



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

JÉSSICA COSTA DA SILVA

**RELAÇÃO ENTRE AS ATIVIDADES PRODUTIVAS E A CONSERVAÇÃO DOS
REMANESCENTES FLORESTAIS EM PROPRIEDADES RURAIS NA AMAZÔNIA
ORIENTAL**

**BELÉM-PA
2025**

JÉSSICA COSTA DA SILVA

**RELAÇÃO ENTRE AS ATIVIDADES PRODUTIVAS E A CONSERVAÇÃO DOS
REMANESCENTES FLORESTAIS EM PROPRIEDADES RURAIS NA AMAZÔNIA
ORIENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural da Amazônia, para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Área de concentração: Ecologia e Ecofisiologia de árvores.

Orientador: Dr. Divino Vicente Silvério.

Coorientadores: Dr. Fabiano Emmert

Dra. Francimary da Silva Carneiro

**BELÉM-PA
2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S586r Silva, Jéssica Costa da
Relação entre as atividades produtivas e a conservação dos remanescentes florestais em propriedades rurais na Amazônia Oriental / Jéssica Costa da Silva. - Belém, 2025.
49 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais (PPGCF), Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2025.
Orientador: Prof. Dr. Divino Vicente Silvério.
Coorientador: Prof. Dr. Fabiano Emmert.
Coorientador: Profa. Dra. Francimary da Silva Carneiro.
1. Degradação florestal. 2. Amazônia. 3. agricultura permanente. 4. Cadastro ambiental rural. I. Divino, Vicente Silvério, *orient.* II. Emmert, Fabiano, *coorient.* III. Francimary da Silva, Carneiro, *coorient.* IV. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus pelo seu grande e infinito amor, por ter me sustentado e dado forças nos momentos mais difíceis da minha vida durante essa jornada e me permitir realizar esse trabalho.

À minha mãe, Rosemary Costa da Silva (*in memoriam*) por ter sido a minha maior fonte de inspiração, força, coragem e determinação. Por seu apoio que foi fundamental para iniciar o mestrado, por sempre ter acreditado em mim. Por todos os sacrifícios feitos para que eu conseguisse me graduar e pós-graduar, pois era uma pessoa que sempre acreditou que a educação é uma base importante. Meu amor, gratidão e respeito vão continuar para sempre.

Ao meu pai, Jorge Augusto Reis da Silva, por todo apoio e incentivo durante esse processo. Obrigada por ser um bom pai e ficar do meu lado nos meus piores dias.

Agradeço ao meu príncipe, Pedro Henrique Albuquerque da Silva, por ser um filho maravilhoso, compreensivo, carinhoso e por ter trazido a luz e força para minha vida no momento que eu mais precisei.

Agradeço ao meu irmão, Hugo Gabriel Costa Sousa por seu incentivo e apoio durante esse processo, e à minha vó Raimunda Reis, que sempre esteve comigo me dando forças e me fazendo acreditar em dias melhores.

Agradeço ao meu Orientador, Divino Vicente Silvério, por todo ensinamento e conhecimento compartilhado, por sua paciência e auxílio durante esse período. Muito obrigada por toda compreensão.

Ao meu coorientador, Fabiano Emmert, por todos os ensinamentos compartilhados, os incentivos, que vem desde a graduação, muito obrigada. Agradeço também a minha coorientadora Francimary Carneiro, por todo conhecimento compartilhado e compreensão.

Agradeço aos meus colegas e amigos que de alguma forma me ajudaram durante o mestrado, principalmente a Yasmim Monteiro, Lídia Amaral, Lorryne Santos, Roner Rodrigues, Deisiane Cruz, Andreza Carvalho, Gessica Silva e Alexandre Nascimento.

Agradeço ao programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, principalmente ao coordenador, Rodrigo Geroni, e a Paula Pinheiro, por todo o incentivo e confiança durante esse processo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa.

RESUMO

As características das propriedades rurais e da paisagem, incluindo o tipo de uso do solo, podem ser preditores do grau de integridade da vegetação nativa remanescente. Contudo, as inter-relações entre as atividades produtivas e a conservação dos remanescentes florestais na Amazônia ainda são pouco compreendidas. Este estudo teve como objetivo avaliar se o tipo de uso do solo e as características específicas das propriedades rurais particulares influenciam no grau de integridade dos remanescentes florestais na microrregião do Guamá, no nordeste paraense, que possui 13 municípios. Para isso, foram mapeadas as áreas culturas permanentes e de florestas, integrando esses dados com as informações do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomas). Utilizamos três variáveis como *proxi* para a integridade das florestas nativas: o Normalized Difference Infrared Index (NDII), calculado com base em imagens Landsat, a altura e a biomassa acima do solo calculados com base em informações do *Global Ecosystem Dynamics Investigation* (GEDI). Sete principais preditores foram incluídos na análise: a) TPR - o tamanho da propriedade rural; b) AGRI_PR - a proporção da propriedade rural ocupada por agricultura permanente; c) FOR - a área de vegetação nativa na propriedade rural; d) FOR_PR - a proporção da propriedade rural ocupada por vegetação nativa; e) %FP - percentual de floresta na paisagem; f) FIRE – número médio de vezes que o fragmento de floresta na propriedade foi queimada entre 1985 e 2022; g) IVEG - idade média dos fragmentos. Os resultados indicaram quatro preditores como importantes para explicar a variação de Biomassa acima do solo (Mg/ha) dos fragmentos florestais nas propriedades (FOR_PR, FIRE, IVEG, log_TPR), com explicação de 10% de variação observada ($r^2 = 0,10$; $p < 0,05$). Todos os preditores foram relevantes para explicar a variação da altura nos fragmentos, com explicação de 28% destas variáveis ($r^2 = 0,28$; $p < 0,05$). No caso do NDII, todos preditores também foram significativos, explicando 13% da variação nos dados ($r^2 = 0,03$; $p < 0,05$). Esses achados destacam a importância de considerar a complexidade das interações entre o uso do solo e as características das propriedades rurais para a conservação dos remanescentes florestais na Amazônia. Essa pesquisa contribui para o entendimento das dinâmicas ambientais e fornece subsídios para políticas e práticas voltadas à sustentabilidade e preservação da Amazônia Oriental.

Palavra-chave: Degradação florestal, Amazônia, agricultura permanente, Cadastro Ambiental Rural.

ABSTRACT

The characteristics of rural properties and the landscape, including the type of land use, can be predictors of the degree of integrity of the remaining native vegetation. However, the interrelationships between productive activities and the conservation of forest remnants in the Amazon are still poorly understood. The aim of this study was to assess whether the type of land use and the specific characteristics of private rural properties influence the degree of integrity of forest remnants in the Guamá micro-region, in northeastern Pará, which has 13 municipalities. To do this, we mapped the areas of permanent crops and forests, integrating this data with information from the Annual Mapping of Land Use and Land Cover in Brazil Project (MapBiomass). We used three variables as proxies for the integrity of native forests: the Normalized Difference Infrared Index (NDII), calculated using Landsat images, and height and above-ground biomass calculated using information from the Global Ecosystem Dynamics Investigation (GEDI). Seven main predictors were included in the analysis: a) TPR - the size of the rural property; b) AGRI_PR - the proportion of the rural property occupied by permanent agriculture; c) FOR - the area of native vegetation on the rural property; d) FOR_PR - the proportion of the rural property occupied by native vegetation; e) %FP - percentage of forest in the landscape; f) FIRE - average number of times the forest fragment on the property was burned between 1985 and 2022; g) IVEG - average age of the fragments. The results indicated that four predictors were important for explaining the variation in above-ground biomass (Mg/ha) of the forest fragments on the properties (FOR_PR, FIRE, IVEG, log_TPR), explaining 10% of the observed variation ($r^2 = 0.10$; $p < 0.05$). All the predictors were relevant to explaining the variation in height in the fragments, explaining 28% of these variables ($r^2 = 0.28$; $p < 0.05$). In the case of NDII, all the predictors were also significant, explaining 13% of the variation in the data ($r^2 = 0.03$; $p < 0.05$). These findings highlight the importance of considering the complexity of the interactions between land use and the characteristics of rural properties for the conservation of forest remnants in the Amazon. This research contributes to the understanding of environmental dynamics and provides subsidies for policies and practices aimed at the sustainability and preservation of the Eastern Amazon.

Keywords: Forest degradation, Amazon, permanent agriculture, Rural Environmental Registry.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. QUESTÃO E HIPÓTESE	8
3. OBJETIVOS	9
a. Geral.....	9
b. Específicos	9
4. REVISÃO DA LITERATURA	9
4.1 Nordeste paraense	9
4.2 Remanescentes florestais.....	11
4.3 Uso e ocupação do solo.....	12
4.4 Geotecnologias.....	13
4.5 Monitoramentos	14
4.6 Sistemas GEDI (Global Ecosystem Dynamics Investigation)	15
4.7 Índices de vegetação.....	16
5. MATERIAL E MÉTODOS	18
5.1 Áreas de estudo	19
5.2 Coletas de dados.....	17
5.2.1 Mapeamento das culturas	17
5.2.2 Classificação da área de floresta	18
5.2.3 Classificação das variáveis relacionadas a integridade	19
5.2.4 Classificação da frequência de fogo, idade média da vegetação e percentual da floresta na paisagem.....	19
5.3 Análises de dados	20
6. RESULTADOS	21
6.1 Mapeamento de culturas permanentes e florestas, através do sensoriamento remoto.....	21
6.2 Avaliação da relação da integridade dos remanescentes com as características da propriedade	22
6.3 Análise de preditores para explicar a variação de biomassa, altura e NDII	24
6.4 Biomassa acima do solo (Mg/ha)	25
6.5 Altura da Vegetação (m)	26
6.6 Índice de Infravermelho por Diferença Normalizada (NDII).....	27
7. DISCUSSÃO	29
7.1 Biomassa	30
7.2 Altura.....	30
7.3 NDII	33
8. CONCLUSÃO	34
9. REFERÊNCIAS	34

1. INTRODUÇÃO

Os efeitos das intervenções humanas no meio ambiente são significativos, especialmente quando a supervisão e a fiscalização das atividades relacionadas às mudanças no uso do solo são deficientes (Leite; Pinheiro; Pamboukian, 2019). Na região amazônica, as florestas primárias sofrem degradação e são substituídas por outras formas de uso do solo, sobretudo por atividades agropecuárias. Nos últimos anos, a Floresta Amazônica teve aproximadamente 20% de sua cobertura verde removida, gerando impactos diretos sobre a biodiversidade e o funcionamento dos ecossistemas (Santos *et al.*, 2019). Entre todos os estados com esse tipo de floresta, o estado do Pará tem se destacado como um importante polo de expansão de atividades agrícolas, mineradora, energética e florestais, o que tem colaborado para a sua expressão no contexto do desmatamento da Amazônia Legal (PRODES/INPE, 2017).

Nesse contexto, a região nordeste paraense emerge como uma área de destaque, pois possui a mais antiga fronteira de colonização do estado (Cordeiro *et al.*, 2017). A dinâmica de ocupação e transformação nessa região é amplamente documentada. A alta densidade populacional levou à substituição da floresta primária por áreas dedicadas à agricultura e pecuária, além da extração descontrolada de madeira. Essas atividades resultaram também na regeneração de florestas secundárias em áreas abandonadas ou sem manejo (Santos *et al.*, 2019). Segundo dados do MAPBIOMAS (2023), a perda líquida de florestas no Brasil foi de 67,4 milhões de hectares (15,2%) e a maior parte dos hectares de vegetação natural eliminados foi convertida principalmente para pastagem. Em 2020, as áreas desmatadas na Amazônia totalizaram 21.257 km² de florestas, sendo que o estado do Pará, responsável por 36% desse total, se destacou como o principal desmatador da região (IMAZON, 2022).

Frente ao cenário atual de uso do solo, é importante compreender a dinâmica do uso do solo através das características das paisagens produtivas, assim como dos fatores socioeconômicos que influenciam nas mudanças. Isso permitirá identificar formatos que proporcionem menor degradação dos remanescentes de florestas nativas (Di Toro, 2019). No entanto, existem incertezas quanto aos impactos negativos que certas atividades podem causar na biodiversidade florestal e no uso do solo (Ferreira *et al.*, 2019; Safar; Magnago; Schaefer, 2020; Branco *et al.*, 2021). Dentro desse contexto, a complexa interação entre práticas produtivas e a preservação de áreas florestais desafia a busca por um equilíbrio sustentável entre o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental (Garcia; De Araujo, 2021).

Para compreender a dinâmica do uso do solo na Amazônia, é necessário utilizar ferramentas tecnológicas acessíveis que permitam identificar e mapear os agentes envolvidos

nesse processo, como o sensoriamento remoto. Essa técnica, baseada na obtenção de informações sobre a superfície terrestre por meio de imagens capturadas por satélites ou drones, destaca-se como um recurso essencial para administrações municipais, estaduais e federais. Ela possibilita o monitoramento de vastas áreas, promovendo o mapeamento do uso e ocupação do solo e a análise dos impactos ambientais (Garcia; De Araujo, 2021). Nos últimos anos, houve um aumento significativo no uso e investimento em tecnologias de sensoriamento remoto, consideradas por diversos estudos como uma ferramenta eficaz para monitorar as pressões humanas sobre o meio ambiente (Ritter, *et al.*, 2017; Horning *et al.*, 2010). Assim, o sensoriamento remoto desempenha um papel estratégico na gestão ambiental, oferecendo dados precisos e atualizados sobre os recursos naturais e as mudanças ambientais.

O objetivo desta pesquisa é investigar como as atividades produtivas em propriedades rurais influenciam na conservação de remanescentes florestais na Amazônia Oriental, com o intuito de identificar estratégias de uso do solo mais sustentáveis. A hipótese principal sugere que o grau de integridade da vegetação nativa não varia significativamente entre propriedades, independentemente de suas características ou das atividades produtivas realizadas. Para avaliar essa relação, técnicas avançadas de sensoriamento remoto podem ser utilizadas para monitorar e mapear as interações entre práticas de produção e características da paisagem. Os resultados deste estudo contribuem para uma compreensão mais detalhada da dinâmica do uso do solo na região, oferecendo subsídios para o desenvolvimento de políticas públicas que equilibrem produtividade econômica com conservação ambiental.

2. QUESTÃO E HIPÓTESE

Q1: Qual a relação entre o grau de integridade dos remanescentes florestais, o tipo de uso do solo e o tamanho de propriedades particulares?

H0: O grau de integridade da vegetação nativa será semelhante em todas as propriedades, independente de suas características ou da atividade produtiva desenvolvida.

H1: A vegetação nativa com maior grau de integridade será encontrada em propriedades rurais de maior tamanho e que desenvolvem agricultura como principal atividade produtiva, assumindo como floresta mais íntegra, aquela que tem maior índice de vegetação, maior altura e biomassa. Espera-se que fatores de degradação da vegetação nativa, como incêndios florestais e efeitos de borda, sejam mais intensos e frequentes em propriedades menores e que se dediquem ao cultivo de pastagens. Esta expectativa está baseada no pressuposto de maior

fragmentação em paisagens dominadas por pequenas propriedades, resultando em maior efeito de borda, pois fragmentos de maior tamanho e menos isolados são geralmente mais propícios para a preservação da biodiversidade (Almeida, *et al.*, 2011). Adicionalmente, esperamos que os incêndios florestais sejam mais frequentes em propriedades com pastagens, tendo em vista o uso do fogo como ferramenta de manejo, atingindo também os remanescentes de vegetação nativa, visto que áreas contíguas de pastagens podem agravar o efeito de borda e os fragmentos de floresta podem ser afetados por incêndios originados nessas áreas (Almeida, *et al.*, 2011).

3. OBJETIVOS

a. Geral

Investigar as características das propriedades rurais e suas relações com a conservação dos remanescentes florestais na Amazônia Oriental, considerando o impacto das atividades produtivas e das condições da paisagem.

b. Específicos

- Mapear e quantificar as áreas ocupadas por culturas permanentes (citros, pimenta-do-reino e dendê) e florestas nas propriedades rurais da microrregião do Guamá, utilizando imagens de satélite.
- Caracterizar os fatores associados à degradação florestal, analisando variáveis como o tamanho das propriedades, a proporção de vegetação nativa e de agricultura permanente, a frequência de queimadas e a idade dos fragmentos florestais.
- Avaliar a integridade dos remanescentes florestais na microrregião do Guamá, considerando métricas de biomassa acima do solo, altura da vegetação e vigor da vegetação (NDII).
- Analisar a relação entre os fatores de degradação e a integridade da vegetação, identificando quais variáveis explicam melhor a variação da biomassa, altura da vegetação e NDII nas propriedades rurais da região.

4. REVISÃO DA LITERATURA

4.1 Nordeste paraense

O Nordeste Paraense, com uma área de 83.316,02 km², é a mais antiga fronteira colonial do estado do Pará. Ao longo dos séculos, a intensa exploração dos recursos naturais resultou na destruição ou significativa alteração da maior parte de sua vegetação nativa. Esse histórico de ocupação teve impactos diretos sobre o manejo do solo e influenciou aspectos culturais, sociais,

econômicos e ambientais da região. Atualmente, a paisagem da mesorregião é marcada por processos de erosão, assoreamento de rios e igarapés, perda de biodiversidade e mudanças climáticas associadas ao desmatamento (Cordeiro et al., 2017).

Inserida nessa mesorregião, a Microrregião do Guamá apresenta um longo histórico de ocupação humana na floresta amazônica. Desde o período colonial, expedições portuguesas exploravam seus recursos naturais, buscando o controle da extração de espécies nativas como o cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.), a seringueira (*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg.), a castanha-do-pará (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), além do palmito e do fruto do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). A exploração madeireira também se intensificou ao longo dos séculos, consolidando a importância econômica da região (Tavares, 2010; Homma, 2014; Borges, 2019).

Apesar do avanço da urbanização, a região mantém características rurais, com 51,2% da população vivendo na zona rural (De Souza, 2020). A agricultura tem papel central no desenvolvimento regional, destacando-se o cultivo de dendê, mandioca, cítricos e pimenta-do-reino (Reis et al., 2011; Alves et al., 2014; Alves et al., 2017; Silva et al., 2017; Silva & Navegante-Alves, 2017).

Em 2011 O Nordeste Paraense se destacou nacionalmente na produção de citrus, com o município de Capitão Poço sendo o principal polo produtivo, atraindo investimentos e impulsionando a economia local, consolidando-se como uma das principais atividades agrícolas da região (Pará, 2021). A região também tem grande concentração de dendê formando um dos principais polos do agronegócio de dendê, as condições edafoclimáticas proporcionam um ambiente propício para o cultivo dessa cultura (BASTOS et al., 2001; IBGE SIDRA, 2021). Além disso a presença de usinas de beneficiamento na região fortalece a cadeia produtiva, impulsionando a economia local (Müller et al., 2006).

A produção de pimenta-do-reino no estado do Pará está concentrada no nordeste paraense, representando 80,6% da produção estadual e abrangendo pelo menos 91% dos municípios dessa região (Paes; Cruz, 2022). Os principais municípios produtores incluem Tomé-Açu, Igarapé-Açu, Capitão Poço, Baião, Cametá, Acará, Concórdia do Pará, Garrafão do Norte, Mocajuba e Aurora do Pará (IBGE, 2020).

O protagonismo dessa região na produção de pimenta-do-reino está historicamente relacionado à introdução da cultura por imigrantes japoneses em Tomé-Açu, que se tornou o primeiro polo produtivo do estado. Posteriormente, devido a epidemias de doenças que afetaram as plantações e às oscilações nos preços, a produção se expandiu para municípios vizinhos,

consolidando o nordeste paraense como o principal centro de cultivo da especiaria no Brasil (Homma, 2016).

4.2 Remanescentes florestais

Os remanescentes florestais são importantes tanto para a conservação da biodiversidade quanto para a provisão de serviços ecossistêmicos, localmente e globalmente (Garnett *et al.*, 2018). Os benefícios dos remanescentes são multifuncionais e contribuem diretamente para a temperatura, reduzem a poluição do ar e garantem ainda biodiversidade urbana e qualidade de vida à população (Silva *et al.*, 2021). Além disso, os remanescentes de vegetação favorecem a interceptação de águas pluviais, reduzindo o seu escoamento superficial, auxiliando no gerenciamento de processos erosivos e na prevenção de inundações (Silva *et al.*, 2021). Grande parte dos remanescentes florestais está dentro de terras privadas, onde milhões de hectares de matas ciliares precisam ser restaurados (Rezende *et al.*, 2018). Assim, evidencia-se que as ações humanas podem aumentar a pressão sobre as regiões com vegetação natural, causando a fragmentação das florestas (Saito *et al.*, 2016).

Os remanescentes podem exibir graus variados de cobertura vegetal e fragmentação provocada por uma variedade de distúrbios antrópicos, como a remoção seletiva de madeira, desmatamento para o estabelecimento de outras culturas, muitas vezes através do uso de queimadas e extrativismo (Albuquerque *et al.*, 2018). Segundo Massoli *et al.* (2016), as paisagens que sofrem fragmentação estão localizadas, na maioria das vezes em áreas predominantemente antropizadas. Nessa perspectiva, a região do nordeste paraense se destaca devido seu sistema produtivo diversificado, gerando transformação das paisagens (IBGE, 2019), resultando muitas vezes na substituição da floresta primária por florestas secundárias e áreas agrícolas, gerando impactos significativos para a região (Santos *et al.*, 2019).

Reduzir a fragmentação da paisagem e conservar os remanescentes possibilita o aumento da conectividade dos corredores ecológicos, contribuindo para a integridade ecológica dos biomas (Piasentin *et al.*, 2016). Dessa forma, avaliar a qualidade ambiental dos remanescentes de áreas naturais é um dos primeiros passos para um efetivo processo de planejamento ambiental. Assim, o uso de geotecnologias e sensoriamento remoto tem se mostrado bastante útil (Silva *et al.*, 2021), sendo então possível avaliar a configuração da paisagem e diagnosticar o estado dos remanescentes.

4.3 Uso e ocupação do solo

A Floresta Amazônica é um dos ecossistemas mais biodiversos do planeta (Heckenberger et al., 2007). No entanto, diversos fatores contribuíram para o desmatamento e a mudança no uso do solo, incluindo expansão agrícola, extração de madeira, queimadas e crescimento populacional (Silveira et al., 2022). A retirada da cobertura vegetal pode interferir no ciclo hidrológico e na regulação térmica, além de intensificar processos erosivos, impermeabilização do solo, perda de biodiversidade e inundações (Do Nascimento; Fernandes, 2017; Nóbrega, 2014).

A agricultura tem um papel significativo na manipulação ambiental, contribuindo para a expansão de áreas degradadas e aumento da emissão de gases de efeito estufa (E Silva et al., 2020). No Brasil, a prática das queimadas está diretamente ligada ao preparo do solo para plantio, sendo um método amplamente utilizado por pequenos produtores por sua rapidez e baixo custo (Da Silva; Pontes; Amorim, 2020). Como resultado, grandes áreas contínuas de floresta foram fragmentadas, formando uma matriz composta por terras agrícolas e pastagens (Barros; Fearnside, 2016).

A identificação e o mapeamento do uso do solo são fundamentais para monitorar e mitigar esses impactos. Os avanços nos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) possibilitam o monitoramento contínuo e uma análise espacial mais precisa, permitindo a identificação de áreas críticas e a avaliação da eficácia de práticas de manejo (Assis et al., 2014; Do Nascimento; Fernandes, 2017; Sousa et al., 2021).

Na região do Nordeste Paraense, o geoprocessamento tem sido aplicado com sucesso na análise do uso do solo, auxiliando no planejamento e manejo dos recursos naturais (Sousa et al., 2021). A paisagem dessa região passou por transformações significativas ao longo das últimas décadas, impulsionadas pelo avanço da agricultura itinerante, que inclui cultivos como arroz, feijão, mandioca, milho, malva, algodão e pimenta-do-reino, além do extrativismo florestal e atividade pecuária. Nos últimos anos, o crescimento do agronegócio e a introdução de monoculturas externas ao mercado externo, como o dendê, modificaram intensamente a dinâmica do território, aumentando o desmatamento e seus impactos ambientais (Coelho *et al.*, 2018).

Atualmente, a paisagem da microrregião do Guamá, inserida no Nordeste Paraense, é caracterizada pela fragmentação florestal e um uso do solo diversificado, onde coexistem cultivos tradicionais, pastagens e monoculturas. Esse cenário impõe desafios à conservação da biodiversidade e à sustentabilidade (Santos *et al.*, 2019)

4.4 Geotecnologias

Na atualidade é comum o uso de várias tecnologias, na qual podemos citar as geotecnologias, que compreendem as técnicas de geoprocessamento, sensoriamento remoto, sistema de informação geográfica (SIG) e sistemas de posicionamento global (GPS). Essas tecnologias compõem ferramentas de elevada capacidade para tratamento e análise de dados, constituindo um papel preponderante para o monitoramento da dinâmica dos ecossistemas (Diuliana *et al.*, 2021). Tais tecnologias permitem integrar várias informações no formato de mapas digitais, favorecendo a compreensão dos processos naturais e antrópicos de determinado ambiente (Cruz *et al.*, 2018).

Por meio do uso dessas ferramentas é possível obter e analisar uma grande quantidade de dados e otimizar serviços por meio de hardwares e softwares que se comunicam entre si (Diuliana *et al.*, 2021). Elas também facilitam a análise de áreas de difícil acesso, de forma remota, a função do sensoriamento remoto é coletar informações e dados sobre superfícies, regiões ou fenômenos terrestres sem entrar em contato direto com os objetos. Ele faz isso registrando emissões e reflexões de energia, o que possibilita distinguir entre os vários alvos em uma cena. O procedimento de obtenção de dados espectrais pode ser realizado em três níveis diferentes: orbital, quando acoplado a satélites sem tripulação; sub orbital, quando utilizado por aeronaves; e terrestre, quando adaptado a pontos fixos como laboratórios (De Sousa; Giongo, 2022).

Segundo Buchi *et al.*, (2018), o sistema de informação geográfica viabiliza uma maior integração de dados e informações, viabilizando a correlação entre vários parâmetros envolvidos. A utilização de um SIG possui várias ferramentas que coletam, armazenam e transformam dados geográficos, baseados no mundo real (Pimentel *et al.*, 2023). Este sistema aumenta a percepção dos dados espaciais e facilita na tomada de decisões que contribuam para a mitigação dos impactos identificados (Marques, 2022).

A análise das imagens de satélite permite identificar e delimitar ambientes propícios à desertificação, bem como identificar fatores que aumentam a suscetibilidade a riscos de degradação. Esses fatores incluem: terreno severamente degradado com óbvias restrições de uso; cobertura vegetal severamente degradada causada pelo desmatamento contínuo; e atividades antrópicas resultantes da pecuária extensiva, do extrativismo vegetal e mineral (Galvão, 2016). A geotecnologia auxilia na determinação dos níveis de degradação da pastagem em áreas de bacia hidrográfica e facilita o planejamento técnico e a gestão delas (De Sousa; Giongo, 2022).

4.5 Monitoramento do uso do solo

Monitorar os ecossistemas degradados dentro das propriedades rurais é um dos passos essenciais para garantir o sucesso do planejamento. No monitoramento, será possível avaliar como o ecossistema está evoluindo ao longo do tempo e corrigir falhas ambientais que possam estar limitando a propagação de espécies vegetais, retardando a regeneração natural ou impedindo o retorno da vida animal (Brancalion *et al.*, 2015). Sendo uma prática essencial para o desenvolvimento de políticas e gestão baseadas em evidências (Sparrow *et al.*, 2020).

Para desenvolver uma compreensão mais clara dos programas de monitoramento de ecossistemas, Sparrow *et al.* (2020) revisaram os principais tipos de monitoramento e recomendam três classificações: monitoramento direcionado, de vigilância e monitoramento da paisagem (Tabela 1). O monitoramento direcionado foca em hipóteses específicas para determinar as causas das mudanças nos ecossistemas. A vigilância utiliza métodos padronizados para identificar o que está mudando e a direção dessas mudanças. O monitoramento da paisagem cobre grandes áreas, fornecendo dados sobre onde e quando ocorrem mudanças, esse tipo de monitoramento utiliza mais comumente as tecnologias espaciais de sensoriamento remoto, sistemas de informação geográfica (SIG) e modelagem ambiental (Costanza *et al.*, 2014).

Nesse sentido, o monitoramento de uso e cobertura do solo em extensas áreas torna-se viável por meio das geotecnologias. Essas ferramentas permitem realizar uma avaliação espaço-temporal, permitindo observar as mudanças ao longo do tempo, principalmente em relação à biomassa vegetal e padrão da paisagem (De Serra Talhada, 2020). Sendo destacado os indicadores estruturais para avaliação dos ecossistemas com essas ferramentas.

Tabela 1- Características dos diferentes tipos de monitoramento.

	Tipos de monitoramento		
	Monitoramento direcionado	Vigilância	Monitoramento da paisagem
Extensão espacial	Pequenas áreas, restritas a um local de estudo	Área local para continental	Regional para global

Extensão temporal	Geralmente várias revisitas ao ano	Revisitas normalmente a cada 3-10 anos	Diariamente, semanalmente, mensalmente
Conteúdo de informação ecológica	Altamente detalhado	Moderadamente detalhado	Depende de fenômenos que podem ser relacionados a refletância
Nível de resposta ecológica medido	Indivíduo ou população	População, comunidade ou ecossistema	Comunidade, ecossistema ou bioma
Uso para gestão e política	Não está bem integrado, mas poderia ser	Bem integrado	Bem integrado, muitos exemplos operacionais bem integrados

Adaptado de: Sparrow, B. D., Edwards, W., Munroe, S. E. M., Wardle, G. M., Guerin, G. R., Bastin, J. F., Morris, B., Christensen, R., Phinn, S., & Lowe, A. J. (2020).

4.6 Sistemas GEDI (Global Ecosystem Dynamics Investigation)

O sensoriamento remoto LIDAR está entre os meios mais prevalentes para obter informações sobre a biomassa acima do solo e sua dinâmica. O *Global Ecosystem Dynamics Investigation* (GEDI), um novo satélite LIDAR da NASA, foi lançado para a Estação Espacial Internacional (ISS) no final de 2018 (Dubayah *et al.*, 2020). O GEDI é o primeiro *Light Detection and Ranging* (LIDAR) de forma de onda completa transportado pelo espaço e foi projetado especificamente para medir a estrutura do ecossistema (Lang *et al.*, 2022).

Os dados obtidos são utilizados no monitoramento da recuperação da estrutura da floresta, que incluem altura e cobertura do dossel, entre outras medidas utilizadas para estimar biomassa (Duncanson *et al.*, 2015). A altura do dossel é um importante indicador de biomassa acima do solo, que juntamente com a composição e função, é capaz de fornecer informações do ecossistema às mudanças do uso do solo, bem como à restauração (Lang *et al.*, 2022).

Por meio da metodologia utilizada no GEDI é possível realizar o monitoramento de vários atributos da floresta. Rishmawi, K. *et al.*, (2021) apontam que o GEDI fornece uma amostragem quase global, e realizaram um estudo de integração dos dados deste sensor com

dados de satélite para extrapolar os atributos de estrutura da floresta derivados do GEDI, os resultados obtidos apresentaram robustez para áreas maiores.

Um dos maiores desafios no uso do LIDAR no espaço tem a ver com a maneira como suas formas de onda são processadas. Para determinar a altura do dossel e outras variáveis da estrutura, é necessário identificar características como a localização do solo e o topo do dossel (Lang *et al.*, 2022), e sob condições em que a copa é bastante densa, o retorno do solo pode ser fraco (Dubayah *et al.*, 2020).

4.7 Índices de vegetação

É fundamental monitorar a dinâmica das plantas nos ecossistemas globais. Índices de vegetação, obtidos a partir da refletância nas faixas vermelha e infravermelha próxima, são ferramentas valiosas. Eles permitem a correlação entre dados climáticos e o comportamento da vegetação em diversas escalas espaciais e temporais (Rodrigues *et al.*, 2022). A partir dos índices de vegetação, é possível estimar a biomassa, monitorar a deficiência hídrica e nutricional da planta (ANDRADE *et al.*, 2022). Essas relações ajudam agricultores e gestores ambientais na tomada de decisões e boas práticas de manejo.

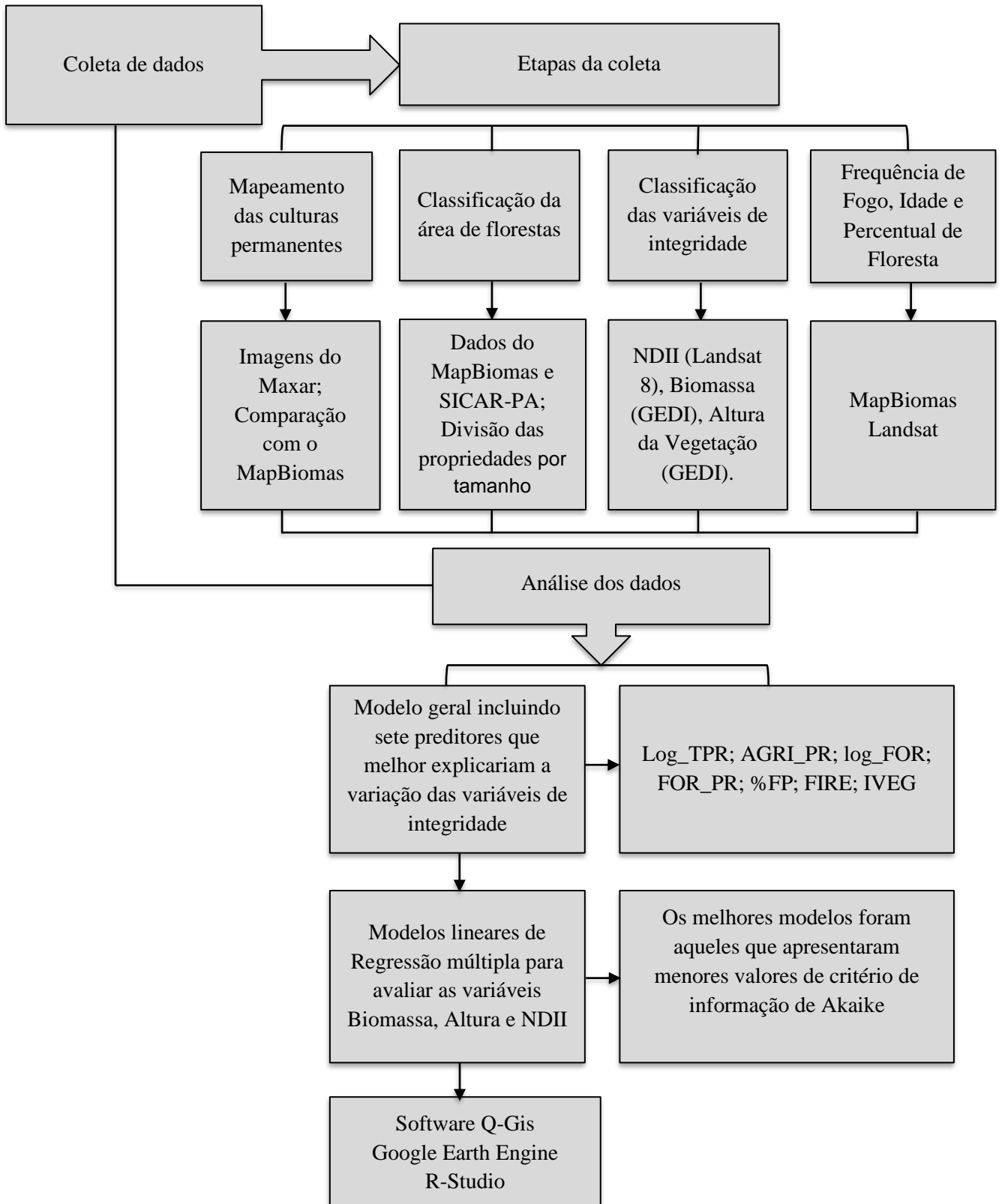
Existem mais de cem índices de vegetação derivados de imagens multiespectrais (Xue; Su 2017). Ma *et al.*, (2017), destacam alguns índices em seu trabalho, o Simple Ratio (SR) para monitorar o estado da vegetação; o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) amplamente utilizado para descrever sistemas solo-vegetação dinâmicos porque podem minimizar a influência do brilho do solo; o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo Transformado (TSAVI) e o Índice de Vegetação Perpendicular (PVI) também podem reduzir o efeito de fundo do solo considerando os parâmetros da linha do solo e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) no qual se destaca devido sua forte correlação com a fotossíntese.

Os índices de vegetação, como o Índice Normalizado de Diferença do Infravermelho (NDII), Índice de Estresse Hídrico (MSI), Índice de Reflexão Fotoquímica (PRI), Índice de Água da Superfície Terrestre (LSWI) e Índice Global de Umidade da Vegetação (GVMI), são essenciais para monitorar a seca em diferentes estágios de crescimento e estabilidade, enquanto o DVI não é adequado para esses fins (Zhu; Li; Guo 2024). O NDII, em particular, se destaca por fornecer informações valiosas sobre o conteúdo de água nas folhas e no dossel, tornando-se crucial para caracterizar e monitorar vegetação e culturas agrícolas (Joiner *et al.*, 2018a). A utilização de satélites para acompanhar a disponibilidade de água na vegetação é vital para aplicações como alerta precoce de seca, agricultura de precisão e segurança alimentar, além de

contribuir para a compreensão das interações entre os ciclos de água e carbono (Joiner *et al.*, 2018b).

5. MATERIAL E MÉTODOS

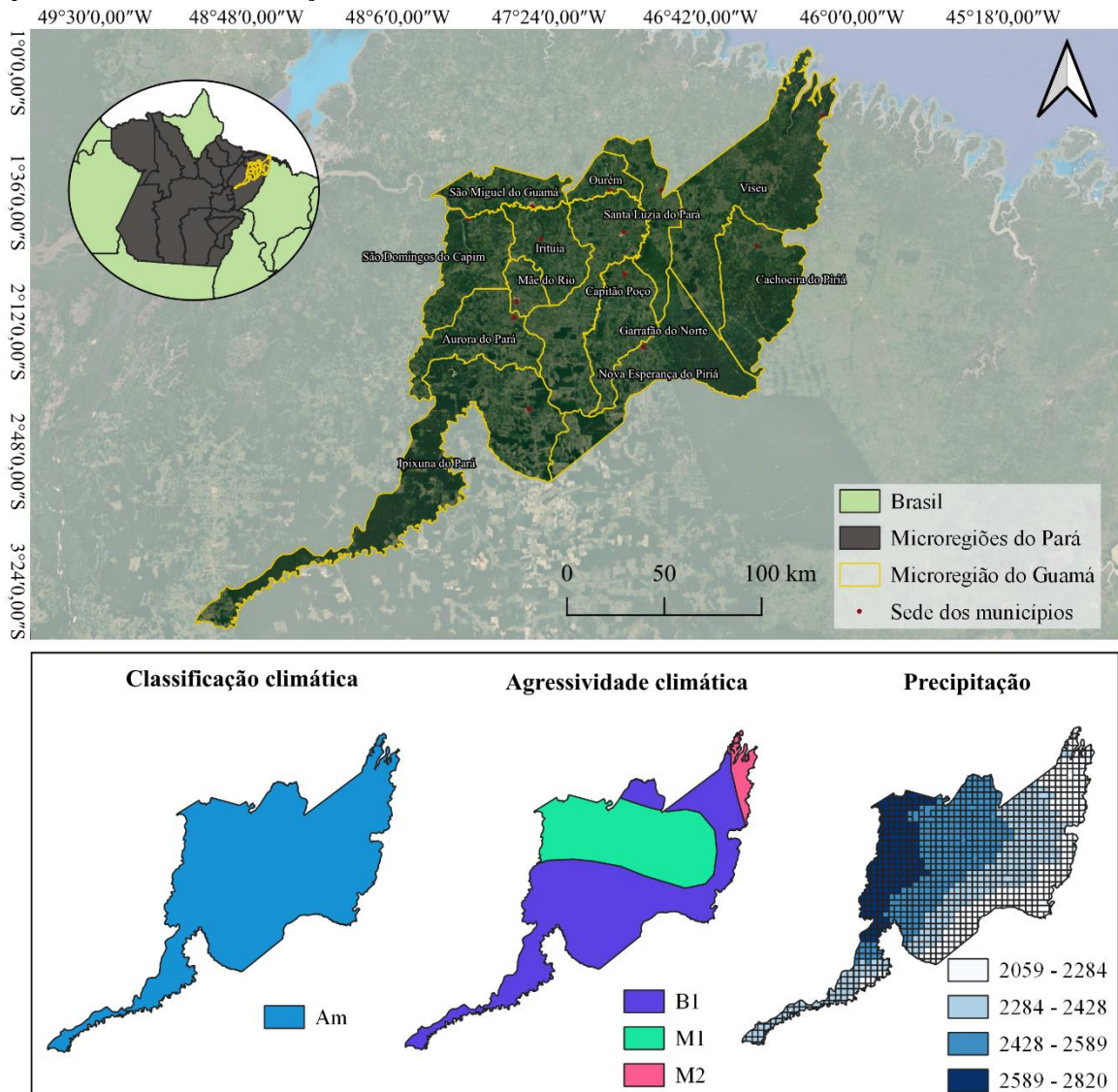
Fluxograma 1- metodologia de pesquisa



5.1 Áreas de estudo

O estudo foi realizado na microrregião do Guamá, localizado no nordeste paraense. Essa microrregião possui área de 28.235,6 km² e abrange 13 municípios: Aurora do Pará, Cachoeira do Piriá, Capitão Poço, Garrafão do Norte, Ipixuna do Pará, Irituia, Mãe do Rio, Nova Esperança do Piriá, Ourém, Santa Luzia do Pará, São Domingos do Capim, São Miguel do Guamá e Viseu (Figura 1). E destaca-se pela elevada diversidade de práticas agrícolas, com grande densidade de agricultores familiares e comerciantes, favorecendo intensa atividade econômica na região, como o cultivo de culturas permanentes, dentre elas citros, dendê e pimenta-do-reino. Segundo Koppen, o clima da microrregião do Guamá é classificado como clima de monções Am-tropical, Baixa Agressividade Climática (AC) com excesso de umidade (B1), média com excesso de umidade (M1), média com deficiência de umidade (M2) e Precipitação Média Anual (AMP) de 1750-2500; 2250-3000 e 1250–2500 mm (Alvares et al., 2013), conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 – Mapa de localização com os 13 municípios da microrregião do Guamá com as suas respectivas sedes e classificação climática.



Fonte: Autora (2025).

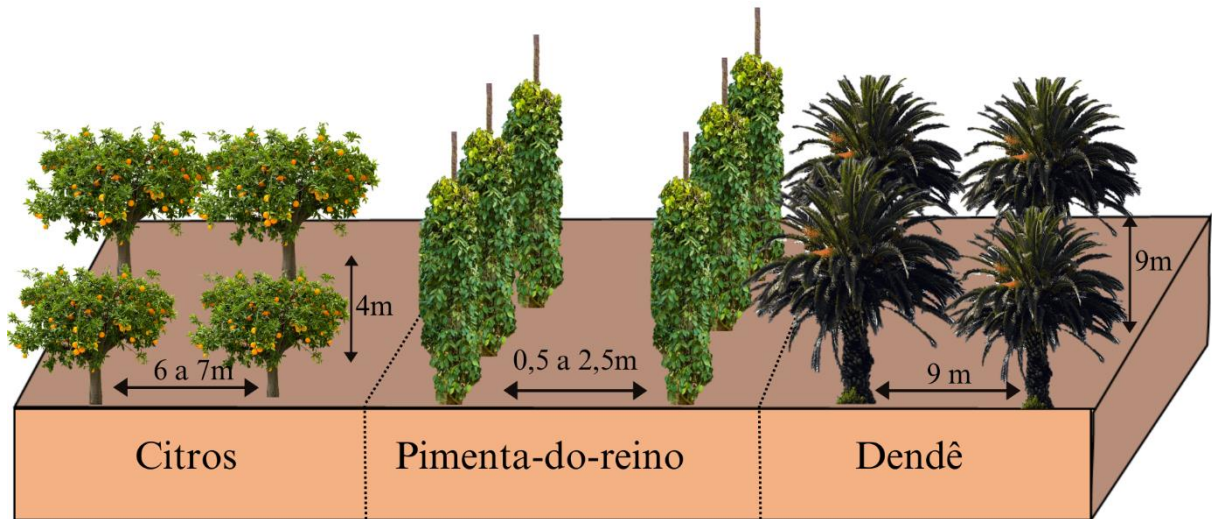
5.2 Coletas de dados

5.2.1 Mapeamento das culturas permanentes (cítricos, pimenta-do-reino e dendê) nas propriedades rurais da microrregião do Guamá

As culturas e permanentes na área de estudo foram mapeadas usando imagens Maxar com resolução menor que 1 m disponíveis no Google Earth (GE). As imagens analisadas abrangem o período de 2015 a 2022. O mapeamento foi realizado por meio da interpretação visual das imagens, considerando as características específicas do espaçamento e formato das copas das culturas. Para as culturas cítricas, foi identificado um espaçamento regular de 6–7 × 4 m. Para a pimenta-do-reino, o espaçamento foi variado entre 0,5 e 2,5 metros. No caso das

plantações de óleo de palma, observamos copas com formato característico de estrela e espaçamento de 9×9 m (figura 2). O software Geographic Information System (QGIS) versão 3.34 (QGIS Development Team, 2024) foi usado para análise e processamento de imagens. Essa metodologia tem sido usada para mapear e validar o uso da terra (Silvério *et al.*, 2022).

Figura 2- Representação esquemática do método de mapeamento baseado no espaçamento



Fonte: Autora (2024).

Os mapas de cobertura e uso do solo foram comparados com os dados do MapBiomias, que é composto por ONGs, universidades e *startups* de tecnologia para avaliar a concordância com as informações mapeadas das culturas permanentes. As variáveis do MapBiomias foram substituídas pelas informações do mapeamento das culturas de citros, pimenta-do-reino e dendê, as áreas de pastagens foram mantidas de acordo com a classificação do Mapbiomas.

5.2.2 Classificação da área de floresta

Para analisar as áreas de floresta, foi utilizada a classificação do MapBiomias (MAPBIOMAS, 2024) intersectados com os dados do SICAR-PA (Cadastro Ambiental Rural do Pará) dos municípios da região do Guamá com as informações da floresta. Apenas foram incluídas áreas com mais de 1 ha e em situação ativa (CA: cadastro ativo). Os dados da plataforma SICAR-PA permitem acessar os polígonos de todas as propriedades rurais cadastradas no sistema. Para a região de estudo, cerca 90% da área está cadastrada no CAR. As propriedades foram divididas de acordo com o tamanho (Tabela 2) considerando as medidas do módulo fiscal dos municípios da área de estudo que varia entre 55 ha e 75 ha (Embrapa, 2024).

Tabela 2- Classificação de imóveis por módulos fiscais

Pequena	Até 1 módulo fiscal
Média	1 a 5 módulos fiscais
Grande	> de 5 módulos fiscais

5.2.3 Métricas de Integridade dos Remanescentes Florestais: Biomassa, Altura e NDII

A biomassa acima do solo foi estimada a partir de dados do *Global Ecosystem Dynamics Investigation* (GEDI), versão 2.1, da NASA, processados na plataforma Google Earth Engine. O GEDI é um sensor LIDAR (*Light Detection and Ranging*) de onda completa que fornece perfis verticais detalhados das copas florestais em pegadas de 25 m no solo. Para garantir a precisão das estimativas, foi aplicada uma filtragem rigorosa nos dados do GEDI, assegurando medições confiáveis da biomassa.

A altura da vegetação também foi calculada a partir dos dados do GEDI, utilizando as métricas de altura relativa do dossel fornecidas pelos produtos de Nível 2A (L2A) (Dubayah et al., 2020a). A altura média das árvores foi ajustada conforme as características de qualidade e degradação da vegetação, possibilitando uma análise robusta da estrutura florestal.

Por fim, o vigor da vegetação foi avaliado por meio do Índice de Infravermelho de Diferença Normalizada (NDII), calculado com dados do Landsat 8 disponíveis na plataforma Google Earth Engine. O NDII mede o conteúdo de água da vegetação utilizando as bandas de infravermelho próximo (NIR) e infravermelho de onda curta (SWIR). Seus valores variam de -1 a 1, sendo que valores mais altos indicam maior vigor da vegetação. Para essa análise, foi utilizada a média dos valores de NDII entre 2019 e 2024 em áreas florestais.

5.2.4 Classificação da frequência de fogo, idade média da vegetação e percentual da floresta na paisagem

A metodologia de análise da degradação ambiental com foco na frequência de incêndios utilizando a plataforma MapBiomas foi realizada em etapas sistemáticas, iniciando pela extração de dados temporais sobre uso do solo e cobertura vegetal, acessados por meio de imagens de satélite de alta resolução. Em seguida, foi aplicada a análise espacial utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para mapear áreas afetadas por incêndios em diferentes períodos, permitindo identificar padrões temporais e espaciais. A degradação foi

quantificada por meio do cálculo de índices que correlacionaram a frequência de incêndios com a perda de cobertura florestal e seus impactos na biodiversidade.

A idade média dos fragmentos florestais foi gerada para cada um dos imóveis rurais. Para isso analisamos 37 anos de mapas de classificação da idade da vegetação secundária gerados por meio da metodologia do FloreSer (Nunes *et al.*, 2020), os quais tiveram como base os dados de uso e cobertura da terra desenvolvidos a partir de imagens Landsat (30m de resolução espacial) disponíveis na plataforma do MapBiomias - Coleção 8, entre os anos de 1986 e 2022. Para gerar a média de idade dos fragmentos florestais considerou-se a idade de 40 anos para os pixels de vegetação primária, então realizamos o cruzamento do mapa de idade da vegetação com os fragmentos florestais dos imóveis rurais.

A metodologia para gerar o percentual da floresta na paisagem seguiu alguns passos específicos. Primeiramente, foram gerados *buffers* de 10 km de raio ao redor dos centroides de cada propriedade registrada no Cadastro Ambiental Rural (CAR), permitindo uma área de análise consistente. Em seguida, as imagens obtidas da plataforma MapBiomias foram cortadas com base nesses *buffers*, isolando as regiões de interesse. Por fim, quantificou-se o número de pixels correspondentes à classe floresta dentro dessas áreas, permitindo o cálculo da porcentagem de cobertura florestal, o que possibilitou avaliar a degradação e monitorar as alterações na vegetação ao longo do tempo.

5.3 Análises de dados

Três modelos lineares (regressão múltipla) foram utilizados para avaliar como cada uma das variáveis associadas à integridade das florestas (NDII, biomassa e altura da vegetação) variam em função dos preditores relacionados ao uso e cobertura da terra, bem como às características das propriedades rurais particulares. Inicialmente, foi elaborado um modelo global incluindo sete preditores, cujas descrições estão detalhadas no Quadro 1.

Os modelos foram então selecionados para identificar o conjunto de preditores que melhor explicavam cada variável de resposta. Os melhores modelos foram aqueles com os menores valores de critério de informação de Akaike (Zuur *et al.*, 2009). A seleção do modelo foi realizada usando a função *dredge* do pacote *MuMIn* no *software* R. As análises estatísticas foram realizadas usando o *software* R (R Core Team 2024).

Quadro 1- Quadro informativo sobre as características das variáveis predictoras de degradação

Sigla	Nome Completo	Descrição	Medida
Log_TPR	Tamanho da Propriedade Rural	Tamanho total da propriedade rural	Hectares (ha)

AGRI_PR	Proporção de Agricultura Permanente	Proporção da propriedade rural ocupada por agricultura permanente	-
Log_FOR	Área de Vegetação Nativa	Área total de vegetação nativa presente na propriedade rural	Hectares (ha)
FOR_PR	Proporção de vegetação nativa	Proporção da propriedade rural ocupada por vegetação nativa	-
%FP	Percentual de Floresta na Paisagem	Proporção da paisagem ocupada por fragmentos florestais	Percentual (%)
FIRE	Número Médio de Queimadas	Número médio de vezes que o fragmento de floresta foi queimado entre 1985 e 2022	Número de eventos
IVEG	Idade média dos Fragmentos	Média de idade dos fragmentos florestais presentes na propriedade rural	Anos

Fonte: Autora (2025).

6. RESULTADOS

6.1 Mapeamento de culturas permanentes e florestas, através do sensoriamento remoto

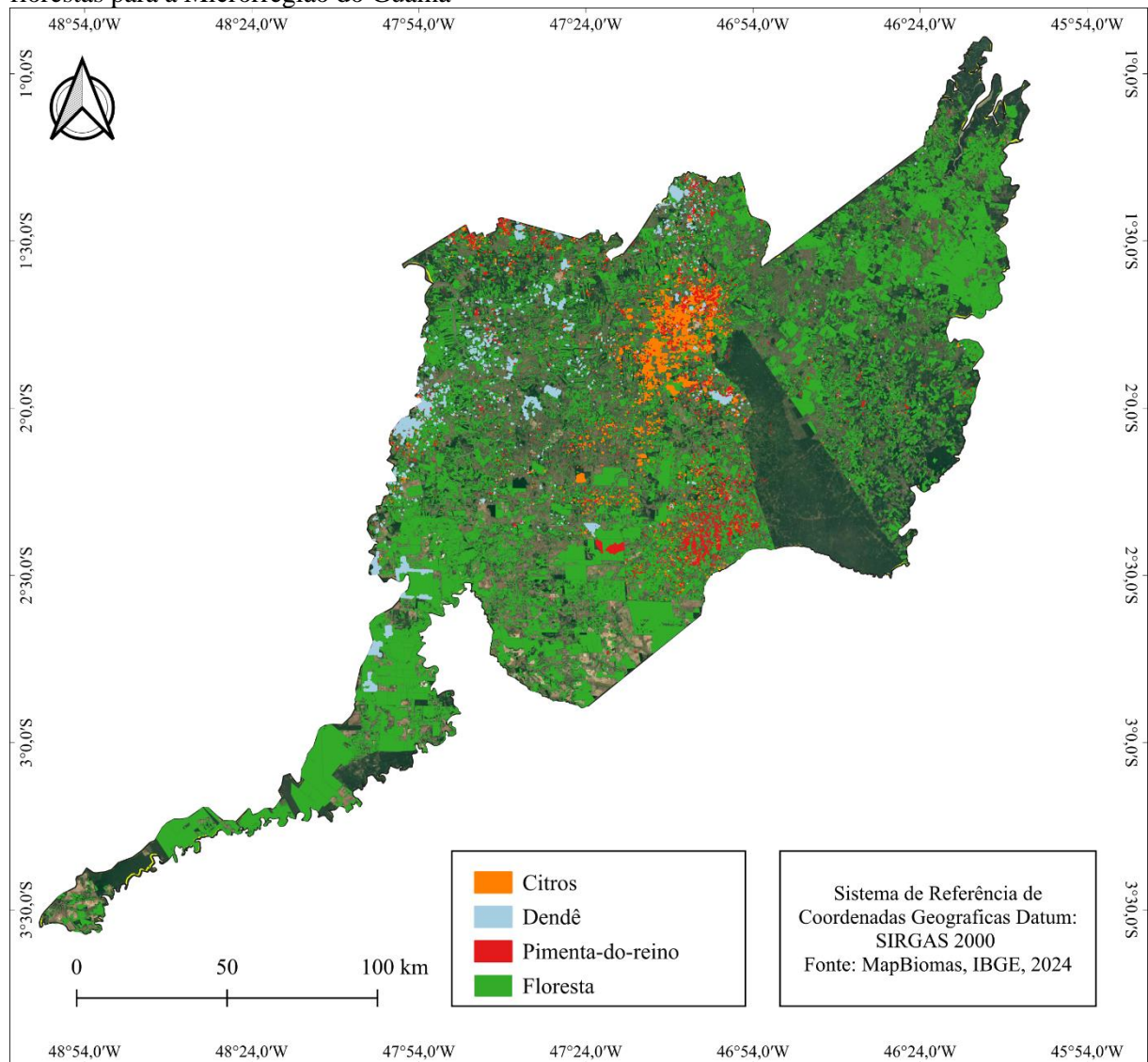
O mapeamento integrado do uso da terra, combinando informações do MapBiomas (para áreas florestais) e dados específicos de agricultura permanente, revelou uma concentração de culturas agrícolas em alguns municípios, enquanto a vegetação florestal ainda representa a principal cobertura do território, embora altamente fragmentada (Figura 3).

No total, foram identificados 55.447 hectares destinados às culturas permanentes nos treze municípios do nordeste paraense. Dentre essas áreas, 24.485 hectares é destinado ao

cultivo de citros (laranja, limão e tangerina), 24.828 hectares destinado à produção de dendê e 6.135 hectares a produção de pimenta-do-reino. O município de Capitão Poço apresentou maior extensão de áreas cultivadas com citros, enquanto São Domingos do Capim concentrou a produção de dendê e Nova Esperança do Piriá se destacou no plantio de pimenta-do-reino.

Esse padrão de ocupação reflete a influência de fatores históricos e ambientais na distribuição das culturas permanentes.

Figura 3 – Mapa de classificação de culturas permanentes de citros, pimenta-do-reino, dendê e florestas para a Microrregião do Guamá



Fonte: Autora (2025).

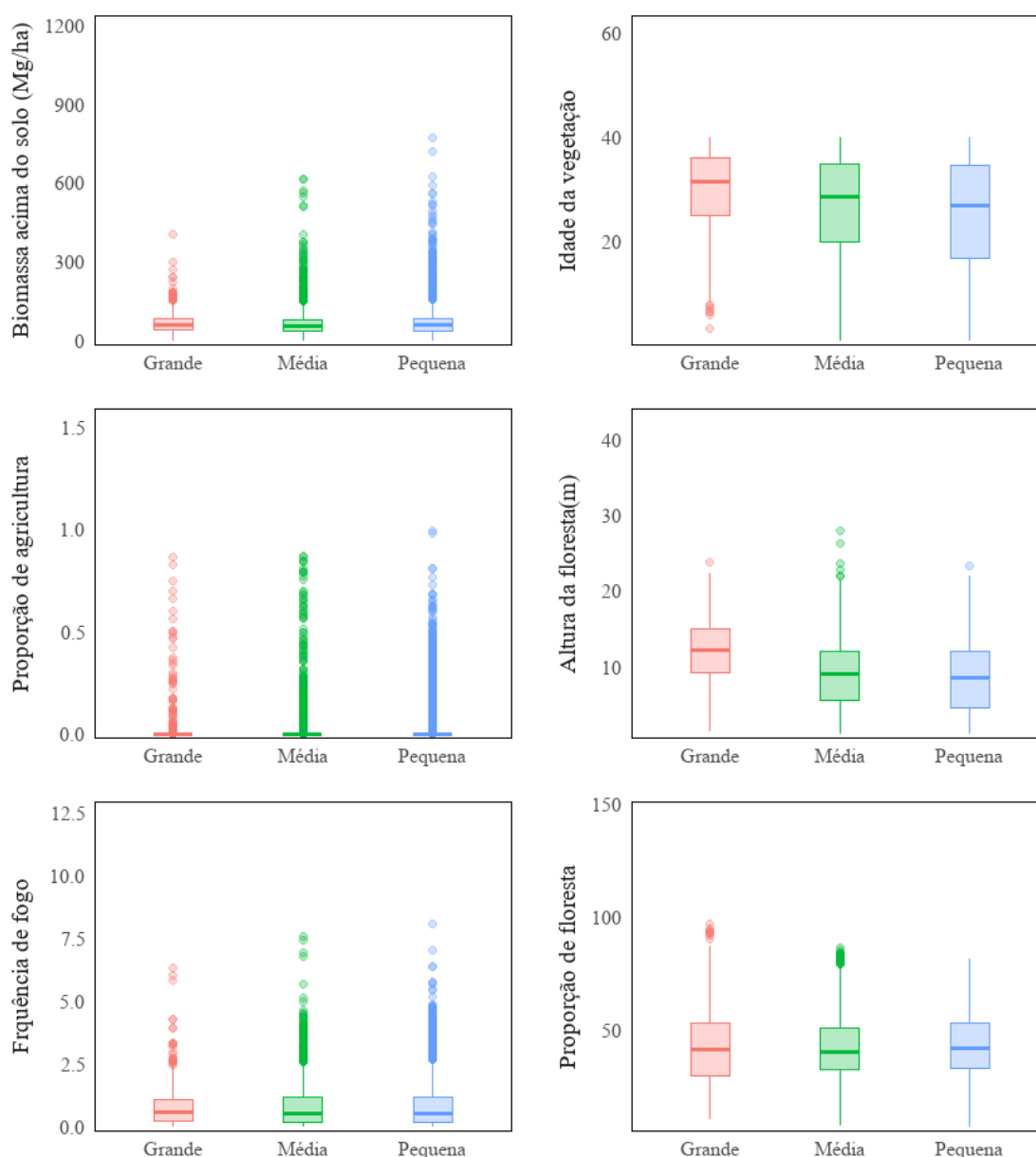
6.2 Avaliação da relação da integridade dos remanescentes com as características da propriedade

Os resultados indicaram diferenças significativas na altura da floresta (m) ($p < 0,001$) e idade da vegetação ($p < 0,001$) entre as classes analisadas. A Proporção de floresta apresentou

diferenças significativas ($p < 0,001$), particularmente entre as classes Pequena e Média. No entanto, não foram observadas diferenças significativas na proporção de agricultura permanente ($p = 0,982$), biomassa acima do solo (Mg/ha) ($p = 0,37$) e frequência de incêndios ($p = 0,554$).

O teste de Tukey revelou que para a altura da floresta, todas as comparações pareadas foram significativas ($p < 0,001$), indicando distinções claras entre as classes Pequena, Média e Grande. Para a idade da vegetação, todas as comparações pareadas também foram significativas ($p < 0,001$), indicando distinções claras entre as classes. Em relação à proporção da floresta, o teste de Tukey mostrou que Pequena e Média diferiram significativamente, mas não houve diferença clara entre Pequena e Grande ($p = 0,772$) e média e grande ($p = 0,091$). Esses resultados mostram a influência de variáveis como altura e idade da vegetação na diferenciação entre as classes, enquanto outras características como biomassa e frequência de incêndios não apresentaram variações significativas (Figura 4).

Figura 4 – Boxplot da Biomassa acima do solo (a), idade da vegetação (b), agricultura permanente (c), altura da floresta (d), frequência de fogo (e) e proporção de floresta (f) por classe de tamanho da propriedade.



Fonte: Autora (2025).

6.3 Análise de preditores para explicar a variação de biomassa, altura e NDII

A análise da seleção de modelos (Tabela 3) das variáveis predictoras revelou que a variação da biomassa acima do solo (Mg/ha) foi influenciada por preditores como a proporção de floresta em relação ao tamanho das propriedades (FOR_PR), a frequência de queimadas nos fragmentos florestais (FIRE), a idade média da vegetação (IVEG) e o logaritmo do tamanho das propriedades (log_TPR), (Tabela 4). Esses resultados destacam a relevância das características do uso do solo e da paisagem na manutenção da integridade florestal.

Todos os sete preditores da altura da floresta (m) foram significativos (Tabela 4). No entanto, quatro variáveis foram selecionadas para criar o gráfico de correlação: o número médio

de vezes que o fragmento florestal foi queimado (FIRE), a idade média da vegetação (IVEG), o logaritmo da área de vegetação nativa na propriedade rural (log_FOR) e o logaritmo do tamanho da propriedade rural (log_TPR).

Além disso, o NDII mostrou uma relação significativa com todos os preditores (Tabela 4). Para representação gráfica, foram selecionados os seguintes preditores: a proporção da propriedade rural ocupada pela agricultura permanente (AGRI_PR), a porcentagem de floresta na paisagem (%FP), o número médio de vezes que o fragmento florestal foi queimado (FIRE) e a idade média da vegetação (IVEG).

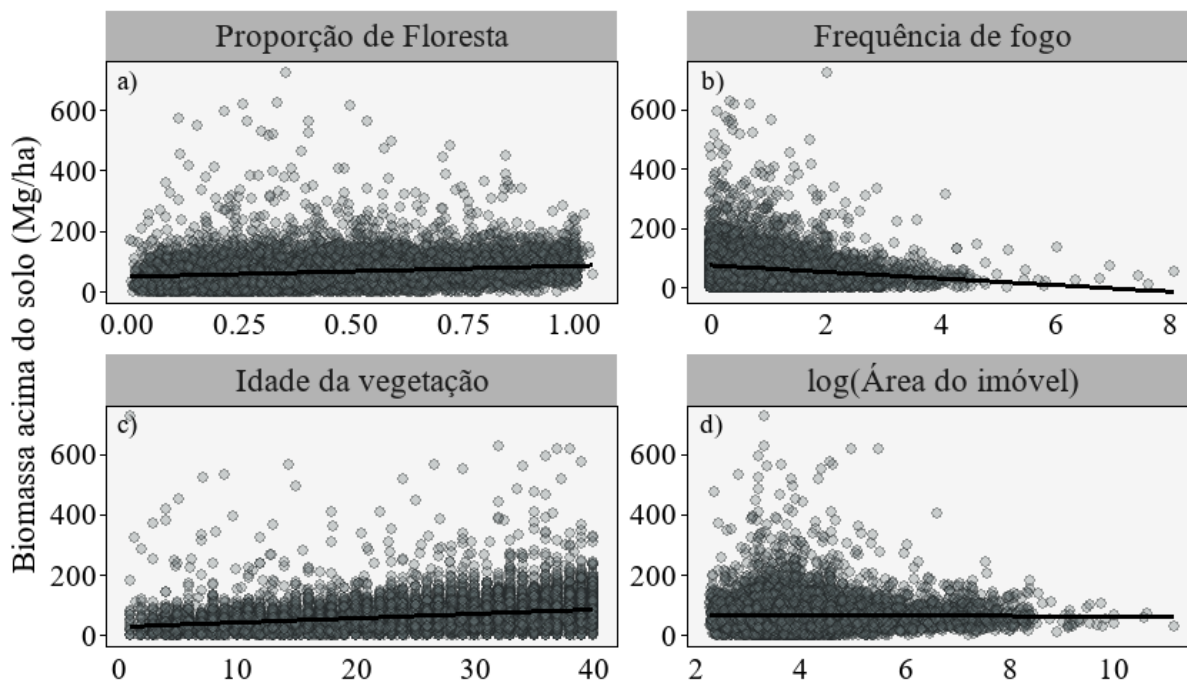
6.4 Biomassa acima do solo (Mg/ha)

A biomassa acima do solo (Mg/ha) apresentou uma correlação positiva com a proporção de floresta em relação ao tamanho das propriedades (FOR_PR) (Figura 5-a), indicando que maiores percentuais de floresta resultam em maiores valores de biomassa. De forma semelhante, a idade média da vegetação (IVEG) apresentou uma relação positiva (Figura 5-c), com a biomassa aumentando à medida que a vegetação envelhece, atingindo maior concentração em fragmentos com idade média de 40 anos.

Por outro lado, a frequência de incêndios nos fragmentos florestais (FIRE) e o logaritmo do tamanho da propriedade rural (log_TPR) apresentaram uma relação negativa com a biomassa (Figura 5-b, d). Isso sugere que áreas com maior frequência de queimadas tendem a ter menor biomassa devido aos impactos diretos do fogo sobre a vegetação. Além disso, a redução da biomassa com o aumento do logaritmo da área do imóvel pode estar associada ao histórico de manejo em propriedades maiores e às intervenções humanas nessas áreas.

Esses resultados indicam que as variáveis preditoras explicam 10% da variação observada nos dados de biomassa acima do solo ($R^2 = 0,10$) (Tabela 4), destacando a influência de fatores como cobertura florestal, idade da vegetação e pressão antrópica na variação da biomassa nas propriedades analisadas.

Figura 5 – Correlação da biomassa com proporção de floresta(a), frequência que a área foi queimada (b), idade média da vegetação (c), logaritmo da área do imóvel (d).



Fonte: Autora (2024).

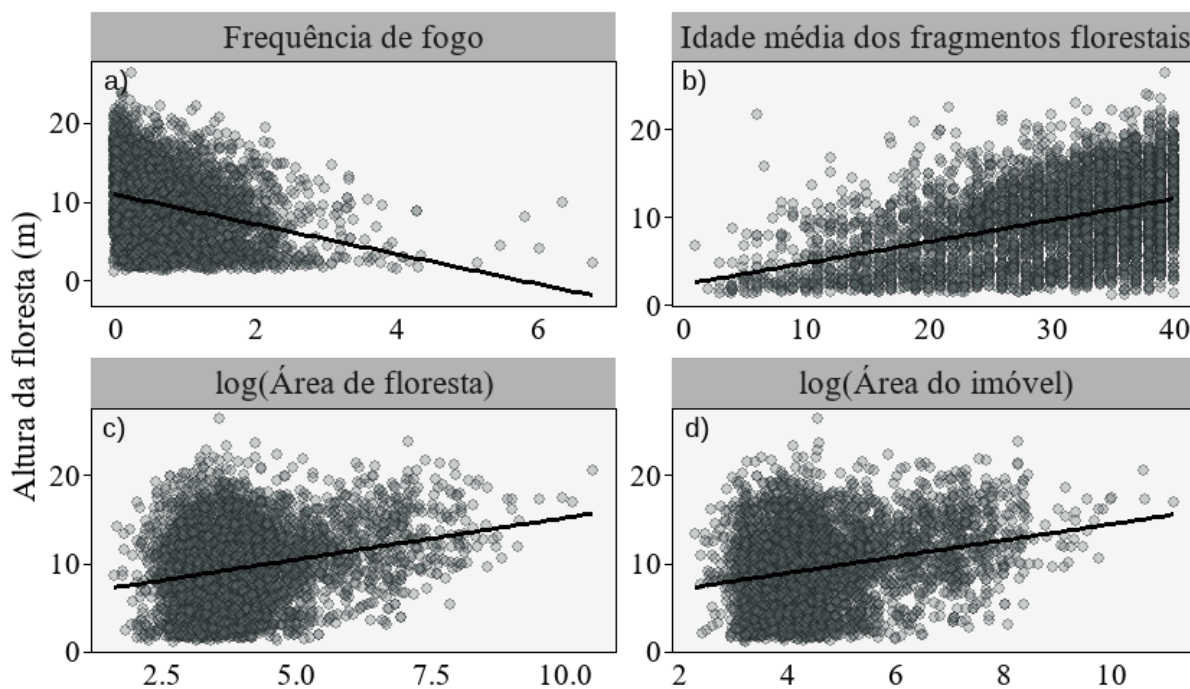
6.5 Altura da Vegetação (m)

O gráfico de correlação da altura das árvores (m) revelou uma relação negativa com a frequência de incêndios nos fragmentos florestais (FIRE), sugerindo que incêndios frequentes podem limitar o crescimento das árvores e resultar em florestas com alturas menores. Os dados indicam que, a partir de quatro incêndios recorrentes, já é possível observar uma redução significativa na altura das árvores.

Por outro lado, a relação positiva entre a idade média dos fragmentos florestais (IVEG) e a altura da floresta (Figura 6-b) destaca que, à medida que a vegetação envelhece, as árvores tendem a alcançar maiores alturas. Isso reflete o desenvolvimento natural das florestas mais antigas, onde as árvores possuem mais tempo para crescer, evidenciado pela linha de tendência que mostra um aumento consistente na altura com o avanço da idade.

Além disso, foi observada uma relação positiva entre o logaritmo da área de vegetação nativa na propriedade rural (log_FOR) e a altura da floresta (Figura 6-c), sugerindo que uma maior proporção de floresta tem uma influência positiva na altura da vegetação. Da mesma forma, o logaritmo da área total da propriedade rural (log_TPR) também mostrou uma relação positiva (Figura 6-d), indicando que propriedades maiores estão associadas a florestas mais altas. Esses resultados reforçam a importância das características das propriedades para o desenvolvimento da vegetação, com as variáveis preditoras explicando 28% da variação observada nos dados de altura das árvores ($R^2 = 0,28$) (Tabela 4).

Figura 6 – Correlação da altura com a frequência que a área foi queimada (a), idade média da vegetação (b), logaritmo da floresta/ha (c), logaritmo da área do imóvel (d).



Fonte: Autora (2024).

6.6 Índice de Infravermelho por Diferença Normalizada (NDII)

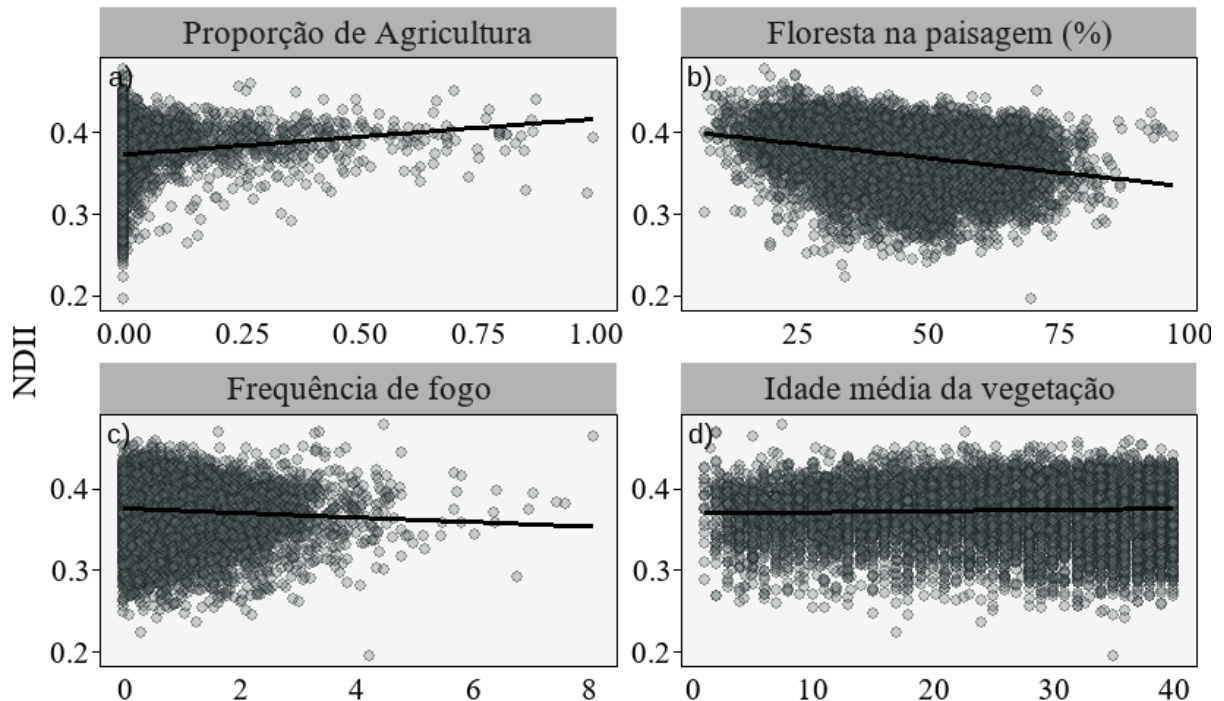
O gráfico de correlação do NDII apresentou uma relação positiva com a proporção de área dedicada à agricultura (Figura 7-a). Uma possível explicação para essa relação positiva entre essas variáveis pode estar relacionada ao crescimento das plantas, bem como à irrigação, que aumentam o conteúdo de água, resultando em valores mais elevados de NDII em áreas agrícolas. Em contraste o percentual de floresta na paisagem (%FP) mostrou uma correlação negativa (Figura 7-b). Essa relação pode ser explicada por fatores relacionados ao funcionamento e estrutura das florestas em comparação com áreas agrícolas.

A frequência de incêndios nos fragmentos florestais (FIRE) apresentou uma relação negativa com o NDII (Figura 7-c), indicando que o índice de vegetação tende a diminuir à medida que o número de incêndios aumenta. Essa relação pode ser explicada por vários motivos, pois os incêndios florestais causam danos direto à vegetação, levando a diminuição da cobertura vegetal. Além disso, a relação entre o NDII e a idade média dos fragmentos florestais (fig. 7-d) não foi significativa, revelando que a idade da vegetação não influencia os valores do NDII.

Essas correlações destacam como práticas agrícolas, a proporção de floresta na paisagem e a frequência de incêndios afetam o vigor da vegetação nas propriedades rurais da

região analisada (Figura 7). O modelo linear (Tabela 4) confirmou que as variáveis preditoras explicam 13% da variação observada nos dados de NDII ($R^2 = 0,13$).

Figura 7 – Correlação do NDII com a porcentagem de área dedicada à agricultura (a), percentual de floresta na paisagem (b), número médio de vezes que o fragmento de floresta na propriedade foi queimado (c), idade média dos fragmentos (d).



Fonte: Autora (2024).

Tabela 3 – Seleção de modelos através dos preditores Idade da vegetação (IVEG); Proporção de agricultura (AGRI_PR); número médio de vezes que o fragmento de floresta na propriedade foi queimado (FIRE); Porcentagem de floresta na paisagem (For_pr); logaritmo da área de floresta (log_FOR); logaritmo da área do imóvel (log_TPR).

Intercepto	IVEG	%AGR	FIRE	FOR	%FP	Log_F OR	Log_TP R	df	logLik	AICc	delta	Peso
Biomassa (Mg/ha)												
31.61	1,229		-2,197	19,50			-0,9990	6	-58760.36	117532,7	0,00	0,398
31,15	1,228		-2,193	19,69			-0,8951	7	-58760.22	117534,5	1,72	0,169
31,40	1,226		-2,213	19,27			-1,0070	7	-58760.32	117534,6	1,92	0,153
31,58	1,229		-2,194	19,52			-0,9979	7	-58760.36	117534,7	1,99	0,147
27,63	1,226		-2,275	20,86				6	-58762.12	117536,2	3,51	0,069
Altura(m)												
-0.5094	0.2240	3,098	-0.8632			-1.2000	2.0150	9	-12064.52	24147,1	0,00	0,826
1.2280	0.2256	3,074	-0.8851			-0.2879	1.1050	8	-12067.85	24151.7	4.65	0,081
-0.3837	0.2232		-0.8749			-1.2110	2.0290	8	-12068.29	24152.6	5.53	0,052
1.4530	0.2244	3,199	-0.8753				0.8556	7	-12070.20	24154.4	7,34	0,021
1.6100	0.2248	3,135	-0.8834				0.8373	8	-12069.57	24155.2	8,09	0,014
NDII												
0,3827	0,0002917	0,02286	-0,001719		0,01561			9	24987,92	-49957,8	0,00	0,994
0,3807	0,0002870	0,02321	-0,001703		0,01635			8	24981,76	-49947,5	10,31	0,006
0,3798	0,0003650	0,02383			0,01587			8	24972,44	-49940,9	16,96	0,000

0,3778	0,0003598	0,02416	-0,001856		0,01659		7	24969,47	-49930,9	26,90	0,000
0,3846	0,0002898				0,01500		8	24969,96	-49923,9	33,91	0,000

Fonte: Autora (2024).

Tabela 4 – Modelos lineares de biomassa, altura e NDVI; R²= coeficiente de determinação; R²_a = coeficiente de determinação ajustado.

Variável	Estimado	Erro padrão	Valor de t	Valor de p
Biomassa (Mg/ha); R²= 10,22; R²_a=0,1019				
Intercessão	31,6101	2,3947	13,200	< 2e-16 ***
IVEG	1,2289	0,0528	23,277	< 2e-16 ***
FIRE	-2,1970	0,6315	-3,479	0,000505 ***
FOR	19,5008	1,8622	10,472	< 2e-16 ***
Log_FOR	-0,9990	0,4155	-2,404	0,016217 *
Altura (m); R²=28,91; R²_{ajustado}=0,288				
Intercessão	-0,509368	0,774630	-0,658	0,51085
IVEG	0,224009	0,008472	26,440	< 2e-16 ***
FIRE	-0,863198	0,093325	-9,249	< 2e-16 ***
AGRI_PR	3,097649	1,128909	2744	0,00610 **
Log_TPR	2,014806	0,373906	5,389	7,48e-08 ***
FOR	2,115040	0,819833	2,580	0,00992**
Log_FOR	-1,199801	0,377611	-3,177	0,00150**
%FP	-0,036749	0,004854	-7,571	4,50e-14***
NDII; R²=13,8; R²_{ajustado}=0,137				
Intercessão	3,827e-01	1,723e-03	222,100	< 2e-16 ***
IVEG	2,917e-04	3,423e-05	8,520	< 2e-16 ***
FIRE	-1,719e-03	3,947e-04	-4,354	1,35e-05 ***
AGRI_PR	2,286e-02	3,813e-03	5,995	2,09e-09 ***
%FP	1,561e-02	1,323e-03	11,806	< 2e-16 ***
Log_TPR	3,797e-03	2,992e-04	12,690	<2e-16***
FOR_PR	1,920e-06	5,472e-07	3,508	0,000453***
FOR	1,561e-02	1,323e-03	11,806	<<2e-16***

Fonte: Autora (2024).

7. DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo confirmam a relevância das características ambientais e de manejo no grau de integridade dos remanescentes florestais na Amazônia Oriental. A hipótese inicial de que a vegetação nativa teria níveis semelhantes de integridade independentemente das propriedades foi parcialmente rejeitada. Evidenciou-se que variáveis como idade média da vegetação (IVEG), frequência de queimadas (FIRE) e proporção de vegetação nativa na propriedade (FOR_PR) explicam variações significativas nos estoques de biomassa, altura da vegetação e vigor (NDII) dos fragmentos florestais. Esses achados reforçam que as interações entre características da paisagem e atividades produtivas desempenham papéis distintos na manutenção da integridade ecológica dos remanescentes florestais.

7.1 Biomassa

Os resultados deste estudo evidenciam que o acúmulo de biomassa acima do solo em florestas remanescentes está diretamente relacionado a fatores como a idade da vegetação, a proporção de cobertura florestal e a frequência de incêndios. O maior estoque de biomassa em áreas com vegetação mais antiga e maior cobertura florestal confirma o papel essencial desses fatores na manutenção da capacidade de sequestro de carbono e dos serviços ecossistêmicos. Esses achados corroboram estudos prévios, como os de Mora *et al.* (2018), que demonstraram que florestas secundárias mais maduras acumulam maiores estoques de biomassa e carbono, destacando a relevância da conservação de áreas florestais antigas para mitigar mudanças climáticas.

A relação negativa entre a frequência de incêndios e os estoques de biomassa reforça os impactos negativos das queimadas na integridade das florestas e a sua capacidade de estocar carbono. As áreas com menor exposição ao fogo apresentaram valores mais elevados de biomassa, evidenciando a vulnerabilidade das florestas remanescentes em regiões sujeitas a incêndios frequentes. Esses resultados estão alinhados com pesquisas recentes (Fearnside *et al.*, 2013; Brando *et al.* 2014) que apontam o fogo como um fator crítico para a redução da capacidade de sequestro de carbono e para a degradação florestal, especialmente em cenários de eventos climáticos extremos, como secas prolongadas. Estratégias de manejo que visem minimizar o uso do fogo emergem como fundamentais para preservar os estoques de biomassa e reduzir emissões de gases de efeito estufa.

Além disso, a associação entre propriedades maiores e menores estoques de biomassa sugere que o uso intensivo do solo em propriedades extensas contribui para a degradação florestal. Esse padrão reflete a expansão agropecuária e a fragmentação florestal que frequentemente resultam em desmatamento e uso do fogo como prática de manejo. Estudos como os de Flores *et al.* (2024) destacam que essas pressões antrópicas intensificam a susceptibilidade das florestas ao fogo e reduzem sua resiliência ecológica. Portanto, políticas públicas que promovam práticas sustentáveis e a proteção de florestas remanescentes, especialmente em propriedades maiores, são indispensáveis para mitigar os impactos negativos sobre os estoques de biomassa e fortalecer a capacidade das florestas de atuar como sumidouros de carbono.

7.2 Altura

A altura das árvores é um indicador crucial da estrutura florestal e reflete a saúde e a dinâmica dos ecossistemas florestais. Nossos resultados demonstram uma correlação negativa entre a frequência de incêndios e a altura da floresta (Figura 6-a). Isso indica que uma maior incidência de incêndios está associada a florestas mais baixas, sugerindo que incêndios recorrentes podem limitar o crescimento das árvores ou resultar na morte de árvores mais altas, levando a uma redução na altura média da vegetação. Estudos anteriores corroboram com esses achados, mostrando que incêndios frequentes alteram a estrutura das florestas, afetando particularmente as árvores de grande porte e resultando em uma diminuição da biomassa (Brando *et al.*, 2014; Barlow *et al.*, 2012).

A conversão de florestas em áreas agricultáveis é uma das principais causas de perda de biodiversidade nos trópicos (Newbold *et al.*, 2015). No entanto, há outros fatores antrópicos menos visíveis que contribuem para essa perda, como a exploração predatória de madeira e os incêndios florestais, que podem ocorrer isoladamente ou em combinação (Barlow *et al.*, 2016). No Brasil, as queimadas no meio rural estão intimamente ligadas ao manejo agrícola, sendo utilizadas como uma solução rápida e econômica para a produção, especialmente na agricultura e pecuária (De Ávila, 2019; May, 2019). O uso inadequado do fogo contribui significativamente para o desmatamento e está associado ao aumento das queimadas na Amazônia (Fuchs, 2020).

Os incêndios florestais também têm consequências graves para o ciclo hidrológico, afetando o transporte de umidade das florestas para regiões agrícolas no sul e sudeste do Brasil, o que resulta na redução das chuvas não apenas nessas áreas, mas também em outras regiões da América do Sul (Fearnside, 2005). Além disso, as florestas amazônicas não são adaptadas ao fogo (Cochrane e Schulze, 1999; Nóbrega *et al.*, 2019), o que faz com que incêndios provoquem uma alta mortalidade de árvores (Brando *et al.*, 2014; Xaud *et al.*, 2013; De Andrade *et al.*, 2019). O fogo atua como uma pressão seletiva, favorecendo espécies com características específicas, o que pode alterar a composição florestal (Nóbrega *et al.*, 2019) influenciando diretamente na estrutura vertical das florestas, resultando na diminuição da altura.

A recorrência de incêndios em curtos períodos representa uma ameaça ainda maior à resiliência das florestas, pois reduz a biomassa florestal, principalmente devido à perda de grandes árvores (DAP > 50 cm) (Martins *et al.*, 2012). Em estados como Mato Grosso e Pará, onde as queimadas são mais frequentes, o desmatamento e a conversão de terras para a agricultura e mineração aumentam a vulnerabilidade dessas áreas, o que demanda um

monitoramento ambiental abrangente e políticas públicas mais rigorosas para mitigar esses impactos (De Jesus *et al.*, 2020; Da Silva *et al.*, 2023).

Outra importante variável para explicar a variação da altura da floresta foi a idade da vegetação. Os resultados evidenciaram que florestas mais antigas tendem a apresentar árvores de maior altura (Figura 6-b), pois essas árvores têm mais tempo para crescer e ocupar o espaço vertical. Conforme as árvores envelhecem, seus diâmetros à altura do peito (DAP) e alturas totais ou comerciais tendem a aumentar, resultando em um maior acúmulo de matéria orgânica na planta (Ferreira *et al.*, 2019). As grandes árvores desempenham um papel fundamental no funcionamento da floresta. Devido ao seu tamanho, essas árvores interceptam maiores quantidades de luz solar, o que favorece a fotossíntese e as torna capazes de sequestrar elevadas taxas de carbono a (Andrade & Higuchi, 2009; Hubbel *et al.*, 1999).

A relação positiva entre a altura das árvores e o tamanho das florestas (Figura 6-c) é um fator crucial para o funcionamento dos ecossistemas florestais. Em grandes áreas de florestas nativas não perturbadas, as árvores tendem a crescer mais altas, pois dispõem de condições favoráveis, como a disponibilidade de espaço, recursos hídricos e estabilidade ecológica. Esse desenvolvimento em altura é importante não apenas porque permite que as árvores acessem mais luz solar, o que aumenta sua capacidade de realizar a fotossíntese e sequestrar carbono, mas também porque promove o acúmulo de biomassa e a ciclagem de nutrientes, essenciais para o equilíbrio do ecossistema (Ali & Wang, 2021; Bordin *et al.*, 2021; Pinho *et al.*, 2020).

Além disso, a proteção de grandes áreas de florestas intactas é fundamental para a conservação da biodiversidade (Watson *et al.*, 2018). Em paisagens onde a floresta permanece intocada, a diversidade estrutural e funcional aumenta, favorecendo tanto o crescimento vertical das árvores quanto a preservação de espécies que dependem desses habitats complexos. No entanto, grandes áreas de florestas não perturbadas são extremamente raras atualmente, o que torna sua preservação ainda mais crucial para a manutenção desses processos ecológicos vitais (Edwards, 2016). Portanto, a manutenção dessas florestas permite que as árvores alcancem grandes alturas, fortalecendo o papel das florestas na regulação do clima, na estocagem de carbono e no suporte à biodiversidade.

A área do imóvel mostrou uma influência positiva na altura das árvores observadas nas florestas (Figura 6-d), sugerindo que propriedades maiores tendem a apresentar vegetação com maior altura. Esse padrão pode estar associado à dimensão dos remanescentes florestais que, em imóveis maiores, geralmente são mais extensos. Áreas florestais amplas oferecem condições favoráveis para o desenvolvimento das árvores, permitindo que elas cresçam livremente e

alcancem alturas maiores. Esse ambiente propício pode ser resultado de menores níveis de fragmentação e maior continuidade das áreas vegetadas, o que beneficia o crescimento vertical da vegetação.

7.3 NDII

O Índice de Diferença Normalizada do Infravermelho (NDII) mede o conteúdo de umidade da vegetação e é sensível à quantidade de água nas folhas, sendo, por isso, uma ferramenta valiosa na agricultura para monitorar o teor de água em áreas irrigadas e em crescimento ativo. No caso das áreas agrícolas intensivas, a irrigação aumenta o conteúdo de água nas plantas, refletindo em NDII mais altos, já que as folhas em crescimento captam água diretamente mantendo maiores níveis de umidade (Sellers et al., 1997; Szilagyi, 2000). Esse resultado é reforçado pela relação positiva observada entre NDII e a porcentagem de área agrícola, sugerindo que tanto a irrigação quanto o vigor das culturas contribuem para elevar o índice.

Por outro lado, a relação negativa entre a porcentagem de floresta e o NDII reflete um fenômeno mais complexo, que não se limita apenas ao teor de água nas folhas. Em florestas, a alta densidade do dossel limita a penetração de luz, o que pode reduzir a taxa de transpiração e, conseqüentemente, o NDII (Datt, 1999). Além disso, a diversidade de espécies nas florestas, cada uma com padrões distintos de resposta hídrica e de tolerância à seca (Hinckley et al., 1978; McDowell et al., 2008), sugere que fatores como estrutura foliar, concentração de clorofila e capacidade de retenção de água nas folhas podem impactar a resposta espectral, resultando em valores mais baixos de NDII em comparação com áreas agrícolas irrigadas (Zhang & Zhou, 2015; Peñuelas et al., 1993, 1994).

Adicionalmente, a relação negativa entre a frequência de incêndios e o NDII nos fragmentos florestais pode ser atribuída ao impacto direto do fogo na estrutura da vegetação, que degrada folhas e caules e diminui a cobertura vegetal, reduzindo a superfície fotossintética e a retenção hídrica (Chuvieco et al., 2004). Isso também compromete a capacidade da vegetação de manter a funcionalidade hidráulica, limitando o armazenamento de água e aumentando a vulnerabilidade das árvores, especialmente em cenários de seca e calor extremo (Allen et al., 2015; Garcia & Tague, 2015).

Por fim, a fraca correlação entre a idade dos fragmentos e o NDII indica que o índice é mais influenciado por fatores de manejo, estresse hídrico e condições ambientais variáveis, em vez da idade propriamente dita. Isso sugere que o NDII reflete um conjunto de fatores relacionados ao uso da terra e manejo, incluindo práticas agrícolas e os impactos ambientais em

ecossistemas fragmentados, os quais são essenciais para a manutenção da integridade ecológica das florestas na Amazônia. Esses achados enfatizam a importância de uma abordagem multifatorial ao usar o NDII para entender a saúde e a integridade dos ecossistemas em regiões onde a interação entre a agricultura e a conservação florestal é intensa e dinâmica.

8. CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou que o manejo e as características das propriedades rurais influenciam de forma significativa a integridade dos remanescentes florestais na Amazônia Oriental. Propriedades com maior proporção de vegetação nativa e fragmentos florestais mais antigos apresentaram maiores estoques de biomassa e altura da vegetação, evidenciando a importância da conservação dessas áreas para mitigar os impactos do desmatamento e das queimadas. A relação negativa entre a frequência de incêndios e as métricas de integridade destaca os efeitos prejudiciais do fogo, que compromete não apenas a biomassa e a altura das árvores, mas também o vigor da vegetação, conforme indicado pelos índices de NDII.

Ao integrar dados de sensoriamento remoto e análises estatísticas robustas, este estudo contribui para a compreensão das dinâmicas ecológicas em paisagens agrícolas amazônicas e fornece subsídios para o planejamento de estratégias mais sustentáveis. Assim, políticas públicas que promovam a proteção dos remanescentes florestais, especialmente em propriedades menores e áreas altamente fragmentadas, são essenciais para a preservação da biodiversidade e o equilíbrio climático na região. Além disso, o fortalecimento do monitoramento ambiental e a redução de práticas de manejo que envolvam o uso do fogo podem mitigar os riscos de degradação, garantindo a sustentabilidade dos ecossistemas florestais amazônicos.

9. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Ulysses Paulino et al. Humans as niche constructors: Revisiting the concept of chronic anthropogenic disturbances in ecology. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 16, n. 1, p. 1-11, 2018.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALMEIDA, Arlete Silva de *et al.*, Potencial de pressão antrópica na região Nordeste Paraense, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 32, p. 1-18, 2022.

ALMEIDA, Catherine Torres De et al. Combining LiDAR and hyperspectral data for aboveground biomass modeling in the Brazilian Amazon using different regression algorithms. **Remote Sensing of Environment**, [S. l.], v. 232, n. March, p. 111323, 2019. DOI: 10.1016/j.rse.2019.111323. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111323>.

ALMEIDA, Fábio Souto; GOMES, Diego Silva; DE QUEIROZ, Jarbas Marçal. Estratégias para a conservação da diversidade biológica em florestas fragmentadas Strategies for the conservation of biological diversity in fragmented forests. **Ambiência**, v. 7, n. 2, p. 367-382, 2011.

AMANI, Meisam *et al.*, Google earth engine cloud computing platform for remote sensing big data applications: A comprehensive review. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 13, p. 5326-5350, 2020.

ANDRADE, Dárlison FC DE et al. Post-fire recovery of a dense ombrophylous forest in Amazon. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 91, n. 02, p. e20170840, 2019.

ANDRADE, Eleonora Alvarenga; HIGUCHI, Niro. Produtividade de quatro espécies arbóreas de Terra Firme da Amazônia Central. **Acta amazonica**, v. 39, p. 105-112, 2009.

ANDRADE, Ricardo Guimarães; HOTT, Marcos Cicarini; DE MAGALHÃES JUNIOR, Walter Coelho Pereira. Técnicas de geoprocessamento aplicadas à pecuária leiteira. 2022.

BARLOW, J. et al. Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. **Nature**, v. 535, n. 7610, p. 144-147, 2016. <https://doi.org/10.1038/nature18326>

BARLOW, Jos et al. Wildfires in bamboo-dominated Amazonian forest: impacts on above-ground biomass and biodiversity. **PLoS One**, v. 7, n. 3, p. e33373, 2012.

BASTOS, T. X.; MÜLLER, A. A.; PACHECO, N. A.; SAMPAIO, S. M. N.; ASSAD, E. D.; MARQUES, A. F. S. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do dendezeiro no Estado do Pará. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 564-570, 2001.

BORGES, Fernanda dos Santos. Lista de espécies com potencial para a restauração florestal na microrregião do Guamá, Pará, Amazônia, Brasil. Orientador: Lívia Gabrig Turbay Rangel Vasconcelos. 2019. 61f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Belém, PA, 2019.

BRANCALION, P. H. S.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. Restauração florestal. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 428p.

BRANCO A. F. V. C.; LIMA, P. V. P. S. L.; MEDEIROS FILHO E. S.; COSTA, B. M. G.; PEREIRA, T. P. Avaliação da perda da biodiversidade na Mata Atlântica. **Ciência Florestal**. v. 31, 2021, p. 1885-1909.

BRANDO, Paulo Monteiro et al. Abrupt increases in Amazonian tree mortality due to drought–fire interactions. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 17, p. 6347-6352, 2014.

Brasil. (2010b). Florestas do Brasil em resumo – 2010: dados de 2005-2010. Serviço de Florestal Brasileiro – Brasília: SFB, 2010.

BREUNIG, F. M. et al. Caracterização espectral e temporal da vegetação nativa do Parque Estadual do Turvo e da Terra Indígena do Guarita – RS, com produtos MODIS. *XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, p.1765, 2011.

BUCHI, Allan *et al.*, Mapeamento Geológico na Exploração Mineral com uso de SIG e Realidade Virtual: Estudos Metodológicos. **Rev Bras Cartogr**, v. 70, n. 4, p. 1310-1347, 2018.

CHAVEZ RO, CLEVERS JGPW, DECUYPER M, DE BRUIN S, HEROLD M (2016) 50 years of water extraction in the Pampa del Tamarugal basin: Can *Prosopis tamarugo* trees survive in the hyper-arid Atacama Desert (Northern Chile)? *J Arid Environ* 124:292–303

COCHRANE, Mark A.; SCHULZE, Mark D. Fire as a recurrent event in tropical forests of the eastern amazon: effects on forest structure, biomass, and species composition 1. **Biotropica**, v. 31, n. 1, p. 2-16, 1999.

COELHO, A. S., TOLEDO, P. M.; VIEIRA, I. C. G.; CANTO, O. do; ADAMI, M.; GOMES, A. R.; NARVAES, I. S. 2018. Impactos das mudanças de uso do solo nas áreas prioritárias para conservação da biodiversidade no nordeste do estado do Pará, Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais* 13, 107-120.

CORDEIRO, Iracema Maria Castro Coimbra; ARBAGE, Marcelo José Cunha; SCHWARTZ, Gustavo. Nordeste do Pará: configuração atual e aspectos identitários. 2017.

COSTANZA, Robert et al. Changes in the global value of ecosystem services. **Global environmental change**, v. 26, p. 152-158, 2014.

CRUZ, C. B. M.; SILVA, G. F.; CARVALHO, M. V. A. Análise espaço-temporal do desastre ambiental em Mariana-MG a partir das geotecnologias. **Revista de Geografia– Continentes**, v. 7, n. 13, p. 49-67, 2018.

DA SILVA, Richarde Marques; LOPES, Aricson Garcia; SANTOS, Celso Augusto Guimarães. Deforestation and fires in the Brazilian Amazon from 2001 to 2020: Impacts on rainfall variability and land surface temperature. **Journal of Environmental Management**, v. 326, p. 116664, 2023.

DA SILVA, Thiago Paixão; PONTES, Altem Nascimento; AMORIM, Ismael Alves. Alternativas ao uso do fogo na agricultura como forma de mitigar queimadas na amazônia. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e387985938-e387985938, 2020. DAMBROSKI, Almir Aurélio *et al.*, Estudo comparativo de ferramentas de software para processamento de dados georreferenciados obtidos a partir de VANTS. **Revista Prociências**, v. 4, n. 1, p. 54-68, 2021.

DE AVILA, S. R. S. Estudo exploratório sobre dinâmica do desmatamento em assentamentos localizados no território portal da Amazônia. **Retratos de Assentamentos**, v. 22, n. 1, p. 139-152, 2019.

DE LIMA SOUSA, Rafael *et al.*, Diagnóstico do uso e cobertura de terra e a qualidade da água superficial da microbacia do Pau Amarelo em São Francisco do Pará. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. e10510513641-e10510513641, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/13641>. Acesso em: 13 jan. 2023.

DE SERRA TALHADA, Acadêmica. Monitoramento Espaço-Temporal da Detecção de Mudanças em Vegetação de Caatinga por Sensoriamento Remoto no Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 01, p. 286-301, 2020.

DE SOUSA, Loana Francielle Alves; GIONGO, Pedro Rogério. REVISÃO DE LITERATURA: USO DO GEOPROCESSAMENTO NA AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE PASTAGENS. **Revista Sapiência: Sociedade, Saberes e Práticas Educacionais**, v.11, n. 01, p. 01-16, 2022.

DE SOUZA, Caio Cezar Ferreira *et al.*, Indicadores de desenvolvimento sustentável nos municípios do Nordeste Paraense. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 5, p. 451-462, 2020.

DI TORO, A. P. S. G. D. **Priorização de remanescentes florestais visando a conservação da biodiversidade**. Orientadora: Roberta Avena Valente. 2019. 47 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e uso de recursos renováveis) - Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2019.

DIULIANA, Leandro. Geotecnologias aplicadas às ciências ambientais: volume 1. 2021.

DO NASCIMENTO, Thays Valente; FERNANDES, Lindemberg Lima. Mapeamento de uso e ocupação do solo em uma pequena bacia hidrográfica da Amazônia. **Ciência e Natura**, v. 39, n. 1, p. 169-177, 2017.

DOS SANTOS RIBEIRO, Priscila *et al.*, Influência do desmatamento na temperatura do ar. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 01, p. 165-176, 2023.

DUBAYAH, Ralph *et al.*, The Global Ecosystem Dynamics Investigation: High-resolution laser ranging of the Earth's forests and topography. **Science of remote sensing**, v. 1, p. 100002, 2020.

DUNCANSON, L. I. *et al.*, The importance of spatial detail: Assessing the utility of individual crown information and scaling approaches for lidar-based biomass density estimation. **Remote Sensing of Environment**, v. 168, p. 102-112, 2015

DUTRIEUX LP, VERBESSELT J, KOOISTRA L, HEROLD M (2015) Monitoring forest cover loss using multiple data streams, a case study of a tropical dry forest in Bolivia. *ISPRS J Photogramm Remote Sens* 107:112–125

E SILVA, Arthur Amaral *et al.* Anthropic activities and the Legal Amazon: Estimative of impacts on forest and regional climate for 2030. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 18, p. 100304, 2020.

EDWARDS, David P. The rainforest's' do not disturb'signs. **Nature**, v. 535, n. 7610, p. 44-45, 2016.

FAHRIG, L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. **Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 34, p. 487–515, 2003.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 114-123, 2005.

FERREIRA, I. J. M. *et al.*, Landscape pattern changes over 25 years across a hotspot zone in southern Brazil. **Southern Forests**, v. 81, n. 2, p. 175-184, 2019.

FLOREANO, Isabela Xavier; DE MORAES, Luzia Alice Ferreira. Land use/land cover (LULC) analysis (2009–2019) with Google Earth Engine and 2030 prediction using Markov-CA in the Rondônia State, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 193, n. 4, p. 239, 2021.

FLORES, Bernardo M. *et al.* Critical transitions in the Amazon forest system. **Nature**, v. 626, n. 7999, p. 555-564, 2024.

FUCHS, V. B. Expansão de fronteira impulsionada pela China na Amazônia: quatro eixos de pressão causados pela crescente demanda pelo comércio de soja. **Civitas-Revista de Ciências Sociais**, v. 20, n. 1, p. 16-31, 2020.

GAO, Xiang *et al.*, Optical–biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. **Remote sensing of environment**, v. 74, n. 3, p. 609-620, 2000.

GARCIA, E. S.; TAGUE, C. L. Subsurface storage capacity influences climate–evapotranspiration interactions in three western United States catchments. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 19, n. 12, p. 4845-4858, 2015.

GARCIA, RC; ARAUJO, R. da C. de. Uso de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento para estimar áreas com e sem vegetação nos bairros de maior crescimento em São Luís-MA, durante os anos de 2000 e 2010. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 10, n. 5, pág. e27110515013, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i5.15013. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/15013>. Acesso em: 16 jan. 2023.

GARNETT, Stephen T. *et al.*, A spatial overview of the global importance of Indigenous lands for conservation. **Nature Sustainability**, v. 1, n. 7, p. 369-374, 2018.

GATICA-SAAVEDRA, Paula; ECHEVERRÍA, Cristian; NELSON, Cara R. Ecological indicators for assessing ecological success of forest restoration: a world review. **Restoration Ecology**, v. 25, n. 6, p. 850-857, 2017.

GONZAGA, Claudio Angelo Correa *et al.*, Sensoriamento remoto e o monitoramento da degradação florestal por entidades governamentais do Brasil. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, p. e28811528323-e28811528323, 2022.

Google Earth Engine. (2024). Earth Engine Data Catalog. Disponível em: <https://earthengine.google.com/>

Hinckley, T. M., Lassoie, J. P., & Running, S. W. (1978). Temporal and spatial variations in the water status of forest trees. *Forest Science*, 24(suppl_1), a0001-z0001.

HECKENBERGER, Michael J. *et al.* The legacy of cultural landscapes in the Brazilian Amazon: implications for biodiversity. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 362, n. 1478, p. 197-208, 2007.

HIGUCHI, Maria Inês Gasparetto; HIGUCHI, Niro. **A floresta amazônica e suas múltiplas dimensões: uma proposta de educação ambiental**. INPA;[Brasília]: CNPq, 2004.

HOMMA, A. K. O. Extrativismo vegetal na Amazônia: história, ecologia, economia e domesticação. Embrapa Amazônia Oriental-Livro científico (ALICE), 2014. 467p.

HOMMA, Alfredo Kingo Oyamma. (Org.). A civilização da pimenta do reino na Amazônia. In: A imigração japonesa na Amazônia: sua contribuição ao desenvolvimento agrícola. Brasília, DF: Embrapa, 2016

HORNING, N.; ROBINSON, J.; STERLING, E.; TURNER, W.; SPECTOR, S. Remote Sensing for the Ecology and Conservation. Reino Unido: Oxford University Press, 2010.

HUANG, S., TANG, L., HUPY, J.P. *et al.*, A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *J. For. Res.* 32, 1–6 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1>

HUBBELL, Stephen P. *et al.* Light-gap disturbances, recruitment limitation, and tree diversity in a neotropical forest. *Science*, v. 283, n. 5401, p. 554-557, 1999.

HUETE, Alfredo *et al.*, Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote sensing of environment*, v. 83, n. 1-2, p. 195-213, 2002.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. População. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 10 de Out. de 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/>.

IMAZON. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia – IMAZON. Desmatamento na Amazonia. 17 de agosto de 2022. Disponível em: <https://IMAZON.org.br/imprensa/para-lidera-ranking-de-desmatamento-da-amazonia-em-julho/>

JESUS, Janisson Batista de *et al.* Análise da incidência temporal, espacial e de tendência de fogo nos biomas e unidades de conservação do Brasil. *Ciência Florestal*, v. 30, p. 176-191, 2020.

JOINER, Joanna *et al.* Global relationships among traditional reflectance vegetation indices (NDVI and NDII), evapotranspiration (ET), and soil moisture variability on weekly timescales. *Remote sensing of environment*, v. 219, p. 339-352, 2018.

LANG, Nico *et al.*, Global canopy height regression and uncertainty estimation from GEDI LIDAR waveforms with deep ensembles. *Remote sensing of environment*, v. 268, p. 112760, 2022.

LEITE, Ana Paula; SANTOS, Gláucia Regina; SANTOS, Jannaylton Éverton Oliveira. Análise temporal dos índices de vegetação NDVI e SAVI na estação experimental de Itatinga utilizando imagens Landsat 8. *Revista brasileira de energias renováveis*, v. 6, n. 4, p. 606-623, 2017.

LEITE, Gabriella Teixeira Dias; PINHEIRO, Raissa Zachello Gomes; PAMBOUKIAN, Sergio Vicente Denser. Monitoramento de áreas de risco com a utilização de técnicas de geoprocessamento. *Revista Mackenzie de Engenharia e Computação*, v. 19, n. 1, 2019.

LI, Shuang et al. High-quality vegetation index product generation: A review of NDVI time series reconstruction techniques. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 105, p. 102640, 2021.

MA, Baodong *et al.*, Vegetation index differencing for estimating foliar dust in an ultra-low-grade magnetite mining area using landsat imagery. **Ieee Access**, v. 5, p. 8825-8834, 2017.

MAGNAGO, L. F. S.; MAGRACH, A.; LAURANCE, W. F.; MARTINS, S. V.; MEIRANETO, J. A. A.; SIMONELLI, M.; EDWARDS, D. P. Would protecting tropical forest fragments provide carbon and biodiversity cobenefits under REDD+?. **Global change biology**, v. 21, n. 9, p. 3455-3468, 2015.

MAPBIOMAS. Coleção [2024]. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 10 jul. 2024.

MARQUES, L. (s.d). Qgis: Tudo que você precisa saber. Descomplica Qgis. 2022. <https://descomplicaqgis.com.br/qgis-o-que-e-o-que-faz-e-para-que-serve>.

MARTINS, Flora da Silva Ramos Vieira et al. Effects of fire on above-ground forest biomass in the northern Brazilian Amazon. **Journal of Tropical Ecology**, v. 28, n. 6, p. 591-601, 2012.

MASSOLI, J. V.; STATELLA, T.; SANTOS, V. S. Forest fragmentation assessment on the Sepotubinha Drainage Basin, Nova Marilândia–MT: Ranging from the year 1990 to 2014. **Rev Caminhos de Geografia**. 2016.

MAY, P. H. Dilema da privatização: efeitos distributivos das mudanças no direito de propriedade sobre recursos extrativistas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 27, n. 4, p. 367-389, 2019.

MCDONALD, Tein *et al.*, Padrões internacionais para a prática da restauração ecológica—incluindo princípios e conceitos chaves. **Washington, DC: Society for Ecological Restoration**, 2016.

MELO, F. P.; ARROYO-RODRÍGUEZ, V.; FAHRIG, L.; MARTÍNEZ-RAMOS, M.; TABARELLI, M. On the hope for biodiversity-friendly tropical landscapes. **Trends in ecology & evolution**, v. 28, n. 8, p. 462-468, 2013.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, T. de. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. **Universidade de Brasília, Brasília**, 2012.

MORA, Francisco et al. Carbon accumulation in neotropical dry secondary forests: the roles of forest age and tree dominance and diversity. **Ecosystems**, v. 21, p. 536-550, 2018

MÜLLER, Antonio Agostinho; FURLAN JÚNIOR, José; CELESTINO FILHO, Pedro. A Embrapa Amazônia Oriental e o agronegócio do dendê no Pará. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 67p. (Documentos, 257). ISSN 1517-2201.

NASCIMENTO, F. Desmatamento zero na Amazônia: como e por que chegar lá. **Greenpeace**, 2017.

Nóbrega, C.C., Brando, P.M., Silvério, D.V., Maracahipes, L., Marco Jr., P., 2019. Effects of experimental fires on the phylogenetic and functional diversity of woody species in a neotropical forest. **Forest Ecology and Management**, v. 450, p. 117497, 2019.

NÓBREGA, Ranyére Silva. Impactos do desmatamento e de mudanças climáticas nos recursos hídricos na Amazônia ocidental utilizando o modelo SLURP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, p. 111-120, 2014.

NÓBREGA, Raul Araújo da. Geotecnologias aplicadas ao estudo espaço-temporal da degradação ambiental em São Jose de Espinharas–PB. 2020. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 2020.

NUNES, Sâmia et al. Unmasking secondary vegetation dynamics in the Brazilian Amazon. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 3, p. 034057, 2020.

Pará. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade. Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR-PA). Disponível em

<https://www.car.gov.br/publico/imoveis/index>. Acesso em 29 nov. 2023.

PASTOR-GUZMAN, Julio et al. Spatiotemporal variation in mangrove chlorophyll concentration using Landsat 8. **Remote sensing**, v. 7, n. 11, p. 14530-14558, 2015.

PAES, Raíssa Lopes; DA CRUZ, Benedito Ely Valente. SITUAÇÃO GEOGRÁFICA DA PRODUÇÃO PIMENTA DO REINO NO BRASIL. *Revista Comunicação Universitária*, v. 2, n. 1, p. 14-14, 2022.

PARÁ. Pará se destaca cada vez mais no cenário nacional de citrus devido à inexistência de pragas. *Agência Pará*, 14 jun. 2021. Disponível em: <https://agenciapara.com.br/noticia/28860/para-se-destaca-cada-vez-mais-no-cenario-nacional-de-citrus-devido-a-inexistencia-de-pragas>. Acesso em: 12 fev. 2025.

PEÑUELAS, J. et al. The reflectance at the 950–970 nm region as an indicator of plant water status. **International journal of remote sensing**, v. 14, n. 10, p. 1887-1905, 1993.

PETTORELLI, Nathalie et al. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. **Trends in ecology & evolution**, v. 20, n. 9, p. 503-510, 2005.

PIASENTIN, Flora Bonazzi; GÓIS, Susana Lins. Conservação de remanescentes florestais no Brasil: considerações sobre os principais instrumentos de gestão ambiental. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 36, 2016.

PIMENTEL, Débora *et al.*, Uso de Geotecnologias para regularização ambiental de propriedades rurais. **Diversitas Journal**, v. 8, n. 1, 2023.

PINHO, Bruno X. et al. Critical role and collapse of tropical mega-trees: A key global resource. In: *Advances in Ecological Research*. Academic Press, 2020. p. 253-294.

QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Versão 3.34. Disponível em: <https://qgis.org>. Acesso em: [05 de novembro].

R Core Team. (2024). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>

REZENDE, Camila Linhares *et al.*, From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. **Perspectives in ecology and conservation**, v. 16, n. 4, p. 208-214, 2018.

RISHMAWI, K.; HUANG, C.; ZHAN, X. Monitoring Key Forest Structure Attributes across the Conterminous United States by Integrating GEDI LiDAR Measurements and VIIRS Data. **Remote Sens.** 2021, 13, 442.

RITTER, C. D.; MCCRATE, G.; NILSSON, R. H.; FEARNESIDE, P. M.; PALME, U.; ANTONELLI, A. Environmental impact assessment in Brazilian Amazonia: Challenges and prospects to assess biodiversity. **Biological Conservation**, v. 206, p. 161-168, 2017

RODRIGUES SILVA, Felipe Gimenes et al. Geotechnology applied to analysis of vegetation dynamics and occurrence of forest fires on indigenous lands in Cerrado-Amazonia ecotone. **Sustainability**, v. 14, n. 11, p. 6919, 2022.

SAFAR, N.V.H.; MAGNAGO, L.F.S.; SCHAEFER, C.E.G.R. Resilience of lowland Atlantic forests in a highly fragmented landscape: insights on the temporal scale of landscape restoration. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 470, 118183, 2020.

SAITO, Nathalia Suemi *et al.*, Geotecnologia e ecologia da paisagem no monitoramento da fragmentação florestal. **Floresta e Ambiente**, v. 23, p. 201-210, 2016.

SANTOS, L. B. *et al.*, Usos da terra e conservação da biodiversidade na bacia hidrográfica do Rio Marapanim, Pará. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.12, n.03, 2019.

Sellers, P. J., et al. Modeling the exchanges of energy, water, and carbon between continents and the atmosphere. *Science*, 275(5299), 502-509, 1997.

SILVA, J.L.B., MOURA, G.B.A., SILVA, E.F.F., LOPES, P.M.O., SILVA, T.T.F., LINS, F.A.C., Silva, D.A.O., ORTIZ, P.F.S., 2019. Spatial-temporal dynamics of the Caatinga vegetation cover by remote sensing in municipality of the Brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** 14, 1-10.

SILVEIRA, Marcus VF et al. Amazon fires in the 21st century: The year of 2020 in evidence. **Global Ecology and Biogeography**, v. 31, n. 10, p. 2026-2040, 2022.

SILVÉRIO DV, REBELATTO B, OLIVEIRA AF DE, *et al* (2022) Mapeamento da agricultura perene no município de Capitão Poço. Belém - PA. <http://repositorio.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/1703>.

SPARROW, Ben D. et al. Effective ecosystem monitoring requires a multi-scaled approach. **Biological Reviews**, v. 95, n. 6, p. 1706-1719, 2020.

SZILAGYI, Jozsef. Can a vegetation index derived from remote sensing be indicative of areal transpiration?. **Ecological Modelling**, v. 127, n. 1, p. 65-79, 2000.

TAGLIABUE, Giulia et al. Sun-induced fluorescence heterogeneity as a measure of functional diversity. **Remote Sensing of Environment**, v. 247, p. 111934, 2020.

TARTARI, Rodrigo *et al.*, Evaluation of biophysical indices from TM Landsat 5 images in heterogeneous landscape in Southwestern Amazon. **Ambiente e Agua-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 10, n. 4, p. 943-953, 2015.

TAVARES, M. G. C. A formação territorial do espaço paraense: dos fortes à criação de municípios. **Acta Geográfica**, v. 2, n. 3, p. 59-83, 2010.

TIAN, Feng et al. Remote sensing of vegetation dynamics in drylands: Evaluating vegetation optical depth (VOD) using AVHRR NDVI and in situ green biomass data over West African Sahel. **Remote Sensing of Environment**, v. 177, p. 265-276, 2016.

United States Geological Survey (USGS). (2024). Landsat 8 Collection 2. Disponível em

https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT_LC08_C02_T1_L2

VECHI, A *et al.*, Diversidade e potencial de uso da vegetação em remanescente florestal urbano de Mata Atlântica. **Revista observatório de lá economia latinoamericana**, Curitiba, v.21, n.11, p. 22787-22809, 2023. Doi: BRANCO <https://doi.org/10.55905/oelv21n11-225>

Vicente-Serrano SM, Camarero JJ, Olano JM, Martín-Hernández N, Peña-Gallardo M, Tomás-Burguera M, Gazol A, Azorin-Molina C, Bhuyan U, El Kenawy A (2016) Diverse relationships between forest growth and the normalized difference vegetation index at a global scale. **Remote Sens Environ** 187:14–29

WATSON, James EM et al. The exceptional value of intact forest ecosystems. **Nature ecology & evolution**, v. 2, n. 4, p. 599-610, 2018.

XAUD, Haron Abraham Magalhães; MARTINS, Flora da Silva Ramos Vieira; DOS SANTOS, João Roberto. Tropical forest degradation by mega-fires in the northern Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 294, p. 97-106, 2013.

XUE, Jinru; SU, Baofeng. Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. **Journal of sensors**, v. 2017, 2017.

ZHANG, Feng; ZHOU, Guangsheng. Estimation of canopy water content by means of hyperspectral indices based on drought stress gradient experiments of maize in the north plain China. **Remote Sensing**, v. 7, n. 11, p. 15203-15223, 2015.

ZHU, Xiaolin; LIU, Desheng. Improving forest aboveground biomass estimation using seasonal Landsat NDVI time-series. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 102, p. 222-231, 2015.

ZHU, Xiufang; LI, Qingfen; GUO, Chunhua. Evaluation of the monitoring capability of various vegetation indices and mainstream satellite band settings for grassland drought. **Ecological Informatics**, v. 82, p. 102717, 2024.

ZUUR, Alain F. *et al.*, Mixed effects models and extensions in ecology with R. New York: **springer**, 2009.