



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**NIVANDILMO LUIZ DA SILVA**

**ESTIMATIVAS DO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO EM UM  
FLORESTAMENTO MULTIESPECÍFICO NA REGIÃO METROPOLITANA DE  
MACEIÓ, AL**

**RIO LARGO, AL**

**2022**

**NIVANDILMO LUIZ DA SILVA**

**ESTIMATIVAS DO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO EM UM  
FLORESTAMENTO MULTIESPECÍFICO NA REGIÃO METROPOLITANA DE  
MACEIÓ, AL.**

Trabalho de Conclusão de Curso - TCC  
apresentado a Universidade Federal de Alagoas  
– UFAL, Campus de Engenharias e Ciências  
Agrárias - CECA, como pré-requisito para  
obtenção do grau de Bacharel Engenheiro  
Florestal.

Orientador(a): Dr. Régis Villanova Longhi

Coorientador(a): Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Mayara Dalla Lana

RIO LARGO, AL

2022

Catálogo na fonte  
Universidade Federal de Alagoas  
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias – CECA  
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana

S586e Silva, Nivandilmo Luiz da.

Estimativas do estoque de biomassa e carbono em um  
florestamento multiespecífico na região metropolitana de Maceió,  
AL./ Nivandilmo Luiz da Silva. – 2022.

73 f.: il.

Orientador: Régis Villanova Longhi.

Coorientador(a): Mayara Dalla Lana.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia  
Florestal) – Curso de Engenharia Florestal, Campus de Engenharias  
e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo,  
2022.

Inclui Bibliografia

1. Recuperação de Áreas Degradadas. 2. Mensuração Florestal.
3. Sensoriamento remoto.

CDU: 634.9:981.35

## **Folha de Aprovação**

**Nivandilmo Luiz da Silva**

Estimativas do estoque de biomassa e carbono em um florestamento multiespecífico na  
região metropolitana de Maceió, AL

Trabalho de Conclusão de Curso - TCC apresentado a Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias - CECA, como pré-requisito para obtenção do grau de Bacharel Engenheiro Florestal.

Data de Aprovação: 25 / 02 / 2022.

### **Banca Examinadora**

---

Dr. Régis Villanova Longhi  
Universidade Federal de Alagoas – UFAL  
Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde - ICBS  
(Orientador)

---

Prof. Dr. Emanuel Araújo Silva  
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE  
Departamento de Ciências Florestal - DCFL

---

Prof. Dr. Carlos Frederico Lins e Silva Brandão  
Universidade Federal de Alagoas – UFAL  
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias - CECA

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, e por todas as glórias vividas.

Agradeço aos meus pais Luiz Siara e Risalva Umbelina pelo infinito amor, carinho, incentivo e ensinamentos que sempre me são concedidos, e mesmo estando distantes, fazem-se presentes. Ao meu amado irmão, Nivaldo Siara (*in memoriam*) que tanto me ensinou a ser forte e a persistir na vida, um exemplo de superação e companheirismo, você alegrava a todos... saudades eternas. Aos demais irmãos (11) pela força e apoio para que eu pudesse trilhar essa jornada longe de casa. A todos os familiares, eu agradeço.

Agradeço ao meu orientador e amigo Dr. Régis Longhi, “o Tchê”, por inicialmente ter possibilitado conhecer a pesquisa científica e por todas as contribuições acadêmicas, consagradas pela sua paciência e disposição em me ensinar nesses últimos 4 anos. Com certeza, você foi peça chave em muitas das minhas conquistas, inclusive as que ainda virão. À Dr. Mayara, pelo aceite de orientação e por todo apoio e considerações nesse trabalho.

Aos meus amigos Anderson Arthur e Lucas Galdino pelas tantas contribuições nessa pesquisa. Não consigo descrever o quanto foram essenciais, vocês são exemplos do cuidado de Deus pela minha vida, dada pela confiança e a parceria. Para todos colegas e amigos de turma da Engenharia Florestal (CECA), declaro que foi uma excelente caminhada na graduação, eu não chegaria até aqui sem vocês, uma honra tê-los para a vida.

Aos professores da graduação, e demais colegas e amigos da instituição (UFAL), meus singelos agradecimentos.

À Universidade Federal de Alagoas, que além de prover o ensino de qualidade também me garantiu a permanência na graduação pela assistência estudantil, sem isso, não conseguiria chegar até aqui facilmente.

Ao meu grande amigo, Aldair Tomé, pela paciência e convívio que tivemos na Residência Universitária, e de tantos conselhos e ensinamento que fui agraciado, os quais vou levar por toda a minha vida, você é extraordinário!

E para àqueles colegas e amigos (muitos) que não foram aqui mencionadas, mas que torceram, apoiaram, acreditaram e oraram por mim, meu muito obrigado.

## RESUMO

A implantação de florestas e seu devido monitoramento apresentam diretamente uma alternativa de amenização das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e degradação do ambiente em geral, uma vez que as árvores funcionam como sumidouro de carbono através da fixação desse elemento pela fotossíntese. Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo quantificar e avaliar a biomassa e carbono estocado no estrato arbóreo do *Arboretum* de Alagoas, área florestada há 18 anos com um plantio de alta diversidade de espécies na região metropolitana de Maceió. Para tanto, foi realizado o inventário florestal contínuo (IFC) em uma grade amostral contendo 88 parcelas de 400m<sup>2</sup> cada. A biomassa viva acima do solo (*B*) foi estimada por um modelo alométrico pantropical, e em seguida o Estoque de Carbono (EC) pelo fator 0,47 do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). A avaliação foi feita pela quantificação do Incremento Periódico Anual (IPA) dessas variáveis entre duas medições do IFC, e analisadas a nível de espécies, famílias, grupos ecológicos e classes diamétricas. Determinou-se também os parâmetros fitossociológicos convencionais, além do Valor de Importância em Carbono (VIC), a declarar que as espécies têm importância diferenciada ao estocarem carbono da atmosfera. Por último, relacionou-se dados espectrais (Índices de Vegetação – IVs) de imagem de alta resolução espacial (3m) do satélite (PlanetScope) via regressão múltipla com a biomassa inventariada para obtenção de um modelo capaz de prever a *B*. A biomassa viva acima do solo foi estimada na primeira medição em 73,7 Mg.ha<sup>-1</sup> e 80,9 Mg.ha<sup>-1</sup> na segunda medição, já o estoque de carbono foi de 34,60 Mg.ha<sup>-1</sup> e 38,03 Mg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Esses valores representam um IPA de biomassa e carbono total de 4,3 e 2,0 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, respectivamente. As espécies que mais contribuíram nos estoques foram *Bowdichia virgilioides*, *Anadenanthera* sp e *Inga edulis*, juntas representaram 11,2 Mg.ha<sup>-1</sup> de carbono. A família mais representativa foi Fabaceae com mais de 50% de toda biomassa e carbono estocado. As espécies secundárias representaram 63,03% de todo estoque constatado, além de que a maior participação é proporcionada por indivíduos com diâmetros entre 20 e 40 cm (52%). As espécies *Bowdichia virgilioides*, *Handroanthus impetiginosus* e *Inga edulis* foram as que mais se destacaram na área em estudo para o VIC. O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) foi a variável independente que apresentou maior correlação com a biomassa ( $r = 0,70$ ), tendo sua inserção ao modelo ajustado, o qual apresentou média precisão dado pelo  $R^2=0,50$  e  $S_{yx} = 31,68$  Mg.ha<sup>-1</sup>. Conclui-se que, o *Arboretum* de Alagoas possui estimativas de estoque de biomassa e carbono abaixo dos observados em áreas de estágios mais avançados, porém um IPA superior, podendo ser classificado como uma área em estágio médio de sucessão natural e com avanços para o estoque completo de biomassa na área, dado o crescimento acelerado da vegetação, sustentada predominantemente pelos indivíduos com diâmetro médio na área. O VIC se revela útil na escolha de espécies com potencial de acelerar a produção florestal, assim servindo também como indicador para projetos de quantificação de carbono. A modelagem com IVs mostrou-se bastante promissora e satisfatória. Contudo, é necessário mais esforço para reduzir os efeitos do ponto de saturação dos índices e, assim, garantir melhores resultados mais precisos para as estimativas de biomassa e carbono.

**Palavras-chave:** Recuperação de Áreas Degradadas. Mensuração Florestal. Sensoriamento Remoto.

## ABSTRACT

The implementation of forests and their proper monitoring directly present an alternative for mitigating greenhouse gas (GHG) emissions and environmental degradation in general, since trees act as a carbon sink through the fixation of this element through photosynthesis. In view of the above, the present work aimed to quantify and evaluate the biomass and carbon stored in the arboreal stratum of the *Arboretum* de Alagoas, a forested area for 18 years with a plantation of high species diversity in the metropolitan region of Maceió. Therefore, a continuous forest inventory (IFC) was carried out in a sampling grid containing 88 plots of 400m<sup>2</sup> each. The aboveground living biomass (B) was estimated by a pantropical allometric model, and then the Carbon Stock (EC) by the *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) factor 0.47. The evaluation was performed by quantifying the Annual Periodic Increment (IPA) of these variables between two IFC measurements, and analyzed at the level of species, families, ecological groups and diameter classes. Conventional phytosociological parameters were also determined, in addition to the Carbon Importance Value (VIC), declaring that the species have a differentiated importance when storing carbon from the atmosphere. Finally, spectral data (Vegetation Indices – IVs) from a high spatial resolution image (3m) from the satellite (PlanetScope) were related via multiple regression with the inventoried biomass to obtain a model capable of predicting the B. Living biomass above ground was estimated in the first measurement at 73.7 Mg.ha<sup>-1</sup> and 80.9 Mg.ha<sup>-1</sup> in the second measurement, whereas the carbon stock was 34.60 Mg.ha<sup>-1</sup> and 38.03 Mg.ha<sup>-1</sup>, respectively. These values represent an IPA of biomass and total carbon of 4.3 and 2.0 Mg.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup>, respectively. The species that most contributed to the stocks were *Bowdichia virgilioides*, *Anadenanthera* sp. and *Inga edulis*, together representing 11.2 Mg.ha<sup>-1</sup> of carbon. The most representative family was Fabaceae with more than 50% of all biomass and carbon stocked. Secondary species accounted for 63,03% of the entire stock, in addition to which the largest share is provided by individuals with diameters between 20 and 40 cm (52%). The species *Bowdichia virgilioides*, *Handroanthus impetiginosus* and *Inga edulis* were the ones that stood out in the study area for the VIC. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was the independent variable that presented the highest correlation with biomass ( $r = 0.70$ ), having its insertion in the adjusted model, which presented average precision given by  $R^2=0.50$  and  $S_{yx} = 31.68$  Mg.ha<sup>-1</sup>. It is concluded that the Alagoas *Arboretum* has estimates of biomass and carbon stocks below those observed in areas of more advanced stages, but a higher IPA, which can be classified as an area in the medium stage of natural succession and with advances for the stock. biomass in the area, given the accelerated growth of the vegetation, supported predominantly by individuals with average diameter in the area. The VIC proves to be useful in choosing species with the potential to accelerate forest production, thus also serving as an indicator for carbon quantification projects. Modeling with IVs proved to be very promising and satisfactory. However, more effort is needed to reduce the saturation point effects of the indices and thus ensure better and more accurate results for biomass and carbon estimates.

**Key Words:** Recovery of Degraded Areas. Forest Measurement. Remote sensing.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Mapa de localização e registro da evolução da vegetação nos anos de 2010 e 2021 na área do *Arboretum* de Alagoas, Maceió.....23
- Figura 2** – Representação da grade amostral (A) e registro fotográfico das atividades do inventário florestal para o estrato adulto (B, C, D e E) na área do *Arboretum* de Alagoas, Maceió.....25
- Figura 3** – Representação da grade amostral e das faixas/transectos selecionados aleatoriamente para a modelagem florestal na área do *Arboretum* de Alagoas, Maceió.....34
- Figura 4** – Roteiro metodológico de toda a pesquisa na área do *Arboretum* de Alagoas, Maceió...37
- Figura 5** – Dinâmica do estoque de biomassa (EB) e carbono (EC) das famílias botânicas mais representativas na área do *Arboretum* de Alagoas, Maceió.....45
- Figura 6** – Estoque de carbono (EC) por grupo ecológico na primeira e segunda medição ( $P_0 = 2017/2018$  e  $P_1 = 2019/2020$ ) na área do *Arboretum* de Alagoas, Maceió.....46
- Figura 7** – Incremento periódico anual de Carbono (IPA C) por grupo ecológico (GE) entre dois anos de medição na área do *Arboretum* de Alagoas, Maceió.....48
- Figura 8** – Estoque de biomassa (EB) e carbono (EC) por distribuição diamétrica em dois inventários completos na área do *Arboretum* de Alagoas, Maceió.....49
- Figura 9** – Incremento periódico anual de Carbono (IPA C) por classe diamétrica entre dois períodos de medições, com intervalo médio de 2 anos na área do *Arboretum* de Alagoas, Maceió.....50
- Figura 10** – Representação gráfica da correlação entre o estoque de carbono por parcela na segunda medição com variáveis dendrométricas: densidade (DA), área basal (G), riqueza ( $n^\circ$  espécies) e diversidade ( $H'$ ) na área do *Arboretum* de Alagoas, Maceió.....51
- Figura 11** – Representação gráfica da correlação entre a biomassa viva acima do solo (B) e Índices de Vegetação (IV) por unidades amostrais seletas aleatoriamente na área do *Arboretum*

|             |          |
|-------------|----------|
| de          | Alagoas, |
| Maceió..... | 56       |

- Figura 12** – Distribuição gráfica dos resíduos padronizados do modelo *stepwise* utilizando o NDVI inverso para estimativa da biomassa viva acima do solo (*B*) e a relação entre os valores observados e estimados na área do Arboretum de Alagoas, Maceió.....59
- Figura 13** – Distribuição espacial da biomassa observada no inventário de 2020 e estimada após modelagem para todas as parcelas na área do *Arboretum* de Alagoas, Maceió.....60

## LISTA DE TABELA

|                                                                                                                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1</b> – Classificação para interpretação do Coeficiente da Correlação de Pearson (r).....                                                                                                                                      | 28 |
| <b>Tabela 2</b> – Característica das bandas ópticas do satélite PlanetScope.....                                                                                                                                                         | 30 |
| <b>Tabela 3</b> – Estoque e dinâmica de crescimento de biomassa e carbono das espécies florestais na área do <i>Arboretum</i> de Alagoas, Maceió.....                                                                                    | 38 |
| <b>Tabela 4</b> – Matriz de correlação de Pearson (r) entre o estoque de carbono e as variáveis área basal (G), densidade (DA), riqueza (nº sp.) e diversidade de <i>Shannon-Weaver</i> (H') no <i>Arboretum</i> de Alagoas, Maceió..... | 52 |
| <b>Tabela 5</b> – Ranking das 40 espécies arbóreas parametrizadas na fitossociologia de maior valor de importância em carbono (VIC) na área do <i>Arboretum</i> de Alagoas, Maceió.....                                                  | 53 |
| <b>Tabela 6</b> – Estatística descritiva das variáveis dendrométricas observadas a campo e das variáveis obtidas por sensoriamento remoto (Índices de Vegetação) no <i>Arboretum</i> de Alagoas, Maceió– AL.....                         | 56 |

## SUMÁRIO

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                               | <b>11</b> |
| 1.1 Objetivos.....                                                      | 13        |
| 1.1.1 Objetivo Geral. ....                                              | 13        |
| 1.1.2 Objetivos Específicos.....                                        | 13        |
| <b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>                                    | <b>14</b> |
| 2.1 Mobilização Global para as Mudanças Climáticas.....                 | 14        |
| 2.2 A Mitigação Florestal Frente às Mudanças Climáticas .....           | 16        |
| 2.3 Determinação de Biomassa e Carbono em Florestas .....               | 18        |
| 2.3.1 Estimativas de Biomassa e Carbono Acima do Solo .....             | 18        |
| 2.3.2 Dados Orbitais para Estimativas de Biomassa e Carbono.....        | 19        |
| 2.4 A Relação do Estoque de Carbono em Florestas Multiespecíficas ..... | 21        |
| <b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>                                       | <b>23</b> |
| 3.1 Caracterização da Área.....                                         | 23        |
| 3.2 Amostragem e Coleta de Dados.....                                   | 24        |
| 3.3 Análise de Dados .....                                              | 26        |
| 3.3.1 Quantificação de Biomassa e Carbono. ....                         | 26        |
| 3.3.2 Análise Fitossociológica em Carbono .....                         | 28        |
| 3.3.3 Modelagem da Biomassa Florestal com Dados Orbitais.....           | 29        |
| 3.3.3.1 Imagem de Satélite PlanetScope.....                             | 29        |
| 3.3.3.2 Índices de Vegetação .....                                      | 30        |
| 3.3.3.3 Procedimentos para Regressão Múltipla .....                     | 33        |
| 3.4 Processamento dos Dados .....                                       | 36        |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                   | <b>38</b> |
| 4.1 Dinâmica do Estoque de Biomassa e Carbono .....                     | 38        |
| 4.2 Fitossociologia em Carbono.....                                     | 52        |
| 4.3 Modelagem da Biomassa Florestal .....                               | 55        |
| <b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                                     | <b>61</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                                | <b>63</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Questões climáticas ligadas ao aumento da concentração de gases do efeito estufa, principalmente o CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) e o conceito de sequestro de carbono tem sido cada vez mais discutidas na ciência e com isso, o potencial das florestas na fixação de carbono em sua biomassa passou a se destacar (LIPINSKI et al., 2017). O desmatamento, acompanhado de incêndios florestais e queima de combustíveis fósseis intensificam as emissões dos Gases de Efeito Estufa (GEE), contribuindo para o aquecimento global (MORAIS et al., 2017). Diversas propostas foram criadas através de mecanismos internacionais e nacionais para estabilizar os níveis de emissões de GEE (BARRETO et al., 2014).

O desflorestamento pode ser considerado uma das principais causas do aumento das concentrações de gás carbônico na atmosfera, refletindo no aumento de aproximadamente 2 °C na temperatura do ar na América do Sul entre os anos de 2010 e 2040 (REBOITA et al., 2014). Por sua vez, o Brasil possui a segunda maior área florestal em nível mundial, entretanto, segundo Sanquetta et al. (2018) foi perdido 10% da cobertura florestal em apenas 25 anos, tendo decrescido também os estoques de biomassa e carbono em todos os biomas. Conforme os mesmos autores, essa perda de cobertura florestal representou 38,82% das emissões dos GEE globais para o mesmo período.

O processo de ocupação do território brasileiro foi caracterizado pela destruição dos recursos naturais, com a substituição de florestas por outros usos dos solos. No estado de Alagoas, o histórico de exploração da Mata Atlântica está associado à expansão da cultura de cana-de-açúcar, pois, conforme os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE), via Censo Agropecuário realizado para o período de 1970 a 1980, revelou-se que a produção canavieira dobrou em todo estado, ao passo que áreas de vegetação nativa, bem como os cultivos milho, feijão, e macaxeira reduziram drasticamente (SILVA, 2019). Além disso, as queimadas incontrolláveis dos canaviais existentes favorecem a perda significativa da qualidade dos solos pela diminuição da biodiversidade.

Por outro lado, a implantação de florestas e seu devido monitoramento apresentam diretamente uma alternativa de amenização das emissões dos GEE e degradação do ambiente em geral, uma vez que as árvores funcionam como sumidouros de carbono por meio da fixação desse elemento pela fotossíntese, além de fornecer outros serviços ambientais (PARRON et al., 2015).

Para Sanquetta e Balbinot (2004), o plantio de árvores em áreas antes degradadas, além de restabelecer a diversidade biológica e os processos ecológicos do ecossistema que fora deteriorado, possibilita uma mudança positiva no balanço do carbono local, graças a capacidade das árvores em sequestrar o CO<sub>2</sub> atmosférico e estocá-lo na biomassa.

Segundo Silva et al. (2015), trabalhos que visam avaliar a fixação de carbono em biomassa em áreas com maior tempo de reflorestamento são de grande relevância, uma vez que podem fornecer informações concisas sobre o acúmulo gradual de carbono por espécie e, assim, o potencial da área para remover o CO<sub>2</sub> atmosférico. Os autores salientam ainda que existe a necessidade de estudos em áreas em processo de restauração e recuperação em diferentes situações, buscando a padronização nas metodologias de quantificação dos estoques de biomassa e carbono na vegetação a fim de que sejam geradas estimativas confiáveis e passíveis de comparação.

Uma das ferramentas úteis e indispensáveis para quantificação da biomassa e carbono são as equações alométricas, pois quando ajustadas com o inventário florestal é possível obter resultados da vegetação em pé, de forma mais rápida e de menos custos (HENRY et al., 2010). Para mais, novas metodologias inovadoras e tecnológicas vêm sendo aplicadas na quantificação da biomassa em ambientes florestais, a exemplo das geotecnologias, que são provenientes do sensoriamento remoto (SR) e dos sistemas de informação geográficas (SIGs), que quando combinadas podem ser determinados os melhores meios de uso dos recursos naturais (ALMEIDA; ROCHA, 2021).

As informações geradas mediante estimativa da biomassa e carbono florestal podem fornecer estratégias para programas de conservação, tanto de florestas nativas quanto de áreas antes degradadas que estão em processo de restauração ou recuperação, servindo até mesmo de subsídios para comercialização de créditos de carbono florestal (MEIRA et al., 2020). Nesse sentido, áreas florestadas e reflorestadas em diferentes ambientes (até mesmo urbano) e de extensões menores, também possuem potencial em contribuir com o processo de enfrentamento aos cenários climáticos no porvir.

Diante do exposto, presume-se que a área de estudo, o *Arboretum* de Alagoas, pode ser caracterizado como um modelo piloto de implantação florestal com alta diversidade de espécies, podendo ser referência em sumidouro de carbono no perímetro urbano de Maceió e região, partindo da hipótese de que há um alto aporte de biomassa florestal por hectare nessa área, pois atualmente, após 18 anos da sua implantação, a vegetação já cobriu boa parte do solo e apresenta-se bem desenvolvida.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

O presente trabalho teve como objetivo quantificar e estimar o estoque de biomassa e carbono no *Arboretum* de Alagoas, área florestal implantada há 18 anos na região metropolitana de Maceió, AL.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- ✓ Determinar o estoque e a dinâmica do incremento periódico anual da biomassa e do carbono da floresta total, das espécies, das famílias botânicas, dos grupos ecológicos e das classes diamétricas.
- ✓ Verificar a relação entre o estoque de biomassa e carbono com parâmetros de densidade da floresta, riqueza e diversidade de espécies medidas por parcela.
- ✓ Caracterizar a estrutura fitossociológica com o estoque de carbono das principais espécies arbóreas.
- ✓ Avaliar a eficiência do uso de índices de vegetação obtidos a partir do processamento digital de imagens de satélite para a predição da biomassa acima do solo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 MOBILIZAÇÃO GLOBAL PARA AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

No ano de 1992, 185 países tornaram signatários ao assinarem nas Nações Unidas a Convenção-Quadro sobre Mudanças Climáticas, com vistas à mitigação dos efeitos do aquecimento global, decorrendo de reuniões anuais, as chamadas Conferências das Partes (COP), com o intuito de estabelecer um acordo para implementação de metodologias mais efetivas para minimização e controle das emissões de gases de efeito estufa (GEE) gerados por atividades agrícolas, industriais e urbanas (FERRETTI; BRITZ, 2006; FIDALGO et. al., 2007)

No entanto, a primeira convenção não definiu metas de redução para os GEE, e, somente em 1997 foi assinado o Protocolo de Quioto (PK), trazendo consigo ações mais concisas, com destaque para o estabelecimento de metas direcionadas à redução das emissões de GEE entre os países membros, implementando critérios e diretrizes para controle da emissão de dióxido carbono (CO<sub>2</sub>) para uma margem métrica de redução de 5,2% em países industrializados (FERRETTI; BRITZ, 2006), além de permitir o surgimento do mercado de créditos de carbono entre as nações signatárias (RIBEIRO et al., 2010).

Os países do referido Protocolo assumiram um termo de compromisso para redução da emissão de GEE, assim, foram propostos três mecanismos para flexibilização no atendimento aos objetivos da mitigação do efeito estufa, descritos em (YU, 2004):

a) Implementação Conjunta (*Joint Implementation - JI*): os países signatários podem transferir ou adquirir com maior facilidade os créditos de carbono (artigo 6).

b) Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (*Clean Development Mechanism - CDM*): permite que países desenvolvidos (industrializados) financie projetos de redução da emissão em países em desenvolvimento, e assim deter créditos (artigo 12).

c) Comércio Internacional de Emissões (*International Emissions Trading*): países membros comercializarem entre si as chamadas quotas de emissão (artigo 17).

Nessa fase inicial do PK as áreas de conservação florestal eram elegíveis para obtenção de créditos de carbono através do CDM ou MDL, porém o comitê oficial brasileiro restringiu esse mecanismo, optando-se pela exclusão de projetos de conservação de florestas nativas (YU, 2004). Amaro (2010) explica que a não aceitação de projetos que evitem o desmatamento junto ao MDL

é devido a subjetividade na determinação das emissões de gases do efeito estufa proporcionadas pela diminuição do desmatamento, além das poucas metodologias de quantificação de emissões associadas à baixa precisão.

Foi nesse contexto que surgiram as estratégias de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação (*Reduce Emissions for Deforestation and Degradation* – REDD), com foco na criação de valor econômico para a permanência das florestas em pé, ou para o desmatamento evitado (BADR; MATTOS, 2010). Esses autores apontaram que, tal programa tem conferido um destaque eminente enfatizando a importância da floresta *in natura*, e veem que o REDD seja inserido futuramente na política de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do PK para geração de créditos do carbono, principalmente àqueles que deixam de serem emitidos por uma eventual remoção da cobertura florestal nativa, a exemplo. Desse modo, a compensação financeira passa a ser um atrativo econômico que promove a substituição das queimadas, do desmatamento, da agricultura extensiva ou ao comércio ilegal de madeira, para a manutenção da floresta com suas características originais (BADR; MATTOS, 2010).

Nessa retrospectiva, veio por último o Acordo de Paris, promulgado no Brasil por meio do Decreto nº 9.073/2017, delineando novas metas em resposta a Contribuição Nacionalmente Determinada (*Nationally Determined Contribution* - NDC), representando a maior ambição possível do país ordenada de forma mais progressiva, cuja as metas da NDC brasileira fixou em reduções nas emissões de GEE em 37% e 43% até 2025 e 2030, respectivamente, tendo como referência o índice de emissão constatado no ano de 2005 (CETESB, 2021).

Instrumentos jurídicos, acordos e outras regulamentações internacionais para as mudanças climáticas predispostos, são as bases técnicas, científicas e jurídico internacionais para elaboração de políticas internas mais alinhadas com os pressupostos da mitigação dos efeitos das mudanças climáticas para os Estados e demais jurisdições, das quais as principais referências regulatórias em vigor em esfera federal brasileira, são (CETESB, 2021):

- 1- Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009: institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) e dá outras providências.
- 2- Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012: dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências;
- 3- Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017: dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências;

- 4- Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021: Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais – PNPSA.

Com base no Art. 4º da Lei nº 14.119/2021, alguns dos objetivos relativos a regulamentação da mudança climática, são: evitar a perda da vegetação nativa; contribuir para a regulação do clima e a redução de emissões advindas de desmatamento e degradação florestal; estimular a pesquisa científica de valoração dos serviços ecossistêmicos e desenvolvimento de metodologias de projetos de PSA; fomentar o desenvolvimento sustentável; incentivar a criação de um mercado de serviços ambientais, e outros.

## 2.2 A MITIGAÇÃO FLORESTAL FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Segundo o IPCC (2019), os impactos negativos decorrentes da mudança climática sobre os ecossistemas terrestres poderiam ser restringidos em até 2°C a zona de aquecimento do planeta, caso houvesse rápidas reduções nas emissões antropogênicas de gases de efeito estufa (GEE). Contudo, reduções mais imediatas nas emissões de GEE não é possível diante do atual cenário da globalização, e por tanto é previsto que haja maior dependência de mitigação nas mudanças climáticas em larga escala, com base principalmente no uso da terra, das quais ações como, bioenergia e florestamento /reflorestamento são projetados para substituir e/ou competir com outras atividades potencialmente poluidoras (IPCC, 2019).

O desmatamento tropical mundial libera aproximadamente 30% de toda emissão proveniente de ações antropogênicas líquida total de GEE, valor este significativo e que deve ser amplamente considerado nos planos de mitigação climática (FEARNSIDE, 2003). As emissões dos gases por desmatamento incluem os incêndios florestais, a exploração de madeira, a queima e decomposição da biomassa nas áreas degradadas, a exposição dos solos, e as atividades posteriores, tais como a pecuária e agricultura, dada as intensificações das queimadas de pastagens e de capoeiras (FEARNSIDE, 2003).

Com o desmatamento (degradação ambiental), os compostos orgânicos voláteis biogênicos (BVOCs) emitidos pelas florestas se reduzirão, podendo elevar a temperatura do planeta acima das quais apresentadas em relatórios oficiais, ou seja, dado um cenário de desflorestamento total testado através de modelos climáticos globais combinados às partículas e química dos gases isso corresponderia a um aquecimento mundial adicional de 0,8° C após 100 anos (SCOTT et al., 2018).

Diante desse cenário, a relevância das florestas é investigada, tendo em vista seu *status* de ser a principal fonte mitigadora do aquecimento global de forma imediata, dada pela bioacumulação do carbono para formação dos tecidos vegetais (BRUN, 2007). Tanto a conservação das florestas primárias/nativas quanto as ampliações florestais (florestamento/reflorestamento) promovem a mitigação do efeito estufa ao fixar carbono na biomassa vegetal, além de garantir em observância a integridade da biodiversidade, do solo e da água, permitindo um desenvolvimento mais sustentável, somente assim, projetos dessa especificidade podem gerar benefícios ambientais e econômicos significativos para países com reservas biológicas extensas (FERRETTI; BRITZ, 2006).

Neste sentido, várias foram as demandas emergentes direcionadas para as pesquisas sobre recuperação de áreas degradadas com florestas, no que tange principalmente quantificar o serviço ambiental prestado e discutir a sua eficácia como estratégia para a recuperação de áreas degradadas, como também na redução dos níveis de GEE atmosférico (MELO; DURIGAN, 2006).

Dessa forma, o estudo e a quantificação dos estoques de carbono em áreas de implantação florestal são essenciais para pontos de discussão e para nortear estratégias de fomento em projetos que contribuam para a mitigação das mudanças climáticas (BORGES et al., 2017). Dados inerentes as estimativas de estocagem de carbono nas florestas refletem não somente na viabilidade dos projetos direcionados com a mitigação das mudanças climáticas como também para que se tenha um melhor gerenciamento e manejo das plantações florestais (DEBASTIANI, 2020).

Chang (2002), detalha três formas de mitigação do carbono por meio da bioacumulação florestal, a saber:

- a) preservação das reservas florestais já existentes, através de uma ação protetora contra perdas da cobertura vegetal por desmatamento e queimadas;
- b) promoção do aumento de áreas florestadas via implementação de práticas de manejo sustentável, regeneração florestal, reflorestamento de áreas degradadas em larga escala, e consórcios agroflorestais e;
- c) substituição de combustíveis fósseis por produtos renováveis a partir de biomassa na linha sustentável.

Notavelmente, as mudanças climáticas estão atreladas as composições florestais, cabendo imprescindivelmente o aprimoramento e desenvolvimento de novas técnicas de quantificação dos

serviços ambientais, para detenção real do valor econômico a crédito dos proprietários que mantem suas reservas florestais protegidas (BOINA, 2008).

Contudo, para que haja um mercado de *commodities* ambientais e com encargos econômicos mais justos no que tange o mercado de carbono, vale-se adequar fatores como: determinação mais precisa do carbono armazenado nos ecossistemas florestais, compromissos legais entre as partes envolvidas e a justa valoração pelo serviço ambiental prestado (BRUN, 2007).

## 2.3 DETERMINAÇÃO DE BIOMASSA E CARBONO EM FLORESTAS

A complexidade das florestas (componentes físicos e biológicos) representam um desafio para o desenvolvimento de ferramentas de mensuração mais precisas (AMARO, 2010). As características das florestas são amplas e variam quanto à composição florística, diversidade, estrutura, densidade, fertilidade do solo, disponibilidade de água, e etc., os quais aumentam a variabilidade dos dados, levando a estimativas de biomassa mais dispersas e muitas vezes não aproximando do real estoque (BURGER, 2005).

Para determinação da biomassa florestal há dois métodos: direto e indiretos. Os métodos diretos são aqueles onde a biomassa é obtida de forma destrutiva, dada pela pesagem de vegetal arbóreo, já os indiretos utilizam-se equações alométrica a partir de ajustes de dados de campo ou imagens de satélites (BROWN et al., 1989; WATZLAWICK, 2003). Por outro lado, o estoque de carbono pode ser obtido pela multiplicação da biomassa e teor de carbono, este último obtido na literatura especializada ou via determinação laboratorial específica (método que despende tempo e um custo financeiro alto, o que muitas vezes impossibilita a sua implementação), ou ainda pela aplicação de uma equação alométrica que incluam variáveis de fácil aquisição (SILVA et al., 2015).

### 2.3.1 ESTIMATIVAS DE BIOMASSA E CARBONO ACIMA DO SOLO

Pelo fato de as florestas estocarem carbono e por conseguinte reduzirem os impactos ambientais do efeito estufa e às suas implicações nas mudanças climáticas, crescem o interesse pelos estudos que determinam a biomassa e seu conteúdo de carbono por meio da alometria (SANQUETTA et al., 2015). Amaro (2010), reforça que há avanços para estimar volume, biomassa e carbono utilizando equações alométrica, em virtude da variação existente entre as espécies e entre

indivíduos de uma mesma espécie (características genotípicas e fenotípicas).

Os inventários florestais permitem estimar a biomassa com maior acerto, uma vez que cobre extensas áreas e diferentes fitofisionomias, e seus dados podem ser aplicados em modelos preditores como uma forma de reduzir a incerteza nas estimativas de biomassa de florestas tropicais (BROWN et al., 1989).

Para aplicação alométrica, os dados de biomassa do inventário florestal podem ser associados para ajuste de modelos de regressão linear, podendo-se obter diferentes modelos matemáticos (equações ajustadas) para estimativa do volume, biomassa e carbono acima do solo, por exemplo, tudo isso em função de variáveis independentes, normalmente as de fácil obtenção, como altura, diâmetro e densidade da madeira (AMARO, 2010; CHAVE et al., 2014) e também por imagens de satélite (WATZLAWICK, et al., 2009).

Para estimativas dos estoques de carbono é usual em florestas tropicais a utilização do fator de 0,47 estabelecido pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPPC, 2006). Uma das vantagens do emprego desse fator está na facilidade do cálculo, na rapidez e ausência de custo. Entretanto, outra alternativa para estimativas mais precisas em povoamentos florestais específicos é a utilização de equações alométricas, pois em áreas reflorestadas (restauração e recuperação) tem grande importância, uma vez que o abate não é viável por questões técnicas e legais (SILVA et al., 2015).

### 2.3.2 DADOS ORBITAIS PARA ESTIMATIVAS DE BIOMASSA E CARBONO

Dada a variabilidade e as dificuldades na obtenção das variáveis com menor custo e tempo que estejam relacionadas à biomassa vegetal (RAMOS, 2017), as técnicas como a de sensoriamento remoto aportam ferramentas que possibilitam quantificar a biomassa e carbono em função de sua relação com a atividade fotossintética (MARCUSI, 2010). Dentre as opções associadas ao uso do sensoriamento remoto passivo (via satélite orbitais), há a utilização de imagens multiespectrais para o mapeamento e quantificação da biomassa florestal, favorecida pela disponibilidade temporal e muitas vezes de fácil acessibilidade, acionadas nas vias de aquisição gratuita em portais oficiais (DOMINGUES et al., 2020).

Mediante utilização das imagens multiespectrais se determina os índices de vegetação (IVs), os quais podem ser correlacionados com a biomassa vegetal e os estoques de carbono

(WATZLAWICK, 2003; CASARI, 2018; DEBASTIANI, 2020). Os índices de vegetação são combinados entre duas ou mais bandas espectrais que extraem informações radiométricas presentes em cada pixel da imagem, com o objetivo de destacar a presença da vegetação (MENEZES et al., 2012; CASARI, 2018). As transformações espectrais entre as bandas do espectro eletromagnético para os IVs ocorrem principalmente na faixa do comprimento de onda vermelho – RED (0,6 a 0,7  $\mu\text{m}$ ) (baixa reflectância e maior absorção da vegetação) e no infravermelho próximo – NIR na faixa de 0,7 a 1,1  $\mu\text{m}$  (alta refletância e pouca absorção pelas folhas) (FERRAZ, 2012).

Diversos são os índices para realce da vegetação utilizados a partir da combinação da banda NIR e RED, como: Índice de Razão Simples (SR, *Simple Ratio*), Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI, *Normalized Difference Vegetation Index*), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI, *Soil-adjusted vegetation Index*), Índice de Área Foliar (LAI, *Leaf Area Index*) (JORDAN, 1969; ROUSE et al., 1973; HUETE, 1988; NORMAN et al., 2003), dentre outros.

O SR apresenta valores positivos altos (maiores que zero e até aproximadamente 30) em áreas com densa vegetação. Como resultado, são geradas imagens monocromáticas nas proporções de tons de cinza, indicando a variação da biomassa, onde os tons mais claros de cinza representam a maior a quantidade de vegetação e os tons de cinza mais escuros podem expressar ausência de vegetação (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Os valores do NDVI variam entre -1 a +1, sendo os valores mais elevados relativos às áreas com maiores densidades de vegetação viva, enquanto que os valores mais baixos representam menores quantidades de vegetação. Além disso, apresentam uma ligeira vantagem sobre o SR devido a tendência de acompanhar linearmente as flutuações da biomassa, sendo também o que menos sofre influência das variações atmosféricas e, por conseguinte, é o mais utilizado como medida de determinação do índice de área foliar, porcentagem da cobertura do solo e para estimativa da taxa de fotossíntese e sequestro de carbono (MENESES; ALMEIDA, 2012).

O SAVI é derivado do NDVI, porém possui o mesmo intervalo, e tem como característica principal minimizar as interferências do solo para informações da reflectância do dossel vegetal, uma vez que o NDVI não consegue ser um bom indicador de biomassa em áreas com baixa cobertura vegetal (MENESES; ALMEIDA, 2012).

O LAI é a relação expressa entre a área total de todas as folhas por área de superfície do terreno, sendo um indicador de biomassa e cobertura do dossel (NORMAN et al., 2003). A dinâmica da reflectância entre a região do visível e do infravermelho próximo não se apresentam

linearmente, podendo haver valores de LAI acima do qual não mais se pode observar em alterações nos valores de refletância do dossel, ou seja, os chamados pontos de saturação de reflectâncias (PONZONI et al., 2012).

A correlação entre os índices de vegetação e as informações coletadas em campo por meio do inventário florestal, viabiliza a estimativa da produção florestal (biomassa e carbono, por exemplo) (CASARI, 2018). Ferraz et al., (2014), esclarecem que as variáveis orbitais advinda das imagens de sensoriamento remoto ao serem correlacionadas para efetuação de tais estimativas, representam uma ferramenta mais acessível, menos onerosa e de menos esforços, quando comparado aos métodos tradicionais – de campo.

## 2.4 A RELAÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO EM FLORESTAS MULTIESPECÍFICAS

Para entender a dinâmica das florestas naturais tropicais faz necessário a diferenciação a nível de espécies arbóreas, classificando-as em grupos ecológicos, os quais são descritos por Budowski, (1965) como: pioneiras (P), secundárias iniciais (SI), secundárias tardias (ST) e climácicas (C). Para um florestamento ou reflorestamento misto que se assemelha a uma floresta natural de mesmo domínio fitogeográfico, é necessária a implantação com várias espécies para formação de um mosaico na vegetação composto de diferentes estágios sucessionais (KAGEYAMA et al., 1992).

O conhecimento da capacidade das espécies ou grupos funcionais em estocar carbono serve para ampliação de formulações de projetos voltados à restauração e a fixação maximizada de carbono em vegetações com alta diversidade de espécies (WATZLAWICK et al., 2011). Portanto, compreender a atual diversidade de espécies e seus estoques de carbono em áreas protegidas e implantadas ajudam no planejamento e gestão de seus investimentos (DIMOBE et al., 2019).

A integração de metodologias para as mais variadas premissas da mensuração florestal vai além do que simplesmente determinar a biomassa e o sumidouro de carbono em toda área florestada, como também a de investigar em nível de espécie, com foco em ações futuras de recuperação de áreas degradadas, permitindo-se o uso estratégico de espécies potencialmente mais fotossintéticas para fases iniciais de projetos de reflorestamentos (BRUN, 2007).

Devido a essa capacidade, torna-se possível analisar o carbono relativo (CR) por espécie (estocagem de carbono percentual da espécie, em relação à estocagem total) incluindo-o no cálculo da estrutura horizontal da análise fitossociológica, o que resulta em mudanças na ordem de Valor

de Importância (VI) das espécies (GASPAR et al., 2014). Dessa forma, o método tradicional (VI) passa a ser definido como Valor de Importância em Carbono (VIC), contribuindo para a identificação das espécies com maior potencial para sequestrar carbono, podendo ser esse um índice com potencial aplicação no que tange a indicação de projetos para Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação (REDD) (TORRES et al., 2017).

A análise da capacidade de estocar carbono é útil para escolha de espécies a serem utilizadas em programas de restauração florestal, pois eleva a potencialidade de sequestro e estocagem de carbono do povoamento florestal projetado (GASPAR et al., 2014). Dito isso, o conhecimento sobre o potencial de fixação e estoque de carbono por espécies florestais, visa ampliação e formulações de estratégias para ações pautadas na recuperação de recursos naturais em longo prazo, bem como os projetos de conservação (WATZLAWICK et al., 2011).

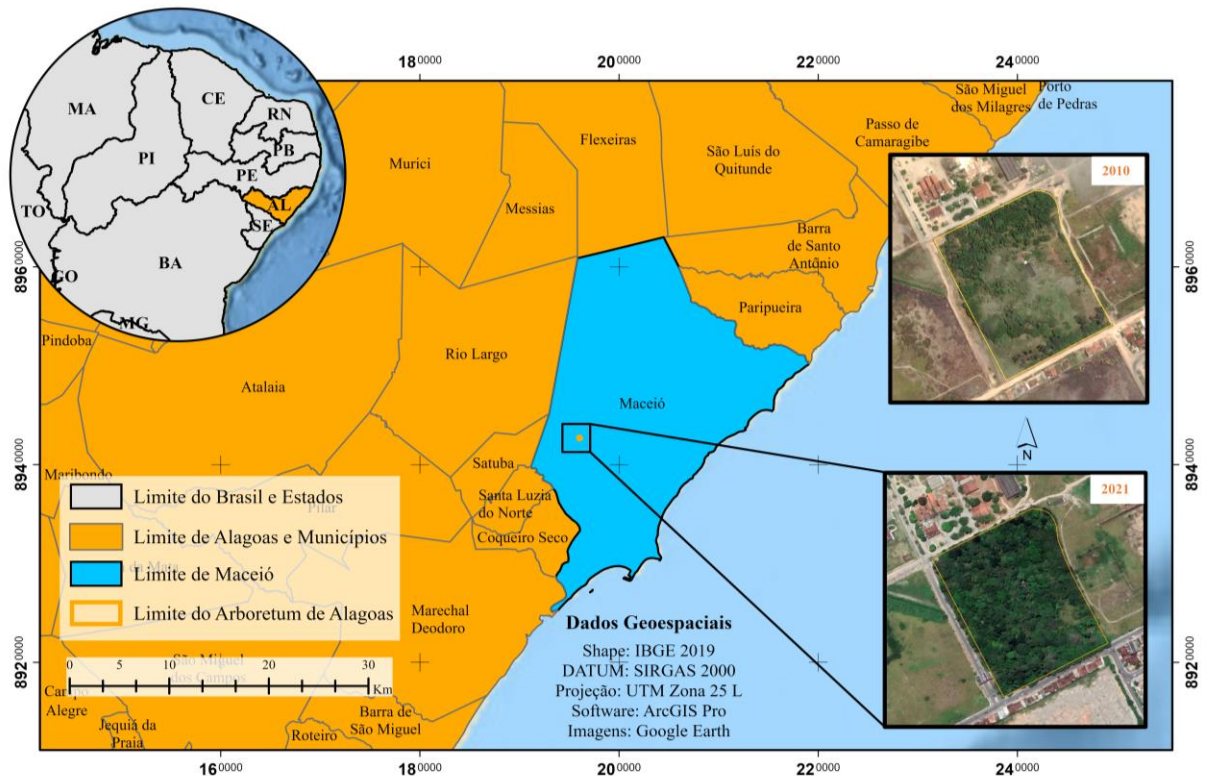
Diversas são as variáveis que influenciam no estoque de carbono das espécies, como o Diâmetro a Altura do Peito (DAP), altura das árvores (h), densidade das árvores, riqueza de espécies, índice de *Shannon-Weaver* ( $H'$ ) e a densidade da madeira, são também consideradas como variáveis potenciais na análise de correlação e regressão (DIMOBE et al., 2019). Para os mesmos autores, a bivariada relação dessas variáveis com o estoque de carbono são exploradas usando gráficos de dispersão, e depois regressões lineares para ajustes de modelos múltiplos (método aditivo), ao passo que áreas de multiespécies requerem equações mais precisas que considerem a diversidade da área a ser medida.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O presente estudo foi desenvolvido no *Arboretum* de Alagoas, localizado no interior do Campus A.C. Simões da UFAL, região Metropolitana de Maceió, Tabuleiro Costeiro de Alagoas dentro do domínio de formação de Floresta Ombrófila Aberta, sob coordenada central 09°33'13,80" S e 35°46'07,80" O (Figura 1).

**Figura 1** – Mapa de localização e registro da evolução da vegetação nos anos de 2010 e 2021 na área do *Arboretum* de Alagoas, Maceió.



Fonte: Autor (2022).

O clima dessa região segundo a classificação climática de Köppen é tropical litorâneo úmido (As), com temperatura média anual de 25,6 °C e precipitação anual de 1713 mm (ALVARES et al., 2013). A área está inserida na Formação Barreiras de Maceió, com litologia constituída por areias, argilas e siltes de sedimentos terciários de cor amarelo-avermelhada

(MARQUES et al., 2006). Segundo Santos et al. (2004), a formação barreira para essa região apresenta espessura variando entre 60 e 130 metros.

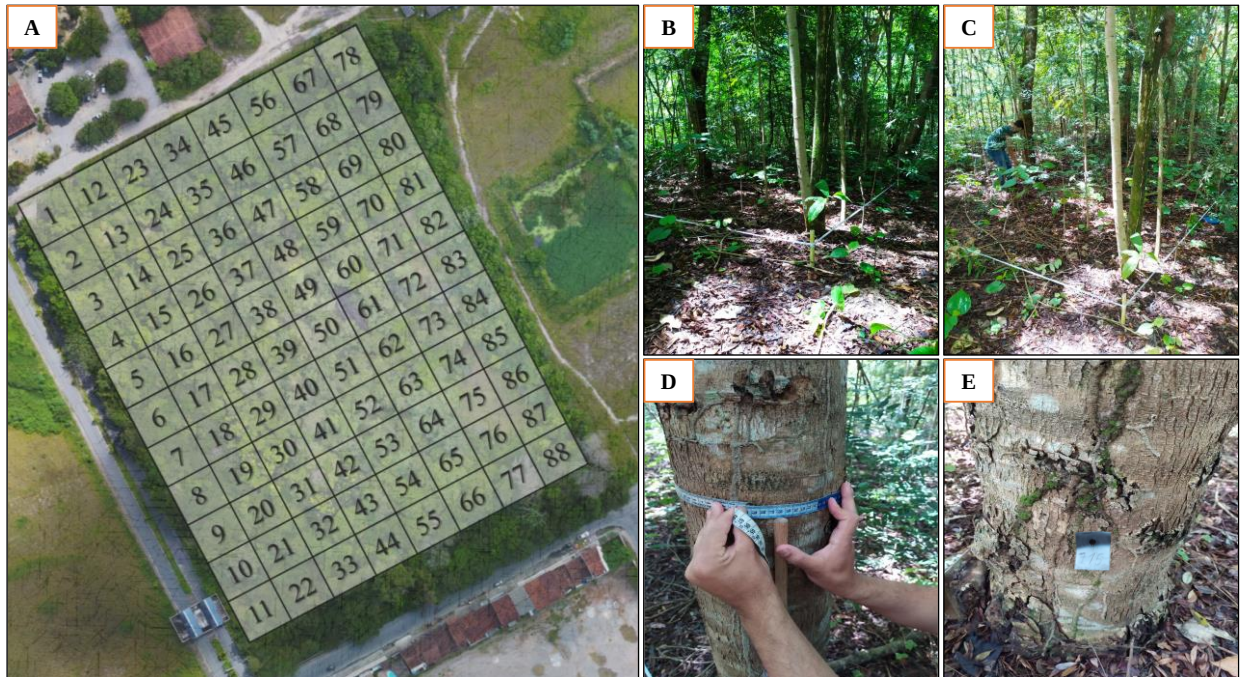
Com área total de aproximadamente 4,2 hectares, o referido *Arboretum* foi implantado em 2002 pelo departamento de Botânica da UFAL em parceria com a Pró-reitoria de Extensão (PROEX) e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), com o objetivo de formar um bosque para produção de mudas de espécies nativas regionais (SANTOS et al., 2018). Assim, no ano de 2002, ocorreu um plantio de 1450 mudas de 60 espécies pertencentes a 26 famílias botânicas (SANTOS, 2011). Vale ressaltar que, anteriormente ao período de implantação já existia na área alguns indivíduos arbóreos das espécies Eucaliptos (*Eucalyptus sp.*) e Aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolia*) com ocorrência concentrada na parte inferior (sentido sul) (Figura 1 – imagem 2010) formando uma faixa de aproximadamente 20 metros com o muro.

### 3.2 AMOSTRAGEM E COLETA DE DADOS

Para o acompanhamento da dinâmica do estoque florestal de biomassa e carbono das espécies arbóreas foi utilizado como base uma grade de unidades amostrais permanentes instalada no ano de 2017, composta por 8 faixas com 11 parcelas de 20m x 20m cada, totalizando 88 unidades amostrais (Figura 2A). Nessa ocasião (2017/2018 – P<sub>0</sub>) todos indivíduos com diâmetro à altura do peito (DAP)  $\geq 5$  cm presentes em cada unidade amostral tiveram a circunferência à altura do peito (CAP) e altura total medidas, foram identificados botanicamente, numerados sequencialmente com placa de alumínio fixada na base da árvore e registrada a coordenada (x; y) de cada indivíduo dentro da parcela visando facilitar sua identificação em inventários subsequentes.

No inventário florestal de monitoramento da vegetação, realizado no período de 2019/2020 (P<sub>1</sub>), objeto desta pesquisa, utilizou-se a mesma metodologia do inventário anterior, a saber, remediram-se todas as árvores com CAP  $\geq 15,7$  cm (DAP  $\geq 5$  cm) presentes na parcela, que já estavam identificadas e numeradas com etiqueta de alumínio. Além disso, procedeu-se o registro e o controle das planilhas quanto a datação das medições, para se ter a assertividade quanto ao período da primeira à última mensuração entre as unidades amostrais.

**Figura 2** – Representação da grade amostral (A) e registro fotográfico das atividades do inventário florestal para o estrato adulto (B, C, D e E) na área do *Arboretum* de Alagoas, Maceió.



Fonte: Autor (2022).

Em que: B – vértice da unidade amostral piquetada com cano PVC; C – marcação da coordenada (x;y) da árvore na parcela; D – medição do CAP utilizando fita métrica de 1,5 m e gabarito de 1,3 m para marcar a altura de indicação no tronco da árvore e; E – árvore marcada com plaquetas metálicas enumeradas.

Os indivíduos que não estavam presentes no estoque de crescimento, mas que atingiram o CAP mínimo de 15,7 cm no ano da remedição, foram ingressados no estoque do estrato arbóreo, receberam uma etiqueta de alumínio com número sequencial, foram identificados botanicamente, sendo medidas todas as variáveis descritas anteriormente. Já as árvores que se encontravam mortas na segunda ocasião de monitoramento foram apenas contabilizadas. A validação da morte foi registrada somente após a verificação da falta de umidade na madeira (água nos vasos do floema) mediante uso de um facão para cortes localizados, discretos e superficiais no tronco.

Para o Inventário Florestal Continuo (IFC) utilizou-se alguns equipamentos básicos, como: fita métrica para medição do CAP (circunferência a altura do peito) das árvores e trena de 50 metros para delimitação das unidades amostrais, cujo os vértices demarcados com cano PVC; vara de madeira com 1,30 m de altura (gabarito) para auxílio na medição do CAP com a finalidade de evitar erros de medição à altura do peito; placas metálicas para numeração das árvores ingressantes na sequência das parcelas tomadas na extensão da área em estudo, bem como o registro da

coordenada (x; y) de cada indivíduo dentro da parcela; prancheta e ficha para anotações das variáveis a serem inventariadas (Figura 2).

A nomenclatura das espécies foi determinada pelo Sistema Angiosperm Phylogeny Group IV (APG IV, 2016) com confirmação da grafia e da autoria obtidas a partir de consulta ao banco de dados do Missouri Botanical Garden (TROPICOS, 2020).

### 3.3 ANÁLISE DE DADOS

#### 3.3.1 Quantificação de Biomassa e Carbono

A biomassa viva acima do solo ( $B$ ) foi estimada por um modelo alométrico pantropical para florestas tropicais úmidas (CHAVE et al., 2014), sendo escolhido por apresentar bons ajustes, dado pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ) acima de 97% (Equação 1). O DAP e altura do referido modelo integra as informações diretas do IFC, já a Densidade Básica da Madeira (DBM) foi obtida através do banco de dados Global Wood Density Database para cada espécie identificada botanicamente (ZANNE et al., 2009), além de bibliografia especializada na literatura. Para as espécies não identificadas considerou-se a média da densidade das espécies conhecidas e medidas em toda área.

$$B = 0,0673 * (\rho * DAP^2 * h)^{0,976} \quad (1)$$

Em que:  $B$  = biomassa viva acima do solo estimada (kg);  $\rho$  = densidade básica da madeira ( $\text{g.cm}^{-3}$ ); DAP = diâmetro à altura do peito (cm);  $h$  = altura total (m).

Uma das necessidades de utilização de equações alométricas (método indireto) para determinação dos estoques de biomassa acima do solo em áreas recém implantadas é o princípio da integridade florestal para perpetuidade dos processos ecológicos, sem que haja interferência externa. Além disso, nesse estudo a juvenilidade da reabilitação florestal também não permitiria o abate dos indivíduos arbóreos (método direto). Essa tese foi igualmente apresentada no trabalho de Meira et al. (2020).

Após o somatório de cada indivíduo mensurado na área para compor o Estoque de Biomassa

(EB) total de cada inventário, quantificou-se também o Estoque de Carbono (EC) a partir da multiplicação da biomassa pelo teor de carbono, sendo comum a adoção do fator 0,47 estabelecido pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2006).

Com a obtenção do estoque de carbono nas duas ocasiões de monitoramento da vegetação, foi possível avaliar o crescimento da biomassa e do carbono durante os dois períodos de medição ( $P_0$  e  $P_1$ ) por meio do incremento periódico anual (IPA) (FINGER, 1992; CALIMAN, 2019), expresso em:

$$IPA = \frac{EP1 - EP0}{n} \quad (2)$$

Em que: IPA = Incremento Periódico Anual (Biomassa e Carbono); E = Estoques de biomassa e carbono na primeira ( $P_0$ ) e segunda ( $P_1$ ) medição; n = período de tempo entre as medições em ano.

A datação das parcelas em cada ocasião do IF foi importante para determinar o período na padronização anual, contabilizando-se os meses entre as duas medições e depois dividindo por 12 (doze) para se obter o valor de  $n$  anual.

Para gerar o balanço final do EC entre as duas medições, foi realizado também o cálculo do incremento dos ingressantes e deduzidos os decrementos dos indivíduos que morreram, cuja a biomassa foi obtida através da Equação 1, já supracitada.

As variáveis respostas de crescimento (estoque de biomassa e carbono) do inventário foram analisadas separadamente entre espécies, famílias, classes diamétricas e grupos ecológicos para as espécies do Bioma Mata Atlântica, estas classificadas segundo Budowski (1965) como: pioneiras (P), secundárias iniciais (SI), secundárias tardias (ST) e clímax (C). Entretanto, as que não foram possíveis incluir nessa classificação foram atribuídas as categorias: Sem Classificação (SC): indivíduos que não foram identificadas em nenhum nível taxonômico ou identificados apenas a nível de gênero e/ou família; Exóticas (E): para espécies exóticas (introduzidas) e invasoras no Brasil e; Não Regionalizadas (NR): àquelas nativas do Brasil, mas sem ocorrência natural na região de domínio fitogeográfico (bioma) da Mata Atlântica. As categorias E e NR foram consultadas no Flora do Brasil 2020 (REFLORA) e em Global Biodiversity Information Facility (GBIF).

Além disso, houve a verificação dos parâmetros biológicos para cada unidade amostral, através da análise de correlação de Pearson ( $r$ ) entre as variáveis biomassa/carbono ( $Mg \cdot ha^{-1}$ ) e

densidade (número de indivíduos.ha<sup>-1</sup>), riqueza (nº de espécies) e diversidade de *Shannon-Weaver* (H') (SHANNON; WEAVER, 1949) dos dados levantados em 2019/2020, para posterior apresentação dos resultados conforme a classificação da tabela 1 (BABA et al., 2014), expressa a seguir:

**Tabela 1** – Classificação para interpretação do Coeficiente da Correlação de Pearson (r).

| Valor de r (+/-) | Interpretação          |
|------------------|------------------------|
| 0,00 a 0,19      | Correlação muito fraca |
| 0,20 a 0,39      | Correlação fraca       |
| 0,40 a 0,69      | Correlação Moderada    |
| 0,70 a 0,89      | Correlação forte       |
| 0,90 a 1,00      | Correlação muito forte |

Fonte: Baba et al. (2014).

O Coeficiente de correlação amostral de Pearson (r) é uma medida que mede o grau de associação linear entre duas variáveis do tipo quantitativas (MARTINS, 2014), com valores que variam de -1 a 1 (correlação negativa e positiva, respectivamente), indicando maior correlação entre as variáveis com a aproximação dos extremos, e 0 a sua ausência (CASSOL, 2013).

### 3.3.2 Análise Fitossociológica em Carbono

A estrutura horizontal foi caracterizada a partir dos dados levantados nas 88 parcelas para os parâmetros fitossociológicos das espécies em densidade, frequência, dominância, bem como o valor de importância (VI) (MULLER-DOMBOIS; ELLEMBERG, 1974) e descritas por Roik (2019) nas seguintes equações:

$$DA = ni/A \quad (3)$$

$$DR = ni/N * 100 \quad (4)$$

$$FAi = pi/P * 100 \quad (5)$$

$$FR = FAi / \sum FAi * 100 \quad (6)$$

$$DoA = gi/A \quad (7)$$

$$DoR = g^i / \sum g^i * 100 \quad (8)$$

$$VI = (DR + FR + DoR/3) \quad (9)$$

em que: DA = densidade absoluta (ind.ha<sup>-1</sup>); DR = densidade relativa (%); ni = número de indivíduos da i-ésima espécie; N = número total de indivíduos; A = área (ha); FA = frequência absoluta (%); FR = frequência relativa (%); pi = número de unidades amostrais em que ocorre a i-ésima espécie; P = número total de unidades amostrais; DoA = dominância absoluta (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>); DoR = dominância relativa (%); gi = área transversal da i-ésima espécie (m<sup>2</sup>); VI = valor de importância (0-100%).

Para comparação ao método tradicional, incluiu-se a variável carbono absoluto (CA, em kg/ha) por espécie e seu respectivo valor relativo (CR%) no cálculo do índice de valor de importância, o qual foi apresentado por Gaspar et al., (2014) como índice de valor de importância ampliado (VIA) e por Torres et al., (2017) como índice de valor de importância em carbono (VIC). Este foi obtido utilizando a seguinte fórmula:

$$VIC (\%) = (DR + FR + DoR + CR/4) \quad (10)$$

Com isso, permitiu-se analisar a influência deste parâmetro na mudança do *ranking* de valor de importância (GASPAR et al., 2014) entre as 40 primeiras espécies da lista total, com ênfase àquelas que mais se destacaram positivamente em ordem de VIC ao estocarem carbono no ciclo de 2020.

### 3.3.3 Modelagem da Biomassa Florestal com Dados Orbitais

#### 3.3.3.1 Imagem de Satélite PlanetScope

A imagem foi adquirida por artifício da Iniciativa Internacional de Clima e Floresta da Noruega (NICFI, na sigla em inglês) promovendo o programa de educação e pesquisa da

plataforma Planet, tornando imagens de alta qualidade acessíveis ao público dada pela gratuidade cedida do governo Norueguês.

As imagens Planet são obtidas pela constelação de satélites Dove que possuem o mesmo tipo de sensor, e são adquiridas por mais de 130 satélites (PLANET, 2021) e estão descritas na Tabela 2:

**Tabela 2** - Características das bandas ópticas do satélite PlanetScope.

| Sensor<br>(instrumento) | Bandas<br>Espectrais | Resolução<br>Espectral | Resolução<br>Temporal | Resolução<br>Espacial | Resolução<br>Radiométrica |
|-------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|
| Dove Classic<br>(PS2)   | B1: Blue             | 455 - 515 nm           | Diária no<br>nadir    | 3 m                   | 16 bits                   |
|                         | B2: Green            | 500 - 590 nm           |                       |                       |                           |
|                         | B3: RED              | 590 - 670 nm           |                       |                       |                           |
|                         | B4: NIR              | 780 - 860 nm           |                       |                       |                           |

Fonte: Planet (2021).

Em que: B1 – banda azul; B2 – banda verde; B3 – banda vermelha e; B4 – banda no infravermelho próximo.

A Refletância de Superfície (SR) é um produto derivado do *Planet Analytic* padrão, e segue uma metodologia de correção atmosférica gerando produtos com garantias de consistência em amplas condições atmosféricas, minimizando a incerteza da resposta espectral, sendo iniciado pelos ajustes da refletância no topo (TOA) e depois no fundo da atmosfera (BOA), através de uma operação de cálculo pixel a pixel a partir de tabelas de pesquisa (LUTs) que foram desenvolvidas utilizando código de transferência radiativa 6S, V2.1 (PLANET, 2020).

As imagens estão disponíveis em GeoTIFF de 16 bits e descrita como o ativo 'analytic\_sr' nos tipos de item PSScene4Band, PSOrthoTile e REOrthoTile, para todas as cenas ortorretificadas produzidas por satélites Dove e RapidEye, e calibrados radiometricamente (PLANET, 2020).

A cena utilizada neste estudo coincide com o término do último inventário florestal (setembro de 2020). O Planet permite obter imagens atuais de grandes áreas e com alta qualidade (pré-processamento) e precisão planimétrica, além de revisitas diárias iniciadas em 2016 (SCCON, 2022). Vale mencionar que, a escolha de uma imagem com alta resolução espacial é um dos requisitos para análise das variações da cobertura florestal entre unidades amostrais menores (400 m<sup>2</sup>) dispostas sequencialmente.

### 3.3.3.2 Índices de Vegetação

Por meio das tecnologias geoespaciais do processamento digital de imagem de satélite foram obtidos alguns índices de vegetação por parcela, os quais estão listados e descritos abaixo com base na sua correlação com a biomassa florestal e já aplicados em vários trabalhos (WATZLAWICK et al., 2009; FERRAZ et al., 2014; HENTZ et al., 2014; RAMOS, 2017; XAVIER, 2017; BELLOLI, 2019; DEBASTIANI, 2020):

I. SR (*Simple Ratio* – Razão Simples) foi estimado utilizando a equação desenvolvida por Jordam (1969);

$$SR = NIR/RED \quad (11)$$

II. NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* – Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) foi estimado utilizando a equação desenvolvida por Rouse et al. (1973);

$$NDVI = (NIR - RED / NIR + RED) \quad (12)$$

III. SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index* – Índice de Vegetação Ajustado ao Solo) foi desenvolvido por Huete (1988) visando a amenizar o efeito de solo, sendo estimado pela equação;

$$SAVI = (NIR - RED / NIR + RED + L)(1 + L) \quad (13)$$

Em que: NIR = reflectância na banda do infravermelho próximo; RED = reflectância na banda do vermelho; L = constante de ajuste do solo (0,25 – densidades altas de vegetação; 0,5 - densidades médias e; 1 – densidades baixas).

A constante L é utilizada para reduzir a sensibilidade do índice de vegetação às variações de reflectância dos tipos de solo, sendo que o valor frequentemente usado para vegetações

intermediárias e com variações de classes de vegetação é 0,5 (WATZLAWICK et al., 2009), sendo esse valor aplicado por ser o mais correspondente com a vegetação ocorrente na área de estudo.

IV. LAI (*Leaf Area Index* – Índice de Área Foliar) é a relação expressa entre a área total de todas as folhas por área de superfície do terreno. O mesmo foi calculado usando as equações de Norman et al. (2003) [14] e Muñoz et al. (2005) [15].

$$LAI = -2 * \ln(1 - FVC) \quad (14)$$

$$FVC = 1,1101 * NDVI - 0,0857 \quad (15)$$

Em que: LAI = índice de área foliar (cm<sup>2</sup> de folhas/cm<sup>2</sup> de terreno) e; FVC = Fração da cobertura de vegetação.

O parâmetro biofísico FVC é o único que determina a contribuição da partição entre o solo exposto e a vegetação, como previsão da fotossíntese, evapotranspiração de superfície, albedo e outras interações de reflectância entre a terra e a atmosfera (ROCHA et al., 2011). E o mesmo apresenta-se muito útil em estudos globais (MUÑOZ et al., 2005).

Para melhor representar os índices de vegetação em cada unidade amostral, considerou-se os valores médios entre as reflectâncias dos pixels alocados dentro dos limites de cada parcela (WATZLAWICK et al., 2009). Antes desse processo, a imagem Planet foi exportada para *software* SIG (Sistemas de Informações Geográficas) -ArcGis® Pro., onde foi georreferenciada no sistema SIRGAS 2000, na projeção universal de Mercator (UTM) e no fuso 25 L, sendo então, calculados os índices SR, NDVI e SAVI nas funções disponíveis no *Imagery Analysis*, gerando 3 camadas *Raster* para os respectivos índices. O LAI foi calculado fora do SIG, após obtenção do NDVI.

Na extensão *Analyst Tools*, cada *Raster* passou pelos procedimentos descritos a seguir, utilizando as ferramentas, na sequência:

1. *Extract by mask*: criação do *shapefile* limite do *Arboretum* com base nos limites construídos (muro) e visualizados por fotointerpretação. A marcação inicial se deu pela primeira parcela, metrando-se a distância entre os lados do muro e o primeiro piquete, ou seja, no ponto de referência de todas as parcelas em campo.

2. *Create Fishnet*: elaboração da grade amostral, tal como disposta em campo.
3. *Raster to polygon*: conversão da imagem em diferentes partes (88 parcelas), a partir do *Fishnet* (grade) anteriormente gerado.
4. *Raster to point*: transformação dos pixels em pontos na imagem, onde cada ponto possui o valor da reflectância de um pixel.
5. *Spacial join*: realização do cálculo médio dos pontos (valor do pixel) dentro de cada parcela.

A realização desse esforço de precisão é importante para evitar erros de posicionamento de parcelas sobre as cenas georreferenciadas, na tentativa de coincidir as coordenadas dos pixels particulares da imagem com as parcelas localizadas em campo (CASSOL, 2013).

#### 3.3.3.3 Procedimentos para Regressão Múltipla

Xavier (2017) realizou pesquisas correlacionando os valores médios de cada índice de vegetação (SR, NDVI e SAVI, por exemplo) para cada parcela, transecto e divisão de transecto, com os estoques de biomassa inventariada em campo, visando encontrar a metodologia de amostragem mais apropriada para estimar as variáveis dendrométricas a partir do sensoriamento remoto. O mesmo autor constatou que, quanto menor a área amostral (a nível de parcela ou ainda agrupadas em pequenas amostras de 3 a 5 unidades por transectos) maior é o grau de heterogeneidade, dado pelo coeficiente de determinação muito baixo:  $R^2 < 0,19$ , fator esse intrínseco as variações estruturais das florestas tropicais, carecendo de sensores ópticos mais sensíveis a essas mudanças. Ao utilizar a média do transecto gerou maior homogeneização ( $R^2 < 0,36$ ), devido, principalmente, a generalização dos dados, sendo o solo a variável mais relevante do que o efeito atmosférico (XAVIER, 2017).

Para amostragem nesse estudo não foi possível considerar a média do transecto, tornando-o uma amostra, igualmente apresentada por Xavier (2017), tendo em vista a pequena quantidade de faixas (8) na área disponíveis para análise estatística. Todavia, como alternativa foi realizado o sorteio de 3 faixas/transectos, cada com 11 parcelas, totalizando assim 33 unidades amostrais para ajuste das equações, considerando separadamente cada parcela para modelagem florestal e seus respectivos IVs médios como variáveis preditoras na estimativa da *B*.

Antes de determinar o coeficiente de correlação de Pearson (*r*) das unidades selecionadas aleatoriamente, houve a análise da presença de *outliers*, ou seja, valores discrepantes (maiores ou

menores) entre o grupo de dados. Por ser uma medida que facilmente é influenciada por dados *outliers*, Martins (2014) fala que antes de iniciar o cálculo da correlação se faz necessário a representação gráfica em diagramas para detecção de valores atípicos. Após análise da dispersão gráfica dos dados ( $B \times IVs$ ) das 33 unidades amostrais selecionadas aleatoriamente por faixa, notou-se que a parcela 81 apresentava um afastamento acentuado da linha de correlação linear e também dos demais dados. Dessa forma, a mesma foi excluída, sendo utilizado apenas 32 parcelas para a modelagem florestal (Figura 3).

**Figura 3** – Representação da grade amostral e das faixas/transectos selecionados aleatoriamente para a modelagem florestal na área do *Arboretum* de Alagoas, Maceió.



Fonte: Autor (2022).

A biomassa viva acima do solo quantificada pelo inventário florestal em cada parcela ( $B_i$ ) foi a variável dependente ( $y$ ) e, os Índices de Vegetação (IVs) por parcelas a partir da imagem de satélite foram adotadas como variáveis independentes ( $x_i$ ) e preditoras para estimar a biomassa via regressão linear múltipla, utilizando o procedimento *Stepwise* (WATZLAWICK, 2003), bem como suas transformações nas formas quadráticas e inversas ( $IV_i^2$ ,  $1/IV_i$ ), sendo assim, adotado o seguinte modelo máximo (Equação 16):

$$B_i = \beta_0 + \beta_1.NDVI + \beta_2.SR + \beta_3.SAVI + \beta_4.LAI + \dots + \beta_n.IV_iT + \varepsilon \quad (16)$$

Em que:  $B_i$  = biomassa acima do solo em cada parcela (em  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ );  $SR$ ,  $NDVI$ ,  $SAVI$ ,  $LAI$  = índices de vegetação obtidos por sensoriamento remoto em cada parcela;  $IViT$  = índice de vegetação transformado.

O método *stepwise* seleciona apenas as variáveis com contribuição significativa para o modelo de regressão, o qual foi pré-estabelecido nesta pesquisa o valor de significância  $F$  de *Fischer* de 5% para incluir variáveis ao modelo (CASSOL, 2013).

Após análise de regressão, a *stepwise* acusou a equação que permitiu melhor ajuste para estimativa da biomassa por parcela, e foram apresentados os parâmetros da modelagem, tais como: coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ), erro padrão da estimativa absoluto ( $S_{yx}$ ) e em porcentagem ( $S_{yx}\%$ ) e, a distribuição de resíduos padronizada (WATZLAWICK et al., 2009).

O coeficiente de correlação ou de determinação ( $R^2$ ) é uma medida da quantidade de variação em uma variável que é explicada pela outra (FIELD, 2009), ou seja, mede a relação entre a variável dependente ( $y$ ) (biomassa) e independentes ( $x$ ) (índices de vegetação), explicado pelo ajuste da equação na regressão linear, e seu valor varia de -1 a 1, sendo os extremos apontando como de melhor qualidade do ajuste (MOGNON, 2011).

Contudo, o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ) é o mais usado para comparações de equações com mais de um coeficiente de entrada em regressões múltiplas (CASSOL, 2013), e é bastante utilizado para corrigir o aumento do  $R^2$  quando se insere novas variáveis ao modelo (BELLOLI, 2019).

O erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ) refere-se ao erro de ajuste de resíduos com os valores reais observados, e na sequência se encontra o erro padrão relativo ( $S_{yx}\%$ ) em porcentagem a partir da média dos valores reais (MOGNON, 2011), sendo este o mais apropriado para se comparar erros de estimativa com outros estudos (CASSOL, 2013).

Para análise de resíduos foi utilizado o diagnóstico por casos (*Casewise*), onde considera que em uma amostra comum tenha pelo menos 95% dos valores dos resíduos padronizados dentro do intervalo  $\pm 2$ , ou também 99% dos casos dentro de  $\pm 2,5$ , para o modelo ser considerado bastante preciso (FIELD, 2009).

A equação de regressão modelada foi empregada para estimar a biomassa florestal das 88 parcelas medidas no ano de 2020, para posterior confecção do mapa temático da distribuição

espacial das quantidades mensuradas tanto no inventário quanto na modelagem com integração de dados espectrais.

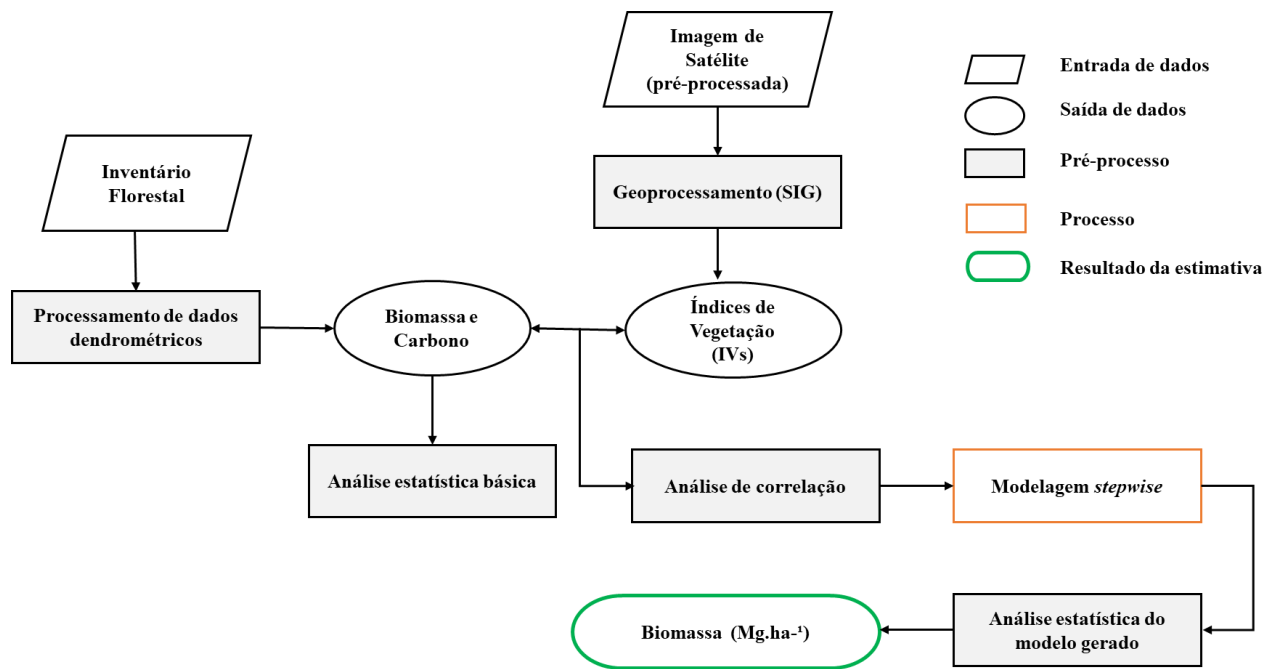
#### 3.3.4 Processamento dos Dados

Para o processamento dos dados foram utilizados instrumentos variados e específicos à cada fase de elaboração do trabalho, a saber:

- I. Planilha eletrônica do Microsoft Excel 2019 ®: utilizada para processamento de dados de inventário florestal em geral, e, adicionalmente, para elaboração de tabelas e gráficos.
- II. SAS System: empregado para análise estatística de correlação e da regressão linear para modelagem florestal no procedimento *stepwise*.
- III. ArcGis Pro: aplicado para obtenção dos índices de vegetação em cada parcela via processamento de imagem de satélite e elaboração de mapas temáticos do estoque de biomassa para os valores observados e estimados.

Todas as etapas metodológicas da presente pesquisa estão resumidas no fluxograma abaixo (Figura 4):

**Figura 4** – Roteiro metodológico de toda a pesquisa na área do *Arboretum* de Alagoas, Maceió.



Fonte: Adaptado de Belloli (2019).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 DINÂMICA DO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO

A densidade absoluta (DA) na primeira medição (2017/2018) foi de 696,3 ind.ha<sup>-1</sup> (2.451 indivíduos) e a área basal (G) de 15,73 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>. Já na segunda medição (2019/2020), estes valores aumentaram, apresentando uma densidade absoluta de 735,2 ind.ha<sup>-1</sup> para uma área basal de 17,71 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, sendo contabilizados um total de 2.588 indivíduos (Tabela 3). Da mesma forma, o diâmetro à altura do peito (DAP) médio variou de 14,1 a 14,4 cm e altura (h) média de 8,1 a 8,3 m entre as duas medições.

A biomassa viva acima do solo (B) foi estimada inicialmente (P<sub>0</sub>) em 73,73 Mg.ha<sup>-1</sup>, aumentando para 80,92 Mg.ha<sup>-1</sup> (P<sub>1</sub>), ou seja, um adicional de 9,7% em 2 anos. Em paralelo, o estoque de carbono foi de 34,65 Mg.ha<sup>-1</sup> a 38,03 Mg.ha<sup>-1</sup>. Esse balanço corresponde a um Incremento Periódico Anual (IPA) de biomassa (B) e carbono (C) total de 4,32 e 2,03 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 3).

**Tabela 3** – Estoque e dinâmica de crescimento de biomassa e carbono das espécies florestais na área do *Arboretum* de Alagoas, Maceió.

(Continua)

| Família/Nome Científico              | DA <sub>0</sub> | DA <sub>1</sub> | Biomassa       |                | IPA<br>B | Carbono        |                | IPA<br>C | GE |
|--------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------|----------------|----------------|----------|----|
|                                      |                 |                 | P <sub>0</sub> | P <sub>1</sub> |          | P <sub>0</sub> | P <sub>1</sub> |          |    |
| <b>Anacardiaceae</b>                 | 56,0            | 57,1            | 4,65           | 5,72           | 0,65     | 2,18           | 2,69           | 0,30     | -  |
| <i>Anacardium occidentale</i> L.     | 2,6             | 2,3             | 0,08           | 0,08           | 0,00     | 0,04           | 0,04           | 0,00     | ST |
| <i>Mangifera indica</i> L.           | 3,1             | 1,1             | 0,06           | 0,01           | -0,03    | 0,03           | 0,01           | -0,01    | E* |
| <i>Schinopsis brasiliensis</i> Engl. | 0,6             | 0,6             | 0,01           | 0,01           | 0,00     | 0,00           | 0,01           | 0,00     | NR |
| <i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi | 17,3            | 19,6            | 1,43           | 1,49           | 0,04     | 0,67           | 0,70           | 0,02     | P  |
| <i>Spondias mombin</i> L.            | 11,9            | 12,8            | 1,04           | 1,37           | 0,19     | 0,49           | 0,64           | 0,09     | P  |
| <i>Spondias purpurea</i> L.          | 0,3             | 0,0             | 0,01           | 0,00           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | E  |
| <i>Tapirira guianensis</i> Aubl.     | 20,2            | 20,7            | 2,02           | 2,76           | 0,45     | 0,95           | 1,30           | 0,21     | P  |
| <b>Annonaceae</b>                    | 46,6            | 67,3            | 0,92           | 1,36           | 0,26     | 0,43           | 0,64           | 0,12     | -  |
| <i>Annona montana</i> Macfad.        | 1,1             | 1,1             | 0,01           | 0,01           | 0,00     | 0,01           | 0,01           | 0,00     | ST |
| <i>Annona muricata</i> L.            | 2,6             | 2,8             | 0,02           | 0,02           | 0,00     | 0,01           | 0,01           | 0,00     | E  |
| Não Identificada 1                   | 4,8             | 5,4             | 0,07           | 0,09           | 0,01     | 0,03           | 0,04           | 0,00     | SC |
| <i>Guatteria</i> sp.                 | 0,6             | 0,6             | 0,01           | 0,01           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | SC |
| <i>Xylopia frutescens</i> Aubl.      | 37,5            | 57,4            | 0,82           | 1,23           | 0,25     | 0,38           | 0,58           | 0,12     | P  |

**Tabela 3** – Estoque e dinâmica de crescimento de biomassa e carbono das espécies florestais na área do *Arboretum* de Alagoas, Maceió.

(Continuação)

| Família/Nome Científico                                       | DA <sub>0</sub> | DA <sub>1</sub> | Biomassa       |                | IPA<br>B | Carbono        |                | IPA<br>C | GE |
|---------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------|----------------|----------------|----------|----|
|                                                               |                 |                 | P <sub>0</sub> | P <sub>1</sub> |          | P <sub>0</sub> | P <sub>1</sub> |          |    |
| <b>Apocynaceae</b>                                            | 4,5             | 4,8             | 0,15           | 0,17           | 0,01     | 0,07           | 0,08           | 0,01     | -  |
| <i>Himatanthus bracteatus</i> (A. DC.) Woodson                | 4,5             | 4,8             | 0,15           | 0,17           | 0,01     | 0,07           | 0,08           | 0,01     | SI |
| <b>Araliaceae</b>                                             | 2,0             | 3,7             | 0,08           | 0,12           | 0,02     | 0,04           | 0,05           | 0,01     | -  |
| <i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Maguire et al.           | 2,0             | 3,7             | 0,08           | 0,12           | 0,02     | 0,04           | 0,05           | 0,01     | P  |
| <b>Arecaceae</b>                                              | 3,7             | 3,7             | 0,47           | 0,53           | 0,03     | 0,22           | 0,25           | 0,02     | -  |
| <i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. ex Mart.              | 0,3             | 0,3             | 0,01           | 0,01           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | NR |
| <i>Cocos nucifera</i> L.                                      | 1,4             | 1,4             | 0,04           | 0,04           | 0,00     | 0,02           | 0,02           | 0,00     | E  |
| <i>Euterpe oleracea</i> Mart.                                 | 1,4             | 1,4             | 0,11           | 0,14           | 0,02     | 0,05           | 0,07           | 0,01     | NR |
| <i>Roystonea regia</i> (Kunth) O.F. Cook                      | 0,6             | 0,6             | 0,32           | 0,34           | 0,01     | 0,15           | 0,16           | 0,01     | E  |
| <b>Bignoniaceae</b>                                           | 135,2           | 117,0           | 8,43           | 8,13           | -0,18    | 3,96           | 3,82           | -0,08    | -  |
| <i>Cybistax antisiphilitica</i> (Mart.) Mart.                 | 0,6             | 0,6             | 0,10           | 0,18           | 0,04     | 0,05           | 0,08           | 0,02     | P  |
| <i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. ex DC.) Mattos       | 15,6            | 16,2            | 0,41           | 0,43           | 0,01     | 0,19           | 0,20           | 0,01     | ST |
| <i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos               | 15,3            | 9,1             | 0,89           | 0,45           | -0,27    | 0,42           | 0,21           | -0,13    | ST |
| <i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos       | 36,1            | 33,2            | 5,26           | 5,63           | 0,21     | 2,47           | 2,64           | 0,10     | ST |
| <i>Handroanthus</i> sp.                                       | 1,4             | 1,4             | 0,05           | 0,06           | 0,00     | 0,03           | 0,03           | 0,00     | SC |
| <i>Jacaranda</i> sp.                                          | 3,4             | 3,4             | 0,06           | 0,07           | 0,00     | 0,03           | 0,03           | 0,00     | SC |
| <i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth.&Hook.f. ex S.Moore | 12,5            | 7,7             | 0,78           | 0,49           | -0,16    | 0,36           | 0,23           | -0,07    | SI |
| <i>Tabebuia cassinoides</i> (Lam.) DC.                        | 43,2            | 38,9            | 0,68           | 0,64           | -0,01    | 0,32           | 0,30           | -0,01    | P  |
| <i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith                    | 7,1             | 6,5             | 0,19           | 0,19           | 0,00     | 0,09           | 0,09           | 0,00     | ST |
| <b>Boraginaceae</b>                                           | 0,9             | 0,9             | 0,01           | 0,01           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | -  |
| <i>Cordia superba</i> Cham.                                   | 0,9             | 0,9             | 0,01           | 0,01           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | ST |
| <b>Burseraceae</b>                                            | 8,5             | 10,5            | 0,10           | 0,13           | 0,02     | 0,04           | 0,06           | 0,01     | -  |
| <i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand                  | 8,5             | 10,5            | 0,10           | 0,13           | 0,02     | 0,04           | 0,06           | 0,01     | SI |
| <b>Cannabaceae</b>                                            | 1,1             | 0,3             | 0,01           | 0,00           | -0,01    | 0,01           | 0,00           | 0,00     | -  |
| <i>Trema micrantha</i> (L.) Blume                             | 1,1             | 0,3             | 0,01           | 0,00           | -0,01    | 0,01           | 0,00           | 0,00     | P  |
| <b>Capparaceae</b>                                            | 0,3             | 0,3             | 0,01           | 0,01           | 0,00     | 0,01           | 0,01           | 0,00     | -  |
| <i>Crateva tapia</i> L.                                       | 0,3             | 0,3             | 0,01           | 0,01           | 0,00     | 0,01           | 0,01           | 0,00     | SI |
| <b>Caricaceae</b>                                             | 0,6             | 0,6             | 0,03           | 0,04           | 0,01     | 0,01           | 0,02           | 0,00     | -  |
| <i>Jacaratia spinosa</i> (Aubl.) A.DC.                        | 0,6             | 0,6             | 0,03           | 0,04           | 0,01     | 0,01           | 0,02           | 0,00     | P  |
| <b>Chrysobalanaceae</b>                                       | 14,2            | 15,6            | 0,90           | 1,09           | 0,11     | 0,42           | 0,51           | 0,05     | -  |
| <i>Licania tomentosa</i> (Benth.) Fritsch                     | 14,2            | 15,6            | 0,90           | 1,09           | 0,11     | 0,42           | 0,51           | 0,05     | SI |
| <b>Clusiaceae</b>                                             | 1,1             | 1,1             | 0,02           | 0,02           | 0,00     | 0,01           | 0,01           | 0,00     | -  |
| <i>Clusia nemorosa</i> G.Mey.                                 | 1,1             | 1,1             | 0,02           | 0,02           | 0,00     | 0,01           | 0,01           | 0,00     | ST |
| <b>Dilleniaceae</b>                                           | 8,0             | 8,5             | 0,15           | 0,20           | 0,03     | 0,07           | 0,09           | 0,02     | -  |
| <i>Curatella americana</i> L.                                 | 8,0             | 8,5             | 0,15           | 0,20           | 0,03     | 0,07           | 0,09           | 0,02     | P  |
| <b>Euphorbiaceae</b>                                          | 2,6             | 2,8             | 0,38           | 0,49           | 0,05     | 0,18           | 0,23           | 0,03     | -  |
| <i>Hevea brasiliensis</i> (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg.       | 1,7             | 1,7             | 0,14           | 0,20           | 0,03     | 0,07           | 0,09           | 0,02     | NR |
| <i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong                         | 0,9             | 1,1             | 0,24           | 0,29           | 0,02     | 0,11           | 0,13           | 0,01     | SI |

**Tabela 3** – Estoque e dinâmica de crescimento de biomassa e carbono das espécies florestais na área do *Arboretum* de Alagoas, Maceió.

| (Continuação)                                              |                 |                 |                |                |          |                |                |          |    |
|------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------|----------------|----------------|----------|----|
| Família/Nome Científico                                    | DA <sub>0</sub> | DA <sub>1</sub> | Biomassa       |                | IPA<br>B | Carbono        |                | IPA<br>C | GE |
|                                                            |                 |                 | P <sub>0</sub> | P <sub>1</sub> |          | P <sub>0</sub> | P <sub>1</sub> |          |    |
| <b>Fabaceae</b>                                            | 220,5           | 229,5           | 38,30          | 43,34          | 3,01     | 18,00          | 20,37          | 1,42     | -  |
| <i>Abarema cochliacarpus</i> (Gomes) Barneby & J.W.Grimes  | 10,2            | 10,2            | 0,69           | 0,75           | 0,04     | 0,32           | 0,35           | 0,02     | P  |
| <i>Abarema filamentosa</i> (Benth.) Pittier                | 3,1             | 3,1             | 0,14           | 0,16           | 0,01     | 0,07           | 0,08           | 0,01     | P  |
| <i>Acacia mangium</i> Willd.                               | 2,0             | 1,7             | 0,10           | 0,15           | 0,02     | 0,05           | 0,07           | 0,01     | E  |
| <i>Albizia pedicellaris</i> (DC.) L.Rico                   | 0,3             | 0,3             | 0,00           | 0,00           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | P  |
| <i>Anadenanthera</i> sp.                                   | 11,1            | 12,2            | 5,38           | 6,26           | 0,54     | 2,53           | 2,94           | 0,25     | SC |
| <i>Andira fraxinifolia</i> Benth.                          | 1,1             | 1,4             | 0,13           | 0,14           | 0,01     | 0,06           | 0,07           | 0,00     | SI |
| <i>Andira</i> sp.                                          | 1,4             | 1,4             | 0,07           | 0,07           | 0,00     | 0,03           | 0,03           | 0,00     | SC |
| <i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F.Macbr.                | 0,9             | 0,9             | 0,01           | 0,01           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | SI |
| <i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong.) Steud.                  | 2,3             | 2,3             | 0,02           | 0,02           | 0,00     | 0,01           | 0,01           | 0,00     | NR |
| <i>Bauhinia monandra</i> Kurz                              | 1,1             | 0,3             | 0,03           | 0,01           | -0,01    | 0,01           | 0,00           | 0,00     | E  |
| <i>Bauhinia variegata</i> L.                               | 0,3             | 0,3             | 0,07           | 0,08           | 0,00     | 0,03           | 0,04           | 0,00     | E  |
| <i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth                        | 40,6            | 40,6            | 10,22          | 11,78          | 0,97     | 4,80           | 5,54           | 0,45     | ST |
| <i>Cassia grandis</i> L.f.                                 | 13,1            | 11,6            | 0,91           | 1,01           | 0,05     | 0,43           | 0,47           | 0,02     | SI |
| <i>Cenostigma pyramidale</i> (Tul.) E. Gagnon & G.P. Lewis | 0,9             | 0,9             | 0,01           | 0,02           | 0,00     | 0,01           | 0,01           | 0,00     | NR |
| <i>Centrolobium microchaete</i> (Mart. ex Benth.) H.C.Lima | 2,6             | 2,3             | 0,09           | 0,10           | 0,00     | 0,04           | 0,05           | 0,00     | SI |
| <i>Chamaecrista ensiformis</i> (Vell.) H.S.Irwin & Barneby | 0,6             | 0,6             | 0,01           | 0,02           | 0,00     | 0,01           | 0,01           | 0,00     | SI |
| <i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.                        | 0,9             | 0,9             | 0,01           | 0,02           | 0,00     | 0,01           | 0,01           | 0,00     | C  |
| <i>Dalbergia nigra</i> (Vell.) Allemão ex Benth.           | 2,0             | 2,0             | 0,73           | 0,87           | 0,08     | 0,34           | 0,41           | 0,04     | ST |
| <i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong        | 9,4             | 9,1             | 3,14           | 3,37           | 0,12     | 1,47           | 1,58           | 0,06     | SI |
| <i>Erythrina</i> sp.                                       | 0,3             | 0,0             | 0,04           | 0,00           | -0,02    | 0,02           | 0,00           | -0,01    | SC |
| <i>Erythrina speciosa</i> Andrews                          | 0,3             | 0,3             | 0,00           | 0,00           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | P  |
| <i>Erythrina velutina</i> Willd.                           | 1,1             | 1,1             | 0,01           | 0,01           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | NR |
| <i>Hymenaea courbaril</i> L.                               | 9,4             | 9,7             | 1,79           | 2,16           | 0,21     | 0,84           | 1,02           | 0,10     | ST |
| <i>Inga edulis</i> Mart.                                   | 20,5            | 21,6            | 5,76           | 5,86           | 0,06     | 2,71           | 2,75           | 0,03     | SI |
| <i>Inga marginata</i> Willd.                               | 2,3             | 2,3             | 0,32           | 0,35           | 0,01     | 0,15           | 0,16           | 0,01     | SI |
| <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit                 | 0,3             | 0,0             | 0,00           | 0,00           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | E* |
| <i>Liana</i> sp. 1                                         | 0,3             | 0,3             | 0,01           | 0,02           | 0,00     | 0,01           | 0,01           | 0,00     | SC |
| <i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P.Queiroz        | 7,4             | 8,0             | 0,50           | 0,54           | 0,03     | 0,24           | 0,25           | 0,01     | C  |
| <i>Lonchocarpus sericeus</i> (Poir.) Kunth ex DC.          | 7,7             | 8,0             | 3,77           | 4,43           | 0,40     | 1,77           | 2,08           | 0,19     | ST |
| <i>Machaerium biovulatum</i> Micheli                       | 0,3             | 0,3             | 0,02           | 0,03           | 0,00     | 0,01           | 0,01           | 0,00     | NR |
| <i>Machaerium hirtum</i> (Vell.) Stellfeld                 | 0,6             | 0,6             | 0,12           | 0,14           | 0,01     | 0,06           | 0,07           | 0,00     | C  |
| <i>Machaerium villosum</i> Vogel                           | 0,9             | 0,3             | 0,02           | 0,01           | -0,01    | 0,01           | 0,00           | -0,01    | SI |
| <i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth.                     | 11,9            | 17,9            | 0,68           | 0,91           | 0,13     | 0,32           | 0,43           | 0,06     | E* |
| <i>Mimosa</i> sp.                                          | 0,3             | 0,3             | 0,00           | 0,00           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | SC |
| Não Identificada 1                                         | 3,4             | 3,1             | 0,26           | 0,26           | 0,00     | 0,12           | 0,12           | 0,00     | SC |
| Não Identificada 2                                         | 0,0             | 0,3             | 0,00           | 0,00           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | SC |

**Tabela 3** – Estoque e dinâmica de crescimento de biomassa e carbono das espécies florestais na área do *Arboretum* de Alagoas, Maceió.

(Continuação)

| Família/Nome Científico                                         | DA <sub>0</sub> | DA <sub>1</sub> | Biomassa       |                | IPA<br>B | Carbono        |                | IPA<br>C | GE |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------|----------------|----------------|----------|----|
|                                                                 |                 |                 | P <sub>0</sub> | P <sub>1</sub> |          | P <sub>0</sub> | P <sub>1</sub> |          |    |
| <i>Parapiptadenia zehntneri</i> (Harms) M.P.Lima & H.C.Lima     | 1,1             | 1,1             | 0,29           | 0,35           | 0,03     | 0,14           | 0,16           | 0,02     | NR |
| <i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth. ex Walp.                  | 11,4            | 11,9            | 0,32           | 0,42           | 0,06     | 0,15           | 0,20           | 0,03     | SI |
| <i>Paubrasilia echinata</i> (Lam.) Gagnon, H.C.Lima & G.P.Lewis | 18,5            | 21,6            | 0,83           | 1,01           | 0,11     | 0,39           | 0,47           | 0,05     | C  |
| <i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.                       | 4,8             | 4,8             | 0,45           | 0,48           | 0,02     | 0,21           | 0,23           | 0,01     | SI |
| <i>Pithecellobium diversifolium</i> Benth.                      | 0,3             | 0,3             | 0,01           | 0,01           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | NR |
| <i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.                      | 0,6             | 0,6             | 0,00           | 0,01           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | E  |
| <i>Plathymenia reticulata</i> Benth.                            | 0,6             | 0,6             | 0,05           | 0,05           | 0,00     | 0,02           | 0,02           | 0,00     | SI |
| <i>Poincianella pluviosa</i> (DC.) L.P.Queiroz                  | 2,6             | 2,6             | 0,36           | 0,46           | 0,05     | 0,17           | 0,22           | 0,02     | ST |
| <i>Pterogyne nitens</i> Tul.                                    | 5,1             | 5,1             | 0,59           | 0,62           | 0,02     | 0,28           | 0,29           | 0,01     | SI |
| <i>Samanea tubulosa</i> (Benth.) Barneby & J.W.Grimes           | 3,7             | 4,0             | 0,23           | 0,28           | 0,03     | 0,11           | 0,13           | 0,01     | SI |
| <i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) Blake                      | 0,3             | 0,3             | 0,00           | 0,00           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | SI |
| <i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton & Rose                | 0,3             | 0,3             | 0,00           | 0,00           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | SI |
| <i>Senna siamea</i> (Lam.) H.S.Irwin & Barneby                  | 0,3             | 0,3             | 0,09           | 0,12           | 0,02     | 0,04           | 0,05           | 0,01     | E  |
| <i>Senna spectabilis</i> (DC.) H.S.Irwin & Barneby              | 0,6             | 0,3             | 0,00           | 0,00           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | ST |
| <b>Hypericaceae</b>                                             | 17,6            | 26,1            | 0,18           | 0,26           | 0,05     | 0,08           | 0,12           | 0,02     | -  |
| <i>Vismia guianensis</i> (Aubl.) Choisy                         | 17,6            | 26,1            | 0,18           | 0,26           | 0,05     | 0,08           | 0,12           | 0,02     | P  |
| <b>Lamiaceae</b>                                                | 0,6             | 0,6             | 0,01           | 0,01           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | -  |
| <i>Aegiphila integrifolia</i> (Jacq.) Moldenke                  | 0,3             | 0,3             | 0,00           | 0,00           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | P  |
| <i>Vitex rufescens</i> A.Juss.                                  | 0,3             | 0,3             | 0,00           | 0,01           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | SI |
| <b>Lauraceae</b>                                                | 0,3             | 0,3             | 0,06           | 0,07           | 0,00     | 0,03           | 0,03           | 0,00     | -  |
| <i>Cinnamomum verum</i> J.Presl.                                | 0,3             | 0,3             | 0,06           | 0,07           | 0,00     | 0,03           | 0,03           | 0,00     | E  |
| <b>Lecythidaceae</b>                                            | 4,8             | 5,4             | 0,18           | 0,20           | 0,01     | 0,08           | 0,09           | 0,00     | -  |
| <i>Couroupita guianensis</i> Aubl.                              | 4,3             | 4,8             | 0,17           | 0,18           | 0,01     | 0,08           | 0,08           | 0,00     | ST |
| <i>Eschweilera ovata</i> (Cambess.) Mart. ex Miers              | 0,6             | 0,6             | 0,01           | 0,02           | 0,00     | 0,01           | 0,01           | 0,00     | SI |
| <b>Malpighiaceae</b>                                            | 9,7             | 11,9            | 0,34           | 0,43           | 0,05     | 0,16           | 0,20           | 0,02     | -  |
| <i>Byrsonima coccolobifolia</i> Kunth                           | 1,1             | 0,9             | 0,01           | 0,01           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | C  |
| <i>Byrsonima sericea</i> DC.                                    | 8,5             | 11,1            | 0,33           | 0,42           | 0,05     | 0,16           | 0,20           | 0,02     | SI |
| <b>Malvaceae</b>                                                | 40,6            | 38,4            | 4,06           | 4,14           | 0,05     | 1,91           | 1,94           | 0,02     | -  |
| <i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.                                   | 15,6            | 15,6            | 1,03           | 1,06           | 0,01     | 0,49           | 0,50           | 0,00     | SI |
| <i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.                             | 7,4             | 6,5             | 0,78           | 0,81           | 0,01     | 0,37           | 0,38           | 0,00     | NR |
| <i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna                      | 0,3             | 0,0             | 0,00           | 0,00           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | SI |
| <i>Erytheca</i> sp.                                             | 0,3             | 0,3             | 0,10           | 0,12           | 0,01     | 0,05           | 0,06           | 0,01     | SC |
| <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.                                   | 3,4             | 3,4             | 0,54           | 0,57           | 0,02     | 0,25           | 0,27           | 0,01     | P  |
| Não Identificada 1                                              | 0,6             | 0,6             | 0,01           | 0,01           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | SC |
| Não Identificada 2                                              | 0,3             | 0,3             | 0,00           | 0,00           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | SC |
| <i>Pachira aquatica</i> Aubl.                                   | 3,1             | 3,4             | 0,12           | 0,13           | 0,01     | 0,06           | 0,06           | 0,00     | E  |
| <i>Pseudobombax</i> sp.                                         | 9,4             | 8,0             | 1,42           | 1,38           | -0,02    | 0,67           | 0,65           | -0,01    | SC |

**Tabela 3** – Estoque e dinâmica de crescimento de biomassa e carbono das espécies florestais na área do *Arboretum* de Alagoas, Maceió.

(Continuação)

| Família/Nome Científico                                      | DA <sub>0</sub> | DA <sub>1</sub> | Biomassa       |                | IPA<br>B | Carbono        |                | IPA<br>C | GE |
|--------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------|----------------|----------------|----------|----|
|                                                              |                 |                 | P <sub>0</sub> | P <sub>1</sub> |          | P <sub>0</sub> | P <sub>1</sub> |          |    |
| <i>Sterculia foetida</i> L.                                  | 0,3             | 0,3             | 0,04           | 0,04           | 0,00     | 0,02           | 0,02           | 0,00     | E  |
| <b>Melastomataceae</b>                                       | 2,8             | 3,1             | 0,02           | 0,02           | 0,00     | 0,01           | 0,01           | 0,00     | -  |
| <i>Miconia albicans</i> (Sw.) Triana                         | 0,6             | 0,6             | 0,00           | 0,00           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | P  |
| <i>Miconia minutiflora</i> (Bonpl.) DC.                      | 1,7             | 2,0             | 0,02           | 0,01           | 0,00     | 0,01           | 0,01           | 0,00     | P  |
| <i>Miconia prasina</i> (Sw.) DC.                             | 0,6             | 0,6             | 0,01           | 0,01           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | P  |
| <b>Meliaceae</b>                                             | 22,2            | 21,0            | 3,20           | 3,97           | 0,47     | 1,50           | 1,86           | 0,22     | -  |
| <i>Carapa guianensis</i> Aubl.                               | 0,9             | 0,9             | 0,08           | 0,09           | 0,01     | 0,04           | 0,04           | 0,00     | NR |
| <i>Cedrela fissilis</i> Vell.                                | 3,7             | 2,6             | 0,09           | 0,07           | -0,01    | 0,04           | 0,03           | -0,01    | ST |
| <i>Guarea guidonia</i> (L.) Sleumer                          | 0,6             | 0,6             | 0,01           | 0,01           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | SI |
| <i>Swietenia macrophylla</i> King                            | 17,0            | 17,0            | 3,03           | 3,80           | 0,47     | 1,42           | 1,79           | 0,22     | ST |
| <b>Moraceae</b>                                              | 2,0             | 2,3             | 0,08           | 0,09           | 0,01     | 0,04           | 0,04           | 0,00     | -  |
| <i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.                         | 1,1             | 1,4             | 0,07           | 0,08           | 0,01     | 0,03           | 0,04           | 0,00     | E* |
| Não Identificada 1                                           | 0,3             | 0,3             | 0,01           | 0,01           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | SC |
| <i>Sorocea hilarii</i> Gaudich.                              | 0,6             | 0,6             | 0,00           | 0,00           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | ST |
| <b>Myrtaceae</b>                                             | 17,9            | 17,3            | 6,28           | 4,18           | -1,18    | 2,95           | 1,97           | -0,56    | -  |
| <i>Campomanesia dichotoma</i> (O.Berg) Mattos                | 1,7             | 2,0             | 0,09           | 0,14           | 0,03     | 0,04           | 0,07           | 0,01     | ST |
| <i>Campomanesia</i> sp.                                      | 0,3             | 0,3             | 0,00           | 0,00           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | SC |
| <i>Eucalyptus</i> sp.                                        | 2,0             | 1,4             | 5,12           | 2,88           | -1,27    | 2,40           | 1,35           | -0,59    | E* |
| <i>Eugenia luschnathiana</i> (O.Berg) Klotzsch ex B.D.Jacks. | 1,1             | 1,4             | 0,02           | 0,03           | 0,01     | 0,01           | 0,01           | 0,00     | SI |
| <i>Eugenia</i> sp.                                           | 0,3             | 0,3             | 0,00           | 0,00           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | SC |
| <i>Eugenia umbrosa</i> O.Berg                                | 0,3             | 0,3             | 0,00           | 0,00           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | SI |
| Não Identificada 1                                           | 3,1             | 3,1             | 0,05           | 0,07           | 0,01     | 0,02           | 0,03           | 0,01     | SC |
| <i>Psidium cattleianum</i> Sabine                            | 2,8             | 2,3             | 0,05           | 0,06           | 0,00     | 0,02           | 0,03           | 0,00     | ST |
| <i>Psidium guajava</i> L.                                    | 1,4             | 1,1             | 0,04           | 0,04           | 0,00     | 0,02           | 0,02           | 0,00     | E* |
| <i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels                           | 4,8             | 5,1             | 0,91           | 0,96           | 0,03     | 0,43           | 0,45           | 0,01     | E* |
| <b>Polygonaceae</b>                                          | 7,4             | 6,3             | 0,28           | 0,26           | -0,02    | 0,13           | 0,12           | -0,01    | -  |
| <i>Triplaris americana</i> L.                                | 7,4             | 6,3             | 0,28           | 0,26           | -0,02    | 0,13           | 0,12           | -0,01    | SI |
| <b>Primulaceae</b>                                           | 0,3             | 0,3             | 0,01           | 0,01           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | -  |
| <i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze                     | 0,3             | 0,3             | 0,01           | 0,01           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | P  |
| <b>Proteaceae</b>                                            | 1,1             | 1,4             | 0,07           | 0,08           | 0,01     | 0,03           | 0,04           | 0,00     | -  |
| <i>Roupala montana</i> Aubl.                                 | 1,1             | 1,4             | 0,07           | 0,08           | 0,01     | 0,03           | 0,04           | 0,00     | ST |
| <b>Rhamnaceae</b>                                            | 2,8             | 2,8             | 0,05           | 0,06           | 0,01     | 0,02           | 0,03           | 0,00     | -  |
| <i>Sarcomphalus joazeiro</i> (Mart.) Hauenschild             | 2,8             | 2,8             | 0,05           | 0,06           | 0,01     | 0,02           | 0,03           | 0,00     | P  |
| <b>Rubiaceae</b>                                             | 17,3            | 18,5            | 0,68           | 0,80           | 0,07     | 0,32           | 0,38           | 0,03     | -  |
| <i>Genipa americana</i> L.                                   | 17,3            | 17,9            | 0,68           | 0,80           | 0,07     | 0,32           | 0,38           | 0,03     | SI |
| <i>Morinda citrifolia</i> L.                                 | 0,0             | 0,6             | 0,00           | 0,00           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | E  |
| <b>Rutaceae</b>                                              | 0,3             | 0,3             | 0,00           | 0,00           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | -  |
| <i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.                           | 0,3             | 0,3             | 0,00           | 0,00           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | P  |

**Tabela 3** – Estoque e dinâmica de crescimento de biomassa e carbono das espécies florestais na área do *Arboretum* de Alagoas, Maceió.

(Conclusão)

| Família/Nome Científico                                          | DA <sub>0</sub> | DA <sub>1</sub> | Biomassa       |                | IPA<br>B | Carbono        |                | IPA<br>C | GE |
|------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------|----------------|----------------|----------|----|
|                                                                  |                 |                 | P <sub>0</sub> | P <sub>1</sub> |          | P <sub>0</sub> | P <sub>1</sub> |          |    |
| <b>Salicaceae</b>                                                | 0,3             | 0,3             | 0,01           | 0,02           | 0,00     | 0,01           | 0,01           | 0,00     | -  |
| Não Identificada 1                                               | 0,3             | 0,3             | 0,01           | 0,02           | 0,00     | 0,01           | 0,01           | 0,00     | SC |
| <b>Sapindaceae</b>                                               | 2,6             | 2,6             | 0,05           | 0,06           | 0,00     | 0,02           | 0,03           | 0,00     | -  |
| <i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hil. et al.) Hieron. ex Niederl. | 0,6             | 0,6             | 0,02           | 0,02           | 0,00     | 0,01           | 0,01           | 0,00     | SI |
| <i>Cupania impressinervia</i> Acev.-Rodr.                        | 1,1             | 1,1             | 0,01           | 0,01           | 0,00     | 0,00           | 0,01           | 0,00     | SI |
| <i>Sapindus saponaria</i> L.                                     | 0,9             | 0,9             | 0,02           | 0,02           | 0,00     | 0,01           | 0,01           | 0,00     | SI |
| <b>Sapotaceae</b>                                                | 4,5             | 6,5             | 0,08           | 0,12           | 0,02     | 0,04           | 0,06           | 0,01     | -  |
| <i>Chrysophyllum cainito</i> L.                                  | 2,0             | 2,3             | 0,05           | 0,07           | 0,01     | 0,03           | 0,03           | 0,00     | E  |
| <i>Manilkara salzmannii</i> (A.DC.) H.J.Lam                      | 0,9             | 2,0             | 0,02           | 0,03           | 0,01     | 0,01           | 0,01           | 0,00     | C  |
| <i>Mimusops coriacea</i> (A. DC.) Miq.                           | 0,9             | 0,9             | 0,01           | 0,01           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | E  |
| <i>Pouteria</i> sp.                                              | 0,3             | 0,9             | 0,00           | 0,01           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | SC |
| <i>Pradosia lactescens</i> (Vell.) Radlk.                        | 0,6             | 0,6             | 0,01           | 0,01           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | ST |
| <b>Simaroubaceae</b>                                             | 13,4            | 13,9            | 1,98           | 2,57           | 0,34     | 0,93           | 1,21           | 0,16     | -  |
| <i>Simarouba amara</i> Aubl.                                     | 13,4            | 13,9            | 1,98           | 2,57           | 0,34     | 0,93           | 1,21           | 0,16     | SI |
| <b>Siparunaceae</b>                                              | 0,3             | 0,3             | 0,00           | 0,00           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | -  |
| <i>Siparuna guianensis</i> Aubl.                                 | 0,3             | 0,3             | 0,00           | 0,00           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | C  |
| <b>Urticaceae</b>                                                | 20,2            | 29,3            | 1,43           | 2,11           | 0,37     | 0,67           | 0,99           | 0,17     | -  |
| <i>Cecropia pachystachya</i> Trécul                              | 20,2            | 29,3            | 1,43           | 2,11           | 0,37     | 0,67           | 0,99           | 0,17     | P  |
| <b>Verbenaceae</b>                                               | 0,3             | 0,3             | 0,03           | 0,03           | 0,00     | 0,01           | 0,01           | 0,00     | -  |
| <i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.                             | 0,3             | 0,3             | 0,03           | 0,03           | 0,00     | 0,01           | 0,01           | 0,00     | SI |
| <b>Não Identificada</b>                                          | 1,4             | 2,3             | 0,04           | 0,07           | 0,02     | 0,02           | 0,03           | 0,01     | -  |
| Não Identificada 1                                               | 0,3             | 0,3             | 0,00           | 0,01           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | SC |
| Não Identificada 2                                               | 1,1             | 1,4             | 0,04           | 0,06           | 0,01     | 0,02           | 0,03           | 0,01     | SC |
| Não Identificada 3                                               | 0,0             | 0,3             | 0,00           | 0,00           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | SC |
| Não Identificada 4                                               | 0,0             | 0,3             | 0,00           | 0,00           | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00     | SC |
| <b>Total Geral</b>                                               | 696,3           | 735,2           | 73,73          | 80,92          | 4,32     | 34,65          | 38,03          | 2,03     | -  |

Fonte: Autor (2022).

Em que: DA – densidade absoluta (ind.ha<sup>-1</sup>); P<sub>0</sub> – primeira medição (2017/2018), em Mg.ha<sup>-1</sup>; P<sub>1</sub> – segunda medição (2019/2020), em Mg.ha<sup>-1</sup>; IPA – Incremento periódico anual da biomassa (IPA B) e do Carbono (IPA C), em Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>; (\*) – Invasoras e; GE – grupo ecológico = P – Pioneira; SI – Secundária Inicial; ST – Secundária Tardia; C – Clímax; NR – Não Regionalizadas; E – Exóticas; SC – Sem Classificação.

Meira et al. (2020) encontraram valores inferiores ao analisar uma área de reflorestamento misto (perfil de área florestal reabilitada) de 2004 e 2005 no bioma Mata Atlântica, localizado em Laranjeiras, município Sergipano, cuja a biomassa e carbono acima do solo variou de 15,64 e 6,44 Mg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente em 2014 para 21,13 e 8,70 Mg.ha<sup>-1</sup> em 2016. O IPA foi de 2,7 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para a biomassa e 1,1 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para o carbono. Os autores explicam que a idade do

plantio é o fator mais importante para os baixos valores registrados, por se tratar de uma floresta juvenil e que está em fase inicial da implantação florestal.

Barretto et al. (2014), ao analisarem um fragmento de Floresta Ombrófila Mista de 1,4 ha e inserida no perímetro urbano em Curitiba-PR, verificaram valores superiores, com biomassa e carbono estimado em 236,60 Mg.ha<sup>-1</sup> e 97,19 Mg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente em 2009, aumentado em 2013 para 257,25 Mg.ha<sup>-1</sup> e 105,65 Mg.ha<sup>-1</sup> na mesma sequência. O IPA em biomassa foi determinado em 5,16 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e carbono em 2,11 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. O elevado estoque de biomassa e carbono e a baixa capacidade de incremento reflete num estado de sucessão vegetal mais próximo do avançado, explicam os autores.

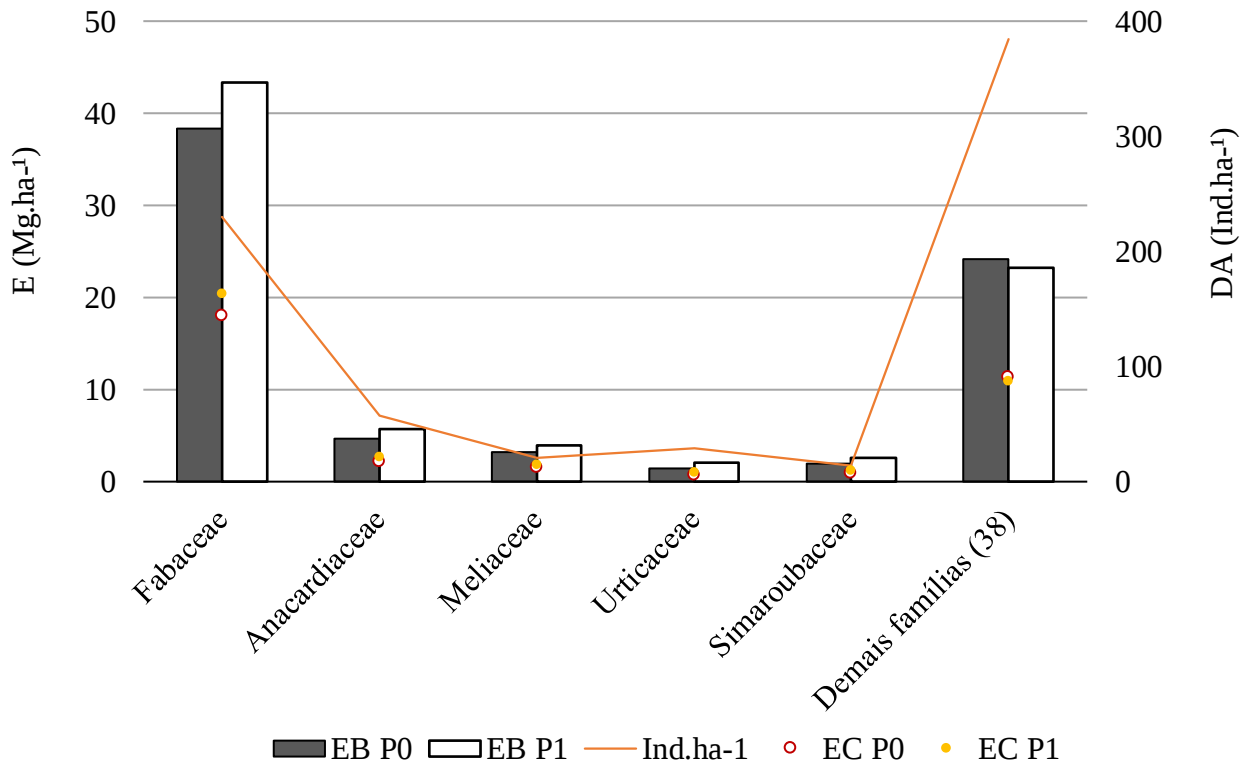
A margem dessa premissa, é possível inferir que a área em análise detém potencialmente a capacidade de estocar biomassa e carbono de forma acumulativa devido ao crescimento acelerado da vegetação em direção ao estoque completo, tendo em vista que ainda possui espaços a serem ocupados por vegetação, dado ao IPA positivo que projeta o aumento.

As espécies que obtiveram maiores taxas de crescimento no último inventário foram *Bowdichia virgilioides* (biomassa: 11,78 Mg.ha<sup>-1</sup> e carbono: 5,54 Mg.ha<sup>-1</sup>), representando 14% do total, seguida por *Anadenanthera* sp. (biomassa: 6,26 Mg.ha<sup>-1</sup> e carbono: 2,94 Mg.ha<sup>-1</sup>) e *Inga edulis*, com biomassa e carbono 5,86 Mg.ha<sup>-1</sup> e 2,75 Mg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Enquanto que, as espécies que mais acumularam carbono (IPA C) entre as duas ocasiões de medições foram *Bowdichia virgilioides*, *Anadenanthera* sp. e *Swietenia macrophylla*, pois em conjunto fixaram 0,93 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.

Em contrapartida, 19 espécies tiveram o incremento negativo para as variáveis analisadas, e as mais afetadas por perdas em biomassa foram *Eucalyptus* sp., *Handroanthus heptaphyllus* e *Tabebuia aurea* (-1,27, - 0,27 e - 0,16 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, respectivamente). O fator principal dessas perdas consideráveis foram as mortes de indivíduos dessas espécies, haja vista que os ganhos (incremento das árvores remanescentes e ingressantes) não superaram as perdas (mortas).

A representatividade da família Fabaceae é significativa para os dois períodos de medições, pois o valor de 43,34 Mg.ha<sup>-1</sup> do estoque de biomassa (EB) obtido na segunda medição representou 53,56% de todo estoque encontrado no mesmo ano, ao passo que também possuiu maiores taxas de incremento, o equivalente a 5,93 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para biomassa e 2,79 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para carbono (Figura 5). Isso se justifica também pela maior quantidade de indivíduos encontrados (229,5 ind.ha<sup>-1</sup>), representando 31,22% do total.

**Figura 5** – Dinâmica do estoque de biomassa (EB) e carbono (EC) das famílias botânicas mais representativas na área do *Arboretum* de Alagoas, Maceió.



Fonte: Autor (2022).

Em que: P<sub>0</sub> – primeira medição (2017/2018); P<sub>1</sub> – segunda medição (2019/2020).

Segundo Silva et al. (2020), é comum a superioridade da Fabaceae e da Anacardiaceae em estudos já conduzidos em florestas tropicais da mata atlântica, quer seja em número de indivíduos quanto de espécies, por vezes atribuído a classificação taxonômica que elenca maior números de espécies, como também pode ser explicado pelas características fitofisiológicas dos indivíduos em ocupar as áreas mais rapidamente.

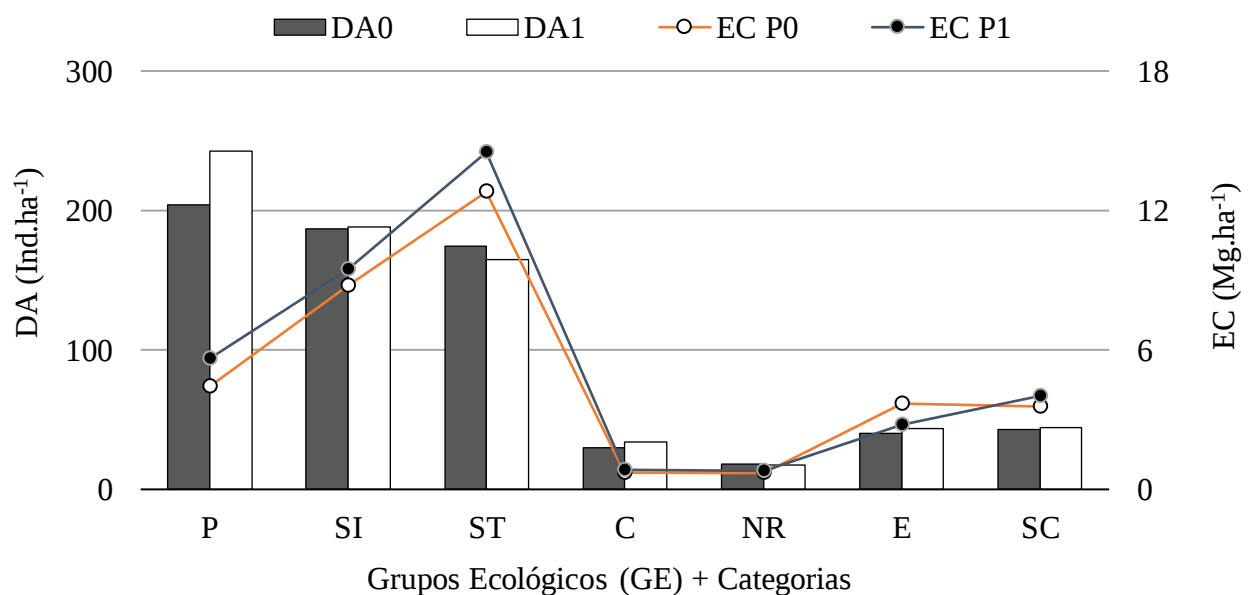
A prevalência da família Fabaceae também foi observada por Azevedo et al. (2018) em três áreas de restauração com 3, 5 e 7 anos de idade, com biomassa estimada de 67%, 53% e 49% do total entre as áreas, respectivamente. Para esses autores e também para Lima (2017), muitas espécies dessa família possuem características potencias para os ecossistemas terrestres, devido a sua importante função fixadora de nitrogênio atmosférico ao se associarem com bactérias simbiotes, melhorando a fertilidade do solo e dando melhores condições para que outras espécies

menos tolerantes se desenvolvam e ocupem o ambiente por meio da regeneração natural de plantas nativas.

A mortalidade de indivíduos das espécies *Eucalyptus* sp. e *Handroanthus heptaphyllus*, como já apresentado, fez com que a família Myrtaceae e Bignoniaceae tivessem maiores reduções nos estoques de biomassa e carbono. Da mesma forma aconteceu para Polygonaceae, cujo os exemplares da espécie *Triplaris americana* foram reduzidos na área.

Ao separar o estoque de carbono (EC) por grupo ecológico (GE), as espécies secundárias tardias e secundárias iniciais, juntas, representaram 63,03% do sequestro de carbono na segunda medição, seguida das pioneiras (14,82%) e clímax (2,17%) (Figura 6). Essas proporções são vistas quando a vegetação se encontra em estágio intermediário de desenvolvimento, ou seja, fase em que as espécies secundárias ocorrem com maior densidade ( $SI + ST = 353,13 \text{ ind.ha}^{-1}$ , 48,03% da  $DA_1$  total). No entanto, a transição do estágio inicial para o mais avançado ocorre quando há a ocupação total da área (SILVA et al., 2018). As demais categorias (SC, E e NR) corresponderam com 19,98% de todo EC  $P_1$ .

**Figura 6** – Estoque de carbono (EC) por grupo ecológico na primeira e segunda medição ( $P_0 = 2017/2018$  e  $P_1 = 2019/2020$ ) na área do Arboretum de Alagoas, Maceió.



Fonte: Autor (2022).

Em que: P – Pioneira; SI – Secundária Inicial; ST – Secundária Tardia; C – Clímax; NR – Não Regionalizadas; E – Exóticas e; SC – Sem Classificação.

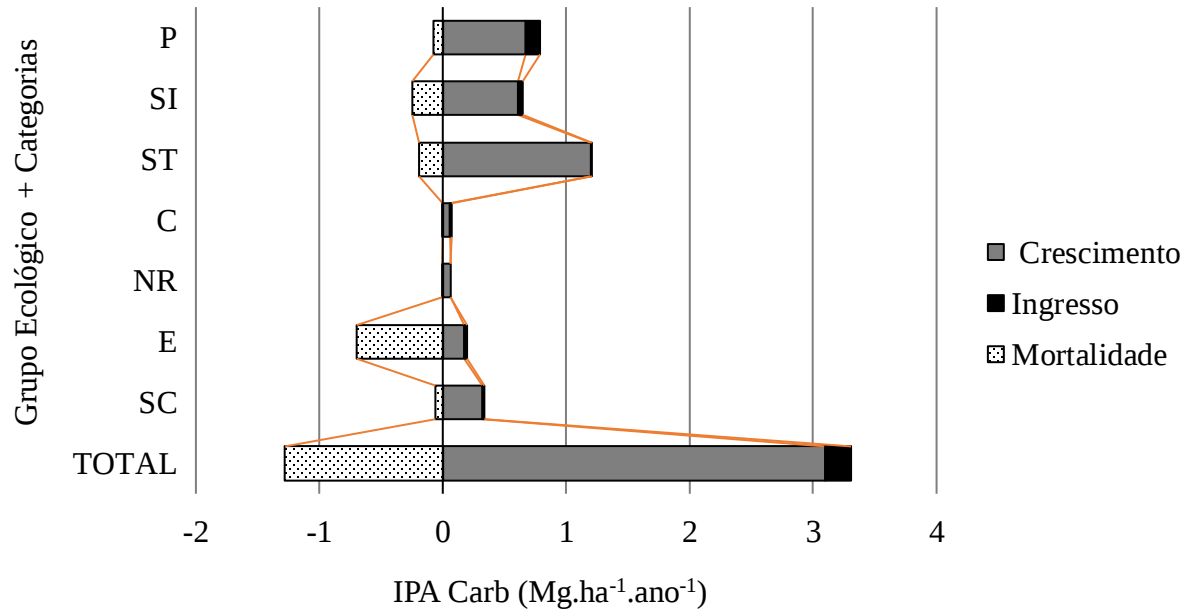
Com base na distribuição dos indivíduos amostrados por GE, percebeu-se maior número de pioneiras e as menores quantidades subsequentemente para as categorias da sucessão ecológica. A progressão entre os dois anos foi baixa, tendo maior aumento nas pioneiras (38,64 ind.ha<sup>-1</sup>), clímax (4,55 ind.ha<sup>-1</sup>), exóticas (3,41 ind.ha<sup>-1</sup>), secundárias iniciais e indivíduos sem classificação (1,42 ind.ha<sup>-1</sup>, cada). Os demais grupos tiveram redução, de 9,66 e 0,85 ind.ha<sup>-1</sup> para ST e NR, respectivamente.

Para explicar a pequena redução das secundárias tardias nessa área, após 18 anos de sua implantação, Alves et al. (2005) esclarecem que as ST ocorrem de maneira significativa somente a partir de 25 anos de uma implantação florestal, e que o número de clímaxes pequeno ou quase inexistente no início e nos estágios intermediários da sucessão ecológica é comum. Contudo, as ST e C só apresentarão significativo aumento no estágio mais maduro da floresta, ou seja, após 50 anos, e nessa linha haverá de forma gradativa a redução das categorias iniciais (P e SI) (ALVES et al., 2005). Dessa maneira, presume-se que área estudada siga essa projeção, tendo em vista que já possui maiores avanços em incremento de biomassa e carbono para as secundárias tardias.

Ao observar o avanço pelo IPA C, percebeu-se que o grupo das ST foi o que mais contribuiu significativamente em carbono na área, o equivalente a 1,02 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, seguido pelo grupo das pioneiras com 0,71 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e secundárias iniciais (0,40 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) (Figura 7). Contudo, os indivíduos do grupo das pioneiras foram referência em número de ingressantes, contribuindo com 0,11 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, ou seja, 54,4% de todo o incremento em C dos ingressos.

Em contrapartida, as perdas pela mortalidade dos indivíduos somaram -1,28 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, com destaque para o grupo das exóticas, com 0,70 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> a menos, haja vista que, esse valor é advindo majoritariamente da morte de dois indivíduos de *Eucalyptus* sp., somados em 0,58 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, os quais apresentavam grandes portes, correspondendo a 45,7% de todas as perdas por morte na área. Esses indivíduos já se encontravam na área antes da implantação do referido *Arboretum* de Alagoas, isto é, inseridos nas parcelas 55 e 88 que foram alocadas a margem do muro, sentido sul (ver Figura 2).

**Figura 7** – Incremento periódico anual de Carbono (IPA C) por grupo ecológico (GE) entre dois anos de medição na área do *Arboretum* de Alagoas, Maceió.

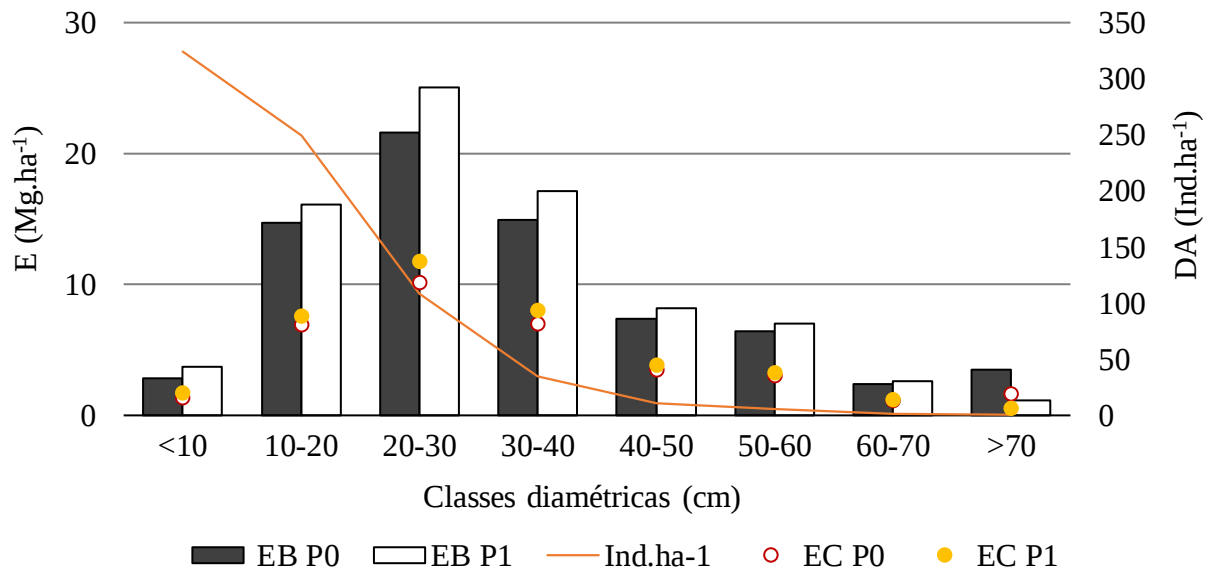


Fonte: Autor (2022).

Em que: IPA – Incremento periódico anual, em Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>; P – Pioneira; SI – Secundária Inicial; ST – Secundária Tardia; C – Clímax; NR – Não Regionalizadas; E – Exóticas e; SC – Sem Classificação.

A distribuição diamétrica é decrescente, onde os indivíduos de classes diamétricas menores (DAP<10cm) estão em maior quantidade, diminuindo com o aumento no tamanho das classes diamétricas (Figura 8). A distribuição diamétrica decrescente pode ser atribuída ao elevado número de indivíduos que já se encontram em regeneração natural e ingressam ao dossel da comunidade arbórea. Tal estrutura revela que a comunidade arbórea é estável e autorregenerativa, ocorrendo um balanço entre o ingresso e a mortalidade de indivíduos (LIMA et al., 2019; LIMA et al., 2020). Portanto, a área florestada apresenta uma estrutura arbórea em estágio intermediário de desenvolvimento, podendo-se presumir que componente florestal progride em direção ao estágio mais avançado de desenvolvimento.

**Figura 8** – Estoque de biomassa (EB) e carbono (EC) por distribuição diamétrica em dois inventários completos na área do *Arboretum* de Alagoas, Maceió.



Fonte: Autor (2022).

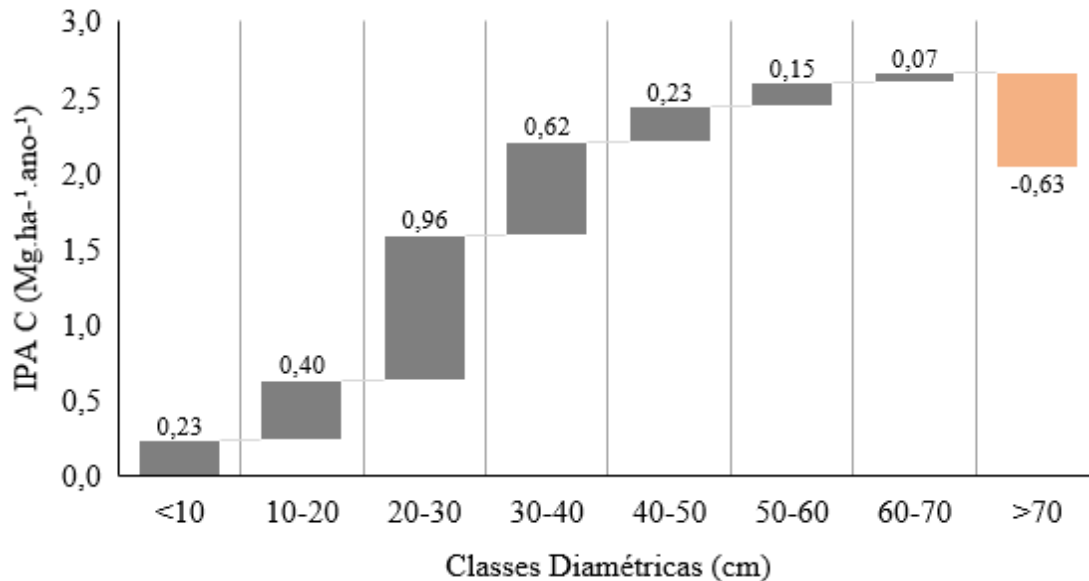
Em que: P<sub>0</sub> – primeira medição (2017/2018); P<sub>1</sub> – segunda medição (2019/2020) e; DA – densidade absoluta (ind.ha<sup>-1</sup>) em quantidade de indivíduos por hectare em P<sub>1</sub>.

Opostamente, à medida que avança entre as classes diamétricas, a maior participação no estoque de carbono é referenciada por indivíduos das classes de 20-30 e 30-40 (52,08%). Isso acontece devido ao menor porte dos indivíduos nas classes iniciais, os quais estão sob sombreamento constante e crescem menos em relação aos indivíduos que atingem o dossel da comunidade florestal. Esse fato implica diretamente em pouca biomassa e carbono de acumulação em comparação com os indivíduos das classes intermediárias e finais, mesmo essas em menor número, porém com maior porte e crescimento até a senescência (LIPINSKI et al., 2017).

Dessa forma, pode-se afirmar que a presente área apresenta um crescimento sustentado pela predominância de indivíduos juvenis. Isso exhibe o quanto os indivíduos de menores dimensões são importantes na estocagem de carbono para florestas fragmentadas ou recém implantadas na Mata Atlântica (TORRES et al., 2017).

A classe diamétrica >70 cm é a única que apresenta decremento em carbono de 0,63 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, resultante da morte de um exemplar de *Eucalyptus* sp., com reduções equivalentes a 0,66 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e deduzidos o aumento de crescimento de dois indivíduos da espécie *Enterolobium contortisiliquum* (0,03 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>). Já as classes que mais incrementaram são também as que mais possuem biomassa e carbono estocado (Figura 9), como já foi citado.

**Figura 9** – Incremento periódico anual de Carbono (IPA C) por classe diamétrica entre dois períodos de medições, com intervalo médio de 2 anos na área do *Arboretum* de Alagoas, Maceió.

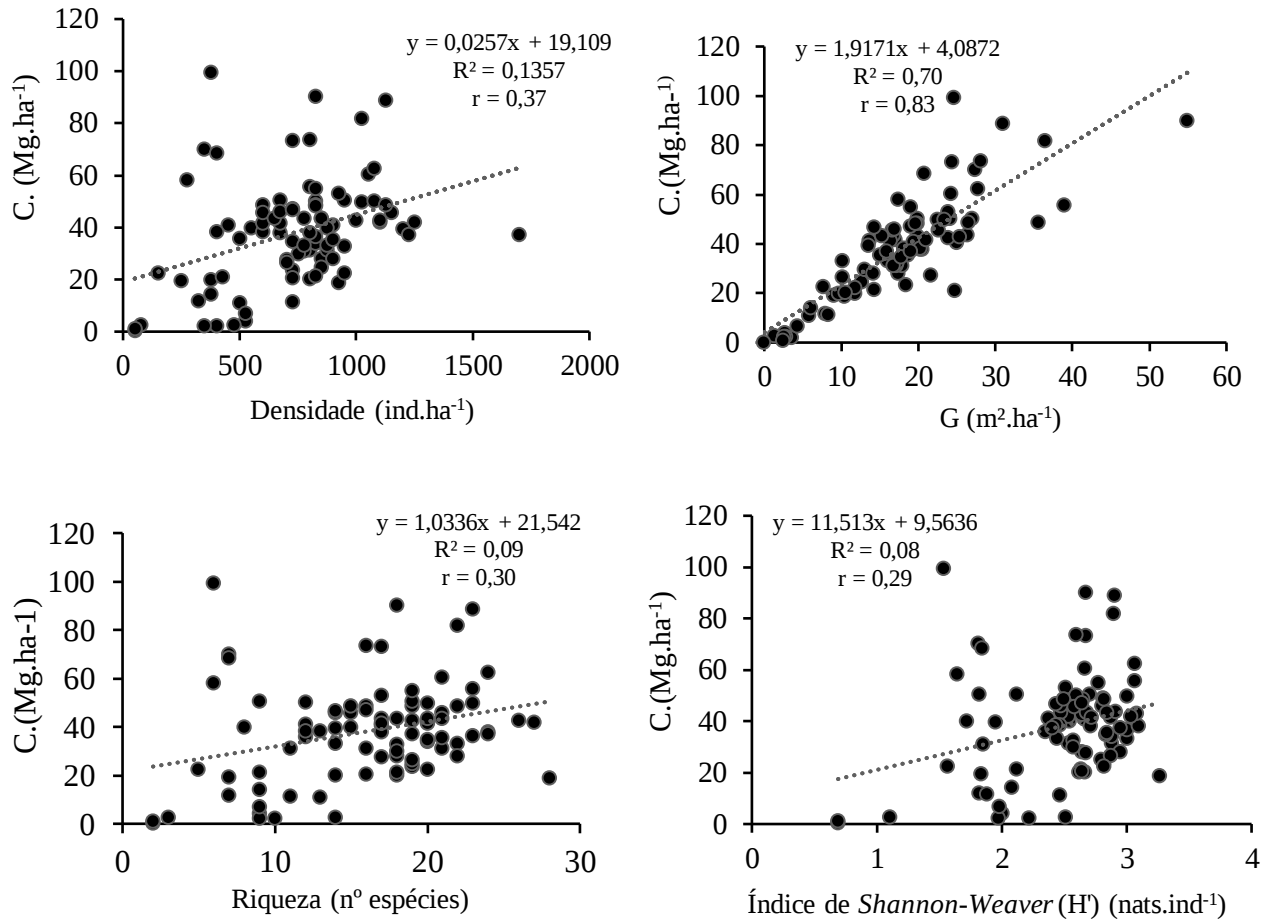


Fonte: Autor (2022).

Atualmente ( $P_1$ ), as proporções de indivíduos por grupos ecológicos são distribuídos para os máximos percentuais em cada classe diamétrica, como: <10 = 18,64% de pioneiras; 10-20 = 10,32% de P; 20-30 = 6,22% de secundárias tardias; 30-40 = 1,58% de ST; e as demais (>40) = 1,20% de SI. Essa representação confirma o ciclo de vida mais longos para os grupos mais avançados de sucessão ecológica, dado a relação, onde for maior o diâmetro maior a altura dos indivíduos arbóreos, logo a idade superior.

As análises de correlação de Pearson ( $r$ ) das estimativas de carbono com as variáveis dendrométricas da vegetação, tais como densidade absoluta, área basal, riqueza de espécies e diversidade de *Shannon-Weaver* ( $H'$ ) expressaram apenas uma forte correlação ( $r = 0,83$ ) com a área basal ( $G$ ) para as medições do segundo inventário florestal (Figura 10).

**Figura 10** – Representação gráfica da correlação entre o estoque de carbono por parcela na segunda medição com variáveis dendrométricas: densidade (DA), área basal (G), riqueza (nº espécies) e diversidade (H') na área do *Arboretum* de Alagoas, Maceió.



Fonte: Autor (2022).

Robortella (2010) cita que a área basal de uma árvore é uma variável de fácil obtenção e amplamente utilizada em vários trabalhos (CHAVES et al., 2014) por apresentar forte relação com as estimativas de biomassa total e também com o volume, gerando confiabilidade nas estimativas em ajustes de equações.

A riqueza de espécies e a diversidade (H') apresentaram forte correlação com a densidade absoluta e também entre elas. Contudo, com o estoque de carbono apresentaram fraca correlação ( $r = 0,30$  e  $0,29$ , respectivamente) (Tabela 4), indicando que áreas com alta diversidade de espécies tendem a apresentar levemente um maior estoque de C.

**Tabela 4** – Matriz de correlação de Pearson (r) entre o estoque de carbono e as variáveis área basal (G), densidade (DA), riqueza (nº sp.) e diversidade de *Shannon-Weaver* (H') no *Arboretum* de Alagoas, Maceió.

| Variáveis        | Carbono<br>(Mg.ha <sup>-1</sup> ) | Área basal<br>(m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> ) | Densidade<br>(ind.ha <sup>-1</sup> ) | Riqueza<br>(nº espécies) | Diversidade (H')<br>(nats.ind <sup>-1</sup> ) |
|------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------|
| Carbono          | 1,00                              |                                                   |                                      |                          |                                               |
| Área basal       | 0,83                              | 1,00                                              |                                      |                          |                                               |
| Densidade        | 0,37                              | 0,44                                              | 1,00                                 |                          |                                               |
| Riqueza          | 0,30                              | 0,43                                              | 0,83                                 | 1,00                     |                                               |
| Diversidade (H') | 0,29                              | 0,43                                              | 0,71                                 | 0,94                     | 1,00                                          |

Fonte: Autor (2022).

#### 4.2 FITOSSOCIOLOGIA EM CARBONO

A estrutura horizontal vinculada aos parâmetros fitossociológicos das espécies que compõem a implantação florestal em estudo sofreu variações de posições no ranking de valor de importância (VI) ao acrescentar o parâmetro de carbono relativo (CR%) para sua base de cálculo, alterando-se para Valor de Importância em Carbono (VIC) (Tabela 5).

Segundo Torres et al. (2017), essa modificação na análise fitossociológica contribui para a identificação e seleção de espécies com maior potencial em estocar carbono. Dessa forma, tal metodologia é um suporte para subsidiar nas escolhas de espécies a serem empregadas em projetos de restauração e/ou recuperação florestal, visando aumentar o potencial dos fragmentos florestais do Bioma Mata Atlântica (GASPAR et al., 2014).

As espécies *Bowdichia virgilioides*, *Handroanthus impetiginosus* e *Inga edulis* foram as que mais se destacaram, representando 18,03% do VIC. E dentre as 40 espécies com maiores VIC, 39 delas estão presentes em VI, ou seja, houve apenas uma substituição, com a saída de *Peltophorum dubium* (41º), e entrada de *Dalbergia nigra* (37º).

**Tabela 5** – Ranking das 40 espécies arbóreas parametrizadas na fitossociologia de maior valor de importância em carbono (VIC) para o ano de 2020 na área do *Arboretum* de Alagoas, Maceió.

| RK  | Nome Científico                                               | NI          | DR         | DoR        | FR         | CR         | VI         | VIC        |
|-----|---------------------------------------------------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| =   | <i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth                           | 143         | 5,53       | 8,70       | 3,56       | 14,56      | 5,93       | 8,08       |
| 1↑  | <i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos       | 117         | 4,52       | 5,61       | 3,27       | 6,95       | 4,47       | 5,09       |
| 1↑  | <i>Inga edulis</i> Mart.                                      | 76          | 2,94       | 7,32       | 1,96       | 7,24       | 4,07       | 4,86       |
| 4↑  | <i>Anadenanthera</i> sp.                                      | 43          | 1,66       | 4,61       | 2,32       | 7,73       | 2,86       | 4,08       |
| 3↓  | <i>Xylopia frutescens</i> Aubl.                               | 202         | 7,81       | 2,22       | 4,28       | 1,52       | 4,77       | 3,96       |
| 1↓  | <i>Cecropia pachystachya</i> Trécul                           | 103         | 3,98       | 3,76       | 4,06       | 2,60       | 3,93       | 3,60       |
| 3↑  | <i>Swietenia macrophylla</i> King                             | 60          | 2,32       | 4,27       | 1,74       | 4,70       | 2,78       | 3,26       |
| 3↑  | <i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong           | 32          | 1,24       | 5,46       | 1,38       | 4,16       | 2,69       | 3,06       |
| =   | <i>Tapirira guianensis</i> Aubl.                              | 73          | 2,82       | 3,51       | 2,25       | 3,41       | 2,86       | 3,00       |
| 4↓  | <i>Tabebuia cassinoides</i> (Lam.) DC.                        | 137         | 5,29       | 1,65       | 4,06       | 0,80       | 3,67       | 2,95       |
| 6↑  | <i>Lonchocarpus sericeus</i> (Poir.) Kunth ex DC.             | 28          | 1,08       | 3,37       | 1,09       | 5,48       | 1,85       | 2,76       |
| 5↓  | <i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.                                 | 55          | 2,13       | 4,54       | 2,10       | 1,31       | 2,92       | 2,52       |
| 1↑  | <i>Simarouba amara</i> Aubl.                                  | 49          | 1,89       | 2,82       | 1,96       | 3,17       | 2,22       | 2,46       |
| 2↓  | <i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi                          | 69          | 2,67       | 2,61       | 2,61       | 1,84       | 2,63       | 2,43       |
| 2↓  | <i>Paubrasilia echinata</i> (Lam.) Gagnon, H.C.Lima&G.P.Lewis | 76          | 2,94       | 1,35       | 3,05       | 1,25       | 2,44       | 2,14       |
| 2↑  | <i>Hymenaea courbaril</i> L.                                  | 34          | 1,31       | 2,23       | 1,96       | 2,67       | 1,83       | 2,04       |
| 1↓  | <i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth.                        | 63          | 2,43       | 1,45       | 2,39       | 1,12       | 2,09       | 1,85       |
| 3↓  | <i>Genipa americana</i> L.                                    | 63          | 2,43       | 1,19       | 2,76       | 0,99       | 2,13       | 1,84       |
| 1↑  | <i>Licania tomentosa</i> (Benth.) Fritsch                     | 55          | 2,13       | 1,07       | 2,03       | 1,34       | 1,74       | 1,64       |
| 16↑ | <i>Eucalyptus</i> sp.                                         | 5           | 0,19       | 1,98       | 0,36       | 3,55       | 0,85       | 1,52       |
| 1↑  | <i>Cassia grandis</i> L.f.                                    | 41          | 1,58       | 1,41       | 1,74       | 1,24       | 1,58       | 1,50       |
| 3↓  | <i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. ex DC.) Mattos       | 57          | 2,20       | 0,62       | 2,61       | 0,53       | 1,81       | 1,49       |
| 1↑  | <i>Pseudobombax</i> sp.                                       | 28          | 1,08       | 1,78       | 1,38       | 1,71       | 1,41       | 1,49       |
| 2↑  | <i>Spondias mombin</i> L.                                     | 45          | 1,74       | 2,15       | 0,22       | 1,69       | 1,37       | 1,45       |
| 1↑  | <i>Abarema cochliacarpus</i> (Gomes) Barneby & J.W.Grimes     | 36          | 1,39       | 1,44       | 2,03       | 0,92       | 1,62       | 1,45       |
| 1↑  | <i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.                           | 23          | 0,89       | 1,80       | 1,16       | 1,01       | 1,28       | 1,22       |
| 4↓  | <i>Vismia guianensis</i> (Aubl.) Choisy                       | 92          | 3,55       | 0,63       | 0,29       | 0,33       | 1,49       | 1,20       |
| 3↓  | <i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos               | 32          | 1,24       | 0,54       | 2,39       | 0,56       | 1,39       | 1,18       |
| 1↓  | <i>Byrsonima sericea</i> DC.                                  | 39          | 1,51       | 0,57       | 1,67       | 0,52       | 1,25       | 1,07       |
| 1↑  | <i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels                            | 18          | 0,70       | 1,45       | 0,87       | 1,19       | 1,01       | 1,05       |
| 2↓  | <i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth.&Hook.f. ex S.Moore | 27          | 1,04       | 0,66       | 1,89       | 0,61       | 1,20       | 1,05       |
| =   | <i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P.Queiroz           | 28          | 1,08       | 0,55       | 1,38       | 0,67       | 1,00       | 0,92       |
| 3↓  | <i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand                  | 37          | 1,43       | 0,32       | 1,52       | 0,16       | 1,09       | 0,86       |
| 1↓  | <i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth. ex Walp.                | 42          | 1,62       | 0,80       | 0,22       | 0,52       | 0,88       | 0,79       |
| 3↑  | <i>Pterogyne nitens</i> Tul.                                  | 18          | 0,70       | 0,75       | 0,94       | 0,77       | 0,80       | 0,79       |
| 3↑  | <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.                                 | 12          | 0,46       | 0,95       | 0,80       | 0,71       | 0,74       | 0,73       |
| 6↑  | <i>Dalbergia nigra</i> (Vell.) Allemão ex Benth.              | 7           | 0,27       | 1,12       | 0,44       | 1,08       | 0,61       | 0,73       |
| 1↓  | <i>Triplaris americana</i> L.                                 | 22          | 0,85       | 0,38       | 1,31       | 0,32       | 0,84       | 0,71       |
| 5↓  | <i>Curatella americana</i> L.                                 | 30          | 1,16       | 0,45       | 0,94       | 0,25       | 0,85       | 0,70       |
| 5↓  | <i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith                    | 23          | 0,89       | 0,43       | 1,23       | 0,23       | 0,85       | 0,70       |
| Δ   | Outras (105)                                                  | 448         | 17,31      | 11,49      | 25,76      | 8,60       | 18,19      | 15,79      |
|     | <b>Total Geral</b>                                            | <b>2588</b> | <b>100</b> | <b>100</b> | <b>100</b> | <b>100</b> | <b>100</b> | <b>100</b> |

Fonte: Autor (2022).

Em que: RK – ranking; NI – número de indivíduos; DR – densidade relativa (%); DoR – dominância relativa (%); FR – frequência relativa (%); CR – estoque de carbono relativo (%); IV – valor de importância e; VIC – valor de importância em carbono.

As espécies *Bowdichia virgilioide*, *Handroanthus impetiginosus*, *Tapirira guianensis*, *Apeiba tibourbou*, *Vismia guianensis*, *Byrsonima sericea*, *Parkia pendula* e os gêneros *Inga* sp. e *Protium* sp. também foram listadas no trabalho fitossociológico de Lima et al., (2017), estando agrupadas conforme o VI até a vigésima sexta (26<sup>o</sup>) colocação. Esta foi uma pesquisa realizada nas proximidades da área em estudo (aproximadamente 12 km de distância retilínea), em um remanescente natural de Floresta Ombrófila Aberta.

As mudanças nas posições ocorreram em diferentes amplitudes, tanto as que mantiveram as colocações (*Bowdichia virgilioides*, *Tapirira guianensis* e *Libidibia ferrea*), quanto as que variaram de níveis em 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 16. Contudo, dessas alterações a que mais interessa é a de aumento, pois segundo Gaspar et al., (2014), as espécies que sobem no *ranking* devem ser analisadas como potenciais para serem incluídas em projetos de reflorestamento, tendo em vista a capacidade diferencial em sequestrar e estocar carbono.

Nisso, indica-se as espécies florestais dessa pesquisa (listagem acima) tanto com permanência (=) quanto de aumento (↑) no *ranking* em VIC para projetos de reflorestamento/florestamento a serem implantados no bioma Mata Atlântica da região, tendo como foco a alta produção florestal biodiversificada. No entanto, deve-se atenção para exclusão das exóticas e invasoras, tais como: *Mimosa caesalpiniiifolia*, *Eucalyptus* sp. e *Syzygium cumini* (L.). e também àqueles naturais de outros biomas, quando se objetiva a restauração florestal.

A família Fabaceae possuiu maior destaque, com 13 espécies ranqueadas na listagem, e destas, 8 tiveram avanço de posições, a frente foram: *Lonchocarpus sericeus* e *Dalbergia nigra*, 6 posições cada, enquanto *Anadenanthera* sp. subiu 4 colocações.

Curiosamente, o *Eucalyptus* sp. foi a espécie exótica e invasora que mais avançou em posições (16). Muitos estudos relatam a sua alta produtividade e a capacidade de adaptação em diferentes ambientes, buscando garantir o maior desenvolvimento. Conforme Moreira (2011), as espécies desse gênero encontraram no Brasil condições edafoclimáticas favoráveis para o desenvolvimento, apresentando taxas de crescimento elevadas em comparação com o seu local de origem, além das biotecnologias ampliadas para o melhoramento genético dessas espécies.

Já as ocorrências negativas de posição foram mais acentuadas para as espécies *Apeiba tibourbou*, *Curatella americana* e *Tabebuia roseoalba*, descendo 5 cada, enquanto *Tabebuia*

*cassinoides* e *Vismia guianensis* caíram 4 posições. Gaspar et al., (2014) afirmam que a estocagem de carbono é mais baixa nessas espécies, tendo em vista a baixa densidade da madeira, bem como a menor taxa de acúmulo de biomassa florestal. Cabe esclarecer que, a altura dos indivíduos também influencia no CR% consideravelmente, logo no VIC final.

O VIC além de ser útil em seleção de espécies que mais estocam carbono é também um indicador potencial para utilização em projetos de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação (REDD<sup>+</sup>), por aliar informações fitossociológicas com estocagem de carbono (TORRES et al., 2017). São premissas como essas que elevam a importância de se escolher e/ou adaptar metodologias mais direcionadas com os objetivos das pesquisas.

#### 4.3 MODELAGEM DA BIOMASSA FLORESTAL

A análise preliminar das variáveis dendrométricas obtidas em 2020 das 88 unidades amostrais permanentes, indicou valores médios de 17,52 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> de área basal e cerca de 80,92 Mg.ha<sup>-1</sup> de biomassa viva acima do solo (*B*) (Tabela 6). Essas medidas apresentaram uma grande variação entre as unidades amostrais, com valores extremos (mínimo e máximo) bastante distintos, tanto para dados do inventário quanto para os índices de vegetação obtidos por dados espectrais, de tal maneira que o coeficiente de variação (CV) foi superior a 50% para as variáveis do inventário, o que demonstra a alta variação da biomassa entre as unidades amostrais, e menos acentuadas (<30%) entre os IVs.

**Tabela 6** – Estatística descritiva das variáveis dendrométricas observadas em campo e das variáveis obtidas por sensoriamento remoto (Índices de Vegetação) no *Arboretum* de Alagoas, Maceió– AL.

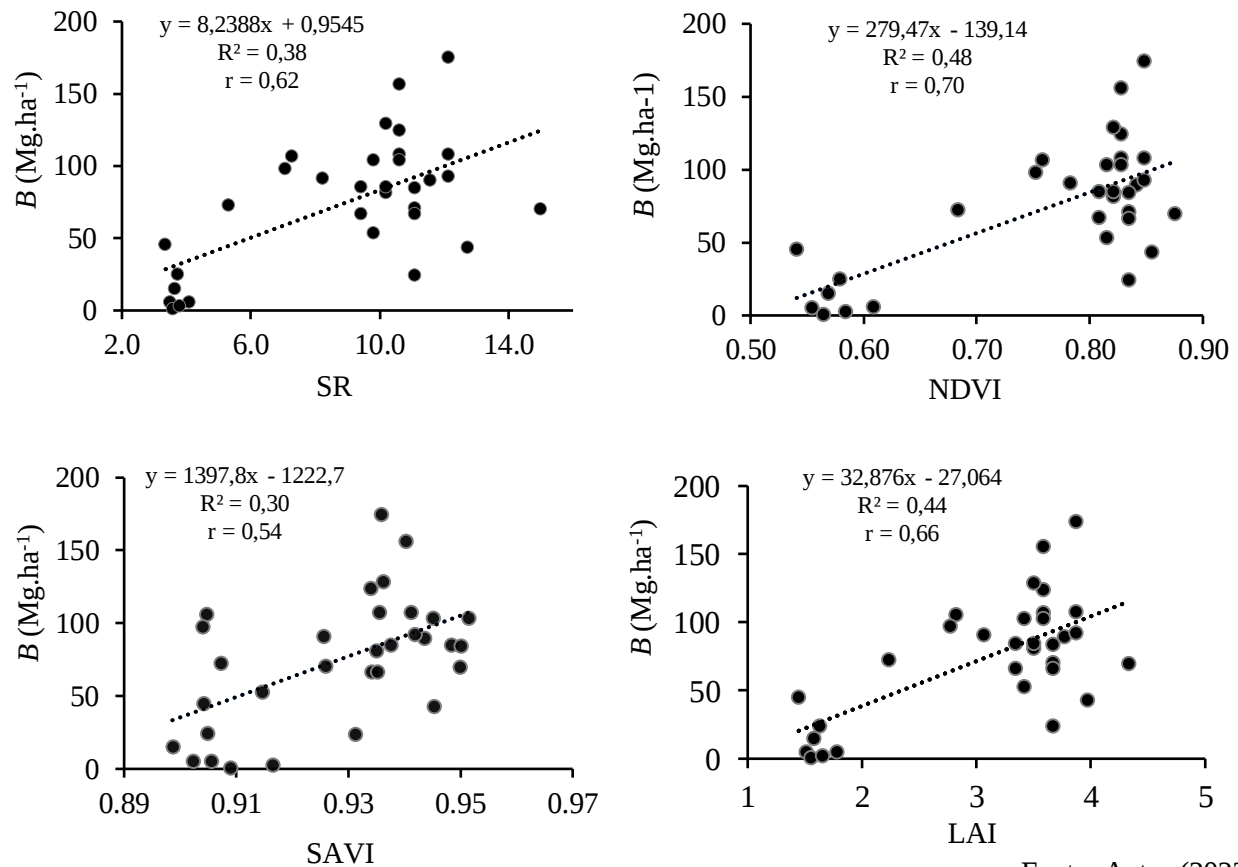
| Variável                                     | Média | Desvio Padrão ( $\rho$ ) | Coeficiente de Variação (%) | Mínimo | Máximo |
|----------------------------------------------|-------|--------------------------|-----------------------------|--------|--------|
| <i>B</i> (Mg.ha <sup>-1</sup> )              | 80,92 | 43,07                    | 53,23                       | 0,71   | 211,80 |
| <i>G</i> (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> ) | 17,52 | 8,78                     | 50,13                       | 0,26   | 55,43  |
| SR                                           | 10,68 | 3,10                     | 29,05                       | 3,23   | 17,00  |
| NDVI                                         | 0,81  | 0,08                     | 10,31                       | 0,53   | 0,89   |
| SAVI                                         | 0,93  | 0,02                     | 1,74                        | 0,86   | 0,96   |
| LAI                                          | 3,50  | 0,74                     | 21,09                       | 1,39   | 4,63   |

Fonte: Autor (2022).

A alta variação entre as amostras é aceitável e de interesse quando se deseja estudar a associação com os índices de vegetação obtidos por sensoriamento remoto, uma vez que permite variáveis com maior grau de correlação linear.

Com base no diagrama de dispersão entre os valores médios coletados das 32 parcelas advindas do sorteio de 3 transectos e selecionadas por exclusão de *outliers* para a modelagem do estoque da biomassa, a fim de minimizar os efeitos da heterogeneidade, foi possível observar maior dependência da variável *B* com a variável espectral NDVI, demonstrando uma forte correlação positiva ( $r = 0,70$ ) e altamente significativa (prob.  $< 0,0001$ ) (Figura 11). Os demais índices de vegetação (SAVI, SR e LAI) apresentaram correlações significativas ao nível  $\alpha = 0,01$ , e classificados em correlação positiva moderada (na sequência  $r = 0,54$ ,  $0,62$  e  $0,66$ ).

**Figura 11** – Representação gráfica da correlação entre a biomassa viva acima do solo (*B*) e Índices de Vegetação (IV) por unidades amostrais seletas aleatoriamente na área do *Arboretum* de Alagoas, Maceió.



Fonte: Autor (2022).

A modelagem da biomassa viva acima do solo pelo procedimento *Stepwise* acusou como variável de maior correlação simples com a biomassa, a transformação inversa do NDVI, ou seja,  $1/\text{NDVI}$ . Nenhuma outra variável apresentou ganho significativo para a sua inclusão no modelo. Logo, a equação final obtida para estimar a biomassa ficou expressa da seguinte forma:

$$B = 254,72053 - 134,50028 * (1/\text{NDVI}) + \varepsilon \quad (17)$$

Essa equação apresentou  $F = 29,61$  (prob.  $< 0,0001$ ) e média precisão dado pelo coeficiente de determinação  $R^2$  de 0,50 e  $\text{Raj.}^2$  de 0,48. O erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ) foi de  $31,68 \text{ Mg.ha}^{-1}$  e erro percentual ( $S_{yx\%}$ ) de 42,57%. Todos os coeficientes ( $\beta_0 + \beta_1$ ) foram significativos ao nível  $\alpha = 0,01$ . Ao comparar esse modelo com as equações lineares individuais para cada índice, verificou-se que apenas o NDVI sem transformação no modelo de ajuste deteve uma precisão muito próxima ( $R^2 = 0,48$ ) (Figura 11).

De maneira muito semelhante metodologicamente, Watzlawick et al. (2009) ao aplicarem imagens de alta resolução (4m) do satélite IKONOS II para o ajuste de equações a partir da regressão linear para estimativa da biomassa arbórea de uma floresta Ombrófila Mista Montana em estágio intermediário a avançado de sucessão, em General Carneiro, PR, encontraram alguns modelos altamente significativos ( $\alpha = 0,01$ ), inclusive, um deles com apenas o NDVI como variável preditora e possuindo parâmetros da modelagem muito próximos aos do presente estudo, a saber:  $F = 22,35$ ;  $R^2 = 0,53$ ;  $S_{yx} = 157,58 \text{ Mg.ha}^{-1}$  e;  $S_{yx\%} = 42,69$ . Os mesmos autores informaram que todas as variáveis independentes que tinha como a base de cálculo a banda do NIR (infravermelho próximo) foram selecionadas pelo método *stepwise* por permitirem bons ajustes dos modelos, levando a uma média precisão estatística, uma vez que a refletância está inteiramente relacionada com a interação da energia incidente com a estrutura da folha e as proporções de água presente.

Ramos (2020), ao trabalhar a modelagem de equações múltiplas lineares e não-lineares com índices de vegetação (SR e EVI) como variáveis preditoras, encontrou elevado erro relativo ( $S_{yx} > 54,78 \text{ Mg.ha}^{-1}$  e  $S_{yx\%} > 44,02\%$ ) em todos os modelos de regressão para quantificação da biomassa. Segundo o mesmo autor, isso acontece devido a heterogeneidade na estrutura da floresta (espacial e temporal), denotada pela a variação no estoque de  $B$  entre as parcelas, podendo ser pouco sensíveis a captação das mudanças espaciais pelo sensoriamento remoto.

Vale também salientar que, o erro da estimativa encontrado pode ser decorrente de diferentes causas de imprecisão, tais como: grau de precisão de equações alométricas utilizadas na estimativa

da biomassa (ALVES JUNIOR, 2010); erros de amostragem nas coletas de dados; erros das estimativas atribuídos aos procedimentos de sensoriamento remoto, muitas vezes relacionados ao próprio equipamento (sensores), afetando na captação exata das reflectâncias referente às variações de temperatura, umidade e iluminação do meio, e outras interferências atmosféricas; erros associados ao pré-processamento das imagens e; podem ainda estar relacionados com as datas distintas entre o imageamento dos sensores na área com a data de medição em campo, e, assim, não coincidindo (LIMA JUNIOR, 2014).

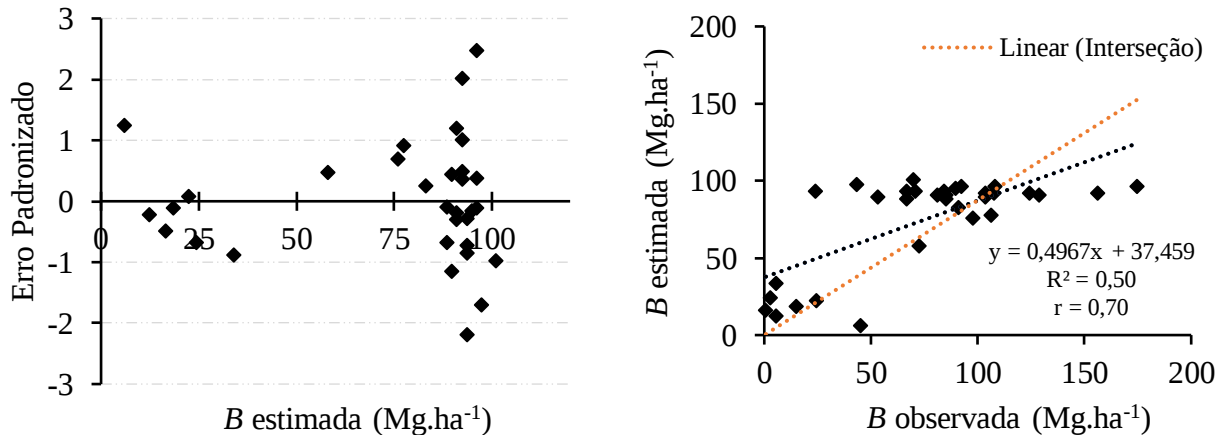
Watzlawick et al. (2009) reforçam que os resultados estatísticos obtidos com imagens de alta resolução para quantificação da biomassa e carbono arbóreo demonstram o potencial de utilização dessas ferramentas em levantamentos florestais com menos tempo e custos, porém, a média da correlação com as variáveis digitais verificada, reafirma a importância de mais trabalhos que informem a biomassa, carbono e/ou equações alométrica dos diferentes ecossistemas e tipologias florestais de forma mais precisa, para posterior integração, e, assim, elevar as aplicações.

Os índices de vegetação podem ser utilizados em áreas heterogêneas e de difícil acesso, pela vantagem de ser um método não destrutivo e de fácil obtenção, a exemplo do NDVI, o qual se mostrou capaz de se correlacionar e de realizar estimativas de biomassa mais precisas, podendo ser aplicados em áreas extensas de vegetação com rapidez e baixo custo (LIMA JUNIOR, 2014). Viana et al. (2009), consideraram como bastante satisfatório o desempenho da equação que estima a biomassa com um erro de 31% para uma vegetação que apresenta distribuição espacial muito heterogênea.

Conforme a dispersão dos resíduos padronizados, percebe-se que os valores estimados pelo modelo apresentam tendência em superestimar e subestimar a biomassa para áreas de maior acúmulo da *B*, e isso pode ser observado ao verificar o afastamento bilateral (-/+) dos erros na extremidade do eixo x, havendo uma distribuição não uniforme dos dados ao longo da reta que corresponde ao resíduo zero (MOGNON, 2011) (Figura 12). O erro padrão negativo indica superestimativa, e ela inicia-se quando a biomassa calculada pelo inventário se aproxima dos 50 Mg.ha<sup>-1</sup>, o qual é possível inferir que há a formação de um dossel suficientemente capaz de recobrir o solo, elevando os valores do NDVI para parcelas com acumulação média registrada. Por outro lado, a subestimativa é resultado do ajuste da equação, ao passo que o NDVI não consegue aumentar proporcionalmente com avanço de estoque de biomassa, e esse limite de saturação do

NDVI foi identificado pela linha de interseção com a da regressão linear ao se cruzarem no ponto coincidente (y,x) com 100 Mg.ha<sup>-1</sup>.

**Figura 12** – Distribuição gráfica dos resíduos padronizados do modelo *stepwise* utilizando o NDVI inverso para estimativa da biomassa viva acima do solo (*B*) e a relação entre os valores observados e estimados na área do *Arboretum* de Alagoas, Maceió.



Fonte: Autor (2022).

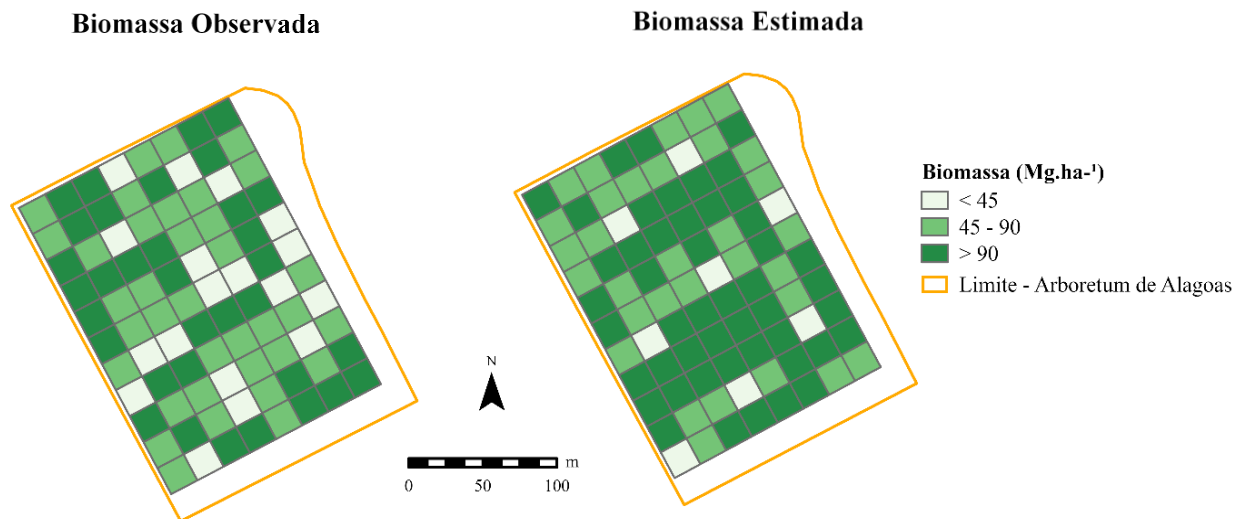
Uma vez atingido os pontos de saturação no visível e no infravermelho próximo, mesmo a vegetação em pleno desenvolvimento (surgimento de folhas), provavelmente não teria ou apenas poucas alterações nos valores de refletância, sendo assim, os pontos de saturação são uma das grandes limitações do emprego dessas técnicas de sensoriamento remoto (PONZONI et al., 2012).

Percebeu-se ainda no gráfico de erros que há uma tendência de separar as estimativas em dois grupos, um de baixa e outro de alta quantidade de acúmulo arbóreo. Esse aspecto, refere-se ao fato de encontrar parcelas menos densas e, por conseguinte, com pouco dossel, e outras parcelas bem recobertas por vegetação, constatada pela média a alta densidade no inventário florestal. Essa passa a ser mais um fator preponderante que confirma o potencial de desenvolvimento do maciço florestal.

Em observância à amplitude dos resíduos padronizados pelo diagnóstico por casos (Casewise), nota-se que 3 das 32 amostras, equivalente a 9,4%, estão fora do intervalo  $\pm 2$  desvios. No entanto, 100% dos casos estão dentro da margem de  $\pm 2,5$  desvios. Isso significa que o modelo testado possui boas estimativas e precisão considerável. Segundo Field (2009), não há necessidade de preocupação com o modelo quanto este atende os parâmetros estatísticos da Casewise, exceto quando se verifica resíduo padronizado acima de 3, valendo-se uma investigação adicional.

A Figura 13, expressa a espacialização da biomassa observada pelo inventário e estimada pela modelagem para todas as parcelas (88) na última mensuração (2020).

**Figura 13** – Distribuição espacial da biomassa observada no inventário de 2020 e estimada após modelagem para todas as parcelas na área do *Arboretum* de Alagoas, Maceió.



Fonte: Autor (2022).

Notavelmente, verifica-se nessa espacialização a influência do NDVI marcante, indicando localmente onde possui maior cobertura florestal bem como parcelas rarefeitas em dossel (clareiras). Os pontos de estoque de biomassa em baixa ( $< 45 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ) se apresentam equivalente em algumas parcelas (7), tal como as de máximo, referenciando o médio acompanhando da biomassa estimada com a inventariada, corroborando com os parâmetros estatísticos da modelagem já comentado.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A biomassa viva acima do solo ( $B$ ) do estrato arbóreo estimada na área florestada indica a fase intermediária no processo de recuperação florestal, e o carbono ( $C$ ) contido na biomassa tenderá a aumentar de forma proporcional ao desenvolvimento da comunidade arbórea, conforme o incremento periódico anual positivo para os estoques. As espécies secundárias (SI + ST) estocaram as maiores quantidades, ao passo que, a maior participação foi proporcionada por indivíduos com diâmetros intermediários (20 e 40 cm), afirmando a juvenilidade da vegetação.

O estoque de carbono apresentou forte correlação positiva apenas com a área basal, isso é justificável, uma vez que esta variável está diretamente vinculada com o diâmetro a altura do peito (DAP), o qual foi aplicado para quantificar a biomassa ( $B$ ) por estimativa alométrica. Entretanto, áreas com maior riqueza e diversidade de espécies tendem a apresentar discretamente um maior estoque de carbono, explicado pela fraca correlação dessas variáveis.

As informações fitossociológicas concatenadas com a estocagem de carbono das espécies permitiu identificar àquelas que representam maior relevância na área (*Bowdichia virgilioides*, *Handroanthus impetiginosus*, *Anadenanthera* sp e *Inga edulis*), reforçando a contribuição significativa das espécies da família botânica Fabaceae. Com base nessa premissa, essa metodologia pode ser útil na escolha de espécies com potencial de acelerar a produção florestal, assim servindo também de indicador para projetos de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação (REDD<sup>+</sup>).

A integração de dados espectrais (índices de vegetação) para estimativa da biomassa ( $B$ ) florestal pela modelagem de regressão múltipla de dados inventariados em campo mostrou-se promissora, ao passo que o método de seleção de equações, o *stepwise*, acusou um modelo capaz de quantificar a biomassa arbórea aérea com média precisão, indicado pelos parâmetros estatísticos, usando apenas o NDVI para sua estimativa. A correlação dessa variável preditora expressa o quanto pode ser trabalhada em futuras pesquisas visando assertividade e precisão no intuito de amenizar os custos e tempo. Porém, ainda se faz necessária a busca de equações, utilização de novos índices, metodologias e/ou equipamentos de sensoriamentos remotos que consigam detectar as mudanças da biomassa no ponto de saturação dos índices, fato este verificado na distribuição dos resíduos padronizados.

Espera-se que, as informações contidas nesse estudo possam dar suporte a pesquisadores na elaboração de estratégias de conservação de florestas nativas e programas de recuperação e de restauração de áreas degradadas para o estado de Alagoas, ou até mesmo regiões florestais do bioma Mata Atlântica, podendo auxiliar na busca pela quantificação de carbono florestal para diversos fins, a exemplo da comercialização de créditos de carbono.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. R. R.; ROCHA, K. S. Caracterização da cobertura vegetal em área de proteção ambiental no Sudoeste Amazônico com dados de satélite. In: OLIVEIRA, R. J. **Silvicultura e Manejo Florestal: Técnicas de Utilização e Conservação da Natureza**. Guarujá, SP: Científica Digital, 2021. p 55-70.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVES JUNIOR, F. T. **Estrutura, biomassa e volumetria de uma área de Caatinga, Floresta - PE**. 2010. 123 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.
- ALVES, S. L. et al. Sucessão florestal e grupos ecológicos em Floresta Atlântica de encosta, Ilha Grande, Angra dos Reis / RJ. **Rev. Univ. Rural, Sér. Ci. Vida**. Seropédica, RJ, EDUR, v. 25, n. 1, p.26-32, 2005.
- AMARO, M. A. **Quantificação do estoque volumétrico, de biomassa e de carbono em uma Floresta Estacional Semidecidual no Município de Viçosa-MG**. 2010. 168f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.
- ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP – APG. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 181, p. 1-20, 2016.
- AZEVEDO, A. D. et al. Estoque de carbono em áreas de restauração florestal da Mata Atlântica. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 48, n. 2, p. 183-194, abr/jun. 2018.
- BABA, R. K. et al. Correção de dados agrometeorológicos utilizando métodos estatísticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.29, n.4, 515 - 526, 2014. Acesso:<  
<http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620130611> >.
- BADR, F. M.; MATTOS, F. M. F. Remuneração pela Preservação da Floresta em Pé: Análise do REDD e a Experiência do Programa Bolsa Floresta no estado do Amazonas. In: XIX Encontro Nacional do CONPEDI. **Anais...** Fortaleza: CONFEDI, 2010, p.1721-1728

BARRETO, T. G. et al. Dinâmica da biomassa e do carbono em fragmento urbano de floresta ombrófila mista. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.18; p. 2014.

BELLOLI, T. F. **Estimativa de biomassa e estoque de carbono de vegetação macrofítica a partir de dados espectrais e de campo**. 2019. 127 f. Dissertação. (Mestrado em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre -RS, 2019.

BOINA, A. **Quantificação de estoques de biomassa e de carbono em Floresta Estacional Semidecidual, Vale do Rio Doce, Minas Gerais**. 89f. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 2008.

BORGES, R. A. et al. Estoque de carbono em área de pastagem em restauração com espécies do bioma Mata Atlântica no Litoral do Paraná. **Floresta**, v.48, n.2, p.183-194, 2017.

BRASIL. (2021). **LEI 14.119, DE 13 DE JANEIRO DE 2021**. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais. <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.119-de-13-de-janeiro-de-2021-298899394>>. Acessado em 03 de setembro de 2021.

BROWN, S.; GILLESPIE, A. J. R.; LUGO, A. E. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. **Forest Science**, v. 35, p. 881- 902, 1989.

BRUN, F. G. K. **Dinâmica do carbono orgânico em espécies arbóreas de uma floresta estacional decidual no Rio Grande do Sul**. 2007. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

BUDOWISKI, G. Distribution of tropical American rain forest species in the light of successional processes. **Turrialba**, v. 15, n. 1, p. 40-42, 1965.

BURGER, D. M. **Modelos alométricos para estimativa da fitomassa de Mata Atlântica na Serra do Mar, SP**. 2005. 112f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

CALIMAN, J.P. **Estrutura diamétrica, biomassa, ingresso e mortalidade em floresta atlântica secundária ao longo de 24 anos**. 88 f. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, 2019.

CASARI, G. H. C. N. **Estimativa de biomassa por sensoriamento remoto: um potencial para avaliação da produção de energia**. 2018. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) – Universidade de Brasília - UnB, Brasília, 2018.

CASSOL, H. L. **Estimativa de biomassa e estoque de carbono em um fragmento de floresta ombrófila mista com uso de dados ópticos de sensores remotos**. 2013. 143 f.: il. Dissertação. (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS, 2013.

CHANG, M. Seqüestro de Carbono Florestal: oportunidades e riscos para o Brasil. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**. Curitiba, n.102, p.85-101 jan/jun, 2002.

CHAVE, J. et al. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. **Global Change Biology**, v.20, n.10, p.3177-3190, 2014.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Quantificação e Relato de Emissões de Gases de Efeito Estufa**. Nota Técnica 01 – São Paulo: CETESB, 2021.

DEBASTIANI, A. B. **Integração de dados de sensoriamento remoto para a estimativa de área basal, volume e biomassa em ecossistemas florestais**. 125 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

DIMOBE, K. et al. Diversity-carbon stock relationship across vegetation types in W National Park in Burkina Faso. **Forest Ecology and Management** 438 243–254, 2019.  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.02.027>.

DOMINGUES, G. F. et al. Artificial neural networks on integrated multispectral and SAR data for high-performance prediction of eucalyptus biomass. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 168, p.1-7, 2020.

FEARNSIDE, P. M. **A Floresta Amazônica nas Mudanças Globais**. Manaus: INPA, 2003. 134 p.

FERRAZ, A. S. **Estimação dos estoques de biomassa e carbono na parte aérea de um fragmento de floresta estacional semidecidual por meio de imagens de satélite Ikonos II**. 2012. 88 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

FERRAZ, A. S. et al. Estimativa do estoque de biomassa em um fragmento florestal usando imagens orbitais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 3, p. 286-296, 2014.

FERRETTI, A. R.; BRITEZ, R. M. Ecological restoration carbon sequestration and biodiversity conservation: the experience of the Society for Wildlife Research and Environmental Education (SPVS) in the Atlantic Rain Forest of Southern Brazil. **Journal for Nature Conservation**. 14, 249–259. 2006.

FIDALGO C. C. E. et al. **Estoque de Carbono nos Solos do Brasil**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 121 - Embrapa Solos, 2007. 27 p.

FIELD, A. **Descobrimos a estatística usando o SPSS**, 2. ed. – Dados eletrônicos. – Porto Alegre: Artmed, 2009.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1992. 269p.

GASPAR, R. O. et al. Análise fitossociológica e do estoque de carbono no estrato arbóreo de um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 2, p. 313-324, abr.-jun., 2014.

HENRY, M. et al. Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. **Forest Ecology and Management**, v. 260, n. 5, p. 1375-1388, 2010.

HENTZ, A. M. K. et al. Técnicas de sensoriamento remoto para estimativa de biomassa em ambientes florestais. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.10, n.18; p.2810 - 2823, 2014.

HUETE, A. R. A. Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 25, n. 3, p. 295-309, May/June 1988.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems**. 2019.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme**. Japão: IGES, 2006.

- JORDAM, C. F. Derivation of leaf-area index from quality of light on the forest floor. **Ecology**, Durham, v. 50, n. 4, p. 663-669, 1969.
- KAGEYAMA, P. Y. et al. Consórcio de espécies nativas de diferentes grupos sucessionais em Teodoro Sampaio - SP. **In: II Congresso Nacional sobre Essências Nativas**, São Paulo, SP, Inst. Florestal de São Paulo. Pp. 527-533, 1992.
- LIMA JUNIOR, C. et al. Estimativa de biomassa lenhosa da caatinga com uso de equações alométricas e índice de vegetação. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 102, p. 289-298, 2014.
- LIMA, A. R. S. et al. Composição da florística e da fitossociologia de um fragmento de mata atlântica, Rio Largo, Alagoas. In: 69ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, Belo Horizonte, MG: **Anais...** São Paulo: SBPC, 2017.
- LIMA, A. R. S. et al. Influence of edge in the structure of the vegetation of an open Ombrophilous Forest in Alagoas. **Bioscience Journal**, v. 36, n. 2, 2020.
- LIMA, R. B. A. **Estrutura, regeneração natural e ciclagem de nutrientes em floresta ombrófila densa das terras baixas, na zona da mata de Pernambuco** – 2017. 150 f.: il. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Recife, BR-PE, 2017.
- LIMA, R. B. A. et al. Structure and Diversity in Ombrophilous Forest in the Zona da Mata of Pernambuco. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 2, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.060217>.
- LIPINSKI, E. T. et al. Dinâmica da biomassa e carbono arbóreo entre 1995-2012 em floresta ombrófila mista montana. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 47, n. 2, p. 197 - 206, abr. / jun. 2017.
- MARCUSSI, A. B. et al. Utilização de índices de vegetação para os sistemas de informação geográfica. **Revista Caminhos da Geografia**, 11, 41-53. 2010.
- MARQUES, R. F. et al. Caracterização Geotécnica de um Perfil de Solo Não Saturado da Formação Barreiras da Cidade de Maceió - AL, **XIII COBRAMSEG**, Curitiba, PR, Brasil, 2006.
- MARTINS, M. E. G. Coeficiente de correlação amostral. **Revista de Ciência Elementar**, 2(02):0069, 2014.

MEIRA, A. C. S. et al. Estimativas de biomassa e carbono em área de Mata Atlântica, implantada por meio de reflorestamento misto. **Biofix Scientific Journal** v. 5 n. 1 p. 130- 134 2020.

MELO, A. C. G.; DURIGAN, G. Fixação de carbono em reflorestamento de matas ciliares no Vale do Paranapema, SP, Brasil. **Scientia Forestalis**, n. 71, p. 149 – 154, 2006.

MENESES, P. R; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Brasília:** Universidade de Brasília – UNB, 2012.

MENEZES, P. R. et al. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto.** [s.l.] UnB, 2012.

MOGNON, F. **Dinâmica do estoque de carbono como serviço ambiental prestado por um fragmento de floresta Ombrófila Mista Montana Localizada no sul do estado do Paraná.** 2011. 125f.: il. Dissertação. (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

MORAIS, V. A et al. Spatial and vertical distribution of litter and belowground carbon in a brazilian cerrado vegetation. **Cerne**, v.23, n.1, p.43-52, 2017.

MOREIRA, F.L. **Crescimento inicial de espécies arbóreas nativas e exóticas em Jerônimo Monteiro – ES.** Monografia. Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Espírito Santo, 2011.

MULLER-DOMBOIS, D.; ELLEMBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology.** New York: John Wiley & Sons, 1974. 547p.

MUÑOZ, J. C. J. et al. (2005): Fractional Vegetation cover estimation from PROBA/CHRIS data: Methods, analysis of angular effects and application to the land surface emissivity retrieval. **In:** Proc. 3rd Workshop CHRIS/Proba, ESRIN, Frascati, Italy, 2005.

NORMAN, J. M. et al. Remote Sensing of Evapotranspiration for Precision-Farming Applications (2003). **In:** IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, pp. 21-25., Toulouse. Proceedings... Toulouse: IGARSS 2003 - Organizing Committee, 2003.

PARRON, L. M. et al. Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica. **Embrapa Florestas-Livro científico (ALICE)**, 2015.

PLANET. **Planet Imagery Product Specifications**. Planet Labs, Inc.: San Francisco, CA, USA, 2021.

PLANET. **Planet Surface Reflectance Version 2.0** Planet Team, San Francisco, CA, USA, 2020.

[https://assets.planet.com/marketing/PDF/Planet\\_Surface\\_Reflectance\\_Technical\\_White\\_Paper.pdf](https://assets.planet.com/marketing/PDF/Planet_Surface_Reflectance_Technical_White_Paper.pdf).

PONZONI, F. J. et al. **Sensoriamento Remoto da vegetação**. São José dos Campos, SP: Oficina de Textos. 2012.

RAMOS, N. O. **Estimativa da biomassa florestal a partir do uso de imagens *Rapideye* e *Landsat***. 2017. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) – Universidade de Brasília, UnB, Brasília, 2017.

RAMOS, N. O. **Estimativa e modelagem da biomassa florestal acima do solo a partir do uso do sensoriamento remoto: 20 anos de monitoramento da vegetação**. 2020. 56 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, DF, 2020.

REBOITA, M. S. et al. Climate Projections for South America: RegCM3 Driven by HadCM3 and ECHAM5. **Advances in Meteorology**, London, v, 2014, p. 1 - 17, 2014.

RIBEIRO, S. C. et al. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma capoeira da zona da mata mineira. **Revista Árvore**, v.34, n.3, p.495-504, 2010.

ROBORTELLA, H. S. **Equações de biomassa e estoques de carbono de seis espécies em plantios mistos no noroeste do Mato Grosso**. 2010. 71 f.: Dissertação (mestrado)-- INPA, Manaus, 2010.

ROCHA, D.R.S. A Gis Approach Using Remote Sensing Derived Products for Quantification of Sugar Cane Productivity in Brazil. **Revista Brasileira de Geografia Física**. 03, 562-574, 2011.

ROIK, M. et al. Dinâmica da florística e da estrutura horizontal em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana. **Nativa**, v. 7, n. 6, p. 748-757, nov./dez. 2019.

ROUSE, J. W. et al. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (GreenWave effect) of natural vegetation**. Remote Sensing Center Texas A&M University College Station, Texas. Type II Sept. 72-March 1973, 120p.

SANQUETTA, C. R. et al. Carbon stock and removal of co<sub>2</sub> in young stands of forest restoration in Rondônia. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 50, n. 1, p. 991 - 1000, jan/mar 2020.

SANQUETTA, C. R. et al. Comparison of data mining and allometric model in estimation of tree biomass. **BMC Bioinformatics**, v. 16, n. 1, p. 247, 2015.

SANQUETTA, C. R. et al. Dinâmica em superfície, volume, biomassa e carbono nas florestas nativas brasileiras: 1990-2015. **Biofix Scientific Journal** v. 3 n. 1 p. 193-198, 2018.

SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R. Metodologias para determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILIOTTO, M. A. B. (Eds.). **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba: UFPR/Ecoplan, 2004. p.77-93.

SANTOS, A. A. L. et al. Aspectos da estrutura da vegetação arbórea em uma área restaurada com 15 anos no Arboretum da UFAL. In: X Simpósio Brasileiro de Pós-Graduação em Ciências Florestais, 2018, Natal-RN. **Anais...**, 2018. p. 98-103.

SANTOS, M. M. **Levantamento florístico do acervo do Arboretum de Alagoas (UFAL)**. 2011. 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) – Curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2011.

SANTOS, R. J. et al. **A Geomorfologia do Tabuleiro Como Consequência do Neotectonismo, Geografia** – Espaço, Tempo e Planejamento, Edufal, Maceió, AL, p. 255-268, 2004.

SCCON - Santiago & Cintra Consultoria. **Geospatial**. Disponível em: <  
<https://www.scccon.com.br/produtos/imagens-planet/>> Acessado em 06 de janeiro de 2022.

SCOTT, C. E. et al. Impact on short-lived climate forcers increases projected warming due to deforestation. **Nature Communications**, 9:157, 2018. DOI: 10.1038/s41467-017-02412-4.

SHANNON, C. E.; WEAVER, W. **The mathematical theory of communication**. Urbana: University of Illinois Press, 1949.

SILVA, F. B. Sociedade e Meio Ambiente: A monocultura canavieira e os impactos socioambientais no sul da mata alagoana. In: 30º Simpósio Nacional de História, **Anais...** Recife: ANPUH-BRASIL, 2019. 16p.

- SILVA, H. F. et al. Estimativa do estoque de carbono por métodos indiretos em área de restauração florestal em Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 108, p. 943-953, dez. 2015. DOI: [dx.doi.org/10.18671/scifor.v43n108.18](https://doi.org/10.18671/scifor.v43n108.18).
- SILVA, K. E. et al. Dinâmica florestal, estoque de carbono e fitossociologia de uma floresta densa de terra-firme na Amazônia Central. **Scientia Forestales**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 193-201, mar. 2015.
- SILVA, L. C. et al. Estoques de biomassa e carbono em unidade de conservação no bioma mata atlântica. **Biofix Scientific Journal** v. 3 n. 2 p. 243-251, 2018.
- SILVA, L. G. et al. Florística, fitossociologia e caracterização ecológica numa área de capoeirão de Cabo de Santo de Agostinho, Pernambuco. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.6, n.6, p.34519-34540, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n6-118.
- TORRES, C. M. M. E. Análise Fitossociológica e Valor de Importância em Carbono para uma Floresta Estacional Semidecidual. **Floresta e Ambiente**, 2017.
- TROPICOS. **MISSOURI BOTANICAL GARDEN**. Available from: <http://www.tropicos.org>. Acessado em 15 julho de 2020.
- VIANA, H. et al. Predição de biomassa arbustiva lenhosa empregando dados do inventário e o índice de diferença normalizada extraído em imagens landsat5 TM. **Millenium**, n. 37, nov. 2009.
- WATZLAWICK, L. F. **Estimativa de biomassa e carbono em floresta ombrófila mista e plantações florestais a partir de dados de imagens do satélite IKONOS II**. 2003. 120 f.: Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.
- WATZLAWICK, L. F. et al. Variação nos teores de carbono orgânico em espécies arbóreas da Floresta Ombrófila Mista. **Floresta e Ambiente**, v.18, n.3, p.248-258, 2011.
- WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F.; SANQUETTA, C. R. Estimativa de biomassa e carbono em floresta com Araucária utilizando imagens do satélite Ikonos II. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 169-181, abr.-jun., 2009.
- XAVIER, G. O. **Estimativa de estoque de biomassa de floresta tropical utilizando dados de sensoriamento remoto e redes neurais artificiais**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) – Universidade de Brasília, UnB, Brasília, 2017.

YU, C. M. **Seqüestro florestal de carbono no Brasil: dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas**. São Paulo: Annablume/IEB, 2004. 280p.

ZANNE, A. E. et al. **Global Wood Density Database**. Data from: Towards a worldwide wood economics spectrum, 2009.