



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS I - CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO  
MESTRADO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO**

**LUCAS NUNES DE ARAUJO**

**DINÂMICA DA COBERTURA VEGETAL NATIVA AO LONGO DA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA**

**CAMPINA GRANDE**

**2025**

LUCAS NUNES DE ARAUJO

**DINÂMICA DA COBERTURA VEGETAL NATIVA AO LONGO DA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação.

**Área de concentração:** Biodiversidade e Conservação de Ecossistemas.

**Orientador:** Profa. Dra. Dilma Maria de Brito Melo Trovão.

**Coorientador:** Dra. Fernanda Kelly Gomes da Silva.

**CAMPINA GRANDE**

**2025**

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

A663d Araujo, Lucas Nunes de.

Dinâmica da cobertura vegetal nativa ao longo da bacia hidrográfica do rio paraíba [manuscrito] / Lucas Nunes de Araujo. - 2024.

95 f. : il.

Digitado.

Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, 2024.

"Orientação : Prof. Dra. Dilma Maria de Brito Melo Trovao, Departamento de Biologia - CCBS".

"Coorientação: Prof. Dra. Fernanda Kelly Gomes da Silva, Departamento de Biologia - CCBS".

1. Bacia hidrográfica do rio paraíba. 2. Análise temporal. 3. Sensoriamento remoto. 4. Dinâmica de uso e da cobertura vegetal. I. Título

21. ed. CDD 577

LUCAS NUNES DE ARAUJO

DINÂMICA DA COBERTURA VEGETAL NATIVA AO LONGO DA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação.

Área de concentração: Biodiversidade e Conservação de Ecossistemas.

Aprovada em: 28/02/2025.

**BANCA EXAMINADORA**



---

Profa. Dra. Dilma Maria de Brito Melo Trovão (Orientador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



---

Dra. Luciana Marques Rocha Ferreira  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



---

Dra. Júlia Caram Safir  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

“A relação entre o homem e a natureza é mediada pelo trabalho, pela práxis produtiva, que transforma tanto a natureza quanto o próprio homem. A crise ecológica é, portanto, uma expressão da contradição entre as forças produtivas e as relações sociais de produção.” (LUKÁCS, György. Para uma Ontologia do Ser Social. Tradução de Ivo Tonet. São Paulo: Boitempo, 2012.

## RESUMO

A dinâmica de cobertura vegetal e de uso nas diversas formações vegetacionais ainda carece de um melhor entendimento, pois há múltiplas causas envolvidas, como variações climáticas, avanço da agricultura e pecuária, exploração de produtos madeireiros, expansão urbana, estrutura fundiária, fatores culturais, sociais, dentre outros. No Brasil, os modelos que buscam entender as variações na cobertura da vegetação e no uso do solo concentram-se no bioma amazônico. Nosso objetivo principal foi investigar de que modo os fatores climáticos e socioeconômicos interagem entre si e como interferem na cobertura da vegetação nativa ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, estado da Paraíba, entre 1995 e 2021. A área de estudo (oito municípios) está inserida no Domínio das Caatingas e da Mata Atlântica e abrange a microrregião do Cariri e a Mesorregião da Borborema. Foram obtidas 16 imagens de satélite Landsat e dados socioeconômicos. A análise da cobertura vegetal na mesorregião do Cariri Paraibano entre 1995 e 2021 revelou que, entre os oito municípios estudados, apenas Livramento apresentou uma forte dependência da vegetação em relação ao clima, principalmente à precipitação. Nos demais municípios, o uso da terra para atividades agrícolas e pecuárias, bem como a distribuição de renda foram os principais fatores que influenciaram a dinâmica de cobertura da vegetação na Caatinga. Esses resultados sugerem que a vegetação da Caatinga, adaptada a condições de seca, é mais sensível às práticas de uso intensivo do solo do que às variações climáticas e que a distribuição de renda afeta a dinâmica de cobertura da vegetação tanto quanto variáveis agropecuárias. No Agreste, verificou-se uma interação equilibrada entre fatores climáticos e atividades antrópicas, onde a precipitação ainda exerce influência sobre a cobertura vegetal, mas modulada pelo uso agropecuário e pela presença de programas sociais. Na Zona da Mata, a urbanização e a expansão agropecuária foram os principais moduladores da cobertura vegetal, com destaque para a criação de ovinos e bovinos, a presença de beneficiários de programas de distribuição de renda, e a presença de corpos hídricos que podem atuar na regulação indireta do uso da terra. Concluímos a partir do estudo realizado que a dinâmica de cobertura da vegetação nativa nas mesorregiões analisadas é influenciada por uma complexa interação de fatores, apresentando padrões distintos na Borborema, no Agreste e na Zona da Mata.

**Palavras-chave:** bacia hidrográfica do rio paraíba; análise temporal; sensoriamento remoto; dinâmica de uso e da cobertura vegetal

## ABSTRACT

The dynamics of vegetation cover and land use in the various vegetation formations still need to be better understood, as there are multiple causes involved, such as climate variations, the expansion of agriculture and livestock farming, the exploitation of timber products, urban expansion, land structure, cultural and social factors, among others. In Brazil, models that seek to understand variations in vegetation cover and land use focus on the Amazon biome. Our main objective was to investigate how climatic and socioeconomic factors interact with each other and how they interfere with native vegetation cover along the Paraíba River Basin, in the state of Paraíba, between 1995 and 2021. The study area (eight municipalities) is located in the Caatingas and Atlantic Forest Domains and covers the Cariri microregion and the Borborema mesoregion. Sixteen Landsat satellite images and socioeconomic data were obtained. The analysis of vegetation cover in the Cariri Paraíba microregion between 1995 and 2021 revealed that, among the eight municipalities studied, only Livramento presented a strong dependence of vegetation on climate, mainly precipitation. In the other municipalities, land use for agricultural and livestock activities, as well as income distribution, were the main factors that influenced the dynamics of vegetation cover in the Caatinga. These results suggest that the Caatinga vegetation, adapted to drought conditions, is more sensitive to intensive land use practices than to climate variations and that income distribution affects the dynamics of vegetation cover as much as agricultural variables. In the Agreste, a balanced interaction between climatic factors and human activities was observed, where precipitation still influences vegetation cover, but modulated by agricultural use and the presence of social programs. In the Zona da Mata, urbanization and agricultural expansion were the main modulators of vegetation cover, with emphasis on sheep and cattle farming, the presence of beneficiaries of income distribution programs, and the presence of water bodies that can act in the indirect regulation of land use. We conclude from the study carried out that the dynamics of native vegetation coverage in the analyzed mesoregions is influenced by a complex interaction of factors, presenting distinct patterns in Borborema, Agreste and Zona da Mata.

**Keywords:** paraíba river basin; temporal analysis; remote sensing; dynamics of use and vegetation cover.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>1.1</b>	<b>Tendências na cobertura vegetal no globo e nas regiões secas.....</b>	<b>10</b>
<b>1.1.1</b>	<b><i>Tendências na cobertura vegetal nas florestas úmidas e secas do Brasil.....</i></b>	<b>12</b>
<b>1.2</b>	<b>Influência do clima nas variações da cobertura vegetal.....</b>	<b>14</b>
<b>1.3</b>	<b>Influência de fatores socioeconômicos nas mudanças de uso e cobertura da terra.....</b>	<b>16</b>
<b>1.4</b>	<b>Histórico de uso e ocupação do solo na caatinga e mata atlântica .....</b>	<b>19</b>
<b>1.5</b>	<b>Sensoriamento remoto.....</b>	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>25</b>
<b>2.1</b>	<b>Local de Estudo .....</b>	<b>25</b>
<b>2.2</b>	<b>Coleta de dados.....</b>	<b>26</b>
<b>2.3</b>	<b>Análises de dados .....</b>	<b>27</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>29</b>
<b>3.1</b>	<b>Cariri.....</b>	<b>29</b>
<b>3.2</b>	<b>Agreste .....</b>	<b>44</b>
<b>3.3</b>	<b>Zona Da Mata .....</b>	<b>58</b>
<b>4</b>	<b>DISCUSSÕES .....</b>	<b>72</b>
<b>4.1</b>	<b>Cariri.....</b>	<b>72</b>
<b>4.2</b>	<b>Agreste .....</b>	<b>75</b>
<b>4.3</b>	<b>Zona Da Mata.....</b>	<b>79</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>84</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>85</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As mudanças na cobertura vegetal e no uso do solo apresentam relações com as variações climáticas, atividades produtivas, expansão urbana, estrutura fundiária, fatores sociais e até culturais. O uso e cobertura do solo associado à dinâmica das sociedades humanas e às condições climáticas fazem com que a cobertura vegetal dos ecossistemas apresente dinâmicas distintas, tanto de perda como de recuperação. Logo, tais mudanças podem se mover em duas direções: no sentido negativo, levando à degradação da terra e perda de potencial (de produção e biodiversidade), ou, no sentido positivo, resultando em um valor ou potencial mais alto (Verheye, 2009).

A pressão demográfica e a competição pela terra induzem mudanças estruturais nas sociedades modernas e têm modificado não só o equilíbrio rural/urbano, mas também os padrões de uso da terra existentes. Apesar da migração para as cidades, as pressões populacionais ainda estão aumentando em muitas áreas rurais, especialmente onde há solos de boa qualidade. Verheye (2009) elenca quatro tendências que podem ser reconhecidas nas mudanças no uso da terra: primeiro, a expansão contínua da terra arável para atender às crescentes demandas de alimentos de uma população crescente; em segundo lugar, o rápido desenvolvimento das áreas urbanas e suburbanas; terceiro, o contínuo desmatamento e perda de pastagens em favor de áreas agrícolas e urbanas; e, quarto, a crescente preocupação com a proteção do meio ambiente, resultando na criação de reservas naturais.

Estudos têm demonstrado que o processo de migração rural-urbana, aliado a redução da densidade populacional nas zonas rurais, têm o potencial de impulsionar a regeneração natural florestal (Aide & Grau 2004; Barbieri & Carr 2005; Wright & Muller-Landau 2006; McDonald 2008). Análises sobre o desmatamento e o reflorestamento na América Latina entre 2001 e 2010 (Aide, et al., 2012) demonstraram, em 56% dos municípios analisados, que a diminuição da população rural acompanhou um aumento significativo na vegetação lenhosa. De modo inverso, onde houve o aumento da população, ocorreu perda da vegetação arbórea. Apesar dessas relações, foi demonstrado que as condições ambientais tiveram um maior impacto nas variações da cobertura lenhosa no período analisado (Aide, et al., 2012).

As condições climáticas representam um importante fator que atua sobre a dinâmica de cobertura da vegetação e de sua cobertura, uma vez que as plantas dependem da água para realizar seus processos fisiológicos como a fotossíntese e obtenção de nutrientes do solo (Markesteyn et al.,2011; Wilcox et al.,2020; Funk et al.,2021). Além de sua influência sobre a

vegetação nativa, o clima direciona as atividades produtivas e, conseqüentemente, a pressão sobre os ecossistemas naturais. No município de Tauá, Estado do Ceará, observou-se que nos anos com precipitação pluviométrica acima da média histórica houve significativo acréscimo de áreas degradadas, decorrentes do avanço de terras incorporadas à agricultura de subsistência. Por outro lado, em períodos de estiagem, constatou-se comportamento inverso, caracterizado pela regeneração natural do estrato arbustivo-arbóreo em decorrência do abandono das áreas agrícolas (Aquino et al., 2018). Em outro estudo realizado no semiárido brasileiro, os autores consideraram que a regeneração da vegetação foi associada às práticas de pousio e êxodo rural cada vez mais frequente na região nordeste, e não necessariamente à precipitação acima da média (Aquino et al., 2021), contrariando o estudo de Aquino et al. (2018).

A história de ocupação e uso do solo brasileiro ocorreu de forma heterogênea em cada porção do território. A região litorânea, caracterizada pelo Domínio da Mata Atlântica, teve sua ocupação e desenvolvimento econômico iniciados no período de colonização, com a extração do pau-brasil, minérios e a expansão de monoculturas, resultando num intenso desmatamento e fragmentação da vegetação (Lima & Garcia, 2010). Atualmente, além da pressão agropecuária, há um denso povoamento e crescimento dos empreendimentos imobiliários. Em termos de área regenerada/desmatada, o Nordeste apresenta mais áreas regeneradas, enquanto que as outras regiões do país, apresentam mais áreas desmatadas, com destaque para o Centro-Oeste (Lima & Garcia, 2010). A regeneração dessas áreas se deve principalmente à crescente conformidade com a legislação ambiental e ao aumento das áreas protegidas, como Áreas de Preservação Permanente (APPs) e Reservas Legais (Lima & Garcia, 2010).

A ocupação do interior do Nordeste foi determinada pela necessidade de prover a área açucareira de animais para trabalho e alimento (Andrade, 1979). As primeiras vilas e povoações surgiram a partir do século XVIII, com a submissão dos indígenas, expansão da pecuária e desenvolvimento da cultura do algodão (Andrade, 1979). Com a queda do algodão, houve um aumento das culturas de subsistência, como feijão, milho e mandioca. As lavouras de sequeiro em sistema de rotação de terras (agricultura itinerante), tendo como práticas culturais o desmatamento e queima durante o período seco, ainda é o sistema mais adotado pelos agricultores desprovidos de quaisquer outros recursos na região semiárida. Percebe-se, portanto, que as atividades agropecuárias no interior do Nordeste não se diversificaram de uma forma abrangente, como em outras regiões do país, e ainda são muito dependentes da disponibilidade de chuvas. A manutenção das atividades extrativistas demonstra o quanto ainda

se depende da vegetação (Araujo & Carvalho, 1997; De Sá et al., 2017; Muir et al., 2019), apesar dos programas de distribuição de renda existentes.

Diferentemente da região litorânea, cuja precipitação é maior e melhor distribuída no tempo, a região semiárida caracteriza-se predominantemente pelo clima semiárido, com chuvas concentradas em poucos meses do ano e muito variáveis ao longo do ano e entre os anos (Nimer 1989). Estudos têm demonstrado que a sazonalidade climática varia conforme a localização geográfica e que a região litorânea apresenta uma menor variabilidade interanual de chuvas, em comparação com o interior do Nordeste (Meneghetti e Ferreira, 2009). Diante desses dados, é esperado que a dinâmica de cobertura da Caatinga seja muito mais dependente do clima do que a Mata Atlântica.

O sensoriamento remoto constitui uma ferramenta fundamental no monitoramento da dinâmica de uso e de cobertura florestal em todo o globo (Grinand et al. 2013, Giri, 2011, Margono, 2012). Cada elemento da paisagem (água, vegetação, solo, etc) interage de um determinado modo com a radiação eletromagnética (REM) que é, posteriormente, captada pelos sensores remotos presentes nos satélites utilizados para o sensoriamento remoto (Ponzoni, 2002). Em relação à vegetação, características como densidade, distribuição e altura dos indivíduos, fenologia e biomassa podem ser associados a diferentes respostas espectrais, permitindo a distinção de fisionomias (Ferreira et al. 2008; Ponzoni, 2002; Ponzoni e Rezende 2004).

Partindo do pressuposto de que as condições climáticas e socioeconômicas são fatores determinantes na dinâmica da cobertura da vegetação, nosso objetivo foi investigar de que modo tais fatores interagem entre si e como interferem na cobertura da vegetação nativa ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, Estado da Paraíba. O estudo foi realizado em oito municípios distribuídos em três mesorregiões do Estado da Paraíba (Borborema, Agreste e Zona da Mata), totalizando 24 municípios, contemplando diferentes formações vegetacionais (Caatinga e Mata Atlântica) e condições climáticas e socioeconômicas do Nordeste brasileiro.

## **1.1 Tendências na cobertura vegetal no globo e nas regiões secas**

As drásticas transformações nas paisagens globais, especialmente em regiões secas, revelam tendências alarmantes na cobertura vegetal que podem redefinir o futuro dos ecossistemas. Segundo Santos, Nascimento & Silva (2020), apenas um quinto da cobertura florestal original do mundo permanece em grandes áreas inalteradas, ao passo que as taxas de

desmatamento têm acelerado para cerca de 16 milhões de hectares por ano. As mudanças no uso da terra e da cobertura do solo têm um impacto significativo nas tendências observadas na vegetação ao longo do globo (Harris, Carr & Dash, 2014; Fensholt et al., 2015; Abel et al., 2020; Hill & Guerschman, 2022; Wang et al., 2023).

Embora a direção da mudança nas métricas anuais e sazonais de NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) seja semelhante para a maioria dos ecossistemas terrestres globais, como em regiões como o sudeste dos Estados Unidos, as florestas perenes (*evergreen*) têm mostrado um aumento na cobertura. Em várias partes da Europa, especialmente na Europa Ocidental e Central, as florestas decíduas e mistas e florestas de coníferas estão se expandindo. Isso se deve a uma combinação de políticas de conservação, reflorestamento e a redução da agricultura em áreas anteriormente cultivadas (Drigo, Lasserre & Marchetti, 2009; Fensholt et al., 2015; Lamchin et al., 2020). Já as florestas secas, especialmente em regiões como a América do Sul, partes da África e sudeste asiático estão apresentando uma tendência de queda na cobertura de vegetação, sendo identificadas como áreas de mudança significativa, com padrões de desmatamento e degradação associados a práticas de uso da terra, como a expansão agrícola e a exploração madeireira. (Mayaux et al., 2005; Drigo, Lasserre & Marchetti, 2009; Fensholt et al., 2015; Lamchin et al., 2020).

Segundo o estudo de Chen et al., (2022), o mundo está passando por uma tendência crescente de densidade de cobertura verde e produtividade da vegetação baseado no índice de área foliar (17,69%), produtividade primária líquida (20,32%), fluorescência da clorofila induzida pelo sol (16,46%), No entanto, observa-se uma tendência de diminuição da produtividade em algumas regiões tropicais, especialmente na floresta amazônica e na bacia do Congo. A maior parte dos estudos realizados nos últimos 20 anos (Mayaux et al., 2005; Drigo, Lasserre & Marchetti, 2009; Harris, Carr & Dash, 2014; Fensholt et al., 2015; Abel et al., 2020; Hill & Guerschman, 2022; Chen et al., 2022; Wang et al., 2023) não demonstram diferenças na dinâmica de cobertura da vegetação entre florestas tropicais secas e úmidas. Ambas parecem estar em declínio em comparação às florestas temperadas e frias no norte global.

Áreas de floresta tropical úmida passam por transformações massivas e intensidades variadas de uso da terra (Scherer-Lorenzen et al., 2007). Essas áreas vem sofrendo exploração provenientes de monoculturas comerciais (Koh & Ghazoul, 2008; Wilcove & Koh, 2010), como acácia, borracha, dendê e cacau. Na Indonésia, esse processo se intensificou nas últimas décadas, com a perda anual de cobertura florestal tropical atingindo 0,84 milhões de hectares em 2012, a maior taxa a nível global (Margono et al., 2014). A conversão em larga escala de

floresta tropical para fins agrícolas é particularmente pronunciada na ilha de Sumatra, que enfrenta a maior perda de cobertura florestal primária na Indonésia (Laumonier et al., 2010; Miettinen et al., 2011; Margono et al., 2014).

Essas mudanças na cobertura vegetal em regiões tropicais são impulsionadas por uma série de causas locais e fatores complexos que tornam difícil fazer generalizações simples. Todavia, o rápido crescimento populacional, o aumento das terras agrícolas, o crescimento das cidades e a expansão urbana, mudanças climáticas, pobreza e mudanças nos hábitos de consumo como o aumento da demanda de produtos que contribuem para o desmatamento, como carne bovina, óleo de palma e papel, impulsiona a demanda por terras que antes eram florestas. Além da transição de economias de subsistência agora inclinadas para economias de mercado, parecem estar entre as principais razões (Drigo, Lasserre & Marchetti, 2009; Lamchin et al., 2020).

Formas inadequadas de manejo do solo, que levam a efeitos prejudiciais na cobertura vegetal estão estreitamente relacionados com a segurança alimentar e as mudanças climáticas (Gomiero, 2016). A Agenda 2030 da ONU, com suas metas para o desenvolvimento sustentável, trata de questões fundamentais para transformar tais tendências no sul global (ONU, 2015). Embora isso seja verdadeiro, alcançar as metas essenciais para as transformações globais representa um desafio considerável e pode resultar em sérios problemas para a manutenção da vida no planeta.

### 1.1.1 *Tendências na cobertura vegetal nas florestas úmidas e secas do Brasil*

A região semiárida do Brasil, representada pela Caatinga, é caracterizada por um clima seco, com irregularidade de chuvas e alta evapotranspiração, sendo a região semiárida mais populosa do mundo com mais de 28 milhões de pessoas estabelecidas (Silva et al., 2017). Esta região perdeu área florestal em ritmo acelerado nas últimas décadas, mas também demonstra tendência de aumento da cobertura vegetal em outras regiões, segundo estudo de Schucknecht et al., (2013). Esses autores analisaram as tendências de NDVI em toda a área de Caatinga entre os anos de 1982 e 2006 e mostraram tendências de aumento da vegetação em regiões no sudeste e centro do nordeste do Brasil, especialmente no sudoeste do Ceará. Essas áreas podem estar se beneficiando de condições climáticas mais favoráveis ou de práticas de manejo sustentável. Já áreas com tendência de perda da vegetação foram observadas, entre outras, no sudeste do Rio Grande do Norte e nas regiões costeiras do sul de Sergipe e do nordeste da Bahia. Essas

diminuições podem estar associadas a fatores como desmatamento, mudanças no uso da terra e condições climáticas adversas. Outro trabalho realizado por Santos, Nascimento & Silva (2020) mostra que entre os anos de 2000 e 2018 a Caatinga perdeu um total de 60.769,39 km<sup>2</sup> de cobertura florestal, o que representa aproximadamente 26,96% da área florestal original em 2000. A análise ainda mostrou uma tendência crescente de perda anual de cobertura florestal na região semiárida, especialmente após 2010.

No Brasil, as áreas mais críticas em termos de degradação de terras estão localizadas no Nordeste semiárido. Além do clima, esta região é caracterizada por alta vulnerabilidade social, com elevados índices de analfabetismo, baixa renda e exclusão social. O problema fundiário, com a polarização entre grandes e pequenas propriedades, agrava ainda mais o desenvolvimento rural (Nys et al., 2016). Desde a década de 1980, foram identificadas áreas com degradação irreversível da vegetação, como os núcleos de desertificação na região do Cariri, na Paraíba, onde 77,4% do território está afetado, com 50% dos solos apresentando mínima ou nenhuma cobertura vegetal (Souza, Suertegaray & Lima., 2011; Brito et al., 2018). Em mais um estudo, de Cunha et al., (2019) foram analisadas 670 imagens do satélite Landsat, abrangendo um período de 31 anos (1985–2015), para examinar como a remoção da vegetação afetou os padrões espaciais e temporais da cobertura do solo em parte da Depressão Sertaneja Meridional, que é a maior das oito ecorregiões da Caatinga, e identificou a ocorrência geral de mudanças de cobertura do solo associadas ao desmatamento, fragmentação da vegetação, e conversão de áreas de vegetação nativa em terras agrícolas ou pastagens.

No domínio das Florestas Tropicais Úmidas, a Mata Atlântica cobre aproximadamente 15% do território do Brasil, em 17 estados. Abriga 72% da população brasileira e responde por 80% do PIB do país. Atualmente, restam apenas 24% da floresta original, dos quais apenas 12,4% são áreas de floresta madura e bem preservada (Fundação SOS Mata Atlântica e INPE, 2024).

Em 2005, a Mata Atlântica em oito estados brasileiros totalizava 97.906 km<sup>2</sup> de vegetação remanescente, dos quais 92.402 km<sup>2</sup> eram florestas maduras e avançadas, 4.634 km<sup>2</sup> restinga e 870 km<sup>2</sup> manguezal. Entre 2000 e 2005, a cobertura florestal sofreu uma redução de aproximadamente 951 km<sup>2</sup>, sendo 454 km<sup>2</sup> apenas no estado de Santa Catarina. A análise indicou uma diminuição geral na taxa de perda florestal, atribuída à redução nas taxas de desmatamento em estados como Rio de Janeiro, São Paulo, Espírito Santo e Rio Grande do Sul, que já haviam experimentado desmatamento significativo. Em contraste, estados com maiores

áreas de floresta remanescente, como Santa Catarina e Goiás, enfrentaram taxas de perda mais aceleradas. (Fundação SOS Mata Atlântica e INPE, 1993, 1998, 2002, 2006).

O Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica é um projeto conjunto da Fundação SOS Mata Atlântica e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), dedicado ao monitoramento da vegetação nativa desse domínio ecológico desde 1989. A 19ª edição do atlas, divulgada em maio de 2024, registrou uma perda de 14.697 hectares de florestas nativas no período observado (2022-2023). Embora esse número indique uma diminuição de 27% em comparação com o período anterior e revele uma tendência de redução na taxa de desflorestação nos últimos anos, o desmatamento continua significativo, especialmente em áreas de transição ou adjacentes a outros domínios fitogeográficos, como o Cerrado e a Caatinga.

A dinâmica da perda e recuperação da Mata Atlântica ainda não é completamente compreendida, apesar de sua extensa história de ocupação humana (Teixeira et al., 2009). Apesar do papel fundamental de organizações e institutos de pesquisas nacionais, a literatura científica carece de estudos multitemporais sobre as mudanças no uso e cobertura do solo associados às mudanças climáticas, pressão agrícola e urbana e sua tendência ao longo do tempo.

O relatório do IPCC destaca que existem deficiências na avaliação da extensão e gravidade da desertificação em várias escalas em ecossistemas tropicais e na importância dos esforços regionais e locais para uma análise mais detalhada (IPCC, 2022). Além disso, é necessário um entendimento mais aprofundado sobre como o uso e a ocupação do solo afetam a vegetação e quais são as previsões para cenários futuros. Estudos sobre tendências de vegetação e previsões futuras relacionadas ao uso do solo são praticamente ausentes para a região semiárida brasileira.

## **1.2 Influência do clima nas variações da cobertura vegetal.**

O clima exerce uma influência predominante na distribuição global dos principais tipos de vegetação. Uma análise visual do clima e da vegetação em escala global demonstra de forma evidente uma correlação significativa entre as zonas climáticas e as de vegetação, como os trópicos úmidos correspondendo às áreas de floresta tropical. (Whittaker, 1975; Woodward, 1987; Brovkin, 2002).

A vegetação, por sua vez, também influencia o clima. O desmatamento das florestas tropicais na América do Sul, África e Sudeste Asiático, realizado principalmente para a agricultura, aumenta o efeito albedo da superfície, reduz a evaporação e diminui a rugosidade

do solo, resultando em um aquecimento regional (Henderson-Sellers et al., 1993; Zhang, McGuffie & Henderson-Sellers, 1996; Ganopolski et al., 2001).

Ecossistemas tropicais, secos e úmidos, parecem ter sua cobertura vegetal intimamente dependentes de fatores climáticos, especialmente a precipitação (SAMPAIO, 1995; Becerra, 2014; Palmate, et al., 2017; Silva, Almeida & Silva, 2017; Salimon & Anderson, 2017; Jardim, et al., 2022). Um estudo realizado numa floresta tropical úmida da Índia (Palmate, et al., 2017) mostra a relação da floresta com a temperatura e a precipitação: antes do início das monções, a temperatura tinha uma relação significativa com a quantidade de floresta e vegetação. Após o período das monções, a quantidade de precipitação estava positivamente relacionada com a quantidade de floresta, enquanto a temperatura estava negativamente relacionada com a vegetação na bacia do rio Betwa. Uma série temporal realizada por Nagai & Marimoto (2007) em florestas tropicais úmidas, evidencia várias relações importantes entre o índice de vegetação *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e os parâmetros climáticos associados ao fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENSO). Especificamente, foi observada uma correlação negativa entre NDVI e ENSO, indicando que aumentos no ENSO estão associados a reduções no NDVI. Além disso, o NDVI apresentou uma relação negativa com a temperatura, sugerindo que temperaturas mais altas estão associadas a menores valores de NDVI. Por outro lado, foi encontrada uma correlação positiva entre NDVI e precipitação, o que indica que maiores quantidades de precipitação estão associadas a aumentos no NDVI.

Na Floresta amazônica, uma investigação conduzida por Zhao et al., (2017) utilizando conjuntos de dados de índice de vegetação, precipitação, temperatura e radiação revelou que o verde da vegetação na Amazônia respondeu à precipitação, radiação e temperatura, apresentando alguns atrasos temporais: de 0 a 4 meses para a precipitação, de 0 a 9 meses para a radiação e de 0 a 6 meses para a temperatura. Em média, os três fatores climáticos — precipitação, radiação e temperatura — explicaram 27,28% da variação no índice de vegetação na região amazônica quando não se consideraram os atrasos temporais. No entanto, ao incluir esses atrasos, essa explicação aumentou para 39,50%. Durante anos sem seca, o verde da vegetação foi predominantemente influenciado pela precipitação e pela radiação solar de ondas curtas, que juntos explicaram 93,47% da variação total observada, apresentando uma relação contrária em anos de seca.

Na Caatinga o déficit hídrico anual na região tem um impacto significativo na vegetação, de maneira que sua intensidade, que varia ao longo do tempo e do espaço, causa alterações na aparência e na composição da flora local (SAMPAIO, 1995). Em escala regional,

a dinâmica da vegetação na caatinga, monitorada por sensoriamento remoto e utilizando o índice NDVI, exibe uma grande variação temporal e espacial e está fortemente relacionada com a precipitação (Schucknecht, 2013). Devido a essa característica, a dinâmica da vegetação varia consideravelmente ao longo de um mesmo ano, tendo maior cobertura vegetal durante o período chuvoso e perdendo grande parte da massa verde nos períodos mais secos do ano. Assim, a variação da precipitação pode explicar até 50% da produtividade vegetal (Becerra, 2014; Silva, Almeida & Silva, 2017; Salimon & Anderson, 2017; Jardim, et al., 2022). Mas o clima sozinho, pode não ser o preditor mais forte da dinâmica da vegetação da Caatinga. Oliveira et al., (2019) avaliaram mais de 70 pontos espalhados pela região semiárida do nordeste brasileiro e observaram que o clima e o solo, individualmente, foram capazes de distinguir a vegetação, mas o solo foi um preditor mais eficaz do que o clima. No entanto, a combinação de dados sobre solo e clima produziu a melhor predição. A utilização conjunta de preditores de solo e clima proporcionou uma melhor separação da vegetação na região semiárida brasileira

Pesquisas realizadas no semiárido brasileiro (Bezerra et al., 2022; Silva et al., 2023) indicam que a precipitação pode não ter o impacto esperado sobre o uso e cobertura da terra. E que visto como uma variável isolada das ações antrópicas, não explica a variação da vegetação ao longo do tempo. Entre 1985 e 2019, a região enfrentou um aumento na seca, resultando na diminuição dos recursos hídricos e impactando a agricultura. Apesar das irregularidades na distribuição das chuvas, a análise das tendências com o NDVI revelou um crescimento significativo nas áreas de produção agrícola, o que foi confirmado pelo estudo do uso da terra e da cobertura do dossel. Além disso, os resultados de (Bezerra et al., 2022) mostram que a precipitação afetou os parâmetros biofísicos, com uma redução de 0,06 (-19%) no SAVI (Índice de Vegetação Ajustado ao Solo) e um aumento de 2,70 °C (+9%) entre anos chuvosos e secos. Embora tenha ocorrido uma diminuição nos índices de vegetação e um aumento na temperatura da superfície em todo o estado, essas mudanças não foram estatisticamente significativas. Contudo, nas zonas pluviométricas homogêneas, apenas a região litorânea apresentou uma redução significativa nos índices de vegetação, com uma queda de 0,04% durante o período analisado. Isso sugere que pressões econômicas e sociais podem estar influenciando a dinâmica do ecossistema local.

### **1.3 Influência de fatores socioeconômicos nas mudanças de uso e cobertura da terra**

A expansão agrícola em diversas regiões do mundo tem alterado a cobertura da terra,

substituindo áreas de vegetação natural por agroecossistemas. Historicamente, os humanos aumentaram a produção agrícola principalmente ao converter mais terras em áreas de cultivo. Assim, a vegetação natural foi substituída não apenas por terras cultiváveis, mas também por pastagens nativas ou cultivadas (Lambin & Lepers, 2003).

As alterações no uso da terra têm impactos negativos sobre a diversidade biológica, proporcionam a degradação do solo e incapacitam os sistemas naturais de satisfazer as necessidades humanas. A redução na produção agrícola forçou as pessoas a expandir as áreas de cultivo para suprir suas demandas (Kaihura e Stocking, 2003). E o que influencia tais mudanças está relacionado a fatores, além de climáticos, socioeconômicos. Países do sul global e em desenvolvimento, em sua maioria, muitas comunidades locais dependem fortemente dos produtos florestais para sua subsistência que levam a práticas agrícolas e outras atividades humanas que levam à degradação ambiental. (Nzunda et al., 2013; Handavu et al., 2019), o que torna crucial investigar como essas dependências afetam a gestão e a conservação dos recursos naturais.

Um estudo realizado em um ecossistema de savana na Tanzânia observou uma relação negativa entre a diminuição das áreas de florestas e o aumento de pastagens e terras cultivadas. Entre 1988 e 1999, a área de florestas reduziu em 5,64%, enquanto as áreas destinadas a pastagens, terras cultivadas e assentamentos cresceram em 5,8%, 5,9% e 0,52%, respectivamente. No período de 1999 a 2010, as florestas diminuíram em 2,5% e as pastagens em 22,97%, enquanto as áreas de cultivo e assentamentos aumentaram em 6,07% e 9,14%, respectivamente. O estudo demonstrou que diversos fatores socioeconômicos desempenharam um papel crucial nas mudanças observadas no uso da terra. Entre eles, destacam-se o aumento da criação de gado, a crescente demanda por produtos florestais, como lenha, madeira e carvão vegetal, o cultivo itinerante, a expansão da agricultura, o aumento dos preços das culturas comerciais e a insegurança quanto à posse da terra. (Nzunda et al., 2013).

Outra pesquisa de cunho etnoecológico realizada em uma floresta tropical seca na Zâmbia evidencia a relação entre fatores socioeconômicos e climáticos na mudança de cobertura do solo: O crescimento populacional e a migração para áreas com solo fértil impulsionam a expansão agrícola e a conversão de florestas em terras cultiváveis. A pobreza leva comunidades rurais a explorar recursos florestais e adotar práticas agrícolas como o cultivo itinerante, que contribuem para a degradação ambiental. A falta de acesso a insumos agrícolas limita a produtividade e força a expansão de áreas cultiváveis, enquanto condições climáticas

adversas, como secas, também forçam a busca por novas terras para cultivo (Handavu et al., 2019).

Os fatores socioeconômicos que influenciaram a mudança no uso da terra em florestas tropicais úmidas estão relacionados ao crescimento da população rural que exerce pressão significativa sobre as florestas, pois o aumento na demanda por terras agrícolas acelera o processo de desmatamento (Pfaff, 1999; Drescher, et al., 2016). Além da demanda internacional crescente por essas commodities agrícolas aliada a políticas nacionais que negligenciam pautas ambientais e os direitos de terra, que afetam como a terra é utilizada, gerando disputas sobre a exploração dos recursos e suas consequências para a economia e a sociedade (Pfaff, 2019; Drescher, et al., 2016).

As Florestas Tropicais Secas (FTS) são importantes fornecedores de serviços ecossistêmicos que sustentam as atividades humanas (Calvo-Rodríguez et al., 2017). Neste sentido, a pecuária é fundamental para a economia da região, e a densidade de gado está diretamente ligada à perda de Florestas Tropicais Secas (FTS), pois a expansão do pasto substitui as áreas florestais (Dupin et al., 2018; Mantero et al., 2020). Municípios maiores também enfrentam mais desmatamento devido à maior pressão econômica e demanda por terras. Além disso, áreas com alta densidade populacional têm menor regeneração das FTS, já que o aumento da população intensifica a demanda por terras para agricultura e habitação, contribuindo para o desmatamento. O PIB e o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) não mostraram uma relação direta com a deforestação, apesar de refletirem o crescimento econômico e a pressão sobre os recursos naturais (Dupin et al., 2018; Mantero et al., 2020).

Dentre os principais fatores socioeconômicos que conduzem as mudanças de uso e cobertura do solo, está o abandono de terras, caracterizado pela descontinuação do uso agrícola e pela falta de manejo ativo, resultando em mudanças significativas na cobertura do solo e na ecologia local (Mantero et al., 2020). Duas revisões bibliográficas em Florestas tropicais úmidas e secas revelam como a migração rural-urbana e o abandono de terras podem influenciar na regeneração natural desses ecossistemas: O abandono de terras é fundamental para a regeneração das florestas tropicais, permitindo a recuperação da vegetação nativa em áreas anteriormente usadas para agricultura. Sem a pressão humana, a vegetação pode se restabelecer e aumentar a cobertura florestal. Terras menos adequadas para cultivo, frequentemente abandonadas, têm condições favoráveis para a regeneração, como solo fértil e microclima propício. Mudanças climáticas, que aumentam eventos extremos como secas, também podem

levar ao abandono de terras e promover a regeneração florestal. (Borda-Niño, Meli & Brancalion, 2019; Mantero et al., 2020).

Investigações sobre mudanças no uso/cobertura da terra (LULC) e manejo florestal são restringidas pela falta de compreensão de como fatores socioeconômicos afetam o uso da terra. Estudos frequentemente analisam fatores socioeconômicos isoladamente, sem considerar como eles interagem entre si e com variáveis ambientais, deixando de abordar a complexidade das decisões em níveis individuais, familiares e comunitários (Mena, Bilsborrow & McClain, 2006; Nedd, et al., 2021).

#### **1.4 Histórico de uso e ocupação do solo na caatinga e mata atlântica**

A ocupação humana no domínio das Caatingas é bastante antiga e remonta ao Pleistoceno superior e do Holoceno inferior, há cerca de 12 mil anos (Bueno e Dias, 2015; Moraes, Oliveira & Behling, 2020). Que possivelmente já era modificada por seus primeiros habitantes humanos, mas provavelmente não na mesma escala atual. Por volta de 1500, quando os primeiros europeus desembarcaram no Brasil, a população indígena na Caatinga era estimada em 100.000 pessoas (Hemming, 1978). Ao longo do século XVII, estes colonos aprenderam a desmatar e queimar as áreas de caatinga, percebendo que nelas existiam trechos com boas pastagens (Hemming, 1978).

O uso e a ocupação do solo na Caatinga foram moldados ao longo do tempo, influenciados tanto pelas condições ambientais quanto pelas atividades econômicas predominantes. Um exemplo foi a criação extensiva de gado, adaptada ao ambiente semiárido durante a colonização portuguesa, em áreas mais abertas da Caatinga, ou utilizava-se de técnicas de “corte e queima” para criar áreas de pastagem, essa técnica, embora eficiente para o manejo imediato da terra, contribuiu para a degradação ambiental a longo prazo, afetando a resiliência dos ecossistemas locais. (Andrade, 1979; Mello, 2005).

Quando a metrópole portuguesa perde interesse nas terras do nordeste brasileiro, por volta do século XVII, especialmente após a descoberta do ouro em Minas Gerais, a agricultura de subsistência passa a ter fundamental importância para as comunidades tradicionais e pequenos produtores que viviam na Caatinga. (Andrade, 1979) O cultivo de milho, feijão e mandioca, adaptado às características climáticas da região, e que frequentemente envolvia desmatamento, mas era limitado pela baixa fertilidade do solo e pela irregularidade das chuvas. Essas limitações resultaram em ciclos de ocupação e abandono das terras (Andrade, 1979;

Mello, 2005).

As transformações mais recentes no uso e ocupação do solo na Caatinga ocorreram especialmente a partir do século XX, quando a monocultura, como o cultivo do algodão, e a exploração mineral passaram a ganhar espaço, acelerando a degradação ambiental, aumentando a concentração fundiária e intensificando a desertificação e o desmatamento na região semiárida (Andrade, 1979).

O uso e a ocupação do solo na Caatinga refletem não apenas as condições ambientais adversas da região, mas também uma série de políticas econômicas e sociais que, ao longo do tempo, negligenciaram as necessidades e potencialidades locais (Andrade, 1979; Mello, 2005). Essa situação revela uma lacuna significativa na abordagem de sustentabilidade, destacando a necessidade urgente de repensar estratégias que considerem a fragilidade ambiental da região e garantam a sobrevivência das comunidades locais.

Enquanto na Amazônia e na Mata Atlântica existem programas sistemáticos de monitoramento e compreensão dos impactos humanos sobre os ecossistemas, a Caatinga carece de uma abordagem regional coordenada. A maioria das informações sobre a distribuição dos ecossistemas naturais e antropogênicos na região provém de estudos individuais que utilizam conjuntos de dados e metodologias variadas, resultando em uma visão fragmentada e incompleta (Silva, Leal & Tabarelli, 2018).

A Mata Atlântica, assim como a Caatinga, tem sua história de uso e ocupação iniciada no período Pleistoceno superior e Holoceno inferior, há cerca de 12 mil anos (Bueno e Dias, 2015). Autores como Posey (1985), Balée (1987), Clark (1996) consideram que este ecossistema, assim como grande parte da América do Sul, já era bastante alterado pela diversidade de povos indígenas que habitavam a região antes mesmo da colonização portuguesa.

A ocupação do território brasileiro pelos portugueses, iniciada no século XVI, trouxe um impacto profundo e destrutivo ao ecossistema da Mata Atlântica. O primeiro ciclo econômico, centrado na extração do pau-brasil (*Paubrasilia echinata*), resultou em danos significativos ao meio ambiente natural, pois não só a espécie era retirada, mas todas as outras lenhosas que dificultasse o acesso a ela (Warren, 2014). Ao final do ano de 1530, a redução – embora não a completa extinção – da exploração do Pau-Brasil foi sucedida pela força e magnitude do segundo ciclo econômico, que foi impulsionado pela cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). Essa planta, originária do Sudeste Asiático, se adaptou muito bem às condições do Nordeste brasileiro, ocupando grande parte do litoral nordestino, restando apenas pequenos

fragmentos de mata original nas áreas destinadas à produção açucareira (Andrade, 2003).

Essas atividades econômicas, associadas à colonização e ao crescimento populacional, influenciaram a urbanização e industrialização nas áreas costeiras. À medida que o país se desenvolveu, o crescimento urbano nas cidades costeiras se acelerou, especialmente a partir dos séculos XIX e XX. Esse processo de urbanização não só expandiu as áreas urbanas e suburbanas, mas também teve um impacto profundo e frequentemente negativo sobre a Mata Atlântica (Warren, 2014). Atualmente,  $\frac{2}{3}$  da população brasileira residem na Mata Atlântica e restam apenas 24% da cobertura original de floresta (Fundação SOS Mata Atlântica e INPE, 2024).

## 1.5 Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto é a técnica de adquirir informações sobre um objeto ou fenômeno sem estar em contato físico direto com ele. Essa aquisição de dados é realizada através da captura de sinais eletromagnéticos refletidos ou emitidos pelos objetos da superfície terrestre (Khorram et al., 2012). O uso do sensoriamento remoto evoluiu significativamente ao longo dos anos, graças aos avanços tecnológicos que tornaram possível obter imagens eficientes, econômicas, robustas e de alta resolução. Houve avanços importantes no monitoramento de culturas agrícolas, florestas e áreas de pastagem, com a utilização de dados provenientes de satélites. (Mutanga & Ahmed, 2016; Xue & Su, 2017).

A ecologia estuda organismos e seu ambiente, geralmente requerendo dados espaciais sobre a localização e distribuição das espécies (Turner et al., 2003). Tradicionalmente, a coleta desses dados é feita por observação manual no campo, o que é preciso, mas limitado a escalas locais devido ao difícil acesso em muitos casos (Shuman e Ambrose, 2003; Mehner et al., 2004; Szpakowski & Jensen, 2019; Cavender-Bares, Schneider & Santos, 2022). Para análises em escalas maiores, como a paisagem ou até o globo, o sensoriamento remoto tornou-se uma ferramenta essencial e econômica (Ferreira et al., 2003; Hall et al., 2004; Turner et al., 2004; Asner et al., 2003b; Latifovic e Olthof, 2004; Awaya et al., 2004; Szpakowski & Jensen, 2019; Cavender-Bares, Schneider & Santos, 2022). Com os avanços recentes em tecnologia e modelagem, o sensoriamento remoto é cada vez mais valioso para a ecologia. Estudos focados nas assinaturas espectrais, nos efeitos dos mecanismos físicos e estresse fisiológico na reflectância espectral de folhas e dossel e na caracterização e discriminação de espécies vegetais

(Houborg, Fisher & Skidmore, 2015; Neinavaz et al., 2021) tem auxiliado diversos estudos ecológicos.

Nas últimas décadas, as limitações anteriores no uso de dados de sensoriamento remoto utilizado para investigações na vegetação foram superadas, resultando em um aumento significativo no número de estudos focados nas assinaturas espectrais e os efeitos dos mecanismos físicos e estresse fisiológico na reflectância espectral de folhas e dossel, e na caracterização e discriminação de espécies vegetais, (Houborg, Fisher & Skidmore, 2015; Neinavaz et al., 2021).

O sensoriamento remoto desempenha um papel crucial no estudo da dinâmica da vegetação, oferecendo uma visão abrangente e detalhada das mudanças na cobertura vegetal ao longo do tempo e em diferentes escalas espaciais (Tian et al., 2016; Piles et al., 2017; Rhif et al., 2022). Utilizando tecnologias avançadas, como sensores de micro-ondas e infravermelho, é possível monitorar aspectos como a biomassa, o conteúdo de água e a estrutura da vegetação com grande precisão. Essas tecnologias permitem a observação contínua e em larga escala dos padrões de crescimento, estresse e recuperação das plantas, fornecendo dados valiosos para a compreensão das dinâmicas ecológicas e dos processos ambientais (Tian et al., 2016; Piles et al., 2017; Rhif et al., 2022). A capacidade de capturar variações temporais e espaciais na vegetação, sem a necessidade de observações diretas e frequentes, torna o sensoriamento remoto uma ferramenta indispensável para a pesquisa em ecologia e gestão ambiental. Com esta ferramenta é possível aprimorar a modelagem de fenômenos como a degradação da terra, a resposta a mudanças climáticas e a dinâmica de ecossistemas, contribuindo significativamente para a conservação e manejo sustentável dos recursos naturais (Tian et al., 2016; Piles et al., 2017; Rhif et al., 2022).

O Landsat é uma série de satélite de observação da Terra que foram lançados para coletar imagens e dados sobre a superfície terrestre. O programa começou em 1972 com o lançamento do Landsat-1, que inicialmente era chamado de *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS). Os principais objetivos do Landsat incluem o monitoramento da Terra, fornecendo dados sobre mudanças na cobertura do solo, uso da terra e outros processos ambientais, permitindo o monitoramento contínuo das condições da superfície terrestre (Williams, Goward & Arvidson, 2006).

Os satélites Landsat capturam imagens em várias bandas espectrais, incluindo luz visível e infravermelha, com resolução espacial média, o que é crucial para estudos de ecologia.

Além disso, os dados do Landsat têm sido fundamentais para a pesquisa em ciências da Terra, ajudando a entender a dinâmica do meio ambiente e os impactos das atividades humanas. O Landsat também possui um extenso arquivo de dados, fornecendo uma documentação consistente e confiável das mudanças na cobertura do solo ao longo do tempo. Em resumo, o Landsat é uma ferramenta essencial para cientistas, pesquisadores e formuladores de políticas que buscam entender e gerenciar os recursos naturais e o meio ambiente da Terra (Williams, Goward & Arvidson, 2006; Kennedy et al., 2014).

A crescente integração do sensoriamento remoto na ecologia, estão permitindo uma análise mais detalhada das condições ecológicas em diferentes escalas. A transição da visão tradicional dos ecossistemas como entidades estáticas para uma compreensão de que são dinâmicos e influenciados por forças como mudanças climáticas e atividades humanas, ressalta a importância de alinhar as metodologias de sensoriamento remoto com os processos ecológicos para garantir que as análises reflitam com precisão as dinâmicas dos ecossistemas (Kennedy et al., 2014).

O monitoramento da vegetação beneficia-se do Landsat de várias maneiras significativas. Primeiramente, o programa oferece uma resolução espacial de 30 metros e uma frequência de repetição temporal de 16 dias, permitindo a detecção de mudanças na superfície da Terra em intervalos relativamente curtos. Isso é crucial para identificar tanto mudanças abruptas quanto sutis nas florestas. Além disso, o Landsat possui um dos arquivos históricos mais ricos e longos de dados coletados sistematicamente, com mais de 40 anos de imagens. Essa vasta coleção de dados proporciona oportunidades únicas para entender os mecanismos e a extensão das mudanças florestais ao longo do tempo, permitindo análises retrospectivas e caracterizações de longo prazo (Banskota et al., 2014; Schultz et al., 2016, Lopes et al., 2019).

Outro aspecto importante é que, desde 2008, todos os dados novos e arquivados do Landsat mantidos pelo *United States Geological Survey* - USGS estão disponíveis gratuitamente em um formato pronto para análise. Essa política de acesso aumentou a acessibilidade e a utilização de imagens multitemporais, facilitando a pesquisa e a aplicação em gestão florestal. Os dados de séries temporais do Landsat (LTS) permitem a análise de dinâmicas florestais, capturando e caracterizando eventos estocásticos abruptos, bem como mudanças graduais, ajudando a revelar novos padrões ou processos que ocorrem em paisagens florestais (Williams, Goward & Arvidson, 2006; Banskota et al., 2014).

Por fim, o uso de dados *Landsat Time Series* - LTS está associado ao desenvolvimento de métodos automatizados para extrair informações sobre uma ampla gama de dinâmicas

florestais, melhorando a precisão e a eficiência do monitoramento florestal. Esses benefícios tornam o Landsat uma ferramenta valiosa para a avaliação e monitoramento das florestas, contribuindo para a gestão sustentável e a conservação dos ecossistemas florestais (Williams, Goward & Arvidson, 2006; Banskota et al., 2014).

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Local de Estudo

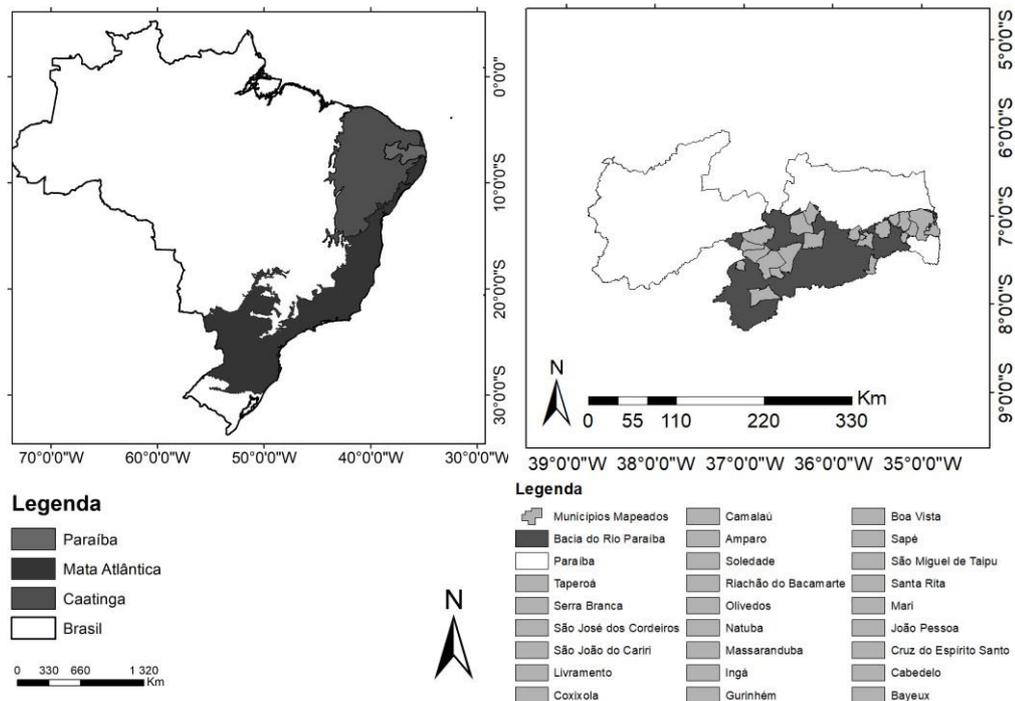
A área de estudo compreende 24 municípios localizados na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, sendo oito localizados na mesorregião da Borborema, oito no Agreste e oito na Zona da Mata, Estado da Paraíba (Figura 1). Os municípios foram sorteados no software r (função sample) dentre aqueles com dados socioeconômicos disponíveis na plataforma do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - Ipeadata (<http://www.ipeadata.gov.br/>), e contemplam os Domínios das Caatingas, Mata Atlântica e ecossistemas associados. O presente estudo está inserido no Projeto Ecológico de Longa Duração PELD-RIPA (Rio Paraíba Integrado, chamada FAPESQ/PELD N° 21/2020, n° de outorga: 403/2021 e Chamada CNPq/MCTI/FNDCT/CT-Hidro n° 63/2022, processo n° 409348/2022-8)

A Zona da Mata paraibana compreende o domínio da Mata Atlântica (Coutinho, 2016) e é submetida ao clima tropical úmido (Aw, segundo a classificação de Köppen), com chuvas bem distribuídas ao longo do ano. A Mata Atlântica do nordeste abriga porções de floresta ombrófila densa e aberta, floresta estacional semidecidual e decidual, e na Paraíba, inclui ecossistemas de mata, restinga e manguezal (Tabarelli, 2006).

O Agreste consiste em uma estreita região de transição natural situada entre a Zona da Mata e a Borborema, podendo ser confundida com a vegetação da Mata em suas áreas mais úmidas, geralmente em maiores altitudes, e com caatinga *stricto sensu* em suas partes mais secas localizadas a sotavento dessas elevações, onde as taxas pluviométricas são menores. Quanto à temperatura e pluviosidade, de acordo com Cavalcante et al., (2019), a estação chuvosa abrange o período de março a agosto, enquanto a estação seca ocorre entre setembro e fevereiro. Em termos de temperatura, os meses de junho, julho e agosto registram as temperaturas mais baixas, enquanto as mais altas são observadas entre dezembro e março.

O clima semiárido e a alta variabilidade inter e intra anual de chuvas constituem importantes condicionantes à vegetação de Caatinga, haja vista a própria morfologia de sua vegetação adaptada à seca, como dossel e área basal mais baixos e plantas caducifólias (Murphy & Lugo, 1986; Bullock et al., 1995). A disponibilidade de chuvas no semiárido ocorre nos períodos de verão e outono, sob influência da Zona de Convergência Intertropical (ITCZ) e dos vórtices ciclônicos (Interior da Paraíba) (Kousky, 1979).

**Figura 1.** Municípios (amostras) sorteados para a realização do mapeamento e obtenção dos dados climáticos e socioeconômicos.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024

## 2.2 Coleta de dados

O estudo foi realizado através da análise remota de imagens de satélite Landsat 5 e 8 (Land Remote Sensing Satellite), obtidas do sensor OLI, com resolução espacial e temporal de 30 m e 16 dias, respectivamente. Foram realizadas buscas no site <https://earthexplorer.usgs.gov> da USGS (United States Geological Survey) e selecionadas imagens no nível de reflectância de superfície e com baixa cobertura de nuvens referentes aos municípios sorteados, entre 1995 e 2020, com um intervalo de dois a cinco anos.

Após a aquisição das cenas, foi realizada a reprojeção para o hemisfério Sul, Datum WGS 1984, pois as mesmas são disponibilizadas com projeção para o hemisfério Norte. Em seguida, para cada município e ano, foi feita a combinação das bandas da região do visível (azul, verde e vermelho) em uma única imagem colorida, denominada de cor verdadeira, tendo

em vista que as imagens de satélite são separadas em diversas bandas, de acordo com o comprimento de onda. A partir da ferramenta *extract by mask*, foram delimitadas as composições coloridas de acordo com o *shapefile* de cada município. Todos esses processamentos foram realizados no Qgis.

A classificação das imagens foi realizada mediante método de classificação supervisionado, com a seleção de áreas de interesse: Solo exposto, área urbana, áreas de cultivo/pecuária, vegetação conservada/densa, vegetação secundária/esparsa, corpos hídricos, nuvens e sombras. O índice Kappa (k) foi calculado para validar a classificação feita. O índice kappa é uma métrica bastante utilizada em estudos com sensoriamento remoto, usada para medir a precisão do mapeamento do uso da terra, com base nas áreas de interesse que foram selecionadas. É obtido através da comparação entre os mapas produzidos e uma referência, utilizando as matrizes de confusão ou matrizes de erro. O resultado é o coeficiente Kappa de concordância, onde k menor que 0,4 é considerado ruim, k entre 0,4 e 0,8 é razoável e k maior que 0,8 é excelente (Congalton & Green, 1993).

Adicionalmente ao uso de imagens de satélites, foram realizadas consultas no site do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - Ipeadata (<http://www.ipeadata.gov.br/>). Para cada município, foram coletados os seguintes dados: quantidade de cabeças de gado anuais de bovinos (Bov), caprinos (Capr) e ovinos (Ovinos); área destinada a agricultura permanente (LavP) e temporária (LavT); dados de população anual (Popul), e distribuição de renda (Programa Bolsa Família) com o objetivo de verificar qual dessas variáveis afeta de maneira mais efetiva a dinâmica de cobertura da vegetação na região de estudo. Também foram coletados dados de precipitação total anual através do portal virtual da AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (<http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/>).

### **2.3 Análises de dados**

Para avaliar a existência de diferenças na cobertura vegetal (aberta e fechada) ao longo dos anos e considerando todos os municípios, utilizamos *boxplots* e aplicamos o teste de Kruskal-Wallis ( $p < 0.05$ ), devido à característica de distribuição não normal dos dados. Como não houve diferença entre anos, decidimos segmentar as análises por município, objetivando capturar as variações locais.

Em uma análise exploratória, confeccionamos gráficos de dispersão para avaliar a tendência da cobertura vegetal (aberta e fechada) em cada município. Adicionalmente, avaliamos a função de melhor ajuste aos dados (exponencial, linear, polinomial ou logarítmica) baseado no valor de  $R^2$ .

Com o objetivo de identificar as relações entre as variáveis potencialmente preditoras (Bov, Capr, Ovinos, LavT, LavP, Popul e Bolsa) e a cobertura de vegetação, realizamos análises de correlação de Spearman ( $p < 0.05$ ). Identificamos em seguida a existência de variáveis colineares, considerando correlações com coeficiente maior ou igual a 0.7.

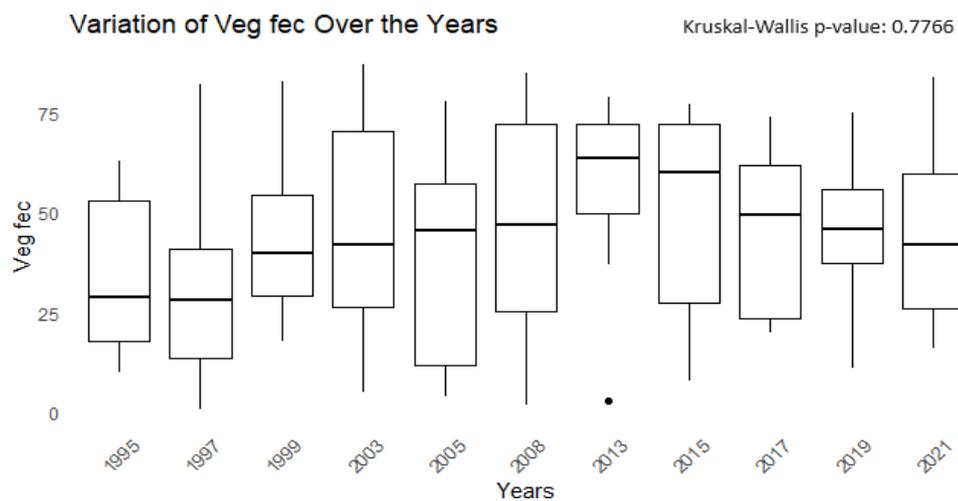
Por fim, utilizamos o método estatístico “Model Selection and Multi-Model Inference” para identificar as variáveis não colineares que melhor explicam a dinâmica da cobertura vegetal em cada município, baseado no critério de *Akaike Information Criterion* (AIC). Realizamos as análises no programa SAM V4.0 (Spatial Analyst Macroecology), disponível no site <https://www.ecoevol.ufg.br>.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Cariri

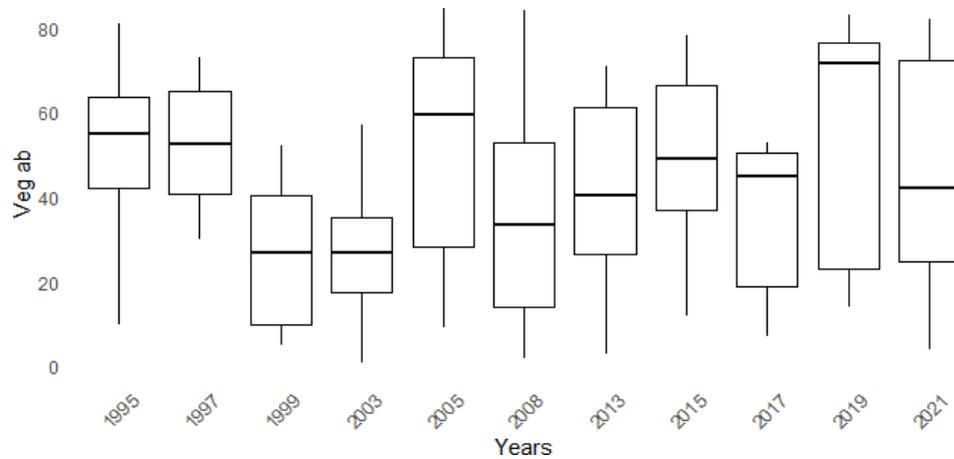
Os percentuais de cobertura da vegetação aberta (Veg ab) e da vegetação fechada (Veg fec) ao longo dos anos e com todos os municípios (Figura 2 e 3) indicam que há anos com menor amplitude dos dados (1997, 2019) e que há anos com grande variabilidade entre os municípios (2003, 2005, 2008). Esse comportamento é acompanhado pela ausência de diferença estatística das medianas entre os anos ( $p = 0,2428$  para Veg ab e  $p = 0,7766$  para Veg fec).

**Figura 2.** Variação temporal da cobertura de vegetação fechada no Cariri: Análise de 1995 a 2021.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024

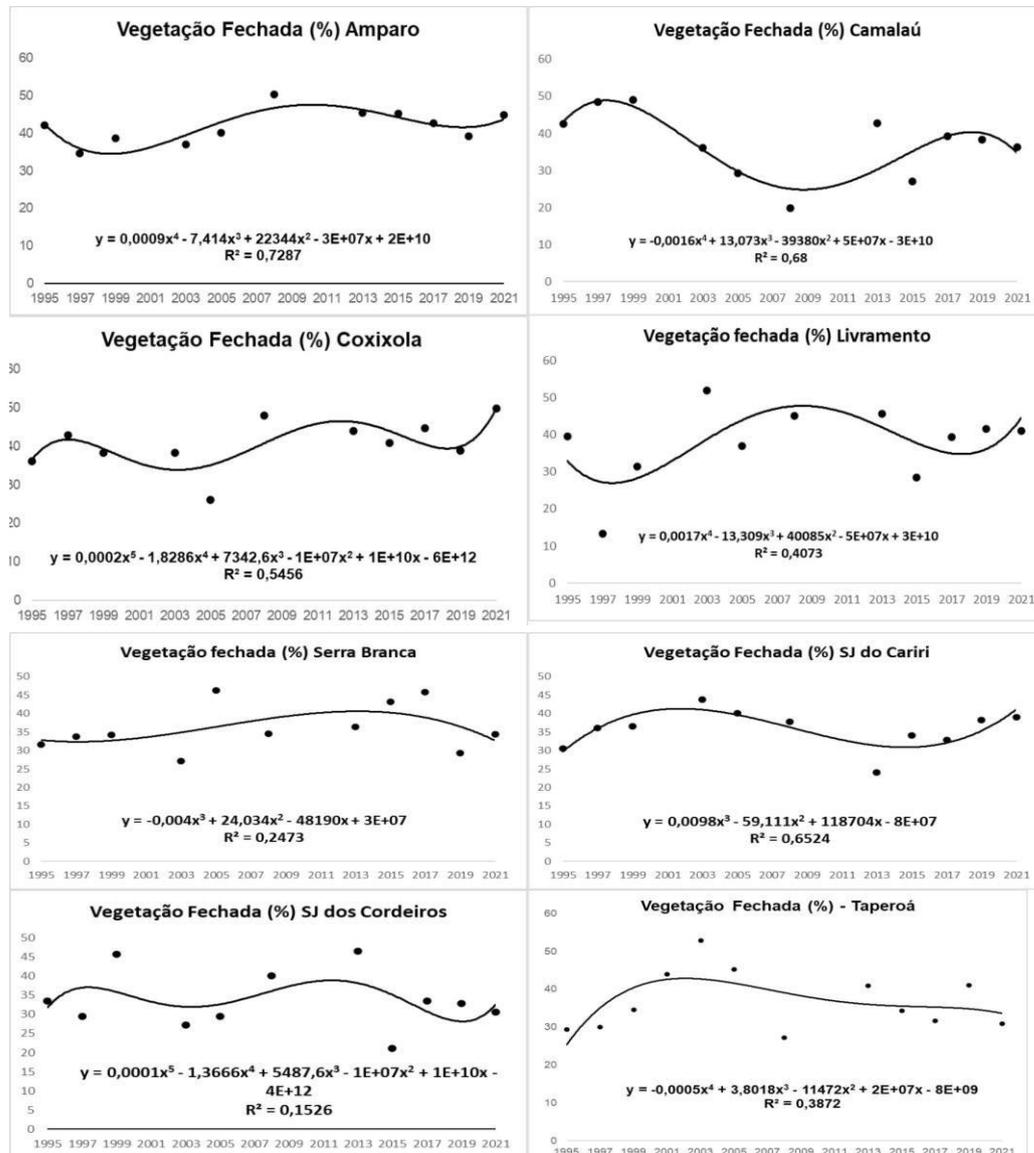
**Figura 3.** Variação temporal da cobertura de vegetação aberta no Cariri: Análise de 1995 a 2021.



**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024

Analisando as tendências da cobertura vegetal por município (Veg ab e Veg fec), observamos comportamentos distintos ao longo dos anos. Os gráficos de dispersão relacionados à vegetação fechada apresentaram flutuações significativas com função polinomial (Figura 4), como observado nos municípios de Amparo, Coxixola, Livramento e São João do Cariri, onde houve recuperação parcial, a partir de 2003 e em 2013, em contraste com Taperoá e São José dos Cordeiros, que mostraram tendência de declínio a partir de 2007 e 2013 respectivamente. Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) variaram entre os gráficos, com Amparo destacando-se com  $R^2 = 0,7287$ , indicando um bom ajuste da curva polinomial de ordem elevada (quartas e quintas ordens), enquanto São José dos Cordeiros apresentou um ajuste mais fraco com  $R^2 = 0,1526$ .

**Figura 4.** Evolução Temporal da Cobertura de Vegetação Fechada no Cariri: Tendências e Ajustes Polinomiais (1995-2021).



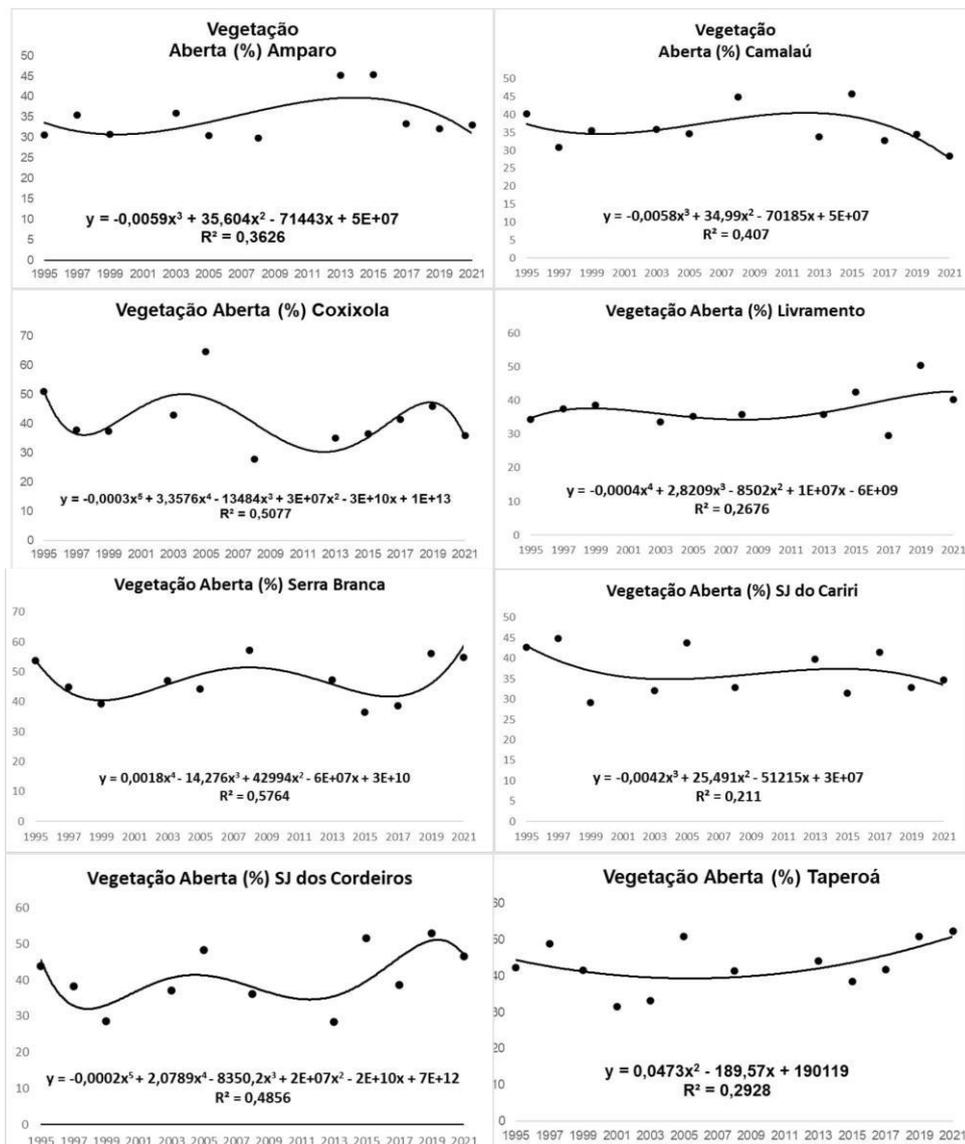
Fonte: Elaborada pelo autor, 2024

Para a vegetação aberta (Figura 5), os resultados indicaram menor variação em relação à vegetação fechada, com função polinomial e valores de R<sup>2</sup> geralmente inferiores, como R<sup>2</sup> = 0,3626 para Amparo e R<sup>2</sup> = 0,5077 para Coxixola.

A análise da variação percentual da vegetação aberta nos municípios de Serra Branca, São João do Cariri, São José dos Cordeiros e Taperoá também apresentou padrões distintos ao longo do período de 1995 a 2021. Em Serra Branca, observou-se uma flutuação significativa, com declínio até 2003 e aumento após 2017, refletindo um bom ajuste do modelo (R<sup>2</sup> = 0,5764).

Em contraste, São João do Cariri apresentou pouca variação, com  $R^2 = 0,211$ , indicando que o modelo ajustado não explica com precisão as mudanças observadas. São José dos Cordeiros, por sua vez, teve um comportamento mais dinâmico, com variações acentuadas ao longo dos anos e um ajuste moderado ( $R^2 = 0,4856$ ). Já em Taperoá, a vegetação aberta mostrou uma tendência de aumento gradual a partir de 2013, com  $R^2 = 0,2928$ .

**Figura 5.** Evolução Temporal da Cobertura de Vegetação Aberta no Cariri: Tendências e Ajustes Polinomiais (1995-2021).



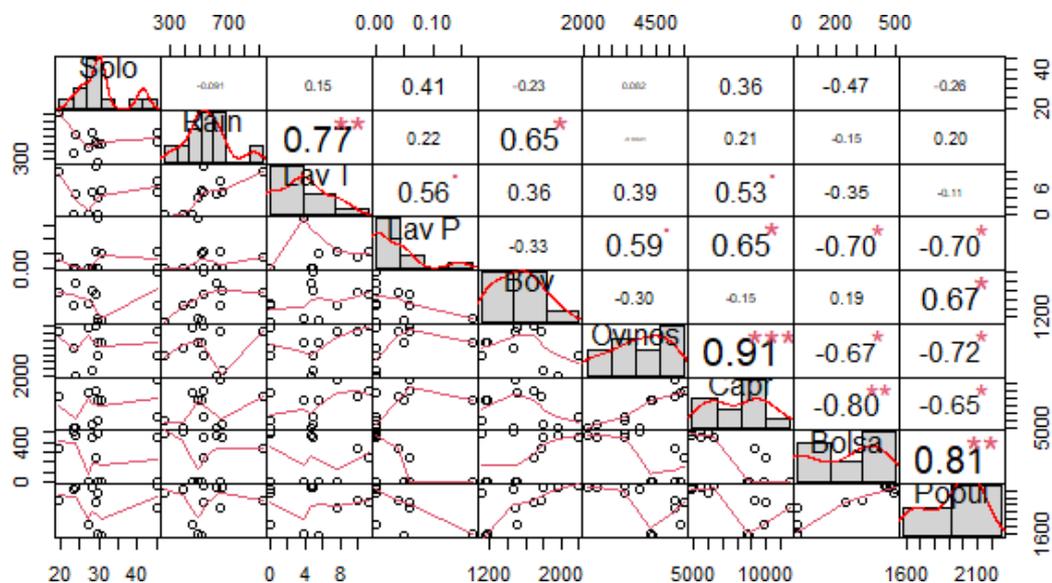
Fonte: Elaborada pelo autor, 2024

A correlação entre as variáveis para todos os municípios da mesorregião do Cariri, inserido na Caatinga, estão dispostas nas figuras 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13.

Para o município de Amparo (figura 6), observa-se uma correlação positiva e significativa entre a população (Popul) e o número de beneficiários de programas sociais (Bolsa), com coeficiente igual a 0.81, indicando que regiões com maior população tendem a ter mais beneficiários. Já a correlação entre caprinos (Capr) e ovinos é extremamente alta (0.91), o que pode ser explicado pelo fato de ambos representarem criações de animais comuns em áreas rurais.

Em contrapartida, há uma correlação negativa entre o número de caprinos e o número de beneficiários de programas sociais (-0.80), sugerindo que regiões com mais criação de caprinos podem ter menos dependência de programas assistenciais. Bem como, uma relação positiva (0.77) entre a precipitação (Rain) e a Lavoura temporária (LavT). O que sugere que em anos mais chuvosos, invista-se mais em plantações de ciclo rápido.

**Figura 6.** Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis predictoras da Vegetação da Caatinga - Amparo - PB.



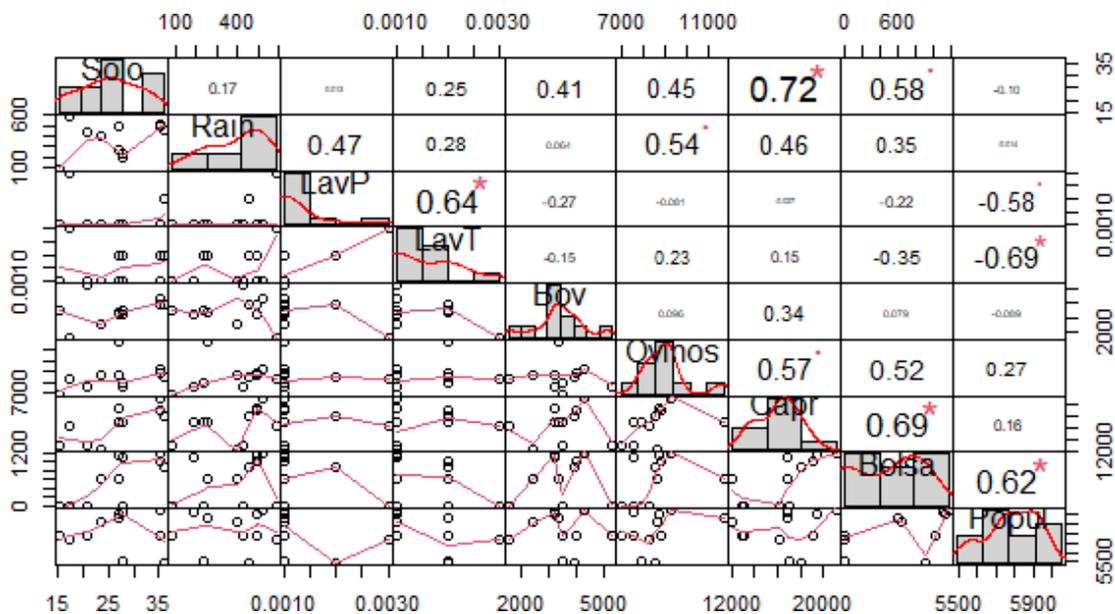
Rain: precipitação; Lav T: lavoura temporária; Lav P: lavoura permanente; Bov: gado bovino; Capr: gado caprino; Bolsa: beneficiários de programas sociais (bolsa família); Popul: população. A distribuição de cada variável é observada diagonalmente. Na parte inferior da diagonal os gráficos de dispersão bivariados com uma linha ajustada

são exibidos. Na parte superior da diagonal, o valor de correlação e o nível de significância com estrelas são exibidos, onde o valor de p é igual a 0,001\*\*\*, 0,01\*\* e 0,05\*

**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024

Para o município de Camalaú - PB (figura 7), observou-se que, com exceção das variáveis “Solo” e “Caprinos” (Capr), que exibem uma correlação positiva significativa de 0,72, indicando que um aumento na quantidade de gado caprino está associado a uma maior área de solo exposto. Nenhuma outra variável analisada demonstrou colinearidade.

**Figura 7.** Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis predictoras da Vegetação da Caatinga - Camalaú - PB.



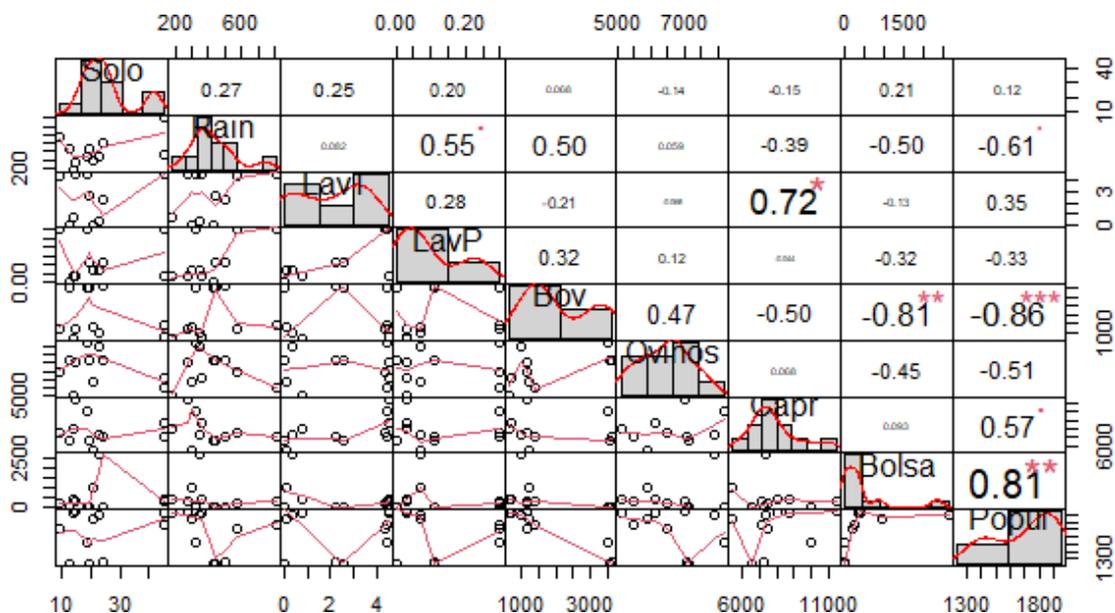
Rain: precipitação; Lav T: lavoura temporária; Lav P: lavoura permanente; Bov: gado bovino; Capr: gado caprino; Bolsa: beneficiários de programas sociais (bolsa família); Popul: população. A distribuição de cada variável é observada diagonalmente. Na parte inferior da diagonal os gráficos de dispersão bivariados com uma linha ajustada são exibidos. Na parte superior da diagonal, o valor de correlação e o nível de significância com estrelas são exibidos, onde o valor de p é igual a 0,001\*\*\*, 0,01\*\* e 0,05\*

**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024

Em Coxixola - PB (figura 8), identificou-se colinearidade entre as variáveis Capr e LavT (0,72), Bov e Bolsa (-0,81), Bov e Popul (-0,86), e Bolsa e Popul (0,81). A correlação positiva entre a criação de caprinos e as lavouras temporárias (0,72) sugere que essas atividades estão interligadas, seja pelo uso compartilhado da terra ou pelo aproveitamento dos resíduos agrícolas

na alimentação dos animais. Por outro lado, a correlação negativa entre bovinos e beneficiários de programas sociais (-0,81) indica que a pecuária bovina predomina em áreas de menor vulnerabilidade social, onde há maior investimento agropecuário. Essa relação também se reflete na forte correlação negativa entre bovinos e população (-0,86), evidenciando que a criação de gado está mais presente em regiões menos povoadas, onde há disponibilidade de grandes extensões de terra para pastagem. Já a correlação positiva entre beneficiários de programas sociais e população (0,81) confirma a concentração desses benefícios em áreas mais populosas, reforçando a influência dos fatores socioeconômicos sobre a dinâmica de uso e cobertura do solo.

**Figura 8.** Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis predictoras da Vegetação da Caatinga - Coxixola - PB.



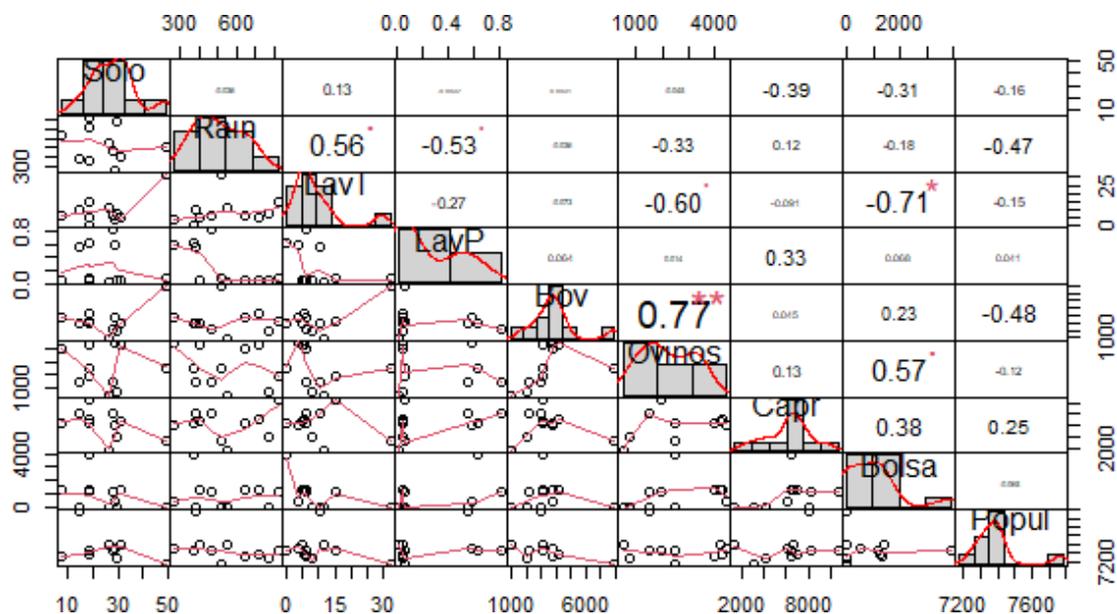
Rain: precipitação; Lav T: lavoura temporária; Lav P: lavoura permanente; Bov: gado bovino; Capr: gado caprino; Bolsa: beneficiários de programas sociais (bolsa família); Popul: população. A distribuição de cada variável é observada diagonalmente. Na parte inferior da diagonal os gráficos de dispersão bivariados com uma linha ajustada são exibidos. Na parte superior da diagonal, o valor de correlação e o nível de significância com estrelas são exibidos, onde o valor de p é igual a 0,001\*\*\*, 0,01\*\* e 0,05\*

**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024

Em Livramento - PB (figura 9), observou-se alta colinearidade entre as variáveis Bovinos e Ovinos (0,77), bem como entre Bolsa Família e Lavoura Temporária (-0,71).

A correlação positiva entre bovinos e ovinos (0,77) indica que essas criações frequentemente coexistem. Já a correlação negativa entre Bolsa Família e lavoura temporária (-0,71) sugere que áreas com maior dependência de programas sociais apresentam menor investimento em cultivos temporários, possivelmente devido a limitações econômicas e estruturais que afetam a produção agrícola.

**Figura 9.** Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis predictoras da Vegetação da Caatinga - Livramento - PB.



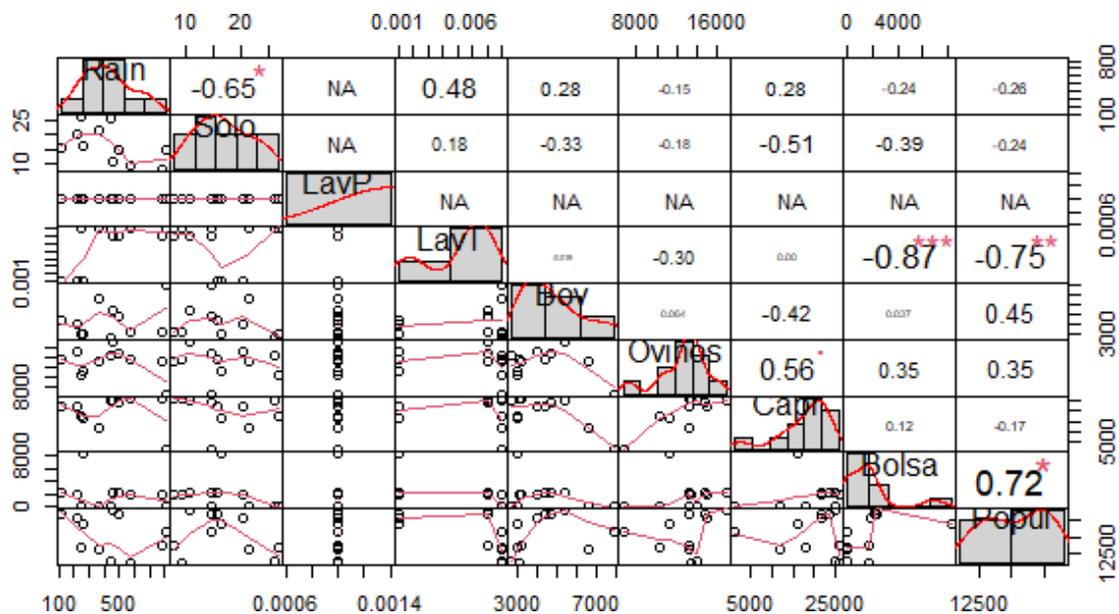
Rain: precipitação; Lav T: lavoura temporária; Lav P: lavoura permanente; Bov: gado bovino; Capr: gado caprino; Bolsa: beneficiários de programas sociais (bolsa família); Popul: população. A distribuição de cada variável é observada diagonalmente. Na parte inferior da diagonal os gráficos de dispersão bivariados com uma linha ajustada são exibidos. Na parte superior da diagonal, o valor de correlação e o nível de significância com estrelas são exibidos, onde o valor de p é igual a 0,001\*\*\*, 0,01\*\* e 0,05\*

**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024

Os resultados da correlação entre as variáveis predictoras para o município de Serra Branca - PB (figura 10), mostram alta colinearidade entre as variáveis população e bolsa família (0,72), entre população e lavoura temporária (-0,75) e entre bolsa família e lavoura temporária (-0,87).

A correlação positiva entre população e Bolsa Família (0,72) indica que áreas mais populosas concentram um maior número de beneficiários, refletindo a distribuição dos programas sociais em regiões de maior densidade demográfica. Por outro lado, a correlação negativa entre população e lavoura temporária (-0,75) sugere que a população do município não costuma investir neste tipo de atividade. Da mesma forma, a forte correlação negativa entre Bolsa Família e lavoura temporária (-0,87) reforça que regiões mais dependentes de programas sociais tendem a ter menor área cultivada.

**Figura 10.** Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis predictoras da Vegetação da Caatinga - Serra Branca - PB.



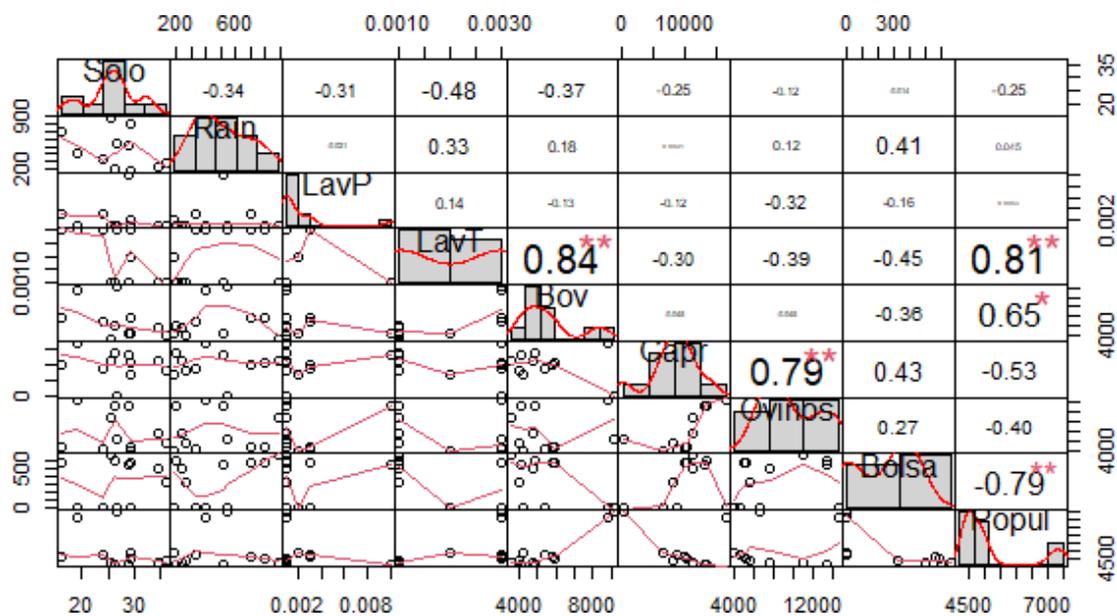
Rain: precipitação; Lav T: lavoura temporária; Lav P: lavoura permanente; Bov: gado bovino; Capr: gado caprino; Bolsa: beneficiários de programas sociais (bolsa família); Popul: população. A distribuição de cada variável é observada diagonalmente. Na parte inferior da diagonal os gráficos de dispersão bivariados com uma linha ajustada são exibidos. Na parte superior da diagonal, o valor de correlação e o nível de significância com estrelas são exibidos, onde o valor de p é igual a 0,001\*\*\*, 0,01\*\* e 0,05\*

**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024

Com base na análise de correlação das variáveis predictoras para São João do Cariri - PB (Figura 11), verificou-se uma alta colinearidade entre Lavoura Temporária e Bovinos (0.84), Ovinos e Caprinos (0.79), e População e Bolsa Família (-0.79).

A correlação positiva entre Lavoura Temporária e Bovinos, bem como ente Ovinos e Caprinos sugere a coexistência dessas atividades agropecuárias na região. Por outro lado, a correlação negativa entre População e Bolsa Família, indicando que à medida que o tamanho da população aumenta, a proporção de pessoas que recebem benefícios do programa Bolsa Família diminui.

**Figura 11.** Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis predictoras da Vegetação da Caatinga - São João do Cariri - PB.



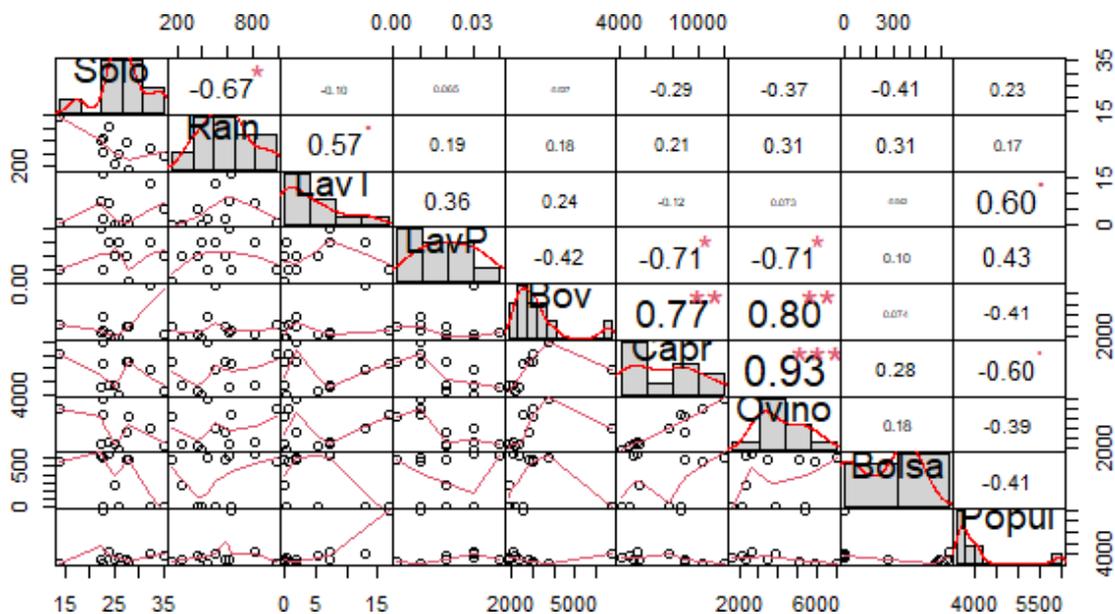
Rain: precipitação; Lav T: lavoura temporária; Lav P: lavoura permanente; Bov: gado bovino; Capr: gado caprino; Bolsa: beneficiários de programas sociais (bolsa família); Popul: população. A distribuição de cada variável é observada diagonalmente. Na parte inferior da diagonal os gráficos de dispersão bivariados com uma linha ajustada são exibidos. Na parte superior da diagonal, o valor de correlação e o nível de significância com estrelas são exibidos, onde o valor de p é igual a 0,001\*\*\*, 0,01\*\* e 0,05\*

**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024

Para São José dos Cordeiros - PB (figura 12), houve alta colinearidade entre as variáveis Bovinos e Caprinos (0.77), Bovinos e Ovinos (0.80), e Caprinos e Ovinos (0.93). Assim como Ovinos e Caprinos com Lavoura Permanente. (-0.71 para ambos). As correlações positivas entre bovinos, caprinos e ovinos indicam que a criação desses animais frequentemente coexiste nas mesmas áreas, provavelmente devido a condições ambientais e de pastagem semelhantes. Por

outro lado, as correlações negativas entre ovinos/caprinos e lavoura permanente (-0.71) sugerem que regiões com maior produção desses animais tendem a ter menos agricultura permanente.

**Figura 12.** Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis predictoras da Vegetação da Caatinga - São José do Cordeiros - PB.



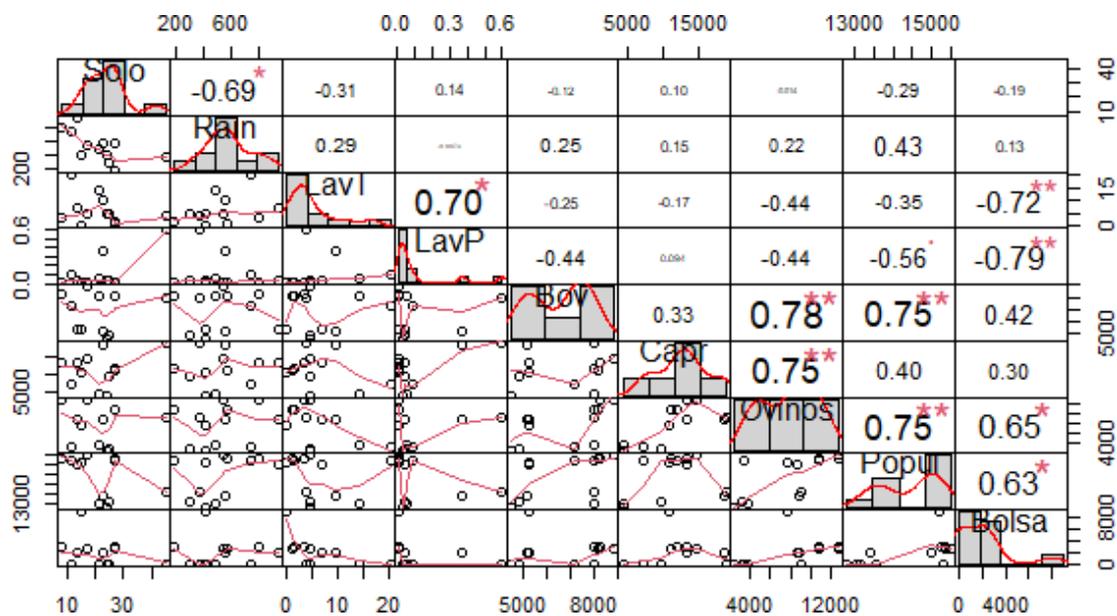
Rain: precipitação; Lav T: lavoura temporária; Lav P: lavoura permanente; Bov: gado bovino; Capr: gado caprino; Bolsa: beneficiários de programas sociais (bolsa família); Popul: população. A distribuição de cada variável é observada diagonalmente. Na parte inferior da diagonal os gráficos de dispersão bivariados com uma linha ajustada são exibidos. Na parte superior da diagonal, o valor de correlação e o nível de significância com estrelas são exibidos, onde o valor de p é igual a 0,001\*\*\*, 0,01\*\* e 0,05\*

**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024

Por último, na análise de correlação das variáveis predictoras para Taperoá - PB (Figura 13), as correlações observadas indicam que lavoura temporária e lavoura permanente (0.70) estão fortemente associadas, sugerindo que áreas com maior cultivo temporário também tendem a ter mais cultivo permanente. Ovinos e caprinos (0.75), ovinos e bovinos (0.78), população e ovinos (0.75), e população e bovinos (0.75) mostram que a criação desses animais e o tamanho da população estão interligados, possivelmente refletindo uma economia local baseada na

pecuária. Por outro lado, as correlações negativas entre Bolsa Família e lavoura permanente (-0.79) e Bolsa Família e lavoura temporária (-0.72) sugerem que municípios com maior dependência de programas sociais tendem a ter menos atividade agrícola, cenário que torna possível um possível aumento na cobertura de vegetação nativa.

**Figura 13.** Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis predictoras da Vegetação da Caatinga - Taperoá - PB.



Rain: precipitação; Lav T: lavoura temporária; Lav P: lavoura permanente; Bov: gado bovino; Capr: gado caprino; Bolsa: beneficiários de programas sociais (bolsa família); Popul: população. A distribuição de cada variável é observada diagonalmente. Na parte inferior da diagonal os gráficos de dispersão bivariados com uma linha ajustada são exibidos. Na parte superior da diagonal, o valor de correlação e o nível de significância com estrelas são exibidos, onde o valor de p é igual a 0,001\*\*\*, 0,01\*\* e 0,05\*

**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024

A seleção de modelos realizada com base no critério de Akaike (AIC) identificou as variáveis que melhor explicam a dinâmica da vegetação fechada em cada um dos oito municípios analisados do Cariri. Na Tabela 1, estão apresentados os valores de AIC para os modelos de melhor ajuste em cada município, juntamente com as variáveis selecionadas. Observa-se que as variáveis mais relevantes variam entre os municípios, refletindo

características socioeconômicas e ambientais específicas de cada localidade. Por exemplo, em Amparo, a variável 'Bolsa' apresentou o menor valor de AIC, indicando forte influência desse fator na modelagem da vegetação, enquanto em Camalaú, a combinação de 'Lavoura Temporária', 'Lavoura Permanente' e 'Bolsa' proporcionou o melhor ajuste. Apesar dessa variedade, é possível notar que as variáveis relacionadas à agricultura ('Lavoura Permanente', 'Lavoura Temporária') e ao auxílio social ('Bolsa Família') se destacam em diferentes combinações na maioria dos municípios, sugerindo que esses fatores exercem uma influência comum sobre a dinâmica da vegetação na região. Essa observação reforça a importância de uma abordagem segmentada para capturar as particularidades regionais, ao mesmo tempo em que aponta para fatores estruturais que podem ter um impacto mais abrangente.

**Tabela 1.** Resultado dos Modelos baseados no menor valor de AIC para cada município

<b>Municípios</b>	<b>Variáveis que representam o melhor modelo</b>	<b>AIC</b>
Amparo	Bolsa	67.022
Camalaú	LavP, LavT, e Bolsa	70.43
Coxixola	LavP	79.394
Livramento	Rain, Bolsa e Popul	78.3
São João do Cariri	LavP	74.823
São José dos Cordeiros	Bov	82.76
Serra Branca	Modelo nulo	41.8
Taperoá	Capr	86.915

Rain: precipitação; Lav T: lavoura temporária; Lav P: lavoura permanente; Bov: gado bovino; Capr: gado caprino; Bolsa: beneficiários de programas sociais (bolsa família); Popul: população.

**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024

Em Amparo, a variável que melhor representa o modelo é a variável Bolsa, com um valor de AIC de 67.022, o mais baixo entre os municípios. Esse resultado sugere que, para Amparo, os fatores socioeconômicos associados ao auxílio social têm uma influência significativa na dinâmica da vegetação nativa. A forte relação entre "Bolsa" e a cobertura vegetal pode refletir interações indiretas, como mudanças no uso da terra ou práticas agrícolas resultantes da estabilidade econômica promovida pelo auxílio. Nos resultados apresentados na Figura 4, observa-se uma tendência de recuperação e aumento da área de vegetação fechada ao longo dos anos. O que pode estar associado a melhores condições econômicas no município.

No município de Camalaú, as variáveis que melhor representam o modelo são "Lav P", "LavT" e "Bolsa", com um valor de AIC de 70.43. A combinação de variáveis relacionadas à agricultura e ao auxílio social sugere uma complexa interação entre esses fatores e a vegetação. As atividades agrícolas, tanto permanentes quanto temporárias, afetam a vegetação de forma direta, enquanto o programa de assistência social "Bolsa Família" pode influenciar o uso da terra indiretamente, promovendo práticas que alterem a cobertura de vegetação nativa. O aumento no número de beneficiários do programa Bolsa Família está relacionado negativamente com as áreas destinadas à lavoura (figura 7). Sugerindo que a população do município em questão, pare de investir em atividades agrícolas quando sua situação econômica e social ascende. Este também parece ser o quadro para os municípios de Amparo – PB e Livramento – PB, em que a variável Bolsa representaram melhor o modelo. Segundo Handavu et al. (2019) A pobreza leva comunidades rurais a explorar recursos florestais e adotar práticas agrícolas como o cultivo itinerante, que contribuem para a degradação ambiental. A falta de acesso a insumos agrícolas limita a produtividade e força a expansão de áreas cultiváveis, enquanto condições climáticas adversas, como secas, também forçam a busca por novas terras para cultivo. O que corrobora com nossos resultados, também demonstrados na figura 4 que apresenta uma tendência de perda de vegetação fechada em Camalaú entre 1995 e 2021.

Em Coxixola, a variável "Lavoura Permanente" é a que melhor representa o modelo, com um AIC de 79.394. Esse resultado indica que a agricultura permanente desempenha um papel predominante na dinâmica de cobertura da vegetação local. A influência da lavoura permanente pode estar associada a práticas agrícolas que alteram diretamente a cobertura vegetal, sugerindo que os padrões de uso da terra em Coxixola estão intimamente ligados à agricultura de longo prazo. No período analisado (1995 - 2021) o município apresentou tendência de recuperação da vegetação fechada ao longo dos anos (Figura 4). Sinalizando que

as práticas de cultura permanentes estão associadas a recuperação de vegetação nativa. Isso levanta novas perguntas para pensar desenvolvimento sustentável na Caatinga e como as práticas agrícolas podem andar em conjunto com a proteção ambiental.

No município de Livramento, as variáveis "Precipitação", "Bolsa Família" e "População" compõem o modelo de melhor ajuste, com um valor de AIC de 78.3. A inclusão da precipitação como variável significativa neste município, ao contrário do que ocorre em outros, sugere que fatores climáticos podem ter uma influência específica na vegetação de Livramento, mas não necessariamente representam uma tendência regional.

Para São João do Cariri, a variável "Lavoura Permanente" novamente se destaca, com um AIC de 74.823. A predominância da lavoura permanente sugere que a agricultura de longo prazo é uma atividade significativa para o município, afetando diretamente a cobertura vegetal. Esse padrão é consistente com Coxixola, onde a lavoura permanente também foi a variável mais representativa, o que pode indicar um padrão comum nas atividades agrícolas na região. São João do Cariri também apresenta tendências de recuperação parcial da vegetação fechada no período estudado (Figura 4). Sugerindo que na região do Cariri, as práticas de cultura permanente andam em consonância com a recuperação ambiental.

Em São José dos Cordeiros, a variável "Bovinos" representa o modelo de melhor ajuste, com um AIC de 82.76. Esse resultado indica que a pecuária bovina é uma atividade de grande relevância para o município, influenciando diretamente a dinâmica da vegetação. O aumento do rebanho bovino tem relação com o decréscimo de cobertura de vegetação fechada. No período analisado – entre 1995 e 2021 - este município apresenta tendência de declínio na cobertura de vegetação fechada (Figura 4). O que nos mostra a relação negativa entre a criação de gado e a cobertura de vegetação nativa, que já era esperado.

No município de Serra Branca, os resultados da análise apontam que nenhuma das variáveis testadas foi capaz de explicar de forma significativa a dinâmica da cobertura de vegetação fechada (VegF) durante o período estudado. O resultado do processo de seleção de modelo via *stepAIC*, que retornou o modelo "VegF ~ 1", representa um modelo nulo, onde a variável resposta, cobertura vegetal (VegF), é explicada apenas por uma constante (intercepto), sem a inclusão de variáveis preditoras. Esse modelo foi selecionado com base no critério de menor AIC, indicando que, entre as variáveis testadas, nenhuma apresentou uma contribuição significativa para explicar a variação em VegF no período analisado em Serra Branca. No entanto, já demonstramos no gráfico da Figura 4 que Serra Branca apresenta uma leve tendência

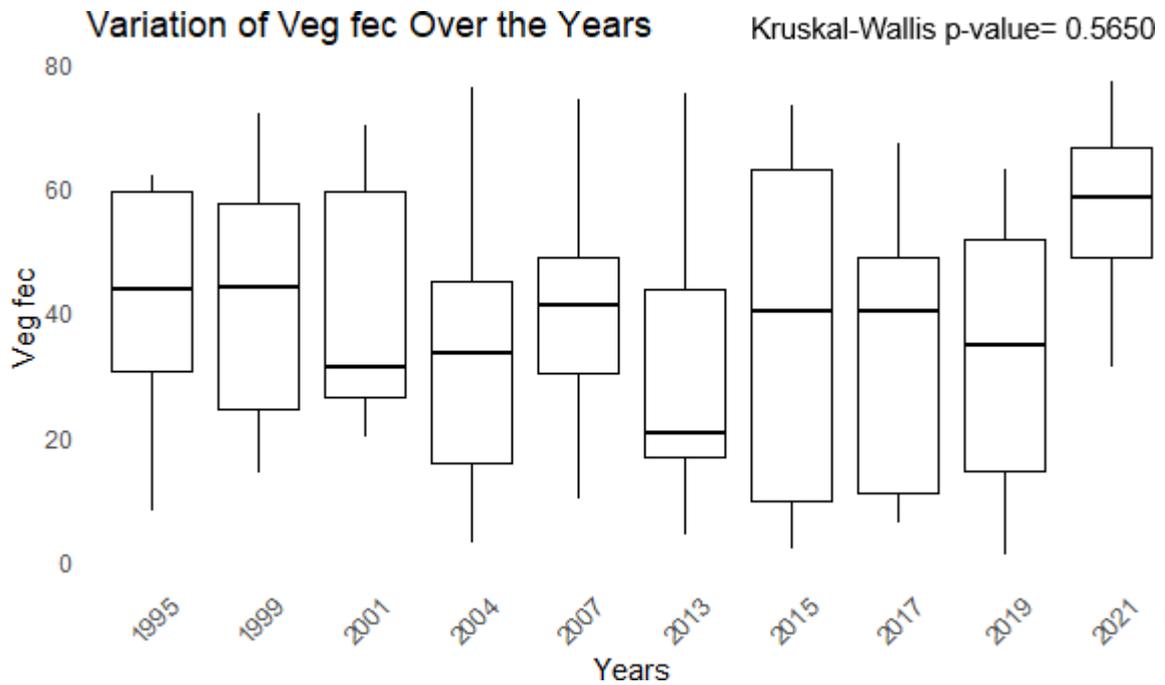
de aumento na cobertura de vegetação fechada entre 2005 e 2013, seguida por uma tendência de decréscimo a partir de 2015.

Em Taperoá, a variável "Caprinos" melhor representa o modelo, com um AIC de 86.915, o maior valor entre os municípios analisados. A influência dos caprinos indica que a criação de pequenos ruminantes pode afetar significativamente a cobertura vegetal, possivelmente devido ao pastoreio e ao impacto direto sobre a vegetação. A cobertura de vegetação fechada neste município também declinou no período analisado (Figura 4). Isso significa dizer que o aumento do rebanho de caprinos possui relação com o decréscimo de cobertura da vegetação fechada. E, assim como no município de São José dos Cordeiros, a criação de animais tem forte influência negativa sobre a cobertura de vegetação nativa.

### **3.2 Agreste**

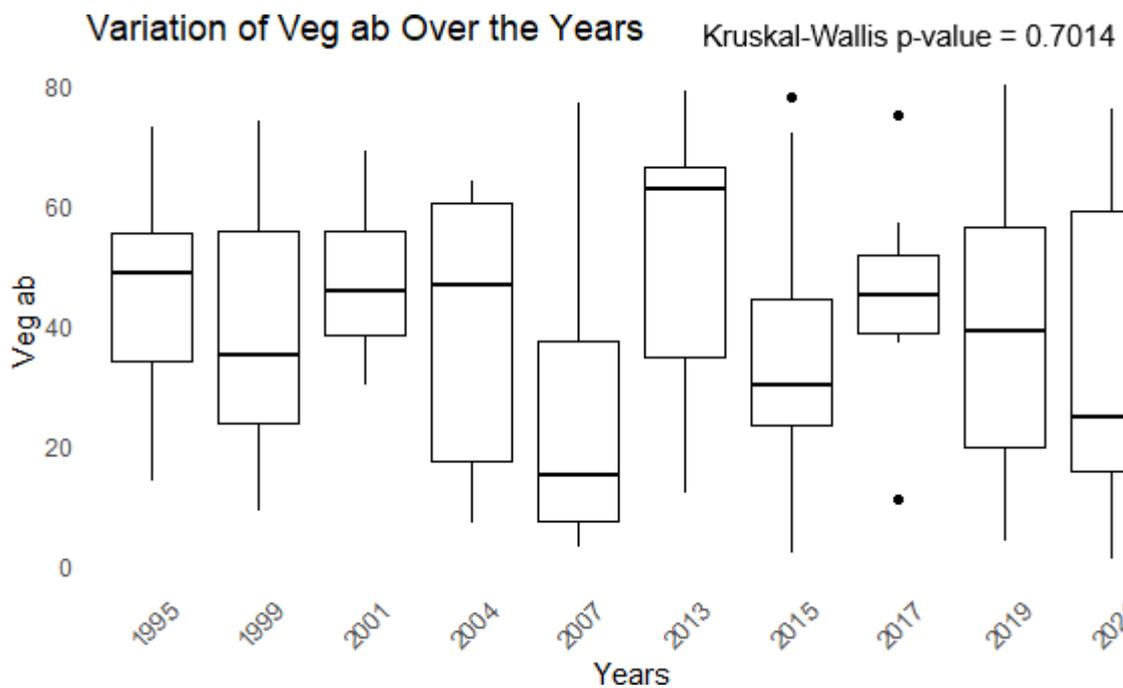
Os percentuais de cobertura da vegetação aberta (Veg ab) e da vegetação fechada (Veg fec) ao longo dos anos e com todos os municípios (Figura 14 e 15) indicam que há anos com menor amplitude dos dados (2007, 2021) e anos com grande variabilidade entre os municípios (2015, 2017, 2019). Esse comportamento é acompanhado pela ausência de diferença estatística das medianas entre os anos ( $p = 0.5650$  para Veg fec e  $p = 0.7014$  para Veg ab).

**Figura 14.** Variação temporal da cobertura de vegetação fechada no Agreste: Análise de 1995 a 2021.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024

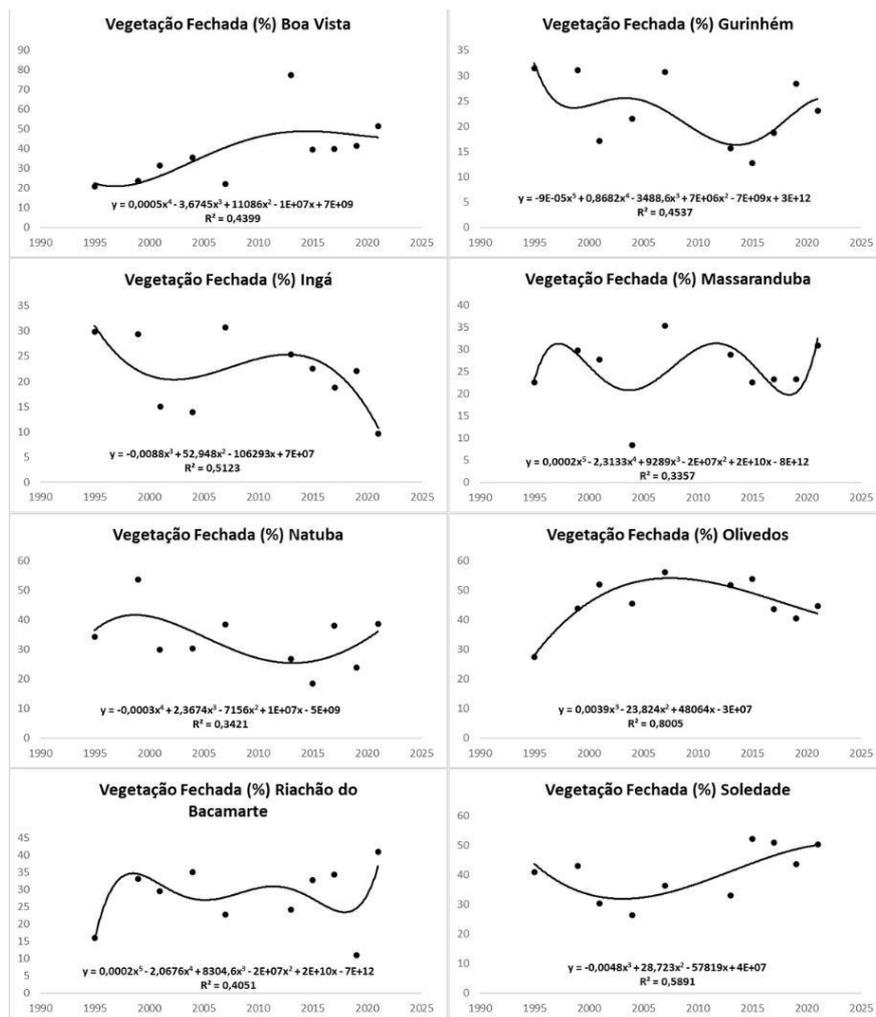
**Figura 15.** Variação temporal da cobertura de vegetação aberta no Agreste: Análise de 1995 a 2021.



Fonte: Elaborada pelo autor, 202

Os percentuais de cobertura da vegetação fechada (Veg fec) e aberta (Veg ab) nos municípios analisados apresentaram variações expressivas ao longo dos anos, com tendências capturadas por funções polinomiais de ordens elevadas (Figuras 16 e 17). Municípios como Olivedos e Ingá exibiram padrões de crescimento do início dos anos 2000 a 2015 seguidos de declínio do ano de 2015 a 2021, enquanto Gurinhém, Massaranduba e Riachão do Bacamarte mostraram oscilações mais acentuadas, sugerindo dinâmicas influenciadas por fatores ambientais e antrópicos. O ajuste dos modelos variou entre os municípios, com Olivedos destacando-se com  $R^2 = 0,8005$ , indicando um bom ajuste da curva, enquanto Massaranduba apresentou um coeficiente de determinação menor ( $R^2 = 0,3357$ ), refletindo maior variabilidade nos dados.

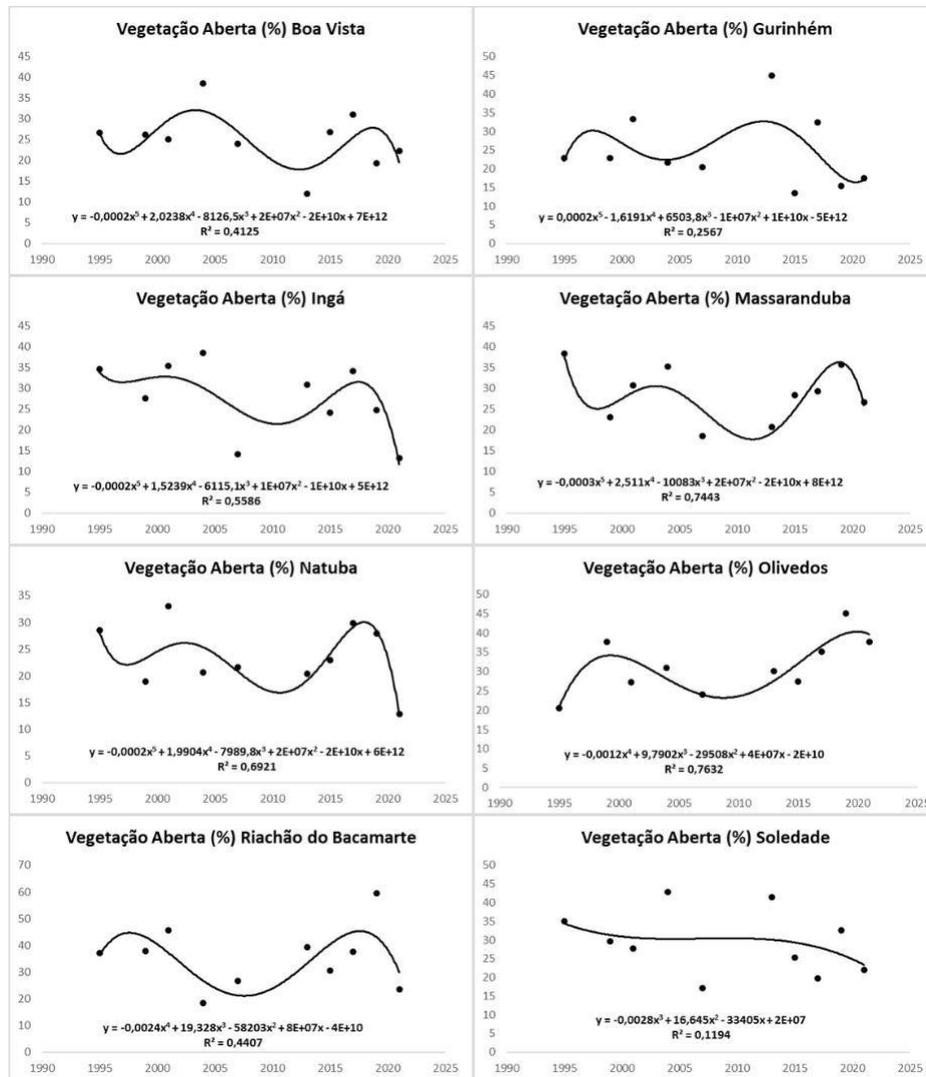
**Figura 16.** Evolução Temporal da Cobertura de Vegetação Fechada no Agreste: Tendências e Ajustes Polinomiais (1995-2021).



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024

Para a vegetação aberta (Figura 17), a análise revelou padrões distintos ao longo do período analisado. Em Boa Vista, o cenário aberto apresentou oscilações, com um aumento entre 2000 e 2005, seguido de uma queda até 2010 e um novo crescimento após 2015, resultando em um ajuste moderado do modelo ( $R^2 = 0,4125$ ). Gurinhém mostrou uma variação menos expressiva, com flutuações suaves e um ajuste mais fraco ( $R^2 = 0,2567$ ). Em Ingá, é apresentado um comportamento com fortes tendências de declínio, com aumento apenas de 1995 a 2000 e de 2010 a 2015, refletindo um  $R^2 = 0,5586$ . Já Massaranduba apresentou uma variação mais acentuada, com oscilações graves e um bom ajuste do modelo ( $R^2 = 0,7443$ ), demonstrando maior previsibilidade das mudanças ao longo do tempo. Natuba assumiu um padrão semelhante, com oscilações notáveis e um  $R^2$  relativamente alto (0,6921), diminuindo um modelo bem ajustado às variações observadas. Em Olivedos, a vegetação aberta apresentou tendência de declínio até 2010, seguida de recuperação, resultando em um ajuste robusto ( $R^2 = 0,7632$ ). Riachão do Bacamarte apresentou flutuações irregulares, com um ajuste intermediário ( $R^2 = 0,4407$ ), enquanto Soledade foi o município com menor variação moderada, com um modelo menos explicativo ( $R^2 = 0,1194$ ). Esses resultados evidenciam que a dinâmica da vegetação aberta varia significativamente entre os municípios, com variações tipicamente locais.

**Figura 17.** Evolução Temporal da Cobertura de Vegetação Aberta no Agreste: Tendências e Ajustes Polinomiais (1995-2021).



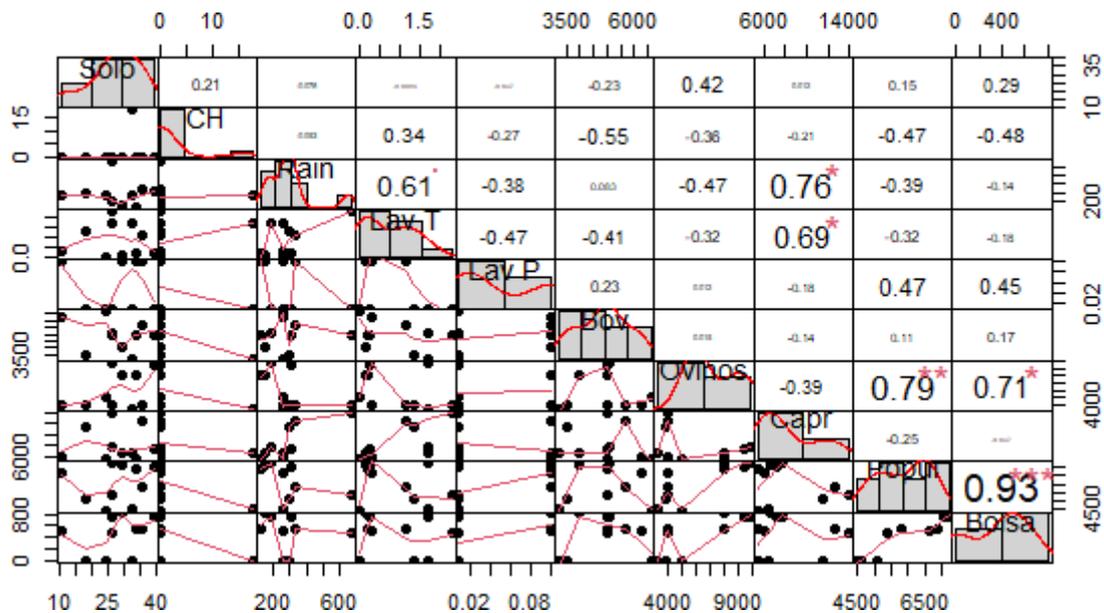
Fonte: Elaborada pelo autor, 2024

A correlação entre as variáveis para todos os municípios da mesorregião do Agreste, inserida na zona intermediária entre a Caatinga e a Zona da Mata, estão dispostas nas figuras 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 e 25.

Para o município de Boa Vista, os dados da figura 18 mostram correlação positiva significativa entre as variáveis Capr (Caprinos) e Lav T (Lavoura Temporária), bem como entre Capr e Rain (Precipitação). A correlação de 0.76 entre Capr e Rain sugere que anos com maior precipitação favorecem a criação de caprinos, possivelmente devido à maior disponibilidade de pastagem ou água. Além disso, observa-se que o aumento no investimento em lavouras temporárias ocorre simultaneamente com a expansão da atividade pastoril, evidenciado pela

correlação positiva entre Capr e Lav T (0.69). Esses resultados reforçam a interdependência entre práticas agrícolas e pecuárias em anos mais favoráveis em termos climáticos.

**Figura 18.** Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis predictoras da Vegetação do Agreste – Boa Vista - PB.



Rain: precipitação; Lav T: lavoura temporária; Lav P: lavoura permanente; Bov: gado bovino; Capr: gado caprino; Bolsa: beneficiários de programas sociais (bolsa família); Popul: população; CH: corpos hídricos. A distribuição de cada variável é observada diagonalmente. Na parte inferior da diagonal os gráficos de dispersão bivariados com uma linha ajustada são exibidos. Na parte superior da diagonal, o valor de correlação e o nível de significância com estrelas são exibidos, onde o valor de p é igual a 0,001\*\*\*, 0,01\*\* e 0,05\*

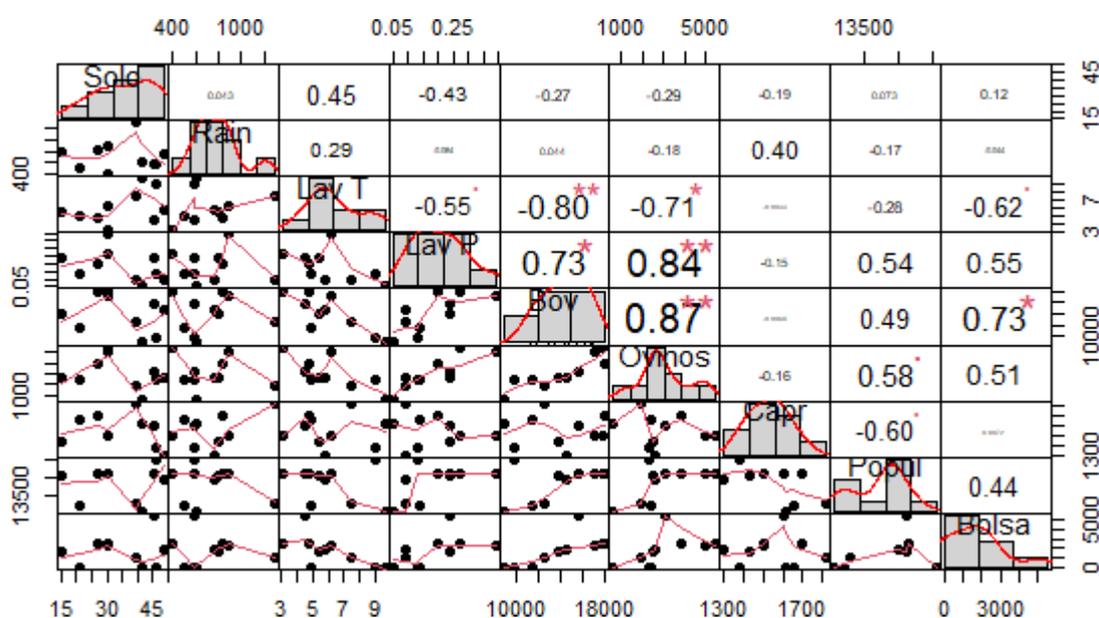
**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024

No município de Gurinhém, a variável Bov (Bovinos) apresenta correlações significativas com outras variáveis, destacando-se Bov e Lav P (Lavoura Permanente, 0.73), Bov e Lav T (Lavoura Temporária, -0.80), Bov e Ovinos (0.87) e Bov e Bolsa (Bolsa Família, 0.73). Esses dados sugerem que a pecuária bovina desempenha um papel central na dinâmica socioeconômica local.

A correlação positiva entre Bov e Bolsa indica que o aumento de beneficiários do programa Bolsa Família pode favorecer investimentos na criação de bovinos, possivelmente devido à maior disponibilidade de recursos financeiros. Por outro lado, a forte correlação negativa entre Bov e Lav T (-0.80) sugere que áreas destinadas à lavoura temporária podem

estar sendo convertidas para uso na pecuária bovina, evidenciando uma possível competição por espaço entre essas atividades. Além disso, a alta correlação entre Bov e Ovinos (0.87) aponta para uma coexistência ou complementaridade entre essas atividades pastorais no município.

**Figura 19.** Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis predictoras da Vegetação do Agreste – Gurinhém - PB.



Rain: precipitação; Lav T: lavoura temporária; Lav P: lavoura permanente; Bov: gado bovino; Capr: gado caprino; Bolsa: beneficiários de programas sociais (bolsa família); Popul: população; CH: corpos hídricos. A distribuição de cada variável é observada diagonalmente. Na parte inferior da diagonal os gráficos de dispersão bivariados com uma linha ajustada são exibidos. Na parte superior da diagonal, o valor de correlação e o nível de significância com estrelas são exibidos, onde o valor de p é igual a 0,001\*\*\*, 0,01\*\* e 0,05\*

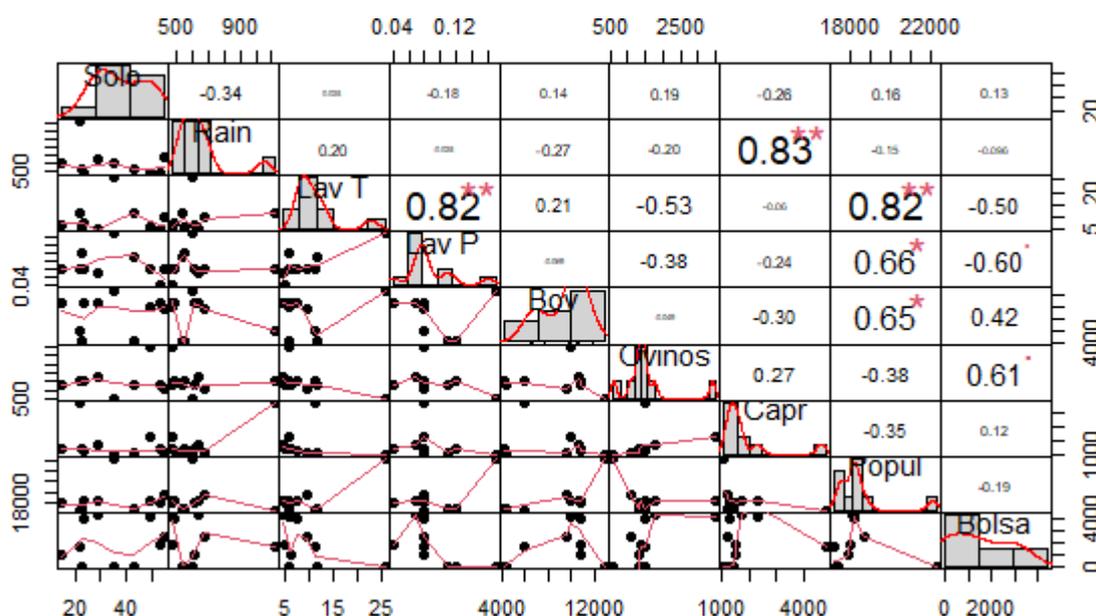
**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024

O município de Ingá apresentou alta correlação entre as variáveis Lav T e LavP (0.82), Capr e Rain (0.83) e Popul (população) e Lav T (0.82).

A correlação positiva entre as duas variáveis que representam as áreas destinadas à lavoura revela a coexistência entre duas formas distintas de agricultura, já a correlação positiva entre Capr e Rain sugere novamente que anos com maior precipitação favorecem a criação de caprinos possivelmente devido à maior disponibilidade de pastagem ou água, assim como no município de Boa vista (Figura 18). Por fim, a correlação positiva entre população e Lav T,

sugere que a população desse município possui uma dinâmica socioeconômica muito dependente de atividades agrícolas onde, conforme aumenta a população, aumenta também as áreas destinadas à agricultura.

**Figura 20.** Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis predictoras da Vegetação do Agreste – Ingá - PB.



Rain: precipitação; Lav T: lavoura temporária; Lav P: lavoura permanente; Bov: gado bovino; Capr: gado caprino; Bolsa: beneficiários de programas sociais (bolsa família); Popul: população; CH: corpos hídricos. A distribuição de cada variável é observada diagonalmente. Na parte inferior da diagonal os gráficos de dispersão bivariados com uma linha ajustada são exibidos. Na parte superior da diagonal, o valor de correlação e o nível de significância com estrelas são exibidos, onde o valor de p é igual a 0,001\*\*\*, 0,01\*\* e 0,05\*

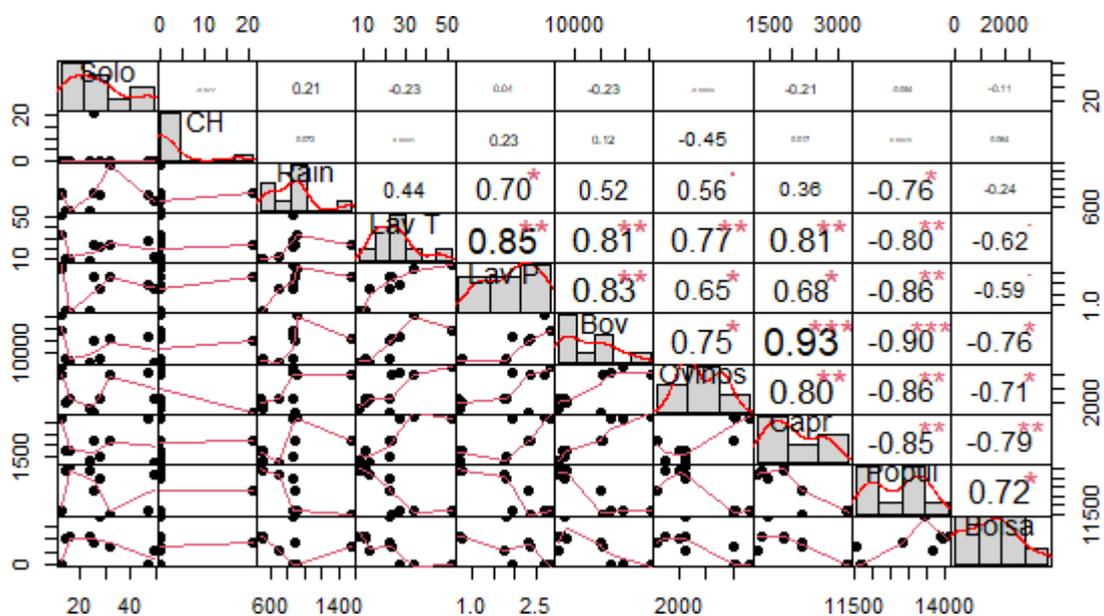
**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024

Para Massaranduba, a observação dos resultados evidencia relações significativas entre as variáveis analisadas. Destaca-se a forte correlação positiva entre Bov e outras variáveis, como Lav T (0.81) e Lav P (0.83), indicando que o aumento na criação de gado bovino está associado à expansão das lavouras temporárias e permanentes. Além disso, observa-se uma correlação positiva entre Rain e Lav P, sugerindo anos mais chuvosos, favorecem a lavoura permanente. Ademais, as variáveis relacionadas a pastagem (Bov, Ovinos e Capr) demonstraram alta correlação positiva com as variáveis Lav T e Lav P e também entre si, demonstrando que há complementaridade entre atividades pastorais e agrícolas no município.

Por outro lado, as variáveis socioeconômicas, como população e beneficiários de programas de transferência de renda (Bolsa Família), apresentaram correlações negativas com as variáveis relacionadas às atividades agrícolas e pastoris. Esse padrão sugere que o crescimento populacional e o aumento no número de beneficiários de políticas sociais podem estar associados a uma redução no investimento em atividades agropastoris. Essa relação pode ser explicada por uma possível migração da mão de obra rural para outras atividades econômicas ou pela priorização de outras fontes de renda, impactando diretamente a dinâmica das práticas agrícolas e pecuárias na região.

Esses resultados reforçam a complexa interação entre fatores climáticos, como a precipitação, e atividades humanas, como a pecuária e a agricultura, na dinâmica da cobertura vegetal e no uso da terra no agreste.

**Figura 21.** Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis predictoras da Vegetação do Agreste – Massaranduba - PB.

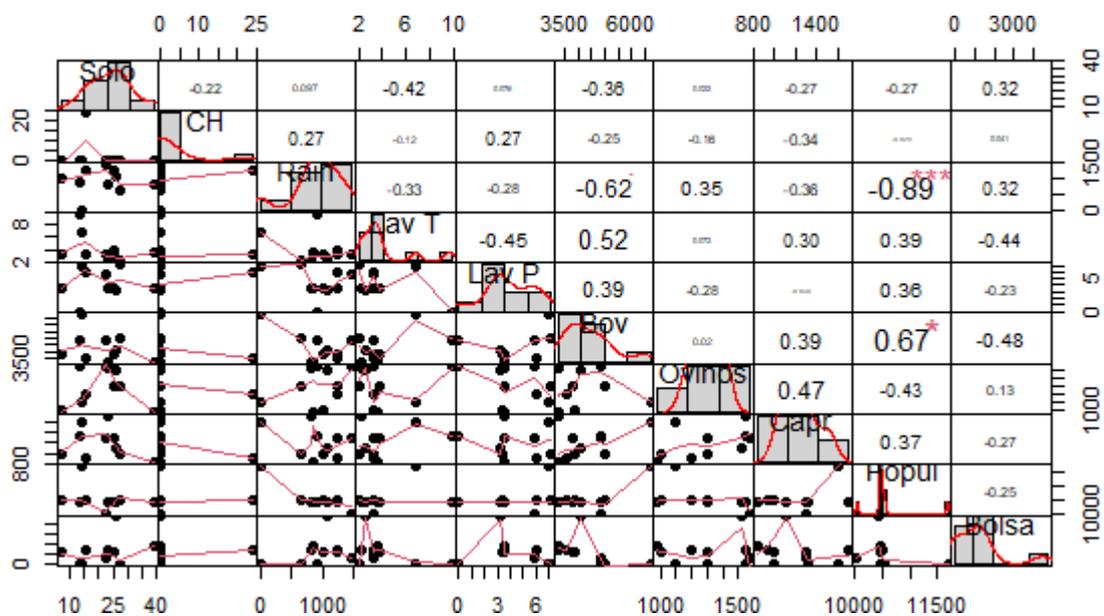


Rain: precipitação; Lav T: lavoura temporária; Lav P: lavoura permanente; Bov: gado bovino; Capr: gado caprino; Bolsa: beneficiários de programas sociais (bolsa família); Popul: população; CH: corpos hídricos. A distribuição de cada variável é observada diagonalmente. Na parte inferior da diagonal os gráficos de dispersão bivariados com uma linha ajustada são exibidos. Na parte superior da diagonal, o valor de correlação e o nível de significância com estrelas são exibidos, onde o valor de p é igual a 0,001\*\*\*, 0,01\*\* e 0,05\*

**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024

No município de Natuba a variável popul apresentou correlação positiva com a variável Bov (0.67) o que sugere que com o crescimento populacional há aumento no investimento na criação de gado. Por outro lado, a variável Rain apresentou uma correlação negativa forte com a variável popul, revelando uma dinâmica complexa entre as condições climáticas e a distribuição da população no município. Se tratando de uma zona de transição entre os domínios das Caatingas e Zona da Mata, a seca pode estar entre os fatores que influenciam o comportamento migratório e a concentração populacional, possivelmente devido à dependência da agricultura e pecuária, que são altamente sensíveis às variações climáticas.

**Figura 22.** Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis predictoras da Vegetação do Agreste – Natuba - PB.



Rain: precipitação; Lav T: lavoura temporária; Lav P: lavoura permanente; Bov: gado bovino; Capr: gado caprino; Bolsa: beneficiários de programas sociais (bolsa família); Popul: população; CH: corpos hídricos. A distribuição de cada variável é observada diagonalmente. Na parte inferior da diagonal os gráficos de dispersão bivariados com uma linha ajustada são exibidos. Na parte superior da diagonal, o valor de correlação e o nível de significância com estrelas são exibidos, onde o valor de p é igual a 0,001\*\*\*, 0,01\*\* e 0,05\*

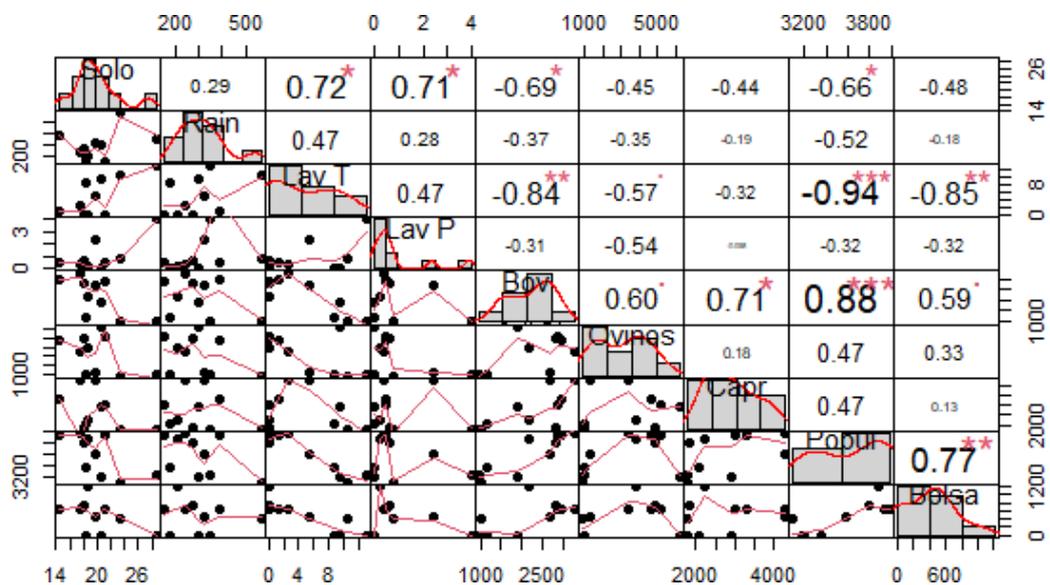
**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024

Em Olivedos as variáveis Lav T e Lav P apresentam correlação positiva com a variável Solo (0.72 e 0.71, respectivamente) indicando que as áreas de solo exposto, isto é, sem vegetação nativa aumentam conforme aumentam as áreas destinadas às lavouras temporárias e

permanentes, possivelmente devido ao período de pousio. Já a variável Bov apresentou correlação negativa com a variável Lav T (-0.84), ou seja, anos em que há mais áreas destinadas à lavoura temporária, investe-se menos na criação de gado.

O município também mostra uma dinâmica conjunta e de coexistência entre a criação de rebanho caprino e gado bovino, demonstrado pelo valor positivo da correlação (0.71), assim como uma correlação positiva entre Popul e Bov (0.88) indicando que quanto maior a população do município, maiores os investimentos na criação de gado. O contrário ocorre para os investimentos em lavouras temporárias, observado no valor negativo da correlação entre essas duas variáveis (-0.94). Já a variável Bolsa correlaciona-se positivamente a variável Popul (0.77) — mostrando que o aumento da população está relacionado ao aumento no acesso às políticas de transferência de renda — e negativamente a Lav T (-0.85) sugerindo que a população do município para de investir em atividades agrícolas quando sua situação econômica e social ascende.

**Figura 23.** Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis predictoras da Vegetação do Agreste – Olivedos - PB.

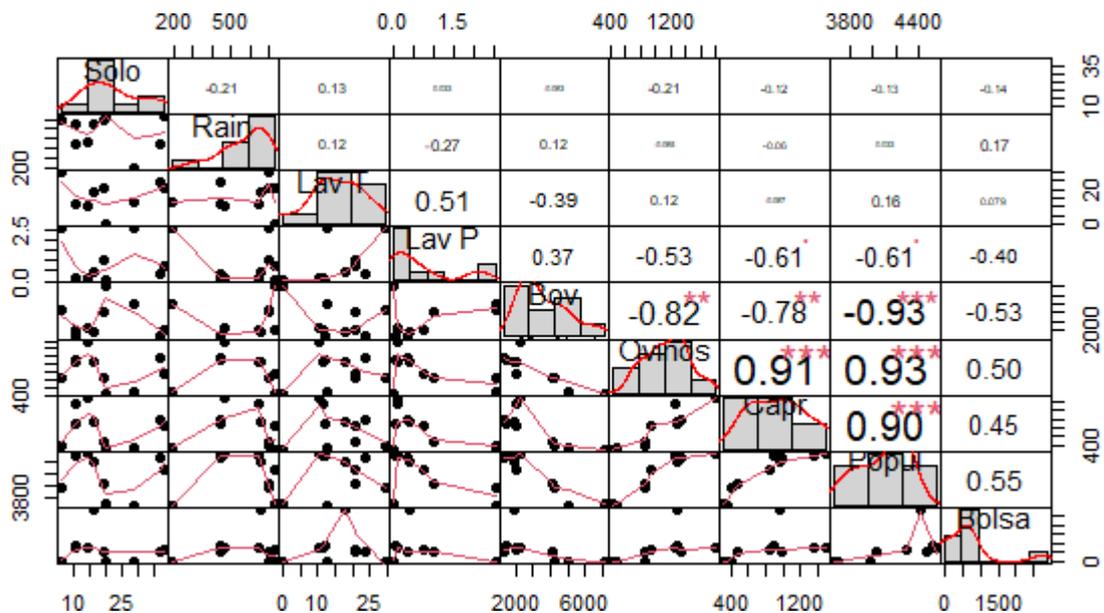


Rain: precipitação; Lav T: lavoura temporária; Lav P: lavoura permanente; Bov: gado bovino; Capr: gado caprino; Bolsa: beneficiários de programas sociais (bolsa família); Popul: população; CH: corpos hídricos. A distribuição de cada variável é observada diagonalmente. Na parte inferior da diagonal os gráficos de dispersão bivariables com uma linha ajustada são exibidos. Na parte superior da diagonal, o valor de correlação e o nível de significância com estrelas são exibidos, onde o valor de p é igual a 0,001\*\*\*, 0,01\*\* e 0,05\*

**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024

Em Riachão do Bacamarte as variáveis Ovinos e Capr apresentaram uma correlação positiva muito forte (0.91), evidenciando que há coexistência entre a criação de ovinos e caprinos. Isso sugere que os investimentos na pecuária desses dois tipos de rebanho ocorrem simultaneamente. Por outro lado, a variável Bov apresentou uma correlação negativa significativa tanto com Ovinos (-0.82) quanto com Capr (-0.78), indicando que, em anos com maior investimento na criação de bovinos, a criação de ovinos e caprinos é reduzida. Já a variável Popul apresentou correlação positiva com Capr (0.90) e Ovinos (0.93) mas negativa com Bov (-0.93) ou seja, o aumento da população está fortemente relacionado ao crescimento dos investimentos na pecuária ovina e caprina, mas não na bovina.

**Figura 24.** Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis predictoras da Vegetação do Agreste – Riachão do Bacamarte - PB.

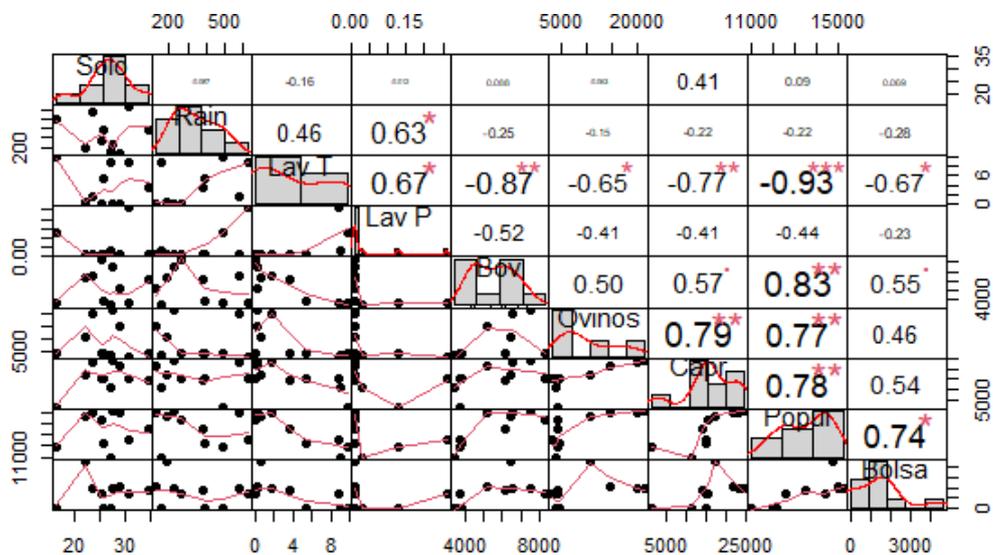


Rain: precipitação; Lav T: lavoura temporária; Lav P: lavoura permanente; Bov: gado bovino; Capr: gado caprino; Bolsa: beneficiários de programas sociais (bolsa família); Popul: população; CH: corpos hídricos. A distribuição de cada variável é observada diagonalmente. Na parte inferior da diagonal os gráficos de dispersão bivariados com uma linha ajustada são exibidos. Na parte superior da diagonal, o valor de correlação e o nível de significância com estrelas são exibidos, onde o valor de p é igual a 0,001\*\*\*, 0,01\*\* e 0,05\*

**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024

Em Soledade, a variável Popul apresentou uma forte correlação positiva com Bov, Ovinos e Capr (0.83 e 0.77 e 0.78, respectivamente), sugerindo que o crescimento populacional está diretamente relacionado ao aumento dos investimentos na pecuária. Já a variável Lav T apresentou uma correlação negativa elevada com Bov (-0.87), indicando que, em anos com maior área destinada a lavouras permanentes, há redução no investimento na criação de gado bovino. A variável Bolsa também mostrou correlação positiva com Popul (0.74), evidenciando que o aumento populacional acompanha uma maior dependência das políticas de transferência de renda. Além disso, Ovinos e Capr exibiram uma correlação positiva entre si (0.79), reforçando a coexistência dessas atividades pecuárias no município. Observa-se ainda uma correlação negativa entre Popul e Lav T (-0.93), sugerindo que, à medida que a população aumenta, há uma redução nas áreas destinadas às lavouras temporárias, e uma correlação negativa entre Capr e Lav T (-0.77), indicando que o investimento em caprinos ocorre em detrimento da expansão das lavouras temporárias.

**Figura 25.** Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis predictoras da Vegetação do Agreste – Soledade - PB.



Rain: precipitação; Lav T: lavoura temporária; Lav P: lavoura permanente; Bov: gado bovino; Capr: gado caprino; Bolsa: beneficiários de programas sociais (bolsa família); Popul: população; CH: corpos hídricos. A distribuição de cada variável é observada diagonalmente. Na parte inferior da diagonal os gráficos de dispersão bivariados com uma linha ajustada são exibidos. Na parte superior da diagonal, o valor de correlação e o nível de significância com estrelas são exibidos, onde o valor de p é igual a 0,001\*\*\*, 0,01\*\* e 0,05\*

**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024

A seleção de modelos realizada com base no critério de Akaike (AIC) identificou as variáveis que melhor explicam a dinâmica da vegetação no Agreste para os oito municípios analisados. Na Tabela 2, são apresentados os valores de AIC para os modelos de melhor ajuste em cada município, juntamente com as variáveis selecionadas. Percebe-se que as variáveis de maior relevância variam entre os municípios, evidenciando características socioeconômicas e ambientais específicas de cada região. Por exemplo, em Boa Vista, a variável Bolsa apresentou o menor valor de AIC, indicando a influência do número de beneficiários de programas sociais na modelagem, enquanto em Gurinhém e Ingá as variáveis relacionadas à lavoura temporária (Lav T) e à pecuária ovina (Ovinos) foram as mais representativas, respectivamente. Já em municípios como Massaranduba, Riachão do Bacamarte e Soledade, a precipitação (Rain) desempenhou um papel determinante, destacando o impacto das condições climáticas na dinâmica da vegetação. Esses resultados enfatizam, assim como no Cariri, a necessidade de abordagens individualizadas para compreender as dinâmicas específicas de cada município.

**Tabela 2.** Resultado dos Modelos baseados no menor valor de AIC para cada município do Agreste

<b>Municípios</b>	<b>Variáveis que representam o melhor modelo</b>	<b>AIC</b>
Boa Vista	Bolsa	86.958
Gurinhém	Lav T	66.931
Ingá	Ovinos	64.763
Massaranduba	Rain	69.142
Natuba	Lav P	76.094
Olivedos	Lav P	72.760
Riachão do Bacamarte	Rain	74.591
Soledade	Rain	72.508

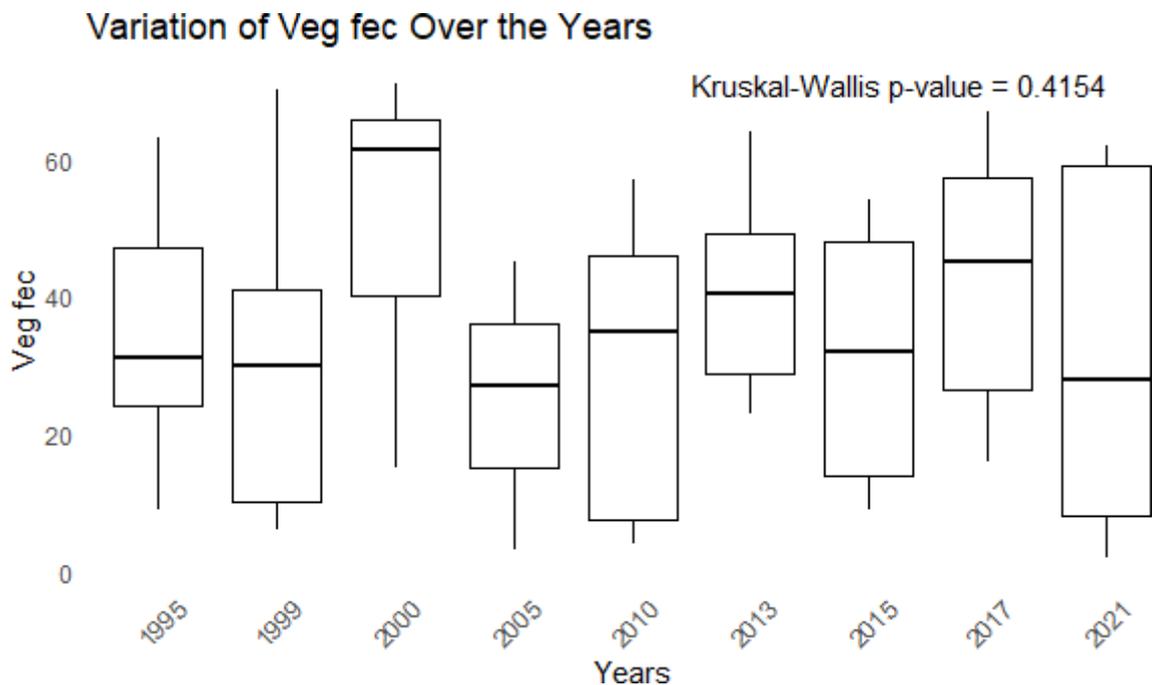
Rain: precipitação; Lav T: lavoura temporária; Lav P: lavoura permanente; Ovinos: gado ovino; Bolsa: beneficiários de programas sociais (bolsa família).

**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024

### 3.3 Zona Da Mata

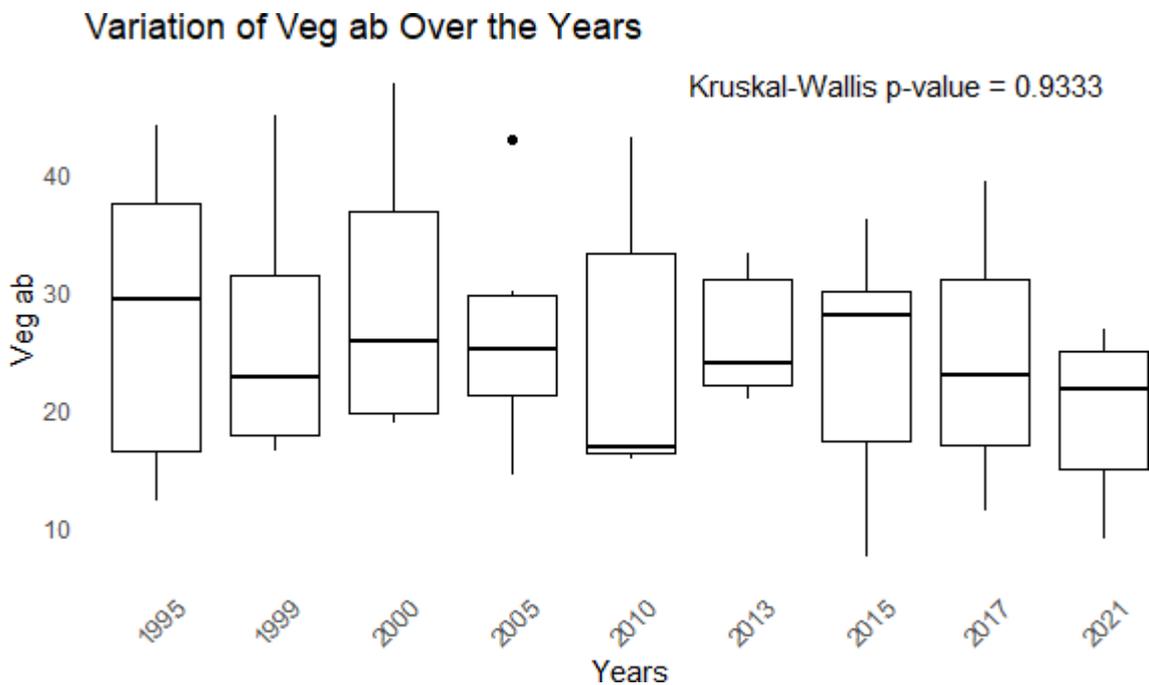
Os percentuais de cobertura da vegetação fechada (Veg fec) e da vegetação aberta (Veg ab) ao longo dos anos, abrangendo todos os municípios da Zona da Mata analisados, são apresentados nos gráficos abaixo. Observa-se que há anos com menor amplitude nos dados (como 2005 e 2013 para Veg fec e 2005, 2013 e 2021 para Veg ab), enquanto outros anos apresentam maior variabilidade entre os municípios (como 2000 e 2010 para ambas as variáveis). Apesar dessa variação ao longo do tempo, não foram identificadas diferenças estatísticas significativas entre as medianas dos anos analisados, com  $p = 0.4154$  para Veg fec e  $p = 0.9333$  para Veg ab, conforme teste de Kruskal-Wallis.

**Figura 26.** Variação temporal da cobertura de vegetação fechada na Zona da Mata: Análise de 1995 a 2021



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024

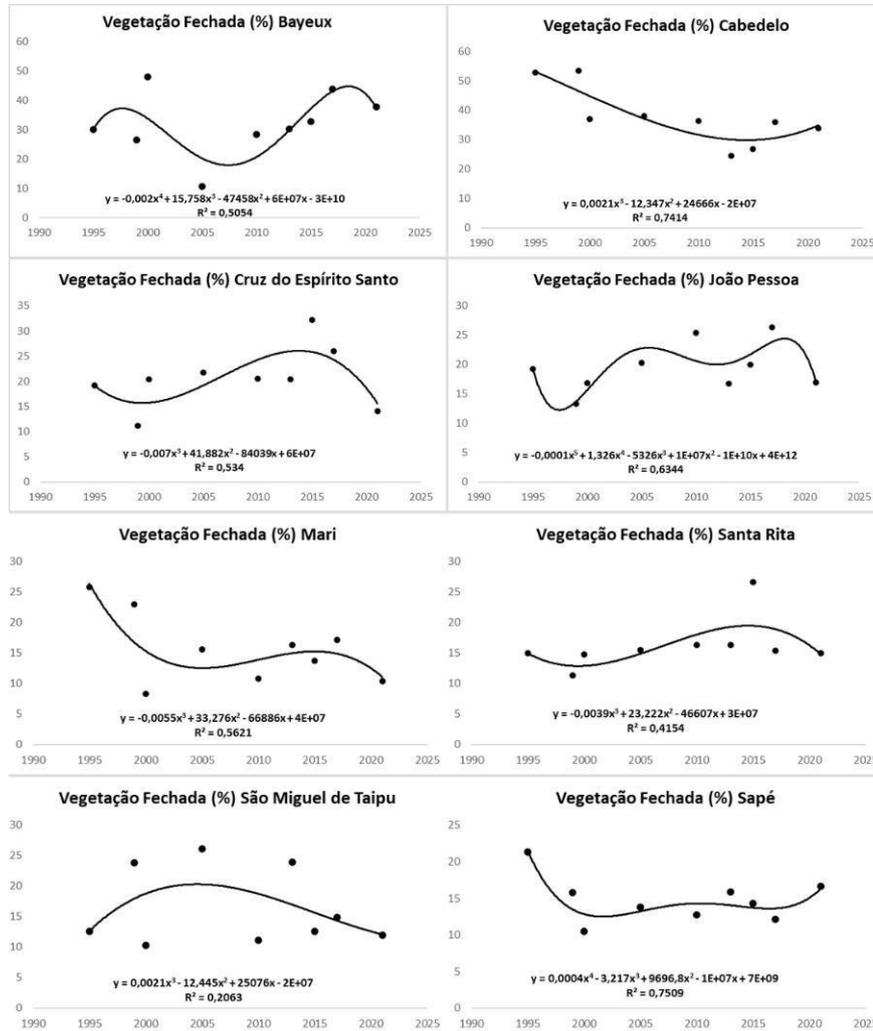
**Figura 27.** Variação temporal da cobertura de vegetação Aberta na Zona da Mata: Análise de 1995 a 2021



**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024

Os percentuais de cobertura da vegetação fechada (Veg fec) nos municípios da Zona da Mata paraibana apresentaram variações expressivas ao longo do período analisado, com tendências modeladas por funções polinomiais (Figura 28). Municípios como Santa Rita e Mari exibiram padrões de declínio até meados de 2005, seguidos por um leve aumento em 2010 e queda no início da década de 2020, enquanto João Pessoa e Bayeux mostraram oscilações mais irregulares, sugerindo a influência de fatores ambientais e antrópicos sobre a dinâmica da vegetação. Em contrapartida, Cabedelo e São Miguel de Taipu apresentaram uma tendência predominante de redução da cobertura de vegetação fechada de 1995 a 2015 e de 2005 a 2021 respectivamente, possivelmente associada à expansão urbana e agropecuária. São Miguel de Taipu também registrou tendência predominante de declínio da vegetação fechada. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) variou entre os municípios, com Sapé alcançando um valor relativamente elevado ( $R^2 = 0,7509$ ), indicando um bom ajuste do modelo, enquanto São Miguel de Taipu apresentou um menor ajuste ( $R^2 = 0,2063$ ), refletindo maior variabilidade na cobertura vegetal ao longo dos anos.

**Figura 28.** Evolução Temporal da Cobertura de Vegetação Fechada na Zona da Mata: Tendências e Ajustes Polinomiais (1995-2021).

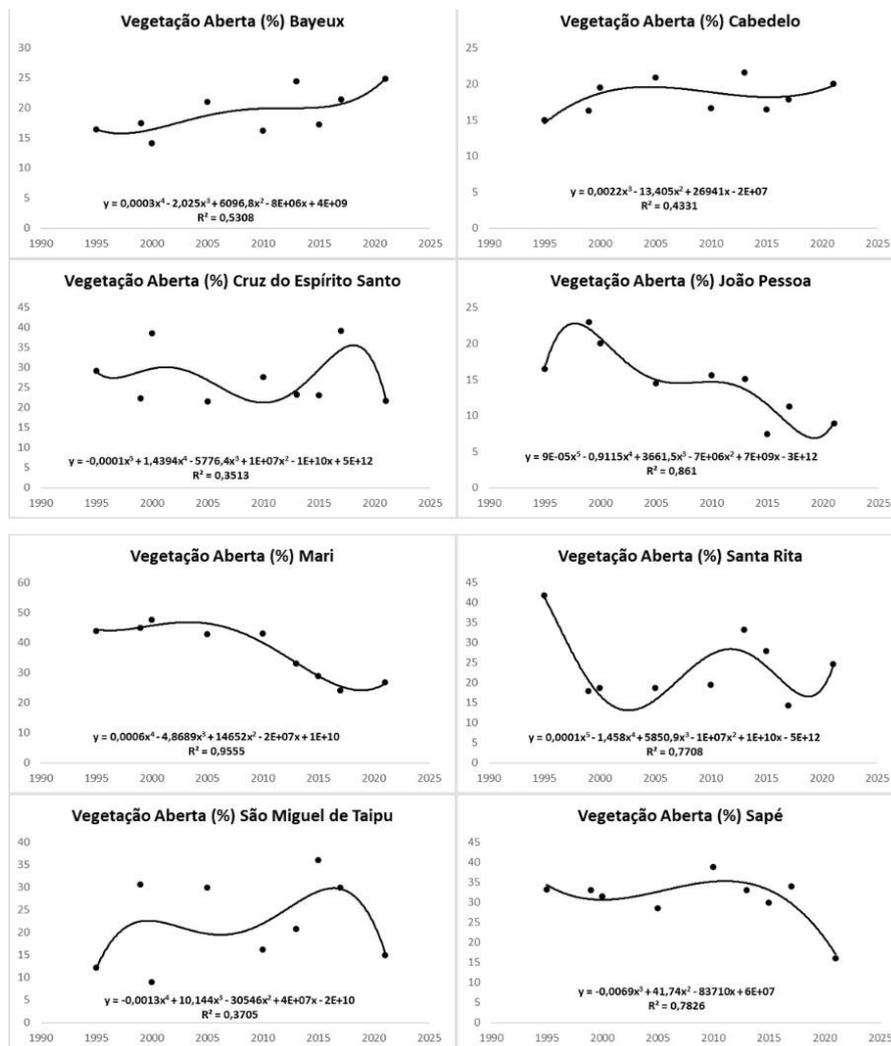


**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024

A cobertura de vegetação aberta (Veg ab) nos municípios analisados demonstrou variações significativas entre 1995 e 2021, capturadas por ajustes polinomiais de diferentes ordens (Figura 29). Em Bayeux e Cabedelo, observou-se um leve aumento na vegetação aberta ao longo do tempo, possivelmente refletindo a fragmentação da vegetação fechada e mudanças no uso do solo. João Pessoa e Cruz do Espírito Santo apresentaram padrões mais irregulares, com oscilações acentuadas que podem estar relacionadas a processos alternados de regeneração e degradação da paisagem. O município de Santa Rita apresentou um declínio acentuado na cobertura de vegetação aberta de 1995 a 2005, com oscilações de aumento e queda de 2005 a 2021. Já os municípios de Mari, São Miguel de Taipu e Sapé apresentaram tendência de declínio

da cobertura de vegetação aberta de meados de 2010 a 2021. O ajuste dos modelos variou entre os municípios, com Mari apresentando um  $R^2$  elevado ( $R^2 = 0,9555$ ), indicando uma boa aderência do modelo aos dados, enquanto Cruz do Espírito Santo exibiu o menor coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,3513$ ), sugerindo maior complexidade nas mudanças da cobertura vegetal aberta.

**Figura 29.** Evolução Temporal da Cobertura de Vegetação Aberta na Zona da Mata: Tendências e Ajustes Polinomiais (1995-2021).



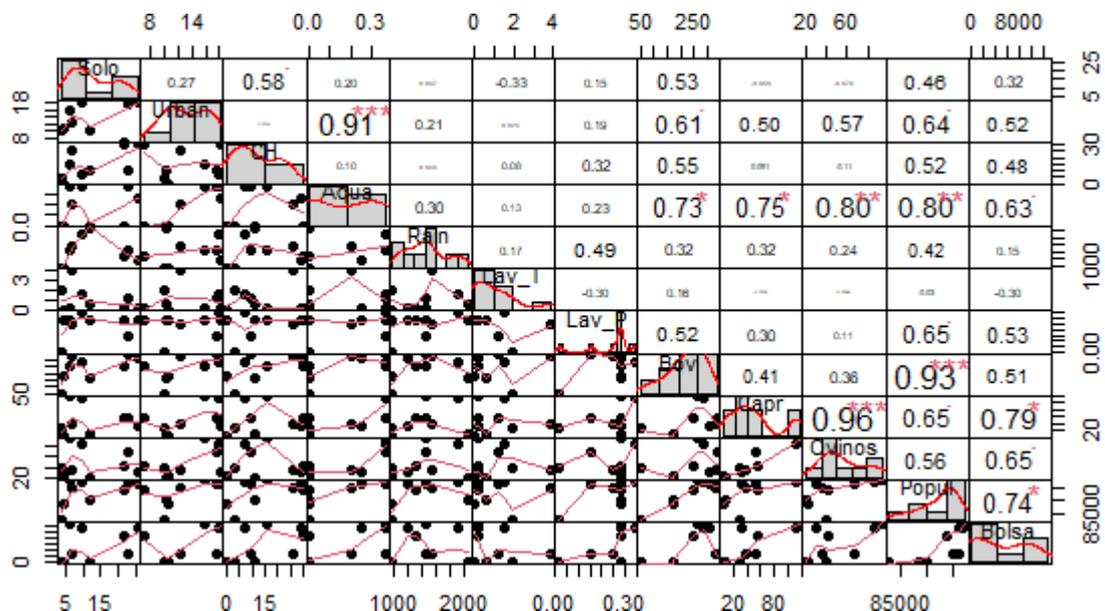
Fonte: Elaborada pelo autor, 2024

A correlação entre as variáveis para todos os municípios da mesorregião da Zona da Mata, inserida na Mata Atlântica, estão dispostas nas figuras 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36 e 37.

Para o município de Bayers, os dados da figura sugerem que a proximidade a centros urbanos favorece a atividade aquícola, evidenciado pelas correlações positivas significativas

entre as variáveis Urban (zona urbana) e Aqua (aquicultura), Aqua e Popul (população). Os dados da figura também revelam correlações positivas significativas entre Capr (Caprinos) e Ovinos (0.96), evidenciando que ambas as atividades pecuárias possuem dinâmicas similares na região. A variável Aqua se destaca, apresentando correlações positivas com todas as variáveis pecuárias: Bov, Capr e Ovinos (0.73, 0.75 e 0.80, respectivamente). Essa interdependência entre a aquicultura e atividades pecuárias sugere que essas práticas podem compartilhar recursos e se desenvolver em paralelo, seja pelo uso comum de áreas periurbanas ou por estratégias produtivas integradas.

**Figura 30.** Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis predictoras da Vegetação da Zona da Mata – Bayeux – PB



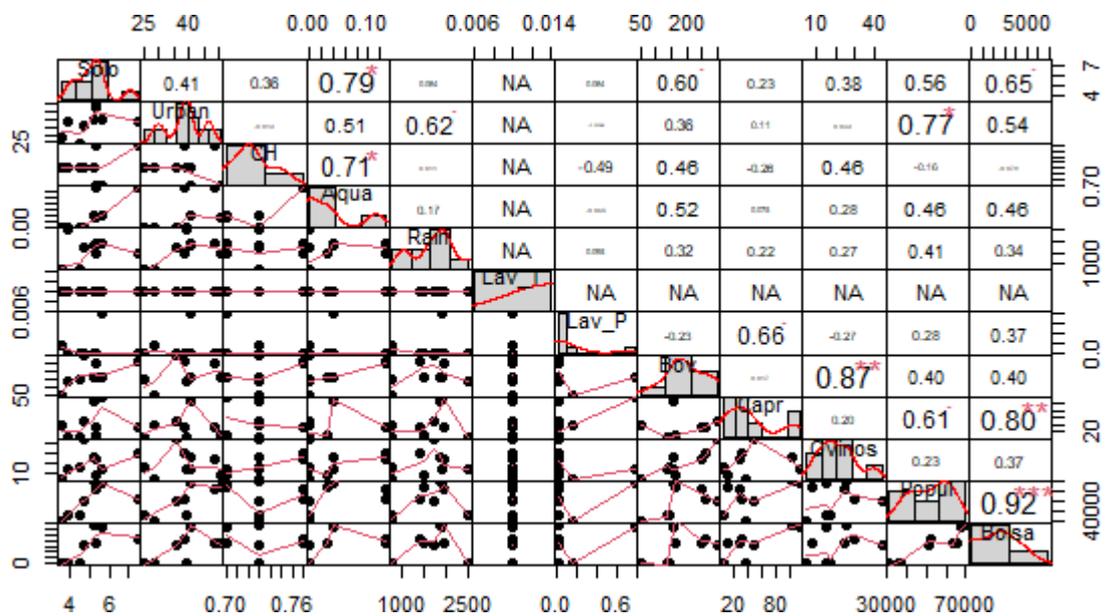
Rain: precipitação; Lav T: lavoura temporária; Lav P: lavoura permanente; Bov: gado bovino; Capr: gado caprino; Bolsa: beneficiários de programas sociais (bolsa família); Popul: população; CH: corpos hídricos; Urban: zona urbana; Aqua: aquicultura. A distribuição de cada variável é observada diagonalmente. Na parte inferior da diagonal os gráficos de dispersão bivariados com uma linha ajustada são exibidos. Na parte superior da diagonal, o valor de correlação e o nível de significância com estrelas são exibidos, onde o valor de p é igual a 0,001\*\*\*, 0,01\*\* e 0,05\*

**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024

Para o município de Cabedelo, observa-se uma correlação significativa positiva (0.71) entre CH (Corpos Hídricos) e Aqua, sugerindo que a aquicultura tende a ser mais explorada em

anos que os corpos hídricos estão mais elevados. A variável Bov e ovinos também apresentam correlação positiva (0.87), evidenciando que ambas as atividades pecuárias coexistem em dinâmicas similares na região. Além disso, popul e urban exibem correlação positiva (0.77), demonstrando que à medida que a população cresce, há uma tendência de aumento da urbanização, e vice-versa. A correlação positiva entre Capr e Bolsa (Programa Bolsa Família) pode indicar que as famílias que recebem o benefício utilizam parte dele para investir na criação de caprinos, buscando gerar renda ou garantir segurança alimentar.

**Figura 31.** Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis predictoras da Vegetação da Zona da Mata – Cabedelo – PB



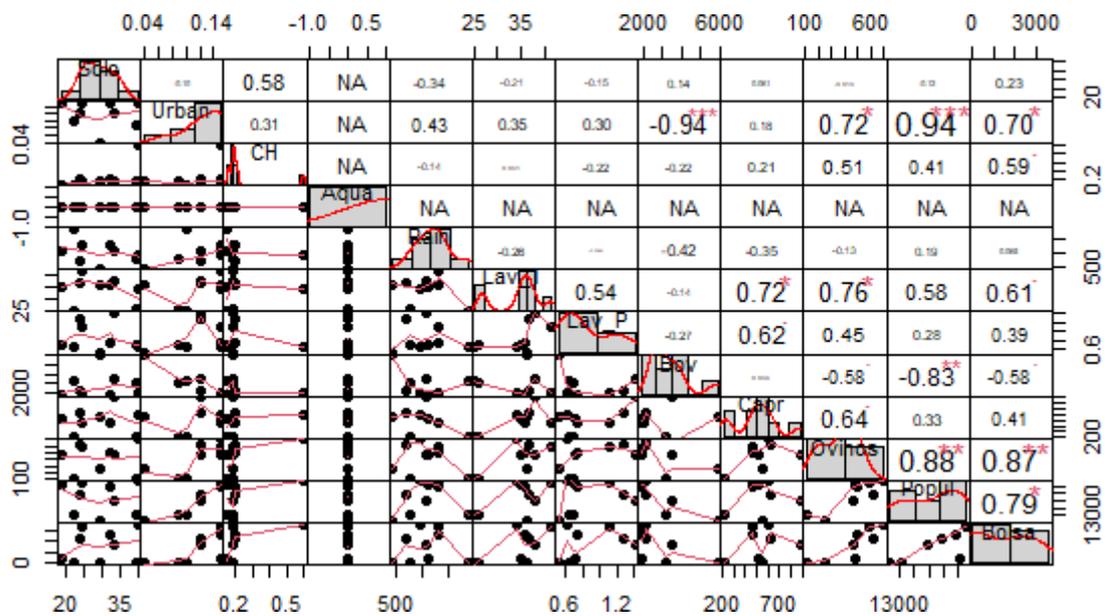
Rain: precipitação; Lav T: lavoura temporária; Lav P: lavoura permanente; Bov: gado bovino; Capr: gado caprino; Bolsa: beneficiários de programas sociais (bolsa família); Popul: população; CH: corpos hídricos; Urban: zona urbana; Aqua: aquicultura. A distribuição de cada variável é observada diagonalmente. Na parte inferior da diagonal os gráficos de dispersão bivariados com uma linha ajustada são exibidos. Na parte superior da diagonal, o valor de correlação e o nível de significância com estrelas são exibidos, onde o valor de p é igual a 0,001\*\*\*, 0,01\*\* e 0,05\*

**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024

Em Cruz do Espírito Santo, observa-se uma forte correlação negativa (-0.94) entre Urban e Bov, sugerindo que o aumento da urbanização está relacionado à diminuição da atividade pecuária de bovinos na região. Já a variável Lav T apresenta uma correlação positiva (0.72)

com Capr, indicando que essa prática agrícola pode estar associada à criação de caprinos. Além disso, Urban e Ovinos possuem correlação positiva (0.72), sugerindo uma relação complementar entre urbanização e a criação desses animais. Destaca-se ainda a forte correlação positiva entre Popul e Urban (0.94), evidenciando que o crescimento populacional está intimamente ligado à expansão urbana. Popul também apresenta correlações significativas com Ovinos (0.88) e Bolsa (0.79), o que pode indicar que o aumento da população está associado tanto à criação de ovinos quanto ao impacto do programa social na região. Por fim, observa-se uma correlação positiva (0.87) entre Bolsa e Ovinos, possivelmente refletindo o uso do benefício para investimento na criação de ovinos, promovendo geração de renda ou segurança alimentar.

**Figura 32.** Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis predictoras da Vegetação da Zona da Mata – Cruz do Espírito Santo – PB

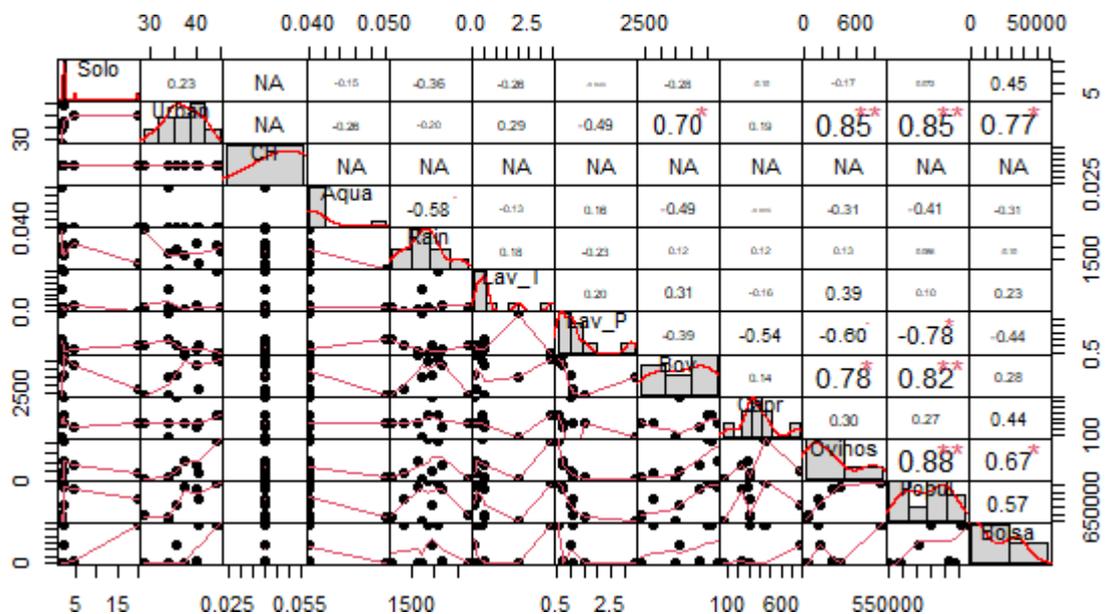


Rain: precipitação; Lav T: lavoura temporária; Lav P: lavoura permanente; Bov: gado bovino; Capr: gado caprino; Bolsa: beneficiários de programas sociais (bolsa família); Popul: população; CH: corpos hídricos; Urban: zona urbana; Aqua: aquicultura. A distribuição de cada variável é observada diagonalmente. Na parte inferior da diagonal os gráficos de dispersão bivariados com uma linha ajustada são exibidos. Na parte superior da diagonal, o valor de correlação e o nível de significância com estrelas são exibidos, onde o valor de p é igual a 0,001\*\*\*, 0,01\*\* e 0,05\*

**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024

No município de João Pessoa, capital do estado da Paraíba, apresenta-se correlações positivas entre a pecuária e a zona urbana — Urban e Bov (0.70) e Urban e Ovinos (0.85), sugerindo que o aumento da urbanização está relacionado ao aumento da atividade pecuária, diferentemente do que foi apresentado para Cruz do Espírito Santo. A variável popul também exibiu correlação positiva com Ovinos (0.88) e Bov (0.82), indicando que o crescimento populacional está diretamente relacionado à intensificação da atividade pecuária. Em contraste, apresentou uma correlação negativa com Lav P (-0.78), sugerindo que o aumento da população não está associado ao desenvolvimento da atividade agrícola. Além disso, Bolsa apresentou correlação positiva (0.77) com Urban, sinalizando que que, à medida que a urbanização aumenta, o número de beneficiários do programa também tende a crescer. Isso pode refletir o fato de que, em áreas urbanas, há uma maior concentração de famílias em situação de vulnerabilidade socioeconômica, que se tornam elegíveis para o programa. Outra possível interpretação é que o aumento da urbanização pode estar relacionado ao deslocamento de populações rurais para áreas urbanas em busca de melhores condições, ampliando a demanda por políticas públicas de assistência social.

**Figura 33.** Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis preditoras da Vegetação da Zona da Mata – João Pessoa – PB



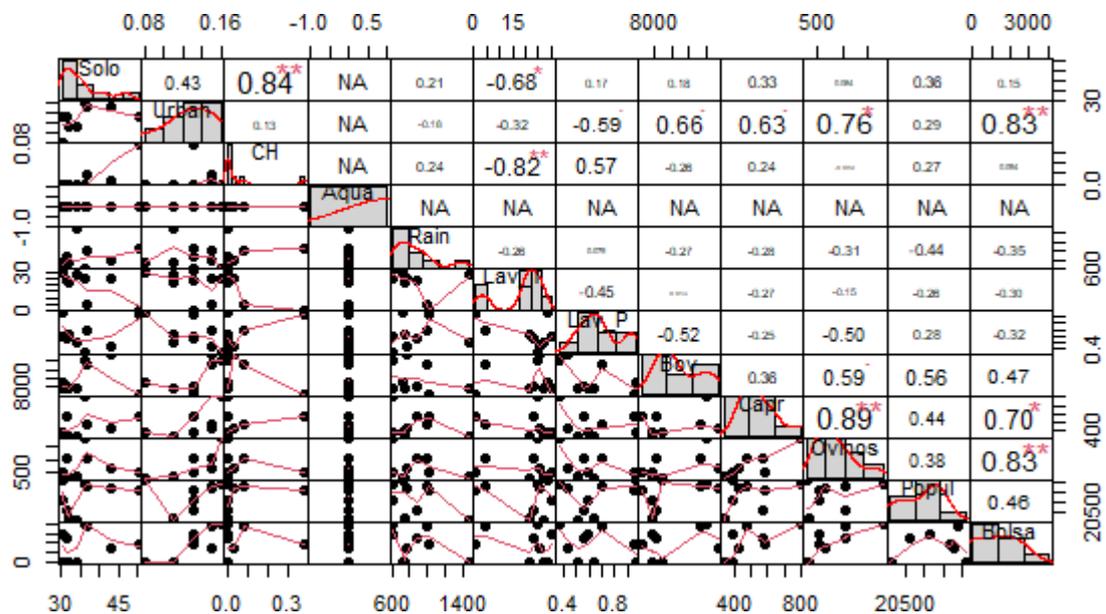
Rain: precipitação; Lav T: lavoura temporária; Lav P: lavoura permanente; Bov: gado bovino; Capr: gado caprino; Bolsa: beneficiários de programas sociais (bolsa família); Popul: população; CH: corpos hídricos; Urban:

zona urbana; Aqua: aquicultura. A distribuição de cada variável é observada diagonalmente. Na parte inferior da diagonal os gráficos de dispersão bivariados com uma linha ajustada são exibidos. Na parte superior da diagonal, o valor de correlação e o nível de significância com estrelas são exibidos, onde o valor de  $p$  é igual a 0,001\*\*\*, 0,01\*\* e 0,05\*

**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024

Para Mari, a correlação entre Solo e CH (0.84) evidencia que a diminuição dos corpos hídricos, em anos de seca, está associada a maiores áreas de solo exposto. É observado também que assim como em João Pessoa, Urban e Bolsa apresentaram correlação positiva (0.83) evidenciando que a urbanização está relacionada à maior presença de beneficiários do programa Bolsa Família. Além disso, destaca-se a correlação positiva entre Ovinos e Urban (0.76) sugerindo que mesmo em áreas urbanizadas, a criação de ovinos mantém relevância econômica e cultural na região, refletindo a integração entre a vida urbana e práticas agropecuárias, semelhante ao observado também em João Pessoa.

**Figura 34.** Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis predictoras da Vegetação da Zona da Mata – Mari – PB



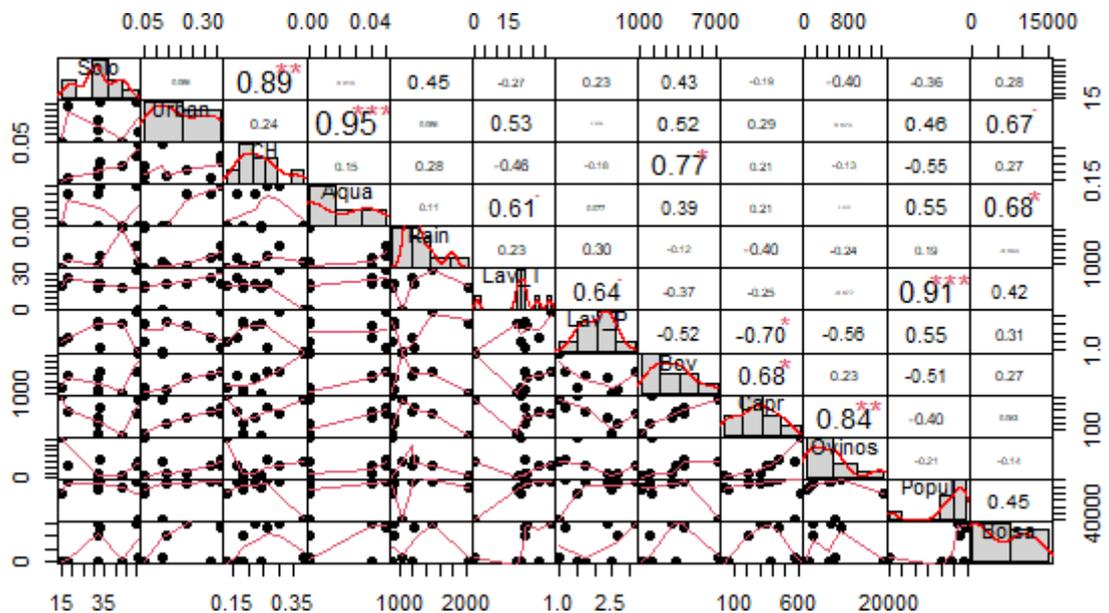
Rain: precipitação; Lav T: lavoura temporária; Lav P: lavoura permanente; Bov: gado bovino; Capr: gado caprino; Bolsa: beneficiários de programas sociais (bolsa família); Popul: população; CH: corpos hídricos; Urban: zona urbana; Aqua: aquicultura. A distribuição de cada variável é observada diagonalmente. Na parte inferior da diagonal os gráficos de dispersão bivariados com uma linha ajustada são exibidos. Na parte superior da diagonal,

o valor de correlação e o nível de significância com estrelas são exibidos, onde o valor de p é igual a 0,001\*\*\*, 0,01\*\* e 0,05\*

**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024

Para Santa Rita, também observa-se correlação positiva (0.89) entre CH e Solo, reiterando que a redução dos corpos hídricos, durante os anos de seca, está relacionada a uma ampliação das áreas com solo exposto. Por outro lado, a correlação positiva (0.77) entre CH e Bov pode sugerir que a disponibilidade de água está relacionada à criação de gado, já que o gado depende de fontes hídricas. Já a correlação positiva (0.95) entre Aqua e Urban pode indicar que o desenvolvimento da aquicultura está relacionado ao crescimento de áreas urbanas. Ainda, é apresentada uma correlação positiva entre Lav T e Popul (0.91), sugerindo que o crescimento populacional em Santa Rita impulsiona a necessidade de cultivo de lavouras temporárias.

**Figura 35.** Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis predictoras da Vegetação da Zona da Mata – Santa Rita – PB

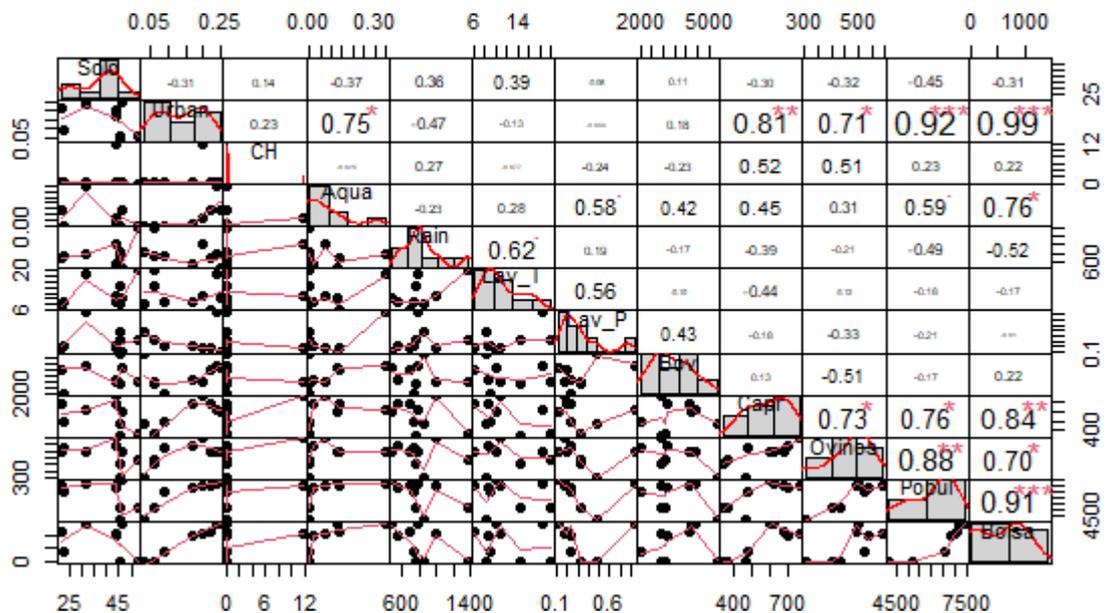


Rain: precipitação; Lav T: lavoura temporária; Lav P: lavoura permanente; Bov: gado bovino; Capr: gado caprino; Bolsa: beneficiários de programas sociais (bolsa família); Popul: população; CH: corpos hídricos; Urban: zona urbana; Aqua: aquicultura. A distribuição de cada variável é observada diagonalmente. Na parte inferior da diagonal os gráficos de dispersão bivariados com uma linha ajustada são exibidos. Na parte superior da diagonal, o valor de correlação e o nível de significância com estrelas são exibidos, onde o valor de p é igual a 0,001\*\*\*, 0,01\*\* e 0,05\*

**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024

No município de São Miguel de Taipu, destacam-se fortes correlações positivas entre Bolsa e Popul (0.91), indicando que a distribuição do Bolsa Família acompanha o tamanho populacional do município. Além disso, a criação de caprinos apresenta correlações elevadas tanto com a população (0.76) quanto com Bolsa (0.84) e Urban (0.81), sugerindo que a caprinocultura aumenta em anos com maior densidade populacional e dependência de auxílio governamental. Aqua e zona urbana também exibem uma correlação positiva significativa (0.75), possivelmente refletindo a concentração de áreas urbanizadas próximas a recursos hídricos. São Miguel de Taipu é mais um município da Zona da Mata onde foram observadas correlações entre a zona urbana e pecuária, evidenciando que o aumento da urbanização está relacionado ao aumento da atividade pecuária nessa região.

**Figura 36.** Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis predictoras da Vegetação da Zona da Mata – São Miguel de Taipu – PB

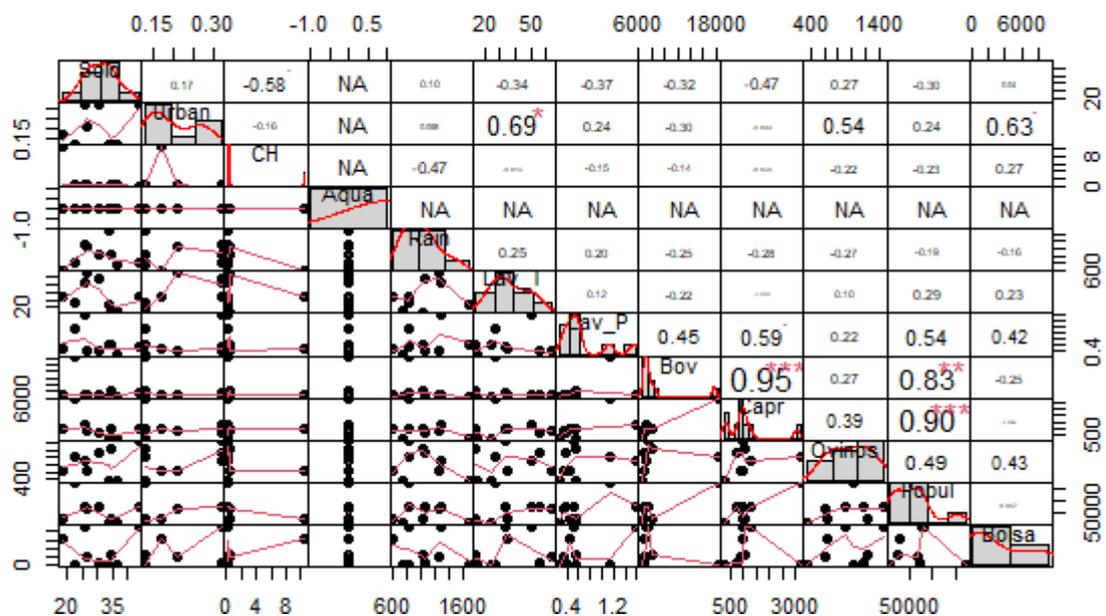


Rain: precipitação; Lav T: lavoura temporária; Lav P: lavoura permanente; Bov: gado bovino; Capr: gado caprino; Bolsa: beneficiários de programas sociais (bolsa família); Popul: população; CH: corpos hídricos; Urban: zona urbana; Aqua: aquicultura. A distribuição de cada variável é observada diagonalmente. Na parte inferior da diagonal os gráficos de dispersão bivariados com uma linha ajustada são exibidos. Na parte superior da diagonal, o valor de correlação e o nível de significância com estrelas são exibidos, onde o valor de p é igual a 0,001\*\*\*, 0,01\*\* e 0,05\*

**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024

Em Sapé, observa-se uma forte correlação positiva entre Bov e Capr (0.95), indicando que esses dois tipos de pecuária tendem a ocorrer conjuntamente na região. Destaca-se também, a forte correlação positiva entre Popul e Capr (0.90) e entre Popul e Bov (0.83), sugerindo que esses sistemas pecuários estiveram mais presentes em anos com maior número de habitantes. Esse padrão pode refletir a influência do crescimento populacional na demanda por produtos agropecuários, impulsionando a atividade pecuária ao longo do tempo.

**Figura 37.** Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis predictoras da Vegetação da Zona da Mata – Sapé – PB



Rain: precipitação; Lav T: lavoura temporária; Lav P: lavoura permanente; Bov: gado bovino; Capr: gado caprino; Bolsa: beneficiários de programas sociais (bolsa família); Popul: população; CH: corpos hídricos; Urban: zona urbana; Aqua: aquicultura. A distribuição de cada variável é observada diagonalmente. Na parte inferior da diagonal os gráficos de dispersão bivariados com uma linha ajustada são exibidos. Na parte superior da diagonal, o valor de correlação e o nível de significância com estrelas são exibidos, onde o valor de  $p$  é igual a 0,001\*\*\*, 0,01\*\* e 0,05\*

**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024

A seleção de modelos realizada com base no critério de Akaike (AIC) identificou as variáveis que melhor explicam a dinâmica da vegetação na Zona da Mata para os oito

municípios analisados. Na Tabela 3, são apresentados os valores de AIC para os modelos de melhor ajuste em cada município, juntamente com as variáveis selecionadas. Observa-se que as variáveis mais relevantes variam entre os municípios, refletindo diferentes características socioeconômicas e ambientais.

Por exemplo, em Bayeux e Cabedelo, a precipitação (Rain) apresentou o menor valor de AIC, sugerindo que as condições climáticas são determinantes para a dinâmica da vegetação nessas áreas. Em Cruz do Espírito Santo, a lavoura temporária (Lav T) foi a variável mais representativa, destacando a influência da atividade agrícola na modelagem. No caso de João Pessoa, a variável Bolsa, que representa os beneficiários do programa Bolsa Família, do governo federal, obteve o melhor ajuste, sugerindo uma possível relação entre aspectos socioeconômicos e a cobertura vegetal.

Já em Mari, a criação de bovinos (Bov) foi a variável mais significativa, enquanto em Santa Rita e Sapé a pecuária ovina (Ovinos) se destacou, apontando a relevância dessas atividades na modelagem da vegetação. Em São Miguel de Taipu, os corpos hídricos (CH) foram a variável de maior importância, ressaltando o papel da disponibilidade de água na estruturação da paisagem.

Esses resultados reforçam, a necessidade de abordagens individualizadas para compreender as dinâmicas específicas de cada município da Zona da Mata, assim como nas outras regiões estudadas, considerando tanto fatores climáticos quanto atividades agropecuárias e socioeconômicas.

**Tabela 3.** Resultado dos Modelos baseados no menor valor de AIC para cada município da Zona da Mata

<b>Municípios</b>	<b>Variáveis que representam o melhor modelo</b>	<b>AIC</b>
Bayeux	Rain	67.500
Cabedelo	Rain	66.114
Cruz do Espírito Santo	Lav T	60.436
João Pessoa	Bolsa	51.456
Mari	Bov	56.617

Santa Rita	Ovinos	53.870
São Miguel de Taipu	CH	59.186
Sapé	Ovinos	42.811

Rain: precipitação; Lav T: lavoura temporária; Lav P: lavoura permanente; Ovinos: gado ovino; Bov: gado bovino; Capr: gado caprino; Bolsa: beneficiários de programas sociais (bolsa família); Popul: população; CH: corpos hídricos.

**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024

## 4 DISCUSSÕES

### 4.1 Cariri

Os resultados obtidos na análise da mesorregião do Cariri não confirmaram a hipótese inicial, que previa maior dependência da vegetação nativa em relação às variações climáticas. Especificamente, esperava-se uma relação moderada a forte entre a variação da cobertura da vegetação de Caatinga e a variação interanual de chuvas. Contudo, dos oito municípios avaliados, apenas em Livramento - PB a dinâmica da vegetação mostrou-se dependente do regime de precipitação. Nos demais municípios, os fatores mais determinantes para a dinâmica da cobertura vegetal foram o uso da terra para lavoura (LavP e LavT) e a criação de bovinos e caprinos (Bov e Capr). Esses achados sugerem que a Caatinga, devido à sua adaptação evolutiva às condições de seca, possui mecanismos fisiológicos que permitem a sobrevivência em contextos de baixa precipitação. No entanto, a pressão gerada pelo uso intensivo do solo revela-se um fator mais crítico na alteração da cobertura vegetal, destacando a importância de práticas de manejo sustentável na região. Como sugere os estudos de Bezerra et al. (2022) e Silva et al. (2023) em que a precipitação pode não ter o impacto esperado sobre o uso e cobertura da terra na Caatinga se visto como uma variável isolada das ações antrópicas. E mesmo em Livramento – PB, a precipitação (Rain) não foi, isolada, a variável que melhor representa o modelo, mas estava associada com outras variáveis – Bolsa e Popul.

É notável que para os municípios do Cariri, as variáveis relacionadas à agricultura e distribuição de renda se destacam como as principais determinantes para a dinâmica de cobertura da vegetação. Esse impacto antrópico é intrinsecamente ligado às condições socioeconômicas da região, que influenciam diretamente as formas de uso e ocupação do solo.

A relação entre o desenvolvimento econômico e a degradação ambiental, especialmente no contexto do desmatamento em países em desenvolvimento, como o Brasil, tem se tornado uma preocupação crescente. Todavia, de acordo com o estudo de Assa (2021) - que reuniu dados de 85 países tropicais em desenvolvimento - um aumento na renda per capita não necessariamente resulta em uma diminuição proporcional no desmatamento. Em muitos casos, espera-se que países em desenvolvimento, à medida que se tornam mais ricos, adotem políticas mais eficazes de conservação ambiental, levando a uma redução no desmatamento. No entanto, os resultados do estudo indicam que esse padrão não se aplica universalmente, e que o crescimento

econômico pode, em alguns contextos, estar associado a um aumento no desmatamento, especialmente se as políticas ambientais não forem implementadas de forma eficaz.

Estudos realizados em contextos diferentes também apresentam resultados distintos. Segundo Moreira et al. (2009) e seu estudo realizado em todas as regiões do Brasil com foco específico nas áreas rurais, o padrão de consumo das diferentes classes sociais influencia diretamente o uso da terra. As classes de renda mais alta tendem a ter um impacto maior na degradação ambiental devido ao seu consumo elevado, o que pode levar a uma maior pressão sobre os recursos naturais e a terra. Isso pode resultar em mudanças no uso da terra, como a conversão de áreas naturais em áreas urbanas ou agrícolas para atender à demanda por produtos e serviços.

Além disso, de acordo com Geoghegan et al. (1998), o nível de renda da população também desempenha um papel crucial no uso da terra. Em áreas rurais, como as do Cariri, famílias de baixa renda frequentemente dependem da exploração de recursos naturais, como o desmatamento para a agricultura de subsistência. Essa prática, comum em cenários de vulnerabilidade social, intensifica a alteração da cobertura vegetal, especialmente em regiões semiáridas, onde os ecossistemas são mais sensíveis. Esses estudos sugerem que a relação entre renda e desmatamento é complexa e não segue um padrão previsível.

A Caatinga, onde está localizado o Cariri, é a floresta seca mais populosa do mundo, e os habitantes dependem significativamente do uso dos recursos naturais do ecossistema para diversas finalidades, como a obtenção de lenha e a atividade pecuária. Essas fontes de distúrbio antropogênico crônico estão todas ligadas à condição socioeconômica das populações humanas que habitam a Caatinga e podem ser compreendidas e, até certo ponto, quantificadas por meio de avaliações socioeconômicas (Melo, 2017). Se essa população vulnerável e altamente dependente dos recursos naturais para sua sobrevivência, porventura aumentam sua renda per capita, é possível que o distúrbio antropogênico à vegetação cesse.

Outro aspecto importante é o impacto do crescimento populacional. O aumento da população gera maior demanda por terras destinadas à agricultura, moradia e infraestrutura, pressionando ainda mais os recursos naturais. Somado a isso, a migração rural-urbana e inter-regional redistribui a pressão sobre o uso da terra, resultando tanto no abandono de áreas agrícolas quanto na expansão de áreas urbanas (Geoghegan et al., 1998; Dupin et al., 2018; Mantero et al., 2020).

Esses fatores, quando analisados no contexto do Cariri, revelam que a dinâmica da cobertura vegetal está profundamente interligada a mudanças socioeconômicas e práticas

agrícolas locais. Assim, compreender como os fatores antrópicos moldam a paisagem da região é essencial para desenvolver estratégias de manejo sustentável que aliem conservação ambiental e desenvolvimento social.

A dinâmica da cobertura vegetal nos municípios do Cariri paraibano reflete o impacto das práticas econômicas e sociais locais, profundamente enraizadas nas condições socioeconômicas da região. Cada município apresenta especificidades que ajudam a compreender as interações entre atividades humanas e o uso do solo, contribuindo para a interpretação dos resultados dos modelos.

Em Amparo, por exemplo, a economia é predominantemente baseada na agropecuária de subsistência, com destaque para a criação de caprinos e ovinos, além de culturas de milho e feijão. Essa dependência de atividades tradicionais evidencia a pressão sobre os recursos naturais locais, especialmente em função da baixa diversificação econômica (IBGE, 2024). De forma semelhante, em Coxixola, atividades agropecuárias dominam, com ênfase no cultivo de milho e feijão e na criação de pequenos rebanhos, práticas típicas de regiões de economia fragilizada e baixa densidade populacional (IBGE, 2024).

Já Camalaú apresenta uma dinâmica econômica parcialmente influenciada pela presença do Açude Camalaú, que favorece práticas como a pesca artesanal e a irrigação para culturas de milho e feijão. Entretanto, essas atividades podem gerar impactos ambientais, como a retirada de vegetação nativa para a ampliação de áreas de cultivo. De maneira semelhante, Livramento depende da agricultura familiar e da pecuária, especialmente a criação de caprinos e ovinos, que refletem a adaptabilidade às condições semiáridas. (IBGE, 2024).

São João do Cariri, um dos municípios mais antigos da Paraíba, combina práticas tradicionais de pecuária extensiva com agricultura de subsistência. A conversão de áreas naturais para atender à demanda agrícola está entre as principais pressões sobre a vegetação. Já São José dos Cordeiros, considerado um importante produtor de leite de cabra na região, possui na caprinocultura a base de sua economia. Essa atividade, enquanto uma alternativa sustentável ao clima semiárido, também é um indicador da forte interação entre a economia local e os recursos naturais (IBGE, 2024).

Em Serra Branca, por ser um polo comercial regional, há uma diversificação econômica maior em comparação a outros municípios. Contudo, a agropecuária, especialmente a criação de gado e caprinos, ainda desempenha um papel central. Essa dinâmica destaca um ponto de equilíbrio entre atividades urbanas e rurais que precisa ser melhor investigado para compreender sua influência na vegetação. Todavia, a zona urbana desenvolvida pode ser o que

levou ao resultado nulo apresentado no modelo, onde nenhuma variável analisada representou bem as mudanças na cobertura vegetal.

Por fim, Taperoá se destaca pela pecuária, especialmente a produção de leite bovino. Embora o turismo cultural possa aliviar a dependência da agropecuária, as demandas por infraestrutura e terras urbanas também geram pressões sobre os ecossistemas locais (IBGE, 2024).

Essas características econômicas, culturais e sociais evidenciam que a dependência dos recursos naturais por populações de baixa renda do Cariri, combinada com práticas agrícolas de subsistência, intensifica o impacto antrópico sobre a vegetação. Essa perspectiva reforça a importância de desenvolver pesquisas que envolvam análises relacionando os fatores socioeconômicos, climáticos e ambientais na dinâmica de cobertura vegetal na Caatinga.

## 4.2 Agreste

A mesorregião do Agreste paraibano, situada em uma zona de transição entre a Caatinga e a Mata Atlântica, apresentou uma dinâmica de cobertura vegetal influenciada por uma combinação de fatores climáticos, socioeconômicos e de uso da terra. Os resultados obtidos para os municípios do Agreste revelaram que a precipitação (Rain) foi uma variável significativa em vários municípios, como Massaranduba, Riachão do Bacamarte e Soledade, corroborando parcialmente a Hipótese 1, que previa uma maior dependência da vegetação em relação ao clima na região do Agreste. No entanto, a influência da precipitação não foi uniforme em todos os municípios, indicando que outros fatores, como o uso da terra e as políticas sociais, também desempenharam papéis importantes.

Em municípios como Gurinhém e Ingá, as atividades agrícolas, representadas pela lavoura temporária (Lav T) e a criação de ovinos, foram as variáveis que melhor explicaram a dinâmica da vegetação. Isso sugere que, embora o clima seja um fator relevante, as práticas agrícolas e pecuárias têm um impacto significativo na cobertura vegetal. A correlação negativa entre a criação de bovinos e a lavoura temporária em Gurinhém, por exemplo, indica uma competição por espaço entre essas atividades, o que pode levar à fragmentação e à perda de vegetação nativa.

A Hipótese 2, que propunha uma interação sinérgica entre clima, uso do solo e políticas de distribuição de renda, também foi parcialmente confirmada. No município de Boa Vista, a variável “Bolsa” mostrou-se relevante, sugerindo que políticas sociais podem influenciar indiretamente a dinâmica da vegetação ao alterar as práticas de uso da terra. No entanto, a

relação entre o auxílio social e a cobertura vegetal não foi uniforme em todos os municípios, indicando que o impacto dessas políticas pode variar de acordo com as condições socioeconômicas locais.

Para os municípios do Agreste, as variáveis relacionadas à precipitação e Lavouras se destacam como as principais determinantes para a dinâmica de cobertura da vegetação. Esse impacto revela uma combinação de fatores intrinsicamente ligados às condições climáticas e socioeconômicas da região, que influenciam diretamente as formas de uso e ocupação do solo.

É sabido a dependência da vegetação em relação a precipitação. Estudo mais recentes, como o realizado por Nzabarinda et al. (2021), que avaliou as tendências do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) entre 1982 e 2015 em cinco zonas climáticas da África, encontrando variações significativas na saúde da vegetação em cada zona. O estudo sublinha a forte dependência da vegetação em relação à precipitação, que varia de acordo com a zona climática, destacando a importância da variável da água para a saúde das plantas em diferentes regiões africanas. Em se tratando de regiões tropicais úmidas, a vegetação nessas áreas é geralmente mais estável e saudável, devido à disponibilidade consistente de água ao longo do ano. A precipitação regular permite que a vegetação se mantenha densa e biodiversificada, favorecendo um crescimento robusto. Já em regiões semiáridas, a vegetação é muito mais vulnerável às variações da precipitação. A disponibilidade de água é limitada durante as secas, o que impacta negativamente a saúde da vegetação. O estudo encontrou que essas regiões apresentaram uma boa correlação entre a vegetação e a precipitação, especialmente porque a variabilidade das chuvas é o principal fator limitante para o desenvolvimento das plantas.

Em outro estudo, de Abel et al. (2020), realizado em 43 locais ao longo de regiões tropicais secas, a pesquisa demonstrou que cerca de 30% das terras secas tropicais mostraram tendências significativas na sensibilidade da vegetação à precipitação ao longo das últimas duas décadas. Dentre essas, 13% apresentaram tendências positivas e 17% apresentaram tendências negativas. A análise revelou variações geográficas e econômicas na sensibilidade da vegetação à precipitação, com regiões mais pobres enfrentando mudanças negativas, frequentemente associadas a pressões populacionais crescentes, enquanto países mais ricos tendem a experimentar melhorias nessa sensibilidade devido a condições climáticas favoráveis ou à intensificação da agricultura. As principais causas identificadas para as mudanças na sensibilidade da vegetação foram mudanças climáticas (52.8%), alterações na cobertura da vegetação (24.5%), crescimento populacional (18.7%).

É importante destacar também, os impactos da dinâmica de uso e cobertura da terra na precipitação que ocorre na Caatinga e Mata Atlântica. Como avaliou o estudo de Salazar et al. (2015) realizado em seis regiões tropicais da América do Sul, fora da Amazônia: o Chaco Seco, o Cerrado, a Floresta Atlântica, os Campos Temperados, o Matorral Chileno e as Florestas Tropicais Secas, que incluem a Caatinga. Nele, é destacado que a conversão da vegetação xerófila em solos expostos e culturas agrícolas na Caatinga pode enfraquecer o ciclo hidrológico, reduzindo drasticamente a precipitação, a evapotranspiração e o transporte de umidade para a atmosfera.

Isso resultaria em um impacto direto na aridez local e em áreas vizinhas, como a região noroeste da Amazônia. Já na Mata Atlântica, a perda de florestas para monoculturas, especialmente para o cultivo de cana-de-açúcar, café e eucalipto reduziu a frequência de dias de chuva. Essas monoculturas têm menor evapotranspiração e capacidade de retenção de umidade em comparação às florestas nativas, contribuindo para a redução da umidade atmosférica local e, conseqüentemente, da precipitação. Isso revela que a perda contínua de florestas nativas compromete sua capacidade de influenciar positivamente a dinâmica hídrica regional, tornando-se uma relação bilateral.

Esses fatores, quando analisados no contexto do Agreste, evidenciam que a dinâmica da cobertura vegetal é significativamente influenciada por condições climáticas e práticas agrícolas predominantes na região. A interação entre variáveis como precipitação e lavouras destaca a complexidade das relações entre fatores naturais e socioeconômicos, fundamentais para o entendimento do uso e ocupação do solo.

A dinâmica da cobertura vegetal nos municípios do Agreste reflete a interdependência entre os padrões climáticos e as práticas humanas, moldando a paisagem regional de forma única. Assim, compreender essas especificidades é essencial para subsidiar estratégias de manejo sustentável que promovam o equilíbrio entre conservação ambiental e desenvolvimento socioeconômico, contribuindo para a resiliência da região frente às mudanças climáticas e às pressões antrópicas.

A dinâmica da cobertura vegetal nos municípios do Agreste paraibano reflete a interação entre as especificidades socioeconômicas locais e as condições ambientais. Os resultados dos modelos baseados no menor valor de AIC destacaram variáveis que representam melhor a dinâmica de uso do solo em cada município, auxiliando na compreensão dos fatores determinantes dessa região.

A dinâmica da cobertura vegetal em Boa Vista é representada no modelo pela variável Bolsa, que reflete os impactos dos programas sociais na economia local. O município possui uma população predominantemente rural, com significativa dependência do Bolsa Família para suprir as necessidades básicas (IBGE, 2024). Essa dependência econômica pode reduzir a pressão sobre a vegetação nativa, pois há menor necessidade de expansão de áreas agrícolas para subsistência. Entretanto, a baixa diversificação econômica reforça a vulnerabilidade socioambiental.

A variável Lav T (lavoura temporária) foi identificada como representativa da dinâmica da cobertura vegetal em Gurinhém. O município destaca-se pelo cultivo de milho e feijão, culturas tradicionais que exigem a conversão de áreas de vegetação para plantio (IBGE, 2024). A prática de rotação de culturas em sistemas de sequeiro — que são aqueles que dependem das condições climáticas da região, pois consiste em cultivar plantas em áreas com pouca chuva, sem recorrer a sistemas de irrigação — comuns na região, pode explicar as mudanças oscilatórias na cobertura vegetal observadas nos resultados deste estudo.

Em Ingá, a criação de ovinos aparece como a principal variável do modelo. Essa prática está relacionada à adaptabilidade da pecuária às condições semiáridas locais, considerando a resistência desses animais à seca e à vegetação rala (IBGE, 2024). No entanto, o pastoreio pode contribuir para a degradação da cobertura vegetal, dependendo da densidade dos rebanhos e da capacidade de suporte dos ecossistemas. Como foi observado nos resultados a tendência de declínio da cobertura vegetal aberta e fechada ao longo dos anos.

Massaranduba possui uma economia mista entre agricultura e serviços, depende de chuvas para a produção agrícola de sequeiro (IBGE, 2024). Nos anos de baixa precipitação, observa-se maior degradação da vegetação nativa, causada pelo aumento do uso do solo para sustentar a agropecuária local.

Em Natuba, A lavoura permanente ("Lav P") é a variável predominante para explicar a dinâmica da vegetação em Natuba, onde a produção de frutas, especialmente banana, é uma das principais atividades econômicas (IBGE, 2024). A expansão de áreas de cultivo permanente geralmente resulta em desmatamento de vegetação nativa, contribuindo para as mudanças observadas na cobertura vegetal.

Assim como Natuba, a variável "Lav P" também se destaca em Olivedos, onde a agricultura permanente é essencial para a subsistência e geração de renda. Culturas como a manga e o caju são predominantes, demandando áreas irrigadas e frequentemente resultando em conversão de vegetação nativa para áreas agrícolas (IBGE, 2024).

Em Riachão do Bacamarte, A precipitação (Rain) foi identificada como a variável mais significativa para Riachão do Bacamarte. O município é dependente de chuvas para suas atividades agrícolas, e as variações nos índices pluviométricos influenciam diretamente a degradação ou recuperação da vegetação nativa (IBGE, 2024). Períodos de seca prolongada, comuns na região, podem intensificar a pressão sobre os recursos naturais.

Em Soledade, a precipitação (Rain) também é a variável mais representativa do modelo. A economia local depende de práticas de sequeiro, como o cultivo de milho e feijão, e a irregularidade das chuvas é um fator determinante na alteração da cobertura vegetal (IBGE, 2024). Nos períodos de estiagem, a vegetação nativa é frequentemente removida para expansão de áreas de cultivo ou para uso como lenha.

### **4.3 Zona Da Mata**

A Zona da Mata paraibana, inserida no domínio da Mata Atlântica apresentou uma dinâmica de cobertura vegetal marcada pela influência de fatores antrópicos e naturais, com um papel menos expressivo da precipitação em comparação com o esperado. Dos oito municípios analisados, apenas dois (Bayeux e Cabedelo) tiveram a precipitação (Rain) como a variável mais relevante para explicar a dinâmica de cobertura da vegetação. Esse resultado não corrobora plenamente a Hipótese 1, que previa uma menor dependência da vegetação em relação ao clima na Zona da Mata em comparação com o Cariri e o Agreste. No entanto, a baixa relevância da precipitação na maioria dos municípios da Zona da Mata sugere que outros fatores, principalmente atividades agropecuárias, têm um impacto mais significativo na cobertura vegetal.

Embora os resultados dos modelos revelem principalmente variáveis agropecuárias como os maiores determinantes para a dinâmica de cobertura vegetal, uma das descobertas mais interessantes na Zona da Mata foi a forte correlação positiva entre as variáveis Urban (zona urbana) e Popul (população) com as variáveis agropecuárias, como a criação de caprinos (Capr), bovinos (Bov), ovinos (Ovinos) e as áreas destinadas à lavoura temporária (Lav T) e permanente (Lav P). Isso indica que, à medida que as áreas urbanas crescem e a população aumenta, há uma expansão concomitante das atividades agropecuárias. Esse padrão corrobora com a hipótese 3 que previa que as atividades produtivas em larga escala e a expansão dos centros urbanos seriam os principais determinantes na dinâmica de cobertura vegetal na Zona da Mata. E também sugere que o crescimento urbano gera uma demanda por alimentos e outros produtos agrícolas,

o que leva à intensificação das lavouras e pastagens nas áreas rurais próximas. Em outras palavras, a urbanização não ocorre de forma isolada, mas está intimamente ligada à expansão das atividades agropecuárias, o que pode resultar em maior pressão sobre a vegetação nativa.

Para os municípios da Zona da Mata, as variáveis relacionadas à precipitação e pecuária, especialmente de rebanho ovino, e corpos hídricos se destacam como as principais determinantes para a dinâmica de cobertura da vegetação. Esse efeito também revela uma combinação de fatores intrinsicamente ligados às condições climáticas e socioeconômicas da região, que influenciam diretamente a dinâmica de cobertura vegetal.

Muito se sabe sobre os efeitos e a relação da vegetação/mata ciliar com a dinâmica de fluxos hídricos em diversas regiões, mas o oposto não é verdadeiro. Pouco se sabe como os corpos hídricos afetam a dinâmica de cobertura da vegetação. Como este estudo é focado na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, os resultados encontrados para o município de São Miguel de Taipu, em que os corpos hídricos representaram o principal determinante na dinâmica de cobertura vegetal, são bastante interessantes.

Um estudo realizado por Liu et al. (2021) em um bioma de floresta tropical e floresta tropical monçônica, localizado em Hainan, China, avaliou a influência da construção de uma represa construída no rio Ningyuan, sobre a cobertura de vegetação local. O estudo avaliou as mudanças na cobertura de vegetação em diferentes períodos (antes, durante e após a construção da represa) e observou que a cobertura vegetal inicial diminuiu, mas posteriormente se recuperou. A análise indicou também, que a cobertura de vegetação aumentou à medida que se afastava do centro da represa, mostrando que a distância da represa teve um impacto nas dinâmicas de cobertura de vegetação. A presença da represa pode criar, ainda, um microclima que, em alguns casos, pode aumentar a quantidade de chuva local, beneficiando o crescimento da vegetação. Esse aumento local na precipitação pode contribuir para a recuperação da vegetação após a construção da represa. Ou seja, a presença de corpos hídricos próximos à vegetação é benéfico ao seu crescimento.

Em outro estudo realizado por Swanson & Bohlman (2021), no Cerrado brasileiro, foram avaliados os efeitos do rio Tocantins na dinâmica de cobertura vegetal local. O estudo revelou que a cobertura florestal nas áreas influenciadas pelo fluxo do rio Tocantins é altamente dinâmica e sensível às alterações no regime hídrico causadas pela construção de barragens. Durante o enchimento do reservatório da Serra da Mesa, houve um aumento estável na vegetação localizada em áreas diretamente conectadas ao fluxo do rio, possivelmente devido à maior disponibilidade de água e nutrientes promovida pela inundação. Após o período de

enchimento, a vegetação aluvionar – aquela presente nas planícies de inundação adjacentes – manteve-se em níveis elevados por um tempo. Contudo, essa estabilidade foi interrompida com a abertura da represa de São Salvador, a quinta barragem ao longo do rio Tocantins, que alterou o regime de fluxo, afetando a vegetação aluvionar e causando novas dinâmicas de cobertura florestal.

Outra variável que surpreendeu foi a criação de rebanho ovino, principal determinante para a dinâmica de cobertura vegetal em dois municípios da Zona da Mata: Santa Rita e Sapé. A criação de ovinos na Mata Atlântica apresenta um cenário peculiar, pois, embora essa prática seja mais frequentemente associada a regiões semiáridas, como a Caatinga (Hermuche et al., 2013), já que a maior parte dos rebanhos são adaptadas à essas regiões, ela também ocorre em áreas com alta densidade de vegetação e precipitação, como observado nos municípios de Santa Rita e Sapé, na Paraíba. Esses municípios demonstraram que a variável "ovinos" é um fator determinante na dinâmica da cobertura vegetal, sugerindo uma relação estreita entre as práticas de manejo e as mudanças no uso do solo. Segundo a Embrapa (Eloy et al., 2007), a introdução de ovinos em regiões da Mata Atlântica pode estar relacionada a sistemas de manejo extensivo ou ao uso de vegetação secundária para pastagem, práticas que afetam a regeneração natural e a biodiversidade local. Além disso, estudos apontam que a ovinocultura no mundo, inclusive em áreas de Mata Atlântica pode ser influenciada pela demanda socioeconômica, variando desde pequenas propriedades familiares até criações mais intensivas. Essas práticas, no entanto, devem ser avaliadas com critérios de sustentabilidade, considerando a preservação dos recursos naturais e a manutenção dos serviços ecossistêmicos do bioma (Hermuche et al., 2013; Ross, et al., 2016 Al- Barakeh et al., 2024).

A dinâmica socioeconômica e ambiental dos municípios da Zona da Mata paraibana reflete uma interação complexa entre atividades humanas e a cobertura vegetal, marcada por uma combinação de urbanização, agricultura, industrialização e pressões sobre os ecossistemas locais. Essas particularidades, auxiliam a compreensão dos impactos antrópicos sobre a vegetação de Mata Atlântica, especialmente em um contexto de transição entre áreas urbanas e rurais.

Em Bayeux e Cabedelo, a expansão urbana e a alta densidade populacional são os principais fatores de pressão sobre a cobertura vegetal. No entanto, a precipitação também emerge como uma variável determinante para a dinâmica da vegetação nesses municípios, conforme indicado pelos modelos com menor valor de AIC. Em Bayeux, a proximidade com João Pessoa e a ocupação desordenada de áreas periféricas têm levado à redução de

fragmentos de Mata Atlântica e manguezais (IBGE, 2023). A precipitação, característica do clima tropical úmido da região, pode influenciar diretamente a resiliência desses ecossistemas. Períodos de chuvas intensas podem favorecer a regeneração natural da vegetação, mas também podem acelerar processos erosivos em áreas já desmatadas, especialmente onde a ocupação urbana é desordenada. Já em Cabedelo, a presença do Porto de Cabedelo e a expansão de empreendimentos turísticos exercem pressão sobre os ecossistemas costeiros, como manguezais e restingas. (IBGE, 2023). A precipitação também se mostra crucial para a saúde desses ecossistemas, que dependem de um equilíbrio delicado entre água doce e salgada. A redução das precipitações pode alterar esse equilíbrio, comprometendo a biodiversidade e a capacidade dos manguezais de atuarem como barreiras naturais contra eventos climáticos extremos, como ressacas e inundações. Dados do IBGE (2023) mostram que ambos os municípios enfrentam desafios relacionados à gestão ambiental e ao planejamento urbano, onde a combinação entre expansão urbana, alta densidade populacional e variabilidade climática cria um cenário de múltiplas pressões sobre a cobertura vegetal.

Em Cruz do Espírito Santo, a variável lavoura temporária (Lav T, é a que melhor representa a dinâmica da cobertura vegetal. O cultivo de culturas como cana-de-açúcar e milho, típicas da região, tem levado à substituição de áreas de Mata Atlântica por plantações, resultando em fragmentação de habitats e perda de biodiversidade. A expansão dessas culturas é impulsionada pela demanda econômica, mas a falta de práticas sustentáveis, como o plantio direto e a rotação de culturas, contribui para a degradação do solo e a redução da infiltração de água. (IBGE, 2023).

Em João Pessoa, a distribuição de renda, se mostrou bastante relevante para explicar a dinâmica de cobertura da vegetação. Isso sugere que a distribuição de renda e o acesso a políticas públicas influenciam o uso do solo e a pressão sobre a mata. A expansão urbana, impulsionada pelo crescimento populacional e pela ocupação desordenada, tem levado à redução de fragmentos de Mata Atlântica e manguezais, especialmente em áreas periféricas (IBGE, 2023). O município possui uma população de 833.932 habitantes, com um número significativo de famílias beneficiárias do Bolsa Família (IBGE, 2023), o que reflete as desigualdades socioeconômicas e a necessidade de políticas públicas que integrem desenvolvimento urbano e conservação ambiental.

Em Mari, a pecuária extensiva é uma das principais atividades econômicas da região, contribuindo para a conversão de áreas naturais em pastagens. Essa transformação do uso do solo tem impactos diretos sobre a cobertura vegetal, levando à fragmentação de habitats e à

redução da biodiversidade. Além disso, o IBGE destaca a presença de outras atividades econômicas em Mari, como a agricultura e a indústria, mas a pecuária bovina se sobressai como um dos principais vetores de pressão sobre os ecossistemas locais. Dados sobre o uso do solo no município mostram que áreas antes ocupadas por vegetação nativa têm sido gradualmente convertidas em pastagens, o que pode agravar processos de degradação ambiental, como a erosão do solo e a perda de recursos hídricos. (IBGE, 2023).

Em Santa Rita, a ovinocultura é uma das principais atividades pecuárias. A expansão urbana e industrial no município, impulsionada pela proximidade com João Pessoa, agrava a pressão sobre os ecossistemas locais. A conversão de áreas naturais em pastagens para ovinos contribui para a fragmentação de habitats e a redução da biodiversidade. Além disso, a ocupação desordenada de áreas periféricas tem levado à perda de fragmentos de Mata Atlântica (IBGE, 2023).

Em São Miguel de Taipu, a presença de rios, açudes e outras fontes de água influencia as práticas agrícolas e o uso do solo na região, principalmente milho, feijão e cana-de-açúcar. Este último é uma cultura significativa em São Miguel de Taipu, especialmente em áreas onde a irrigação é viável devido à proximidade com corpos hídricos, como o rio Taipu. O município possui uma rede hidrográfica significativa, que é utilizada tanto para irrigação quanto para abastecimento humano e animal. Portanto, a gestão sustentável dos recursos hídricos e a adoção de práticas agrícolas e pecuárias mais responsáveis são essenciais para conciliar o desenvolvimento econômico com a conservação ambiental em São Miguel de Taipu (IBGE, 2023).

Já em Sapé, a ovinocultura é combinada com a agricultura de subsistência, ampliando os impactos sobre a cobertura vegetal. O município também, é um dos principais produtores de cana-de-açúcar da Paraíba. A expansão das áreas de cultivo e pastagem tem levado à substituição de áreas de vegetação nativa, resultando em processos de degradação ambiental, como a erosão do solo e a perda de recursos hídricos. A combinação entre ovinocultura e agricultura intensiva cria um cenário de múltiplas pressões sobre os ecossistemas locais. (IBGE, 2023).

## 5 CONCLUSÃO

O estudo evidencia a complexidade dos fatores que influenciam a dinâmica de cobertura da vegetação nativa nas mesorregiões analisadas, destacando-se padrões distintos para o Cariri, o Agreste e a Zona da Mata.

No Cariri, os resultados indicam que a variação da cobertura vegetal é menos influenciada pelas condições climáticas e mais determinada pelo uso da terra para atividades agropecuárias. A criação de bovinos e caprinos, bem como a expansão de lavouras temporárias e permanentes, foram os fatores predominantes na dinâmica da vegetação, sugerindo que a Caatinga, apesar de sua resiliência climática, é altamente sensível à pressão antrópica. A presença de políticas sociais, como o Bolsa Família, também se mostrou um fator de impacto indireto na cobertura vegetal, ao influenciar práticas agrícolas e reduzir a necessidade de conversão de áreas nativas para lavouras e pastagens em determinados contextos.

No Agreste, identificou-se uma interação mais complexa entre variáveis climáticas e socioeconômicas. A precipitação teve papel relevante em alguns municípios, mas sua influência foi modulada por fatores antrópicos, como a expansão agrícola e a criação de ovinos. Assim, estratégias de manejo sustentável e políticas de uso da terra se mostram essenciais para a conservação da vegetação nativa da região.

Na Zona da Mata, os principais fatores associados à dinâmica da cobertura vegetal envolvem variáveis agropecuárias e socioeconômicas. Os modelos indicam que a precipitação e a presença de corpos hídricos desempenham algum papel na estrutura da vegetação, mas os fatores mais influentes foram a criação de ovinos e bovinos, além da presença de beneficiários de programas sociais. Esses achados sugerem que a dinâmica da cobertura vegetal está fortemente associada à interação entre urbanização, agropecuária e políticas públicas de distribuição de renda. A expansão das áreas urbanas gera maior demanda por alimentos, intensificando atividades agrícolas e pecuárias. No entanto, os programas de transferência de renda podem atuar indiretamente na modulação do uso da terra, reduzindo a conversão de áreas naturais para lavouras e pastagens. Assim, políticas públicas bem direcionadas podem contribuir para a conservação da vegetação remanescente na Zona da Mata.

Esses achados reforçam a importância de abordagens regionais e integradas para a formulação de políticas públicas voltadas à conservação ambiental. A consideração das especificidades locais é fundamental para promover o equilíbrio entre desenvolvimento socioeconômico e preservação da vegetação nativa.

## REFERÊNCIAS

- ABEL, C.; HORION, S.; TAGESSON, T.; DE KEERSMAECKER, W.; SEDDON, A. W. R.; ABDI, A. M.; FENSHOLT, R. The human–environment nexus and vegetation–rainfall sensitivity in tropical drylands. **Nature Sustainability**, v. 4, n. 1, p. 25–32, 2020. doi:10.1038/s41893-020-00597-z.
- AIDE, T. M.; CLARCK, M. L.; GRAU, H. R.; LÓPEZ-CARR, D.; LEVY, M. A.; REDO, D.; MUNIZ, M. Deforestation and reforestation of Latin America and the Caribbean (2001–2010). **Biotropica**, v. 45, n. 2, p. 262-271, 2013.
- AIDE, T. M.; GRAU, H. R. Globalization, migration and Latin American ecosystems. **Science**, v. 305, p. 1915–1916, 2004.
- AL-BAEAKHEH, F.; KHASHROUM, A. O.; TARAWNEH, R. A.; AL-LATAIFEH, F. A.; AL-YACOUB, A. N.; DAYOUB, M.; AL-NAJIAR, K. Challenges, Economics, and Sustainability of Sheep and Goat Farming in Drylands. 2024.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.
- ALVES, T. L. B.; AZEVEDO, P. V.; SANTOS, C. A. C.; SANTOS, F. A. Comportamento sazonal do albedo e dos índices de vegetação na bacia hidrográfica do Alto Curso do Rio Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 5, p. 1015-1027, 2014.
- ALVES, L. A.; MARINHO, I. P.; TIBURTINO, U. L.; BARBOSA, V. M. R. V. Análise da cobertura de duas fitofisionomias de caatinga, com diferentes históricos de uso, no município de São João do Cariri, estado da Paraíba. **CERNE**, v. 11, n. 3, p. 253-262, 2005.
- ALVES, J. J. A.; DO NASCIMENTO, S. S.; DE SOUZA, E. N. Núcleos de desertificação no estado da Paraíba. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 17, 2009.
- ALVES, T. L. B.; AZEVEDO, P. V.; FARIAS, A. A. Comportamento da precipitação pluvial e sua relação com o relevo nas microrregiões do Cariri Oriental e Ocidental do estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 6, p. 1601-1614, 2015.
- ANDRADE-LIMA, D. The Caatingas Dominion. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 4, p. 149-153, 1981.
- ANDRADE, M. C. A terra e o homem no Nordeste: contribuição ao estudo da questão agrária no Nordeste. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1986.
- ANDRADE, M. C. O. O processo de ocupação do espaço regional do Nordeste. 2. ed. Texas, 1979.
- ANDRADE, M. C. Formação territorial e econômica do Brasil. Recife: Fundação Joaquim Nabuco: Massangana, 2003.

- AQUINO, D. N.; ROCHA NETO, O. C.; MOREIRA, M. A.; TEIXEIRA, A. S.; ANDRADE, E. M. Utilização de sensoriamento remoto para identificação de áreas em risco de degradação na região semiárida. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, p. 420-429, 2018.
- AQUINO, D. N.; ANDRADE, M. E.; FILHO, E. T. S.; CAMPOS, D. A. Impacto de Secas e Antropização na Dinâmica da Cobertura Florestal em Fragmento do Domínio Fitogeográfico da Caatinga. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 3, p. 1675-1689, 2021.
- ARAÚJO FILHO, J. A.; DE CARVALHO, F. C. Desenvolvimento sustentado da caatinga. 1997.
- ASSA, B. S. K. The deforestation-income relationship: evidence of deforestation convergence across developing countries. **Environment and Development Economics**, v. 26, n. 2, p. 131-150, 2021. doi:10.1017/S1355770X2000039X.
- ASNER, G. P.; SCURLOCK, J. M. O.; HICKE, J. A. Global synthesis of leaf area index observations: implications for ecological and remote sensing studies. **Global Ecology and Biogeography**, v. 12, p. 191-205, 2003.
- AWAYA, Y.; KODANI, E.; TANAKA, K.; LIU, J.; ZHUANG, D.; MENG, Y. Estimation of global net primary productivity using NOAA images and meteorological data: changes between 1988 and 1993. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, p. 1597-1613, 2004.
- BANSKOTA, A.; KAYASTHA, N.; FALKOWSKI, M. J.; WULDER, M. A.; FROESE, R. E.; WHITE, J. C. Forest Monitoring Using Landsat Time Series Data: A Review. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 40, n. 5, p. 362-384, 2014. doi:10.1080/07038992.2014.987376.
- BALÉE, W. Cultural forests of the Amazon. **Garden**, v. 11, n. 6, p. 12-14, 1987.
- BEZERRA, A. C.; DA SILVA, J. L. B.; DE ALBUQUERQUE MOURA, G. B.; LOPES, P. M. O.; NASCIMENTO, C. R.; RIBEIRO, E. P.; DA SILVA, M. V. Dynamics of land cover and land use in Pernambuco (Brazil): Spatio-temporal variability and temporal trends of biophysical parameters. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 25, p. 100677, 2022.
- BECERRA, J. A. B. Influence of the rainfall seasonal variability in the Caatinga vegetation of NE Brazil by the use of time-series. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 4, n. 1, p. 31-44, 2014.
- BORDA-NIÑO, M.; MELI, P.; BRANCALION, P. H. S. Drivers of tropical forest cover increase: A systematic review. **Land Degradation & Development**, 2019. doi:10.1002/ldr.3534.
- BROVKIN, V. Climate-vegetation interaction. **Journal de Physique IV (Proceedings)**, v. 12, n. 10, p. 57-72, 2002.

BRITO, S. S. B.; CUNHA, A. P. M.; CUNNINGHAM, C. C.; ALVALÁ, R. C.; MARENGO, J. A.; CARVALHO, M. A. Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 2, p. 517-529, 2018.

BUENO, L.; DIAS, A. Povoamento inicial da América do Sul: contribuições do contexto brasileiro. **Estudos Avançados**, v. 29, p. 119–147, 2015.

BARBIERI, A. F.; CARR, D. L. Gender-specific out-migration, deforestation and urbanization in the Ecuadorian Amazon. **Global and Planetary Change**, v. 47, p. 99–110, 2005.

BARBOSA, H. A.; HUETE, A. R.; BAETHGEN, W. E. A 20-year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 67, n. 2, p. 288-307, 2006.

BRAUN, P. D. K.; VIBRANS, A. C.; PINHEIRO, A. Desenvolvimento de um modelo de avaliação da capacidade de armazenamento de água na bacia do rio Itajaí – SC. **REA – Revista de Estudos Ambientais**, v. 10, n. 2, p. 32-44, 2008.

BRINCK, K. et al. High resolution analysis of tropical forest fragmentation and its impact on the global carbon cycle. **Nature Communications**, v. 8, n. 1, p. 14855, 2017.

BULLOCK, S. H.; MOONEY, H. A.; MEDINA, A. E. Seasonally Dry Tropical Forests. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

CALVO-RODRIGUEZ, S.; SANCHEZ-AZOFEIFA, A. G.; DS, M.; ESPIRÍTIMO-SANTO, M. M. Assessing ecosystem services in neotropical dry forests: a systematic review. **Environmental Conservation**, v. 44, p. 34–43, 2017.

CAMPBELL, L. The Causes and Effects of Tropical Deforestation. **TEKNOSIAR**, v. 4, n. 2, p. 142-145, 2011.

CAVALCANTE, G. P.; LUCENA, D. B.; MOURA, M. O. As chuvas na região agreste do nordeste brasileiro: variabilidade interanual. **Revista Equador**, v. 8, n. 2, p. 290-308, 2019.

CAVENDER-BARES, J.; SCHNEIDER, F. D.; SANTOS, M. J. Integrating remote sensing with ecology and evolution to advance biodiversity conservation. **Nature Ecology & Evolution**, v. 6, p. 506–519, 2022. doi:10.1038/s41559-022-01702-5.

CHASE, T. N.; PIELKE, R. A.; KITTEL, T. G. F.; NEMANI, R. R.; RUNNING, S. W. Climate Dynamics, v. 16, p. 93-105, 2000.

CHAZAL, J.; ROUNSEVELL, M. D. A. Land-use and climate change within assessments of biodiversity change: A review. **Global Environmental Change**, v. 19, n. 2, p. 306–315, 2009. doi:10.1016/j.gloenvcha.2008.09.007.

CHEN, J.; SHAO, Z.; HUANG, X.; ZHUANG, Q.; DANG, C.; CAI, B.; DING, Q. Assessing the impact of drought-land cover change on global vegetation greenness and productivity. **Science of the Total Environment**, v. 852, p. 158499, 2022.

CLARK, D. B. Abolishing virginity. **Journal of Tropical Ecology**, v. 12, n. 5, p. 735-739, 1996.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. A practical look at sources of confusion in error matrix generation. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 59, n. 5, p. 641-644, 1993.

COSTA, A.; GALVÃO, A.; DA SILVA, L. G. Mata Atlântica Brasileira: Análise do efeito de borda em fragmentos florestais remanescentes de um hotspot para conservação da biodiversidade. **Revista GEOMAE**, v. 10, n. 1, p. 112-123, 2019.

COUTINHO, L. Biomas brasileiros. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

CUNHA, J.; NÓBREGA, R. L. B.; RUFFINO, I.; ERASMI, S.; GALVÃO, C.; VALENTE, F. Surface albedo as a proxy for land-cover clearing in seasonally dry forests: Evidence from the Brazilian Caatinga. **Remote Sensing of Environment**, v. 111250, 2019. doi:10.1016/j.rse.2019.111250.

DA SILVA, B. F.; DOS SANTOS RODRIGUES, R. Z.; HEISKANEN, J.; ABERA, T. A.; GASPARETTO, S. C.; BIASE, A. G.; DE CAMARGO, P. B. Evaluating the temporal patterns of land use and precipitation under desertification in the semi-arid region of Brazil. **Ecological Informatics**, v. 77, p. 102192, 2023.

DE SÁ, B. S. E. V.; MENEZES, R. S. C.; DE SÁ, B. S. Y.; FREITAS, A. D. S. Sustainable agricultural uses in the Caatinga. In: **Caatinga: The largest tropical dry forest region in South America**, p. 413-428, 2017.

DRIGO, R.; LASSERRE, B.; MARCHETTI, M. Patterns and trends in tropical forest cover. **Plant Biosystems**, v. 143, n. 2, p. 311–327, 2009. doi:10.1080/11263500902722618.

DRESCHER, J.; REMBOLD, K.; ALLEN, K.; BECKSCHAFER, P.; BUCHORI, D.; CLOUGH, Y.; SCHEU, S. Ecological and socio-economic functions across tropical land use systems after rainforest conversion. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 371, n. 1694, p. 20150275, 2016. doi:10.1098/rstb.2015.0275.

DUPIN, M. G. V.; ESPÍRITO-SANTO, M. M.; LEITE, M. E.; SILVA, J. O.; ROCHA, A. M.; BARBOSA, R. S.; ANAVA, F. C. Land use policies and deforestation in Brazilian tropical dry forests between 2000 and 2015. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 3, p. 035008, 2018. doi:10.1088/1748-9326/aaadea.

DURIAVIG, M.; FEOLI, E.; RUSSO MACHADO, C.; LOURENÇO, N. Understanding the Pattern of Atlantic Forest Fragmentation: Preliminary Results of Exploratory Data Analysis for an Area of the South East of Bahia, Brasil. 2006.

ELOY, A. M. X.; CAVALCANTE, A. C. R.; ALVES, F. S. F.; VIEIRA, L. S.; BARROS, N. N.; PINHEIRO, R. R. Criação de caprinos e ovinos. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Sobral: Embrapa Caprinos, 2007.

FENSHOLT, R.; HORION, S.; TAGESSON, T.; EHAMMER, A.; IVITS, E.; RASMUSSEN, K. Global-scale mapping of changes in ecosystem functioning from earth observation-based trends in total and recurrent vegetation. **Global Ecology and Biogeography**, v. 24, n. 9, p. 1003–1017, 2015. doi:10.1111/geb.12338.

FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E. Sensoriamento remoto vegetação: evolução e estado-da-arte. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 30, n. 4, p. 379-390, 2008. doi:10.4025/actascibiols.v30i4.5868.

FERREIRA, L. G.; YOSHIOKA, H.; HUETE, A.; SANO, E. E. Seasonal landscape and spectral vegetation index dynamics in the Brazilian Cerrado. **Remote Sensing of Environment**, v. 87, p. 534-550, 2003.

FUNK, J. L.; LARSON, J. E.; RICKS-ODDIE, J. Plant traits are differentially linked to performance in a semiarid ecosystem. **Ecology**, v. 102, n. 5, p. 03318, 2021.

GOMIERO, T. Soil degradation, land scarcity and food security: Reviewing a complex challenge. **Sustainability**, v. 8, n. 3, p. 281, 2016.

GATES, D. M.; KEEGAN, H. J.; SCHLETER, J. C.; WEIDNER, V. R. Spectral properties of plants. **Applied Optics**, v. 4, n. 1, p. 11-20, 1965.

GEOGHEGAN, J.; PRITCHARD, L.; OGNEVA-HIMMELBERGER, Y.; CHOWDHURY, R. R.; SANDERSON, S.; TURNER, B. L. I. “Socializing the pixel” and “Pixelizing the social” in land-use and land-cover change. In: **People and pixels**. Washington, DC: National Academy Press, 1998.

GRAU, H. R.; GASPARRI, N. I.; AIDE, T. M. Agriculture expansion and deforestation in seasonally dry forests of north-west Argentina. **Environmental Conservation**, v. 32, n. 2, p. 140-148, 2005.

GRAU, H. R.; GASPARRI, N. I.; AIDE, T. M. Balancing food production and nature conservation in the Neotropical dry forests of northern Argentina. **Global Change Biology**, v. 14, n. 5, p. 985-997, 2008.

GRINAND, C. et al. Estimating deforestation in tropical humid and dry forests in Madagascar from 2000 to 2010 using multi-date Landsat satellite images and the random forests classifier. **Remote Sensing of Environment**, v. 139, p. 68-80, 2013.

GIRI, C.; OCHIENG, E.; TIESZEN, L. L.; ZHU, Z.; SINGH, A.; LOVELAND, T.; MASEK, J.; DUKE, N. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. **Global Ecology and Biogeography**, v. 20, n. 1, p. 154-159, 2011.

HANSEN, A. J.; NEILSON, R. P.; DALE, V. H.; FLATHER, C. H.; IVERSON, L. R.; CURRIE, D. J.; SHAFER, S.; COOK, R.; BARTLEIN, P. J. Global Change in Forests: Responses of Species, Communities, and Biomes: Interactions between climate change and land use are projected to cause large shifts in biodiversity. **Bioscience**, v. 51, n. 9, p. 765–779, 2001. doi:10.1641/0006-3568(2001)051[0765:GCIFRO]2.0.CO;2.

HALL, O.; HAY, G. J.; BOUCHARD, A.; MARCEAU, D. J. Detecting dominant landscape objects through multiple scales: an integration of object-specific methods and watershed segmentation. **Landscape Ecology**, v. 19, p. 59-76, 2004.

HARRIS, A.; CARR, A. S.; DASH, J. Remote sensing of vegetation cover dynamics and resilience across southern Africa. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 28, p. 131–139, 2014. doi:10.1016/j.jag.2013.11.014.

HEMMING, J. Red gold: the conquest of the Brazilian Indians. Cambridge: Harvard University Press, 1978.

HILL, M. J.; GUERSCHMAN, J. P. Global trends in vegetation fractional cover: Hotspots for change in bare soil and non-photosynthetic vegetation. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 324, p. 107719, 2022.

HOUBORG, R.; FISHER, J. B.; SKIDMORE, A. K. Advances in remote sensing of vegetation function and traits. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 43, p. 1-6, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Cidades e Estados: Panorama dos Municípios do Brasil. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 28 nov. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Cidades e Estados: Panorama dos Municípios do Brasil. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 28 nov. 2023.

IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. doi:10.1017/9781009325844.

KENNEDY, R. E.; ANDRÉFOUET, S.; COHEN, W. B.; GÓMEZ, C.; GRIFFITHS, P.; HAIS, M.; ZHU, Z. Bringing an ecological view of change to Landsat-based remote sensing. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 12, n. 6, p. 339–346, 2014. doi:10.1890/130066.

KOH, L. P.; GHAZOUL, J. Biofuels, biodiversity, and people: Understanding the conflicts and finding opportunities. **Biological Conservation**, v. 141, p. 2450–2460, 2008. doi:10.1016/j.biocon.2008.08.005.

KHORRAM, S.; KOCH, F. H.; VAN DER WIELE, C. F.; NELSON, S. A. Remote sensing. Springer Science & Business Media, 2012.

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

LAUMONIER, Y.; URYU, Y.; STUWE, M.; BUDIMAN, A.; SETIABUDI, B.; HADIAN, O. Eco-floristic sectors and deforestation threats in Sumatra. **Biodiversity and Conservation**, v. 19, p. 1153–1174, 2010. doi:10.1007/s10531-010-9784-2.

- LAWRENCE, D.; VANDECAR, K. Effects of tropical deforestation on climate and agriculture. **Nature Climate Change**, v. 5, n. 1, p. 27-36, 2015.
- LATIFOVIC, R.; OLTHOF, I. Accuracy assessment using sub-pixel fractional error matrices of global land cover products derived from satellite data. **Remote Sensing of Environment**, v. 90, p. 153-165, 2004.
- LIMA, C. M. G.; GARCIA, R. A. Dinâmica da Mata Atlântica 510 anos após o descobrimento: tendências e drivers atuais. **Cadernos do LESTE**, v. 10, n. 10, 2010.
- LISBOA, F. D. S. Comportamento da vegetação em área semiárida inserida na bacia hidrográfica do açude Farinhas, Paraíba. **Engenharia, Agronomia e Geociência**, Campina Grande - PB, 2014-2021.
- LIU, P.; LI, X.; ZHANG, R.; YAO, M.; CHEN, J.; LI, Y.; XING, Y. Influence of reservoir construction on surrounding vegetation cover. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 14, n. 3, p. 214-220, 2021.
- LOPES, C. L.; MENDES, R.; CAÇADOR, I.; DIAS, J. M. Evaluation of long-term estuarine vegetation changes through Landsat imagery. **Science of the Total Environment**, v. 653, p. 512-522, 2019.
- MANTERO, G.; MORRESI, D.; MARZANO, R.; MOTTA, R.; MLADENOFF, D. J.; GARBARINO, M. The influence of land abandonment on forest disturbance regimes: A global review. **Landscape Ecology**, v. 35, n. 12, p. 2723-2744, 2020. doi:10.1007/s10980-020-01147-w.
- MARCUZZO, F. F. N.; OLIVEIRA, N. L.; CARDOSO, M. R. D.; TSCHIEDEL, A. F. Detalhamento hidromorfológico da bacia do Rio Paraíba. In: **Anais**, João Pessoa - PB, nov. 2012.
- MARENCO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**, v. 1, p. 385-422, 2011.
- MARGONO, B. A.; POTAPOV, P. V.; TURUBANOVA, S.; STOLLE, F.; HANSEN, M. C. Primary forest cover loss in Indonesia over 2000–2012. **Nature Climate Change**, v. 4, p. 730–735, 2014. doi:10.1038/nclimate2277.
- MARGONO, B. A.; TURUBANOVA, S.; ZHURAVLEVA, I.; POTAPOV, P.; TYUKAVINA, A.; BACCINI, A.; GOETZ, S.; HANSEN, M. C. Mapping and monitoring deforestation and forest degradation in Sumatra (Indonesia) using Landsat time series data sets from 1990 to 2010. **Environmental Research Letters**, v. 7, n. 3, p. 034010, 2012.
- MARKESTEIJ, L.; POORTER, L.; PAZ, H.; SACK, L.; BONGERS, F. Ecological differentiation in xylem cavitation resistance is associated with stem and leaf structural traits. **Plant, Cell & Environment**, v. 34, n. 3, p. 533-546, 2011.

MAYAUX, P.; HOLMGREN, P.; ACHARD, F.; EVA, H.; STIBIG, H.-J.; BRANTHOMME, A. Tropical forest cover change in the 1990s and options for future monitoring. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 360, n. 1454, p. 373–384, 2005. doi:10.1098/rstb.2004.1590.

MCDONALD, R. I. Global urbanization: Can ecologists identify a sustainable way forward? **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 6, p. 99–104, 2008.

MELO, F. P. The socio-ecology of the Caatinga: understanding how natural resource use shapes an ecosystem. In: **Caatinga: The largest tropical dry forest region in South America**, p. 369-382, 2017.

MENA, C. F.; BILDBORROW, R. E.; MCCLAIN, M. E. Socioeconomic Drivers of Deforestation in the Northern Ecuadorian Amazon. **Environmental Management**, v. 37, n. 6, p. 802–815, 2006. doi:10.1007/s00267-003-0230-z.

MEHNER, H.; CUTLER, M.; FAIRBAIRN, M.; THOMPSON, G. Remote sensing of upland vegetation. **Global Ecology and Biogeography**, v. 13, p. 359-369, 2004.

MENEGHETTI, G. T.; FERREIRA, N. J. Variabilidade sazonal e interanual da precipitação no Nordeste Brasileiro. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 14, p. 1685-1689, 2009.

MIETTINEN, J.; SHI, C.; LIEW, S. C. Deforestation rates in insular Southeast Asia between 2000 and 2010. **Global Change Biology**, v. 17, p. 2261–2270, 2011. doi:10.1111/j.1365-2486.2011.02398.x.

MOREIRA, C. R.; BRAGA, J. M.; CARVALHO, F. M. A.; LIMA, J. R. F.; SILVA, J. M. A. Políticas públicas, distribuição de renda e pobreza no meio rural brasileiro no período de 1995 a 2005. **RESR**, v. 47, n. 4, p. 919-944, 2009.

MUIR, J. P.; SANTOS, M. V. F.; CUNHA, M. V.; JÚNIOR, J. C. B. D.; JÚNIOR, M. D. A. L.; DE ALMEIDA SOUZA, R. T.; SOUZA, T. C. Valor de leguminosas endêmicas para produção pecuária em áreas de Caatinga. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)**, v. 14, n. 2, p. 5648, 2019.

MURPHY, P. G.; LUGO, A. E. Ecology of Tropical Dry Forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 17, p. 67–88, 1986.

NEINAVAZ, E.; SCHLERF, M.; DARVISHZADEH, R.; GERHARDS, M.; SKIDMORE, A. K. Thermal infrared remote sensing of vegetation: Current status and perspectives. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 102, p. 102415, 2021.

NIMER, E. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

NZABARINDA, V.; BAO, A.; XU, W.; UWAMAHORO, S.; UDAHOGORA, M.; UMWALI, E. D.; UMUHOZA, J. A Spatial and Temporal Assessment of Vegetation Greening and Precipitation Changes for Monitoring Vegetation Dynamics in Climate Zones

over Africa. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 10, n. 3, p. 129, 2021. doi:10.3390/ijgi10030129.

OSTBERG, S.; SCHAPHOFF, S.; LUCHT, W.; GERTEN, D. Three centuries of dual pressure from land use and climate change on the biosphere. **Environmental Research Letters**, v. 10, n. 4, p. 044011, 2015. doi:10.1088/1748-9326/10/4/044011.

PENNINGTON, R. T.; LAVIN, M.; FILHO, A. O. Woody Plant Diversity, Evolution, and Ecology in the Tropics: Perspectives from Seasonally Dry Tropical Forests. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 40, p. 437–457, 2009.

PFAFF, A. S. P. What Drives Deforestation in the Brazilian Amazon? **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 37, n. 1, p. 26–43, 1999. doi:10.1006/jeem.1998.1056.

PILES, M.; CAMPS-VALLS, G.; CHAPARRO, D.; ENTEKHABI, D.; KONINGS, A. G.; JAGDHUBER, T. Remote sensing of vegetation dynamics in agro-ecosystems. **IEEE IGARSS**, p. 4346-4349, 2017.

PONTE, E.; FLECKENSTEIN, M.; LEINENKUGEL, P.; PARKER, A.; OPPELT, N.; KUNZER, C. Tropical forest cover dynamics for Latin America using Earth observation data: a review covering the continental, regional, and local scale. **International Journal of Remote Sensing**, v. 36, n. 12, p. 3196-3242, 2015.

PONZONI, F. J. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: diagnosticando a mata atlântica. São José dos Campos: INPE, 2002.

PONZONI, F. J.; REZENDE, A. C. P. Caracterização espectral de estágios sucessionais de vegetação secundária arbórea em Altamira (PA), através de dados orbitais. **Revista Árvore**, v. 28, p. 535-545, 2004.

POSEY, D. Ethnoecology as applied anthropology in Amazonian development. **Human Organization**, v. 43, n. 2, p. 95-107, 1985.

RAHMAN, S. Impacts of climate change, agroecology, and socio-economic factors on agricultural land use diversity. **Land Use Policy**, v. 50, p. 169–178, 2016. doi:10.1016/j.landusepol.2015.09.

SALAZAR, A.; BALDI, G.; HIROTA, M.; SYKTUS, J.; MCALPINE, C. Land use and land cover change impacts on the regional climate of non-Amazonian South America: A review. **Global and Planetary Change**, v. 128, p. 103–119, 2015. doi:10.1016/j.gloplacha.2015.02.009.

SALIMON, C.; ANDERSON, L. How strong is the relationship between rainfall variability and Caatinga productivity? **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 2, p. 2121-2127, 2017.

SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. (Eds.). Caatinga: the largest tropical dry forest region in South America. Springer, 2018.

SILVA, M. B. R.; DE AZEVEDO, P. V.; ALVES, T. L. B. Análise da degradação ambiental no alto curso da bacia hidrográfica do Rio Paraíba. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 34, n. 1, p. 35-53, 2014.

SILVA, V. D. S. Diagnóstico da susceptibilidade à desertificação na microrregião do Cariri-PB. **Anais I WIASB**, Campina Grande: Realize Editora, 2013.

SRINIVASAN, U.; WILCOVE, D. S. Interactive impacts of climate change and land-use change on the demography of montane birds. **Ecology**, v. 102, n. 1, 2021. doi:10.1002/ecy.3223.

SOUZA, B. I.; SUERTEGARAY; ANTUNES, D. M.; LIMA, E. R. V. Evolução da desertificação no Cariri paraibano a partir da análise das modificações na vegetação. **Geografia**, v. 36, n. 1, p. 193-207, 2011.

SCHULZ, J. J.; CAYUELA, L.; ECHEVERRIA, C.; SALAS, J.; BENAYAS, J. Monitoring land cover change of the dryland forest landscape of Central Chile (1975–2008). **Applied Geography**, v. 30, p. 436–447, 2010.

SHUMAN, C. S.; AMBROSE, R. F. A comparison of remote sensing and ground-based methods for monitoring wetland restoration success. **Restoration Ecology**, v. 11, p. 325-333, 2003.

SWANSON, A. C.; BOHLMAN, S. Cumulative Impacts of Land Cover Change and Dams on the Land–Water Interface of the Tocantins River. **Frontiers in Environmental Science**, v. 9, p. 662904, 2021. doi:10.3389/fenvs.2021.662904.

TABARELLI, M.; MELO, M. D. V. C.; LIRA, O. C. A Mata Atlântica do nordeste. Rio de Janeiro: MMA, 2006.

TEIXEIRA, A. M. G.; SOARES-FILHO, B. S.; FREITAS, S. R.; METZGER, J. P. Modeling landscape dynamics in an Atlantic Rainforest region: implications for conservation. **Forest Ecology and Management**, v. 257, n. 4, p. 1219-1230, 2009.

TRAVASSOS, I. S.; DE SOUZA, B. I. Os negócios da lenha: indústria, desmatamento e desertificação no Cariri paraibano. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, v. 18, n. 2, p. 329-340, 2014. doi:10.11606/issn.2179-0892.geousp.2014.84536.

TRAVASSOS, I.; SOUSA, B. Desmatamento e Desertificação no Cariri Paraibano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 1, p. 103-116, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/viewFile/232905/26887>. Acesso em: 13/05/2022.

TRAVIS, J. M. J. Climate change and habitat destruction: a deadly anthropogenic cocktail. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 270, n. 1514, p. 467–473, 2003. doi:10.1098/rspb.2002.2246.

TOMASELLA, J.; SILVA, P. V. R. M.; BARBOSA, A. A.; RODRIGUEZ, D. A.; OLIVEIRA, S. M.; SESTINI, M. F. Desertification trends in the Northeast of Brazil over the period 2000–2016. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 73, p. 197–206, 2018. doi:10.1016/j.jag.2018.06.012.

TOOTH, S.; NANSON, G. C. Equilibrium and nonequilibrium conditions in dryland rivers. **Physical Geography**, v. 21, p. 183–211, 2000.

VERHEYE, W. H. (Ed.). Land use, land cover and soil sciences-volume IV: Land use management and case studies. EOLSS Publications, 2009.

WILCOX, K. R.; BLUMENTHAL, D. M.; KRAY, J. A.; MUELLER, K. E.; DERNER, J. D.; OCHELTREE, T.; PORENSKY, L. M. Plant traits related to precipitation sensitivity of species and communities in semiarid shortgrass prairie. **New Phytologist**, v. 229, n. 4, p. 2007–2019, 2021.

WILLSTATTER, R.; STOOL, A. Untersuchungen über die assimilation der kohlenensäure. Springer, Berlin, 1918.

WRIGHT, S. J.; MULLER-LANDAU, H. C. The uncertain future of tropical forest species. **Biotropica**, v. 38, p. 443–445, 2006.

WARREN, D. Ferro e fogo: A história e a devastação da Mata Atlântica Brasileira. São Paulo: Companhia das Letras, 2014.

WOODWARD, F. I. Climate and plant distribution. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.

WHITTAKER, R. H. Communities and Ecosystems. New York: MacMillan, 1975.

ZHAO, W.; ZHAO, X.; ZHOU, T.; WU, D.; TANG, B.; WEI, H. Climatic factors driving vegetation declines in the 2005 and 2010 Amazon droughts. **PLoS One**, v. 12, n. 4, p. e0175379, 2017.

WILLIAMS, D. L.; GOWARD, S.; ARVIDSON, T. Landsat. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 72, n. 10, p. 1171–1178, 2006. doi:10.14358/pers.72.10.1171.

XAVIER, R. A.; DORNELLAS, P. C.; MACIEL, J. S.; DO BÚ, J. C. Caracterização do Regime fluvial da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba–PB. **Revista Tamoios**, v. 8, n. 2, 2012.

XUE, J.; SU, B. Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. **Journal of Sensors**, v. 2017, n. 1, p. 1353691, 2017.

ZAÚ, A. S. Fragmentação da Mata Atlântica: aspectos teóricos. **Floresta e Ambiente**, v. 5, n. 1, p. 160-170, 1998.

ZHANG, H.; MCGUFFIE, K.; HENDERSON-SELLERS, A. Journal of Climate, v. 9, n. 1, p. 497-517, 1996.