

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**LUIZ HENRIQUE GONÇALVES DA SILVA**

**CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL E CONDIÇÕES  
ECOFISIOLÓGICAS DE FRAGMENTO URBANO DE FLORESTA  
ATLÂNTICA USANDO VANT E IMAGEM DE SATÉLITE**

**RECIFE-PE  
2021**

**LUIZ HENRIQUE GONÇALVES DA SILVA**

**CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL E CONDIÇÕES  
ECOFISIOLÓGICAS DE FRAGMENTO URBANO DE FLORESTA  
ATLÂNTICA USANDO VANT E IMAGEM DE SATÉLITE**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Florestal da Universidade Federal Rural de  
Pernambuco, como parte das exigências  
para obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Florestal.

Orientador(a): Rejane Magalhães de  
Mendonça Pimentel

**RECIFE-PE  
2021**

# LUIZ HENRIQUE GONÇALVES DA SILVA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S586c

Silva, Luiz Henrique Gonçalves da

CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL E CONDIÇÕES ECOFISIOLÓGICAS DE FRAGMENTO URBANO DE FLORESTA ATLÂNTICA USANDO VANT E IMAGEM DE SATÉLITE / Luiz Henrique Gonçalves da Silva. -2021.

36 f. : il.

Orientadora: Rejane Magalhaes de Mendonca Pimentel.

Inclui referências.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em Engenharia Florestal, Recife, 2022.

1. Índices Vegetacionais. 2. Fotogrametria. 3. Dendrometria. 4. Clorofila. I. Pimentel, Rejane Magalhães de Mendonca, orient. II. Título

---

**LUIZ HENRIQUE GONÇALVES DA SILVA**

**CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL E CONDIÇÕES  
ECOFISIOLÓGICAS DE FRAGMENTO URBANO DE FLORESTA  
ATLÂNTICA USANDO VANT E IMAGEM DE SATÉLITE**

Aprovado em 10 de dezembro de 2021.

BANCA EXAMINADORA

---

Dr. Emanuel Araújo Silva  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Dr. Rodrigo Eiji Hakamada  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Dra. Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel  
Orientadora – Universidade Federal Rural de Pernambuco

**RECIFE-PE  
2021**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus pais, Laudicea e Ivanildo, que sempre me apoiaram em minhas escolhas e me indicaram o melhor caminho, mesmo que não fosse o mais prático ou mais rápido, mas sempre o certo.

À minha família, que em momentos críticos me apoiou assiduamente.

Agradeço à Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel, que além de minha professora, foi e continua sendo uma grande amiga ao longo dessa etapa da minha vida, me acompanhando e orientando desde as primeiras semanas de aula até as últimas.

Agradeço à Thais Maranhão, por ser uma pessoa tão presente nos momentos difíceis que enfrentei, sempre me apoiando e acalmando em momentos conturbados.

À professora Josiclêda Domiciano Galvíncio, que disponibilizou grande parte dos dados essenciais para a construção desta pesquisa.

Agradeço ao Professor Rodrigo Eiji Hakamada, que me mostrou outras formas de enxergar a Engenharia Florestal e me conduziu a fazer parte dos 5%.

Agradeço a Maurício Borges do Nascimento, que, mesmo a maior parte do tempo estando distante, estava perto e me ajudou a desenvolver esse estudo, obrigado pelos cafés e pelas cervejas.

Agradeço a Pierre e Leonardo, por me ajudarem em momentos que eu sequer pensava que precisava de ajuda.

Agradeço aos meus companheiros de turma, pelos momentos inesquecíveis que compartilhamos, alô galera do surf.

Agradeço enormemente a todos que contribuíram, seja com palavras ou ações para minha formação.

Enfim, agradeço a mim mesmo, pois não desisti e me mantive impetuoso frente às adversidades que não foram poucas.

“Nossas maiores realizações não podem ficar para trás porque nosso destino está acima de nós.”

*Interstellar*

## RESUMO

Ao longo dos anos, a vegetação de Mata Atlântica está sendo submetida a um processo progressivo de supressão, principalmente por intervenções antrópicas, modificando diretamente a superfície e causando danos irreparáveis à biodiversidade deste complexo ecossistêmico de elevada importância, social, econômica e ambiental. Além disso, essas intervenções antrópicas aumentam ainda mais o processo de fragmentação o que torna mais relevante a busca por conhecimentos referentes à condição ecofisiológica de fragmentos dessa vegetação, que estão sob influência direta de efeitos antrópicos. Atualmente, uma metodologia viável para avaliar tais condições são as análises que usam o geoprocessamento e o sensoriamento remoto, que usam um conjunto de técnicas que permitem obter informações sobre alvos na superfície terrestre. Avaliando sua dinâmica espacial, permitindo estimar a altura de estruturas, e analisar o uso e cobertura do solo. E por meio dos Índices Vegetacionais é possível avaliar a condição ecofisiológica dos indivíduos que estão sendo avaliados. Dessa forma, o objetivo desse estudo é caracterizar a estrutura com o uso de imagens de drone e a condição ecofisiológica da vegetação de um fragmento urbano de Floresta Atlântica utilizando imagens do satélite CBERS 04A. Foi realizado um voo com um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) sobre um Fragmento de Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas localizado em Recife – PE, por meio dessa imagem foi realizada a classificação do uso e cobertura do solo, estimativa de indivíduos na área e identificação da altura desses indivíduos. Após isso, foram obtidas imagens de satélite com alta resolução para cálculo do *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e o *Green Chlorophyll Index* (GCI). Foram identificados 482 indivíduos, submetidos a diferentes níveis de antropização, no fragmento florestal estudado, apresentando altura similar a outras áreas do mesmo domínio fitogeográfico, variando entre 5,14m e 33,46m. O NDVI da área variou entre -0,21 e 0,93 e todos os locais onde foram identificados indivíduos arbóreos, por meio da análise de fotogrametria, apresentaram valores médios de NDVI superiores a 0,6 indicando que estes indivíduos estão fisiologicamente saudáveis. Os valores de GCI, nos pontos onde foram identificados indivíduos arbóreos, foram superiores a 2,37 g/m<sup>2</sup> e os maiores valores maiores para esse índice foram encontrados na região mais centralizada do fragmento em estudo. O valor encontrado foi superior ao mensurado em cultivos agrícolas. Por meio desse estudo foi perceptível avaliar que a fotogrametria é um método viável para mensurar a altura de indivíduos arbóreos, principalmente pela qualidade das imagens que são obtidas. E a avaliação por meio dos Índices Vegetacionais indica que essa vegetação está fisiologicamente saudável e possui um teor de clorofila (g/m<sup>2</sup>) estimado pelo GCI, superior a plantios homogêneos de culturas agrícolas.

**Palavras-chave:** Índices Vegetacionais; Fotogrametria; Dendrometria, Clorofila.

## ABSTRACT

Over the years, the Atlantic Forest vegetation has been subjected to a progressive suppression process, mainly by anthropogenic measures, directly modifying the surface and causing irreparable damage to the biodiversity of this highly important social, economic and environmental ecosystem complex. In addition, these anthropic interventions further increase the fragmentation process, which searches for knowledge regarding the ecophysiological condition of fragments of this vegetation, which are under the direct influence of anthropic effects, more relevant. Currently, a viable methodology to assess such conditions is analyses that use geoprocessing and remote sensing, which uses techniques that allow obtaining information about targets on the soil surface, assessing its spatial dynamics, estimating the height of structures, and analyzing land use and cover. Furthermore, through the Vegetation Indexes, it is possible to assess the ecophysiological condition of those being registered. Thus, the study aimed to characterize a structure and an ecophysiological condition of the vegetation of an urban fragment of the Atlantic Forest. A Unmanned Aerial Vehicles (UAV) flight was carried out over a Fragment of Dense Ombrophilous Forest in the Lowlands located in Recife - PE. These images classified the land use and cover; they estimated the number of Individuals in the Area and their Height. After that, high-resolution satellite images were used to calculate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Green Chlorophyll Index (GCI). It was identified 482 non-study forest fragments, submitted to a different level of anthropization, similar to other areas of the same phytogeographic domain, oscillating between 5.14m and 33.46m height. The NDVI of the area ranged between -0.21 and 0.93, and all places where arboreal trees were identified, through photogrammetry analysis, mean ND values greater than 0.6, indicating that they are physiologically healthy. The GCI values at the points where arboreal trees were identified were above 2.37 g/m<sup>2</sup>, and the highest values for this index were found in the most centralized region of the fragment under study. The value found was higher than that measured in crops. This study showed that photogrammetry is a viable method to measure the height of standing trees, mainly due to the quality of the provided images. Moreover, the evaluation through the Vegetation Indices indicates that this vegetation is physiologically healthy and has a chlorophyll content (g/m<sup>2</sup>) estimated by the GCI, superior to homogeneous plantations of crops.

**Keywords:** Vegetation Indexes; Photogrammetry; Dendrometry; Chlorophyll.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do fragmento florestal em área urbana no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE.....	19
Figura 2 - Modelo Digital de Superfície de um fragmento de Floresta Ombrófila Densa na Cidade do Recife, no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, em Pernambuco .....	22
Figura 3 - Modelo Digital de Terreno de um fragmento de Floresta Ombrófila Densa na Cidade do Recife, no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, em Pernambuco.....	23
Figura 4 - Distribuição de indivíduos em classes de altura, usando drone, estabelecidos em um fragmento de Floresta Ombrófila Densa na Cidade do Recife, no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, em Pernambuco. ....	24
Figura 5 - Distribuição geográfica e classificação em altura dos indivíduos, usando drone, estabelecidos em um fragmento de Floresta Ombrófila Densa na Cidade do Recife, no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, em Pernambuco. ....	24
Figura 6 - Ortomosaico de imagens capturadas por meio de um voo de drone sobre um fragmento de Floresta Ombrófila Densa na Cidade do Recife, no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, em Pernambuco.....	25
Figura 7 - Resposta espectral por meio de Índices Vegetacionais de um fragmento de Floresta Ombrófila Densa na Cidade do Recife, no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, em Pernambuco.....	28

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de altura, número de indivíduos, altura média, média de <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (NDVI), média de <i>Green Chlorophyll Index</i> (GCI) de indivíduos arbóreos de um fragmento de Floresta Ombrófila Densa na Cidade do Recife. .....	26
---	----

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	11
2	OBJETIVOS .....	14
	2.1 <i>Objetivo Geral</i> .....	14
	2.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	14
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	15
	3.1 <i>Histórico de degradação da Mata Atlântica</i> .....	15
	3.2 <i>Ecofisiologia e Índices Vegetacionais</i> .....	17
	3.3 <i>Aplicações de geotecnologias</i> .....	18
4	MATERIAL E MÉTODOS .....	19
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	22
6	CONCLUSÕES .....	28
	REFERÊNCIAS .....	29

## 1 INTRODUÇÃO

Florestas Tropicais são formações que apresentam importância ecológica devido a biodiversidade que abrigam (COSTA, 2008). Dentre as de ocorrência no Nordeste do Brasil, destaca-se a Mata Atlântica, especificamente o domínio fitogeográfico de Floresta Ombrófila Densa. Por suas características distintas das demais formações, estão sob a influência de altos índices de precipitação, com distribuição regular ao longo do ano e é considerada um domínio fitogeográfico caracterizado por fanerófitos, além de lianas lenhosas e epífitas em abundância (IBGE, 2012).

No âmbito socioeconômico, o uso da vegetação de Mata Atlântica é amplamente diversificado, uma vez que ela possui um alto potencial etnofarmacológico, pela elevada biodiversidade, permitindo a produção de fitomedicamentos. O conhecimento tradicional do uso dessa vegetação é altamente relevante pois algumas comunidades possuem acesso restrito a recursos terapêuticos por meio do uso dessas plantas medicinais (PINTO; AMOROZO; FURLAN, 2006).

Ao longo dos anos, essa vegetação vem sendo submetida a um processo progressivo de supressão, principalmente por intervenções antrópicas, modificando diretamente o fluxo de calor da superfície e causando danos irreparáveis à biodiversidade deste complexo ecossistêmico de elevada importância, social, econômica e ambiental (MYERS et al., 2000; MMA, 2010).

Essas florestas afetam diretamente o clima, por meio de processos simultaneamente físicos, químicos e biológicos, que nelas ocorrem, modificando o albedo da superfície terrestre, combatendo os efeitos de desconfortos térmicos causados pela crescente urbanização e aumentando a qualidade do ar. Dessa forma, para alcançar a sustentabilidade de ecossistemas urbanos em elevado ritmo de expansão, é necessária a gestão integral da vegetação urbana e o apoio da comunidade local (MOCK, 2005).

Segundo a Fundação SOS Mata Atlântica e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE (2021), em Pernambuco, a área ocupada atualmente pela Mata Atlântica é de 12,3%, sendo inferior aos 17% previstos na Lei nº 11.428 de 2006, popularmente conhecida como “Lei da Mata Atlântica”. Parte dessa vegetação, localizada nas margens de qualquer curso d’água natural perene e intermitente, no entorno dos lagos e lagoas naturais, no entorno dos reservatórios d’água artificiais, no entorno das nascentes e dos olhos d’água perenes, encostas com declividade superior a 45°, restingas, manguezais e topos de morro, são, segundo a Lei Nº 12.651, de 2012, uma Área de Preservação Permanente (APP).

Isso torna mais alarmante a busca por conhecimentos referentes à condição bioecológica de fragmentos dessa vegetação, que estão sob influência direta de efeitos antrópicos. Guimarães (2010), ao avaliar a condição ambiental de fragmentos de Mata Atlântica na Região Metropolitana do Recife ao longo dos anos, pontuou que a degradação dessa vegetação é acentuada quando no entorno de áreas urbanas. Este fato denota a importância de um acompanhamento mais assíduo das condições dessa vegetação.

A fragmentação de florestas ocorre, principalmente, pelo aumento no isolamento desses fragmentos e pela diminuição da sua extensão e impactos externos, como é o caso das intervenções antrópicas, que limitam cada vez mais as áreas da vegetação de Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas (BRANDÃO, 2013).

Dentre as espécies vegetais de ocorrência nestas florestas, as que possuem porte arbóreo apresentam destaque devido a sua importância ecológica (MACIEL, 2003). O dossel é formado pelas copas das árvores, local onde se localiza a maior quantidade de folhas, que é o principal órgão fotossintetizante das árvores e são responsáveis por sequestrar o carbono da atmosfera, absorver a radiação solar e produzir os fotoassimilados necessários para a permanência do indivíduo no ecossistema. Entretanto, o sistema fotossintetizante é altamente sensível a estresses ambientais e avaliar as condições ecofisiológicas dos indivíduos é essencial para entender o comportamento deles onde existe a influência antrópica direta, permitindo inferir sobre a vulnerabilidade espacial dessa vegetação (STRATOULIAS et al., 2015; THAKUR, 2021).

Atualmente, uma metodologia viável para avaliar tais condições são as análises de geoprocessamento e o sensoriamento remoto, que usam um conjunto de técnicas que permitem obter informações sobre alvos na superfície terrestre. Avaliando sua dinâmica espacial, por meio de Modelos Digitais de Elevação (MDE), pode-se estimar a altura de estruturas, permitindo análises referentes ao uso e cobertura do solo, e usando a interação da radiação eletromagnética com a superfície, inferir sobre a condição da vegetação, por meio do comportamento espectral interpretado pelos Índices Vegetacionais (IV).

Entretanto, ao aplicar esses métodos, deve-se ter atenção, pois a precisão, a exatidão e a possibilidade de aplicação destes métodos estão vinculadas a uma série de limitações, principalmente quanto à qualidade das imagens que serão utilizadas e à quantidade de nuvens (LI et al., 2014). Nesse aspecto, uma das alternativas desenvolvidas para minimizar essas dificuldades é o uso de imagens capturadas por Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), que, dependendo dos sensores acoplados a eles, permite a realização de análises com uma precisão maior quanto comparada às imagens de satélite (BANU; BORLEA; BANU, 2016).

Todavia, satélites como o CBERS 04A, possuem câmeras com sensores capazes de identificar respostas espectrais de faixas mais amplas que as câmeras comumente utilizadas por VANTs (BEZERRA; SANO; FERREIRA, 2007).

## **2 OBJETIVOS**

### *2.1 Objetivo Geral*

Caracterizar a estrutura e a condição ecofisiológica da vegetação de um fragmento urbano de Floresta Atlântica.

### *2.2 Objetivos Específicos*

Descrever a estrutura da vegetação arbórea de um fragmento urbano de Floresta Atlântica com o uso de imagens de VANT;

Avaliar a condição ecofisiológica da vegetação de um fragmento urbano de Floresta Atlântica utilizando imagens de Satélite.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Histórico de degradação da Mata Atlântica

O Processo de fragmentação florestal na Mata Atlântica teve início no Brasil Colônia, especificamente por meio de uma exploração negligente promovida pelos povos europeus que utilizaram, de forma ampla, todos os recursos possíveis das terras brasileiras. Começaram extraindo árvores de interesse, (como o Pau-Brasil) e, posteriormente, se tornaram responsáveis pelo primeiro esquema de implementação do modelo latifundiário de produção. Tal processo, além de ignorar todo o conhecimento acumulado pelos povos originários, se caracterizou pelo cultivo de monoculturas, explorando as riquezas dos solos brasileiros (HOLANDA, 1995; JECUPÉ, 1998). Deste modo, ocorreu a realidade das florestas brasileiras, por séculos, até que começaram a ser discutidas a implementação e o desenvolvimento de políticas e legislações conservacionistas e preservacionistas, buscando a proteção dos recursos naturais. Entretanto, isto sempre esteve ancorado ao ideal antropocêntrico, priorizando as necessidades do sistema econômico capitalista (FILOCREÃO, 1992).

No século XX, diversos foram os encontros e as conferências que tiveram como pauta a conservação do meio ambiente, como a Conferência de Estocolmo (Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano), que ocorreu em 1972, e teve como principal resultado uma declaração final oficial, na qual designava a premissa de que gerações futuras e a população mundial teriam o direito de viverem em um ambiente com saúde e sem degradações, afirmação esta que está inclusa na própria Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 que explicita:

Art. 225º - Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988).

Todavia, dados de estudos atuais somente verificam uma crescente degradação da vegetação nativa (LISBINSKI et al., 2021; MALAQUIAS et al., 2021). Especificamente tratando da Mata Atlântica, relatórios atuais de órgãos governamentais indicam uma degradação progressiva da sua vegetação ao longo de todo o território Nacional (Fundação SOS Mata Atlântica, 2021). Este fato se torna mais alarmante devido a Mata Atlântica ser considerada um *hotspot* da biodiversidade. Devido a esse fato, diversos são os estudos



investigando os domínios fitogeográficos desse bioma, sob os mais diferentes aspectos, seja da fauna ou da flora, considerados locais de relevância social, ambiental e comercial de valor inigualável (VALE et al., 2018; SILVA et al., 2015; SCARANO; CEOTTO, 2015). De acordo com Souza et al. (2010), estudos investigando as condições ecofisiológicas dessa vegetação são relevantes, pois permitem inferir sobre o grupo funcional das espécies estabelecidas na vegetação, abordando a capacidade de resiliência dessas plantas. Este aspecto se torna relevante quando observado no contexto das mudanças climáticas e a influência das ações antrópicas sobre a fragmentação dessa vegetação (PIMENTEL; SILVA, 2020).

Leite e Melo Júnior (2020), ao avaliar os grupos funcionais na Mata Atlântica, afirmam que, quando fragmentada, esta vegetação tende a sofrer a inserção de espécies pioneiras, modificando a dominância florística da vegetação e retardando o processo de sucessão ecológica, tornando-se, dessa forma, mais vulnerável.

Atuando em conjunto, as diversas intervenções antrópicas, como a especulação imobiliária e o agronegócio, intensificam a fragmentação florestal, provocando uma perda da biodiversidade no local que foi degradado e uma quebra no fluxo gênico entre duas localizações. Ainda que, atualmente, estejam sendo investigadas formas de romper com os modelos produtivos impostos pelo agronegócio, estamos longe de um cenário “ideal”, onde seja possível assegurar que esse complexo ecossistêmico de elevada importância possa existir em gerações futuras (TUBENCHLAK et al., 2021). Portanto, são relevantes as metodologias que promovem a conservação, a preservação e o melhoramento de técnicas de manejo sustentável e recuperação de áreas degradadas (MYERS et al., 2000).

As árvores estabelecidas em fragmentos florestais possuem um papel essencial no processo de sucessão ecológica, pois proporcionarão o efeito de nucleação e, posteriormente, condições microclimáticas para o estabelecimento de novas espécies e alimento para animais que auxiliarão no equilíbrio ecológico deste complexo ecossistêmico (TRENTIN et al., 2018). Em um estudo de Garcia et al. (2011), abordando a recuperação de áreas degradadas, o estabelecimento de árvores de espécies classificadas como secundárias iniciais e tardias é o fator mais influente para explicar o estágio de regeneração avançado e o sucesso na perpetuação deste fragmento florestal.

Rocha (2021), ao estudar formas de avaliar a manutenção da biodiversidade em povoamentos florestais inequidanos, verificou que parâmetros dendrométricos, como a altura e a área ocupada pela copa dos indivíduos, são capazes de influenciar, diretamente, técnicas de manejo mais coerentes para a aplicação nestes povoamentos, visando a sua

conservação. Outra metodologia para inferir sobre a vulnerabilidade dessa vegetação é avaliar as condições ecofisiológicas desse grupo funcional (BELLARD et al., 2014).

### 3.2 Ecofisiologia e Índices Vegetacionais

A ecofisiologia de espécies da Mata Atlântica tem sido investigada com diferentes abordagens, envolvendo práticas de manejo, objetivando o reflorestamento de vegetação nativa (CAMPOE et al., 2014). Além disso, é também considerada a determinação de funções ecológicas, aplicando modelos digitais de elevação, usando atributos morfológicos e índices de vegetação (SCHINDLER et al., 2021).

As avaliações ecofisiológicas são realizadas, principalmente, de duas formas: *in situ*, utilizando equipamentos específicos que irão mensurar diversas variáveis ambientais e fisiológicas dos indivíduos, como termômetros, higrômetros, luxímetros, estimadores de clorofila, porômetros e espectroradiômetros, que irão avaliar, individualmente, as árvores estabelecidas nesse ambiente; e *ex situ*, fazendo uso principalmente de análises de geoprocessamento e sensoriamento remoto e, por meio dos Índices de Vegetação (IV), por meio da interação do espectro eletromagnético da superfície do dossel com os sensores implantados em satélites e Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) (KOTIVUORI et al., 2020). Estes IV permitem avaliar as condições fisiológicas da vegetação estabelecida nesse ambiente, ou seja, a ecofisiologia, permitindo inferir sobre as influências de agentes abióticos e bióticos, sendo uma ferramenta bastante eficiente no monitoramento ambiental (JENSEN, 2009). Entretanto, essa avaliação está completamente vinculada à complexidade da área e do objeto de estudo, podendo haver respostas diferentes quanto às interações da radiação eletromagnética com a superfície em questão (reflectância, absorvância e transmitância), sendo necessário o conhecimento dos parâmetros que irão influenciar nos valores obtidos.

A análise da condição da vegetação é investigada por meio do uso de índices de vegetação, destacando-se o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e o *Green Chlorophyll Index* (GCI).

O uso do NDVI relacionado à ecofisiologia vegetal permite inferências como avaliações relacionadas à expansão de fragmentos vegetacionais, à produtividade de plantios comerciais de *Eucalyptus* e à vulnerabilidade ambiental, pois esse índice é capaz de inferir sobre a atividade da clorofila nas folhas (CHEN et al., 2021; THAKUR et al., 2021; LE MAIRE et al., 2011)

O GCI é amplamente utilizado para estimar a eficiência de uso da luz para a produção de fotoassimilados e, dessa forma, inferir sobre a produtividade e a nutrição de uma floresta, plantada ou natural. (OLIVEIRA et al., 2017; WU et al., 2012).

### 3.3 Aplicações de geotecnologias

Quando objetivamos inferir sobre grandes áreas, as técnicas e os métodos alinhados às Geociências se tornam altamente relevantes, pois permitirão avaliações em uma escala de área muito maior e mais viável economicamente para inferir sobre povoamentos inteiros, do que apontamentos em campo.

Alinhado a isso, destaca-se o uso de VANTs, pois esses permitem uma avaliação mais precisa, quando comparada ao uso de satélite, pois suas imagens possuirão uma qualidade mais elevada. Entretanto, as câmeras e sensores acoplados a esse equipamento serão o fator limitante na avaliação, como, por exemplo, é a ausência de um sensor capaz de mensurar as respostas espectrais da banda do Infravermelho Próximo (NIR). Limitação essa que não existe ao utilizarmos imagens de Satélite como o CBERS 04A (*China-Brazil Earth Resources*), que foi lançado em dezembro de 2019. Nesse Satélite, destaca-se a Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM) pela resolução espacial de suas imagens 2m (pancromática) e 8m (multiespectral).

O uso do geoprocessamento na estimativa de medidas dendrométricas de difícil obtenção, como a altura, é amplamente estudado no âmbito de povoamentos equiâneos (SILVA et al., 2021; ALMEIDA et al., 2021). No Brasil, destacam-se as avaliações em plantios de espécies pertencentes ao gênero *Pinus* e *Eucalyptus*, especialmente porque esses gêneros são considerados os de maior importância econômica. Atualmente, plantios desses gêneros são designados para os mais diversos usos, como serraria, celulose e fins energéticos, em todas as regiões do Brasil, sob diferentes condições topográficas e climáticas.

Estudos atuais utilizando técnicas de geoprocessamento, associadas às avaliações de índices espectrais, estão sendo investigadas, atualmente, como ferramenta para a realização de inventários quali/quantitativos, verificando a viabilidade e a segurança de aplicação dessas metodologias em diversos aspectos, enfatizando o fator econômico, uma vez que não diminui, significativamente, o trabalho em campo (FAYAD et al., 2021; YAMADA et al., 2021).

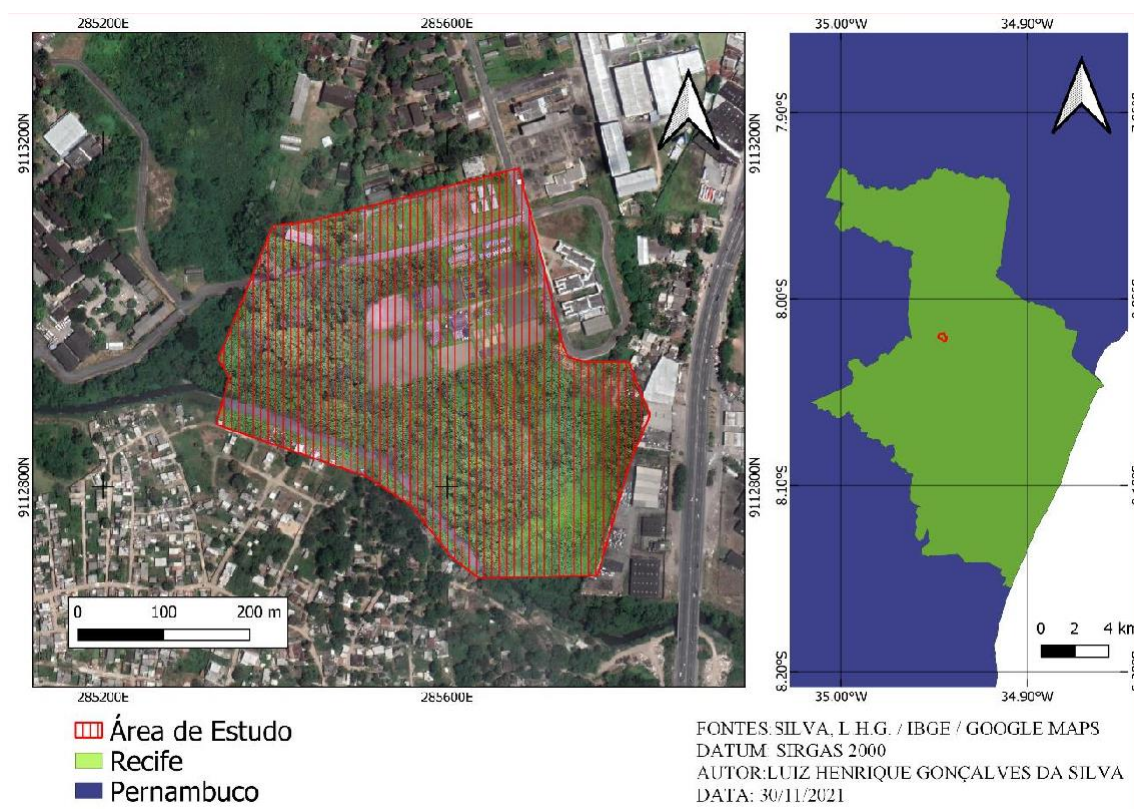
Merecem destaque os avanços nos métodos relacionados ao geoprocessamento e ao sensoriamento remoto no setor florestal. Portanto, verificar todas as aplicabilidades dessas técnicas, além da importância econômica direta, é de grande relevância.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma área com fragmento florestal de Mata Atlântica no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, em Recife, Pernambuco, Brasil.

Foi realizado voo com um drone, Modelo DJI Phantom 3, com uma câmera capaz de capturar imagens nas bandas RGB, capturando fotografias aéreas nas coordenadas geográficas  $8^{\circ}01'17.03''\text{S}$  e  $34^{\circ}56'37.81''\text{O}$  (Figura 1).

Figura 1 - Localização do fragmento florestal em área urbana no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE.



Foram capturadas 43 fotografias aéreas ao longo de um voo realizado às 11h00min (horário local), no dia 13 de setembro de 2021, sob céu claro e sem nuvens, com duração de 20 minutos. Essas fotografias foram submetidas ao programa *Agisoft Metashape Professional 1.7.4* (Agisoft LLC.), onde foi elaborado o Modelo Digital de Superfície (MDS), que, posteriormente foi recortado em um formato contendo apenas o fragmento vegetacional que foi selecionado como objeto desse estudo.

Foi elaborado o Modelo Digital de Terreno (MDT) usando a interpolação de pontos, com pontos previamente identificados por meio do mapeamento de uso e ocupação do solo como terreno, segundo a classificação de imagem do *Agisoft Metashape Professional 1.7.4*, com o auxílio do programa Qgis 3.18.3-Zürich, estimando assim o relevo da área de estudo.

Estes modelos foram utilizados para a caracterização da estrutura da vegetação por meio do programa SAGA 2.3.2, para a identificação e a classificação, em altura, dos indivíduos de porte arbóreo existentes na área aplicando um filtro Gaussiano, que suaviza a imagem removendo ruídos, e submetendo as imagens a uma segmentação *watershed* (ZHAO; POPESCU, 2007). O centro da primeira classe foi de 7,5 m com intervalos de 5 m até a classe que contemplasse o indivíduo mais alto.

Adicionalmente foi elaborado o ortomosaico da superfície do local de desenvolvimento deste estudo com pixels de 44 cm de resolução.

Para a determinação da condição ecofisiológica foram obtidas imagens, capturadas pela Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM) do satélite CBERS 04 em dezembro de 2020, pois foi a data mais recente, sem cobertura de nuvens, nem sombreamento na área de estudo.

Após a obtenção das cenas necessárias, elas foram ajustadas e submetidas a um processo de fusão de imagens, onde cada cena, contendo as bandas, que foram utilizadas para a avaliação dos IVs (Vermelho, Verde e Infravermelho próximo), ajustada para a resolução da banda Pancromática (2m x 2m), com o auxílio do complemento *OrfeoToolBox* do Qgis 3.18.3-Zürich (GRIZONNET et al., 2017). Este complemento segmenta o processo de fusão da imagem em um estágio de sobreposição onde a banda é reamostrada na resolução de 2m e após é realizado um cálculo de valores de pixel entre as imagens sobrepostas com a imagem pancromática e então essa imagem está pronta para ser usada (SUPRAYOGI e BASHIT, 2019).

Os IVs, os selecionados para a análise da vegetação foram: *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), mensurado por meio do uso de bandas eletromagnéticas do vermelho e do infravermelho próximo (NIR), capaz de inferir sobre a atividade da clorofila nas folhas, permitindo a avaliação da ecofisiologia dos indivíduos presentes na área expresso pela equação:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Vermelho}) / (\text{NIR} + \text{Vermelho})$$

O *Green Chlorophyll Index* (GCI), que estima teores de clorofila em plantas por meio das bandas do NIR e do verde, permite inferir sobre a saúde da vegetação, expresso pela equação:

$$\text{GCI} = (\text{NIR}) / (\text{Green}) - 1$$

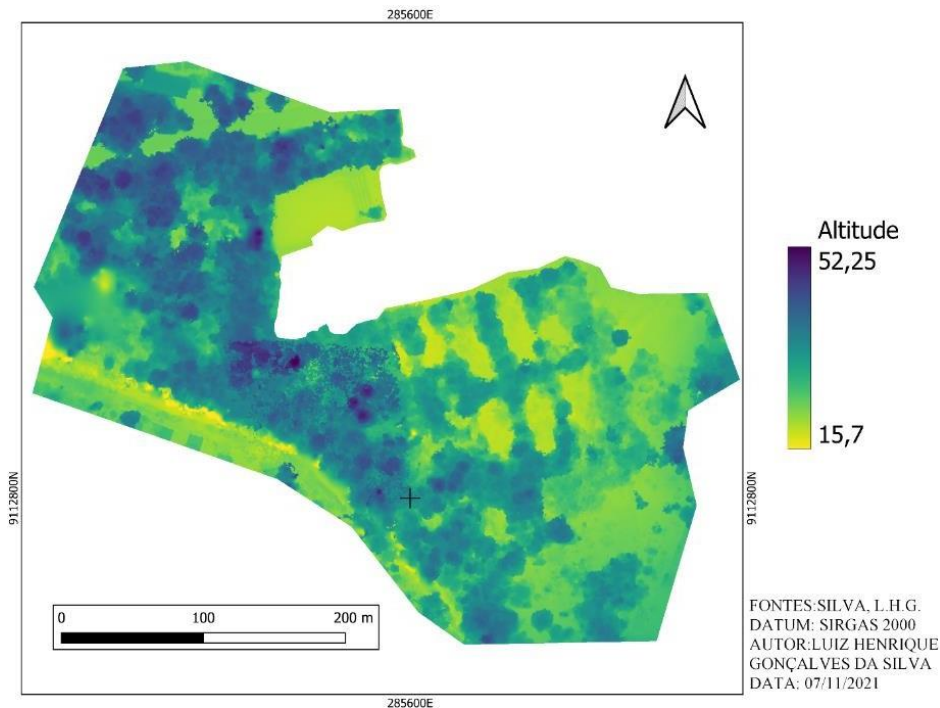
Os índices vegetacionais utilizados para a avaliação ecofisiológica do fragmento em estudo foram o NDVI e o GCI (LECHNER et al., 2020; THAKUR et al., 2021).

Todos os dados foram submetidos às análises estatísticas por meio do programa R (R CORETEAM, 2021).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área de estudo apresentou, em seu MDS, altitudes variando entre 15,7m e 52,25m (Figura 2).

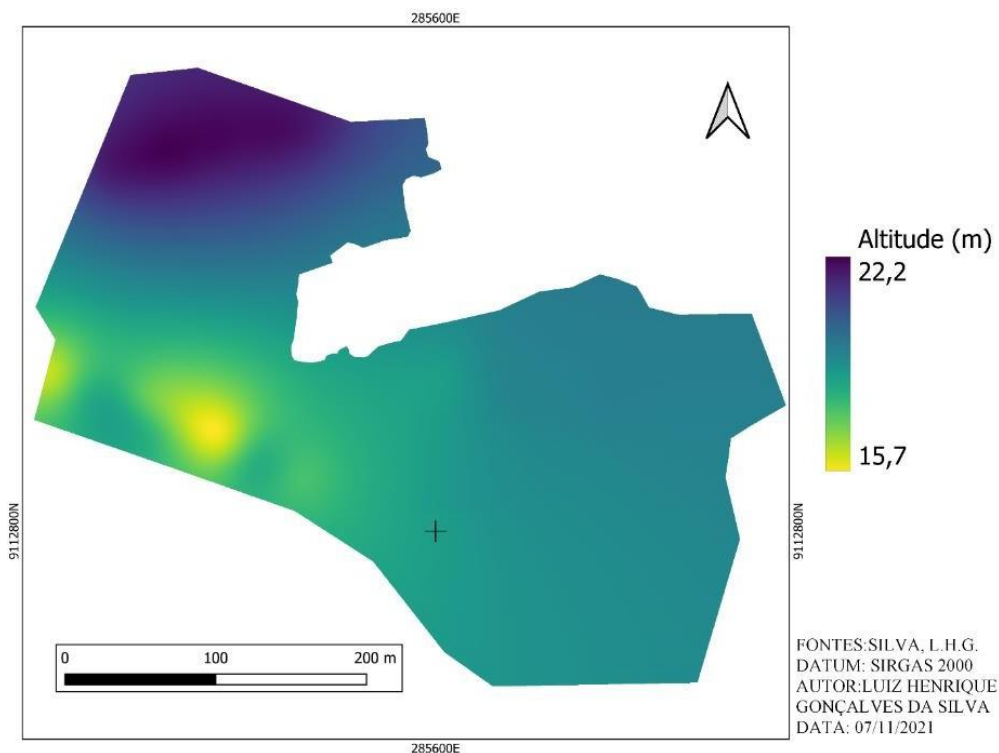
Figura 2 - Modelo Digital de Superfície de um fragmento de Floresta Ombrófila Densa na Cidade do Recife, no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, em Pernambuco



Deste modo, considerando a sua fitofisionomia, o fragmento foi classificado como Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, possuindo diversas espécies de importância socioeconômica, com indivíduos apresentando alturas similares àquelas encontradas em inventários realizados em áreas próximas (SANTOS, 2018). Além disso, pode-se considerar a estrutura, em altura, desse fragmento, similar a outros fragmentos de Floresta Ombrófila Densa que estão sob diferentes graus de influência antrópica (ALVES JR. et al., 2006).

O relevo da área, estimado por meio do MDT, apresentou altitudes variando entre 15,7m e 24,06m (Figura 3).

Figura 3 - Modelo Digital de Terreno de um fragmento de Floresta Ombrófila Densa na Cidade do Recife, no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, em Pernambuco.

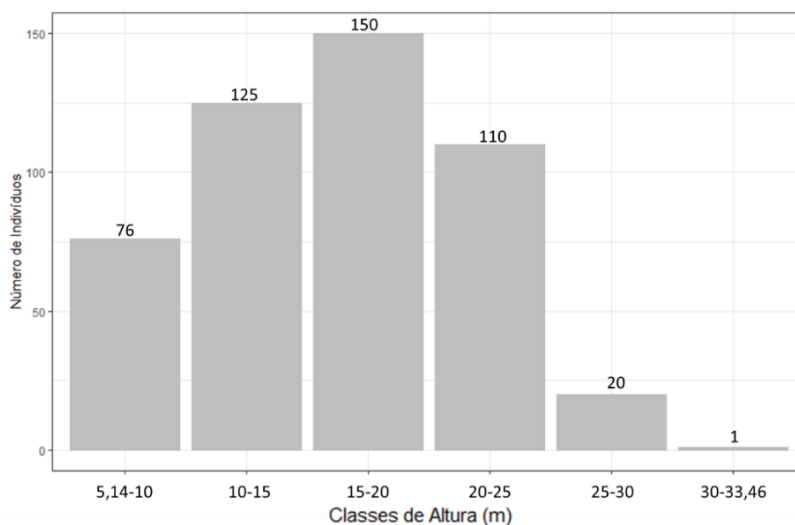


A Cidade do Recife apresenta variadas altitudes, pois a estrutura geomorfológica de Pernambuco tem uma heterogeneidade de relevo, com formações como morros (SOUZA; CORRÊA; SILVA, 2017). Isto explica o fato desse fragmento possuir altitude acima da média da cidade em que se encontra (MOREIRA; GALVÍNIO, 2007).

Nesta área foram identificados 482 indivíduos de porte arbóreo, com altura variando entre 5,14m e 33,46m e a quantidade de indivíduos, segundo as classes de altura pressupostas para este estudo, apresentar uma distribuição normal (Figura 4).

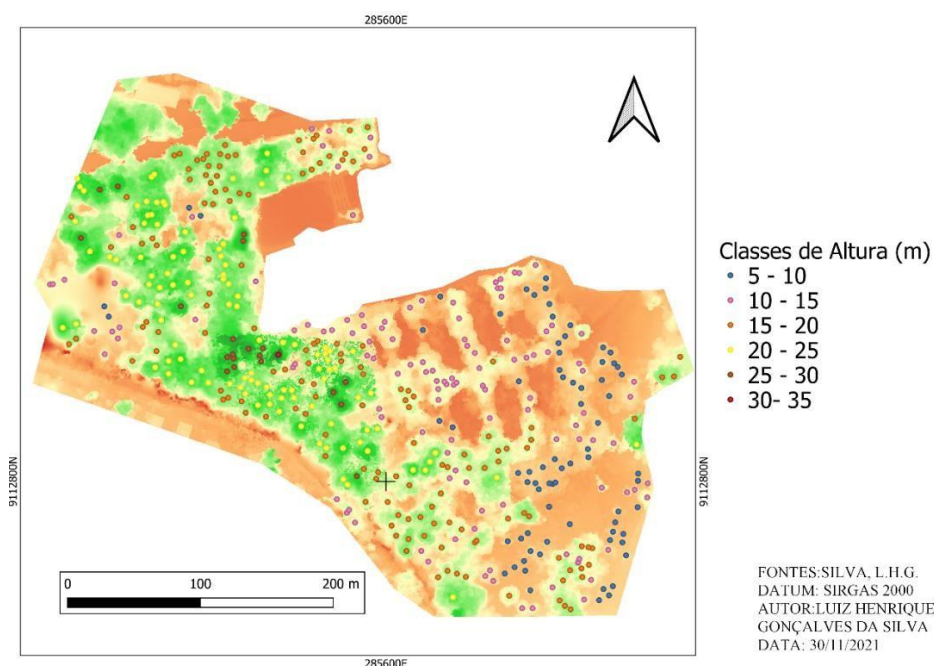


Figura 4 - Distribuição de indivíduos em classes de altura, usando drone, estabelecidos em um fragmento de Floresta Ombrófila Densa na Cidade do Recife, no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, em Pernambuco.



Entretanto, este fragmento apresentou um número considerável de indivíduos em classes baixas de altura, 5,14-10m e 10-15m, localizados nas bordas do fragmento florestal, indicando que nessa área ainda ocorre o estabelecimento de novos indivíduos. Silva (2017), estudando a restauração de vegetação ciliar de um fragmento pertencente a este mesmo domínio fitogeográfico, também verificou a presença de indivíduos em menores classes de altura (Figura 5).

Figura 5 - Distribuição geográfica e classificação em altura dos indivíduos, usando drone, estabelecidos em um fragmento de Floresta Ombrófila Densa na Cidade do Recife, no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, em Pernambuco.



Entretanto, as espécies que compõem a fitofisionomia desse complexo ecossistêmico apresentam, quando adultas, alturas superiores a estas, indicando que este fragmento está em um estágio de sucessão ecológica diferente de Clímax (SILVA, 2017).

Todavia, Condé e Tonini (2013), em um estudo avaliando a fitossociologia de um fragmento de Floresta Ombrófila Densa na Amazônia, evidenciaram ser imprescindível a avaliação da composição florística para inferir sobre o estágio de sucessão ecológica.

Em estudos similares, a validação em campo dos valores estimados, por meio de inventários, é essencial para ajustes nas equações para a modelagem dessa vegetação (ALMEIDA et al., 2021; FAYAD et al., 2021). Entretanto, as medidas de afastamento social provocadas pela COVID-19 impediram a realização dessa etapa nesse estudo.

O ortomosaico da área de estudo permite verificar a existência de modificações antrópicas no entorno do fragmento florestal que está sendo avaliado (Figura 6).

Figura 6 - Ortomosaico de imagens capturadas por meio de um voo de drone sobre um fragmento de Floresta Ombrófila Densa na Cidade do Recife, no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, em Pernambuco.



Modificações na cobertura do solo, por meio da construção de estradas, irão causar estresses abióticos aos indivíduos estabelecidos nesse fragmento vegetacional, tornando-o vulnerável.

Silva (2007), ao avaliar os danos causados por estradas e rodovias nas margens da floresta, evidenciou que a fitofisionomia é modificada drasticamente e que esse tipo de modificação antrópica é uma das principais causas da fragmentação florestal.

O NDVI da área variou entre -0,21 e 0,93. Todos os locais onde foram identificados indivíduos arbóreos, por meio da análise de fotogrametria, apresentaram valores médios de NDVI superiores a 0,6 indicando que estes indivíduos estão fisiologicamente saudáveis (HIROYUKI et al., 2013). Ainda que os indivíduos estejam presentes nas menores classes, o NDVI classificou essa área como vegetação densa (GAMEIRO et al., 2016).

Ao analisar as classes de altura, relacionando-as com a média dos valores de NDVI, foi detectada a existência de um indicativo de possível correlação positiva entre essas variáveis, todavia, essa correlação não é expressa estatisticamente por meio de análises de regressão (Tabela 1).

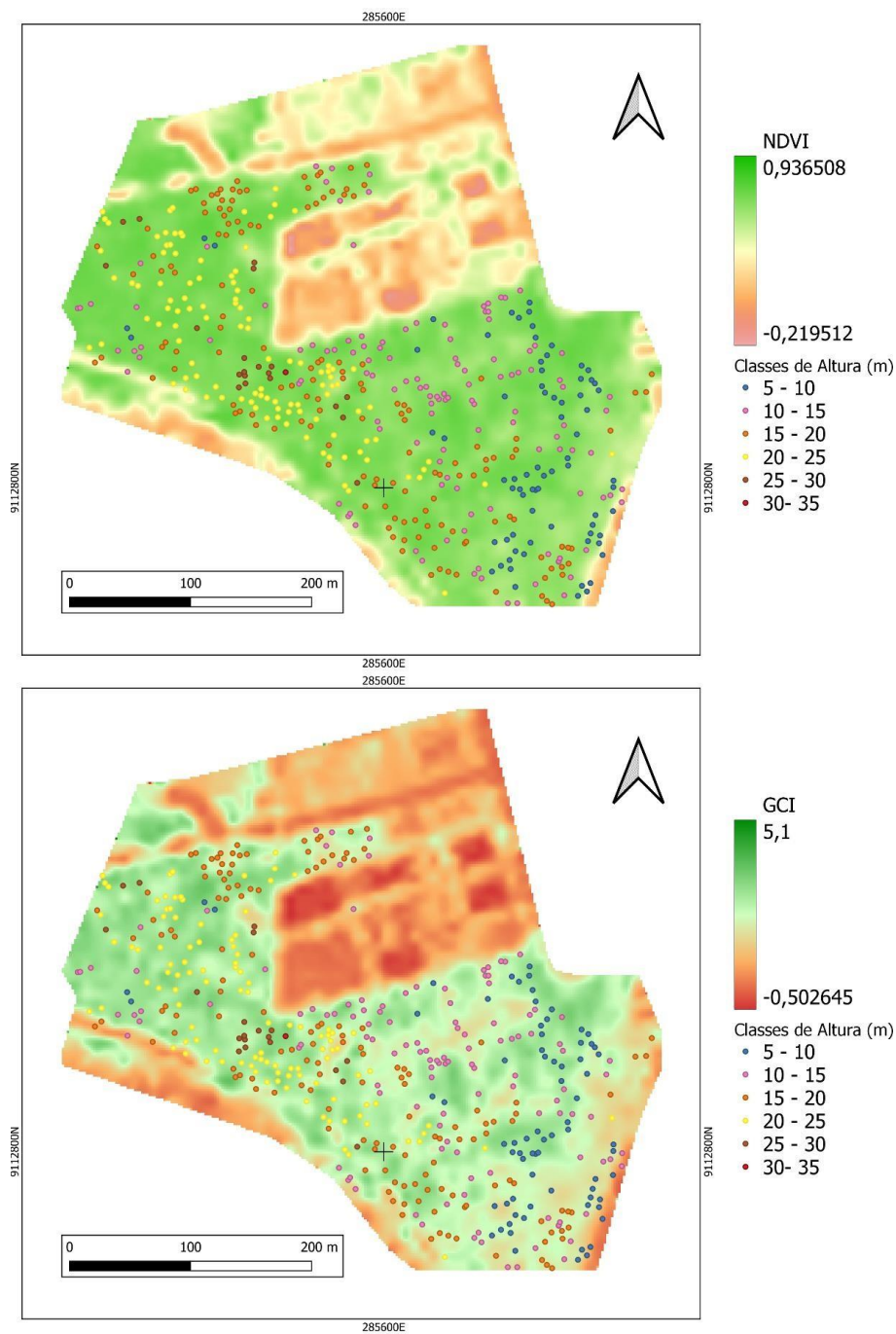
Tabela 1. Classes de altura, número de indivíduos, altura média, média de *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), média de *Green Chlorophyll Index* (GCI) de indivíduos arbóreos de um fragmento de Floresta Ombrófila Densa na Cidade do Recife.

<b>Classes de altura (m)</b>	<b>Número de indivíduos</b>	<b>Altura média (m)</b>	<b>Média NDVI</b>	<b>Média GCI (mg/m<sup>2</sup>)</b>
5-10	76	7,57	0,63065	2,42
10-15	125	12,79	0,63121	2,37
15-20	150	17,58	0,64249	2,47
20-25	110	21,85	0,66598	2,73
25-30	20	27,47	0,66686	2,74
30-35	1	33,46	0,72116	3,31

Diversos são os estudos realizados na tentativa de identificar formas de correlacionar índices vegetacionais e medidas dendrométricas. Freitas et al. (2005), estudando o ajuste de equações para a estimativa da estrutura da vegetação de Floresta Atlântica, utilizando o NDVI e bandas do Vermelho por meio de imagens dos *Landsat 5* e *Landsat 7*, com resolução espacial de 30 m, encontraram valores de correlação positiva entre estes parâmetros e a altura dos indivíduos. As imagens utilizadas no presente estudo possuem resolução espacial de maior qualidade, tornando possível ajustar equações que, possivelmente, expressam melhor a relação entre esses parâmetros.

Os valores encontrados por meio do GCI, nos pontos onde foram identificados indivíduos arbóreos, por meio da análise de fotogrametria, se mostraram superiores a 2,37 g/m<sup>2</sup> (Figura 7). Os valores maiores para esse índice foram encontrados na região mais centralizada do fragmento em estudo, pois esse índice é altamente correlacionado a eficiência no uso da luz para a produção de fotoassimilados (WU et al., 2012). O valor encontrado foi superior ao mensurado por Gitelson et al. (2005), quando aplicaram este índice em culturas agrícolas. Essa superioridade no valor explica-se pela diferença na densidade da vegetação, uma vez que neste estudo foi avaliada a vegetação de um fragmento de Floresta Ombrófila Densa (Figura 7).

Figura 7. Resposta espectral por meio de Índices Vegetacionais de um fragmento de Floresta Ombrófila Densa na Cidade do Recife, no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, em Pernambuco.



FONTES: SILVA, L.H.G. / CBERS 4A  
 DATUM: SIRGAS 2000  
 AUTOR: LUIZ HENRIQUE GONÇALVES DA SILVA  
 DATA: 30/11/2021

## 6 CONCLUSÕES

A fotogrametria é um método viável para mensurar a altura de indivíduos arbóreos, principalmente pela qualidade das imagens que são obtidas. O fragmento vegetal de Mata Atlântica avaliado nesse estudo apresenta indivíduos com alturas similares aqueles estabelecidos em áreas com menores índices de antropização, indicando que existe uma pressão resultante de modificações antrópicas nesse local, mas que não são suficientemente significativas para proporcionar modificações na estrutura, em altura, dessa vegetação.

A avaliação por meio dos Índices Vegetacionais indica que essa vegetação está fisiologicamente saudável e possui um teor de clorofila ( $\text{g/m}^2$ ) estimado pelo GCI, superior a plantios homogêneos de culturas agrícolas.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A.; GONÇALVES, F.; SILVA, G.; MENDONÇA, A.; GONZAGA, M.; SILVA, J.; SOUZA, R.; LEITE, I.; NEVES, K.; BOENO, M.; SOUSA, B. Individual Tree Detection and Qualitative Inventory of a *Eucalyptus* sp. Stand Using UAV Photogrammetry Data. **Remote Sens.**, 2021, 13, 3655.

ALVES JR, F. T.; BRANDÃO, C. F. L. S.; ROCHA, K. D.; MARANGON L. C.; FERREIRA R. L. C. Efeito de borda na estrutura de espécies arbóreas em um fragmento de floresta ombrófila densa, Recife, PE. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.1, n. único, p.49-56, 2006.

BANU, T. P.; BORLEA, G. F.; BANU, C. The Use of Drones in Forestry. **Journal of Environmental Science and Engineering**, B, [S.L.], v. 5, n. 11, p. 557-562, 2016. <http://dx.doi.org/10.17265/2162-5263/2016.11.007>.

BELLARD, C.; LECLERC, C.; LEROY, B.; BAKKENES, M.; VELOZ, S.; THUILLER, W.; COURCHAMP, F. Vulnerability of biodiversity hotspots to global change. **Glob. Ecol. Biogeogr.**, v. 23, p. 1376-1386. 2014.

BEZERRA, H. DA S.; SANO, E. E.; FERREIRA, L. G. Desempenho do Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres Cbers-2 no Mapeamento da Cobertura da Terra no Distrito Federal, Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25, n. 2, p. 171-185. 2007.

BRANDÃO, C. F. L. S. **Estrutura do componente arbóreo e da regeneração natural em fragmentos de floresta atlântica de diferentes tamanhos, em Sirinhaém, Pernambuco**. 2013. 108 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) –Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2013.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

CAMPOE, O. C.; IANNELLI, C.; STAPE, J. L.; COOK, R. L.; MENDES, J. C. T.; VIVIAN, R. Atlantic Forest tree species responses to silvicultural practices in a degraded pasture

restoration plantation: From leaf physiology to survival and initial growth. **Forest Ecology and Management**, v. 313, p. 233-242. 2014.

CHEN, S.; WEN, Z.; ZHANG, S.; HUANG, P.; MA, M.; ZHOU, X.; LIAO, T.; WU, S. Effects of long-term and large-scale ecology projects on forest dynamics in Yangtze River Basin, China. **Forest Ecol. Manage.**, v. 496, n. 1, p. 119463, 2021.

CONDÉ, T. M.; TONINI, H. Fitossociologia de uma floresta ombrófila densa na Amazônia Setentrional, Roraima, Brasil. **Acta Amazonica**, 43, (3), 247-260. 2013.

COSTA, L. A.; MURAYARI, M. G.; DE MEDEIROS, R. L. Geoprocessamento na análise da cobertura do solo e fragmentação de habitats sob efeito de estradas: um subsídio para estudos de conservação em florestas de terra-firme/Amazônia Central. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 1847-1854.

FAYAD, N. N.; BAGHDADI, C.A.; ALVARES, J. L.; STAPE, J. S.; BAILLY, H. F.; SCOLFORO, M.; ZRIBI, G. L.; MAIRE, L. Assessment of gedi's lidar data for the estimation of canopy heights and wood volume of eucalyptus plantations in Brazil. **IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.**, 14 (2021), pp. 7095-7110, 10.1109/JSTARS.2021.3092836

FILOCREÃO, A. S. M. **Extrativismo e capitalismo: a manutenção, funcionamento e reprodução da economia extrativista do sul do Amapá**. 234f. (Dissertação de Mestrado em Economia Rural e Regional), Programa de Pós-graduação em Economia Rural e Regional, Centro de Humanidades, Universidade Federal da Paraíba – Campus II - Campina Grande - Paraíba - Brasil, 1992.

FREITAS, S. R.; MELLO, M. C. S.; CRUZ, C. B. M. Relationships between forest structure and vegetation indices in Atlantic Rainforest. **Forest Ecology and Management**, n. 218, p. 353-362, 2005.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATÂNTICA. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica**: período 2019/2020, relatório técnico / Fundação SOS Mata Atlântica / Instituto

Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. – São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica, 2021. 73p.

GAMEIRO, S.; TEIXEIRA, C. P. B.; SILVA NETO, T. A.; LOPES, M. F. L.; DUARTE, C. R.; SOUTO, M. V. S.; ZIMBACK, C. R. L. Avaliação da cobertura vegetal por meio de índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) na Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, CE. **Terræ**, v. 13, n. (1-2), p. 15-22. 2016.

GARCIA, C. C.; REIS, M. DAS G. F.; REIS, G. G. DOS; PEZZOPANE, J. E. M.; LOPES, H. N. S.; RAMOS, D. C. Regeneração natural de espécies arbóreas em fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Montana, no domínio da Mata Atlântica, em Viçosa, MG. **Ciência Florestal**, [S.L.], v. 21, n. 4, p. 677-688, 2011.

GITELSON, A. A. Vina A.; Ciganda V.; Rundquist C.D.; Arkebauer J.T. Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops. **Geophysical Research Letters**, 32 p. L08403. 2005.

HOLANDA, S. B. **Raízes do Brasil**. 1ª edição. São Paulo, José Olympio. 1936.

JECUPÉ, K. W. **A Terra dos Mil Povos**: história indígena brasileira contada por um índio. São Paulo: Peirópolis, 1998.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. 2ª ed., São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598p.

KOTIVUORI, E.; KUKKONEN, M.; MEHTÄTALO, L.; MALTAMO, M.; KORHONEN, L.; PACKALEN, P. Forest inventories for small areas using drone imagery without in-situ field measurements. **Remote Sensing of Environment**, v. 237, p. 111404, 2020.

LECHNER, A. M.; FOODY, G. M.; BOYD, D. S. Applications in Remote Sensing to Forest Ecology and Management. **One Earth**, [S.L.], v. 2, n. 5, p. 405-412, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.oneear.2020.05.001>.



LEITE, R. I. J.; MELO JÚNIOR, J. C. F. Reconhecimento de grupos funcionais em um fragmento de Mata Atlântica em Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 821-833, 2020.

LE MAIRE, G.; MARSDEN, C.; NOUVELLON, Y.; GRINAND, C.; HAKAMADA, R.; STAPE, J.-L.; LACLAU, J.-P. MODIS NDVI time-series allow the monitoring of *Eucalyptus* plantation biomass. **Remote Sens. Environ.**, v. 115, n. (10), p. 2613-2625, 2011.

LI, X.; SHEN, H.; ZHANG, L.; ZHANG, H.; YUAN, Q.; YANG, G. Recovering Quantitative Remote Sensing Products Contaminated by Thick Clouds and Shadows Using Multitemporal Dictionary Learning. *In: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 52, n. 11, p. 7086-7098, 2014. doi: 10.1109/TGRS.2014.2307354.

LISBINKSI, F. C.; TORRES, R.; SANTOS P. S.; BEZERRA, E. C. Análise Espacial da Degradação Ambiental nas Regiões Geográficas Imediatas Brasileiras. **Rev. Econ. NE**, Fortaleza, v. 52, n. 1, p. 185-203, 2021.

MALAQUIAS, J. O. S.; XAVIER, S. A. B.; SILVA, M. A. B.; PEIXOTO, P. M. C; SOUZA, M N; MOREIRA, C G; MOURA NETO, H; ZACARIAS, A J; CARVALHO, C S; TOREZANI, R. Degradação ambiental pelo fator antrópico: uma breve análise da agropecuária, seus impactos ao meio ambiente e formas de mitigação. **Tópicos em Recuperação de Áreas Degradadas**, v. 2, p. 167-205, 2021.

MOCK, T. E. Construyendo un bosque urbano sostenible. **Revista AU – Arquitetura e Urbanismo**. p. 30-32. 2005.

MOREIRA, E.B.M.; GALVÍNCIO, J.D. Espacialização das temperaturas à superfície na cidade do Recife, utilizando imagens TM – LANDSAT 7. **Revista de Geografia**, v.24, p.101-115, 2007.

MURAOKA, H.; NODA, H. M; NAGAI, S.; MOTOHKA, T.; SAITOH, T. M. NASHARA, K. N.; SAIGUSA, N. Spectral vegetation indices as the indicator of canopy photosynthetic productivity in a deciduous broadleaf forest. **Journal of Plant Ecology**, v. 6, n. 5, p. 393-407. 2013.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 852-858, 2000.

OLIVEIRA, L.F.R. DE; OLIVEIRA, M.L.R. DE; GOMES, F.S.; SANTANA, R.C. Estimating foliar nitrogen in *Eucalyptus* using vegetation indexes **Sci. Agric.**, v.74, n. (2), p. 142-147, 2017. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2015-0477>.

PIMENTEL, R. M. M.; SILVA, L. H. G. Fenômenos Ambientais, Biodiversidade da Paisagem e Interações Antrópicas. *In*: SANTOS, A. H.; NASCIMENTO, M.; PONTES, B. (Org.) **Saberes ambientais**: reflexões sobre a relação sociedade-natureza. Ananindeua, PA: Itacaiúnas, pp. 121-129, 2020.

PINTO, E. DE P. P.; AMOROZO, M. C. DE M.; FURLAN, A. Conhecimento popular sobre plantas medicinais em comunidades rurais de Mata Atlântica-Itacaré, BA, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, n. 4, p. 751-762, 2006.

ROCHA, S. J. S. S. DA. **Métodos de aprendizado de máquina aplicados a modelagem de florestas inequiâneas**. 2021. 139 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2021.

SANTOS, F. C. **Perturbações antrópicas na Mata Atlântica periurbana**: efeitos no ecossistema e na assembleia de plantas / Fabiane Carolyne Santos. – 2018. 71p.

SCHINDLER, J.; DYMOND, J. R.; WISER, S. K.; SHEPHERD, J. D. Method for national mapping spatial extent of southern beech forest using temporal spectral signatures. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 102, 102408, 2021.

SILVA, A. K. V.; BORGES, M. V. V.; BATISTA, T. S.; SILVA JUNIOR, C. A.; FURUYA, D. E. G.; OSCO, L. P.; TEODORO, L. P. R.; BAIO, F. H. R.; RAMOS, A. P. M.; GONÇALVES, W. N.; MARCATO JUNIOR, J.; TEODORO, P. E.; PISTORI, H. Predicting *Eucalyptus* Diameter at Breast Height and Total Height with UAV-Based Spectral Indices and Machine Learning. **Forests**, 2021, 12, 582.

SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. de. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 – TM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 2, p. 243-252, 2005.

SILVA, M. I. O. DA. **Avaliação ecológica de áreas ciliares em processo de restauração florestal na zona da mata norte, Pernambuco**. Dissertação. 2017. 96 f.

SOUZA, B. D., RODRIGUES, B. M., ENDRES, L.; SANTOS, M. G. Ecophysiology parameters of four Brazilian Atlantic Forest species under shade and drought stress. **Acta Physiol. Plant.**, v. 32, p. 729-737, 2010.

SOUZA, J. L.; CORRÊA, A. C. B.; SILVA, O. G. Compartimentação Geomorfológica da Planície do Recife, Pernambuco, Brasil. **Revista de Geografia (Recife)**, v34, nº 1, 2017.

STRATOULIAS, D.; BALZTER, H.; ZLINSZKY, A.; TÓTH, V. R. Assessment of ecophysiology of lake shore reed vegetation based on chlorophyll fluorescence, field spectroscopy and hyperspectral airborne imagery. **Remote Sensing of Environment**, [S.L.], v. 157, p. 72-84, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2014.05.021>.

SUPRAYOGI, A.; BASHIT, N. Geometric Accuracy Study of Orthorectification Based on Sensor Model Refinement in Imagery Subset Using ORFEO Toolbox (OTB). **JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering**, v. 2, n. 1, p. 164-170, 2019.

THAKUR, S.; DHYANI, R.; NEGI, V. S.; PATLEY, M. K.; RAWAL, R. S.; BHATT, I. D.; YADAVA, A. K. Spatial forest vulnerability profile of major forest types in Indian Western Himalaya. **Forest Ecology and Management**, [S.L.], v. 497, p. 119527, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119527>.

TRENTIN, B. E.; ESTEVAN, D. A.; ROSSETTO, E. F. S.; GORENSTEIN, M. R.; BRIZOLA, G. P.; BECHARA, F. C. Restauração florestal na Mata Atlântica: passiva, nucleação e plantio de alta diversidade. **Ci. Fl.**, 28, pp. 160-174. 2018.

TUBENCHLAK, F.; BADARI, C. G.; DE FREITAS STRAUCH, G.; DE MORAES, L. F. D. Changing the agriculture paradigm in the Brazilian Atlantic Forest: the importance of

agroforestry. *In*: MARQUES, M. C. M.; GRELE, C. E. V. **The Atlantic Forest**. History, Biodiversity, Threats and Opportunities of the Mega-diverse Forest. (Cham: Springer), pp. 369-388, 2021.

VALE, M. M.; TOURINHO, L.; LORINI, M. L.; RAJÃO, H.; FIGUEIREDO, M. S. L. Endemic birds of the Atlantic Forest: traits, conservation status, and patterns of biodiversity. **J. Field Ornithol.**, p. 193-206. 2018.

YAMADA, T.; PEDRINO, E. C.; NICOLETTI, M. D. C.; MOSCHINI, L. E. A High Resolution Image Based Approach for Estimating the Canopy Cover of a Semi-Deciduous Brazilian Atlantic Forest Fragment. **IEEE Latin America Transactions**, vol. 19, no. 10, pp. 1657-1664, Oct. 2021.

WU, C.Y.; NIU, Z.; GAO, S. The potential of the satellite derived green chlorophyll index for estimating midday light use efficiency in maize, coniferous forest and grassland. **Ecol. Indic.**, 14 p. 66-73. 2012.

ZHAO, K.; POPESCU, S. C. Hierarchical watershed segmentation of canopy height model for multi-scale forest inventory. *In*: RÖNNHOLM, P.; HYYPPÄ, H.; HYYPPÄ, J. (Eds.). **Proceedings of the ISPRS working group “Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007”**, ISPRS, Finland, v. XXXVI, Part3/W52. Espoo, 12-14, 2007, pp. 436-442.