, 2021.  
62 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2021.  
"Orientação: Prof. Dr. Madson Tavares Silva".  
Referências.

1. Uso e Cobertura do Solo. 2. Caatinga. 3. Sensoriamento Remoto. I. Silva, Madson Tavares. II. Título.

CDU 631.4:528.8:582.093(813.3) (043)

JADSON DOS SANTOS MACIEL

**ANÁLISE DE TENDENCIA DA MUDANÇA NA COBERTURA  
VEGETAL NA MESORREGIÃO DA BORBOREMA PARAIBANA**

APROVADO EM: 21/10/2021

BANCA EXAMINADORA:

---

**Prof. Dr. Madson Tavares Silva**  
Orientador (UACA/CTRN/UFCG)

---

**Prof. Dr. Carlos Antônio Costa dos Santos**  
Avaliador interno (UACA/CTRN/UFCG)

---

**Prof. Dr. Rafael Albuquerque Xavier**  
Avaliador Externo (CEDUC/DG/UEPB)

**CAMPINA GRANDE-PB**  
**OUTUBRO/2021**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
POS-GRADUACAO EM RECURSOS NATURAIS  
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina  
Grande/PB, CEP 58429-900

REGISTRO DE PRESENÇA E ASSINATURAS

### **ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**

Ata da décima sétima sessão pública de Defesa de **Dissertação** do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais – PPGEGRN do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais – CTRN da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Ao vigésimos primeiro dia do mês de outubro de 2021, às **08:30** horas, **por meio de videoconferência** reuniu-se na forma e Termos do Art. 62 do Regulamento Geral dos Cursos e Programas de Pós-Graduação “Stricto Sensu” da UFCG e do Regulamento do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, Resolução 02/2019 do Colegiado Pleno do Conselho Superior de Ensino, Pesquisa e Extensão – CONSEPE/UFCG, a Banca Examinadora composta pelos professores/pesquisadores Prof.(a) Dr.(a) **Madson Tavares Silva/UFCG**, como orientador(a) principal; Prof.(a.) Dr.(a.) **Carlos Antonio Costa dos Santos/UFCG** como membro interno; Prof.(a.) Dr.(a) **Rafael Albuquerque Xavier/UEPB**, como membro externo; a qual foi constituída pela Portaria **PPGEGRN SEI N°35/2021** da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, juntamente com **Sr(a) Jadson dos Santos Maciel** candidato(a) ao Grau de **Mestre** em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais. Abertos os trabalhos, o(a) Senhor (a) Presidente da Banca Examinadora, Prof.(a.) Dr(a). **Madson Tavares Silva/UFCG**, anunciou que a sessão tinha a finalidade de julgamento da apresentação e de defesa da Dissertação sob o título: ***“Análise de tendência da mudança na cobertura vegetal na mesorregião da Borborema paraibana.”*** Área de Concentração: **ENGENHARIA DE RECURSOS NATURAIS**, orientada pelo(a) Professor(a) Dr. **Madson Tavares Silva /UFCG**. O(A) presidente concedeu à palavra o(a) candidato(a) para, no prazo de tempo estipulado, efetuar a apresentação de seu trabalho. Concluída a exposição do(a) candidato(a), o(a) Presidente iniciou a segunda etapa do processo de defesa passando a palavra a cada membro da Banca Examinadora para as devidas considerações, correções e arguição do(a) candidato(a). Em seguida, a Banca Examinadora solicitou a saída dos presentes para, em sessão secreta, avaliar a apresentação e defesa. Após chegar a uma decisão final, a Banca Examinadora solicitou o retorno da Assembleia e anunciou, de conformidade com o que estabelece o Art. 57 do Regulamento do Programa de Pós- Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, o Conceito **APROVADO**, o qual será atribuído após O(a) candidato(a), no prazo máximo de 60 (sessenta) dias, efetuar as correções e modificações sugeridas e aprovadas pela Banca Examinadora. Nada mais havendo a tratar pelo Coordenador, pelo candidato e pelos membros da Banca Examinadora.

Campina Grande, 21 de outubro de 2021.

Assinaturas:

Candidato(a) Jadson dos Santos Maciel

Presidente Dr. Madson Tavares Silva /UFCG

Examinador Dr. Carlos Antônio Costa dos Santos /UFCG

Examinador Dr. Rafael Albuquerque Xavier /UEPB



Documento assinado eletronicamente por **MARIA DE FATIMA MARTINS, COORDENADORA DE PÓSGRADUAÇÃO**, em 14/12/2021, às 20:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JADSON DOS SANTOS MACIEL, Usuário Externo**, em 14/12/2021, às 22:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **MADSON TAVARES SILVA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/12/2021, às 10:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **CARLOS ANTONIO COSTA DOS SANTOS, PROFESSOR DOMAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/12/2021, às 11:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **RAFAEL ALBUQUERQUE XAVIER, Usuário Externo**, em 15/12/2021, às 15:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **2019154** e o código CRC **7CBB3875**.

*“Medicina, direito, administração, engenharia, são atividades nobres, necessárias à vida. Mas a poesia, a beleza, o romance, o amor, são as coisas pelas quais vale a pena viver.”*

(Sociedade dos Poetas Mortos)

## **DEDICATORIA**

Ao me avô, padrinho e incondicional amigo Francisco Clemente dos Santos, que  
infelizmente não pôde ver essa conquista, dedico.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a DEUS por sempre estar comigo em todos os momentos de minha vida e por ter me dado forças para seguir em frente.

A minha querida mãe Selma Gomes dos Santos Maciel, ao meu pai Josenilson Barbosa Maciel por me darem o dom da vida.

A minha amada esposa Monaliza Barbosa por me incentivar a nunca desistir de tudo aquilo que almejo.

Ao meu pequeno filho, Arthur Maciel que espero que possa me desculpar quando estou ocupado e não posso lhe dar atenção.

Aos meus irmãos Maria Juliany, Jeany e Jean Maciel pelo conforto do lar

A sempre presente Monaliza Geovana, grande amiga que sempre ficou a meu lado em todos os momentos.

Ao amigo Robson Fernandes Barbosa pela disposição a ajudar no fim da escrita.

A turma de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais pelos momentos de interação pessoal e virtual durante este período de minha vida.

Aos professores que cederam um pouco de seu tempo e paciência durante esta caminhada durante as disciplinas do mestrado e pelas contribuições a este trabalho.

A Universidade Federal de Campina Grande pela estrutura e possibilidade de pesquisa.

Ao CAPES pelo suporte financeiro.

E por último ao meu orientador Madson Tavares Silva, inicialmente pela paciência em reestruturar a gênese deste trabalho e me mostrar um novo caminho de pesquisa científica e por além de me passar muito mais que conhecimento e técnica me mostrar que existem outras possibilidades de se fazer pesquisa.

Enfim, a todos que contribuíram um pouco para a construção deste trabalho, meu muito obrigado.

## Sumário

	Pág.
1. Introdução .....	14
2. Objetivos.....	17
3. Fundamentação teórica.....	18
3.1 Dinâmica da variação da cobertura do solo .....	18
3.2 Impacto na perda da cobertura vegetal em regiões semiáridas.....	19
3.3 Antinomia entre natureza e sociedade na dinâmica de formação do espaço.....	21
3.4 Uso do sensoriamento remoto em estudos no semiárido do Brasil.....	22
3.5 Análise de séries temporais em dados ambientais .....	23
4. Materiais e Métodos.....	25
4.1 Localização da área de estudo.....	25
4.2 Obtenção da base de dados.....	27
4.3 Análise Estatística.....	27
4.3.1 Teste de Mann-Kendall (MK).....	27
4.3.2 Teste não paramétrico da inclinação de S – Sen’s Slope.....	29
4.3.3 Teste de Homogeneidade de Pettitt.....	29
4.3.4 Análise de Agrupamento .....	30
5. Resultados e Discussão.....	31
5.1 Uso e Cobertura do Solo.....	31
5.2 Variação temporal total da cobertura vegetal.....	35
5.3 Análise de agrupamento na Mesorregião da Borborema Paraibana.....	44
5.4 Tendências nas séries históricas de cobertura de caatinga .....	46
Conclusões.....	54
Referências .....	55

## Lista de Figuras

	Pg.
Figura 1. Localização Geográfica da Mesorregião da Borborema/PB.....	23
Figura 2. Uso e cobertura da Mesorregião Borborema Paraibana.....	32
Figura 3. Variabilidade temporal da área com cobertura vegetal de Caatinga na Mesorregião da Borborema paraibana.....	33
Figura 4. Variabilidade espaço-temporal da área de cobertura vegetal de Caatinga dos municípios na Mesorregião da Borborema paraibana no período de 1985 a 2019.....	35
Figura 5. Fluxo da transição da cobertura de Caatinga na Mesorregião da Borborema no período de 1985 a 2019.....	36
Figura 6. Distribuição espacial da perda/ganho total de cobertura vegetal de Caatinga no período de 1985 a 2019 (Diferença).....	38
Figura 7. Distribuição da tendência estatística para variação da área de caatinga por município na Mesorregião da Borborema paraibana (1985-2019).....	40
Figura 8. Localização geográfica dos elementos de cada cluster.....	43
Figura 9. Variabilidade temporal das áreas de cobertura vegetal nativa para o 1º cluster .....	45
Figura 10. Variabilidade temporal das áreas de cobertura vegetal nativa para o 2º cluster .....	46
Figura 11. Variabilidade temporal das áreas de cobertura vegetal nativa para o 3º cluster .....	46
Figura 12. Variabilidade temporal das áreas de cobertura vegetal nativa para o 4º cluster .....	47
Figura 13. Variabilidade temporal das áreas de cobertura vegetal nativa para o 5º cluster .....	48
Figura 14. Fluxo da transição da área de cobertura vegetal de Caatinga para cada Grupo no período de 1985 a 2019.....	50

## Lista de tabelas

	Pg.
Tabela 1. Características dos municípios que compõem a Mesorregião da Borborema paraibana	24
Tabela 2. Classes de Uso e cobertura do solo da Borborema/PB no ano de 2019.....	29
Tabela 3. Produção agrícola da área de estudo em 2019.....	30
Tabela 4. Quantitativo de rebanho na Borborema.....	31
Tabela 5. Variabilidade da área com cobertura vegetal de Caatinga na área de estudo.....	34
Tabela 6. Resultados dos testes estatísticos para as séries de cobertura vegetal por grupo.....	44

## RESUMO

Variações na cobertura vegetal de determina região acontece pelos mais inúmeros motivos dentre eles o desmatamento, a implementação de sistemas agropecuários além de variações climáticas mais persistentes como as grandes estiagens que acontecem no nordeste semiárido brasileiro. O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento espaço-temporal do bioma caatinga na Mesorregião da Borborema Paraibana (MBP) além das transições para outros usos e/ou coberturas decorrente desta variação. Para isso foi utilizado a técnica de análise de agrupamento (AA) e os testes de Mann-Kendall e o método de Sen para a identificação da tendência e quantificação da mesma além do teste de Pettitt para caracterizar a homogeneidade da variável para o período de 1985 a 2019. Os resultados mostraram que a região não é homogênea quanto a sua cobertura vegetal com duas áreas com percas notórias de vegetação (Cariri Ocidental e Seridó Oriental) que apresentam sistemas econômicas bem característicos, além do que a análise da transição da vegetação nativa mostrou que o aumento dos sistemas agropecuários sobretudo áreas destinadas à pastagem estão exercendo as maiores pressões sobre este bioma . A Análise de agrupamento possibilitou dividir a região em 5 grupos sendo que os grupos 1 e 5 apresentam uma tendência estatística significativa de recuperação de vegetação, os grupos 3 e 4 apresentaram uma tendência positiva de redução de vegetação e o grupo 2 apresentou tendência de perca de vegetação, mas sem significância estatística, todos os grupos apresentaram quebra da homogeneidade da série demonstrando uma mudança significativa nos valores de cobertura vegetal ao longo do período estudado.

**Palavras-Chave:** Uso e Cobertura do Solo; Caatinga; Sensoriamento Remoto.

## **ABSTRACT**

Variations in vegetation cover in a given region occur for the most numerous reasons, including deforestation, the implementation of agricultural systems, as well as more persistent climatic variations such as the great droughts that occur in the semiarid northeast of Brazil. The objective of this work was to evaluate the spatiotemporal behavior of the caatinga biome in the Mesoregion of Borborema Paraibana (MBP) in addition to the transitions to other uses and/or covers resulting from this variation. For this, the cluster analysis technique (CA) and the Mann-Kendall tests and the Sen method were used to identify the trend and quantify it, in addition to the Pettitt test to characterize the homogeneity of the variable for the period of 1985 to 2019. The results showed that the region is not homogeneous in terms of vegetation cover, with two areas with notorious vegetation losses (Cariri Ocidental and Seridó Oriental) that present very characteristic economic systems, in addition to what the analysis of the transition of native vegetation showed that the increase in agricultural systems, especially areas destined for pasture, are exerting the greatest pressure on this biome. The cluster analysis made it possible to divide the region into 5 groups, with groups 1 and 5 showing a statistically significant trend of vegetation recovery, groups 3 and 4 showed a positive trend of vegetation reduction and group 2 showed a trend of loss of vegetation. vegetation, but without statistical significance, all groups presented a break in the homogeneity of the series, demonstrating a significant change in vegetation cover values over the period studied.

**Keywords:** Land Use and Coverage; Caatinga; Remote sensing.

## 1. INTRODUÇÃO

Variações na cobertura vegetal nativa de determinada região podem ser ocasionadas pelos mais diversos motivos, dentre os quais podem ser gerados por causas naturais ou atividades antrópicas, na qual se destacam o desmatamento, implantação da agropecuária, aumento do perímetro urbano, entre outros (Beltrán-Przekurat et al., 2012; Panday et al., 2015).

A intensa pressão demográfica no nordeste semiárido brasileiro tem exigidos crescentes demandas de recursos naturais para abastecimento desta que é a região semiárida mais populosa do globo (Ab'saber, 2003) e para tanto há a tentativa de aumento da produção agropecuária o qual tem sido feito às custas do desmatamento da caatinga com conseqüente degradação dos solos da região (Albuquerque, 2001).

A retirada da vegetação nativa de modo indiscriminado a fim de conseguir espaço para lavouras e pastagens, aliado a retirada de madeira para abastecimento energético da zona rural e empreendimento urbanos e às queimadas sucessivas com manejo inadequado do solo, tem contribuído, juntamente com as secas prolongadas, para comprometer o equilíbrio ecológico dessa região.

No território brasileiro, a vegetação da caatinga se concentra na região Nordeste com clima semiárido, tendo regime pluviométrico em torno de 800 mm ao ano, ocupando 1.548.672 km<sup>2</sup> do território nacional. Ela está presente nos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Norte de Minas Gerais, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Piauí e Sergipe (Marangon et al., 2016).

A caatinga brasileira, a maior e mais diversificada Floresta Tropical Sazonalmente Seca do Brasil (Silva et al., 2017), apresenta diferentes transformações no padrão espacial de cobertura no solo durante as últimas décadas, de acordo com Souza et al. (2015) a área correspondente a caatinga chega a ser o terceiro bioma mais degradado, depois da Mata Atlântica e do Cerrado, com um percentual de degradação estimado entre 30 e 52% (Salazar et al., 2015; Schulz et al., 2016), estimando-se, assim, que cerca de 80% da vegetação já sofreu alteração por conta da agropecuária e do extrativismo, colocando essas áreas em estágio inicial ou intermediário de sucessão ecológica.

De acordo com Vanzela et al. (2010), a exploração intensa das áreas através dos sistemas agropecuários, inclusive os familiares, comuns no semiárido nordestino, é causa importante para a supressão da vegetação nestas áreas, esse tipo de atividade pode provocar inúmeros problemas tais como a perda da biodiversidade nativa, a queda natural da fertilidade dos solos e a intensificação dos processos erosivos.

Meirelles et al. (2007) ressalta que a agricultura assume ainda destacada participação nessas mudanças da cobertura vegetal devido à capacidade de promover essas alterações em larga escala geográfica, gerando complexos padrões espaciais na paisagem em um processo de longa duração, mas que, no entanto, de acordo com Figueiredo et al. (2017) apresentam, na região semiárida, níveis de produção baixo com o uso de técnicas tradicionais, tornando constantes os riscos de incêndios, de desertificação e, conseqüentemente, de diminuição da fauna e flora além de acelerar os processos de degradação ambiental.

Neste sentido, a identificação de áreas onde exista variações de caatinga são de inestimável importância para o entendimento deste bioma, no entanto, para áreas maiores ou de difícil acesso trabalhos de campo se tornam impossibilitados pela composição física da área fazendo-se o uso do sensoriamento remoto uma ferramenta bastante viável para tais fins pelo fato de, a partir de sensores, captar a radiação solar emitida ou refletida pela superfície, medir grandezas físicas que estão associadas, por exemplo, ao crescimento e à avaliação da vegetação (Nonato & Oliveira, 2013).

A partir do mapeamento realizado através de técnicas de sensoriamento remoto, principalmente aqueles feitos com uma cronologia espacial é possível quantificar a biomassa vegetativa presente em um determinado espaço geográfico ou ainda auxiliar na detecção de fenômenos ou anomalias de cunho fenológico presentes na vegetação objeto de estudo, o que permite inúmeras análises tais como a degradação ambiental, o desmatamento e os impactos ambientais (Liu et al., 2019).

Estudos sobre o emprego de técnicas de sensoriamento remoto para análise da dinâmica espacial e temporal da cobertura vegetal no espaço geográfico são observados em: Formigoni, Xavier & Lima (2011), Almeida et al. (2014), Schucknecht et al. (2017), Tian et al. (2017), Silveira et al. (2018), Tomasella et al. (2018), Margalho et al. (2020), Santos et al. (2020), Oliveira et al. (2021), Silva et al. (2021).

Tendo isso em vista a escolha da área de estudo se deu principalmente por abranger uma área com características únicas ao que se refere a vulnerabilidade ambiental por se tratar de uma das mesorregiões do estado da Paraíba da qual os processos de ocupação e povoamento foram marcados pela superexploração das terras, atualmente a MBP apresenta fortes inclinações aos processos de desertificação com principais núcleos no cariri paraibano onde ainda é persistente a criação caprina extensiva e o Seridó onde o trato ecológico da paisagem já é marcado pelo fenômeno de desertificação.

Sendo, portanto, muito importante o entendimento das condições singulares que

fizeram com que atualmente esta região tenha estas características, sendo que a variabilidade espaço-temporal da mudança do uso e cobertura do solo, sobretudo a variabilidade da cobertura vegetal, é um fator determinante para condicionar a paisagem atual

Pelo exposto, uma das ferramentas para mapeamento e análise espaço temporal da cobertura vegetal é a base cartográfica do projeto Mapbiomas, projeto este que se utiliza das imagens das missões Landsat de observação da terra com satélite, sendo disponibilizadas gratuitamente na plataforma Google Earth Engine. Os dados apresentados pela plataforma de monitoramento ajudam a compreender a evolução da ocupação do território e os impactos sobre os biomas no Brasil (PROJETO MAPBIOMAS, 2021).

## **2. OBJETIVOS**

Geral: Compreender a dinâmica de uso e cobertura das terras na mesorregião da Borborema paraibana no período de 1985 a 2019.

Específicos:

- Definir aspectos quantitativos do uso e cobertura do solo para o período histórico estudado;
- Identificar as principais atividades econômicas para a mesorregião da Borborema paraibana;
- Determinar regiões homogêneas de padrões espaço-temporal de uso e cobertura do solo;
- Caracterizar as tendências das séries anuais da área total da cobertura vegetal de Caatinga visando estabelecer o nível atual de perda ou ganho de área com vegetação nativa por grupos de análise;

### **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1 Dinâmica da variação da cobertura do solo**

Ao se tentar entender o comportamento espacial de variáveis em um local, é necessário partir da premissa de Waldo Tobler que posteriormente ficaria conhecida como a lei de Tobler ou a primeira lei da Geografia da qual “Todas as coisas estão relacionadas com todas as outras, mas coisas próximas estão mais relacionadas do que coisas distantes” logo, essa premissa nos revela que todos os fatos globais estão relacionados entre si, mas os fatos mais próximos possuem uma relação mais forte. (Druck et al., 2004).

Com a intensificação do uso das geotecnologias por diversas ciências, fenômenos espaciais são cada vez mais representados de forma estática por meio de mapas ou cartas, no entanto, o espaço terrestre apresenta dinâmicas espaciais ao longo do tempo que não podem ser representados dessa forma como é o caso da cobertura do solo, por ser essencialmente um processo dinâmico, por esse motivo a utilização de dados obtidos por meio de sensoriamento remoto a fim de se conseguir estabelecer espacialmente quadros ao longo do tempo é importante pois estabelece feições desta dinâmica, possibilitando a formação de cenários por unidade de tempo que melhor representam a característica da evolução ambiental daquela área (Benedetti, 2010).

A dinâmica da cobertura do solo estão diretamente ligadas a como aquele espaço geográfico sofreu modificação ao longo do tempo (Briassoulis, 2000), de acordo com Jensen (2009) é necessário o monitoramento de um ambiente através do tempo para conseguir as informações exatas acerca da dinâmica das transformações ocorridas no ambiente e como a ação antrópica trabalhou o meio, de início o mapeamento dos padrões cobertura são necessários, diferenciando as categorias em função de suas características médias para, assim, realizar uma avaliação espaço-temporal de cada elemento e suas relações com os outros elementos (Soares Filho, 1998).

Neste sentido, a utilização do MAPBIOMAS para a descrição espacial e temporal das áreas da caatinga do nordeste brasileiro surgem como uma ferramenta útil para a classificação da mesma tendo em vista seu nível de acurácia de aproximadamente 70% (Franca-rocha, 2017) que embora seja o valor mais baixo dentre os biomas brasileiros ainda é considerado bastante satisfatório tendo em vista a falta de dados comuns a esta região brasileira.

Além disso, por seu caráter de monitoramento, os produtos derivados do projeto Mapbiomas admitem diversos usos tais como: monitoramento temporal de bacia hidrográfica (Moraes & Nascimento, 2020); localização e influência de setores

econômicos sobre a vegetação natural (Lima et al., 2020), Influência do clima sobre a biodiversidade na Caatinga (Seyffarth & Rodrigues, 2017), validação e comparação de usos e cobertura dos solos (Dutra, 2019), Identificação de áreas de desmatamento (Verçosa et al., 2021) além de identificação de áreas de culturas agrícolas e recomposição de florestas (Souza Jr. et al., 2020)

### **3.2 Impacto na perda da cobertura vegetal em regiões semiáridas**

Devido as suas características de constituição únicas da paisagem, o semiárido brasileiro apresenta singularidades, Ab'saber (2003) ao retratar essas características encontradas, relata que existe questões envolvendo a cobertura dos solos desta área com as questões hídricas, a expansão de práticas econômicas e demográficas e é destas múltiplas relações que surgem os problemas envolventes ao mal-uso dos recursos naturais.

Na tangente sobre a temática, não é de hoje que os recursos naturais estão em processo de extenuação no nordeste semiárido brasileiro, entre eles, a perda da cobertura vegetal nativa, a caatinga, o que reflete uma série de impactos ambientais, na qual pode-se citar a ocorrência da intensificação da perda de material pedológico por meio dos processos erosivos e o fenômeno de desertificação em algumas regiões nordestinas. (Souza, 2018; Tavares et al., 2019).

Ao considerar os solos como parte vital dos sistemas naturais que servem de sustentação para as estruturas superiores além de ser objeto de estudo das mais diversas ciências (Brevik et al., 2015), percebe-se que no decorrer dos últimos anos este recurso apresenta elevados níveis de degradação, principalmente pelas fortes pressões antrópicas que recebe oriundas do desenvolvimento urbano crescente e de práticas agropecuárias não alinhadas com a realidade natural do ambiente o que já é notado no empobrecimento dos solos encontrada em muitos locais do globo (Jankauskas et al., 2008; Travassos & Souza, 2011; Clemente et al., 2017).

As regiões semiáridas são consideradas naturalmente frágeis por possuir uma cobertura vegetal rala e esparsa e os fenômenos de chuva são bastante irregulares no tempo e espaço geográfico (Xavier et al., 2016), neste sentido a manutenção da cobertura vegetal nativa tem sua importância evidenciada como proteção ao solo e como instrumento regulador dos processos hidrológicos de superfície. De acordo com Clemente et al. (2017) a remoção da vegetação é a principal causa da degradação do solo em áreas semiáridas principalmente por se tratar de um solo raso facilmente erodível.

Aliado aos processos supracitados, uma discussão muito presente é sobre a desertificação das terras semiáridas, levando em consideração a designação dada a este fenômeno, de acordo com Brasil (2004) a desertificação pode ser entendida como a degradação das terras, em algumas zonas (áridas, semiáridas e subúmidas secas), que é resultado de vários fatores incluindo as variações climática.

Conforme observado em Brasil (2004), a desertificação apresenta múltiplas facetas como a própria condição natural do ambiente, na qual os estudos são majoritariamente direcionados tais como as características físicas do ambiente, mas também a desertificação apresenta vertentes de causa socioeconômicas da qual pode-se ver em Alves (2016), corroborando Crispim et al. (2013) que afirma que o semiárido brasileiro e suas problemáticas apresentam complexidade ao agregar diferentes componentes do meio físico, biológico e socioeconômico, que interagem entre si. Sendo influenciada também por aspectos políticos, administrativos públicos e privados

Mesmo com toda a complexidade envolvente, Souza et al. (2015) apontam o papel da perda de vegetação como fator de influência na desertificação, este estudo destacou o desenvolvimento de técnicas e práticas de intervenção eficientes para recuperação de áreas e aproveitamento sustentável das terras em ambientes semiáridos.

Conforme retrata Pereira (2008), o semiárido paraibano, passa por um forte processo de antropização intrinsecamente ligado ao aumento da pecuária e da agricultura, fontes de renda tradicionalmente escolhidas para a área e que já se mostraram que são intensificadores de processos erosivos e destruição da vegetação local, conforme pode ser visto em Sampaio et al. (2003) e Oliveira-Galvão & Saito (2003).

Ao realizar estudos acerca da mudança de vegetação nativa por sistema agropecuários, Cunha (2013) e Stefanoski (2013) retratam que há uma mudança bem evidenciada nos atributos físicos e químicos do solo, principalmente do que se trata da compactação por pisoteamento do gado, absorção e retenção da água no solo o que em âmbito local causa uma mudança no microclima que mesmo sendo pontual pode ser representativo para a região.

### **3.3 Antinomia entre natureza e sociedade na dinâmica de formação do espaço**

Através de uma abordagem socioambiental, da qual são analisadas a articulação entre a sociedade e a natureza, os problemas encontrados no ambiente e os riscos da qual as populações estão submetidas vão compreender todo o espaço geográfico produzido (Rodrigues, 1998), neste sentido a dimensão que compreende as mudanças da cobertura do solo ganham bastante relevância por englobar um contraste bastante destacado entre ocupação e produção do espaço por parte da sociedade e a preservação do meio natural .

Uma característica importante da abordagem socioambiental é a consideração das relações entre a própria sociedade, o que faz com que as condições de vida da população assumam protagonismo na exposição unitária do indivíduo ou no grupo social da qual o mesmo está inserido frente a mudanças dos ambientes e os efeitos que estas mudanças podem causar (Veyret, 2007).

Neste sentido, a utilização de uma abordagem mais ampla das relações existentes entre a natureza e a sociedade possibilita relacionar essa dupla dinâmica (social e ambiental) permitindo a diferenciação de diferentes situações espaciais pois as condições econômicas, sociais, políticas e culturais da população e a capacidade de absorver ou resistir aos impactos diante da materialização de um risco (Mendonça et al., 2016).

Isso demonstra a importância da exposição da vulnerabilidade nos estudos referentes a mudança do espaço pois indica a exposição da população ao ambiente da qual está inserida além de, eventualmente, levando em consideração uma escala temporal, a capacidade dos grupos sociais e do ambiente de se recuperarem de eventos de degradação (Mendonça, 2004).

Com essa contextualização, estudos acerca da vulnerabilidade permitem a identificação da coexistência de diferentes exposições a aspectos resultantes, a resiliência de indivíduos e dos ambientes e a adaptação dos mesmos (Marandola Jr & Hogan, 2006). Vale salientar que, conforme mostra Castro (2003), que o exposto é concebido em locais de ocupação antrópica, permitindo a análise de como sua ocorrência afeta a vida humana em múltiplas escalas temporais e espaciais.

### **3.4 Uso do sensoriamento remoto em estudos no semiárido do Brasil**

O sensoriamento remoto, enquanto ferramenta, se utiliza de informações coletadas através da radiação eletromagnética de objetos ou fenômenos encontrados na superfície da Terra através de sensores, sem a necessidade de contato direto com os elementos estudados. Atualmente é muito utilizado para levantamento de dados da superfície terrestre, em múltiplas escalas regionais além de ser utilizado em avaliação periódicas do ambiente, ajudando consideravelmente o monitoramento das características terrestres (Meneses & Almeida, 2012).

O progresso tecnológico ocorrido nas últimas décadas beneficiou as pesquisas que tinham como característica a identificação de pontos de modificação da cobertura do solo, essas ferramentas de obtenção de dados possuem, uma alta aplicabilidade em múltiplas escalas fornecendo dados qualitativos e quantitativos das diversas variáveis observáveis pelos satélites que captam estas informações (Mascarenhas et al., 2009).

Através do uso dessa técnica, é possível promover uma identificação sobre o terreno, captando suas características de uso e ocupação do solo e atributos da topografia de áreas com ambientes de interesse, fato este que é indispensável para um planejamento e gestão dos recursos naturais para uma melhor utilização do solo e mapeamento da cobertura vegetal para identificação de pontos de degradação (Coelho et al., 2015).

De e acordo com Ponzoni (2001) o mapeamento de coberturas vegetais com base em suas características fisionômicas, ecológicas e florísticas ganhou impulso considerável com o advento do sensoriamento remoto, diversos experimentos têm sido conduzidos em todo o mundo, buscando caracterizar o comportamento espectral das partes das plantas com o objetivo de atender às necessidades específicas como a pesquisa e aplicações comerciais, propiciando o mapeamento de extensas áreas da superfície terrestre, o monitoramento, a fiscalização e o controle da exploração dos recursos naturais.

Pelo exposto e com base em Maldonado (2001), o sensoriamento remoto é uma das ferramentas mais importantes no monitoramento nas mudanças no uso e cobertura do solo, principalmente em áreas semiáridas pois a resposta espectro-textual da cobertura e uso do solo, quando observados em dados sensoriados tem satisfatória resposta principalmente no que diz respeito as mudanças causadas pelo homem neste domínio de natureza.

Aliado a isso, o fato de que há uma falta de dados coletados de forma direta ou ainda as curtas séries temporais de dados, fazem com que o semiárido brasileiro se torne um

ambiente propício a utilização do sensoriamento remoto (Kazmierczak, 1996) e por isso são encontrados diversos trabalhos que se utilizam desta ferramenta a fim de se fazer estudos espaço temporais no semiárido do Brasil (Freire et al., 2006; Silva et al., 2018)

Logo, as técnicas de sensoriamento remoto surgem como alternativas para a análise ambiental, bem como para o monitoramento e planejamento na utilização dos recursos naturais. A utilização de imagens de satélites com diferentes resoluções espaciais, temporais e radiométricas, têm sido utilizadas como suporte às pesquisas, monitoramento e planejamento socioambiental no semiárido nordestino.

### **3.5 Análise de séries temporais em dados ambientais**

Uma série de dados temporais, também chamados de série histórica, podem ser definidas de acordo com Morettin & Tolo (2006) como sendo um conjunto de observações ordenadas no tempo, sendo classificadas em contínuas ou discretas. Em sensoriamento remoto, uma série temporal contínua pode ser amostrada em uma série temporal discreta, por meio de observações que são realizadas a intervalos de tempo definidos, dessa maneira, dados de séries temporais de sensoriamento remoto são uma ferramenta útil para identificar e caracterizar as dinâmicas dos ecossistemas terrestres, em escala temporal (Zhang et al., 2013).

Através da análise das variações dos elementos terrestres por meio de componentes de tendência e sazonalidade de séries históricas é possível detectar as variações da cobertura do solo e indicar possíveis distúrbios (naturais ou antrópicos) envolventes em toda essa dinâmica de intensa modificação da superfície (Verbesselt et al., 2010), neste sentido Maus et al. (2016) acrescentam que o monitoramento de aspectos terrestre, inclusive a cobertura vegetal, por meio de satélite a fim de se elaborar uma série temporal consistente é a única maneira de se conseguir uma base de dados utilizável com bons níveis de confiança a qual podem ser utilizados para possibilitar a trajetória espaço temporal evolutiva da cobertura da terra .

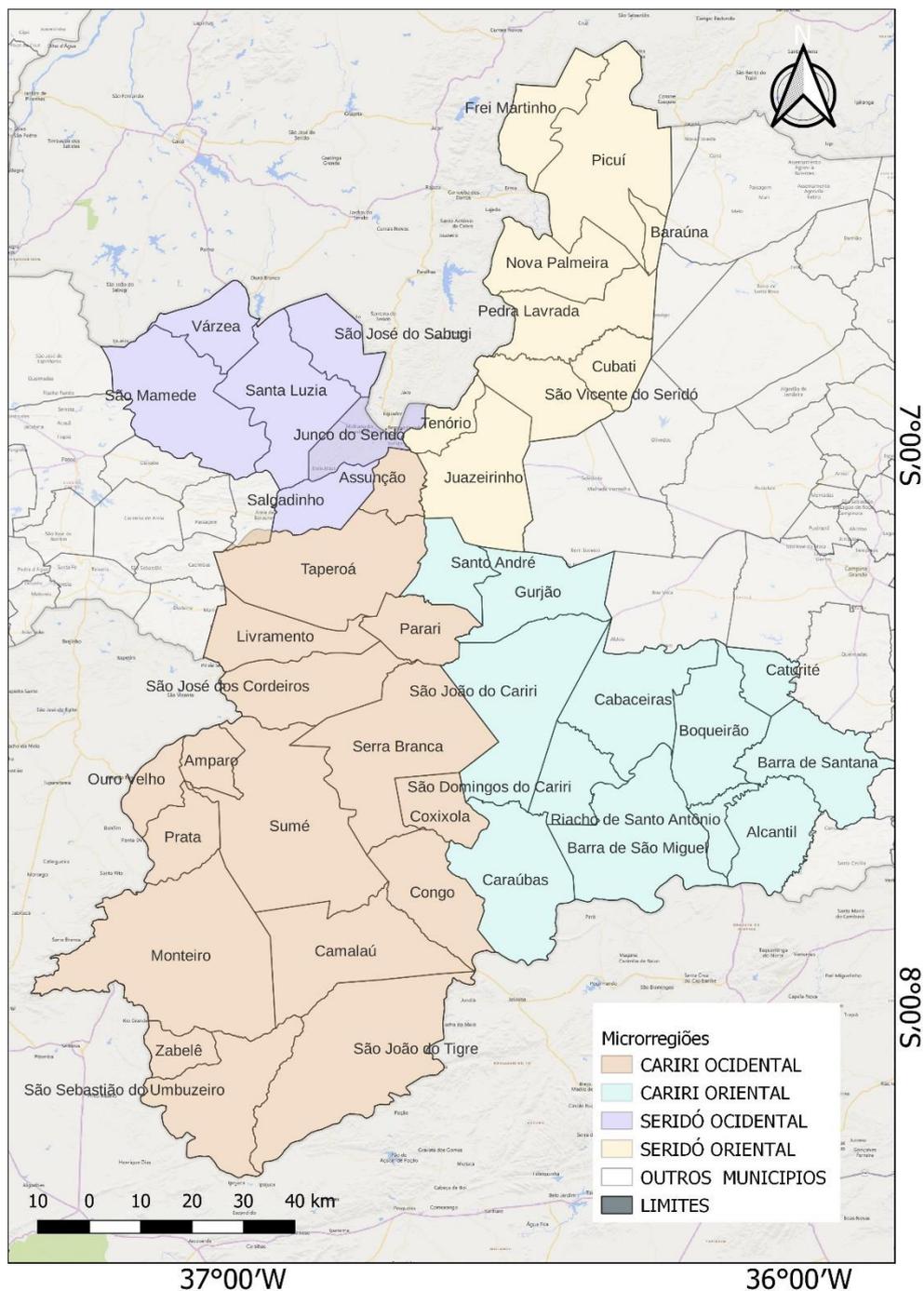
Vários estudos em sensoriamento remoto da vegetação em todo o mundo, especialmente na área de agricultura e no monitoramento de áreas naturais, utilizam séries temporais, tanto para estimativas de matéria lenhosa, previsão de safras agrícolas, como também na avaliação temporal de uso e ocupação do solo e na quantificação das transformações ocorridas (Francisco, 2013; Schucknecht et al., 2013; Bayma, 2015; Dutra, 2019; Silva et al., 2019).

De acordo com a natureza dos dados apresentado, não é raro encontrar-se em séries temporais dessas naturezas a presença de ruídos ou contaminantes para a análise, principalmente quando os dados são retirados diretamente da imagem ,valendo-se ressaltar que para a captura de dados terrestres por satélites, as nuvens em determinadas épocas do ano inviabilizam a coleta dos dados tornando-se, assim, contaminantes das imagens, logo, existem diversas técnicas para determinação qualitativa da imagem fazendo com que a mesma seja utilizada para fins estatísticos , logo , o teste de significância não paramétrico, de tendência de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975), apresenta-se a fim de medir o grau com que uma tendência está aumentando ou diminuindo consistentemente no tempo, determinada pelo Tau de Mann-Kendall, isto é, a frequência relativa de concordâncias menos a frequência relativa das discordâncias (Chakraborty et al., 2013).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Localização da área de estudo

O presente trabalho foi realizado na mesorregião da Borborema paraibana, localizada na parte central do estado da Paraíba, limitando-se ao norte com o estado do Rio Grande do Norte, ao oeste com a mesorregião do sertão paraibano, ao sul com o estado de Pernambuco e a leste com a mesorregião do agreste paraibano (Figura 1).



**Figura 1.** Localização Geográfica da Mesorregião da Borborema-PB.

A mesorregião da Borborema apresenta uma área aproximada de 16 000 km<sup>2</sup> e é composta por 44 municípios subdivididos nas microrregiões geográficas do Cariri Oriental, Cariri Ocidental, Seridó Oriental e Seridó Ocidental (Tabela 1).

**Tabela 1.** Características dos municípios que compõem a mesorregião da Borborema paraibana.

Nº	Município	Área (km <sup>2</sup> )	População (Censo 2010)	Densidade demográfica (hab/km <sup>2</sup> )
Cariri Ocidental				
1	Amparo	123,9	2088	16,9
2	Assunção	128,2	3504	27,3
3	Camalaú	552,5	5706	10,3
4	Congo	338,8	4684	13,8
5	Coxixola	172,5	1770	10,3
6	Livramento	274,8	7152	26
7	Monteiro	1002,3	30791	30,7
8	Ouro Velho	131,4	2928	22,3
9	Parari	210,8	1256	6,0
10	Prata	195	3813	19,6
11	São João do Tigre	829,7	4396	5,3
12	São José dos Cordeiros	382,5	3968	10,4
13	São Sebastião do Umbuzeiro	468,3	3235	6,9
14	Serra Branca	698	12937	18,5
15	Sumé	851,1	15984	18,8
16	Taperoá	653,5	14836	22,7
17	Zabelê	111,2	2071	18,6
Cariri Oriental				
18	Alcantil	310,2	5236	16,9
19	Barra De Santana	382,7	8175	21,4
20	Barra De São Miguel	604,5	5599	9,3
21	Boqueirão	377,6	16856	44,6
22	Cabaceiras	459,8	5017	10,9
23	Caraúbas	505,1	3884	7,7
24	Caturité	119,9	4537	37,9
25	Gurjão	345,5	3154	9,1
26	Riacho De Santo Antônio	92,8	1712	18,5
27	Santo André	200,6	2627	13,1
28	São Domingos do Cariri	222,2	2416	10,9
29	São João do Cariri	662,9	4324	6,5
Seridó Ocidental				
30	Baraúna	51,3	4220	82,3
31	Cubatí	138,9	6846	49,3
32	Frei Martinho	247,5	2920	11,8
33	Juazeirinho	474,2	16758	35,3
34	Nova Palmeira	314,5	4361	13,9
35	Pedra Lavrada	356,5	7435	20,9
36	Picuí	670,3	18197	27,1
37	São Vicente do Seridó	280,3	10230	36,5
38	Tenório	106,7	2813	26,4
Seridó Oriental				
39	Junco Do Seridó	172,8	6641	38,4

40	Salgadinho	186,9	3505	18,8
41	Santa Luzia	462,1	14670	31,7
42	São José Do Sabugí	209,8	4004	19,1
43	São Mamede	538,1	7732	14,4
44	Várzea	193,1	2504	13

Fonte: IBGE, 2021.

A economia da Borborema paraibana se baseia na produção primária, sobretudo nas atividades ligadas a agropecuária e na extração mineral, ao que tange aos aspectos naturais os solos são considerados rasos e salinos com clima tropical quente e seco, o que leva as poucas chuvas que se concentram em poucas épocas do ano, a vegetação encontrada nesta mesorregião é do tipo caatinga hiperxerófila com plantas de pequeno e médio porte (Dantas et al., 2018)

#### 4.2 Obtenção da base de dados

Os dados referentes a quantificação anual da caatinga para a área de estudo foram tabulados baseado do mosaico formado a partir das imagens Landsat disponíveis, excluindo-se as nuvens. Deste, utilizaram-se apenas os valores descritos para área destinada a savana estépica que para o sistema utilizado no Mapbiomas é o sinônimo utilizável para Caatinga.

Cada mosaico é produzido pela integração espacial das distintas cenas Landsat presentes em cada carta IBGE na escala 1:250.000, em cada um dos anos, e pela integração temporal pixel a pixel. São então aplicados índices espectrais, como NDVI, NDWI, EVI, entre outros, e modelos de mistura espectral, sendo os resultados destes combinados com bandas espectrais medianas para gerar o mosaico temporal final para cada ano, a partir do conjunto de cenas disponíveis para um determinado intervalo temporal.

Esses intervalos temporais foram definidos em função da variação da fenologia das tipologias vegetais em cada um dos biomas brasileiros, como estratégia para melhorar os resultados da classificação. As imagens utilizadas pelo MapBiomas foram as L1T TOA Pre-Collection, ou seja, convertidas em reflectância no topo da atmosfera (PROJETO MAPBIOMAS, 2021). Como produtos provenientes desses mosaicos, são realizadas as classificações que resultam nos mapas matriciais de uso e cobertura do solo para cada ano.

Os mapas são atualizados cada vez que há um aperfeiçoamento nos algoritmos de classificação (PROJETO MAPBIOMAS, 2021). Esses mapas encontram-se em formato raster com os valores de classificação atribuídos aos pixels. A metodologia de

classificação utilizada é dinâmica com a finalidade de aperfeiçoar a classificação de cada tipologia.

Para a diferenciação dos usos e cobertura do solo no mapbiomas é feita a partir de uma chave de classificação empírica baseada em Modelagem Espectral de Mistura (MEM) após a remoção das nuvens (Cloud) através de filtro (ROSA, 2016).

O teor de sombra e a elevada proporção de vegetação não fotossinteticamente ativa em relação à ativa tendem a dificultar a classificação da cobertura de plantios florestais e áreas queimadas, sendo o Índice Normalizado por Diferença de Fração (NDFI) uma forma de diminuir a degradação do sinal (SOUZA JR et. al, 2005). Seus valores normalizados variam de -1 a 1 e são resultantes dos modelos de análise de mistura espectral, cujas variáveis são as frações de vegetação, sombra, vegetação seca e de solo, obtidos através da decomposição linear do pixel (SMALL, 2004).

Esse mosaico está disponibilizado pelo Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil (MapBiomas) que envolve uma rede colaborativa com especialistas nos biomas, usos da terra, sensoriamento remoto, sistema de informações geográficas (SIG) e ciência da computação (PROJETO MAPBIOMAS, 2021).

#### 4.3 Análise estatística

##### 4.3.1 Teste de Mann-Kendall (MK)

O teste de Mann-Kendall é um teste não paramétrico (Mann, 1945; Kendall, 1975) onde consiste em comparar cada valor da série temporal com os valores restantes, sempre em ordem sequencial, o que significa que não assume qualquer distribuição de prioridade dos dados, e é, portanto, robusto em comparação a outros testes paramétricos. É contado o número de vezes que os termos restantes são maiores do que o valor analisado.

Ao longo dos anos a análise de séries temporais com a utilização do teste de Mann-Kendall está se tornando cada vez mais comum, de acordo com Lopes & Silva (2013) o teste de Mann-Kendall avalia com bastante eficiência a tendência de séries temporais de dados ambientais e de acordo com Yue et al. (2002) é sugerido pela organização meteorológica mundial para avaliação da tendência em séries temporais de dados ambientais.

Teste de Mann-Kendall é baseado na seguinte fórmula:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{ sinal}(X_j - X_i) \quad (1)$$

Em que: o sinal  $(x_j - x_i)$  é obtido da seguinte forma:

$$\text{Sinal} = \begin{cases} +1 & \text{Se } (x_j - x_i) > 0 \\ 1 & \text{Se } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{Se } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

A estatística  $S$  tende para a normalidade quando  $n$  for grande, com média  $E(S)$  e variância  $Var(S)$  definidas como se segue:

$$E(S) = 0, \quad (3)$$

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^q ti(ti-1)(2ti+5)}{18}$$

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

O teste estatístico  $Z$  é dado por:

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

A presença de tendência estatisticamente significativa na série temporal é avaliada usando-se o valor de  $Z$ . Essa estatística é usada para testar a hipótese nula que nenhuma

tendência existe. O valor positivo de  $Z$  indica uma tendência crescente. Para testar qualquer tendência constante, crescente ou decrescente para um nível significativo de  $p$ , é rejeitada a hipótese nula se o valor absoluto de  $Z$  é maior que  $Z_{1-p/2}$ , o qual é obtido na tabela da distribuição normal. O nível de significância comumente utilizado é  $\alpha = 0,05$ , como é o caso do presente estudo.

#### 4.3.2 Teste não paramétrico da inclinação de S – Sen's slope

Apesar da eficiência do teste de Mann-Kendall, ele não fornece a magnitude das tendências detectadas, podendo ser complementado pelo estimador de declive proposto por Sen (1968), o qual, tal como descrito por Portela et al. (2011), é estimado através da estatística  $Q$ , dada por:

$$Q_{ij} = \frac{X_j - X_i}{j - i} \quad \text{com } i < j \quad (5)$$

Em que:  $X_i$  e  $X_j$  representam os valores da variável em estudo nos anos  $i$  e  $j$ . Valor positivo ou negativo para  $Q$  indica tendência crescente ou decrescente, respectivamente. Se há  $n$  valores na série analisada, então o número de pares estimados de  $Q$  é dado por  $N = n(n - 1) / 2$ . O estimador de declive de Sen é a mediana dos  $N$  valores de  $Q_{ij}$

#### 4.3.3 Teste de Homogeneidade de Pettitt

O teste de Pettitt, é considerado também um teste não-paramétrico, que utiliza uma versão do teste de Mann-Whitney, onde se verifica se duas amostras  $Y_1, \dots, Y_T$  e  $Y_{t+1}, \dots, Y_T$  pertencem à mesma população. Esta estatística é capaz de localizar o ponto de mudança brusca nas médias da série histórica (changing point).

De acordo com Pettitt (1979), a estatística  $U_{t,T}$  pode ser calculada usando a seguinte equação:

$$U_{t,T} = U_{t-1,T} + \sum_{j=1}^T \text{sgn}(x_t - x_j) \quad (6)$$

Para  $t=2, \dots, n$ , em que,  $\text{Sgn}(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x > 0 \\ 0, & \text{se } x = 0 \\ -1, & \text{se } x < 0 \end{cases}$

Quando não há laços nos dados  $V_{t,T} = T + 1 - 2R_t$ , onde  $R_t$  é a ordem de  $x_t$  na amostra. A estatística  $k_t$  fornece o ponto onde ocorre a mudança brusca na média da série de dados:

$$k_t = \text{MAX}_{1 \leq t \leq T} |U_{t,T}| \quad (7)$$

Sendo sua significância calculada pela equação:

$$p \approx 2 \exp\{-6(k_t)^2 / (T^3 + T^2)\} \quad (8)$$

A hipótese nula ( $H_0$ ) indica nenhuma mudança brusca ao longo do tempo, logo a série histórica é homogênea e a hipótese alternativa ( $H_1$ ) é que existe mudança brusca na série, logo, é uma série heterogênea.

#### 4.3.4 Análise de agrupamento

A análise de agrupamento tem como objetivo principal classificar conjuntos de elementos ou objetos que possuam características semelhantes classificar uma amostra de dados em um número pequeno de grupos mutuamente excludentes, com base nas similaridades entre eles Wilks (2006).

Para este estudo à similaridade entre os municípios, utilizou-se a distância euclidiana, que é dada pela seguinte equação:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{v=1}^p (X_{iv} - X_{jv})^2} \quad (9)$$

Em que:  $v$  são as variáveis;  $X_{iv}$  é a  $v$ -ésima característica da  $i$ -ésima observação;  $X_{jv}$  é a  $v$ -ésima característica da  $j$ -ésima observação.

Para o estudo empregou-se o método de agrupamento de Ward (1963), nesse método a formação dos grupos se dá pela maximização da homogeneidade dentro dos grupos. A soma de quadrados dentro dos grupos é usada como medida de homogeneidade. Isto é, o método de Ward tenta minimizar a Soma de Quadrados dos Desvios (SQD) dentro do grupo. Os grupos formados em cada passo são resultantes de grupo solução com a menor soma de quadrados (Wilks, 2006).

Logo, para “ $p$ ” indivíduos organizados em  $k$  grupos, temos:

$$SQD = \sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \quad (10)$$

Em que:  $X_i$  é o número de indivíduos pertencentes ao  $i$ -ésimo grupo.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao se derivar dados de sensores remotos, a informação, de acordo com Jensen (2009), é apresentada em forma de imagem realçada dos pontos de interesse, um croqui, mapas temáticos, arquivos geoespaciais em banco de dados, estatísticas ou gráficos, logo, como forma de demonstração das análises os resultados serão mostrados em forma de mapas e análises estatísticas para que, com isso, haja uma complementação da forma como é feita a avaliação sob duas perspectivas que garantem um melhor panorama da representação dos dados gerados .

### 5.1 Uso e cobertura do solo

O espaço terrestre presencia as modificações e transformações formadas a partir da dualidade existente entre a sociedade e natureza, Santos (2009) destaca que inicialmente a configuração territorial era simplesmente o conjunto dos complexos naturais, porém, à medida que a história foi sendo construída, a configuração territorial modificou-se pela ação humana, que substitui os elementos naturais por objetos inteiramente humanizados e dotados de intencionalidades. Neste viés, é importante destacar, assim como Lefebvre (1983), que o ser humano não pode ser considerado exterior à natureza, pois, é um ser natural que emerge acima da natureza e a domina.

Logo, o uso e a cobertura do solo, mostra como em um determinado espaço estão ocorrendo as relações entre a sociedade e a natureza, principalmente, pela sua capacidade em diagnosticar a dinâmica existente na superfície e enfatizar o nível de interação/sobreposição entre a sociedade e os recursos naturais, e com esse propósito, pode ser inicialmente observado na Tabela 2 que retrata as classes de uso e cobertura do solo na área de estudo.

Inicialmente vale ressaltar os usos minoritários que perfazem áreas de pequenas propriedades rurais como as áreas destinadas a plantação de cana-de-açúcar e lavouras temporárias as margens do rio Bodocongó no município de Barra de Santana, outro ponto a ser explorado é a inexpressividade em área da infraestrutura urbana o que mostra a inexistência de grandes núcleos urbanos na área de estudo.

**Tabela 2.** Classes de Uso e cobertura do solo da Borborema/PB no ano de 2019.

Classes de uso e cobertura	Área (km <sup>2</sup> )	% da área da Borborema
Caatinga	7724,15	49,6
Pastagem	3590,86	23,1
Agropecuária	2232,51	14,3
Formação Campestre	1522,48	9,8
Solo exposto	309,48	2,0
Formação Florestal	80,51	0,5
Corpos Hídricos	62,46	0,4
Infraestrutura Urbana	39,39	0,3
Afloramento Rochoso	14,56	0,1

Dos usos majoritários as áreas destinadas a agricultura e a pecuária se apresentam com 37,4 % da área total, como é prática comum no semiárido as atividades rurais são feitas em consórcio sendo extensos locais utilizados para pastagem no período seco e agricultura no período chuvoso. Na mesorregião, a maior parte dos produtores rurais depende das condições climáticas, logo, a atividade agrícola exercida é a de sequeiro, que se baseia no cultivo de produtos temporários. Por estar situado na faixa semiárida, a área sofre por secas regulares o que compromete as atividades agrícolas, fato este que pode ser observado na Tabela 3 que consta a diversidade dos produtos agrícolas na área de estudo.

Devido as características do produto o tomate apresenta uma maior produção sem necessidade de grandes áreas que basicamente são as que apresentam proximidade com reservatórios de água como é o caso do Açude Poções em Monteiro, açude Sumé localizado em município de mesmo nome e açude Epitácio Pessoa em Boqueirão.

**Tabela 3.** Produção agrícola da área de estudo em 2019.

Cultura/produto	Produção (ton)	Área plantada (km <sup>2</sup> )	Produtividade (ton/km <sup>2</sup> )
Milho	4010	212,27	18,9
Feijão	2796	198,26	14,1
Sisal ou agave	436	5,4	80,7
Castanha de caju	106	4,72	22,5
Fava	98	4,69	20,9
Tomate	10310	3,46	2979,8
Batata-doce	1881	2,9	648,6
Cebola	4048	1,89	2141,8
Maracujá	1153	1,52	758,6
Manga	646	0,97	666,0
Mandioca	684	0,96	712,5
Coco-da-baía	873	0,95	918,9
Outros	-	2,64	-

Fonte: Adaptado Sidra/IBGE

Como são plantados em consórcio o feijão e o milho possuem áreas plantadas próximas, no entanto com produção do feijão um pouco menor comparada ao milho neste ano, de acordo com CONAB (2019) devido as características climáticas a produção do feijão apresenta quedas anuais, no entanto, juntamente com o milho são a base da produção de subsistência das pequenas propriedades rurais da Borborema Paraibana juntamente com a criação de gado (Tabela 4). As outras culturas se apresentam em forma de cultivos pouco espacializados em áreas especializadas à produção, principalmente para abastecimento local.

**Tabela 4.** Quantitativo de rebanho na Borborema.

Criação	Efetivo do rebanho (mil/cabeças)
Caprino	389,1
Ovino	266,0
Bovino	171,5
Equino	10,9

Fonte: Adaptado Sidra/IBGE

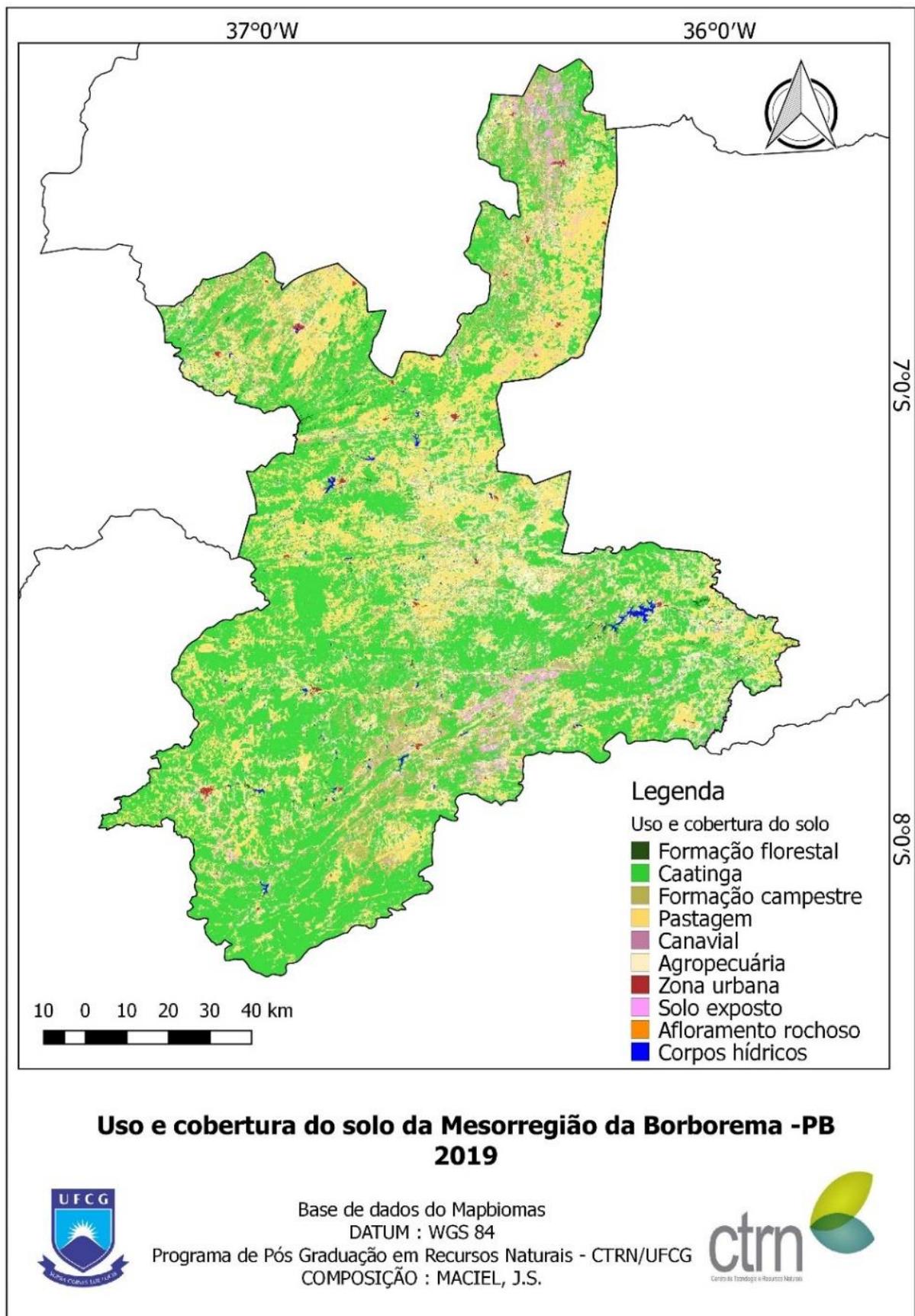
Embora a construção do espaço geográfico do Cariri e Seridó da Paraíba seja marcada historicamente pela criação do gado bovino (Souza, 2008) é perceptível que a

caprinocultura se apresenta com grande intensidade nesta mesorregião, possuindo um dos maiores rebanhos brasileiros, isso se dá as características do rebanho de conseguir se adaptar às características físico-climáticas da região.

Mesmo apresentando importância econômica para a área a agropecuária representa a classe de uso que mais afeta os elementos naturais e a resiliência do sistema. Através do pisoteio do gado o solo é constantemente compactado, o que dificulta a infiltração da água e o aparecimento da vegetação (Barbosa,2017). Além disso, extensas áreas são desmatadas e queimadas para dar lugar à pecuária extensiva, principalmente, nas áreas próximas a rios e lagos que são importantes fontes de manutenção dos animais (Araújo Filho, 2013)

A cobertura vegetal da área em análise é composta pela caatinga arbórea e arbustiva, bem espacializada ao longo da área de estudo conforme pode ser observado na Figura 2. Esta espacialização da caatinga de acordo com Santos (2004), reflete a forma como ocorre as relações entre natureza e sociedade pois a vegetação constitui um elemento natural muito sensível às nuances da paisagem, reagindo de forma distinta e rápida a qualquer variação além de que a caatinga apresenta uma inter-relação com inúmeros outros aspectos naturais tais qual o clima.

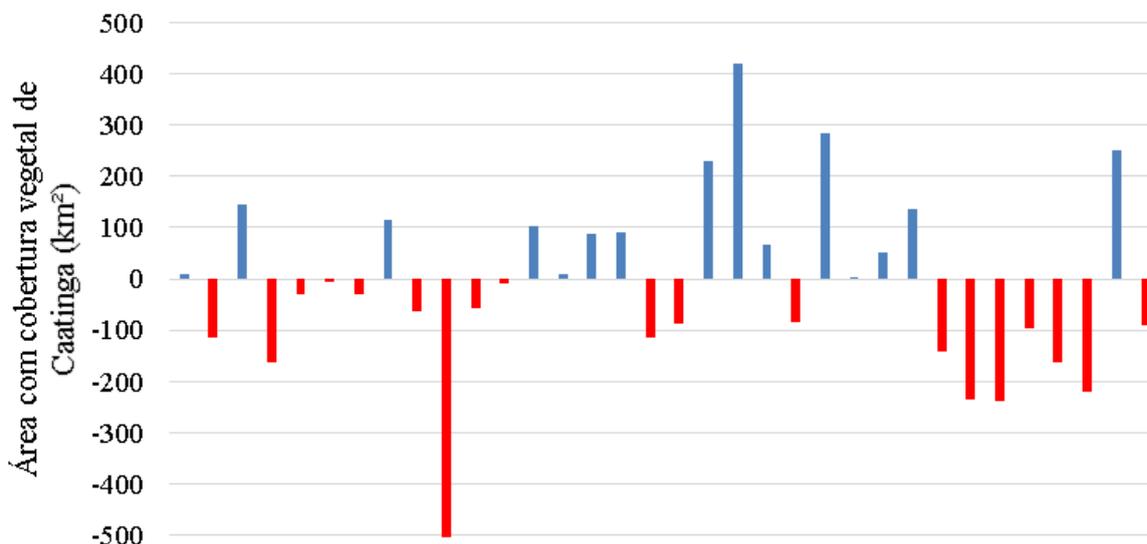
De acordo com a Figura 2, a área mais antropizada refere-se ao centro norte/nordeste, áreas referentes as microrregiões do Seridó oriental e ocidental sendo no Seridó oriental encontrado um dos núcleos de solo exposto da Borborema mais intensificados nos municípios de Frei Martinho e Picuí esta área sendo reconhecida como um dos núcleos de desertificação do nordeste brasileiro (Alves et al., 2009; Alves,2016) ,além de outra área de solo exposto que perpassa pelo cariri oriental e ocidental em uma diagonal ao açude Epitácio Pessoa.



**Figura 2.** Uso e cobertura da Borborema Paraibana. Fonte: Autor, 2021

## 5.2 Variação temporal total da cobertura vegetal

A partir dos valores totais anuais de caatinga durante a série temporal é possível notar que há uma notória variação entre a perda e ganho da área com cobertura de caatinga (Figura 3).



**Figura 3.** Variabilidade temporal da área com cobertura vegetal de Caatinga na Borborema paraibana. Fonte: Autor, 2021

De acordo com a análise da série temporal percebe-se que 56% dos anos há uma supressão da área total de caatinga em toda a área de estudo com um pico de diminuição no ano de 1995 com perda aproximada de 500 km<sup>2</sup> de área de caatinga e um período contínuo de perda de 6 anos (2012 -2017) que contabiliza uma supressão de 1095,4 km<sup>2</sup> para o período contínuo.

De acordo com Souza et al. (2015) a caatinga apresenta uma variabilidade natural em sua cobertura, mas que, no entanto, embora seja resiliente pode sofrer com diversos tipos de pressões tais como o avanço da agropecuária sobretudo a pecuária caprina quanto aos períodos de estiagem que podem ser intensificados pelas pressões já apresentadas.

De acordo com os dados ordenados cronologicamente e separados por décadas os maiores ganhos de área com Caatinga foram registrados na década de 2000 com 70% dos anos sendo registrado algum ganho de área com caatinga com um máximo valor registrado no ano de 2005 com um valor positivo de 420,7 km<sup>2</sup>. Do mesmo modo que na década que precede e sucede este período existe uma retração de áreas com cobertura vegetal nativa indicando perturbações no meio (Tabela 5)

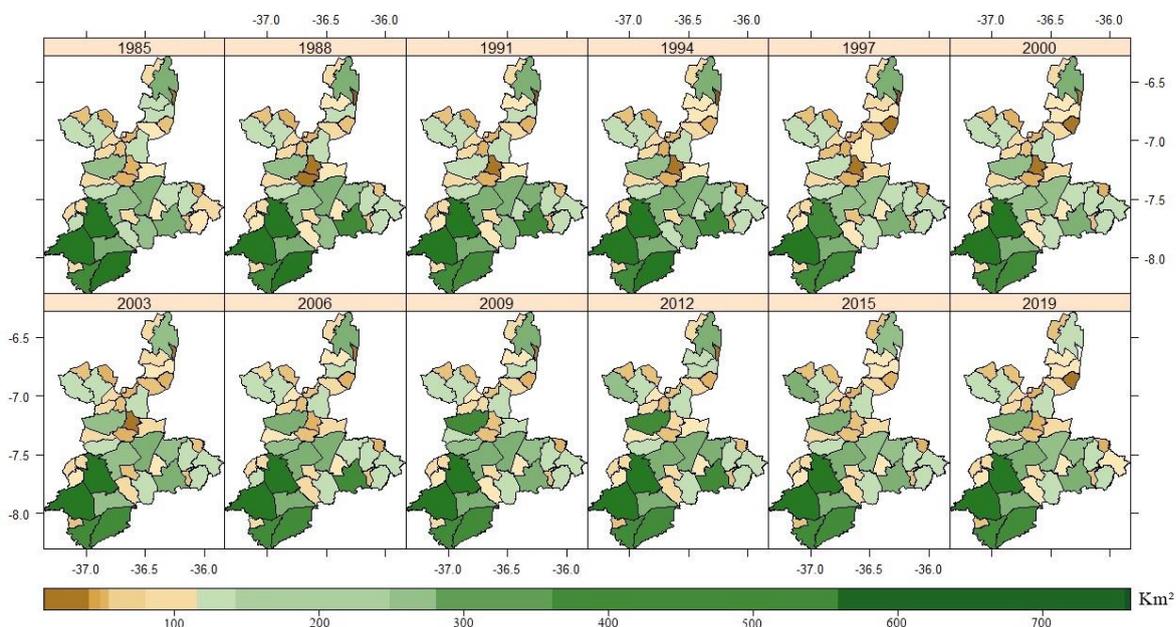
**Tabela 5.** Variabilidade da área com cobertura vegetal de Caatinga na área de estudo.

Período	Saldo de vegetação (km <sup>2</sup> )
1990-1999	-478,3
2000-2009	896,4
2010-2019	-745,2

Fonte: Adaptado de Mapbiomas, 2021.

Ao que se refere as questões climatológicas percebe-se que a Tabela 5 mostra uma clara relação entre totais precipitados e a resposta da Caatinga a primeira década demonstrada na tabela foi caracterizada por anos com baixos totais precipitados em todo o estado seguido por uma década com valores precipitados satisfatório e mais uma vez uma década com valores abaixo da média demonstrando que a variabilidade natural é constante e as práticas antrópicas funcionam com intensificadores.

A detecção da variação da cobertura de Caatinga assume importância principalmente no sentido de indicar quais as melhores ações a serem tomadas, assim como, a utilização de uma série histórica consistente consegue indicar as tendências da variação para, assim, conseguir um resultado que demonstre melhor a realidade dos fatos conforme observa-se na Figura 4.



**Figura 4.** Variabilidade espaço-temporal da área de cobertura vegetal de Caatinga dos municípios na Borborema paraibana no período de 1985 a 2019. Fonte: Adaptado de Mapbiomas, 2021

Ao se analisar a Figura 4, percebe-se que os municípios de pequeno porte, sobretudo os do Seridó oriental paraibano apresentaram uma intensa redução nos totais de área coberta nos 15 primeiros com uma variação bastante perceptível assim como os municípios do Cariri oriental, existe uma evidente manutenção da Caatinga no Cariri oriental, mas devido ao tamanho dos municípios ser proporcionalmente maior, as áreas com vegetação natural são quantitativamente altas quando comparado ao resto da mesorregião mas que no entanto ao ser demonstrado a seguir na Figura 6 o Cariri ocidental se perfaz como uma área de perda bastante proeminente de Caatinga além do, já indicado, Seridó Oriental.

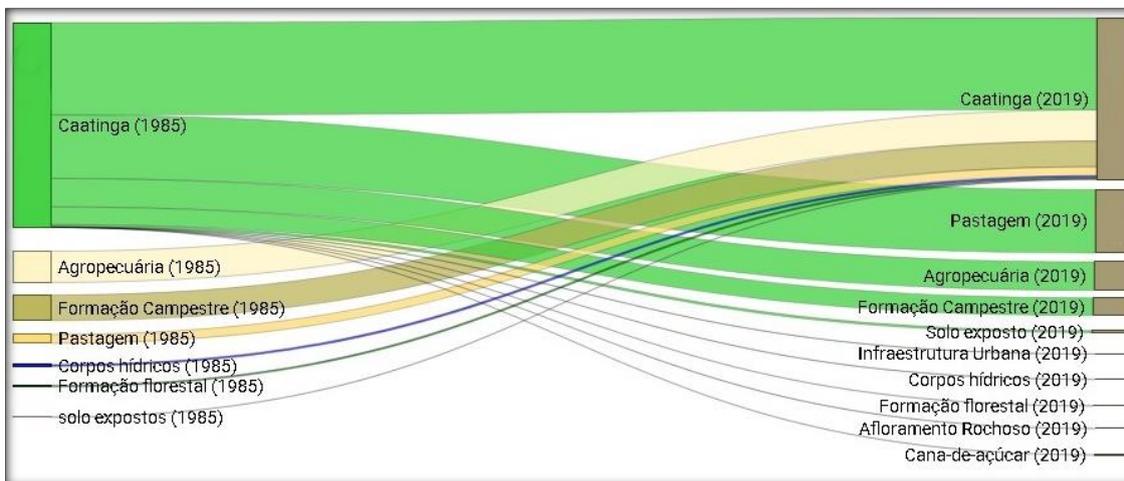
De acordo com Travassos (2012), a década de 1990 nos “cariri velhos” foi marcada pela retirada de lenha oriunda da caatinga principalmente para a região polarizada pela cidade de Campina Grande e pelo polo gesseiro de Pernambuco fato este que continuou com menor intensidade pela década subsequente o que, em parte, de acordo com o mesmo autor, foi devido ao fato muitos dos que se utilizavam da retirada da lenha como fonte de renda, sobretudo pequenos agricultores, entraram nos programas de renda do governo federal o que fez com que a retirada de lenha para complementação de renda diminuísse.

Na última década, como apresentado em Souza & Souza (2016), além das práticas já apresentadas a pecuária se intensificou, sobretudo a caprina, conseguindo bastante êxito em toda a área devido as características naturais do rebanho em detrimento ao rebanho bovino, de acordo com Albuquerque et al. (2004) o gado caprino em pequenas quantidades não interfere na biodiversidade da caatinga, no entanto, a Borborema paraibana apresenta altas concentrações do rebanho caprino em sua área fazendo com que haja uma superlotação e sobre isso Luna et al. (2018) retrata que em caso de superlotação (superior a 1 caprino por hectare) esse tipo de rebanho, associado a regimes de estiagem, intensifica a diminuição da caatinga e o fenômeno de desertificação.

Nas áreas ao norte da Borborema, formada pelo Seridó paraibano a mineração é a característica econômica historicamente mais presente em todos os períodos estudados (Dantas, 2016) e que consegue englobar uma cadeia produtiva bastante complexa devido a riqueza geológica da região, de acordo com Oliveira (2019) a pressão imposta por esse tipo empreendimento é muito severo a caatinga de modo particular principalmente pela forma como são abertas as valas de mineração assim como o modo a qual são tratados os rejeitos de modo irregular tornando improdutivo o solo de um modo que impossibilite a sucessão ecológica por tempo indeterminado (Andrade & Azevedo, 2015; Oliveira,

2019).

Nesta perspectiva de variabilidade temporal pode-se através do diagrama de Sankey (Figura 5), montado a partir dos valores de área total original da caatinga no ano de 1985 até o ano de 2019, demonstrar as transições quantitativa na área da caatinga da Borborema paraibana.

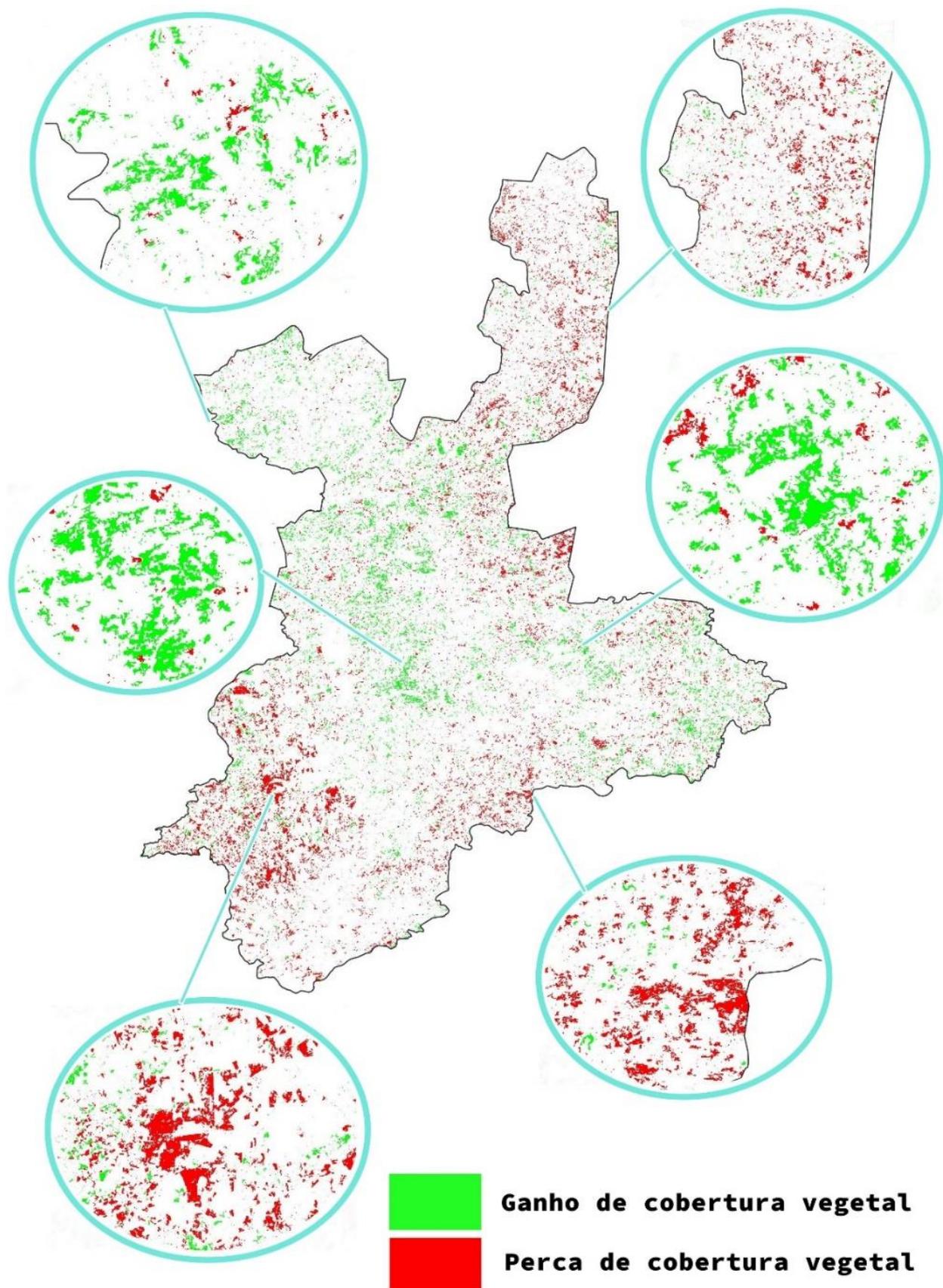


**Figura 5.** Fluxo da transição da cobertura de Caatinga na Borborema no período de 1985 a 2019. Fonte: Autor, 2021

De acordo com o diagrama apresentado, desde 1985 a área anteriormente utilizada por caatinga aos longos dos anos começou a apresentar diferentes estratificações de uso e cobertura sendo os mais presentes a transformação de caatinga em pastagens para o gado e a utilização para a agropecuária no sistema de consórcio entre a agricultura no período chuvoso (sistema de sequeiro) e a pecuária no período anual que a agricultura fica impossibilitada, além de um raleamento da caatinga a “rebaixando” a um sistema de formação campestre. Do mesmo modo, é notório que mesmo percentualmente em valores menores, houve uma transição da caatinga em solo exposto e afloramento rochosos demonstrando a perda desta cobertura deixando o solo desprotegido além de uma pequena parcela que demonstra o crescimento dos núcleos urbanos, áreas de vegetação que foram suprimidas para a criação de barragens (públicas e particulares) conforme demonstrado em Xavier et al. (2013) em parcela da área de estudo que esta ação é pratica comum nas propriedades para captação de água das chuvas para diversos usos .

Não obstante, houve também o caminho inverso onde algumas áreas utilizadas para outros fins ao longo do período estudado transicionaram para a caatinga dentre eles o mais expressivo são os usos por agropecuária que representam áreas abandonadas que

conseguiram se recuperar ao sistema assim como áreas com formação campestre que seguiram a sucessão ecológica à caatinga. Mesmo quantitativamente o cenário encontrado ao longo dos anos foi este, a configuração espacial na área de estudo mostrou um outro cenário da qual pode perceber as áreas donde ocorreram as transições demonstradas (Figura 6).



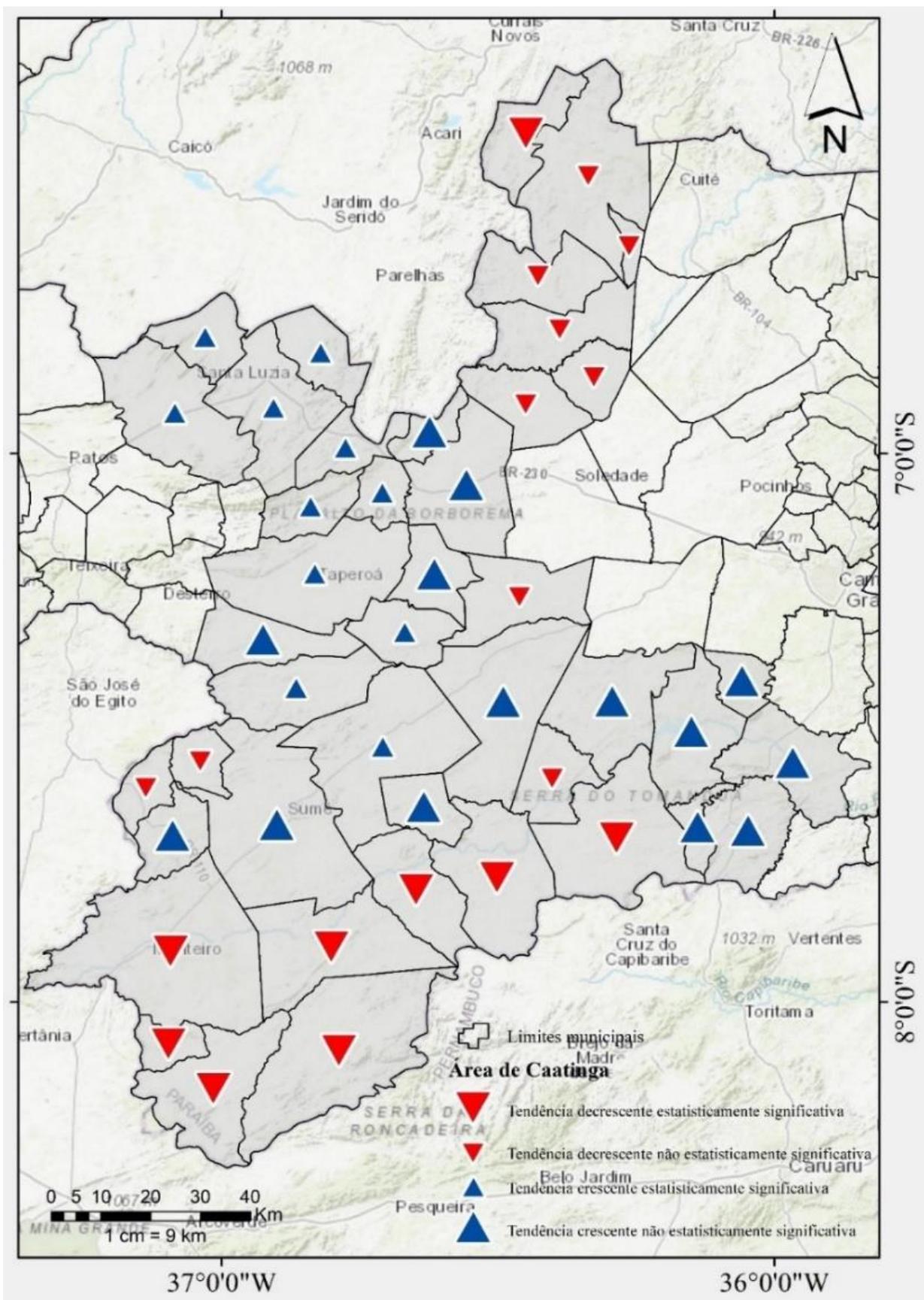
**Figura 6.** Distribuição espacial da perda/ganho total de cobertura vegetal de Caatinga no período de 1985 a 2019 (Diferença). Fonte: Autor, 2021

As áreas de perda de cobertura vegetal demonstradas na Figura 5 ressaltam espacialmente o fluxo indicado na Figura 4, através desta análise é possível identificar áreas com potencial a degradação das terras devido a substituição da mata de caatinga nativa por outros usos de terra, conforme a Figura, a área ao centro nordeste, que é referente ao Seridó oriental, apresenta maior intensidade na perda da vegetação espacialmente mais distribuída, valendo ressaltar que esta área apresenta como base econômica a mineração que é bastante danosa ao meio ambiente, outro ponto de perda bem expressivo e com grande intensidade é a área à sudoeste da Borborema referente ao cariri ocidental sobretudo no município de Monteiro (maior município do cariri e o que apresenta o maior rebanho caprino).

Conforme Arraes et al. (2012) não se pode afirmar que um único agente é responsável pela degradação das terras pois o que acontece é uma interação de fatores que agem em conjunto de forma positiva ou negativa para com o meio, pois o fenômeno de estiagem, típico desta região é um fenômeno intensificador da degradação (Vieira et al., 2020) mas que, no entanto, é válido o estudo de indícios de outros fatores naturais e/ou antrópicos característicos de áreas que apresentam degradação.

Em contrapartida, as terras localizadas ao centro noroeste, área que compreende o Seridó ocidental e parcialmente municípios ao norte do Cariri, apresentam uma mais presente recuperação do bioma caatinga, mas que, no entanto, não apresentam tanta intensidade, de acordo com Garrett et al. (2018) a paisagem historicamente formada no nordeste brasileiro é caracterizada por espaços rurais heterogêneos e fragmentados, portanto a característica supracitada se deve ao fato de que a recuperação da vegetação nativa acontecer em espaços menores, geograficamente próximos com intervalos espaciais corroborando a 1ª lei de Tobler que pode ser aplicada na área indicando que aconteceram processo de caráter socioeconômicos e /ou naturais que diferenciaram áreas criando “bolsões” de preservação ou de supressão na vegetação natural.

Por se tratar de 44 municípios a separação destes em grupos é de vital importância, tendo em vista que fenômenos de ordem local interferem principalmente no sentido de que escolhas econômicas ou de ações de governança municipal são o primeiro “ponto de impacto” ao meio ambiente. Ao se analisar isoladamente cada município e realizando testes estatísticos de tendência para com eles é possível notar a existência de padrão geográfico que ratifica a lei de Tobler com os municípios apresentando similaridades de tendência para com seus vizinhos conforme pode ser visto na Figura 7.



**Figura 7.** Distribuição da tendência estatística para variação da área de cobertura de Caatinga por município na Borborema paraibana (1985-2019).

A área localizada ao extremo sul da mesorregião da área de estudo que correspondem aos municípios limítrofes com o estado de Pernambuco (com exceção do município de Alcantil), apresentam tendência significativa de perda de caatinga justamente esses são os municípios que apresentam historicamente um maior montante histórico de caatinga em seus territórios.

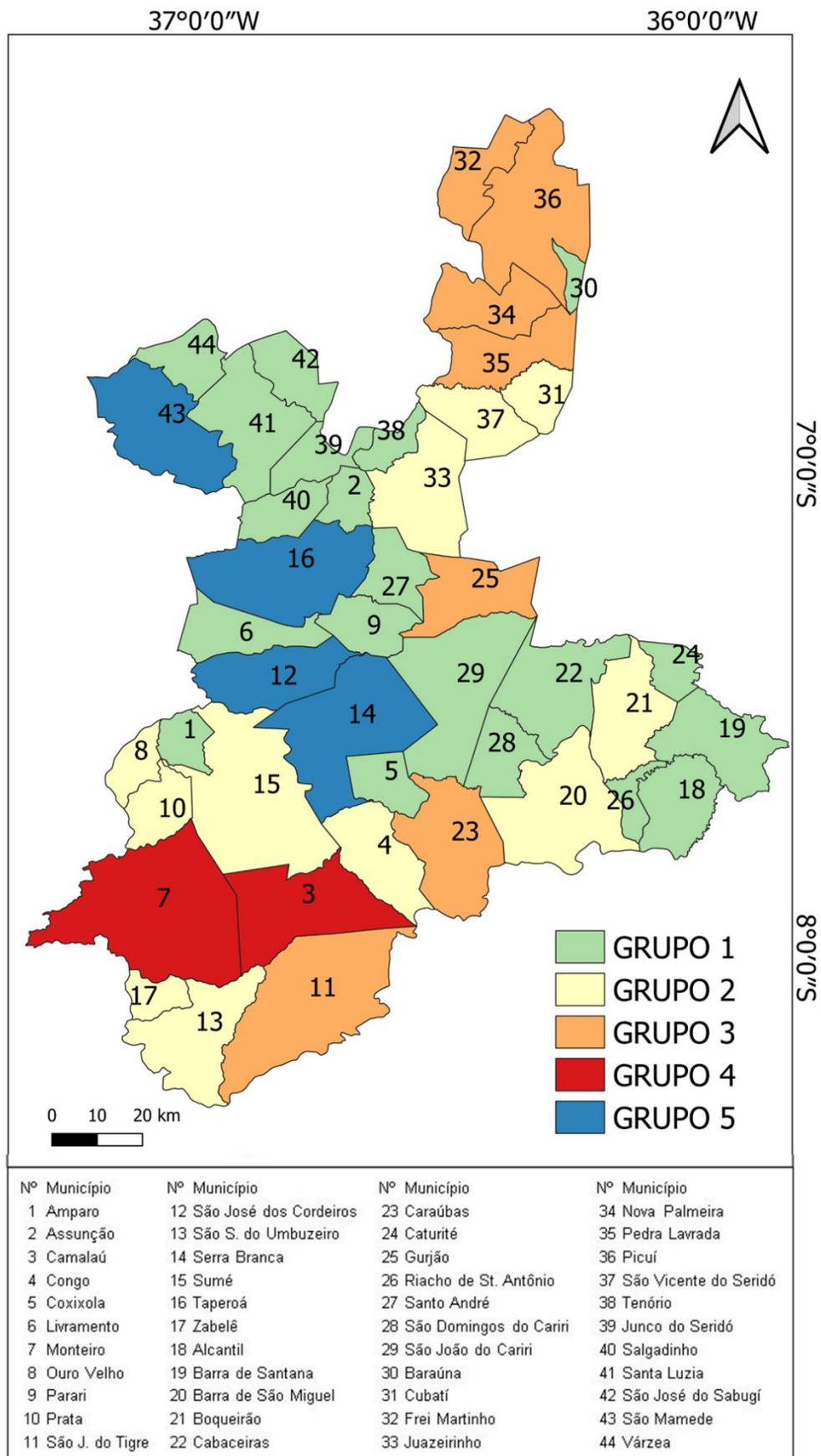
Do mesmo modo o extremo sul, municípios que correspondem ao Seridó oriental apresenta tendência de perda de sua cobertura vegetal, no entanto, com exceção do município de Frei Martinho, a tendência decrescente não é significativa, do mesmo modo a tendência do Seridó Oriental, na maioria dos municípios, não é significativa, porém apresenta tendência histórica crescente. O setor central da área de estudo apresenta tendência histórica crescente com pouca variação nos totais anuais ao longo da série o que posteriormente será indicado como uma presença de um cluster devido a esta similaridade histórica entre estes municípios

Ao se analisar em conjunto o mapeamento da área de estudo e dando ênfase aos municípios com decréscimo de caatinga nota-se que mesmo os municípios evidenciados anteriormente com perda significativa apresentam as maiores áreas de caatinga principalmente pelo fato de suas grandes áreas municipais ao passo que municípios menores apresentam uma variação mais notória logo, o agrupamento entre eles se torna ainda mais necessário.

### 5.3 Análise de agrupamento na mesorregião da Borborema Paraibana

A delimitação dos grupos foi realizada a partir dos dados históricos referentes a diferença total da área ocupada por vegetação de caatinga por município durante o intervalo temporal entre 1985 e 2019, utilizando o método de agrupamento hierárquico aglomerativo de Ward (1963).

A delimitação da área em grupos dividiu a mesorregião em 5 grupos ( Figura 8), o primeiro grupo reúne municípios com áreas de caatinga com pouca amplitude ao longo dos anos com uma leve recuperação da área de vegetação nativa e composta por 20 municípios (Alcantil, Amparo, Assunção, Baraúna, Barra de Santana, Cabaceiras , Caturité , Coxixola, Junco do Seridó , Livramento, Parari, Riacho de Santo Antônio , Salgadinho , Santa Luiza ,Santo André, São Domingos do Cariri , São Jose do Sabugi , Tenório e Várzea ) .



**Figura 8.** Localização geográfica dos elementos de cada grupo. Fonte: Autor, 2021

O Grupo 2 formado por 11 municípios (Barra de São Miguel, Boqueirão, Congo, Cubati, Juazeirinho, Ouro Velho, Prata, São Sebastião do Umbuzeiro, São Vicente do Seridó, Sumé e Zabelê) e o Grupo 3 formado por 8 municípios (Caraúbas, Frei Martinho, Gurjão, Nova Palmeira, Pedra lavrada, Picuí e São Joao do Tigre) apresentam uma estrutura intermediária com valores médios de área com cobertura vegetal mas ambos com diminuição nas áreas com catinga sendo que no Grupo 2 a diferença encontrada é mais suave do que encontrada no Grupo 3.

O Grupo 4 formado por 2 municípios (Monteiro e Camalaú) apresenta uma grande área coberta com vegetação nativa, mas que, no entanto, apresentam um declínio muito forte sendo o município de Monteiro o com maior redução de área com vegetação natural com uma perda superior a 17 mil hectares.

O Grupo 5 com 4 municípios (São José dos Cordeiros, São Mamede, Serra Branca e Taperoá) apresenta uma recuperação das terras com vegetação nativa sendo que o município Taperoá foi o que mais aumentou sua área com este tipo de cobertura com recuperação superior a 6 mil hectares.

#### 5.4 Tendências nas séries históricas de cobertura de Caatinga

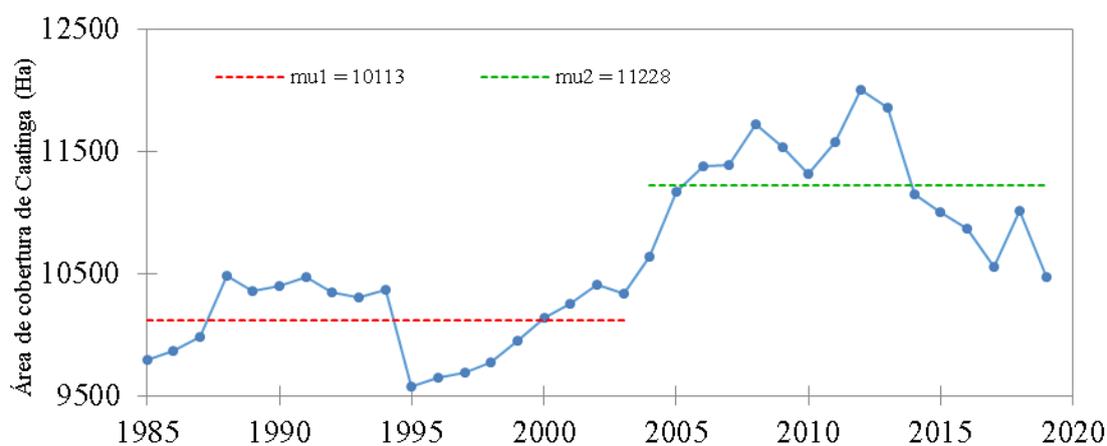
A partir da Tabela 6 foi possível visualizar o resultado dos testes estatísticos para cada grupo e assim evidenciar as respectivas tendências na série. O resultado do teste de Mann-Kendall não apresentou tendência estatisticamente significativa para o Grupo 2, mesmo apresentando tendência para todos os outros grupos, sendo de acréscimo na cobertura do solo para os grupos 1 e 5 e de decréscimo da área de cobertura vegetal para os grupos 3 e 4, respectivamente os valores da curvatura de Sen encontrados para os grupos de 1 a 5 foi de respectivamente 48,3 ha, -29,7 ha, -122,9 ha, -276,7 ha, 198,7 ha.

**Tabela 6.** Resultados dos testes estatísticos para as séries de cobertura vegetal por grupo.

Grupos	Mann-kendall			Pettitt			Ano da quebra	M2-M1
	Z <sub>MK</sub>	p-valor*	Tendência	K	p-valor*	Sinal		
Grupo 1	2,38	0,02	S+	300	< 0,0001	S+	2003	1115
Grupo 2	-1,02	0,31	NS	150	0,0483	S-	1994	-861
Grupo 3	-2,28	0,02	S-	216	0,0003	S-	1994	-2452
Grupo 4	-4,24	< 0,0001	S-	294	< 0,0001	S-	2001	-4610
Grupo 5	2,35	0,02	S+	300	< 0,0001	S+	2003	5095

\*Intervalo de confiança considerado: 95% ( $\alpha = 0,05$ ). S+: Tendência significativa positiva. S-: Tendência significativa negativa. NS: Nenhuma significância estatística. M1=Média anterior ao ano de quebra. M2=Média posterior ao ano de quebra.

De acordo com a Figura 9 (Grupo 1) pode se verificar a variabilidade temporal anual da Caatinga no período estudado para este grupo. Este grupo apresenta uma área média coberta por vegetação natural de 19581,0 ha, com um mínimo de 17638,0 ha no ano de 1995 e um máximo de 22083,3 ha em 2012. Vale ressaltar que o indicativo de mínima narra um período de diminuição bastante evidenciado de 5 anos (1995 – 1999) com o ápice no primeiro ano assim como o ano de máxima é o ponto central de um triênio (2011 - 2013) onde o grupo 1 apresentou a maior cobertura vegetal da série temporal.

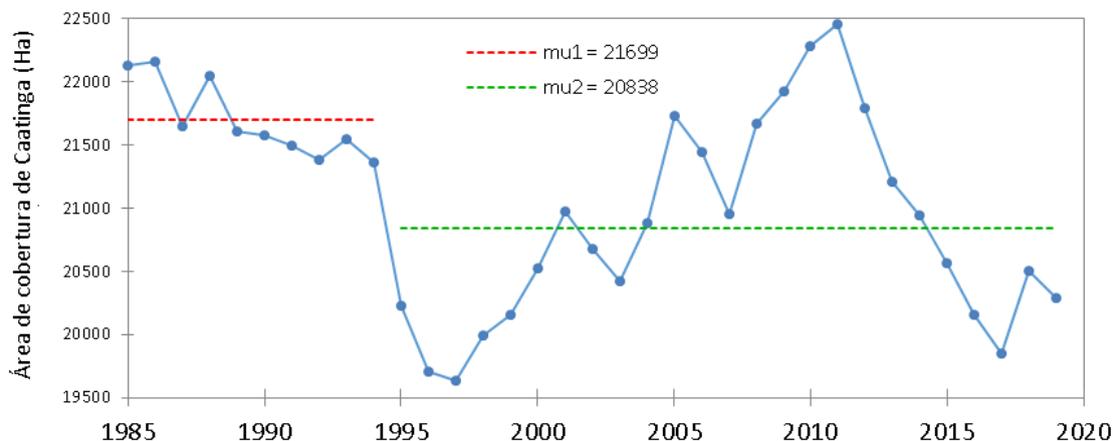


**Figura 9.** Variabilidade temporal das áreas de cobertura vegetal nativa para o Grupo 1.

Os municípios reunidos neste grupo apresentam características bastante peculiares a primeira é que os municípios deste grupo estão *a priori* espacializados no Cariri oriental e no Seridó Oriental e estas microrregiões geográficas respectivamente, de acordo com Brasil (2015) e Lopes (2019) apresentaram uma retração bastante evidenciada da sua população rural esta que parte para os centros urbanos locais ou os grandes centros regionais fazendo com este municípios, sobretudo os que não se destacam em uma economia primária comecem a desenvolver sua economia terciária deixando em um segundo plano os espaços ruralizados que nestas regiões apresentam fraco impulso de políticas públicas de permanência do homem no campo (Silva, 2013; Tavares & Ramos, 2016).

A variabilidade anual do Grupo 2 (Figura 10) possui média de 23192,2 Km<sup>2</sup> para o período de estudo com um máximo valor de 24707,7 ha no ano de 2011 e mínimo de 2159,4 ha em 1997. Observa-se que os períodos de mínima e máxima cobertura vegetal são muito similares ao grupo 1, no entanto, a amplitude de área ocupada durante a série

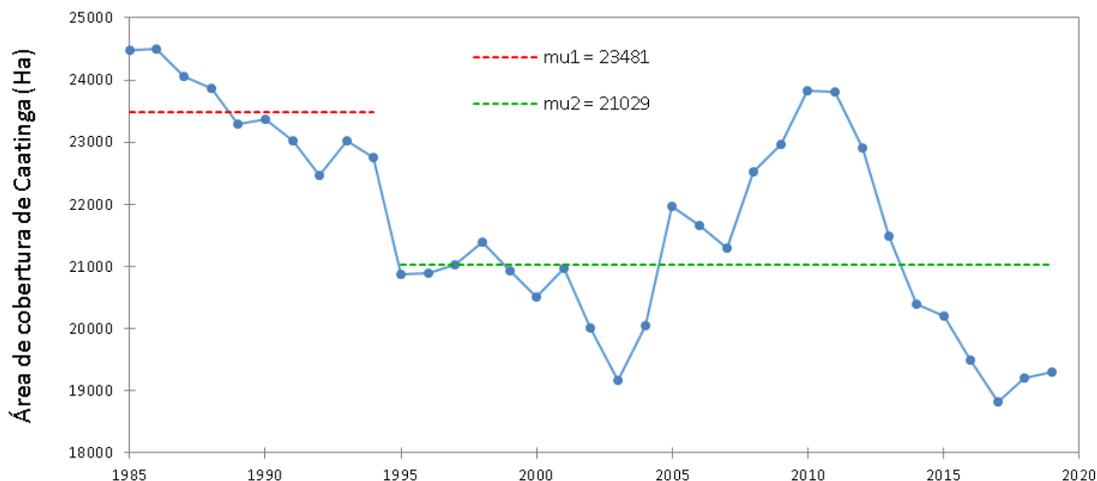
temporal é menor indicando, conseqüentemente, menor variabilidade total.



**Figura 10.** Variabilidade temporal das áreas de cobertura vegetal nativa para o Grupo 2.

O grupo 2 representa municípios com característica de intermediariedade quanto ao perfil vegetação nativa e como aspecto espacial estar geograficamente localizados ao redor de municípios que apresentam tendência significativa, além do que as características enquadradas no grupo também se aplicam ao grupo 3 sendo que neste grupo por se tratar de áreas de transição ainda não tem característica bem definida quanto a sua configuração socioespacial e econômica.

No Grupo 3, o valor médio da cobertura vegetal de caatinga foi de 21730 ha com máximo valor de 24505 ha sendo encontrado no ano de 1986 e um valor mínimo de 18827 ha em 2017, já é perceptível um decréscimo aparente que inicia já no primeiro ano da série com uma recuperação da vegetação na década de 2000 e um novo decréscimo na década subsequente (Figura 11).

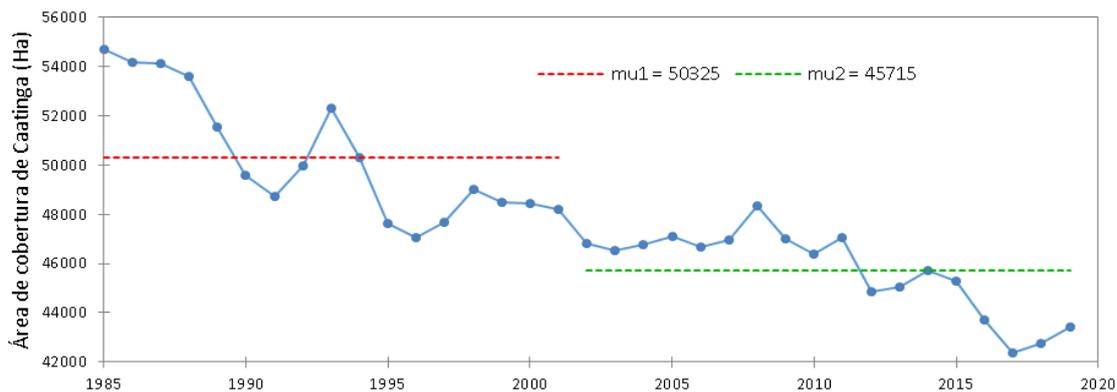


**Figura 11.** Variabilidade temporal das áreas de cobertura vegetal nativa para o Grupo 3.

O Grupo 3 pode ser representado com um grupo de excepcionalidade, os integrantes deste grupo se concentram principalmente na área referente ao Seridó oriental paraibano, uma área marcada por um dos maiores núcleos de desertificação do estado da Paraíba (Alves et al., 2009) que tem como exploração mineral uma das maiores fontes de renda municipal o que de acordo com Oliveira (2019) no Seridó ocorre de forma predatória além das crescentes retiradas da vegetação nativa para suprir a demanda de Lenha para olarias e padarias (Oliveira & Pereira, 2015; Melo, 2017), o aumento do rebanho, sobretudo o caprino (Melo, 2017) além das características naturais frágeis frente a degradação tais como os baixos valores precipitados anuais (Silva et al., 2020) e solos rasos erodíveis (Lucena, 2019).

Além disso, o restante dos municípios que perfazem este grupo mas que no entanto estão espacializados geograficamente área de estudo apresentam características não distantes da já apresentadas, Caraúbas, Gurjão e São João do Tigre alavancado pela produção pecuária do Cariri Ocidental aumentaram seus rebanhos de forma bastante proeminente nas últimas décadas (Barbosa & Xavier, 2019) além deste último possuir maior parte de seu território bastante frágil aos processos de degradação (Silva & Souza, 2017).

O Grupo 4 (Figura 12), apresenta um média de 47954 ha com valores de 42363 ha e 54691 ha de máxima e mínima cobertura respectivamente que aconteceram nos anos de 1985 e 2017 sendo que os três últimos anos da série são os menores valores encontrados e inversamente proporcional a isto os nove primeiros são os maiores da série indicando uma perda da área de cobertura de Caatinga ao longo da série para este grupo



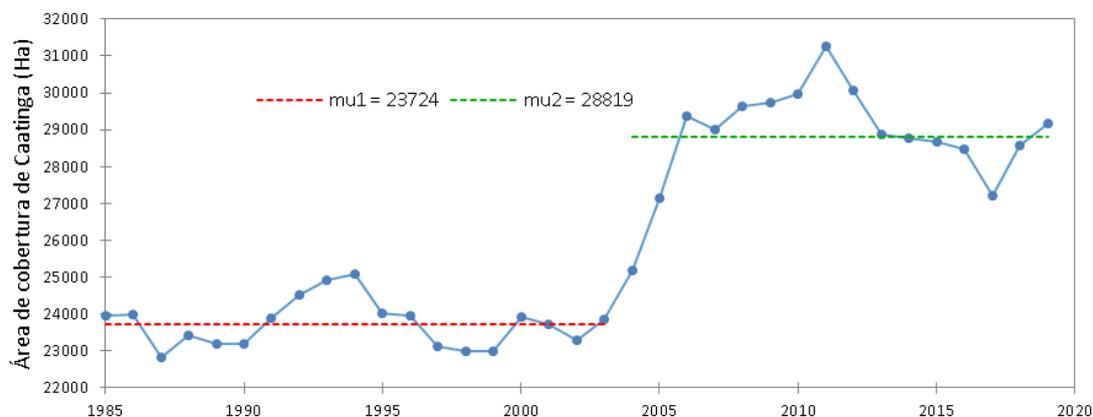
**Figura 12:** Variabilidade temporal das áreas de cobertura vegetal nativa para o Grupo 4.

Analisando a evolução da variabilidade do uso e cobertura do solo para o grupo 4 diversas são as características potencialmente devastadoras da vegetação nativa deste ambiente, analisando de forma individual o município de Monteiro, historicamente o mais importante do cariri paraibano (Souza, 2008), percebe-se com base dos dados do Mapbiomas que a área urbana aumentou mais de 200% alavancado pelo crescimento populacional e pelo êxodo rural constante nessas áreas (Maranhão,2014) o que consequentemente resultou numa perceptível diminuição das áreas dedicadas de forma exclusiva à agricultura , ao passo que as áreas dedicadas a pastagem aumentaram de forma bastante efetiva ao longo dos anos , demonstrando a face da matriz econômica deste grupo que se baseia no rebanho, em conformidade com este dado, Silva et al. (2013) , Azevedo & Alves (2015), Alves et al.(2018) que afirmar que as mudanças no uso e cobertura do solo nesta área possui causas antrópica .

A Figura 13 que ilustra a variação temporal do grupo 5 ao ser considerado o montante de área coberta por caatinga no período de 1985 a 2019, o valor médio de cobertura foi de 10420,1 ha com um valor máximo encontrado em 2011 de 12500,0 ha e um mínimo de 9122,2 ha no ano de 1987.

Em observância ao mapa de localização geográfica dos elementos de cada cluster é notório que este grupo está em concordância com as características do grupo sendo que este apresenta uma recuperação bem evidenciada das áreas cobertas com cobertura de vegetação nativa , De acordo com Pereira ( 2019) o êxodo rural no município de Taperoá aumentou de forma considerável a partir do início da década passada devido à falta de produtividade das terras, as mesmas sendo abandonadas , este fato narrado pela autora é perceptível na Figura 13 pois a mesma realidade encontrada no município de Taperoá pode ser encontrada no restante dos integrantes do grupo, as condições de difícil

permanência da população na zona rural faz com que estas áreas sejam abandonadas possibilitando a recuperação das mesmas .



**Figura 13:** Variabilidade temporal das áreas de cobertura vegetal nativa para o Grupo 5.

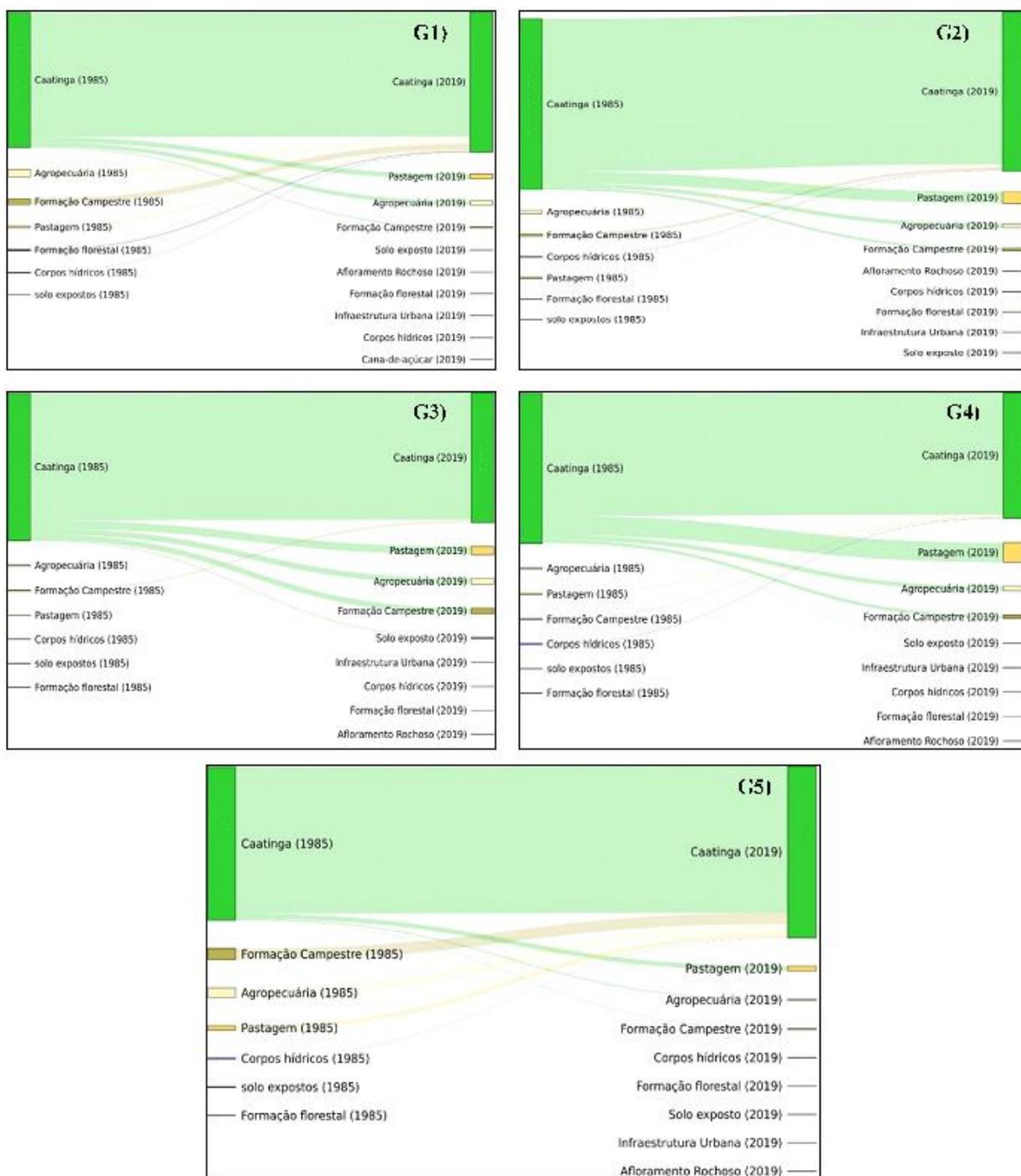
O teste de homogeneidade de Pettitt apontou quebra em todas as séries históricas de cobertura vegetal com tendência significativa para todos os grupos, para os Grupos 1 e 5 a perda de homogeneidade da série aconteceu no ano de 2003, assim como nos grupos 2 e 3 a quebra aconteceu no ano de 1994 além destes a quebra do grupo 4 ocorreu no ano de 2001.

A partir dos agrupamentos encontrados foi possível observar que os municípios da Borborema paraibana apresentam diferentes configurações do tratamento para com sua vegetação nativa de caatinga, observa-se um grupo de municípios que a variação da média indica perda de caatinga considerável (Grupo 2) com um decréscimo na média de aproximadamente 4% de sua vegetação assim como municípios que apresentaram decréscimo alto (Grupos 3 e 4) com perdas superiores a 9% do total inicial embora o Grupo 4 apresente em termos relativos um percentual menor de perda de área de cobertura sua perda absoluta foi de aproximadamente duas vezes a média do grupo 3 fazendo com que este grupo apresente as maiores perdas de cobertura em termos absolutos .

Do mesmo modo , a partir da mudança das médias encontradas através do teste de Pettitt observa-se que os municípios que representam os Grupos 1 e 5 apresentam maiores médias a partir do ponto de quebra enunciado uma recuperação em sua cobertura vegetal e ao se analisar o gráfico que representa a evolução histórica do grupo (Figura 13) percebe-se um aumento bastante aparente o que é confirmado nos dados absolutos e relativos com um acréscimo de ganho de média na cobertura vegetal superior a 20% a

partir da quebra da série .

Logo é perceptível que cada grupo enunciado possui uma evolução histórica para com sua vegetação natural com a mesma ao longo do período estudado ganhando/perdendo área de cobertura para outro uso, conforme pode ser visto na Figura 14.



**Figura 14.** Fluxo da transição da área de cobertura vegetal de Caatinga para cada grupo no período de 1985 a 2019. Fonte: autor, 2021

De acordo com a Figura 14 pode ser observado nos fluxos do uso e cobertura do solo que envolve a cobertura de Caatinga para cada grupo é possível inferir, em um primeiro momento, que em todos os grupos a caatinga faz uma transição mais recorrente para o uso de pastagem, logo em seguida para a agropecuária demonstrando a característica estática desta área do nordeste que privilegia a criação de gado e a agricultura de sequeiro como fontes primárias de renda instituídas em propriedades rurais fragmentadas (Santos, 2020), fato este que corrobora os estudos de Coelho Junior et al. (2020) que ao realizar um estudo sobre todo o semiárido paraibano encontraram relação muito próxima além de explicitar que os eventos ocorridos historicamente na Paraíba como as recorrentes estiagens levam para a diminuição da propriedades rurais na Paraíba fazendo com que a caatinga consiga se recuperar não por políticas mitigadoras mas pelo abandono da terra .

No entanto Targino et al. (2019) e Souza (2020) ao relatar sobre o comportamento agropecuário Paraibano afirmam que o Cariri Ocidental Paraibano apresenta crescimento constante da criação de gado, sobretudo o rebanho caprino com incentivos por parte do poder público estadual e municipal a fim de criar meios da permanência do homem do campo em suas propriedades.

Embora não seja possível afirmar que a criação de gado caprino tenha impacto direto com a diminuição do bioma caatinga, Araújo & Souza (2011) e Berto (2019) concordam em suas pesquisas que o sobrepastoreio intenso que está acontecendo nesta área faz com que a diversidade botânica se esvaia de forma mais intensa pelas características tanto do espaço que a atividade ocorre quanto da forma como ela ocorre, além de que de acordo com Barbosa (2021) os sistemas produtivos de criação implantados no cariri Ocidental não apresentam sustentabilidade o que é um forte indicativo de práticas predatórias aos recursos naturais nesta área além que de acordo com Figura 6 , justamente os municípios do cariri ocidental apresentam perdas significativas da vegetação nativa , fato este que depende de outros fatores integrados tais a predisposição natural da área mas a criação de gado pode ser um agente intensificador do processo .

## 6. CONCLUSÕES

Na Mesorregião da Borborema Paraibana a atual configuração do uso e cobertura do solo refaz uma construção dos períodos históricos que narram a construção de uma relação intrínseca entre a sociedade e a natureza que foi moldada a partir das condições naturais e as necessidades da sociedade em permanecer neste ambiente, logo, a configuração atual perpassa por uma cobertura total formada por Caatinga ainda predominante mas que, no entanto, em algumas áreas tende a sofrer fortes pressões antrópicas fazendo com que haja uma substituição desta por sistemas agropecuários .

A partir do cenário na variação cobertura vegetal nativa em toda a área percebe-se que justamente as áreas que apresentam modelos econômicos primários apresentam com maior intensidade áreas com perda total de caatinga sendo estas o Cariri Ocidental como forte modelo histórico agropecuarista e o Seridó oriental que apresenta como característica econômica a mineração com isso e a partir análise de agrupamento permitiu dividir a área em 5 grupos com padrões espaciais homogêneos de ganho/perda de cobertura vegetal, notadamente com os Grupos 3 e 4 com tendência estatisticamente significativa de perda de área de caatinga com maiores valores encontrados no Grupo 4 , áreas essas que são marcadas pela criação de gado e a mineração que se intensificaram nos últimos anos.

Do mesmo modo, os Grupos 1 e 5 apresentam tendência significativa de ganho de áreas com vegetação nativa, fato este que é atribuído ao êxodo rural que vem ocorrendo nas últimas décadas causando um abandono das terras, assim, facilitando o processo de sucessão ecológica na caatinga permitindo sua recuperação.

Por fim, mesmo considerando que o sensoriamento remoto assim como os produtos derivados do mesmo apresentem confiabilidade, é altamente necessário uma maior validação no campo para a confirmação de algumas variáveis , no entanto , através das análises dos resultados obtidos e pelo fato da Borborema paraibana estar localizado em uma área propensa a desertificação é altamente recomendado , sobretudo nos municípios que apresentem perda significativa de caatinga, que medidas de conscientização a população e de ordem de políticas públicas sejam criadas para que a permanência do homem do campo não esteja diretamente ligada a degradação das terras.

## REFERÊNCIAS

- Albuquerque, A. W.; Lombardi Neto, F.; Srinivasan, V. S.. 2001. Efeito do desmatamento da caatinga sobre as perdas de solo e água de um luvissole em Sumé (PB). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, n. 1, p. 121-128.
- Albuquerque, S. G.; Soares, J. G. G.; Guimarães Filho, C.; Oliveira, M. C.. 2004. Dinâmica do estrato herbáceo de uma vegetação de caatinga do sertão pernambucano, sob intensidades de uso por caprinos. Embrapa, 7 p.
- Almeida A.Q.; Mello A.A.; Neto, A.L.; Ferraz R.C.. 2014. Relações empíricas entre características dendrométricas da Caatinga brasileira e dados TM Landsat 5. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.49, n.4, p. 306-315.
- Alves, J. J. A.; Souza, E. N.; Nascimento, S. S.. 2009. Núcleos de desertificação no estado da Paraíba. *Revista RA'E GA*, v. 1, n. 17, p. 139-152.
- Alves, T. L. B..2016. Avaliação do nível de degradação das terras (desertificação) no alto curso da bacia hidrográfica do Rio Paraíba. Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Tese de Doutorado, 151 p.
- Alves, T. L. B.; Azevedo, P.V.; Santos, A.C.; Santos, F.A.C.. 2018. Evolução Espaço-temporal do albedo e da cobertura vegetal da superfície na bacia hidrográfica do alto curso do rio paraíba. *Geosul*, v. 33, n. 66, p. 147.
- Araújo, C. S. F.; Sousa. A. N.. 2011. Estudo do processo de desertificação na Caatinga: uma proposta de educação ambiental. *Ciência & Educação*, v. 17, n. 4, p. 975-986.
- Araújo Filho, J. A.. 2013. Manejo pastoril sustentável da caatinga. Projeto Dom Helder Câmara, 200 p.
- Arraes, R.A.; Mariano, F.Z.; Simonassi, A.G.. 2012. Causas do Desmatamento no Brasil e seu Ordenamento no Contexto Mundial. *RESR, Piracicaba-SP*, v. 50, n. 1, p. 119-140.
- Azevedo, P.V.; Alves, T.L.B.. 2015. Análise da variação espacial e temporal do índice de vegetação e sua relação com parâmetros climáticos na bacia hidrográfica do alto curso do rio paraíba, estado da paraíba, brasil. *Boletim goiano de Geografia*, v. 35, n. 3, p. 530-533.
- Barbosa, P.A.C.. 2017. Qualidade física do solo submetido a prática de e pousio em área sob processo de desertificação . Programa de e pós graduação em agronomia ,Universidade Federal do Ceará, Tese De Doutorado . 85 P.

- Barbosa, R. F. B.. 2021. Avaliação da sustentabilidade da caprinocultura leiteira no cariri ocidental paraibano: uma adaptação metodológica. Programa de Pós-graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Tese de Doutorado, 191p.
- Bayma, A. P.. 2015. Análise do potencial de séries temporais de índices de vegetação (NDVI e EVI) do sensor MODIS para detecção de desmatamentos no bioma Cerrado. Programa de Pós-graduação em Geociências Aplicadas, Universidade de Brasília, 99 p.
- Beltrán-Przekurat, A.; Pielke, R.A.; Eastman, J.L.; Coughenour, M.B.. 2012. Modelling the effects of land-use/land-cover changes on the near-surface atmosphere in southern South America. *International Journal of Climatology*. v.32, n.1, 1206–1225.
- Berto, I. R.. 2019. Uma abordagem sobre a biodiversidade e conservação da caatinga por meio de práticas pedagógicas em uma escola pública no município de Cuité-PB. Trabalho de Conclusão de Curso – Monografia, Universidade Federal de Campina Grande. 85 p.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. Secretaria de Desenvolvimento Territorial. 2015. Plano Territorial do cariri oriental: guia para o planejamento territorial. Brasília: MDA/SDT. 8 p.
- Borges, C.K.; Santos, C.A.C.; Carneiro, R.G.; Silva, L. L.; Oliveira, G.; Mariano, D.; Silva, M. T.; Silva, Bernardo B.; Bezerra, Bergson, G.; Perez-Marin, Aldrin M.; Medeiros, S. S.. 2020. Seasonal variation of surface radiation and energy balances over two contrasting areas of the seasonally dry tropical forest (Caatinga) in the Brazilian semi-arid. *Environmental Monitoring And Assessment*, v. 192, p. 1-18.
- Chakraborty, S.; Pandey, R. P.; Chaube, U. C.; Mishra, S. K.. 2013. Trend and variability analysis of rainfall series at Seonath River Basin, Chhattisgarh (India). *International journal of Applied Sciences and Engineering Research*, v. 2, n. 4, p. 425-434.
- Coelho Junior, L. M.; Medeiros, M.G.; Nunes, A.M.M.; Macieira, M. L.; Fonseca, M. B.. 2020. Avaliação do uso do solo e dos recursos florestais no semiárido do estado da Paraíba. *Ci. Fl., Santa Maria*, v. 30, n. 1, p. 72-88.
- Companhia nacional de abastecimento – CONAB .2013. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Brasília: CONAB, 110 p.
- Dantas, D.S.; Silva, J.M.; Silva, A.B..2018. Tecnificação da agropecuária na mesorregião da Borborema (PB). In: Encontro nacional de geógrafos, XIX, 1- 11

- Dutra, A. C.. 2019. Mapeamento e monitoramento da cobertura vegetal do estado da Bahia utilizando dados multitemporais de sensores ópticos orbitais Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, INPE, Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. 141 p.
- Garrett, R.D.; Koh, I.; Lambin, E.F.; le Polain de Waroux Y.; Kastens, J.H.; Brown, J.C.. 2018. Intensification in agriculture-forest frontiers: land use responses to development and conservation policies in Brazil. *Global Environ Change* 53:233–243.
- Formigoni, M.H.; Xavier, A.C.; Lima, J.S.S. 2011. Análise temporal da vegetação na região do nordeste através de dados EVI do MODIS. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.21, n. 1, p. 1-8.
- Franca-Rocha, W.J.S.; Chaves, J.M.. 2017. Caatinga biome ATBD\_R collection 2.1. MAPBIOMAS. Disponível em: <http://mapbiomas.org/>.
- Francisco, P. R. M.. 2013. Modelo de mapeamento da deterioração do Bioma Caatinga da bacia hidrográfica do Rio Taperoá. Programa de Pós Graduação Em Engenharia Agrícola ,Universidade Federal de Campina Grande , Tese De Doutorado . 113 P.
- Jensen, J. R.. 2009. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos; Parênteses. 585 p.
- Kendall, M.G.. 1975 Rank correlation measures. London: Charles Griffin, 220p.
- Lefebvre, H.. 1983. Lógica formal, lógica dialética. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira
- Lima, D.J.S.; Coelho, L; F.M.; Rodrigues, R.G.. 2020. Influência da Indústria do Gesso e da Agropecuária na Dinâmica da Cobertura Vegetal no Polo Gesseiro do Araripe *Revista Brasileira de Geografia Física* v.13, n.07, p.3326-3335.
- Liu, T.D.J.; Shanga J. M.B.Q.B.; Kovacs, J.M.; Waltersb, D.; Jiao, X.; Genga, X.; Shia, Y.. 2019. Assessment of red-edge vegetation indices for crop leaf area index estimation. *Remote Sensing of Environment*. v.222, n.1, p. 133–143.
- Lopes, J.R.F.; Silva, D.F.. 2013. Aplicação do teste de Mann-Kendall para análise de tendência pluviométrica no estado do Ceará. *Revista De Geografia (UFPE)* v. 30, n. 3, p. 192-208.
- Lopes, M. A. V..2019. Caracterização Sócio Espacial dos Municípios Inseridos no Seridó Ocidental da Paraíba. Trabalho de conclusão de curso – Monografia. Universidade Estadual da Paraíba, 25 p.

- Lucena, M.S..2019. Aspectos ambientais das áreas susceptíveis à desertificação e características socioambientais do núcleo de desertificação do Seridó do Rio Grande do Norte (RN) e Paraíba (PB). *HOLOS*, v.5, n.1, p. 1-16.
- Margalho, E. S.; Silva, M. T.; Cardoso, L. K. S.; Olinda, R. A.; Menezes, J. F. G.. 2020. Influência da Mudança do Uso e Cobertura do Solo sobre a Temperatura da Superfície Continental na Área Urbana de Belém-PA. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, v. 43, p. 7-19.
- Mann, H.B. 1945. Nonparametric test against trend. *Econometrica*, v.13, p.245-259.
- Maus, N.; Câmara, G.; Cartaxo, R.; Sanchez, A.; Ramos, M.; Queiroz, G.R., 2016. A TimeWeighted Dynamic Time Warping Method for Land-Use and Land-Cover Mapping. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, v. 9, n. 8, p. 3729-3739.
- Melo, W.M..2017 Desertificação e Economia no Núcleo do Seridó. Trabalho de conclusão de curso – Monografia. Universidade Federal da Paraíba. 45 p.
- Moraes, R. A.; Nascimento, A. T. A.. 2020. A análise temporal do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do rio Piracicaba em Minas Gerais. *Geoambiente On-Line*, v.38, p.19–37.
- Morettin, P. A.; Tolo, C. M. C.. 2006. Análise de séries temporais. São Paulo: Edgard Blucher, 2<sup>a</sup> ed., 544 p.
- Nonato R.T., Oliveira S.M.. 2013. Técnicas de mineração de dados para identificação de áreas com cana-de-açúcar em imagens LANDSAT 5. *Engenharia Agrícola*. v.33, n.6, n. 1268-1280.
- Oliveira, E. M. .2019. Mineração do caulim como tendência à desertificação no Seridó paraibano. Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco , Tese de doutorado. 182 p.
- Oliveira, E. M.; Pereira, P.A..2015. O Dilema da Semiáridez no Seridó Paraibano: Causas e Consequências. In: *Workshop Internacional sobre Água no Semiárido Brasileiro*, II, 1- 6.
- Oliveira, V.G.; Silva, M. T.; Santos, C. A. C.; Serrão, E. A. O.; Silva, B. K. N. ; Santos, M. R. S. ; Correa, I. C. P.. 2021. Variabilidade Temporal da Cobertura das Terras nos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.36, n.1, p. 125-136.

- Panday, P.K.; Coe, M.T.; Macedo, M.N.; Lefebvre, P.; Castanho, A.D. de A.. 2015. Deforestation offsets water balance changes due to climate variability in the Xingu River in eastern Amazonia. *J. Hydrol.* v. 523, p.822–829.
- Pereira, J. S.. 2019. Dinâmica da degradação ambiental no município de Taperoá – Paraíba: um estudo espaço-temporal. Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande , Dissertação de Mestrado. 144 p.
- PROJETO MAPBIOMAS, Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em 16 jan. 2021.
- Portela, M.M.; Quintela, A.C.; Santos, J.F.; Vaz, C; Martins, C.. 2011. Tendências em séries temporais de variáveis hidrológicas. *Associação Portuguesa de Recursos Hídricos (APRH)*, v. 32, n. 1, p. 43-60.
- Rosa, M.R. 2016. Comparação e análise de diferentes metodologias de mapeamento da cobertura florestal da Mata Atlântica. *Boletim Paulista de Geografia*, v. 95, p. 25 - 34.
- Salazar, A.; Katzfey, J.; Thatcher, M.; Syktus, J.; Wong, K.; McAlpine, C.. 2016. Deforestation changes land-atmosphere interactions across South American biomes. *Glob. Planet. Change*, v. 139, p.97–108.
- Santos, C. A. C.; Mariano, D.A.; Chagas, A.; Nascimento, F.; C.; Dantas, F.R.; Oliveira, G.; Silva, M. T.; Silva, L.L.; Silva, B.B.; Bezerra, B. G.; Safa, B.; Medeiros, S. S.; Neale, C.M.U..2020. Spatio-temporal patterns of energy exchange and evapotranspiration during an intense drought for drylands in Brazil. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 85, p. 101982.
- Santos, M.. 2009. *A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção*. 4. ed. São Paulo: USP, 392 p.
- Santos, R. F.. 2004. *Planejamento ambiental: teoria e prática*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Schucknecht, A.; Erasmi, S.; Matschullat N. J..2013. Assessing vegetation variability and trends in north-eastern Brazil using AVHRR and MODIS NDVI time series. *European Journal of Remote Sensing*, v. 46, p. 40-59.
- Schulz, K.; Voigt, K.; Beusch, C.; Almeida-Cortez, J.S.; Kowarik, I.; Walz, A.; Cierjacks, A.. 2016. Grazing deteriorates the soil carbon stocks of Caatinga forest ecosystems in Brazil. *For. Ecol. Manage.* v. 367, p. 62–70.
- Sen, P.K..1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau. *J. Am.*

- Stat. Association, v. 63, p. 1379-1389.
- Seyffarth, J.A.S.; Rodrigues, V.. 2017. Impactos da seca sobre a biodiversidade da Caatinga. *Parc. Estrat., Brasília-DF*, v. 22, n. 44, p. 41-62.
- Silva, A. L.; Silva, G. S.; Silva, W. S.; Araújo, L. E.. 2020. Avaliação da Precipitação da Microrregião do Seridó Oriental Paraibano. *Geografia*, v. 45, n. 2. 2013 -233.
- Silva, A.M.; Xavier, A.P.C.; Medeiros, I.C.; Maranhão, K.U.A.; Silva, R.M.. 2013. Análise multitemporal e atualização do mapa de Uso e ocupação do solo do município de Monteiro-PB. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, XVI*, 1- 8
- Silva, A. S.; Silva, F.H.S.; Santos, G.; Leite, M.J.H.. 2019. Desmatamento multitemporal no bioma Caatinga no município de Delmiro Gouveia, Alagoas. *Revista Verde*, v.14, n. 5, p. 654-657.
- Silva, J. M. C.; Leal, I. R.; Tabarelli, M.. 2017. *Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America*. Springer International Publishing: Springer Nature, 487 p.
- Silva, M. T.; Margalho, E. S.; Serrão, E. A. O.; Souza, A. C.; Soares, C. S.; Santos, C. A. C.; Silva, B. B.. 2021. Application of Spatial Modeling of Biophysical Variables in an Urbanized Area in the Amazon: The Case of the Metropolitan Area of Belém-Pará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.36, n. 2, p. 271 - 283.
- Silva, R.M.T..2013. Território e desenvolvimento rural: Uma análise da política territorial do MDA em um estudo de caso no cariri oriental –PB. Programa de Pós-Graduação em desenvolvimento regional, UEPB, Dissertação de Mestrado, 167 p.
- Silveira ,E.M.O.; Bueno, I.T.; Acerbi-Junior, F.W.; Mello ,J.M.; Scolforo, J.R.S.; Wulder, M.A.. 2018. Using Spatial Features to Reduce the Impact of Seasonality for Detecting Tropical Forest Changes from Landsat Time Series. *Remote Sensing*, v.10, n.808, p. 1-21.
- Small, C. 2004. The Landsat ETM+ spectral mixing space. *Remote Sensing of Environment*, v. 93, p. 1–17.
- Souza, R. S.. 2018. Avaliação espaço-temporal do processo de desertificação em sub-bacias hidrográficas do Rio Paraíba no Semiárido do Brasil. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal da Paraíba, Tese de Mestrado em Geografia.88 p.
- Souza, B.I.. 2008. Cariri paraibano: do silêncio do lugar à desertificação. Programa de Pós Graduação em Geografia ,Universidade Federal do Rio Grande do Sul , Tese

de Doutorado . 198 P.

- Souza, B.I.; Artigas, R.C.; Lima, E.R.V..2015. Caatinga e Desertificação. Mercator, v. 14, n. 1, p. 131-150.
- Souza, B.I.; Souza, R.S..2016. Processo de ocupação dos Cariris Velhos – PB e efeitos na cobertura vegetal: contribuição à Biogeografia Cultural do semiárido Caderno de Geografia, v.26, n. especial 2, p.229-258.
- Souza, F.M.C.. 2020. Dinâmica da produção de palma forrageira no cariri ocidental paraibano. Trabalho de Conclusão de Curso – Monografia, Universidade Federal da Paraíba Grande. 27 p.
- Souza Jr, C.M. Z. ;Shimbo, J.; Rosa, M.R.; Parente, L.L.; A. Alencar, A.; Rudorff, B.F.T.; Hasenack, H.; Matsumoto, M.; G. Ferreira, L.; Souza-Filho, P.W.M.; de Oliveira, S.W.; Rocha, W.F.; Fonseca, A.V.; Marques, C.B.; Diniz, C.G.; Costa, D.; Monteiro, D.; Rosa, E.R.; Vélez-Martin, E.; Weber, E.J.; Lenti, F.E.B.; Paternost, F.F.; Pareyn, F.G.C.; Siqueira, J.V.; Viera, J.L.; Neto, L.C.F.; Saraiva, M.M.; Sales, M.H.; Salgado, M.P.G.; Vasconcelos, R.; Galano, S.; Mesquita, V.V.; Azevedo, T. 2020 .Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. *Remote Sens.* v.12, p. 2735.
- Souza Jr., C. M.; Roberts, D.; Cochrane, M. A. 2005. Combining Spectral and Spatial Information to Map Canopy Damages from Selective Logging and Forest Fires. *Remote Sensing of Environment*, v. 98, p. 329-343.
- Targino, I.; Carvalho, R.G.; Farias, W.S..2019. Desempenho da Economia Paraibana no Início do Século XXI. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 28 p.
- Tavares, V. C.; Arruda, Í. R. P.; Silva, D. G..2019. Desertificação, mudanças climáticas e secas no semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica. *Geosul*, v. 34, n. 70, p. 385-405.
- Tavares, V. C.; Ramos, N.L.. 2016. A desertificação em São João do Cariri (PB): uma análise das vulnerabilidades. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.09, n.05, p. 1384-1399.
- Tian, F.; Brandt, M.; Liu, Y.Y.; Rasmussen, K.; Fensholt, R.. 2017. Mapping gains and losses in woody vegetation across global tropical drylands. *Global Change Biology*, v.23, p. 1748–1760.
- Travassos, I. S.. 2012. “Florestas brancas” do semiárido nordestino: desmatamento e desertificação no Cariri. Programa de Pós Graduação em Geografia ,Universidade

- Federal da Paraíba , Dissertação de Mestrado . 148 p.
- Verbesselt, J.; Hyndman, R.; Newnham, G.; Culvenor, D.. 2010. Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. *Remote Sensing of Environment*, v. 114, p. 106-115.
- Verçosa, J. P.; Santos, C.C.A.S.; Silva, S.M.L.C.; Silva, S.C.S. Oliveira, M.S.; Tavares, A.C.F.. 2021. Uso de sensoriamento remoto e de dados oriundos do projeto mapbiomas para análise do desmatamento no município de rio largo/al. *Estudos em Ciências Biológicas, Exatas e Naturais*, v. 1, 13 p.
- Vieira, R. M. S. P.; Sestini, M. F.; Tomasella, J.; Marchezini, V.; Pereira, G. R.; Barbosa, A. A.; Santos, F. C.; Rodriguez, D. A.; Nascimento, F. R.; Santana, M. O.; Barreto Campello, F. C.; Ometto, J. P. H. B..2020. Characterizing spatio-temporal patterns of social vulnerability to droughts, degradation and desertification in the Brazilian northeast. *Environmental and Sustainability Indicators*, v. 5, p. 100016.
- Ward, J.H.. 1963. Hierarchical grouping of optimize na objective function. *Journal of American Statistical Association*, v. 58, p. 236-244.
- Wilks, D.S.. 2006. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 2. ed. London, Academic Press, 649p.
- Yue, P. S.; Yang, T. C.; Wu, C. K..2002. Impact of climate change on water resources in southern Taiwan. *Journal of Hydrology*, v. 260, p. 161-175.
- Zhang M.Q.; Guo H.Q.; Xie X.; Zhang T.T.; Ouyang Z.T.; Zhao, B.. 2013. Identification of Land-Cover Characteristics Using MODIS Time Series Data: An Application in the Yangtze River Estuary. *PLoS ONE* v. 8 , n.7.