

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

IVÃ ANDREAS LIMA ARANCIBIA

**CARBONO ESTOCADO ACIMA DO SOLO POR UM SISTEMA  
AGROFLORESTAL SUCESSIONAL NA MATA ATLÂNTICA**

DOIS VIZINHOS

2021

IVÃ ANDREAS LIMA ARANCIBIA

**CARBONO ESTOCADO ACIMA DO SOLO POR UM SISTEMA  
AGROFLORESTAL SUCESSIONAL NA MATA ATLÂNTICA**

Carbon stored above ground by a successional agroforestry system in the  
Atlantic Forest

Trabalho de conclusão de curso de graduação em Engenharia Florestal apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Joel Donazzolo

Co-orientador: Prof. Dr. Edgar de Souza Vismara

DOIS VIZINHOS

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Dois Vizinhos  
Curso de Engenharia Florestal



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

### CARBONO ESTOCADO ACIMA DO SOLO POR UM SISTEMA AGROFLORESTAL SUCESSIONAL NA MATA ATLÂNTICA

Por  
IVÃ ANDREAS LIMA ARANCIBIA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 04 de dezembro de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal. O(a) candidato(a) foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Joel Donazzolo  
Orientador (UTFPR-DV)

---

Prof. Dr. Fernando Campanhã Bechara  
Membro titular (UTFPR-DV)

---

Prof. Dr. Eleandro José Brun  
Membro titular (UTFPR-DV)

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedico este trabalho à minha mãe,  
pela minha vida, por todo o amor e pelo incansável apoio.

Ao meu pai,  
por estar sempre presente.

Aos meus avós,  
pelo cuidado e infinito carinho.

À toda minha família,  
pelo incentivo.

Ao corpo docente da UTFPR-DV,  
pelos ensinamentos.

Ao meu orientador e ao meu co-orientador,  
pela mentoria.

E à Deus por absolutamente tudo.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos os brasileiros por propiciarem, através de seu trabalho, a oportunidade de poder desfrutar de um ensino público de qualidade.

Aos meus amigos e colegas pelo companheirismo e pelos momentos inesquecíveis.

Aos membros do grupo de Manutenção do Núcleo de Estudo em Agroecologia e Produção Orgânica da UTFPR – Câmpus Dois Vizinhos, pelo trabalho realizado.

Aos servidores da UTFPR-DV.

E ao CNPq pela bolsa de extensão concedida através do projeto nº 402952/2017-0.

Cada dia a natureza produz o suficiente para nossa carência.  
Se cada um tomasse o que lhe fosse necessário, não havia pobreza no mundo  
e ninguém morreria de fome.  
(MAHATMA GANDHI).

## RESUMO

O objetivo desse trabalho foi quantificar o carbono estocado acima do solo pelo componente arbóreo do sistema agroflorestal (SAF) sucessional da UTFPR-DV, com 8 anos de idade, identificando as espécies e os grupos ecológicos que se destacam para estocar o carbono, visando subsidiar projetos futuros de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL). O censo levantou a presença de 7350 indivíduos  $\text{ha}^{-1}$  no SAF com altura total ( $H_t$ )  $\geq 1,30$  m, divididos em 49 espécies e pertencentes a 26 famílias botânicas, os quais foram objeto de análise fitossociológica, com destaque à *Musa paradisiaca* L. com 4.956 exemplares. Primeiro foi calculada a biomassa seca do fuste de cada indivíduo (BF), depois aplicou-se equações alométricas específicas para *Mimosa scabrella* Benth., *Euterpe edulis* Mart., *Schinus terebinthifolius* Raddi., *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze e *Musa paradisiaca* L.; e equações alométricas genéricas regionais e pan-tropicais para todo o conjunto de dados, comparando-se com o valor de BF encontrado. Os valores de biomassa encontrados foram convertidos em carbono estocado utilizando-se o fator 0,5. As espécies que se sobressaíram foram *Solanum mauritianum* Scop. (2,6 t C  $\text{ha}^{-1}$ ), *Persea americana* Mill. (1,96 t C  $\text{ha}^{-1}$ ), *Musa paradisiaca* L. (1,31 t C  $\text{ha}^{-1}$ ) e *Carya illinoensis* (Wang.) K. (1,11 t C  $\text{ha}^{-1}$ ). Do total de 15,35 t C  $\text{ha}^{-1}$  estocados no SAF, o grupo de sucessão ecológica das espécies pioneiras foi responsável por 7,44 t C  $\text{ha}^{-1}$ , seguido pelo grupo das secundárias iniciais com 4,17 t C  $\text{ha}^{-1}$  e pelo grupo das secundárias tardias com 3,15 t C  $\text{ha}^{-1}$ . O grupo das climácicas foi responsável por estocar apenas 0,39 t C  $\text{ha}^{-1}$ . Das equações alométricas utilizadas neste trabalho, as genéricas regionais de Vismara (2013) e Gusson (2014) e as pan-tropicais de Chave *et al.* (2005; 2014) foram as que apresentaram resultados mais condizentes com o valor da BF, sendo recomendadas para estimativas em SAF's com desenhos semelhantes ao deste estudo.

**Palavras-chave:** equação alométrica, mecanismos de desenvolvimento limpo, crédito de carbono, biomassa.

## ABSTRACT

The objective of this work was to quantify the carbon stored above ground by the arboreal component of the successional agroforestry system (SAF) of the UTFPR-DV, with 8 years of age, identifying as species and ecological groups that stand out to store carbon for subsidy of future projects of Clean Development Mechanisms (CDM). The census provides the presence of 7350 individuals  $\text{ha}^{-1}$  in the SAF with total height ( $H_t$ )  $\geq 1.30$  m, divided into 49 species and belonging to 26 botanical families, which were object of phytosociological analysis, with emphasis on *Musa paradisiaca* L. with 4,956 specimens. First, the dry biomass of the bole of each individual (BF) was obtained, then specific allometric equations were applied for *Mimosa scabrella* Benth., *Euterpe edulis* Mart., *Schinus terebinthifolius* Raddi., *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze and *Musa paradisiaca* L; and regional and pan-tropical generic allometric equations for the entire dataset, comparing with the BF value found. The biomass values found were converted into stored carbon using the 0.5 factor. The species that stood out were *Solanum mauritianum* Scop. ( $2.6 \text{ t C ha}^{-1}$ ), *Persea americana* Mill. ( $1.96 \text{ t C ha}^{-1}$ ), *Musa paradisiaca* L. ( $1.31 \text{ t C ha}^{-1}$ ) and *Carya illinoensis* (Wang.) K. ( $1.11 \text{ t C ha}^{-1}$ ). Of the total of  $15.35 \text{ t C ha}^{-1}$  stored in the SAF, the ecological succession group of pioneer species was responsible for  $7.44 \text{ t C ha}^{-1}$ , followed by the group of early secondary ones with  $4.17 \text{ t C ha}^{-1}$  and by the late secondary group with  $3.15 \text{ t C ha}^{-1}$ . The climax group was responsible for storing only  $0.39 \text{ t C ha}^{-1}$ . Of the allometric equations used in this work, the regional generics by Vismara (2013) and Gusson (2014) and the pan-tropical ones by Chave et al. (2005; 2014) were the ones that presented results more consistent with the BF value, being recommended for estimates in SAF's with designs similar to the one in this study.

**Keywords:** allometric equations, clean development mechanisms, carbon credit, biomass.



## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Características do ciclo de vida das árvores relacionadas por grupo ecológico..  | 24 |
| Tabela 2 - Estoque de carbono no solo e na biomassa e fluxo de carbono entre diferentes compartimentos do ecossistema para os biomas brasileiros.....   | 30 |
| Tabela 3 – Equações alométricas específicas de estimativa de biomassa seca acima do solo (BAS).....   | 53 |
| Tabela 4 – Equações alométricas regionais de estimativa de biomassa seca acima do solo.   | 54 |
| Tabela 5 – Equações alométricas pan-tropicais de estimativa de biomassa seca acima do solo. ....  | 55 |
| Tabela 6 - Composição florística. ....  | 57 |
| Tabela 7 – Variação das medidas dendrométricas de altura (Ht) e (DAPEq) por espécie e grupo de sucessão ecológica (GE).....   | 61 |
| Tabela 8 – Parâmetros fitossociológicos da estrutura vertical por espécie. ....   | 63 |
| Tabela 9 – Parâmetros fitossociológicos da estrutura horizontal por espécie e grupo ecológico.....  | 65 |
| Tabela 10 – Atributos dendrométricos por espécie. ....  | 67 |
| Tabela 11 – Estimativa de Biomassa Arbórea Seca Acima do Solo realizadas pelas equações alométricas específicas (kg espécie <sup>-1</sup> ). ....   | 69 |
| Tabela 12 – Estimativas de Biomassa Arbórea Seca Acima do Solo realizadas pelas equações regionais (kg espécie <sup>-1</sup> ). ....  | 72 |
| Tabela 13 – Estimativas de Biomassa Arbórea Seca Acima do Solo realizadas pelas equações alométricas pan-tropicais (kg espécie <sup>-1</sup> ). ....  | 77 |
| Tabela 14 – Média das estimativas de Biomassa Arbórea Seca Acima do Solo das equações alométricas específicas (quando houver) e regionais de Vismara (2013) e Gusson (2014); e das equações alométricas específicas (quando houver) e pan-tropicais de Chave <i>et al.</i> (2005; 2014) (kg espécie <sup>-1</sup> ). .... | 80 |
| Tabela 15 – Carbono Estocado na Biomassa Arbórea Seca Acima do Solo por Grupo Ecológico, para a área total do estudo (0,16 há) e para 1 hectare, em toneladas. ....   | 84 |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>AGRADECIMENTOS</b> .....   | <b>4</b>  |
| <b>RESUMO</b> .....   | <b>6</b>  |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | <b>7</b>  |
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....   | <b>10</b> |
| <b>2 OBJETIVOS</b> .....  | <b>14</b> |
| <b>2.1 Objetivo Geral</b> .....   | <b>14</b> |
| <b>2.2 Objetivos Específicos</b> .....  | <b>14</b> |
| <b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....  | <b>15</b> |
| <b>3.1 Ciclo biogeoquímico do carbono</b> .....   | <b>15</b> |
| <b>3.2 Acordos internacionais de redução das emissões dos Gases do Efeito Estufa (GEE)</b> 19 |           |
| <b>3.3 Agroecossistemas e o conceito de Sucessão Ecológica</b> .....                          | <b>23</b> |
| 3.3.1 Grupos de Sucessão Ecológica .....  | 24        |
| <b>3.4 Sistemas Agroflorestais (SAF's)</b> .....  | <b>26</b> |
| <b>3.5 Serviços Ecossistêmicos e Serviços Ambientais</b> .....                                | <b>28</b> |
| 3.5.1 Sequestro e Estoque de Carbono .....  | 29        |
| <b>3.6 Equações alométricas de biomassa florestal</b> .....                                   | <b>31</b> |
| <b>4 METODOLOGIA</b> .....  | <b>34</b> |
| <b>4.1 Caracterização da área de estudo</b> .....   | <b>34</b> |
| <b>4.2 Censo e coleta de dados</b> .....  | <b>36</b> |
| <b>4.3 Classificação e análise dos dados</b> .....  | <b>37</b> |
| <b>4.4 Estimativa da biomassa arbórea seca acima do solo e do carbono estocado</b> .....      | <b>41</b> |
| <b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....   | <b>57</b> |
| <b>6 CONCLUSÕES</b> .....   | <b>89</b> |
| <b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....   | <b>90</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A relação do homem com a natureza é controversa: se por um lado é vista como provedora, por outro, a natureza é também considerada ameaça - afinal o homem é dela dependente. A modernização das técnicas envolvidas na criação de animais, na agricultura irrigada e na melhoria da armazenagem e distribuição do alimento tornou possível o surgimento de centros populacionais cada vez maiores, formando as cidades e, por consequência, permitindo o surgimento da própria civilização. Todavia, a segurança promovida por tais centros gerou a crença na qual o homem estaria mais seguro ao se afastar da natureza, buscando maior independência dos processos naturais e descobrindo como influenciá-los - ou dominá-los (TURNER, 1990). Como resultado, o uso insustentável do solo pela agricultura, aliado à incapacidade de adaptação às mudanças climáticas, foram razões preponderantes pelas quais civilizações reconhecidas por suas técnicas agrícolas à frente de seu tempo, como a maia, a mesopotâmica e a egípcia, tiveram seu declínio (BREWBAKER, 1979; WILKINSON, 1997; MENDONÇA, 2021).

Na atualidade é um problema global consequências causadas pelas mudanças climáticas intensificadas através das emissões antropogênicas dos gases envolvidos no efeito estufa (GEE): o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ); o metano ( $\text{CH}_4$ ); o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ); o hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ); hidrofluorcarboneto (HFC); e o perfluorcarboneto (PFC). Seja através da queima de combustíveis fósseis, resultante do processo digestivo de ruminantes criados em larga escala, oriunda da queima de florestas naturais para abertura de espaço a favor do setor agropecuário ou gerada por aparelhos de ar condicionado e refrigeradores, dentre outras, algumas dessas atividades são responsáveis não apenas pela emissão desses gases, mas também pela redução do potencial de sequestro e estocagem do carbono atmosférico, dado a redução da cobertura florestal (IPCC, 2021).

Estudos conduzidos pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2021) estimam a média global das concentrações de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{NO}_2$  em 2019 aumentou em 47%, 156% e 23%, respectivamente, acima dos níveis pré-industriais, sendo maior que qualquer ponto nos últimos 800.000 anos e que no período de 1900-2019 a taxa de incremento na concentração de  $\text{CO}_2$  foi pelo menos 10 vezes mais veloz, tornando inequívoca a conclusão de que as atividades humanas são as responsáveis por tais aumentos. A pesquisa do Observatório do Clima

aponta que entre 1990 e 2019 o Brasil emitiu cerca de 58 bilhões de toneladas de carbono bruto equivalente (tCO<sub>2</sub>eq) – unidade padronizada de negociação no mercado de carbono –, uma média aproximada de 2 bilhões/ano, sendo as emissões geradas por mudanças de uso da terra – principalmente oriundas do desmatamento – responsáveis por 44% das emissões no ano de 2019, apresentando crescimento de 4% em relação ao ano anterior, colocando o Brasil como o 6º país que mais emite gases do efeito estufa no mundo, responsável por 3,2% das emissões mundiais (ALBUQUERQUE et al, 2020).

Os impactos ambientais causados pelas mudanças climáticas foram acelerados após a Revolução Industrial. Entre as evidências detectadas mencionam-se o aumento da temperatura média global; as mudanças de tendências nas precipitações chuvosas e de neve; redução das geleiras e aumento do nível do mar; modificações das migrações e do habitat de espécies animais terrestres e marítimas; e impactos na produção alimentar (em particular na de trigo e de milho). Dentre os riscos específicos são citadas as inundações, a falta de água em países mais áridos, aumento de doenças, extinção de espécies, tensões e possíveis conflitos por recursos básicos como a água potável (IPCC, 2021).

Tamanha a preocupação com o tema levou os países a instituir, em 1992, a *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) – ou Convenção do Clima –, durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, ocorrida no Rio de Janeiro, com o intuito de organizar medidas para evitar a intensificação das mudanças climáticas. As decisões são negociadas nas reuniões anuais sobre o assunto nas Conferências das Partes (COP), órgão decisório supremo da Convenção do Clima. Na reunião de 1997 foi assinado o Protocolo de Kyoto, determinando que os países desenvolvidos signatários adotassem medidas para redução da emissão dos GEE, prevendo também a possibilidade de transações mercantis de créditos de carbono gerados pelos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) com os países em desenvolvimento (ANDRADE; COSTA, 2008). A reunião de Copenhague, em 2009, incluiu os países em desenvolvimento na adoção de medidas de redução de emissões dos GEE. Em 2015 houve a COP 21 na França, onde foi iniciado o Acordo de Paris, instituindo a meta de manter o aquecimento global em 1,5 °C até 2050, exigindo dos países metas de redução das emissões através da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) e criando um mecanismo de mercado para negociações de emissões. Mas foi apenas em 2021, na COP 26, que foram definidas regras para o mercado internacional de carbono, todavia ainda existem pontos a serem

resolvidos nas próximas conferências.

Neste âmbito, o Brasil, por ser um país com extensa área territorial passível de produção agrícola, pecuarista e florestal, apresenta uma potencialidade elevada neste mercado ao vender créditos de carbono gerados a partir de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) (SANTIN, 2007; YU, 2004), sendo fundamental a busca por sistemas de produção que possuam como características a sustentabilidade, a produtividade e a adaptabilidade (NAIR, 1993), tendo em vista que mudanças de temperatura afetam a distribuição de energia em todo o globo, interferindo na distribuição de chuvas e, conseqüentemente, na disponibilidade de água.

Os sistemas agroflorestais (SAF's) podem atender tal demanda ao possibilitar o arranjo, dentro de uma mesma área de produção, de indivíduos arbóreos conjuntamente a espécies agrícolas anuais, tais como o milho, a soja e o arroz, por exemplo, bem como animais em interação dinâmica. Quanto mais espécies inclusas em um SAF, maior a complexidade de seu manejo, revelando semelhanças com a essência do manejo sustentável de florestas nativas e trazendo a readequação das técnicas agrícolas aos processos naturais. Desta forma, os SAF's têm por vantagem característica a possibilidade de proporcionar múltiplos produtos alimentares, madeireiros e biocombustíveis, além de uma diversidade de benefícios, tais como a recuperação de áreas degradadas e a geração de serviços ambientais, como o sequestro e estoque do carbono, numa mesma unidade de gestão (NAIR, 1993), promovendo a segurança alimentar e a viabilidade econômica quando bem planejado e conduzido, como nos casos de café e erva-mate sombreados no sudeste e sul, e cacau sombreado no norte e nordeste brasileiro, entre outros exemplos.

O sequestro e o estoque de carbono pelas árvores podem ser calculados através da quantidade de biomassa que esta possui. Há duas formas reconhecidas de encontrar este valor: através do método destrutivo, que consiste basicamente na pesagem da árvore seca; ou por meio de equações alométricas, desenvolvidas a partir de modelos de regressão que tem por variáveis dados dendrométricos tais quais o diâmetro à altura do peito (DAP), altura (Ht) e densidade básica da madeira (Db) da árvore, por exemplo (RÜGNITZ; CHACÓN, 2009).

Através da disseminação da importância do sequestro e estoque do carbono, muitos autores elaboraram equações para diferentes tipos de florestas ao redor do mundo (FAO 2004; PEARSON *et al.* 2005; FERNÁNDEZ-NÚÑEZ *et al.* 2010, MIRANDA *et al.* 2011; BOLFE *et al.* 2009; ZANETTE, 2017). Estimativas de estoque de carbono em SAF's encontradas por NAIR *et al.* (2010) apontam o intervalo de 0,29 até 15,21 t C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para a biomassa gerada e

encontrada sobre o solo; e o intervalo de 30 até 300 t C ha<sup>-1</sup> para a biomassa encontrada a 1 metro de profundidade do solo, variando com o tipo do SAF, sua composição, estrutura, e o sítio implantado, revelando a superioridade deste tipo de sistema no sequestro e estoque de carbono quando comparado a monoculturas tradicionais.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O presente trabalho visa quantificar, a partir da utilização de equações alométricas, a biomassa seca acima do solo e o carbono estocado nos indivíduos arbóreos constituintes do sistema agroflorestal da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Dois Vizinhos.

### **2.2 Objetivos Específicos**

1. Comparar as estimativas de equações alométricas específicas, regionais e pan-tropicais oriundas da literatura e aplicadas ao conjunto de dados do censo;
2. Comparar a quantidade de carbono estocado entre as diferentes espécies e entre os diferentes grupos de sucessão ecológica;
3. Analisar a estrutura fitossociológica horizontal e vertical do SAF.

### **3 REVISÃO DE LITERATURA**

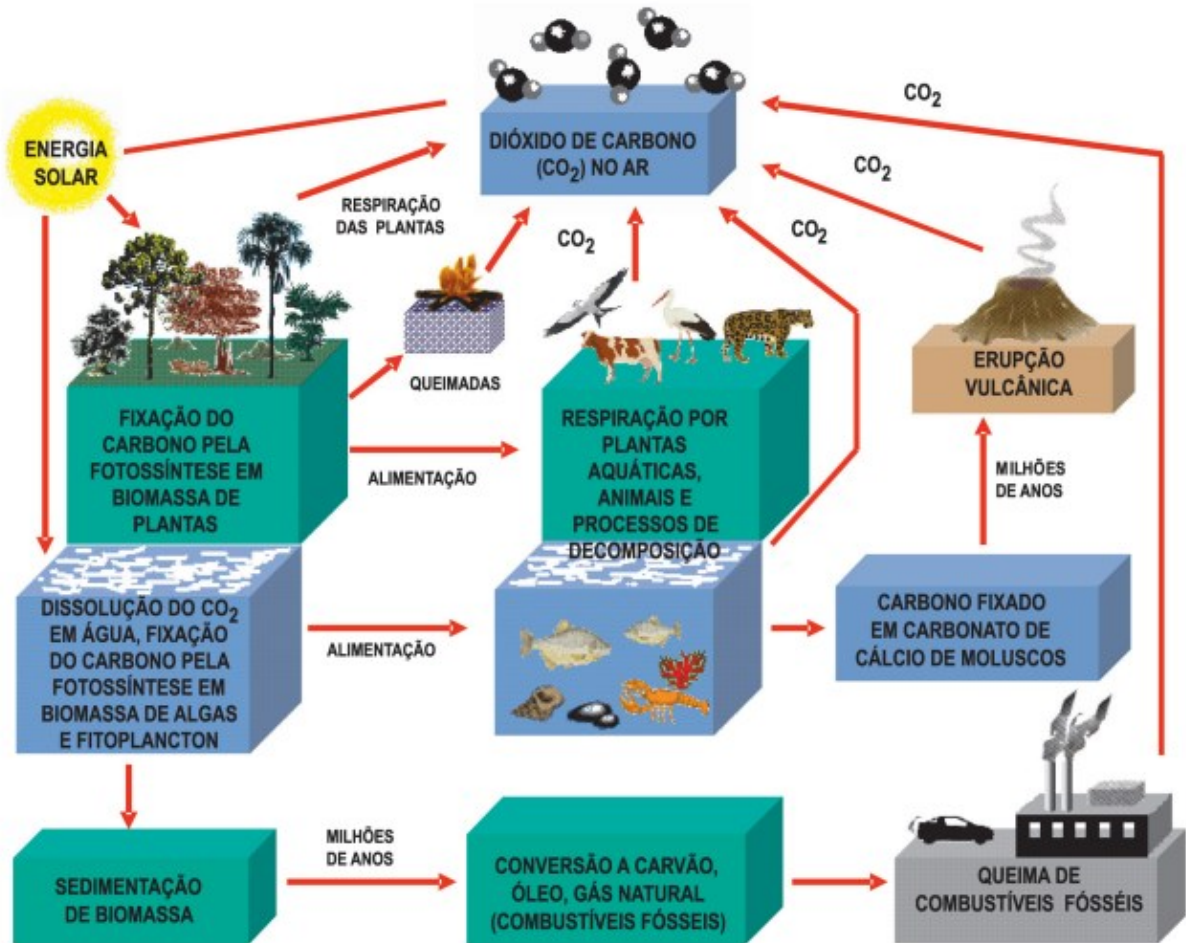
#### **3.1 Ciclo biogeoquímico do carbono**

O carbono é um elemento químico de vital importância, uma vez que participa da composição química de todos os componentes orgânicos além de uma grande parcela dos inorgânicos, sendo responsável também pelo equilíbrio climático global (YU, 2004). Distribui-se no planeta circulando entre quatro reservatórios principais que estão interconectados, sendo eles o reservatório geológico, o oceânico, o biótico e o atmosférico, na seguinte proporção: 99,94% compõem as camadas geológicas em forma inorgânica (rochas e sedimentos oceânicos) e orgânica (petróleo, carvão mineral e gás natural); e os outros 0,06% podem ser encontrados no conjunto oceanos, atmosfera, biomassa de organismos vivos e matéria orgânica em decomposição no solo (BERNER; LAGASA, 1989).

Aos processos responsáveis por retirar o carbono de um reservatório, transferi-lo a outro através de reações físico-químicas desencadeadas ao longo do tempo, e retorná-lo ao reservatório de origem é dado o nome de ciclo biogeoquímico do carbono. O carbono faz parte de uma diversidade de compostos químicos que, por sua vez, apresentam diferentes formas de se decompor e migrarem de reservatório. Neste trabalho, será dada ênfase ao ciclo do carbono sob a forma de CO<sub>2</sub> por três motivos: visto ser esse composto o principal GEE atmosférico emitido por atividades humanas; ser especulado como o gás termorregulador terrestre; e por ser o único GEE a ser capturado e estocado pelas plantas em sua biomassa pelo processo da fotossíntese (PACHECO; HELENE, 1990).



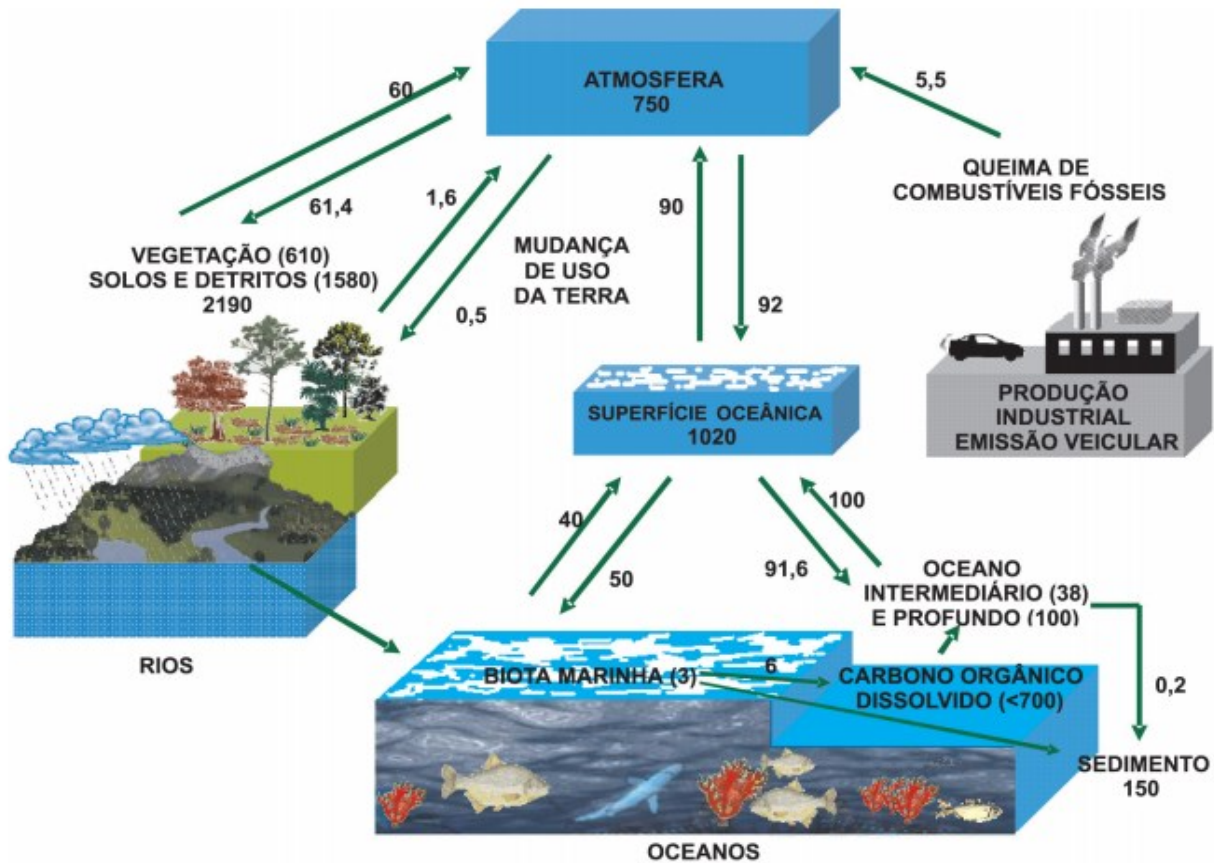
Figura 1 – Ciclo biogeoquímico do CO<sub>2</sub> entre os diferentes reservatórios.



Fonte: MARTINS *et al.* (2013).

Os principais reservatórios capazes de realizar troca significativa entre si em escala de tempo humana são a atmosfera, oceanos e a biosfera terrestre. As quantidades do carbono permutadas entre eles por unidade de tempo são denominadas fluxos de carbono, sendo a atmosfera intermediadora das trocas entre biosfera e os oceanos, cujas trocas diretas são negligenciáveis (PACHECO; HELENE, 1990). Por sua vez, os reservatórios possuem concentrações de CO<sub>2</sub> extremamente grandes e os fluxos entre eles são bidirecionais e quase em balanço, o que faz com as estimativas de troca sejam difíceis (MARTINS *et al.*, 2003).

Figura 2 – Fluxos e quantidades de CO<sub>2</sub> nos reservatórios em Gt/ano.



Fonte: MARTINS et al, 2003.

A problemática atual das mudanças climáticas é relacionada com o aumento de concentração de GEE na atmosfera, especialmente a do CO<sub>2</sub>, devido ao emprego de combustíveis fósseis. A formação destes tipos de combustíveis ocorre na escala de tempo geológica, levando milhões de anos para serem permutados entre os diferentes reservatórios, tornando-os fontes de energia não renováveis. Somente através da intensa exploração humana destes combustíveis, a partir da Revolução Industrial, é que o carbono existente nesses reservatórios passou a participar do fluxo de carbono contemporâneo, concentrando-se na atmosfera em níveis não vistos antes em nossa sociedade, alterando o balanço de carbono no mundo e causando mudanças climáticas (PACHECO; HELENE, 1990).

A retirada do carbono atmosférico ocorre somente pela absorção de outros dois reservatórios: os oceanos e a biosfera. Nos oceanos ele é fixado na forma inorgânica pela dissolução do CO<sub>2</sub> em meio aquoso, devido ao contato direto da superfície oceânica com a atmosfera, e na forma orgânica pela fotossíntese executada pelas algas e pelo fito plâncton. Na

forma inorgânica ele é quimicamente transformado em um ácido, provocando a acidificação das águas. O fluxo de carbono entre a atmosfera e os oceanos depende da solubilidade do CO<sub>2</sub>; da temperatura da água; da diferença de pressão parcial do gás na água e na atmosfera; do ciclo sazonal dos organismos vivos do mar; e também do movimento ascendente e descendente das marés. A quantidade de CO<sub>2</sub> existente nos oceanos é de cerca de 1020 Gt, a absorvida da atmosfera é estimada entre 92 e 104 Gt/ano; e a quantidade emitida para a atmosfera é estimada entre 90 e 100 Gt/ano. Essa diferença de absorção e emissão pode ser explicada pela transferência de CO<sub>2</sub> para o fundo dos oceanos por meio da sedimentação de carbonato de cálcio insolúvel, CaCO<sub>3</sub>, presente no exoesqueleto de organismos possuidores de conchas, como os moluscos, por exemplo. Sua decomposição demanda milhões de anos e resulta, em parte, na formação de depósitos ricos em hidrocarbonetos (petróleo e carvão) (MARTINS et al, 2003; PACHECO, HELENE, 1990)

No que lhe concerne, a biosfera retira o carbono atmosférico através da fotossíntese e da quimiossíntese feita pelos seres autótrofos, como os vegetais e as bactérias, sendo utilizado nestes organismos na síntese de compostos orgânicos, podendo ser transformado em carboidratos, proteínas, lipídeos e outros compostos fontes de energia. Por meio da fotossíntese ele é incorporado na biomassa vegetal e passa a participar da cadeia trófica alimentar. Essa biomassa é parcialmente reconvertida de forma imediata em CO<sub>2</sub> atmosférico pela respiração vegetal e também pela respiração dos animais que a consomem como alimento, incluindo a biota presente no solo a qual é consumidora da matéria orgânica do solo (MOS). Estima-se que o reservatório biótico contenha cerca de 610 Gt de CO<sub>2</sub>; absorvendo da atmosfera 61,4 Gt/ano e emitindo aproximadamente 60 Gt/ano, tendo as variáveis climáticas, em especial a temperatura, como condicionantes deste fluxo ao determinar a velocidade do metabolismo dos organismos (MARTINS et al, 2003; MARTINELLI et al, 2015; FERREIRA et al, 2018).

Lentamente, após a morte dos organismos vivos, a biomassa é decomposta em matéria orgânica do solo (MOS) e o CO<sub>2</sub> nela contido é liberado para a atmosfera, completando o ciclo. A quantidade de CO<sub>2</sub> na MOS presente até 1m de profundidade do solo é estimada em 1580 Gt, o equivalente a três vezes a quantia contida na biosfera e duas vezes ao valor contido na atmosfera. Esse valor inclui o CO<sub>2</sub> oriundo da respiração da biota do solo e do sistema radicular das plantas. Estima-se que a concentração de CO<sub>2</sub> no solo é de 10 a 100 vezes maior que a da atmosfera, o

que causa uma diferença de potencial a qual permite o fluxo deste gás do meio mais concentrado (solo) para o menos concentrado (atmosfera). De modo geral, a quantidade de carbono absorvida e emitida pela biosfera é dependente de fatores climáticos, em principal a temperatura, mas tende a ser balanceada, entretanto, atividades antrópicas têm alterado este balanço naturalmente estabelecido ao longo do desenvolvimento da sociedade moderna (CARVALHO et al, 2010; MARTINS et al, 2003).

A queima da biomassa vegetal oriunda do desmatamento e a mudança de uso do solo, práticas comuns nos países tropicais para uso agrícola ou pecuarista da terra, é outro grande responsável pelas emissões de CO<sub>2</sub>, estimada na ordem de 1,6 Gt/ano, tendo em vista que as florestas funcionam como “sumidouros” de carbono, tanto na biomassa aérea quanto na matéria orgânica em decomposição no solo, contendo de 20 a 100 vezes mais carbono por unidade de área que culturas anuais ou pastos. Em contrapartida, o estabelecimento de estratégias de mitigação e desenvolvimento sustentável, como solos submetidos a manejos conservacionistas, que podem acumular o CO<sub>2</sub> perdido - recuperando-o ao solo em um período de 25 a 50 anos de cultivo – são desafios para as gerações atuais e futuras (MARTINS et al, 2003; FERREIRA et al, 2018; CARVALHO et al, 2010)

### **3.2 Acordos internacionais de redução das emissões dos Gases do Efeito Estufa (GEE)**

O Brasil esteve engajado nas Conferências das Partes (COP) desde o princípio, mas foi a partir da COP 3, com o acordo do Protocolo de Kyoto (1997) – o qual vigorou em fevereiro de 2005 –, que começou a participar ativamente ao aproveitar os mecanismos instituídos de flexibilização e de negociação de emissões dos GEE, através dos mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL). Até então, por se tratar de um país em desenvolvimento, não havia assinado compromissos de redução próprios. Isso só veio a ocorrer em 2008, na COP 14, onde o país demonstrou interesse em assumir compromissos de redução de emissões, apresentando metas na reunião do ano seguinte durante a COP 15, sendo nessa reunião decidido por todos os países o objetivo de limitar o aquecimento global a 1,5 °C em relação aos níveis pré-industriais.

Duas metas de redução de emissão dos GEE foram estipuladas: a primeira por meio da Lei 12.187/2009, que institui a Política Nacional sobre a Mudança do Clima (PNMC), cujo objetivo é reduzir as emissões entre 36,1% e 38,8% em comparação com a projeção de um

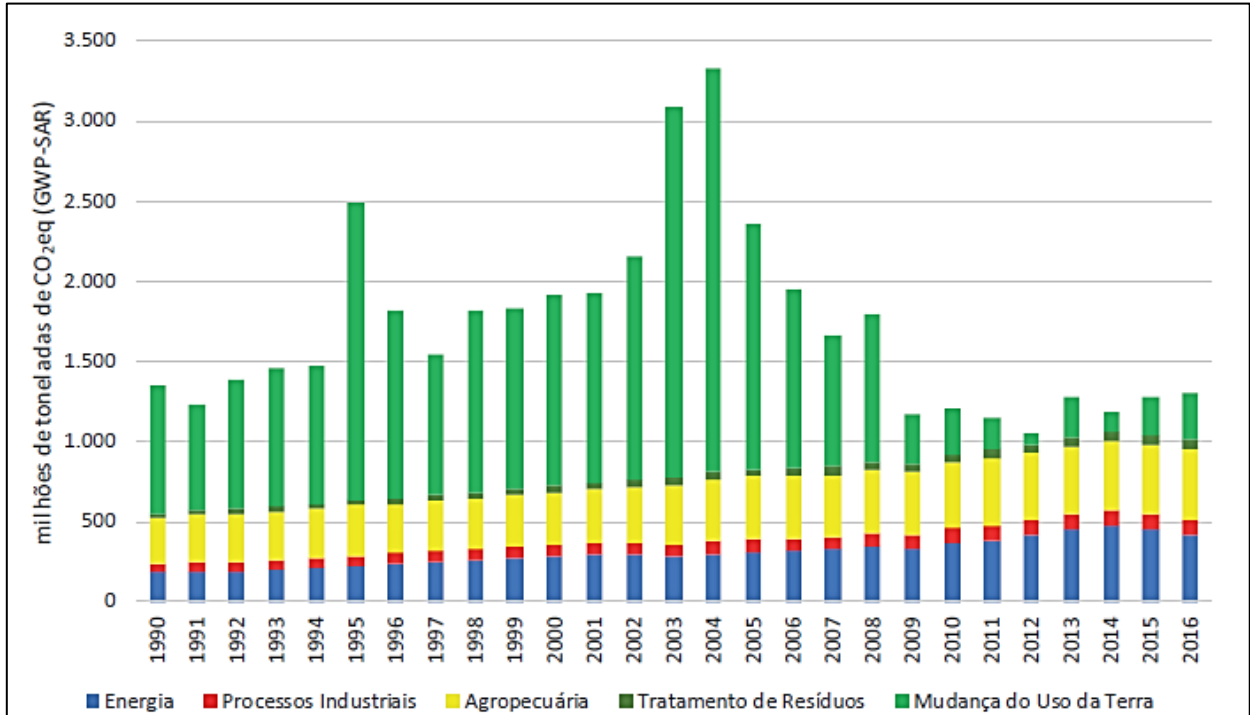
cenário tendencial (o que seria emitido se nenhuma medida fosse tomada). A projeção deu-se pelo Decreto 9.578/2018, estimando-a em 3.236 milhões de tCO<sub>2eq</sub>. Dessa forma, a redução correspondente foi determinada entre 1.168 milhões de tCO<sub>2eq</sub> no cenário mais humilde e 1.259 milhões de tCO<sub>2eq</sub> no cenário mais ambicioso, respectivamente. Reforçando o disposto na PNMC, em 2010, o Brasil também encaminhou a UNFCCC uma proposta contando com as seguintes ações de mitigação: redução de 80% do desmatamento da Amazônia, redução de 40% do desmatamento do Cerrado, recuperação de pastos, integração lavoura-pecuária, plantio direto, eficiência energética, expansão da oferta de energia por hidrelétricas, ampliação das fontes alternativas de energia e a substituição do carvão de desmatamento por carvão de floresta plantada para utilização na siderurgia. Todas as metas tinham como prazo o ano de 2020. A segunda meta é prevista para 2025, inscrita na NDC (*Nationally Determined Contribution*) em 2015 e promulgada junto ao Acordo de Paris de 2017, tornando-a, portanto, “obrigatória”. Pela NDC, o país se compromete a reduzir suas emissões líquidas em 37% até 2025 em relação aos níveis de 2005, o que totalizaria uma emissão máxima de 1,3 bilhões de toneladas líquidas de CO<sub>2eq</sub> naquele ano.

A fim de acompanhar o cumprimento do compromisso, os Decretos 9.578/2018 e 9.172/2017 estabeleceram a publicação anual das estimativas de emissões dos GEE pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) divulgando-a através do Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE) (Gráfico 4), instituindo-o como instrumento oficial do governo para mensuração, relato e verificação (MRV) das emissões dos GEE (BRASIL, 2020). O atual governo, a respeito dos anos de 2009 a 2016, aponta que as estimativas das emissões anuais do país não passaram de 1,4 bilhões de tCO<sub>2eq</sub><sup>1</sup> e que o setor de mudança de uso da terra colaborou com “apenas” 22% das emissões totais, constatando ainda que, apesar da tendência de aumento de emissões desde 2012, as metas foram cumpridas (MCTIC, 2019). Cabe ressaltar que estimativas mais recentes, após 2016 até o ano atual deste trabalho, ainda estão ausentes os relatórios oficiais do governo.

---

<sup>1</sup> Dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2eq</sub>) é uma medida utilizada para equalizar as emissões de vários GEE com base na importância relativa de cada gás, em relação ao CO<sub>2</sub>, na produção de uma quantidade de energia (por área unitária) vários anos após um impulso de emissão. Para o cálculo do CO<sub>2eq</sub> são utilizadas algumas conversões, sendo que a mais comum é o GWP (Global Warming Potential) proposto pelo IPCC.

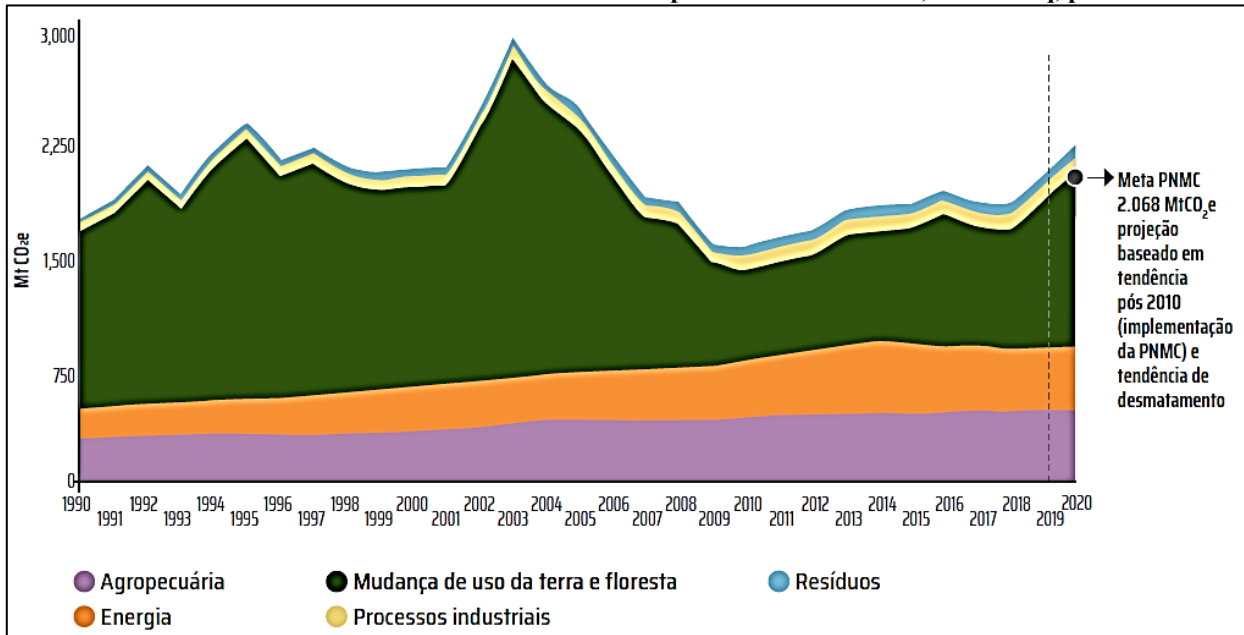
**Gráfico 1 – Estimativas federais das emissões brutas do país entre 1990 e 2016, em CO<sub>2</sub>eq, por setor.**



**Fonte: SIRENE, MCTIC (2019).**

Os resultados supracitados encontram divergência com as estimativas realizadas pelo Observatório do Clima em seu relatório SEEG (*System Gas Emissions Estimation*) de 2020, que apresentam dados afirmando o não cumprimento da meta de redução de emissões nem tampouco a meta de redução do desmatamento fixadas na PNMC. Metas essas baseadas num cenário tendencial projetado por duas premissas exageradas: (i) a de que o Produto Interno Bruto (PIB) crescerá 5% ao ano até 2020 e (ii) a de que toda a demanda adicional de energia, na ausência de política pública, seria atendida por combustíveis fósseis. Apesar de ambos utilizarem as metodologias propostas pelo IPCC, as estimativas do SEEG expressam as emissões brutas, enquanto as do SIRENE apresentam as emissões líquidas ao levar em conta as remoções realizadas pela cobertura florestal de unidades de conservação e terras indígenas através do sequestro de carbono. Entretanto, considerar a cobertura florestal natural como uma ação antrópica mitigadora das emissões cria uma impressão enviesada do que realmente está sendo emitido (ALBUQUERQUE et al, 2020).

**Gráfico 2 – Estimativas civis das emissões brutas do país entre 1990 e 2016, em CO<sub>2</sub>eq, por setor.**



Comparando-se os dois gráficos, fica evidente a dessemelhança entre os dados apresentados por ambas as instituições, principalmente em relação as contribuições das emissões por setor. Analisando especificamente o setor mudança de uso da terra, vê-se, nos dois casos, a grande contribuição para emissão dos GEE durante o histórico nacional, sobretudo devido ao desmatamento, e uma notável diminuição nos primeiros anos pós implementação da PNMC. O último relatório federal de 2016 identificou aumento de 24,8% das emissões líquidas por mudança de uso da terra em comparação a 2015, como resultado do aumento do desmatamento nos biomas Amazônia e Mata Atlântica (BRASIL, 2019). Levando em consideração as queimadas recentes no Pantanal e na Amazônia, espera-se que as emissões referentes a este setor tragam índices ainda mais elevados nos relatórios vindouros.

Outro setor de notada importância nas emissões é o agropecuário. As áreas de pastagens, que ocupam aproximadamente 21% do território brasileiro, estão fortemente associadas as mais expressivas mudanças de uso do solo, apesar de se estabilizarem nos últimos anos em aproximadamente 171 milhões de hectares. Contudo, mesmo com a recuperação de 26,8 milhões de hectares de pastagens degradadas, ainda restam 97,7 milhões de hectares de pastagens em diferentes estágios de degradação para serem recuperados (FERREIRA JR. et al, 2020). É imprescindível que ações voltadas ao contexto de melhorar o aproveitamento e uso da terra e o de restaurar áreas degradadas, à exemplo dos SAF's, sejam conduzidas visto a sua importância para

a mitigação das emissões nacionais e o cumprimento dos acordos internacionais fixados.

O Brasil hospedou muitos projetos atribuídos a MDL durante o período de 2008 a 2013, à ponto de tornar-se o 3º colocado mundial em 2014, de acordo com o relatório anual da UNFCCC (2015), demonstrando que os setores público e privado estavam engajados em aproveitar a oportunidade da comercialização dos créditos de carbono e, ao mesmo tempo, promover o desenvolvimento sustentável, ficando atrás apenas da China e da Índia, apesar dessas duas terem índices de aproveitamento bem maiores que o do Brasil. Todavia o número de projetos decaiu a partir de 2013 diante do alto custo para submissão de projetos, queda do valor do crédito e desobrigação dos países desenvolvidos em adquirir créditos de carbono dos países em desenvolvimento (FREITAS; SILVA, 2020).

Medidas do conselho da UNFCCC buscam simplificar os procedimentos e metodologias para que o MDL possa voltar a ser utilizado como ferramenta para redução de emissão dos GEE enquanto o novo acordo internacional sobre mercado de carbono é elaborado, a partir dos acordos recentes decorrentes da COP 26, em 2021.

### **3.3 Agroecossistemas e o conceito de Sucessão Ecológica**

Os agroecossistemas são áreas antropizadas de um ecossistema natural que foram reaproveitadas para a produção de culturas agrícolas. Estão constantemente sofrendo perturbações generalizadas e intensas na forma de cultivos, preparo do solo, semeadura, plantio, irrigação, aplicação de fertilizantes, manejo de pragas, poda, colheita e queimada, limitando-os aos estágios pioneiros de sucessão ecológica, que apesar de gerar alta produção à curto prazo, tende a degradar a área com o tempo tendo em vista a grande quantidade de insumos externos necessários para manter o sistema funcionando. Já os ecossistemas naturais, apesar de estarem em constante estado de mudança dinâmica interna, diferenciam-se dos agroecossistemas por apresentarem estabilidade em sua estrutura e funcionamento geral (GLIESSMAN, 2005).

Tal habilidade de resistir e/ou de se recuperar a uma modificação induzida por perturbação, seja ela de origem natural ou antrópica, ocorre por meio do processo de sucessão ecológica, que se inicia pelo estágio pioneiro e tende ao estado mais avançado e complexo do ecossistema, denominado clímax (ODUM; BARRET, 2011). Entretanto o clímax não significa estabilidade, uma vez que a ocorrência constante de perturbação por causas naturais, como a abertura de clareiras, propicia ao ecossistema um estado flexível de constante dinamismo e



adaptação (DAJOZ, 2005). Gliessman (2005) atribui a este estado o conceito de equilíbrio dinâmico, que uma vez observado e compreendido, permite o embasamento necessário para o manejo sustentável dos ecossistemas, propiciando-os a gerar recursos indefinidamente ao adequar as técnicas e tecnologias agrícolas à realidade de cada ecossistema em específico, buscando proximidade com sua estrutura e função ecológica naturais e permitindo assim que seus serviços ecossistêmicos sejam preservados.

### 3.3.1 Grupos de Sucessão Ecológica

A caracterização das espécies em grupos ecológicos segundo suas exigências fisiológicas e funções no desenvolvimento de um ecossistema é tema de pesquisa para muitos autores (MACIEL *et al.*, 2003), sendo a de Budowski (1965) uma das mais comumente aceitas na literatura. Este autor se embasou em vinte e uma características das espécies que compõe o ecossistema de florestas tropicais, dividindo-as em quatro grupos: pioneiras, secundárias iniciais, secundárias tardias e climácicas. Ferretti *et al.* (1995) distinguiu estes grupos em seu estudo e o resultado pode ser conferido na Tabela 1.

**Tabela 1 - Características do ciclo de vida das árvores relacionadas por grupo ecológico.**

(continua)

| Características               | GRUPO ECOLÓGICO                                     |  |                              |                                       |
|-------------------------------|---|--|------------------------------|---------------------------------------|
|                               | Pioneira (P)  | Secundária inicial (I)                                 | Secundária tardia (T)        | Clímax (C)                            |
| <b>Crescimento</b>            | Muito rápido  | Rápido   | Médio                        | Lento ou muito lento                  |
| <b>Madeira</b>                | Muito leve  | Leve   | Medianamente dura            | Dura e pesada                         |
| <b>Tolerância à sombra</b>    | Muito intolerante                                   | Intolerante  | Tolerante no estágio juvenil | Tolerante                             |
| <b>Regeneração</b>            | Banco de sementes                                   | Banco de plântulas                                     | Banco de plântulas           | Banco de plântulas                    |
| <b>Dispersão das sementes</b> | Ampla (zoocoria / alta diversidade de dispersores); | Restrita (barocoria);                                  | Principalmente vento         | Ampla (zoocoria com grandes animais); |
| <b>Dispersão das sementes</b> | Anemocoria (a grandes distâncias);                  | Ampla (zoocoria com poucas espécies);<br>Anemocoria (a | Principalmente vento         | Restrita (barocoria);                 |

| Características                                  | GRUPO ECOLÓGICO                   |                             |                                     |                                |
|--|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
|  | Pioneira (P)                      | Secundária inicial (I)      | Secundária tardia (T)               | Clímax (C)                     |
|  | grandes distâncias);              |                             |                                     |                                |
| <b>Tamanho das sementes e frutos dispersados</b> | Pequeno                           | Médio                       | Pequeno a médio, mas sempre leve    | Grande e pesado                |
| <b>Dormência das sementes</b>                    | Induzida (foto ou termorregulada) | Sem                         | Sem                                 | Inata (imaturidade do embrião) |
| <b>Idade da 1ª reprodução</b>                    | Prematura (1-5 anos)              | Intermediária (5 a 10 anos) | Relativamente tardia (10 a 20 anos) | Tardia (> 20 anos)             |
| <b>Dependência a polinizadores específicos</b>   | Baixa                             | Alta                        | Alta                                | Alta                           |
| <b>Tempo de vida</b>                             | < 10 anos                         | 10-25 anos                  | 25-100 anos                         | > 100 anos                     |

**Fonte: FERRETI (2002).**

As espécies pioneiras, de forma geral, colonizam rapidamente as áreas perturbadas através das sementes, dispersadas principalmente por animais, que permanecem viáveis no solo por um longo período formando o denominado banco de sementes. Elas costumam ter crescimento rápido à pleno sol e ciclo de vida curto (FERRETI, 2002).

As espécies secundárias normalmente produzem sementes que estarão prontas para germinar assim que chegarem ao solo, formando o que se chama de banco de plântulas, podendo se estabelecer sob condições de sombreamento, mas para seu desenvolvimento adequado é necessário que haja certa incidência de luz (FERRETI, 2002). As secundárias iniciais têm um padrão de crescimento rápido, mas não formam banco de sementes. Já as secundárias tardias apresentam maior tolerância ao sombreamento, crescimento mais lento e um ciclo de vida mais longo que as secundárias iniciais.

Finalmente, as espécies climácicas também formam banco de plântulas, como as secundárias, e são ainda mais adaptadas à sombra que estas, uma vez que são capazes de completar todo o seu ciclo de vida sob tal circunstância. Por essa razão, não precisam crescer tanto em altura quanto as demais. Grande parte das espécies que compõem este grupo produzem frutos carnosos que são atrativos para grandes animais e as sementes das espécies que apresentam dormência normalmente tem esta condição quebrada no trato digestivo dos seus agentes

dispersores (FERRETI, 2002).

### 3.4 Sistemas Agroflorestais (SAF's)

Os sistemas agroflorestais são agroecossistemas que, por definição, integram árvores em paisagens rurais produtivas. Tais sistemas combinam elementos da agricultura e/ou da pecuária com elementos florestais, simultaneamente ou em sequência (GLIESSMAN, 2005), em uma mesma área onde as interações entre seus elementos promovem múltiplos produtos e/ou benefícios ambientais e sociais (NAIR, 1993). Esta forma de uso da terra vem sendo usada desde a era pré-colombiana pelos povos da América tropical, assim como também por povos asiáticos e africanos, mas só a partir do final do século 19 é que sua aceitação, estudo e difusão iniciaram-se, graças a fatores como a revisão das políticas florestais pela FAO, o crescimento do desmatamento nos trópicos, a crise da energia em 1970 e o surgimento do interesse científico pela integração de espécies em sistemas de cultivo sustentáveis (NAIR, 1993). Hoje os sistemas agroflorestais vêm sendo cada vez mais aceitos e praticados, particularmente por pequenos agricultores, enquanto seu potencial para recuperação e conservação do solo é amplamente difundido (NAIR, 1993). Outros benefícios provenientes do consórcio de árvores em agroecossistemas englobam: a produção de bens como madeira, látex, óleos essenciais etc.; controle da erosão, enriquecimento e melhoria das propriedades físicas do solo; conservação da flora e fauna; regularização da vazão dos cursos de água; turismo e recreação (HESS, 1980).

Devido ao amplo conceito dado a sistemas agroflorestais, é possível encontrar variados tipos de combinações nas diferentes regiões ecológicas e geográficas do mundo, mas nos trópicos a distinção é maior ainda (NAIR, 1993). No Bioma Mata Atlântica, por exemplo, muitas espécies florestais nativas são frutíferas, entretanto consórcios de espécies agrícolas perenes não pertencem à categoria de SAF's. Um SAF deve incluir ao menos um componente arbóreo (MAY *et al.*, 2008). Na classificação de uso mais difundida, os SAF's podem ser:

- Sistemas silviagrícolas: onde há combinação de árvores, arbustos ou palmeiras com espécies agrícolas.
- Sistemas silvipastoris: onde há combinação de árvores, arbustos ou palmeiras com plantas forrageiras herbáceas e animais.

- Sistemas agrossilvipastoris: onde há criação e manejo de animais em consórcios silviagrícolas.

O objetivo da maioria dos sistemas agroflorestais é otimizar os efeitos benéficos das interações que ocorrem entre os componentes arbóreos e as culturas e/ou animais (GLIESSMAN, 2005) levando em consideração as condições edafoclimáticas da região onde o SAF foi implantado. Todavia, especialmente em regiões dentro do Bioma Mata Atlântica, dificilmente poderão ser encontrados dois SAF's estritamente iguais, uma vez que os arranjos de espécies consorciadas e o manejo destas refletem conhecimentos diferenciados dos produtores, diretamente ligados à suas necessidades de segurança alimentar e às demandas do mercado (MAY *et al.*, 2008), podendo ser implantados ou manejados num sistema regenerativo de sucessão natural, como as “cabruças” de cacau sombreado no norte e nordeste brasileiro, entre outros exemplos.

Segundo (MAY *et al.*, 2008), no Brasil e em outros países tropicais é possível encontrar duas categorias de SAF's: os planejados para terem dois ou três estratos e os mais complexos que possuem vários estratos horizontais e verticais. Na primeira categoria estão os consórcios agroflorestais estáticos, cujo manejo não modifica a composição nem tampouco a estrutura do SAF pois inexistente poda ou manejo do estrato dominante, limitando a intervenção ao estrato dominado onde há a produção da espécie foco do sistema, como por exemplo o consórcio da erva-mate sombreada por eucalipto ou os sistemas silvipastoris. A segunda categoria trata dos SAF's sucessionais ou dinâmicos, que apresentam sistemas com estrutura multi-estratificada, cujo manejo e implantação assemelha-se com a dinâmica de sucessão ecológica de restauração natural de uma floresta nativa. O desafio para a pesquisa é desenvolver maneiras de integrar perturbação e sucessão, para explorar, da melhor forma possível, as vantagens de ambos os extremos. Os modelos de SAF's implantados e difundidos no Brasil pelo agricultor e pesquisador suíço Ernst Götsch, que tem por fundamento a aceleração do acúmulo de matéria orgânica no solo através de podas intensivas nos diferentes estratos, é um exemplo desta categoria (MAY *et al.*, 2008).

Quanto ao retorno financeiro oriundo desse sistema de cultivo é de se esperar que a variabilidade seja grande devido as inúmeras possibilidades de consórcio entre espécies, de manejo aplicados, do foco do sistema e do conhecimento do produtor, dentre outros fatores. De

uma forma geral, os SAF's apresentam menor custo de implantação e condução, o que no balanço final leva a uma maior receita líquida. No estado da Bahia o estudo comparativo entre monoculturas de cacau/seringueira e SAF's consorciando estas duas espécies revelou a superioridade deste último sistema em 32,83% (ARAÚJO et al, 2015). Em Rondônia, Almeida et al (2020) avaliaram um SAF mais diversificado em espécies, porém com o mesmo foco sobre o cultivo de cacau, contando com variedades híbridas e clonais e com práticas de manejo como irrigação por micro aspersão, adubação química e poda de condução, chegando a uma produtividade de 2.057,1 kg/há, Taxa Interna de Retorno (TIR) de 26% e Valor Presente Líquido (VPL) de R\$15.732,91, demonstrando a viabilidade econômica deste tipo de consórcio quando bem manejado.

Já no sul do país, o consórcio do café ou erva-mate com o componente florestal vêm ganhando notoriedade, sendo vantajoso o efeito de certo índice de sombreamento nessas duas espécies, promovendo um realce do sabor e agregando valor no produto final, além de prover madeira para serraria e outros produtos como alternativa financeira no fim do ciclo de cultivo, além de prover mais serviços ambientais ao sistema (SANTOS et al, 2000; NETO et al, 2013; RICCI et al, 2006; TATAGIBA et al, 2010).

### **3.5 Serviços Ecosistêmicos e Serviços Ambientais**

Segundo os autores Parron *et al.* (2015), a definição mais aceita pela literatura é que serviços ecosistêmicos são os benefícios que as pessoas obtêm através do funcionamento dos ecossistemas, sendo também a aceita pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) no PFPSA, com a diferença que no art. 2º., parágrafo único, II, da Lei nº 14.119/2021, citam-se os “benefícios **relevantes** para a sociedade”. São essenciais para a manutenção da vida no planeta Terra, assim como também para as atividades econômicas pelo seu valor de uso, chegando atualmente a ser muitas vezes um fator limitante para o desenvolvimento econômico devido à velocidade e capacidade de produção em larga escala que o capital moderno proporciona. De modo geral, uma função ecosistêmica gera um determinado serviço ecosistêmico quando os processos subjacentes desencadeiam uma série de benefícios direta ou indiretamente apropriáveis pelo ser humano (ANDRADE; ROMEIRO, 2009).

Entre esses benefícios, sejam eles sob a forma de bens ou serviços, podem-se destacar a

provisão de alimentos, fibras e energia; a manutenção dos recursos genéticos para o desenvolvimento de produtos industriais, farmacológicos e agrícolas; a provisão de madeira e minerais; o controle de pestes e doenças, a purificação do ar e da água; a regulação do fluxo e qualidade dos recursos hídricos; o controle da sedimentação; a manutenção da fertilidade do solo e do ciclo de nutrientes; a decomposição dos rejeitos orgânicos; os benefícios estéticos e culturais; as possibilidades de lazer e também a estabilização do clima (MAY *et al.*, 2008; PARRON *et al.*, 2015; DAJOZ, 2005).

Por sua vez, serviços ambientais são as atividades antrópicas realizadas na dinâmica dos ecossistemas que resultam em benefícios de manutenção, recuperação ou em melhoria dos serviços ecossistêmicos, como por exemplo os sistemas agroflorestais, sendo um termo comumente utilizado no âmbito de políticas públicas de incentivo à MDL e ao mercado de carbono. (PARRON *et al.*, 2015; BRASIL, 2020).

### 3.5.1 Sequestro e Estoque de Carbono

A capacidade das florestas em absorver dióxido de carbono atmosférico através da fotossíntese é conhecida como sequestro de carbono e está entre os serviços que regulam as condições ambientais. O sequestro de carbono é maior quanto mais próxima dos estágios pioneiros a floresta estiver, já que quando em estágio final de sucessão, denominado clímax, o balanço entre o carbono sequestrado e o emitido, respectivamente através dos processos de fotossíntese e respiratórios da planta – incluindo a liberação de CO<sub>2</sub> pela matéria orgânica do solo em decomposição – tende ao equilíbrio. Por sua vez, a quantia de CO<sub>2</sub> sequestrada pela vegetação que não é trocada na respiração ou decomposição da MOS é acumulada pela biomassa e representa o estoque de carbono. Tal acúmulo é comumente associado à redução dos efeitos negativos das mudanças climáticas por reduzir a concentração do CO<sub>2</sub> atmosférico (PARRON *et al.*, 2015).

O Primeiro Relatório de Avaliação Nacional, realizado por Martinelli *et al.* (2015), reuniu informações bibliográficas acerca das quantidades de carbono sequestrado e estocado pelos diferentes biomas brasileiros. O estoque de CO<sub>2</sub> acima do solo é muito superior nos biomas Amazônia e Mata Atlântica, justamente pela alta concentração de vegetação arbórea. Com relação ao carbono estocado no solo as duas conclusões foram: até uma profundidade de 1,0m no

solo os maiores estoques de carbono encontram-se na Mata Atlântica, seguindo-se a Amazônia e o Cerrado; já se comparando biomas em que os estoques do solo foram estimados até 20-30cm, o Pampa, seguido do Pantanal e da Caatinga, apresentaram, respectivamente, os maiores estoques, o que pode ser explicado pela supremacia de gramíneas forrageiras as quais possuem alta capacidade de aumentar o estoque e distribuir o carbono na subsuperfície do solo (PASTIAN *et al.*, 2000). O resultado da pesquisa pode ser conferido na Tabela 2 a seguir:

**Tabela 2 - Estoque de carbono no solo e na biomassa e fluxo de carbono entre diferentes compartimentos do ecossistema para os biomas brasileiros**

| Bioma                 | Estoques de Carbono (t C ha <sup>-1</sup> ) |                        |                         | Fluxos de Carbono (t C ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> ) |                    |               |
|-----------------------|---|------------------------|-------------------------|---|--------------------|---------------|
|                       | Solos                                       | Biomassa acima do solo | Biomassa abaixo do solo | Produção de Serapilheira                                    | Respiração do solo | Troca líquida |
| <b>Amazônia</b>       | 85 – 100 <sup>c</sup>                       | 95 – 250               | 100 <sup>e</sup>        | 2 – 7   | 12 – 17            | -0,11 a -0,5  |
| <b>Mata Atlântica</b> | 190 – 280 <sup>c</sup>                      | 90 – 130               | 20 – 29 <sup>a</sup>    | 2,6 – 4   | 3,6                | ND            |
| <b>Pantanal</b>       | 11,2 – 15,8 <sup>b</sup>                    | 7,4 – 100              | 36,1 <sup>d</sup>       | 2,5 – 5,2   | 6,5                | -1,0 a -1,3   |
| <b>Cerrado</b>        | 72 – 120 <sup>c</sup>                       | 10 – 35                | 15 <sup>f</sup>         | 1 – 4   | 6 – 8              | -0,1 a -0,3   |
| <b>Caatinga</b>       | 25 <sup>b</sup>                             | 15 – 25                | 3 – 6 <sup>e</sup>      | 1 – 3   | 2 – 10             | ND            |
| <b>Pampa</b>          | 68 <sup>c</sup>                             | ND                     | ND                      | ND  | ND                 | ND            |

Níveis de profundidade: a = 10cm; b = 20cm; c = 30cm; d = 40cm; e = 1,0m; f = 2,0m; ND = não determinado.  
Fonte: MARTINELLI *et al.* (2015).

Em agroecossistemas o tipo de manejo é determinante no que se refere ao potencial de estoque do carbono. Geralmente os sistemas que incluem árvores têm maior capacidade de estocar o carbono devido a estas apresentarem uma biomassa mais densa e um tempo de vida mais longo. Nesse contexto, Froufe *et al.* (2011) avaliaram o estoque de carbono no solo, serapilheira e na biomassa aérea de SAFs multiestratificados, comparando-o ao de capoeiras em diferentes estágios de regeneração, sistemas agrícolas convencionais e pastagens. Como resultado, obteve que, após as capoeiras de regeneração natural (115,78 t C ha<sup>-1</sup>), os SAFs (75,37 t C ha<sup>-1</sup>) foram o sistema de cultivo que mais estocou carbono, seguido pelas áreas agrícolas convencionais (47,07 t C ha<sup>-1</sup>) e pelas pastagens (36,01 t C ha<sup>-1</sup>). A depender da idade do SAF e do adensamento da população arbórea esses valores tendem a ser mais elevados.

Frente os regulamentos relacionados à mitigação das mudanças climáticas, diversas empresas deverão se adequar ao novo cenário de redução das emissões dos GEE. No mercado europeu, regido pela EU ETS – Sistema de Comércio de Emissões da União Européia – caso as empresas extrapolem o limite de emissões permitido, deverão pagar o excedente em créditos de carbono, ou *green bonds*, oriundos de projetos sustentáveis de sequestro e estoque de emissões. Os valores do crédito como *commoditie* costumam oscilar, mas vêm apresentando tendência de crescimento nos últimos anos. Segundo o site de investimentos Invest.com<sup>2</sup>, em agosto de 2019, por exemplo, o preço do crédito de carbono (1 crédito = 1 t C eq) era de 26,95 euros; já em 16 novembro de 2021 o valor é de 67,77 euros, fomentando diversos fundos de investimento, como é o caso do primeiro fundo de investimento brasileiro no mercado de carbono, o Vitreo<sup>3</sup>. Só em 2019, o mercado brasileiro de *green bonds* movimentou US\$ 1,2 bilhão, de acordo com a Climate Bonds Initiative (CBI)<sup>4</sup>. Com a consecução da COP 26 o mercado de carbono global foi firmado entre as partes e os países poderão negociar créditos de carbono uns com os outros, num passo fundamental para fazer a transição para a economia de baixo carbono e conter as mudanças climáticas.

### 3.6 Equações alométricas de biomassa florestal

A biomassa florestal expressa a quantidade em massa do material vegetal que a compõe, podendo ser expressa por massa verde ou massa seca, sendo que a massa verde se refere ao peso do material fresco amostrado, contendo uma proporção de água variável, e a massa seca refere-se ao peso da biomassa após secagem do material em estufa (MARTINELLI *et al.*, 1994; CALDEIRA, 2003). A partir da relação entre as dimensões dendrométricas mensuradas e da biomassa seca obtida em laboratório são construídas equações alométricas para a espécie ou população estudada. Nessas equações, as dimensões da árvore (DAP, altura, densidade da madeira, volume) são as variáveis medidas e o peso seco total (biomassa) e o carbono estocado são as variáveis dependentes) (RÜGNITZ; CHACÓN; PORRO, 2009).

Contudo, a viabilidade do método direto para estimação da biomassa em sítios agrícolas produtivos estabelecidos que, à exemplo dos SAF's, contam com uma grande riqueza de

<sup>2</sup> Disponível em: <<https://br.investing.com/commodities/carbon-emissions-historical-data>>

<sup>3</sup> Disponível em: <<https://lp.vitreo.com.br>>

<sup>4</sup> Disponível em: <<https://www.climatebonds.net>>



espécies, fica comprometida, pois apesar de geralmente ser mais fidedigno, exige o abatimento de uma fração dos indivíduos, além de ser extremamente laborioso e dispendioso de tempo e recursos, especialmente para árvores grandes. Desta forma, o método indireto (não-destrutivo) é uma alternativa de baixo custo e rápida, consistindo na utilização de equações alométricas já consagradas na literatura para estimar a biomassa e o carbono estocado pelo conjunto de dados inventariado ou censeado. Entretanto, sempre que possível, recomenda-se a derrubada de algumas árvores, como forma de obtenção de dados para calibrar as equações e reduzir as incertezas (BROWN, 1997; KUMAR; NAIR, 2011).

Diversas equações alométricas podem ser encontradas na literatura sendo utilizadas em trabalhos de estimativa de biomassa para espécies, vegetações nativas primárias e secundárias e sistemas agroflorestais em diferentes biomas (MOGNON *et al.*, 2013; VIEIRA *et al.*, 2008; WATZLAWICK *et al.*, 2012; BOLFE *et al.*, 2009; BRACHTVOGEL *et al.*, 2018; AZEVEDO *et al.*, 2018; FROUFE *et al.*, 2011; PADOVAN, *et al.*, 2017). As regionais mais comumente utilizadas são as propostas por Higuchi *et al.* (1998), no caso da Floresta Amazônica; e as propostas autores como Vismara (2013), Burguer e Delitti (2008), Sotomayor (2013), Miranda *et al.* (2011), Nogueira Junior *et al.* (2014), Gusson (2014) e Ratuchne (2010) para a Mata Atlântica. À nível internacional, as equações pan-tropicais ajustadas por Brown (1997) e Chave *et al.* (2005; 2014) são recorrentemente aplicadas em estudos de biomassa em florestas tropicais.

Para um conjunto de dados podem ser empregados diversos modelos de regressão, lineares ou não-lineares, e a seleção de uma equação pode ser feita utilizando critérios estatísticos, como o coeficiente de determinação e o erro padrão da estimativa. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) expressa a quantidade de variação total explicada pela regressão, sendo tanto melhor quanto seu valor for mais elevado. O erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ) representa a dispersão entre os valores observados e estimados, sendo desejável a equação que apresentar menor valor (RATUCHNE, 2010).

Na escolha da equação alométrica se faz necessário observar a semelhança entre o conjunto de dados que a originou com os dados inventariados ou censeados que serão aplicados nela em estudos que se utilizam do método indireto para estimar a biomassa e o carbono estocado num determinado sítio florestal. Fatores como a fitofisionomia, diversidade de espécies, intervalo de DAP e altura, clima, solo e topografia são importantes e devem ser levados em conta no

processo, mas, a depender da natureza das estimativas, podem-se aceitar equações capazes de fornecer estimativas mais ou menos precisas, tendo em vista a variabilidade natural existente na estrutura da vegetação e na forma dos troncos das espécies lenhosas (RÜGNITZ; CHACÓN; PORRO, 2009; RATUCHNE, 2010).

A estimativa do estoque de carbono em uma vegetação arbórea pode ser obtida pelo produto da biomassa seca florestal pela concentração de carbono. Muitos autores assumem que 50% do peso da biomassa é referente ao carbono estocado nesta mesma biomassa e, portanto, empregam o fator de conversão de 0,5 na estimativa de carbono para a biomassa acima do solo (KUMAR; NAIR, 2011; RÜGNITZ; CHACÓN; PORRO, 2009).

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Caracterização da área de estudo

A área estudada é a Unidade Experimental de Ensino e Pesquisa (UNEPE) de sistemas agroflorestais e está situada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus Dois Vizinhos*, com localização correspondente às coordenadas 25°41'59.38"S e 53° 6'3.09"W, e uma altitude regional de 475 a 510 metros. Segundo a classificação de Köppen, o local é de clima tipo Cfa subtropical úmido, sem estação de seca definida. A temperatura média anual dos meses mais quentes é superior a 22°C, e a dos meses mais frios é de inferior a 18°C com possibilidade de geadas. A pluviosidade é de 1.900 a 2.200 mm anualmente, sendo a umidade relativa do ar anual média 65% (ALVARES *et al.*, 2013). O solo do SAF é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico Típico (CABREIRA apud FOQUESATTO, 2017) apresenta declividade leve de leste à sul em torno de 6°.

**Figura 3 – Localização da área de estudo.**



Fonte: Prefeitura Municipal de Dois Vizinhos (2019).

De acordo com Foquesatto (2017), o SAF foi implantado em outubro de 2010 e tem área de 1.600 m<sup>2</sup>, onde anteriormente havia cultivo de Rami (*Boehmerie nivea* Gaud.) para

alimentação de coelhos. O plantio ocorreu em 8 linhas com 4,0 m de distância entre si e a sequência das espécies: uma madeireira protagonista, quatro frutíferas, outras quatro espécies madeireiras, culturas agrícolas anuais, adubos verdes e olerícolas; formam o módulo que foi repetido por seis vezes até ocupar toda a área. Ainda segundo o autor, considerou-se a estratificação vertical de uma floresta natural como ponto de partida para elaboração do módulo a compor o sistema: o primeiro estrato ocupado por espécies que alcançariam cerca de 4 metros de altura; o segundo com espécies de até 7 metros; e o terceiro estrato ocupado por espécies de crescimento acima de 7 metros.

No primeiro ano de cultivo houve morte de mudas, que tiveram de ser replantadas. Em 2013, devido à fortes geadas, houve nova morte de mudas e então o plantio de mais 260 mudas de espécies nativas e exóticas em espaçamento de 1,8 m seguindo o seguinte módulo: uma espécie de grande porte final, seguida de uma espécie de pequeno porte final, uma espécie de médio porte final e uma espécie de pequeno porte final. No final de 2013 também foi realizado o plantio de mais 23 bananeiras, devido ao elevado crescimento e aporte de biomassa (FOQUESATTO, 2017).

Entretanto, com base na realização do censo de 2018, notou-se que o distanciamento entre as espécies não seguiu um padrão ao longo do desenvolvimento do SAF, por vezes apresentando indivíduos muito próximos, com distâncias menores que 30 cm, ou mais afastados, com distâncias maiores que 1 m, tornando-se impossível a determinação de espaçamento e sequenciamento padronizado entre os indivíduos numa mesma linha ou um sequenciamento de módulo arbóreo preciso.

Com relação ao solo, Foquesatto (2017), em seu estudo, argumenta que a calagem e adubações orgânicas frequentes utilizadas no sistema anterior ao SAF ainda apresentam efeito residual no solo da área, influenciando os valores de pH encontrados de 5,4 a 5,8. O solo apresenta bom acúmulo de matéria orgânica no solo (MOS), com médias de: 48,57 g dm<sup>-3</sup> a 0-5 cm; 39,37 g dm<sup>-3</sup> a 5-10 cm; e 35,47 g dm<sup>-3</sup> a 10-20 cm. E boa proporção de micro e macroporos do solo: 25,32% e 32,6% a 0-5 cm; 31,52% e 32,32% a 5-10 cm; e 25,72% e 31,25% a 10-20cm, respectivamente, mesmo apesar da compactação gerada pela passagem de tratores para roçada de duas a três vezes ao ano antes da implantação do SAF.

**Figura 4 – Localização do SAF dentro do Câmpus da UTFPR-DV.**



Fonte: Prefeitura Municipal de Dois Vizinhos (2019).

Ao nível de paisagem o SAF se encontra em relevo mais alto e próximo a uma Área de Preservação Permanente (APP) em estágio médio de regeneração. A vegetação original da região é classificada como Floresta Ombrófila Mista com elementos florísticos da Floresta Estacional Semidecidual. Em posição mais elevada no relevo em relação ao SAF há uma estufa hidropônica com cultivares de morango. Importante salientar que o SAF foi manejado por desrama pelo menos uma vez ao ano desde o início de sua implantação, com exceção do ano de 2016.

#### **4.2 Censo e coleta de dados**

A partir do censo realizado nos meses de agosto, setembro e outubro de 2018 foram mensurados os dados de circunferência à altura do peito ( $CAP_f$ ), padronizado a 1,30 cm do solo, dos fustes de todos os indivíduos arbóreos (árvores, palmeiras, bananeiras) com altura igual ou maior a 1,3 m, bem como a distância entre os indivíduos ( $dist$ ) pertencentes a uma mesma linha do experimento. A altura total ( $H_t$ ) também foi mensurada, seguindo os procedimentos propostos por Finger (1992). Os materiais utilizados foram: fita métrica ( $CAP_f$ ,  $dist$ ); hipsômetro Vertex para árvores com altura maior de 3 metros e meio; e vara hipsométrica para árvores com altura menor que 3 metros e meio ( $H_t$ ). Os dados foram organizados em planilha eletrônica através da

utilização do software Microsoft Excel 365 para posterior análise da composição florística e cálculo dos parâmetros fitossociológicos, do volume e da biomassa seca por indivíduo.

### 4.3 Classificação e análise dos dados

A partir dos valores de circunferência à altura do peito dos fustes ( $CAP_f$ ) de cada indivíduo, foram obtidos os valores de área basal por indivíduo ( $g$ ) pelo seguinte procedimento: o  $CAP_f$  foi convertido em diâmetro à altura do peito de cada fuste ( $DAP_f$ ) (equação 1); o  $DAP_f$  foi utilizado no cálculo da área basal à altura do peito por fuste ( $g_f$ ) (equação 2); os valores de  $g_f$  do mesmo indivíduo foram somados, gerando a área basal à altura do peito por indivíduo ( $g$ ) (equação 3).

$$DAP_f(cm) = CAP_f * \pi \quad (1)$$

$$g_f(cm^2) = \left(\frac{DAP_f}{2}\right)^2 * \pi \quad (2)$$

$$g (cm^2 \text{ árvore}^{-1}) = \sum g_f \quad (3)$$

Em posse do valor de área basal foi possível determinar o valor do diâmetro à altura do peito equivalente ( $DAP_{eq}$ ) de cada indivíduo, variável essa empregada nas equações alométricas para obtenção da biomassa (equação 4):

$$DAP_{eq}(cm) = 2 * \sqrt{\frac{g}{\pi}} \quad (4)$$

Com a finalidade de obter um valor base de biomassa para cada indivíduo ao qual fosse possível comparar as estimativas das equações alométricas, foi primeiramente determinado, em função da altura total ( $Ht$ ), da área basal ( $g$ ) convertida para  $m^2$  e do fator de forma do fuste, o

volume por indivíduo, como mostrado na equação 5 a seguir. O fator de forma é definido como um fator que reduz o volume do cilindro formado pela área basal e altura para o verdadeiro volume do sólido de revolução, sendo a terceira variável – após o diâmetro e altura – em ordem de importância na determinação volumétrica. Seu valor varia de 0 a 1, tendo o crescimento em altura como o elemento mais influente nesta variação. Os valores mais próximos de 1 são representativos dos fustes cuja forma é mais semelhante ao cilindro perfeito. Fatores iguais a 1 não são obtidos pois as árvores sempre apresentam um afilamento ao longo do fuste (FINGER, 1992). Neste estudo optou-se por utilizar o valor médio do fator de forma (0,5).

$$v (m^3 \text{indivíduo}^{-1}) = g * Ht * 0,5 \quad (5)$$

O segundo passo consistiu em multiplicar o volume de cada indivíduo pela sua densidade básica (Db) (equação 6) para gerar o valor de biomassa seca do fuste (BF) por indivíduo. Cabe destacar que como a BF baseia-se no volume por indivíduo, a biomassa resultante refere-se somente ao fuste, desconsiderando a presente em galhos e folhas, portanto espera-se que os valores provenientes dessa equação sejam menores que os oriundos das outras equações alométricas, oferecendo um valor conservador comparativo. Os valores de Db foram encontrados por espécie na literatura, sendo a maior parte oriunda da determinação de densidade da madeira de 153 espécies da Mata Atlântica em Santa Catarina realizada no trabalho de OLIVEIRA *et al.* (2019). As densidades básicas das espécies não contempladas por este trabalho foram encontradas em trabalhos específicos: *Musa paradisiaca* L. (GUIMARÃES, 2012); *Myroxylon peruiferum* L.f. (HORST; BEHAINNE, 2012); *Cecropia pachystachya* Trécul. (SILVA *et al.*, 2018); *Hibiscus sp.* L. (BEZERRA, 2017); *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (SILVA *et al.*, 2018); *Carya illinoensis* (Wang.) K (GATTO *et al.*, 2012); *Euterpe edulis* Mart. (NUNES; ANDRADE, 2000) e *Enterolobium timbouva* Mart. (CAMPOS FILHO, 2015).

$$BF (kg \text{árvore}^{-1}) = v * Db \quad (6)$$

Na etapa de composição florística, foram identificados botanicamente os indivíduos à nível de espécie, através de entrevista com professor responsável pelo projeto. Todas as espécies foram classificadas de acordo com os grupos ecológicos propostos por Budowski (1965), a partir da lista de espécies classificadas por Barbosa *et al.* (2017). Nos casos em que a espécie participou de mais de um grupo ecológico, optou-se classificá-la pelo primeiro grupo apontado.

Os parâmetros fitossociológicos referentes à estrutura horizontal (frequência, densidade, dominância e valor de cobertura) foram estimados de acordo com o método proposto por Mueller-Dombois e Ellenberg (1974) (Quadro 1). Os cálculos das frequências absolutas (FA) e relativas (FR) levaram em consideração como unidades amostrais os 3 estratos verticais da agrofloresta, representando a frequência de cada espécie e grupo ecológico nos diferentes estratos. Os parâmetros referentes à estrutura vertical (posição sociológica e valor de importância ampliada) foram estimados de acordo com Hosokawa *et al.* (2008) (Quadro 2).

**Quadro 1 – Fórmulas dos parâmetros fitossociológicos horizontais.**

|   |   |
|---|---|
| <p><b>Frequências Absoluta e Relativa</b></p> $FA_i = \left( \frac{u_i}{u_t} \right) \times 100;$ $FR_i = \left( \frac{FA_i}{\sum_{i=1}^P FA_i} \right) \times 100$ | <p>FA<sub>i</sub> = frequência absoluta da i-ésima espécie na comunidade vegetal;<br/> FR<sub>i</sub> = frequência relativa da i-ésima espécie na comunidade vegetal;<br/> u<sub>i</sub> = número de unidades amostrais em que a i-ésima espécie ocorre;<br/> u<sub>t</sub> = número total de unidades amostrais;<br/> P = número de espécies amostradas.</p> |
| <p><b>Densidades Absoluta e Relativa</b></p> $DA_i = \frac{n_i}{A};$ $DR_i = \frac{DA_i}{DT} \times 100;$   | <p>DA<sub>i</sub> = densidade absoluta da i-ésima espécie, em número de indivíduos por hectare;<br/> n<sub>i</sub> = número de indivíduos da i-ésima espécie na amostragem;<br/> n<sub>t</sub> = número total de indivíduos amostrados;<br/> A = área total amostrada, em hectare;<br/> DR<sub>i</sub> = densidade relativa (%) da i-ésima espécie.</p>       |
| <p><b>Dominâncias Absoluta e Relativa</b></p> $DoA_i = \frac{AB_i}{A};$ $DoR_i = \frac{DoA_i}{DoT} \times 100;$   | <p>DoA<sub>i</sub> = dominância absoluta da i-ésima espécie, em m<sup>2</sup>/ha;<br/> AB<sub>i</sub> = área basal da i-ésima espécie, em m<sup>2</sup>, na área amostrada;<br/> A = área amostrada, em hectare;<br/> DoR<sub>i</sub> = dominância relativa (%) da i-ésima espécie.</p>   |
| <p><b>Valor de Cobertura</b></p> $VC_i = DR_i + DoR_i; VC_i(\%) = \frac{VC_i}{2}$   |   |

Fonte: MUELLER-DOMBOIS; ELLENBERG (1974).



**Quadro 2 – Fórmulas dos parâmetros fitossociológicos verticais.**

|   |   |
|---|---|
| <p><b>Posição Sociológica</b></p> $VF_{ij} = VF_j n_{ij};$ $VF_j = \frac{N_j}{N} \times 100;$ $PSA_i = \sum_{j=1}^m VF_j n_{ij};$ $PSR_i = \frac{PSA_i}{\sum_{i=1}^S PSA_i} \times 100$ | <p><math>VF_{ij}</math> = valor fitossociológico da i-ésima espécie no j-ésimo estrato;<br/> <math>VF_j</math> = valor fitossociológico simplificado do j-ésimo estrato;<br/> <math>n_{ij}</math> = número de indivíduos de i-ésima espécie no j-ésimo estrato;<br/> <math>N_j</math> = número de indivíduos no j-ésimo estrato;<br/> <math>N</math> = número total de indivíduos de todas as espécies em todos os estratos;<br/> <math>PSA_i</math> = posição sociológica absoluta da i-ésima espécie;<br/> <math>PSR_i</math> = POS (%) = posição sociológica relativa (%) da i-ésima espécie;<br/> <math>S</math> = número de espécies;<br/> <math>m</math> = número de estratos amostrados.</p> |
| <p><b>Valor de Importância Ampliado</b></p> $VIA_i = DR_i + FR_i + DoR_i + PSR_i;$ $VIA(\%) = \frac{VIA_i}{4}$  | <p>VIA = Valor de Importância Ampliado.</p>   |

**Fonte: HOSOKAWA *et al.* (2008).**

Para classificar e os diferentes estratos verticais foi utilizado o método proposto por Leibundgut (1958 apud LAMPRECHT, 1990), que leva em consideração a altura dominante ( $H_{dom}$ ) da floresta e a altura total do indivíduo ( $Ht$ ) para distinguir os estratos, de acordo com as seguintes equações (7, 8 e 9):

$$\textit{inferior} \left( Ht < \frac{Ht_{dom}}{3} \right) \quad (7)$$

$$\textit{médio} \left( \frac{H_{dom}}{3} \leq Ht < \frac{2Ht_{dom}}{3} \right) \quad (8)$$

$$\textit{superior} \left( Ht < \frac{2Ht_{dom}}{3} \right) \quad (9)$$

No estudo da estrutura vertical do SAF, foi possível determinar o número de indivíduos por espécie em cada estrato. Os estratos foram divididos em: estrato inferior (EI) para indivíduos

com  $Ht < 3,32$  m; estrato médio (EM) para indivíduos apresentando  $3,32 \leq Ht < 6,64$  m; e estrato superior (ES) para indivíduos com  $Ht \geq 6,64$  m. Os valores das frequências absolutas e relativas foram determinados considerando os 3 estratos verticais como unidades amostrais, por isso optou-se por apresentar esses parâmetros junto à estrutura vertical e não à estrutura horizontal, como é costumeiro.

#### 4.4 Estimativa da biomassa arbórea seca acima do solo e do carbono estocado

Foi utilizado o método indireto para estimar a biomassa arbórea seca acima do solo (BAS) e, a partir desta, o carbono estocado na parte aérea dos indivíduos arbóreos do SAF. O procedimento para escolha de equações na literatura seguiu o proposto pela metodologia do IPCC (2019) e pelos autores Rüginitz; Chancón; Porro (2009), que sugerem se levar em conta a similaridade da situação local com a do estudo que gerou a equação, levando aspectos de intervalo de DAP e altura, idade, espécies, clima e fitofisionomia.

Com base no conjunto de dados exposto pelo censo, foram buscadas na literatura equações alométricas específicas, sendo encontradas para *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, *Euterpe edulis* Mart., *Mimosa scabrella* Benth., *Musa paradisiaca* L. e *Schinus molle* L. (Tabela 3). Para as demais espécies, devido à ausência de equações específicas, foram selecionadas equações genéricas regionais (Tabela 4), oriundas de estudos dentro do mesmo bioma que o deste trabalho, e equações pan-tropicais (Tabela 5), amplamente utilizadas na literatura em trabalhos semelhantes e construídas visando abranger formações florestais localizadas dentro da faixa tropical. Os cálculos foram efetuados no *software* Microsoft Excel 2013.

Tabela 3 – Equações alométricas específicas de estimativa de biomassa seca acima do solo (BAS).

| Autores                            | Bioma                   | Espécie  | DAP (cm)           | Ht (cm)   | R <sup>2</sup> | Syx%  | Equação Alométrica                                   |
|------------------------------------|-------------------------|--|--------------------|-----------|----------------|-------|--|
| Urbano <i>et al.</i> (2008)        | Mata Atlântica          | <i>Mimosa scabrella</i> Bentham.               | 4,3-29,5           | 9,2-21,8  | 0,95           | 34,44 | BAS= $(-4,08046+0,20748DAP^2)$                       |
| Wendling (1998)                    | Mata Atlântica          | <i>Euterpe edulis</i> Mart.                    | 0,0-19,2           | 0,45-15,6 | 0,97           | 15,71 | BAS= $1,857408DAP+0,080249(DAP^2Ht)$                 |
| Sanquetta <i>et al.</i> (2015)     | Mata Atlântica          | <i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi.         | Média<br>8,02±1,75 | 7,5±0,65  | 0,76           | 27,59 | BAS= $Exp(-2,364490+1,862581Ln(DAP)+0,626321Ln(Ht))$ |
| Schumacher (2011)                  | Mata Atlântica          | <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze | 22,3-49,3          | 16,4-23   | 0,97           | 1,3   | BAS= $Exp(-2,12394+2,46033Ln(DAP))$                  |
| Van Noordwijk <i>et al.</i> (2002) | Floresta Tropical Úmida | <i>Musa paradisiaca</i> L.                     | ne                 | ne        | ne             | ne    | BAS= $0,030(DAP^{2,13})$                             |

ne = valor não encontrado. Fonte: O autor (2021).

Tabela 4 – Equações alométricas regionais de estimativa de biomassa seca acima do solo.

| Autores                         | Bioma                 | Fitofisionomia                   | DAP (cm)  | Ht (cm)  | R <sup>2</sup>    | S <sub>yx</sub><br>% | Equação Alométrica  |
|---------------------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------|----------|-------------------|----------------------|---|
| Burger;<br>Delitti<br>(2008)    | Mata<br>Atlântica     | Ombrófila<br>Densa<br>Secundária | 1,6-47,8  | ≥1,5     | 0,94              | 56                   | BAS=Exp[-3,676+0,951Ln(DAP <sup>2</sup> )Ht]                                  |
| Gusson<br>(2014)                | Mata<br>Atlântica     | Ombrófila<br>Densa<br>Secundária | 5-70,2    | 5,3-17,8 | 0,91*             | 38,34                | BAS=Exp(-2,6348+1,5611Ln(DAP)+0,9719Ln(Ht))                                   |
| Higuchi <i>et al.</i><br>(1998) | Floresta<br>Amazônica | Tropical Úmida                   | 5-20      | 5,6-20   | 0,94              | 31                   | BAS=0,0336(DAP <sup>2,171</sup> )(Ht <sup>1,038</sup> )                       |
| Junior <i>et al.</i><br>(2014)  | Mata<br>Atlântica     | Estacional<br>Semidecidual       | 2-33      | 2,7-15,8 | 8,67 <sup>a</sup> | 379 <sup>b</sup>     | BAS=Exp(-1,305+1,055Log(DAP <sup>2</sup> )+0,34Log(Ht)+1,077Log(Db))          |
| Miranda <i>et al.</i><br>(2011) | Mata<br>Atlântica     | Estacional<br>Semidecidual       | 4,5-57,5  | 3,9-22,6 | 0,95              | 31,72                | BAS=Exp(-2,07402-0,0000094Dm <sup>2</sup> Id+0,000942267DqId+1,27013Ln(DqHt)) |
| Ratuchne<br>(2010)              | Mata<br>Atlântica     | Ombrófila Mista                  | 5,41-85,9 | 6,4-26,2 | 0,95*             | 47,85                | BAS=0,317DAP <sup>2</sup> +0,009(DAP <sup>2</sup> Ht)                         |
| Sotomayor<br>(2013)             | Mata<br>Atlântica     | Estacional<br>Semidecidual       | 5-34,9    | ne       | ne                | 26,39                | BAS=Exp(-2,3082+1,987Ln(DAP)+0,7963Ln(Ht)+0,9297Ln(Db))                       |
| Vismara<br>(2013)               | Mata<br>Atlântica     | Ombrófila<br>Densa<br>Secundária | 3,8-38,2  | 5,4-44,9 | 0,86              | 49,2                 | BAS=Exp(-2,71008+1,64740Ln(DAP)+0,94106Ln(Ht))                                |

\*Referem-se ao valor do R<sup>2</sup><sub>aj</sub>.; <sup>a</sup>Refere-se ao valor do coeficiente de variação (CV).; <sup>b</sup>Refere-se ao valor do Critério de Informação de Akaike (AIC).; ne = valor não encontrado. Fonte: O autor (2021).

**Tabela 5 – Equações alométricas pan-tropicais de estimativa de biomassa seca acima do solo.**

| <b>Autores</b>             | <b>Tipo Florestal</b> | <b>DAP (cm)</b> | <b>Ht (cm)</b> | <b>R<sup>2</sup></b> | <b>Syx%</b> | <b>Equação Alométrica</b>                                      |
|----------------------------|-----------------------|-----------------|----------------|----------------------|-------------|--|
| Brown (1997)               | Tropical Úmida        | 5-148           | ne             | 0,97*                | ne          | $BAS = \text{Exp}(-2,134 + 2,53 \text{Ln}(\text{DAP}))$        |
| Chave <i>et al.</i> (2005) | Tropical Úmida        | 5-156           | ne             | 0,99                 | 31          | $BAS = \text{Exp}(-2,997 + \text{Ln}(\text{DbDAP} \text{Ht}))$ |
| Chave <i>et al.</i> (2014) | Tropical Úmida        | >5              | ne             | ne                   | ne          | $BAS = 0,0673(\text{DbDAP}^2 \text{Ht})^{0,976}$               |

**\*Refere-se ao valor do R<sup>2</sup><sub>aj.</sub>; ne = valor não encontrado. Fonte: O autor (2021).**

Após obter a biomassa aérea de cada indivíduo do SAF, os valores foram agrupados por espécie e por grupo de sucessão ecológica. O carbono estocado foi calculado a partir da biomassa e segundo Rüginitz; Chacón; Porro (2009) é calculado da seguinte forma (equação 10):

$$C = BAS * 0,5 \quad (10)$$

Onde:

C = carbono estocado na biomassa arbórea seca acima do solo (kg árvore<sup>-1</sup>);

BAS = biomassa arbórea seca acima do solo (kg árvore<sup>-1</sup>).

Ainda segundo estes autores, uma tonelada de carbono equivale a 3,67 toneladas (t) de CO<sub>2</sub> (obtido em função dos pesos moleculares do carbono e do CO<sub>2</sub>, de 12 / 44). Assim, para saber a quantidade de CO<sub>2</sub> armazenado a partir da quantidade de carbono estocado na biomassa vegetal deve-se multiplicar este pelo fator de conversão de valor 3,67 (equação 11) (RUGNITZ; CHACÓN; PORRO, 2009)

$$CO_{2eq} = C * 3,67 \quad (11)$$

Onde:

CO<sub>2eq</sub> = dióxido de carbono equivalente estocado na biomassa arbórea seca acima do solo (kg árvore<sup>-1</sup>);

C = carbono estocado (kg árvore<sup>-1</sup>)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O censo de 2018 levantou a presença de 1176 indivíduos arbóreos no SAF com altura total (Ht) maior ou igual a 1,30 m, divididos em 49 espécies pertencentes a 26 famílias botânicas diferentes (Tabela 6). Este número de indivíduos, extrapolado para 1 há, decorre em 7350 indivíduos ha<sup>-1</sup>. A família com maior riqueza de espécies foi a Fabaceae (11), seguida pela Myrtaceae (10). As famílias restantes apresentaram uma ou duas espécies cada. Do total de indivíduos, foram registrados 26 indivíduos arbóreos não identificados botanicamente (n/i). Das 49 espécies identificadas no estudo, 34 são endêmicas do bioma Mata Atlântica, 3 são endêmicas do bioma Cerrado, 1 é endêmica do bioma Caatinga e 11 são espécies exóticas (BARBOSA, *et al.* 2017). Dentre as espécies exóticas, *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. e *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton são consideradas invasoras, apresentando capacidade competitiva com médias de altura e diâmetro superiores que às espécies nativas, sendo fator de supressão da biodiversidade (MARTELLI; SÁ; SAMUDIO, 2020; STOCKI, 2021). Com relação à sucessão ecológica, o grupo das pioneiras (P) apresentou 20 espécies, sendo o grupo mais representado (40,81%); seguido pelos grupos das secundárias tardias (ST) com 13 espécies (26,54%); das secundárias iniciais (SI) com 9 (18,37%); e das climácicas (CL) com 7 (14,28%).

**Tabela 6 - Composição florística.**

(continua)

| n   | Espécie   | Nome Popular  | Família       | GE  | Origem           |
|-----|---|---------------|---------------|-----|------------------|
| 793 | <i>Musa paradisiaca</i> L.                            | Bananeira     | Musaceae      | P   | Exótica          |
| 63  | <i>Solanum mauritianum</i> Scop.                      | Fumeiro-bravo | Solanaceae    | P   | Mata Atlântica   |
| 56  | <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.)<br>Kuntze     | Araucária     | Araucariaceae | P   | Mata Atlântica   |
| 26  | n/i   | n/i           | n/i           | n/i | n/i              |
| 15  | <i>Carica papaya</i> L.                               | Mamoeiro      | Caricaceae    | P   | Exótica          |
| 14  | <i>Handroanthus sp.</i> L.                            | Ipê           | Bignoniaceae  | ST  | Mata Atlântica   |
| 13  | <i>Persea americana</i> Mill.                         | Abacateiro    | Lauraceae     | SI  | Exótica          |
| 12  | <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de<br>Wit         | Leucena       | Fabaceae      | P   | Exótica Invasora |
| 12  | <i>Patagonula americana</i> L.                        | Guajuvira     | Boraginaceae  | P   | Mata Atlântica   |
| 11  | <i>Inga marginata</i> Willd.                          | Ingá          | Fabaceae      | SI  | Mata Atlântica   |
| 10  | <i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.)<br>Taub.          | Canafistula   | Fabaceae      | SI  | Mata Atlântica   |
| 9   | <i>Campomanesia guazimifolia</i><br>(Cambess.) O.Berg | Sete-capote   | Myrtaceae     | ST  | Mata Atlântica   |

| <b>n</b> | <b>Espécie</b>                                    | <b>Nome Popular</b> | <b>Família</b> | <b>GE</b> | <b>Origem</b>    |
|----------|---|---------------------|----------------|-----------|------------------|
| 8        | <i>Cedrela fissilis</i> Vell.                     | Cedro               | Meliaceae      | ST        | Mata Atlântica   |
| 8        | <i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart.           | Canjerana           | Fabaceae       | ST        | Mata Atlântica   |
| 8        | <i>Campomanesia xanthocarpa</i> (Mart.) O.Berg    | Guabirobeira        | Myrtaceae      | ST        | Mata Atlântica   |
| 8        | <i>Annona mucosa</i> Jacq.                        | Biribazeiro         | Annonaceae     | SI        | Mata Atlântica   |
| 8        | <i>Ilex paraguariensis</i> A.St.-Hil.             | Erva-mate           | Aquifoliaceae  | CL        | Mata Atlântica   |
| 7        | <i>Morus rubra</i> L.                             | Amoreira            | Moraceae       | SI        | Exótica          |
| 7        | <i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi.             | Aroeira-vermelha    | Anacardiaceae  | P         | Mata Atlântica   |
| 6        | <i>Bauhinia forficata</i> Link                    | Pata-de-vaca        | Fabaceae       | P         | Mata Atlântica   |
| 6        | <i>Calliandra foliolosa</i> Benth.                | Calliandra          | Fabaceae       | P         | Cerrado          |
| 6        | <i>Eugenia involucrata</i> DC.                    | Cerejeira-do-mato   | Myrtaceae      | CL        | Mata Atlântica   |
| 5        | <i>Carya illinoensis</i> (Wang.) K.               | Nogueira-pecã       | Juglandaceae   | ST        | Exótica          |
| 5        | <i>Prunus persica</i> (L.) Batsch                 | Pessegueiro         | Rosaceae       | SI        | Exótica          |
| 5        | <i>Euterpe edulis</i> Mart.                       | Palmitheiro         | Arecaceae      | CL        | Mata Atlântica   |
| 5        | <i>Myroxylon peruiferum</i> L.f.                  | Cabreúva            | Fabaceae       | CL        | Cerrado          |
| 5        | <i>Psidium guajava</i> L.                         | Goiabeira           | Myrtaceae      | ST        | Mata Atlântica   |
| 5        | <i>Myrcianthes pungens</i> (O.Berg) D.Legrand     | Guabijuzeiro        | Myrtaceae      | ST        | Mata Atlântica   |
| 4        | <i>Eugenia uniflora</i> L.                        | Pitangueira         | Myrtaceae      | CL        | Mata Atlântica   |
| 3        | <i>Ficus guaratinica</i> Chodat                   | Figueira            | Moraceae       | SI        | Mata Atlântica   |
| 3        | <i>Magnolia sp.</i> L.                            | Magnolia            | Magnoliaceae   | SI        | Exótica          |
| 3        | <i>Pyrus communis</i> L.                          | Pereira             | Apocynaceae    | SI        | Exótica          |
| 3        | <i>Hibiscus sp.</i> L.                            | Hibisco             | Malvaceae      | P         | Exótica          |
| 3        | <i>Podocarpus lambertii</i> Klotzsch ex Endl.     | Pinheiro-bravo      | Podocarpaceae  | CL        | Mata Atlântica   |
| 3        | <i>Psidium cattleianum</i> Sabine                 | Araçá-do-mato       | Myrtaceae      | CL        | Cerrado          |
| 2        | <i>Ateleia glazioviana</i> (Baill)                | Timbó               | Fabaceae       | P         | Mata Atlântica   |
| 2        | <i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb. Ex Steud. | Louro-pardo         | Boraginaceae   | P         | Mata Atlântica   |
| 2        | <i>Enterolobiu timbouva</i> Mart.                 | Timbaúva            | Fabaceae       | P         | Mata Atlântica   |
| 1        | <i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna        | Paineira            | Malvaceae      | ST        | Mata Atlântica   |
| 1        | <i>Mimosa scabrella</i> Benth.                    | Bracatinga          | Fabaceae       | P         | Mata Atlântica   |
| 1        | <i>Cecropia pachystachya</i> Trécul.              | Embaúba             | Urticaceae     | P         | Mata Atlântica   |
| 1        | <i>Spondias tuberosa</i> Arruda                   | Umbuzeiro           | Anacardiaceae  | P         | Caatinga         |
| 1        | <i>Trema micrantha</i> (L.) Blume                 | Grandeúva           | Fabaceae       | P         | Mata Atlântica   |
| 1        | <i>Eugenia pyriformis</i> Cambess.                | Uvaieira            | Myrtaceae      | ST        | Mata Atlântica   |
| 1        | <i>Ligustrum lucidum</i> W.T.Aiton                | Ligustro            | Oleaceae       | P         | Exótica Invasora |
| 1        | <i>Plinia cauliflora</i> (Mart.) Kausel           | Jabuticabeira       | Myrtaceae      | ST        | Mata Atlântica   |
| 1        | <i>Sebastiania brasiliensis</i> Spreng.           | Branquilho          | Euphorbiaceae  | P         | Mata Atlântica   |
| 1        | <i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.              | Tucaneiro           | Verbenaceae    | P         | Mata Atlântica   |
| 1        | <i>Maytenus ilicifolia</i> Mart. ex Reissek       | Espinheiro-santo    | Celastraceae   | ST        | Mata Atlântica   |



| n | Espécie                                | Nome Popular      | Família   | GE | Origem         |
|---|--|-------------------|-----------|----|----------------|
| 1 | <i>Acca sellowiana</i> (O.Berg) Burret | Goiabeira-serrana | Myrtaceae | ST | Mata Atlântica |

GE = grupo ecológico. Fonte: O autor (2021).

Na região do Alto Vale do Ribeira - SP, Froufe e Seoane (2011), ao realizarem o levantamento fitossociológico de SAF's multi-estratificados em Reserva Legal inseridos em remanescente de Floresta Ombrófila Densa da Mata Atlântica, observaram a ocorrência de 4.240 indivíduos/há divididos em 46 espécies e 24 famílias, com a predominância da bananeira (*Musa paradisiaca*), representada por 2.080 indivíduos/há. Também em SAF's multi-estratificados, mas pertencentes ao bioma da Floresta Amazônica, Bolfé et al (2009) verificaram a presença de 9.027 indivíduos/há com DAP  $\geq$  2,5 cm, divididos em 29 espécies pertencentes a 20 famílias. Já em remanescente florestal em Quedas do Iguaçu – PR, com mais de 13.000 há, Viani et al (2011) contabilizaram 128 espécies pertencentes a 42 famílias botânicas.

É possível observar a grande diversidade de espécies e famílias encontradas no SAF objeto desta pesquisa, principalmente devido à sua pequena área (0,16 ha), quando comparada com a encontrada por outros autores em diferentes SAF's. A predominância das bananeiras, influenciada pela sua capacidade reprodutiva através da emissão de novos brotos, justifica-se por sua produção em frutas, constituindo-se na principal fonte de renda ao produtor que opte por este arranjo em específico. Outras frutíferas que obtiveram destaque em produção foram os abacateiros, as amoreiras e o pessegueiro, podendo virem a servir como fonte secundária de renda ao pequeno produtor.

Segundo a Lei de Proteção da Vegetação Nativa vigente (12.651/12), é possível o uso de espécies exóticas na recomposição de Área de Preservação Permanente (APP) em propriedades rurais com até 4 módulos fiscais, devendo ser intercalado com espécies nativas de ocorrência regional e não exceder a 50% da área a ser recomposta. No caso da Reserva Legal (RL), a permissão para o uso de exóticas não está vinculado ao tamanho da propriedade e o seu uso é permitido em sistemas agroflorestais, intercalado com espécies nativas de ocorrência regional, também não podendo ocupar mais que 50% da área a ser recomposta. Importante ressaltar que a lei também prevê a erradicação de espécies invasoras, como é o exemplo da *Leucaena leucocephala* e *Ligustrum lucidum*.

Analisando-se os valores de altura total (Ht) e diâmetro à altura do peito equivalente

(DAPeq) por espécie na Tabela 7 adiante, observou-se grande variação. Isso pode ser explicado pela dinâmica de ocupação do dossel florestal, visto a disposição dos indivíduos no experimento, tanto entre as linhas quanto em suas distâncias relativas aos indivíduos adjacentes numa mesma linha, proporcionando diferentes situações de sombreamento e competição. À título de exemplo, apesar dos indivíduos de araucária terem sido plantados na mesma época, alguns foram suprimidos pela rápida ocupação das bananeiras e outras espécies de desenvolvimento mais acelerado, levando ao baixo desenvolvimento em altura e diâmetro dos indivíduos de araucária submetidos a esta condição. Em contraste, os indivíduos de araucária que alcançaram o estrato superior podem ter se aproveitado da condição de baixa competição em que se encontravam, tendo em vista o comportamento pioneiro da espécie e sua aptidão para desenvolver-se à pleno sol.

As maiores alturas individuais foram registradas nas espécies *Carya illinoensis* (Wang.) K. (13 m; 1 fuste); *Persea americana* Mill. (12,9 m; 3 fustes); *Ceiba speciosa* (A.St.-Hil.) Ravenna (11,3 m; 2 fustes); *Ficus guaratininca* Chodat (11,1 m; 1 fuste); *Solanum mauritianum* Scop. (11,05 m; 1 fuste); e *Inga marginata* Willd. (11 m; 1 fuste). Contudo, os maiores valores individuais de DAP<sub>eq</sub> não foram encontrados para as espécies nesta mesma sequência, apresentando *Ceiba speciosa* (A.St.-Hil.) Ravenna em primeiro lugar com 37,64 cm (2 fustes); seguida por *Persea americana* Mill. (26,78 cm; 3 fustes); *Mimosa scabrella* Benth. (24,03 cm; 1 fuste); *Inga marginata* Willd. (21,93 cm; 3 fustes); *Carya illinoensis* (Wang.) K. (20,35 cm; 2 fustes); e *Ateleia glazioeana* (Baill) (19,29 cm; 1 fuste).

Ao considerar os maiores valores de Ht média a espécie *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. assume destaque em 5ª posição (7,99 m; 12 indivíduos), demonstrando uma regularidade em crescimento em altura e ascensão no dossel, característica do grupo das espécies pioneiras ao qual é pertencente; *Solanum mauritianum* Scop. (7,38 m; 63 indivíduos) também se sobressai neste quesito ao aparecer na sétima posição, porém seu valor de Ht média ficou mais baixo devido ao seu potencial de regeneração natural, trazendo ao conjunto de dados muitos indivíduos em fases iniciais de desenvolvimento.

**Tabela 7 – Variação das medidas dendrométricas de altura (Ht) e (DAPEq) por espécie e grupo de sucessão ecológica (GE).**

(continua)

| n   | Espécie   | GE  | Ht (m) |       |       | DAPEq (cm) |       |       |
|-----|---|-----|--------|-------|-------|------------|-------|-------|
|     |   |     | Min    | Max   | Med   | Min        | Max   | Med   |
| 5   | <i>Carya illinoensis</i> (Wang.) K.                   | ST  | 6,50   | 13,00 | 10,14 | 5,51       | 20,35 | 15,28 |
| 13  | <i>Persea americana</i> Mill.                         | SI  | 2,60   | 12,90 | 7,26  | 1,81       | 26,78 | 11,52 |
| 1   | <i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna            | ST  | 11,30  | 11,30 | 11,30 | 37,64      | 37,64 | 37,64 |
| 3   | <i>Ficus guaratinica</i> Chodat                       | SI  | 6,00   | 11,10 | 8,30  | 7,54       | 14,13 | 11,00 |
| 63  | <i>Solanum mauritianum</i> Scop.                      | P   | 1,75   | 11,05 | 7,38  | 1,11       | 17,38 | 7,41  |
| 11  | <i>Inga marginata</i> Willd.                          | SI  | 2,20   | 11,00 | 6,28  | 0,99       | 21,93 | 8,59  |
| 26  | n/i   | n/i | 1,32   | 10,90 | 4,25  | 0,54       | 13,94 | 3,59  |
| 12  | <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit            | P   | 5,20   | 10,70 | 7,99  | 2,55       | 16,59 | 8,78  |
| 12  | <i>Patagonula americana</i> L.                        | P   | 1,65   | 10,70 | 5,50  | 0,64       | 17,03 | 5,88  |
| 6   | <i>Bauhinia forficata</i> Link                        | P   | 1,90   | 10,00 | 5,83  | 0,83       | 16,30 | 6,81  |
| 10  | <i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.             | SI  | 1,83   | 9,60  | 6,85  | 0,70       | 12,41 | 5,91  |
| 793 | <i>Musa paradisiaca</i> L.                            | P   | 1,30   | 9,60  | 3,03  | 0,64       | 10,82 | 3,68  |
| 2   | <i>Ateleia glazioviana</i> (Baill)                    | P   | 2,50   | 9,50  | 6,00  | 1,62       | 19,29 | 10,46 |
| 5   | <i>Prunus persica</i> (L.) Batsch                     | SI  | 2,80   | 8,70  | 5,36  | 3,82       | 8,24  | 6,23  |
| 9   | <i>Campomanesia guazimifolia</i> (Cambess.)<br>O.Berg | ST  | 1,92   | 8,70  | 4,69  | 0,95       | 6,21  | 3,86  |
| 14  | <i>Handroanthus sp.</i> L.                            | ST  | 1,65   | 8,50  | 4,62  | 0,45       | 13,62 | 4,74  |
| 8   | <i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart.               | ST  | 1,75   | 8,30  | 5,25  | 0,86       | 10,44 | 4,79  |
| 1   | <i>Mimosa scabrella</i> Benth.                        | P   | 8,20   | 8,20  | 8,20  | 24,03      | 24,03 | 24,03 |
| 3   | <i>Pyrus communis</i> L.                              | SI  | 4,90   | 8,20  | 6,70  | 7,27       | 11,96 | 9,98  |
| 3   | <i>Magnolia sp.</i> L.                                | SI  | 2,10   | 8,20  | 4,57  | 1,53       | 5,50  | 2,98  |
| 56  | <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze        | P   | 1,30   | 7,80  | 3,68  | 0,40       | 10,98 | 3,22  |
| 7   | <i>Morus rubra</i> L.                                 | SI  | 1,30   | 7,70  | 5,17  | 0,60       | 14,91 | 7,97  |
| 1   | <i>Cecropia pachystachya</i> Trécul.                  | P   | 7,50   | 7,50  | 7,50  | 11,05      | 11,05 | 11,05 |
| 8   | <i>Cedrela fissilis</i> Vell.                         | ST  | 1,90   | 7,10  | 4,83  | 1,08       | 16,23 | 7,50  |
| 2   | <i>Enterolobium timbouva</i> Mart.                    | P   | 6,80   | 7,00  | 6,90  | 4,20       | 7,42  | 5,81  |
| 5   | <i>Euterpe edulis</i> Mart.                           | CL  | 2,80   | 7,00  | 5,06  | 1,34       | 10,79 | 4,96  |
| 5   | <i>Myroxylon peruiferum</i> L.f.                      | CL  | 2,60   | 6,90  | 4,76  | 2,51       | 7,80  | 4,77  |
| 15  | <i>Carica papaya</i> L.                               | P   | 3,00   | 6,70  | 4,54  | 3,18       | 10,98 | 6,32  |
| 7   | <i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi.                 | P   | 1,80   | 6,50  | 4,64  | 0,81       | 4,59  | 2,52  |
| 3   | <i>Hibiscus sp.</i> L.                                | P   | 2,50   | 6,50  | 4,50  | 3,67       | 6,03  | 4,83  |
| 8   | <i>Campomanesia xanthocarpa</i> (Mart.)<br>O.Berg     | ST  | 1,68   | 6,40  | 3,44  | 0,41       | 7,69  | 3,53  |
| 5   | <i>Myrcianthes pungens</i> (O.Berg) D.Legrand         | ST  | 2,20   | 6,20  | 4,14  | 1,65       | 4,87  | 3,17  |
| 8   | <i>Annona mucosa</i> Jacq.                            | SI  | 1,30   | 5,90  | 3,93  | 0,54       | 5,09  | 3,04  |
| 8   | <i>Ilex paraguariensis</i> A.St.-Hil.                 | CL  | 1,50   | 5,90  | 2,66  | 0,83       | 3,12  | 1,45  |
| 5   | <i>Psidium guajava</i> L.                             | ST  | 1,70   | 5,80  | 4,36  | 0,64       | 8,21  | 5,40  |
| 6   | <i>Calliandra foliolosa</i> Benth.                    | P   | 1,55   | 5,30  | 3,39  | 1,57       | 6,91  | 3,42  |

| n            | Espécie   | GE | Ht (m)      |             |             | DAPeq (cm)  |              |             |
|--------------|---|----|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
|              |   |    | Min         | Max         | Med         | Min         | Max          | Med         |
| 6            | <i>Eugenia involucrata</i> DC.                    | CL | 2,20        | 5,10        | 3,58        | 1,05        | 3,95         | 2,50        |
| 3            | <i>Podocarpus lambertii</i> Klotzsch ex Endl.     | CL | 1,50        | 4,40        | 3,03        | 0,76        | 2,99         | 1,77        |
| 1            | <i>Eugenia pyriformis</i> Cambess.                | ST | 4,20        | 4,20        | 4,20        | 2,95        | 2,95         | 2,95        |
| 1            | <i>Spondias tuberosa</i> Arruda                   | P  | 4,00        | 4,00        | 4,00        | 9,06        | 9,06         | 9,06        |
| 2            | <i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb. Ex Steud. | P  | 1,70        | 4,00        | 2,85        | 0,80        | 3,88         | 2,34        |
| 1            | <i>Ligustrum lucidum</i> W.T.Aiton                | P  | 3,40        | 3,40        | 3,40        | 2,59        | 2,59         | 2,59        |
| 1            | <i>Trema micrantha</i> (L.) Blume                 | P  | 3,20        | 3,20        | 3,20        | 9,58        | 9,58         | 9,58        |
| 4            | <i>Eugenia uniflora</i> L.                        | CL | 1,82        | 3,20        | 2,38        | 1,65        | 2,49         | 1,97        |
| 3            | <i>Psidium cattleianum</i> Sabine                 | CL | 1,85        | 2,30        | 2,06        | 1,73        | 1,97         | 1,82        |
| 1            | <i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.              | P  | 2,18        | 2,18        | 2,18        | 1,15        | 1,15         | 1,15        |
| 1            | <i>Sebastiania brasiliensis</i> Spreng.           | P  | 2,05        | 2,05        | 2,05        | 1,57        | 1,57         | 1,57        |
| 1            | <i>Maytenus ilicifolia</i> Mart. ex Reissek       | ST | 2,00        | 2,00        | 2,00        | 0,70        | 0,70         | 0,70        |
| 1            | <i>Plinia cauliflora</i> (Mart.) Kausel           | ST | 1,85        | 1,85        | 1,85        | 1,86        | 1,86         | 1,86        |
| 1            | <i>Acca sellowiana</i> (O.Berg) Burret            | ST | 1,30        | 1,30        | 1,30        | 0,03        | 0,03         | 0,03        |
| <b>MÉDIA</b> |   |    | <b>2,88</b> | <b>6,99</b> | <b>4,82</b> | <b>3,42</b> | <b>10,12</b> | <b>6,24</b> |

**Ht = altura total; DAPeq = diâmetro à altura do peito equivalente. Fonte: O autor (2021).**

A Tabela 8 apresenta as espécies em ordem de valor de importância ampliada (VIA%), cujo valor já inclui os parâmetros da estrutura horizontal apresentados na Tabela 9 adiante. Observa-se que a espécie *Musa paradisiaca* L. (VIA% = 44,7) se sobressai em comparação às outras, o que pode se justificar pelo seu alto número de indivíduos (793), com 20,17% deles ocupando o estrato superior do dossel florestal. A espécie seguinte, *Solanum mauritianum* Scop. (VIA% = 6,23), conta com 63 indivíduos, cuja maioria (68,25%) ocupa o estrato superior. Este comportamento era esperado e pode ser justificado pelo alto número de indivíduos representantes das duas espécies pioneiras, que apresentam como característica rápido crescimento e reprodução precoce.

A terceira espécie com maior número de indivíduos (56) é a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (VIA% = 3,79), que, diferentemente das outras, apresentou a maior parte deles (55,35%) no estrato médio, com a maioria restante (39,28%) presente no estrato inferior. Este resultado pode ser devido ao sombreamento exercido pelas espécies com crescimento mais elevado e, considerando o fato de a araucária apresentar comportamento de desenvolvimento variável, sendo amplamente classificada na literatura como participante dos quatro grupos ecológicos simultaneamente, pode ter havido interferência no seu ritmo de crescimento e determinado sua frequência no estrato vertical médio.

De forma geral, quando somados os valores de importância ampliada (VIA%) por grupo ecológico, obtém-se que o grupo das pioneiras é o mais representativo (68,43%); seguido pelo grupo das secundárias iniciais (12,58%) e secundárias tardias (11,98%); apresentando por último o grupo das climácicas (4,86%). A supremacia das pioneiras sobre os demais grupos ecológicos indica que o SAF ainda se encontra nos níveis iniciais de sucessão, o que pode ser agravado pela permanência do alto número de bananeiras que, ao atingirem o estrato superior e através da morfologia larga de suas folhas, exercem elevado nível de sombreamento nas espécies adjacentes às touceiras, retardando seu desenvolvimento. Em números absolutos de indivíduos por estrato vertical têm-se 276 ocupando o estrato superior; 542 ocupando o estrato médio; e 358 ocupando o estrato inferior.

Tabela 8 – Parâmetros fitossociológicos da estrutura vertical por espécie.

(continua)

| n   | Espécie  | I   | M   | S   | FA<br>% | FR<br>% | VFI  | VFM   | VFS  | PSA   | PSR<br>% | VIA<br>% |
|-----|--|-----|-----|-----|---------|---------|------|-------|------|-------|----------|----------|
| 793 | <i>Musa paradisiaca</i> L.                     | 243 | 390 | 160 | 100     | 2,90    | 7397 | 17974 | 3755 | 29127 | 68,77    | 44,70    |
| 63  | <i>Solanum mauritianum</i> Scop.               | 5   | 15  | 43  | 100     | 2,90    | 152  | 691   | 1009 | 1853  | 4,37     | 6,23     |
| 56  | <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze | 22  | 31  | 3   | 100     | 2,90    | 670  | 1429  | 70   | 2169  | 5,12     | 3,79     |
| 13  | <i>Persea americana</i> Mill.                  | 2   | 4   | 7   | 100     | 2,90    | 61   | 184   | 164  | 410   | 0,97     | 3,02     |
| 26  | n/i  | 10  | 12  | 4   | 100     | 2,90    | 304  | 553   | 94   | 951   | 2,25     | 2,26     |
| 11  | <i>Inga marginata</i> Willd.                   | 3   | 3   | 5   | 100     | 2,90    | 91   | 138   | 117  | 347   | 0,82     | 2,06     |
| 15  | <i>Carica papaya</i> L.                        | 3   | 11  | 1   | 100     | 2,90    | 91   | 507   | 23   | 622   | 1,47     | 1,90     |
| 12  | <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit     | 0   | 3   | 9   | 66      | 1,91    | 0    | 138   | 211  | 349   | 0,83     | 1,73     |
| 12  | <i>Patagonula americana</i> L.                 | 4   | 3   | 5   | 100     | 2,90    | 122  | 138   | 117  | 377   | 0,89     | 1,69     |
| 14  | <i>Handroanthus</i> sp. L.                     | 6   | 4   | 4   | 100     | 2,90    | 183  | 184   | 94   | 461   | 1,09     | 1,67     |
| 5   | <i>Carya illinoensis</i> (Wang.) K.            | 0   | 1   | 4   | 66      | 1,91    | 0    | 46    | 94   | 140   | 0,33     | 1,57     |
| 8   | <i>Cedrela fissilis</i> Vell.                  | 2   | 5   | 1   | 100     | 2,90    | 61   | 230   | 23   | 315   | 0,74     | 1,54     |
| 10  | <i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.      | 2   | 3   | 5   | 100     | 2,90    | 61   | 138   | 117  | 316   | 0,75     | 1,46     |
| 7   | <i>Morus rubra</i> L.                          | 2   | 2   | 3   | 100     | 2,90    | 61   | 92    | 70   | 223   | 0,53     | 1,45     |
| 6   | <i>Bauhinia forficata</i> Link                 | 2   | 1   | 3   | 100     | 2,90    | 61   | 46    | 70   | 177   | 0,42     | 1,28     |
| 1   | <i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna     | 0   | 0   | 1   | 33      | 0,96    | 0    | 0     | 23   | 23    | 0,06     | 1,26     |

| n | Espécie  | I | M | S | FA % | FR % | VFI | VFM | VFS | PSA | PSR % | VIA % |
|---|--|---|---|---|------|------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|
| 8 | <i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart.            | 2 | 2 | 4 | 100  | 2,90 | 61  | 92  | 94  | 247 | 0,58  | 1,24  |
| 9 | <i>Campomanesia guazimifolia</i> (Cambess.) O.Berg | 3 | 5 | 1 | 100  | 2,90 | 91  | 230 | 23  | 345 | 0,82  | 1,23  |
| 5 | <i>Prunus persica</i> (L.) Batsch                  | 1 | 3 | 1 | 100  | 2,90 | 30  | 138 | 23  | 192 | 0,45  | 1,09  |
| 5 | <i>Euterpe edulis</i> Mart.                        | 2 | 2 | 1 | 100  | 2,90 | 61  | 92  | 23  | 177 | 0,42  | 1,06  |
| 5 | <i>Myroxylon peruiferum</i> L.f.                   | 1 | 3 | 1 | 100  | 2,90 | 30  | 138 | 23  | 192 | 0,45  | 1,03  |
| 8 | <i>Campomanesia xanthocarpa</i> (Mart.) O.Berg     | 5 | 3 | 0 | 66   | 1,91 | 152 | 138 | 0   | 290 | 0,69  | 0,93  |
| 8 | <i>Annona mucosa</i> Jacq.                         | 3 | 5 | 0 | 66   | 1,91 | 91  | 230 | 0   | 322 | 0,76  | 0,90  |
| 3 | <i>Magnolia sp.</i> L.                             | 1 | 1 | 1 | 100  | 2,90 | 30  | 46  | 23  | 100 | 0,24  | 0,87  |
| 3 | <i>Ficus guaratinica</i> Chodat                    | 0 | 1 | 2 | 66   | 1,91 | 0   | 46  | 47  | 93  | 0,22  | 0,87  |
| 5 | <i>Psidium guajava</i> L.                          | 1 | 4 | 0 | 66   | 1,91 | 30  | 184 | 0   | 215 | 0,51  | 0,84  |
| 7 | <i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi.              | 2 | 5 | 0 | 66   | 1,91 | 61  | 230 | 0   | 291 | 0,69  | 0,84  |
| 8 | <i>Ilex paraguariensis</i> A.St.-Hil.              | 7 | 1 | 0 | 66   | 1,91 | 213 | 46  | 0   | 259 | 0,61  | 0,82  |
| 2 | <i>Ateleia glazioveana</i> (Baill)                 | 1 | 0 | 1 | 66   | 1,91 | 30  | 0   | 23  | 54  | 0,13  | 0,81  |
| 3 | <i>Pyrus communis</i> L.                           | 0 | 1 | 2 | 66   | 1,91 | 0   | 46  | 47  | 93  | 0,22  | 0,81  |
| 6 | <i>Calliandra foliolosa</i> Benth.                 | 3 | 3 | 0 | 66   | 1,91 | 91  | 138 | 0   | 230 | 0,54  | 0,81  |
| 6 | <i>Eugenia involucrata</i> DC.                     | 2 | 4 | 0 | 66   | 1,91 | 61  | 184 | 0   | 245 | 0,58  | 0,78  |
| 5 | <i>Myrcianthes pungens</i> (O.Berg) D.Legrand      | 1 | 4 | 0 | 66   | 1,91 | 30  | 184 | 0   | 215 | 0,51  | 0,75  |
| 1 | <i>Mimosa scabrella</i> Benth.                     | 0 | 0 | 1 | 33   | 0,96 | 0   | 0   | 23  | 23  | 0,06  | 0,68  |
| 3 | <i>Hibiscus sp.</i> L.                             | 1 | 2 | 0 | 66   | 1,91 | 30  | 92  | 0   | 123 | 0,29  | 0,67  |
| 3 | <i>Podocarpus lambertii</i> Klotzsch ex Endl.      | 2 | 1 | 0 | 66   | 1,91 | 61  | 46  | 0   | 107 | 0,25  | 0,61  |
| 2 | <i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb. Ex Steud.  | 1 | 1 | 0 | 66   | 1,91 | 30  | 46  | 0   | 77  | 0,18  | 0,58  |
| 4 | <i>Eugenia uniflora</i> L.                         | 4 | 0 | 0 | 33   | 0,96 | 122 | 0   | 0   | 122 | 0,29  | 0,41  |
| 3 | <i>Psidium cattleianum</i> Sabine                  | 3 | 0 | 0 | 33   | 0,96 | 91  | 0   | 0   | 91  | 0,22  | 0,36  |
| 2 | <i>Enterolobium timbouva</i> Mart.                 | 0 | 0 | 2 | 33   | 0,96 | 0   | 0   | 47  | 47  | 0,11  | 0,36  |
| 1 | <i>Cecropia pachystachya</i> Trécul.               | 0 | 0 | 1 | 33   | 0,96 | 0   | 0   | 23  | 23  | 0,06  | 0,36  |
| 1 | <i>Spondias tuberosa</i> Arruda                    | 0 | 1 | 0 | 33   | 0,96 | 0   | 46  | 0   | 46  | 0,11  | 0,34  |
| 1 | <i>Trema micrantha</i> (L.) Blume                  | 1 | 0 | 0 | 33   | 0,96 | 30  | 0   | 0   | 30  | 0,07  | 0,34  |

| n | Espécie                                     | I | M | S | FA % | FR % | VFI | VFM | VFS | PSA | PSR % | VIA % |
|---|---|---|---|---|------|------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|
| 1 | <i>Eugenia pyriformis</i> Cambess.          | 0 | 1 | 0 | 33   | 0,96 | 0   | 46  | 0   | 46  | 0,11  | 0,29  |
| 1 | <i>Ligustrum lucidum</i> W.T.Aiton          | 0 | 1 | 0 | 33   | 0,96 | 0   | 46  | 0   | 46  | 0,11  | 0,29  |
| 1 | <i>Plinia cauliflora</i> (Mart.) Kausel     | 1 | 0 | 0 | 33   | 0,96 | 30  | 0   | 0   | 30  | 0,07  | 0,28  |
| 1 | <i>Sebastiania brasiliensis</i> Spreng.     | 1 | 0 | 0 | 33   | 0,96 | 30  | 0   | 0   | 30  | 0,07  | 0,28  |
| 1 | <i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.        | 1 | 0 | 0 | 33   | 0,96 | 30  | 0   | 0   | 30  | 0,07  | 0,28  |
| 1 | <i>Maytenus ilicifolia</i> Mart. ex Reissek | 1 | 0 | 0 | 33   | 0,96 | 30  | 0   | 0   | 30  | 0,07  | 0,28  |
| 1 | <i>Acca sellowiana</i> (O.Berg) Burret      | 1 | 0 | 0 | 33   | 0,96 | 30  | 0   | 0   | 30  | 0,07  | 0,28  |

I = estrato inferior; M = estrato médio; S = estrato superior; FA = frequência absoluta nos estratos; FR = frequência relativa nos estratos; VFI = valor fitossociológico no estrato inferior; VFM = valor fitossociológico no estrato médio; VFS = valor fitossociológico no estrato superior; PSA = posição sociológica absoluta; PSR = posição sociológica relativa; VIA = valor de importância ampliado. Fonte: O autor (2021).

A ordem de dominância na estrutura vertical é acompanhada pela ordem da estrutura horizontal, com *Musa paradisiaca* L. (VC% = 53,56) liderando e *Solanum mauritianum* Scop. (VC% = 8,82) em seguida, porém com algumas mudanças: a espécie *Persea americana* Mill. aparece aqui em terceira posição (VC% = 4,11) e a espécie *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (VC% = 3,58%) em quarta. As espécies *Inga marginata* Willd. (VC = 2,26%) e *Leucaena leucocephala* (Bertol.) (VC% = 2,09) completam o sexteto, reafirmando a hegemonia das espécies iniciais de sucessão (P e SI) na dinâmica fitossociológica do SAF.

Tabela 9 – Parâmetros fitossociológicos da estrutura horizontal por espécie e grupo ecológico.

(continua)

| n   | Espécie  | GE  | DA (n há <sup>-1</sup> ) | DR %  | DoA  | DoR % | VC %  | VIA % |
|-----|--|-----|--------------------------|-------|------|-------|-------|-------|
| 793 | <i>Musa paradisiaca</i> L.                     | P   | 4956                     | 67,43 | 6,97 | 39,69 | 53,56 | 44,70 |
| 63  | <i>Solanum mauritianum</i> Scop.               | P   | 394                      | 5,36  | 2,16 | 12,28 | 8,82  | 6,23  |
| 56  | <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze | P   | 350                      | 4,76  | 0,42 | 2,39  | 3,58  | 3,79  |
| 13  | <i>Persea americana</i> Mill.                  | SI  | 81                       | 1,11  | 1,25 | 7,12  | 4,11  | 3,02  |
| 26  | n/i  | n/i | 163                      | 2,21  | 0,30 | 1,69  | 1,95  | 2,26  |
| 11  | <i>Inga marginata</i> Willd.                   | SI  | 69                       | 0,94  | 0,63 | 3,59  | 2,26  | 2,06  |
| 15  | <i>Carica papaya</i> L.                        | P   | 94                       | 1,28  | 0,34 | 1,95  | 1,61  | 1,90  |
| 12  | <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit     | P   | 75                       | 1,02  | 0,56 | 3,17  | 2,09  | 1,73  |
| 12  | <i>Patagonula americana</i> L.                 | P   | 75                       | 1,02  | 0,34 | 1,96  | 1,49  | 1,69  |
| 14  | <i>Handroanthus</i> sp. L.                     | ST  | 88                       | 1,19  | 0,27 | 1,51  | 1,35  | 1,67  |

| n  | Espécie   | GE | DA<br>(n há <sup>-1</sup> ) | DR<br>% | DoA  | DoR<br>% | VC<br>% | VIA<br>% |
|----|---|----|-----------------------------|---------|------|----------|---------|----------|
| 5  | <i>Carya illinoensis</i> (Wang.) K.                   | ST | 31                          | 0,43    | 0,64 | 3,63     | 2,03    | 1,57     |
| 8  | <i>Cedrela fissilis</i> Vell.                         | ST | 50                          | 0,68    | 0,32 | 1,83     | 1,26    | 1,54     |
| 10 | <i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.             | SI | 63                          | 0,85    | 0,24 | 1,34     | 1,10    | 1,46     |
| 7  | <i>Morus rubra</i> L.                                 | SI | 44                          | 0,60    | 0,31 | 1,78     | 1,19    | 1,45     |
| 6  | <i>Bauhinia forficata</i> Link                        | P  | 38                          | 0,51    | 0,23 | 1,31     | 0,91    | 1,28     |
| 1  | <i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna            | ST | 6                           | 0,09    | 0,70 | 3,96     | 2,02    | 1,26     |
| 8  | <i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart.               | ST | 50                          | 0,68    | 0,14 | 0,80     | 0,74    | 1,24     |
| 9  | <i>Campomanesia guazinifolia</i> (Cambess.)<br>O.Berg | ST | 56                          | 0,77    | 0,08 | 0,44     | 0,60    | 1,23     |
| 5  | <i>Prunus persica</i> (L.) Batsch                     | SI | 31                          | 0,43    | 0,10 | 0,59     | 0,51    | 1,09     |
| 5  | <i>Euterpe edulis</i> Mart.                           | CL | 31                          | 0,43    | 0,09 | 0,52     | 0,47    | 1,06     |
| 5  | <i>Myroxylon peruiferum</i> L.f.                      | CL | 31                          | 0,43    | 0,06 | 0,36     | 0,39    | 1,03     |
| 8  | <i>Campomanesia xanthocarpa</i> (Mart.) O.Berg        | ST | 50                          | 0,68    | 0,08 | 0,43     | 0,56    | 0,93     |
| 8  | <i>Annona mucosa</i> Jacq.                            | SI | 50                          | 0,68    | 0,05 | 0,27     | 0,47    | 0,90     |
| 3  | <i>Magnolia sp.</i> L.                                | SI | 19                          | 0,26    | 0,02 | 0,10     | 0,18    | 0,87     |
| 3  | <i>Ficus guaratinica</i> Chodat                       | SI | 19                          | 0,26    | 0,19 | 1,08     | 0,67    | 0,87     |
| 5  | <i>Psidium guajava</i> L.                             | ST | 31                          | 0,43    | 0,09 | 0,50     | 0,46    | 0,84     |
| 7  | <i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi.                 | P  | 44                          | 0,60    | 0,03 | 0,15     | 0,37    | 0,84     |
| 8  | <i>Ilex paraguariensis</i> A.St.-Hil.                 | CL | 50                          | 0,68    | 0,01 | 0,06     | 0,37    | 0,82     |
| 2  | <i>Ateleia glazioviana</i> (Baill)                    | P  | 13                          | 0,17    | 0,18 | 1,05     | 0,61    | 0,81     |
| 3  | <i>Pyrus communis</i> L.                              | SI | 19                          | 0,26    | 0,15 | 0,87     | 0,56    | 0,81     |
| 6  | <i>Calliandra foliolosa</i> Benth.                    | P  | 38                          | 0,51    | 0,04 | 0,26     | 0,38    | 0,81     |
| 6  | <i>Eugenia involucrata</i> DC.                        | CL | 38                          | 0,51    | 0,02 | 0,12     | 0,32    | 0,78     |
| 5  | <i>Myrcianthes pungens</i> (O.Berg) D.Legrand         | ST | 31                          | 0,43    | 0,03 | 0,16     | 0,29    | 0,75     |
| 1  | <i>Mimosa scabrella</i> Benth.                        | P  | 6                           | 0,09    | 0,28 | 1,62     | 0,85    | 0,68     |
| 3  | <i>Hibiscus sp.</i> L.                                | P  | 19                          | 0,26    | 0,04 | 0,20     | 0,23    | 0,67     |
| 3  | <i>Podocarpus lambertii</i> Klotzsch ex Endl.         | CL | 19                          | 0,26    | 0,01 | 0,03     | 0,14    | 0,61     |
| 2  | <i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb. Ex Steud.     | P  | 13                          | 0,17    | 0,01 | 0,04     | 0,11    | 0,58     |
| 4  | <i>Eugenia uniflora</i> L.                            | CL | 25                          | 0,34    | 0,01 | 0,04     | 0,19    | 0,41     |
| 3  | <i>Psidium cattleianum</i> Sabine                     | CL | 19                          | 0,26    | 0,00 | 0,03     | 0,14    | 0,36     |
| 2  | <i>Enterolobium timbouva</i> Mart.                    | P  | 13                          | 0,17    | 0,04 | 0,20     | 0,19    | 0,36     |
| 1  | <i>Cecropia pachystachya</i> Trécul.                  | P  | 6                           | 0,09    | 0,06 | 0,34     | 0,21    | 0,36     |
| 1  | <i>Spondias tuberosa</i> Arruda                       | P  | 6                           | 0,09    | 0,04 | 0,23     | 0,16    | 0,34     |
| 1  | <i>Trema micrantha</i> (L.) Blume                     | P  | 6                           | 0,09    | 0,05 | 0,26     | 0,17    | 0,34     |
| 1  | <i>Eugenia pyriformis</i> Cambess.                    | ST | 6                           | 0,09    | 0,00 | 0,02     | 0,05    | 0,29     |
| 1  | <i>Ligustrum lucidum</i> W.T.Aiton                    | P  | 6                           | 0,09    | 0,00 | 0,02     | 0,05    | 0,29     |
| 1  | <i>Plinia cauliflora</i> (Mart.) Kausel               | ST | 6                           | 0,09    | 0,00 | 0,01     | 0,05    | 0,28     |
| 1  | <i>Sebastiania brasiliensis</i> Spreng.               | P  | 6                           | 0,09    | 0,00 | 0,01     | 0,05    | 0,28     |
| 1  | <i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.                  | P  | 6                           | 0,09    | 0,00 | 0,00     | 0,04    | 0,28     |
| 1  | <i>Maytenus ilicifolia</i> Mart. ex Reissek           | ST | 6                           | 0,09    | 0,00 | 0,00     | 0,04    | 0,28     |



| n | Espécie                                | GE | DA<br>(n há <sup>-1</sup> ) | DR<br>% | DoA  | DoR<br>% | VC<br>% | VIA<br>% |
|---|--|----|-----------------------------|---------|------|----------|---------|----------|
| 1 | <i>Acca sellowiana</i> (O.Berg) Burret | ST | 6                           | 0,09    | 0,00 | 0,00     | 0,04    | 0,28     |

GE = grupo ecológico; DA = densidade absoluta; DR = densidade relativa; DoA = dominância absoluta; DoR = dominância relativa; VC = valor de cobertura; VIA = valor de importância ampliado. Fonte: O autor (2021).

Com a finalidade de se obter a biomassa arbórea seca acima do solo por espécie, foram determinadas as áreas basais (g), as densidades básicas das madeiras (Db), e os volumes (v) por espécie, e os resultados, ordenados por espécie que apresentou maior volume, encontram-se adiante na Tabela 10, onde pode-se observar as cinco espécies que apresentaram maior volume total: *Musa paradisiaca* L., *Solanum mauritianum* Scop., *Persea americana* Mill., *Ceiba speciosa* (A.St.-Hil.) Ravenna e *Carya illinoensis* (Wang.) K. Destaque para *Ceiba speciosa* (A.St.-Hil.) cujo volume é proveniente do único indivíduo representante da espécie na área de estudo. A desenvoltura das pioneiras *Musa paradisiaca* L. e *Solanum mauritianum* Scop. em volumes totais era esperada, visto a quantidade de indivíduos destas espécies presentes no SAF. Nesse sentido, *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze teve baixo desenvolvimento apesar do alto número de indivíduos, contudo deve-se ressaltar que a maioria dos exemplares da espécie estão nos estratos médio e inferior do dossel, com valores médios em Ht e DAPEq de 3,68 m e 3,22 cm, respectivamente.

Tabela 10 – Atributos dendrométricos por espécie.

(continua)

| n   | Espécie  | g (cm <sup>2</sup> ) | Db<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | v (m <sup>3</sup> ) |
|-----|--|----------------------|----------------------------|---------------------|
| 793 | <i>Musa paradisiaca</i> L.                     | 11131,2951           | 100                        | 3,3437              |
| 63  | <i>Solanum mauritianum</i> Scop.               | 3450,3041            | 360                        | 1,4674              |
| 13  | <i>Persea americana</i> Mill.                  | 1998,7418            | 550                        | 1,0198              |
| 1   | <i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna     | 1112,8408            | 390                        | 0,6288              |
| 5   | <i>Carya illinoensis</i> (Wang.) K.            | 1019,1097            | 570                        | 0,5532              |
| 11  | <i>Inga marginata</i> Willd.                   | 1007,0879            | 470                        | 0,4537              |
| 12  | <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit     | 889,3857             | 640                        | 0,4013              |
| 12  | <i>Patagonula americana</i> L.                 | 549,9687             | 750                        | 0,2394              |
| 56  | <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze | 671,0941             | 480                        | 0,1901              |
| 1   | <i>Mimosa scabrella</i> Benth.                 | 453,6115             | 610                        | 0,1860              |
| 26  | n/i  | 474,4226             | 500                        | 0,1820              |
| 7   | <i>Morus rubra</i> L.                          | 500,5670             | 520                        | 0,1755              |
| 10  | <i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.      | 377,7057             | 560                        | 0,1690              |

| <b>n</b> | <b>Espécie</b>                                     | <b>g (cm<sup>2</sup>)</b> | <b>Db (kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>v (m<sup>3</sup>)</b> |
|----------|--|---------------------------|------------------------------|--------------------------|
| 8        | <i>Cedrela fissilis</i> Vell.                      | 514,4294                  | 440                          | 0,1667                   |
| 6        | <i>Bauhinia forficata</i> Link                     | 366,9747                  | 530                          | 0,1647                   |
| 14       | <i>Handroanthus sp.</i> L.                         | 424,0843                  | 550                          | 0,1579                   |
| 15       | <i>Carica papaya</i> L.                            | 547,1922                  | 190                          | 0,1461                   |
| 3        | <i>Ficus guaratinica</i> Chodat                    | 302,4270                  | 390                          | 0,1398                   |
| 2        | <i>Ateleia glazioviana</i> (Baill)                 | 294,3069                  | 510                          | 0,1391                   |
| 3        | <i>Pyrus communis</i> L.                           | 243,8851                  | 630                          | 0,0864                   |
| 8        | <i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart.            | 223,5586                  | 490                          | 0,0860                   |
| 5        | <i>Prunus persica</i> (L.) Batsch                  | 166,8214                  | 580                          | 0,0510                   |
| 5        | <i>Euterpe edulis</i> Mart.                        | 144,9146                  | 230                          | 0,0483                   |
| 9        | <i>Campomanesia guazimifolia</i> (Cambess.) O.Berg | 124,4138                  | 640                          | 0,0369                   |
| 1        | <i>Cecropia pachystachya</i> Trécul.               | 95,8184                   | 460                          | 0,0359                   |
| 5        | <i>Psidium guajava</i> L.                          | 139,8359                  | 650                          | 0,0355                   |
| 8        | <i>Campomanesia xanthocarpa</i> (Mart.) O.Berg     | 121,6453                  | 620                          | 0,0338                   |
| 5        | <i>Myroxylon peruiferum</i> L.f.                   | 100,8199                  | 610                          | 0,0285                   |
| 2        | <i>Enterolobium timbouva</i> Mart.                 | 57,0674                   | 520                          | 0,0198                   |
| 8        | <i>Annona mucosa</i> Jacq.                         | 74,8752                   | 400                          | 0,0190                   |
| 6        | <i>Calliandra foliolosa</i> Benth.                 | 71,7638                   | 560                          | 0,0166                   |
| 3        | <i>Hibiscus sp.</i> L.                             | 57,0539                   | 350                          | 0,0136                   |
| 1        | <i>Spondias tuberosa</i> Arruda                    | 64,4729                   | 500                          | 0,0129                   |
| 7        | <i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi.              | 41,2339                   | 500                          | 0,0117                   |
| 1        | <i>Trema micrantha</i> (L.) Blume                  | 72,0980                   | 340                          | 0,0115                   |
| 5        | <i>Myrcianthes pungens</i> (O.Berg) D.Legrand      | 45,2215                   | 650                          | 0,0113                   |
| 3        | <i>Magnolia sp.</i> L.                             | 28,4887                   | 500                          | 0,0104                   |
| 6        | <i>Eugenia involucrata</i> DC.                     | 34,7037                   | 660                          | 0,0073                   |
| 8        | <i>Ilex paraguariensis</i> A.St.-Hil.              | 16,3357                   | 500                          | 0,0032                   |
| 2        | <i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb. Ex Steud.  | 12,3417                   | 480                          | 0,0024                   |
| 3        | <i>Podocarpus lambertii</i> Klotzsch ex Endl.      | 9,4005                    | 460                          | 0,0019                   |
| 4        | <i>Eugenia uniflora</i> L.                         | 12,4976                   | 750                          | 0,0015                   |
| 1        | <i>Eugenia pyriformis</i> Cambess.                 | 6,8580                    | 640                          | 0,0014                   |
| 1        | <i>Ligustrum lucidum</i> W.T.Aiton                 | 5,2569                    | 570                          | 0,0009                   |
| 3        | <i>Psidium cattleianum</i> Sabine                  | 7,8662                    | 690                          | 0,0008                   |
| 1        | <i>Plinia cauliflora</i> (Mart.) Kausel            | 2,7231                    | 640                          | 0,0003                   |
| 1        | <i>Sebastiania brasiliensis</i> Spreng.            | 1,9298                    | 430                          | 0,0002                   |
| 1        | <i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.               | 1,0313                    | 450                          | 0,0001                   |
| 1        | <i>Maytenus ilicifolia</i> Mart. ex Reissek        | 0,3852                    | 580                          | 0,0000                   |
| 1        | <i>Acca sellowiana</i> (O.Berg) Burret             | 0,0005                    | 610                          | 0,0000                   |

**g = área basal; Db = densidade básica do fuste; v = volume do fuste. Fonte: O autor (2021).**

Por meio das equações alométricas específicas encontradas na literatura para *Musa paradisiaca* L., *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, *Euterpe edulis* Mart., *Schinus terebinthifolia* Raddi e *Mimosa scabrella* Benth., foram estimados os valores de biomassa seca específica (BE), os quais foram contrapostos com os valores de biomassa seca do fuste (BF) (Tabela 11):

**Tabela 11 – Estimativa de Biomassa Arbórea Seca Acima do Solo realizadas pelas equações alométricas específicas (kg espécie<sup>-1</sup>).**

| Espécie  | BF (kg) | BE (kg)             |
|--|---------|---------------------|
| <i>Musa paradisiaca</i> L.                     | 372,41  | 531,32 <sup>a</sup> |
| <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze | 91,24   | 230,95 <sup>b</sup> |
| <i>Euterpe edulis</i> Mart.                    | 11,11   | 29,88 <sup>c</sup>  |
| <i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi.          | 5,82    | 12,35 <sup>d</sup>  |
| <i>Mimosa scabrella</i> Benth.                 | 112,96  | 115,75 <sup>e</sup> |

<sup>a</sup>Van Noordwijk *et al.* (2002); <sup>b</sup>Schumacher (2011); <sup>c</sup>Wendling (1998): a equação original devolve o valor em biomassa úmida, portanto foi multiplicado pela densidade básica (230 kg/m<sup>3</sup>) da espécie para encontrar a biomassa seca; <sup>d</sup>Sanquetta *et al.* (2015); <sup>e</sup>Urbano *et al.* (2008). BF = biomassa seca do fuste; BE = biomassa seca específica. Fonte: O autor (2021).

No que diz respeito aos valores de biomassa encontrados para *Mimosa scabrella* Benth. pode-se observar semelhança entre os resultados de ambas as equações, sendo a única espécie, dentre as quais foi possível encontrar equação alométrica, que apresentou elevada congruência entre os dois valores. As faixas de DAP dos indivíduos abatidos e pesados através do método direto para elaboração da equação proposta por Urbano *et al.* (2008) incluem valores menores que 5 cm e maiores que 17,1 cm, o que pode ter trazido maior potencial de representatividade para esta equação. Todavia, ressalta-se que a BF desconsidera a biomassa de galhos e folhas, o que indica que, se considerarmos o valor de 115,75 kg como representante da biomassa total, 112,96 kg seria o valor da biomassa estocada apenas no fuste.

As equações específicas para *Musa paradisiaca* L. e *Schinus terebinthifolia* Raddi. retornaram valores um pouco maiores aos quais foram encontrados pela BF, mas consideravelmente condizentes. Para *Musa paradisiaca* L. uma possível explicação para tal diferença de valores deve-se a equação de Van Noordwijk *et al.* (2002) ter sido elaborada com base em dados de bananeiras localizadas na Indonésia, ou seja, submetidas a fatores edafoclimáticos diferentes, além de não haver distinção quanto a variedades. Tratando-se de *Schinus terebinthifolia* Raddi., a diferença entre os valores obtidos pode justificar-se pelo baixo

valor de  $R^2$  (0,76) da equação específica proposta por Sanquetta *et al.* (2015), salientando que os autores não informam as faixas de DAP dos indivíduos abatidos para aferição da biomassa pelo método direto, apenas apresentam a média de  $8,02 \pm 1,75$  cm, o mesmo ocorrendo para altura:  $7,52 \pm 0,65$  m. Como efeito, do total de 7 indivíduos de aroeira-vermelha levantados no SAF objeto do presente estudo, nenhum apresentou DAP maior que 5 cm ou altura maior que 6,5 m, o que pode ter gerado superestimativa por parte desta equação específica.

Com relação a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, a equação de Schumacher *et al.* (2011) foi elaborada para um povoamento com 27 anos de idade, cujas classes diamétricas dos indivíduos iniciaram-se em 20 cm e continuaram para mais de 44 cm, o que pode ter influenciado no resultado obtido pelos indivíduos objetos deste estudo, visto estes possuírem 8 anos de idade e DAP médio de 3,22 cm. Outro fator a ser considerado é o fato de a densidade básica da madeira ser diretamente proporcional à idade (ROLIM; FERREIRA, 1974). Portanto, os três fatores (idade, DAP e densidade básica) que levaram à construção da equação por Schumacher *et al.* (2011) geraram coeficientes que acarretam valores maiores de biomassa para dados de DAP e Ht cujos indivíduos não estejam dentro dos intervalos estudados pelo autor, justificando assim o valor bastante superior de biomassa ao encontrado pela BF. Os autores Martins *et al.* (2018) também utilizaram a equação proposta por Schumacher *et al.* (2011) para um povoamento comercial de araucárias de 24 anos, utilizando-se da análise de tronco completa para determinar os diâmetros referentes as idades de 6, 12, 18 e 24 anos, e encontraram o valor médio de biomassa seca por indivíduo de 49,04 kg aos 6 anos de idade e 220,49 kg para 12 anos.

A equação específica de Wendling (1998) para *Euterpe edulis* Mart., construída pelo método destrutivo, baseou-se em valores individuais observados de DAP, Ht e biomassa, sendo possível encontrar, por exemplo, indivíduos com 11 anos de idade apresentando DAP de 12,4 cm e Ht 7,0 m; de 16 anos de idade com DAP 10,0 cm e Ht 6,5 m; e com 4 anos apresentando 6,2 cm de DAP e Ht 2,67 m. Comparativamente, os valores de DAP dos indivíduos de palmitreiro-juçara encontrados no SAF, com a mesma altura que os supracitados, são menores, respectivamente apresentando 10,79 cm, 6,05 cm e 1,34 cm. A diferença é ainda mais expressiva quando se comparam os valores de biomassa seca destes respectivos indivíduos: a partir da biomassa úmida observada por Wendling (1998) e multiplicando-se pela densidade básica de 230 kg/m<sup>3</sup>, encontram-se valores de biomassa seca na ordem de 16,35 kg, 9,22 kg e 2,46 kg, já os valores encontrados pela BF foram de 7,36 kg, 1,64 kg e 0,047 kg.

Apesar de sua densidade básica ser baixa ( $230 \text{ kg/m}^3$ ), o valor total de biomassa de 11,11 kg, a partir da BF, para os 5 indivíduos de palmitreiro que apresentam alturas totais de 2,8 m, 2,9 m, 6,1 m, 6,5 m e 7,0 m e 1,34 cm, 1,34 cm, 5,28 cm, 6,05 cm e 10,79 cm de DAP respectivamente, parece improvável, fazendo mais sentido os valores encontrados pela equação específica que se sustentam em valores observados de indivíduos com medidas semelhantes. Todavia os valores de biomassa para esta espécie aumentaram em todas as estimativas oriundas das equações regionais (Tabela 12), aproximando-se ao valor proposto pela equação específica de Wendling (1998).

Tabela 12 – Estimativas de Biomassa Arbórea Seca Acima do Solo realizadas pelas equações regionais (kg espécie<sup>-1</sup>).

(continua)

| n   | Espécie   | GE  | BF     | Burger;<br>Delitti<br>(2008) | Gusson<br>(2014) | Vismara<br>(2013) | Sotomayor<br>(2013) | Miranda<br><i>et al.</i><br>(2011) | Junior<br><i>et al.</i><br>(2014) | Ratuchne<br>(2010) | Higuchi<br>(1998) |
|-----|---|-----|--------|------------------------------|------------------|-------------------|---------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------|-------------------|
| 63  | <i>Solanum mauritianum</i> Scop.                      | P   | 528,26 | 676,65                       | 910,82           | 963,93            | 897,98              | 1645,72                            | 1056,77                           | 1728,90            | 2040,88           |
| 13  | <i>Persea americana</i> Mill.                         | SI  | 560,88 | 437,70                       | 475,03           | 528,62            | 882,09              | 781,87                             | 1095,94                           | 1040,44            | 1592,63           |
| 793 | <i>Musa paradisiaca</i> L.                            | P   | 372,41 | 167,97*                      | 198,80*          | 218,83*           | 725,24              | 246,11*                            | 824,00                            | 534,63*            | 543,71*           |
| 5   | <i>Carya illinoensis</i> (Wang.) K.                   | ST  | 315,32 | 239,58                       | 269,25           | 296,76            | 491,58              | 456,93                             | 590,93                            | 538,11             | 846,78            |
| 12  | <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de<br>Wit         | P   | 256,84 | 181,95                       | 233,44           | 249,75            | 410,86              | 414,77                             | 520,08                            | 450,94             | 573,33            |
| 1   | <i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.)<br>Ravenna         | ST  | 245,21 | 252,31                       | 218,27           | 256,92            | 387,85              | 323,55                             | 476,09                            | 593,26             | 1097,03           |
| 11  | <i>Inga marginata</i> Willd.                          | SI  | 213,26 | 199,95                       | 232,91           | 255,23            | 346,50              | 390,12                             | 434,01                            | 510,47             | 680,74            |
| 12  | <i>Patagonula americana</i> L.                        | P   | 179,54 | 108,54                       | 138,98           | 148,85            | 287,73              | 243,84                             | 378,88                            | 276,84             | 342,91            |
| 56  | <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.)<br>Kuntze     | P   | 91,24  | 93,89                        | 150,10           | 153,58            | 165,71              | 273,52                             | 228,15                            | 314,43             | 239,70            |
| 26  | n/i   | n/i | 91,02  | 85,05                        | 119,57           | 125,31            | 153,71              | 216,76                             | 194,34                            | 233,21             | 249,46            |
| 7   | <i>Morus rubra</i> L.                                 | SI  | 91,25  | 80,40                        | 101,25           | 109,63            | 156,35              | 164,21                             | 216,33                            | 242,25             | 248,89            |
| 10  | <i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.)<br>Taub.          | SI  | 94,64  | 78,76                        | 110,62           | 115,75            | 153,73              | 207,32                             | 185,28                            | 191,18             | 230,13            |
| 1   | <i>Mimosa scabrella</i> Benth.                        | P   | 113,45 | 79,22                        | 79,33            | 90,72             | 185,17              | 114,44                             | 265,60                            | 225,71             | 296,89            |
| 14  | <i>Handroanthus</i> sp. L.                            | ST  | 86,86  | 73,46                        | 99,56            | 105,54            | 146,76              | 173,17                             | 193,95                            | 207,36             | 217,89            |
| 8   | <i>Cedrela fissilis</i> Vell.                         | ST  | 73,33  | 76,60                        | 96,48            | 104,62            | 129,10              | 152,78                             | 180,67                            | 245,83             | 236,16            |
| 6   | <i>Bauhinia forficata</i> Link                        | P   | 87,27  | 74,09                        | 92,20            | 99,45             | 143,29              | 158,94                             | 179,10                            | 185,86             | 238,32            |
| 15  | <i>Carica papaya</i> L.                               | P   | 27,76  | 70,53                        | 101,59           | 107,02            | 53,77               | 167,73                             | 68,85                             | 254,34             | 191,71            |
| 2   | <i>Ateleia glazioviana</i> (Baill)                    | P   | 70,93  | 60,14                        | 65,31            | 72,89             | 114,40              | 103,52                             | 145,62                            | 150,66             | 214,86            |
| 3   | <i>Ficus guaratinica</i> Chodat                       | SI  | 54,53  | 63,07                        | 79,45            | 85,42             | 90,30               | 138,77                             | 105,50                            | 154,11             | 200,85            |
| 3   | <i>Pyrus communis</i> L.                              | SI  | 54,44  | 40,09                        | 52,77            | 56,50             | 92,73               | 88,55                              | 129,26                            | 118,24             | 119,67            |
| 8   | <i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart.               | ST  | 42,15  | 40,63                        | 58,15            | 60,79             | 71,22               | 105,93                             | 89,41                             | 109,94             | 115,20            |
| 5   | <i>Prunus persica</i> (L.) Batsch                     | SI  | 29,55  | 24,66                        | 36,83            | 38,30             | 52,11               | 65,51                              | 73,04                             | 79,01              | 66,00             |
| 9   | <i>Campomanesia guazimifolia</i><br>(Cambess.) O.Berg | ST  | 23,64  | 18,58                        | 31,55            | 31,79             | 41,62               | 61,04                              | 57,15                             | 58,68              | 44,80             |

| n | Espécie  | GE | BF    | Burger;<br>Delitti<br>(2008) | Gusson<br>(2014) | Vismara<br>(2013) | Sotomayor<br>(2013) | Miranda<br><i>et al.</i><br>(2011) | Junior<br><i>et al.</i><br>(2014) | Ratuchne<br>(2010) | Higuchi<br>(1998) |
|---|--|----|-------|------------------------------|------------------|-------------------|---------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------|-------------------|
| 5 | <i>Psidium guajava</i> L.                            | ST | 23,06 | 17,48                        | 26,67            | 27,74             | 42,14               | 45,45                              | 65,03                             | 64,57              | 44,92             |
| 8 | <i>Campomanesia xanthocarpa</i><br>(Mart.) O.Berg    | ST | 20,94 | 16,62                        | 25,79            | 26,64             | 37,56               | 45,56                              | 54,71                             | 56,84              | 42,73             |
| 5 | <i>Euterpe edulis</i> Mart.                          | CL | 11,11 | 23,00                        | 32,97            | 34,56             | 20,59               | 57,86                              | 24,74                             | 69,56              | 64,29             |
| 5 | <i>Myroxylon peruiferum</i> L.f.                     | CL | 17,41 | 14,15                        | 22,64            | 23,18             | 31,21               | 41,09                              | 44,54                             | 47,23              | 35,64             |
| 1 | <i>Cecropia pachystachya</i> Trécul.                 | P  | 16,53 | 16,59                        | 21,61            | 23,18             | 28,42               | 36,29                              | 37,04                             | 46,91              | 50,05             |
| 8 | <i>Annona mucosa</i> Jacq.                           | SI | 7,61  | 9,83                         | 17,62            | 17,59             | 14,46               | 33,91                              | 19,57                             | 34,58              | 22,24             |
| 6 | <i>Calliandra foliolosa</i> Benth.                   | P  | 9,28  | 8,39                         | 13,97            | 14,24             | 17,31               | 24,74                              | 26,32                             | 32,76              | 20,13             |
| 2 | <i>Enterolobiu timbouva</i> Mart.                    | P  | 10,31 | 9,69                         | 15,20            | 15,57             | 17,98               | 28,80                              | 23,14                             | 27,58              | 25,17             |
| 5 | <i>Myrcianthes pungens</i> (O.Berg)<br>D.Legrand     | ST | 7,35  | 5,87                         | 10,73            | 10,66             | 13,56               | 20,84                              | 19,67                             | 20,84              | 13,11             |
| 1 | <i>Spondias tuberosa</i> Arruda                      | P  | 6,45  | 6,26                         | 8,61             | 9,26              | 12,56               | 12,62                              | 21,54                             | 28,98              | 16,95             |
| 7 | <i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi.                | P  | 5,86  | 6,15                         | 12,04            | 11,72             | 10,65               | 25,68                              | 13,69                             | 19,33              | 13,24             |
| 3 | <i>Hibiscus</i> sp. L.                               | P  | 4,75  | 6,88                         | 11,52            | 11,72             | 9,16                | 20,87                              | 12,81                             | 26,14              | 16,36             |
| 1 | <i>Trema micrantha</i> (L.) Blume                    | P  | 3,92  | 5,63                         | 7,56             | 8,23              | 8,15                | 10,20                              | 14,70                             | 31,74              | 15,18             |
| 3 | <i>Magnolia</i> sp. L.                               | SI | 5,22  | 5,19                         | 8,88             | 8,88              | 8,98                | 18,28                              | 10,77                             | 13,89              | 12,77             |
| 6 | <i>Eugenia involucrata</i> DC.                       | CL | 4,82  | 3,91                         | 7,69             | 7,53              | 9,23                | 15,14                              | 14,15                             | 15,68              | 8,10              |
| 8 | <i>Ilex paraguariensis</i> A.St.-Hil.                | CL | 1,62  | 1,78                         | 3,92             | 3,74              | 3,14                | 8,39                               | 4,49                              | 7,34               | 3,43              |
| 2 | <i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb.<br>Ex Steud. | P  | 1,16  | 1,28                         | 2,38             | 2,37              | 2,29                | 4,37                               | 3,53                              | 5,53               | 2,73              |
| 4 | <i>Eugenia uniflora</i> L.                           | CL | 1,15  | 0,88                         | 1,99             | 1,91              | 2,44                | 3,76                               | 4,62                              | 5,40               | 1,54              |
| 3 | <i>Podocarpus lambertii</i> Klotzsch ex<br>Endl.     | CL | 0,87  | 1,03                         | 2,19             | 2,11              | 1,73                | 4,50                               | 2,50                              | 4,23               | 2,01              |
| 1 | <i>Eugenia pyriformis</i> Cambess.                   | ST | 0,92  | 0,78                         | 1,57             | 1,53              | 1,78                | 3,13                               | 2,70                              | 3,10               | 1,57              |
| 3 | <i>Psidium cattleianum</i> Sabine                    | CL | 0,56  | 0,47                         | 1,11             | 1,06              | 1,24                | 2,05                               | 2,47                              | 3,36               | 0,79              |
| 1 | <i>Ligustrum lucidum</i> W.T.Aiton                   | P  | 0,51  | 0,49                         | 1,04             | 1,01              | 1,03                | 2,02                               | 1,66                              | 2,33               | 0,94              |
| 1 | <i>Plinia cauliflora</i> (Mart.) Kausel              | ST | 0,16  | 0,15                         | 0,34             | 0,33              | 0,36                | 0,61                               | 0,75                              | 1,16               | 0,25              |
| 1 | <i>Sebastiania brasiliensis</i> Spreng.              | P  | 0,09  | 0,12                         | 0,29             | 0,27              | 0,20                | 0,56                               | 0,36                              | 0,82               | 0,19              |
| 1 | <i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.                 | P  | 0,05  | 0,07                         | 0,19             | 0,17              | 0,11                | 0,40                               | 0,20                              | 0,44               | 0,10              |

| n            | Espécie  | GE | BF             | Burger;<br>Delitti<br>(2008) | Gusson<br>(2014) | Vismara<br>(2013) | Sotomayor<br>(2013) | Miranda<br><i>et al.</i><br>(2011) | Junior<br><i>et al.</i><br>(2014) | Ratuchne<br>(2010) | Higuchi<br>(1998) |
|--------------|--|----|----------------|------------------------------|------------------|-------------------|---------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------|-------------------|
| 1            | <i>Maytenus ilicifolia</i> Mart. ex<br>Reissek | ST | 0,02           | 0,02                         | 0,08             | 0,07              | 0,05                | 0,19                               | 0,09                              | 0,16               | 0,03              |
| 1            | <i>Acca sellowiana</i> (O.Berg) Burret         | ST | 0,00           | 0,00                         | 0,00             | 0,00              | 0,00                | 0,00                               | 0,00                              | 0,00               | 0,00              |
| <b>TOTAL</b> |  |    | <b>3865,49</b> | <b>3386,54</b>               | <b>4210,88</b>   | <b>4541,46</b>    | <b>6476,12</b>      | <b>7162,43</b>                     | <b>8114,76</b>                    | <b>9014,91</b>     | <b>11043,02</b>   |

\*Devido a Db de *Musa paradisiaca* L. ser muito baixa (100 kg/m<sup>3</sup>) e da maioria das equações não contarem com essa variável para a estimativa de biomassa, optou-se, excepcionalmente, por multiplicar o resultado destas equações pela densidade básica da espécie visando resultados mais condizentes. BF = biomassa seca do fuste. Fonte: O autor (2021).



Ao ordenar as espécies pelo valor da BF percebe-se que *Persea americana* Mill. encabeça a lista das espécies que mais acumularam biomassa durante o tempo de existência do SAF, o mesmo ocorre com a equações de Junior *et al.* (2014). Contudo, além de DAP e Ht, a equação de Junior *et al.* (2014) inclui como variável a Db, sendo esta última fator influente aos valores menores de biomassa encontrados para *Solanum mauritianum* Scop. devido a sua densidade básica ser de 360 kg/m<sup>3</sup>, enquanto *Persea americana* Mill. possui Db de 550 kg/m<sup>3</sup>. Todavia, a equação de Sotomayor (2013), que também utiliza como variável a Db, retornou *Solanum mauritianum* Scop. como a espécie que mais acumulou biomassa. O restante das equações aponta *Solanum mauritianum* Scop. como espécie que mais acumulou biomassa, com *Persea americana* Mill. em segunda posição.

A terceira e quarta espécies com maiores quantidades de biomassa na maioria das equações foram predominantemente *Carya illinoensis* (Wang.) K. e *Ceiba speciosa* (A.St.-Hill.), com destaque para esta última devido a sua baixa representatividade em indivíduos (1). As exceções foram: as equações de Junior *et al.* (2014) e Sotomayor (2013) que estimaram *Musa paradisiaca* L. na terceira posição e *Carya illinoensis* (Wang.) K. em quarta, com *Ceiba speciosa* (A.St.-Hill.) Ravenna ficando de fora do quinteto; e de Gusson (2014) e Miranda *et al.* (2011), que retornaram *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit na quarta posição. Na quinta posição *Inga marginata* Willd. apareceu cinco vezes, com exceção das equações de Ratuchne (2010), que retornou *Musa paradisiaca* L.; e Junior *et al.* (2014) e Sotomayor (2013) que retornaram *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Witt.

Deve-se reconhecer que, dentre as equações alométricas escolhidas, respectivamente as de Higuchi *et al.* (1998), Ratuchne (2010), Junior *et al.* (2014), Miranda *et al.* (2011) e Sotomayor (2013) apresentaram os valores totais de biomassa mais elevados. Esse comportamento era especialmente esperado para a equação de Higuchi *et al.* (1998), afinal foi elaborada para a Floresta Densa Amazônica através do método destrutivo para 315 indivíduos com DAP  $\geq 5$  cm, com média de DAP 16,0 cm e de Ht 17,0 m, valores notavelmente maiores que os deste estudo. Embora em menor disparidade, ocorre o mesmo para a equação de Junior *et al.* (2014), que apesar de elaborarem sua equação para Floresta Estacional Semidecidual da Mata Atlântica - incluindo como tratamentos áreas de restauração passiva, vegetação natural, sistema agroflorestal e área cultivada florestal - selecionaram amostras que apresentaram Ht de 2,7 a 15,8

m e DAP de 2 a 33 cm, com aproximadamente 11 anos de idade, valores ligeiramente maiores que os observados neste trabalho.

Por sua vez, Miranda *et al.* (2011) também utilizaram o método destrutivo para montagem de sua equação, na mesma fitofisionomia que Junior *et al.* (2014), entretanto, além dos intervalos de DAP e Ht serem maiores: respectivamente 4,5 a 57,5 cm e 3,9 a 22,6 m, outro fator que explica as estimativas elevadas é fato da equação considerar a biomassa de raízes nos resultados. A equação de Sotomayor (2013) também trabalhou com amostras de indivíduos mais presentes na classe diamétrica de 10,0 a 14,9 cm (31,82%), mas apesar de 25,75% terem DAP de 5,0 a 9,9 cm, nenhum apresentou abaixo que isso, o que pode justificar a aparente superestimativa gerada por essa equação, especialmente para os indivíduos menores. A única equação voltada para a fitofisionomia da Floresta Ombrófila Mista foi a equação de Ratuchne (2010), que apesar de compartilhar com o presente trabalho 6 espécies como objeto de estudo, se baseou em dados de indivíduos de fragmento florestal em diferentes estágios de sucessão que apresentaram intervalos de DAP e Ht ainda maiores que aos dos autores anteriores, com grande quantidade de indivíduos nas classes superiores de DAP e Ht, fator esse que, segundo Chave *et al.* (2005), sugere interferência no elevado valor de biomassa encontrado através da equação.

Contrastando com os elevados valores apresentados pelas equações dos autores acima mencionados, a originada por Burger e Delitti (2008) subestimou a biomassa dos indivíduos estudados neste trabalho ao retornar valor total inferior a todas as outras, inclusive ao valor da BF, que se refere somente a biomassa do fuste. O emprego da equação de Burger e Delitti (2008) foi estudado por Gusson (2014) e o viés de predição de biomassa para suas amostras foi tanto maior quanto menor a classe diamétrica do indivíduo, chegando a subestimar em -41% para indivíduos de DAP 5,0 a 10,0 cm e -24,6% para os que possuem DAP de 10,1 a 20,0 cm.

As equações que trouxeram resultados mais condizentes com o proposto pela BF foram as de Vismara (2013) e Gusson (2014), isto porque os valores da BF referem-se somente a biomassa do fuste, desconsiderando a porcentagem da biomassa da copa que, segundo Sotomayor (2013), representa em média 54,5% da biomassa total, porcentagem muito próxima a encontrada por Gusson (2014), de 54,9% para florestas em estágios iniciais de sucessão e 34,6% para florestas em estágios sucessionais intermediários e avançados. Desta forma, adicionando 54,5% à biomassa encontrada pela BF (3.865,49 kg), chega-se à biomassa total estimada de 5.979,91 kg. As únicas equações que retornaram valores totais de biomassa dentro do intervalo representado

por 3.865,49 e 5.979,91 kg foram as de Vismara (2013) (4541,46 kg) e Gusson (2014) (4210,88 kg).

Estes autores construíram suas equações baseando-se em amostras de indivíduos pertencentes à fitofisionomia de Floresta Ombrófila Densa. Vismara (2013) selecionou 10 espécies mais representativas geograficamente, com densidades básicas bem distintas e definiu 10 classes de diâmetro por espécie. Tal critério com a representatividade das amostras, buscando nas palavras do autor: “certa generalidade quanto à aplicação do modelo obtido em áreas distintas àquela onde o trabalho foi realizado”, foi confirmado por Gusson (2014) ao verificar que a equação de Vismara (2013) apresentou baixos vieses nas estimativas das biomassas de indivíduos pertencentes às classes de DAP 5,0 a 10,0 cm, 10,1 a 20 cm e 20,1 a 30 cm, respectivamente - 9,4%, -3,2% e -0,4%. Como a densidade relativa de indivíduos presentes nas classes de menor DAP também foi elevada no trabalho de Gusson (2014), 55,51% para indivíduos possuidores de 4,8 a 10,0 cm de DAP, sua equação alométrica apresentou resultados condizentes aos encontrados pela equação de Vismara (2013) e ligeiramente maiores aos valores de biomassa do fuste encontrados pela BF. O emprego das equações de Vismara (2013) e Gusson (2014) obteve resultados similares aos oriundos das equação pan-tropicais de Chave *et al.* (2005; 2014), os quais podem ser conferidos na Tabela 13 a seguir:

**Tabela 13 – Estimativas de Biomassa Arbórea Seca Acima do Solo realizadas pelas equações alométricas pan-tropicais (kg espécie-1).**

(continua)

| n   | Espécie   | GE | BF     | Chave<br><i>et al.</i><br>(2005) | Chave<br><i>et al.</i><br>(2014) | Brown<br>(1997) |
|-----|---|----|--------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------|
| 63  | <i>Solanum mauritianum</i> Scop.                  | P  | 528,26 | 671,19                           | 786,46                           | 1820,68         |
| 13  | <i>Persea americana</i> Mill.                     | SI | 560,88 | 711,55                           | 796,85                           | 1447,90         |
| 793 | <i>Musa paradisiaca</i> L.                        | P  | 372,41 | 473,57                           | 566,10                           | 706,30          |
| 1   | <i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna        | ST | 245,21 | 313,26                           | 342,26                           | 1147,27         |
| 5   | <i>Carya illinoensis</i> (Wang.) K.               | ST | 315,32 | 400,97                           | 450,67                           | 703,09          |
| 12  | <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de<br>Wit     | P  | 256,84 | 324,05                           | 371,47                           | 500,47          |
| 11  | <i>Inga marginata</i> Willd.                      | SI | 213,26 | 268,87                           | 306,22                           | 662,51          |
| 12  | <i>Patagonula americana</i> L.                    | P  | 179,54 | 228,31                           | 260,65                           | 307,46          |
| 1   | <i>Mimosa scabrella</i> Benth.                    | P  | 113,45 | 143,65                           | 159,91                           | 368,67          |
| 56  | <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.)<br>Kuntze | P  | 91,24  | 116,03                           | 139,60                           | 259,87          |
| 7   | <i>Morus rubra</i> L.                             | SI | 91,25  | 115,28                           | 133,49                           | 285,01          |

| n  | Espécie   | GE  | BF    | Chave<br><i>et al.</i><br>(2005) | Chave<br><i>et al.</i><br>(2014) | Brown<br>(1997) |
|----|---|-----|-------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------|
| 26 | n/i   | n/i | 91,02 | 115,75                           | 135,37                           | 225,89          |
| 8  | <i>Cedrela fissilis</i> Vell.                         | ST  | 73,33 | 92,61                            | 107,84                           | 293,94          |
| 6  | <i>Bauhinia forficata</i> Link                        | P   | 87,27 | 111,52                           | 127,91                           | 215,80          |
| 14 | <i>Handroanthus sp.</i> L.                            | ST  | 86,86 | 109,95                           | 128,07                           | 216,15          |
| 10 | <i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.             | SI  | 94,64 | 119,32                           | 139,09                           | 183,63          |
| 2  | <i>Ateleia glazioveana</i> (Baill)                    | P   | 70,93 | 90,00                            | 101,35                           | 211,79          |
| 3  | <i>Ficus guaratinica</i> Chodat                       | SI  | 54,53 | 69,26                            | 80,15                            | 170,92          |
| 15 | <i>Carica papaya</i> L.                               | P   | 27,76 | 34,84                            | 42,40                            | 249,07          |
| 3  | <i>Pyrus communis</i> L.                              | SI  | 54,44 | 69,44                            | 80,53                            | 128,65          |
| 8  | <i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart.               | ST  | 42,15 | 53,07                            | 62,48                            | 104,91          |
| 5  | <i>Prunus persica</i> (L.) Batsch                     | SI  | 29,55 | 37,70                            | 44,71                            | 71,49           |
| 5  | <i>Psidium guajava</i> L.                             | ST  | 23,06 | 29,41                            | 35,10                            | 58,36           |
| 9  | <i>Campomanesia guazimifolia</i><br>(Cambess.) O.Berg | ST  | 23,64 | 29,96                            | 36,13                            | 43,39           |
| 8  | <i>Campomanesia xanthocarpa</i> (Mart.)<br>O.Berg     | ST  | 20,94 | 26,64                            | 31,81                            | 48,70           |
| 1  | <i>Cecropia pachystachya</i> Trécul.                  | P   | 16,53 | 21,02                            | 24,50                            | 51,58           |
| 5  | <i>Euterpe edulis</i> Mart.                           | CL  | 11,11 | 14,13                            | 17,00                            | 68,34           |
| 5  | <i>Myroxylon peruiferum</i> L.f.                      | CL  | 17,41 | 22,17                            | 26,58                            | 38,73           |
| 2  | <i>Enterolobiu timbouva</i> Mart.                     | P   | 10,31 | 13,12                            | 15,67                            | 23,30           |
| 6  | <i>Calliandra foliolosa</i> Benth.                    | P   | 9,28  | 11,69                            | 14,20                            | 25,89           |
| 1  | <i>Spondias tuberosa</i> Arruda                       | P   | 6,45  | 8,20                             | 9,78                             | 31,25           |
| 8  | <i>Annona mucosa</i> Jacq.                            | SI  | 7,61  | 9,68                             | 11,96                            | 24,24           |
| 1  | <i>Trema micrantha</i> (L.) Blume                     | P   | 3,92  | 4,95                             | 5,97                             | 35,99           |
| 5  | <i>Myrcianthes pungens</i> (O.Berg)<br>D.Legrand      | ST  | 7,35  | 9,38                             | 11,48                            | 14,05           |
| 3  | <i>Hibiscus sp.</i> L.                                | P   | 4,75  | 6,04                             | 7,42                             | 20,52           |
| 7  | <i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi.                 | P   | 5,86  | 7,40                             | 9,17                             | 11,69           |
| 3  | <i>Magnolia sp.</i> L.                                | SI  | 5,22  | 6,63                             | 8,01                             | 9,81            |
| 6  | <i>Eugenia involucrata</i> DC.                        | CL  | 4,82  | 6,15                             | 7,64                             | 9,67            |
| 8  | <i>Ilex paraguariensis</i> A.St.-Hil.                 | CL  | 1,62  | 2,04                             | 2,59                             | 3,65            |
| 2  | <i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb. Ex<br>Steud.  | P   | 1,16  | 1,47                             | 1,83                             | 3,73            |
| 4  | <i>Eugenia uniflora</i> L.                            | CL  | 1,15  | 1,46                             | 1,87                             | 2,76            |
| 3  | <i>Podocarpus lambertii</i> Klotzsch ex<br>Endl.      | CL  | 0,87  | 1,11                             | 1,40                             | 2,32            |
| 1  | <i>Eugenia pyriformis</i> Cambess.                    | ST  | 0,92  | 1,18                             | 1,47                             | 1,84            |
| 3  | <i>Psidium cattleianum</i> Sabine                     | CL  | 0,56  | 0,71                             | 0,92                             | 1,64            |
| 1  | <i>Ligustrum lucidum</i> W.T.Aiton                    | P   | 0,51  | 0,65                             | 0,82                             | 1,31            |
| 1  | <i>Plinia cauliflora</i> (Mart.) Kausel               | ST  | 0,16  | 0,20                             | 0,26                             | 0,57            |
| 1  | <i>Sebastiania brasiliensis</i> Spreng.               | P   | 0,09  | 0,11                             | 0,14                             | 0,37            |
| 1  | <i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.                  | P   | 0,05  | 0,06                             | 0,09                             | 0,17            |

| n            | Espécie                                     | GE | BF             | Chave<br><i>et al.</i><br>(2005) | Chave<br><i>et al.</i><br>(2014) | Brown<br>(1997) |
|--------------|---|----|----------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------|
| 1            | <i>Maytenus ilicifolia</i> Mart. ex Reissek | ST | 0,02           | 0,03                             | 0,04                             | 0,05            |
| 1            | <i>Acca sellowiana</i> (O.Berg) Burret      | ST | 0,00           | 0,00                             | 0,00                             | 0,00            |
| <b>TOTAL</b> |   |    | <b>3865,49</b> | <b>4905,75</b>                   | <b>5647,43</b>                   | <b>10815,34</b> |

GE = grupo ecológico; BF = biomassa seca do fuste. Fonte: O autor (2021).

Das equações pan-tropicais aplicadas ao conjunto de dados, as que trouxeram resultados mais condizentes com os propostos pela BF foram as de Chave *et al.* (2005) e Chave *et al.* (2014). A primeira inclui dados de 2.410 árvores, com DAP  $\geq 5$  cm, presentes em florestas tropicais úmidas nativas em diferentes estágios de regeneração ao longo de três continentes: América, Ásia e Oceania. Os autores obtiveram o peso seco através do método destrutivo e testaram diferentes modelos para estimar a biomassa, buscando relações alométricos para as árvores dessas diferentes regiões, citando a importância de utilizar a densidade básica e a altura - preferencialmente medida diretamente - como variáveis preditivas. Gusson (2014) também averiguou a generalidade na equação pan-tropical proposta por Chave *et al.* (2005) ao aplicar aos dados de seu estudo e observou vieses nas estimativas de biomassa para diferentes classes diamétricas na ordem de -6,3% (DAP 5,0 a 10,0 cm), 20,1% (DAP 10,1 a 20,0 cm) e 35,2% (DAP 20,1 a 30,0 cm).

Posteriormente, Chave *et al.* (2014) ampliaram a base de dados para 4.004 árvores com DAP  $\geq 5$  cm, excluindo alguns sítios no trabalho anterior e adicionando amostras de florestas estacionais, além de novas regiões, como florestas tropicais da África, América Latina e sudeste da Ásia e Austrália, o que ocasionou em uma equação geradora de resultados mais elevados do que a anterior para os indivíduos deste estudo, mas ainda assim dentro do intervalo de biomassa esperado: 3.865,49 a 5.979,91 kg.

Chave *et al.* (2014) afirmam que mesmo a medição direta da densidade básica em laboratório é suscetível à erros e a alternativa de assumir o valor de Db média para a espécie surge como opção viável. Outro fator de importância já comentado é a fitofisionomia, todavia Chave *et al.* (2014) observaram que a construção de equações diferentes para cada fitofisionomia, no caso das florestas tropicais, não aprimorou estatisticamente a performance da equação, obtendo 90% de acurácia na estimativa da biomassa arbórea seca acima do solo em 0,25 há de floresta tropical úmida.

Observa-se que o valor de biomassa total resultante da equação de Chave *et al.* (2005) é relativamente próximo aos encontrados pela BF, e que o valor encontrado pela equação de Chave *et al.* (2014) é mais próximo do limite superior que inclui a porcentagem de biomassa das copas. Os resultados do emprego da equação pan-tropical de Brown (1997) sugerem superestimativa, portanto não foram incluídos no cálculo da média de biomassa das equações pan-tropicais (Tabela 14).

**Tabela 14 – Média das estimativas de Biomassa Arbórea Seca Acima do Solo das equações alométricas específicas (quando houver) e regionais de Vismara (2013) e Gusson (2014); e das equações alométricas específicas (quando houver) e pan-tropicais de Chave *et al.* (2005; 2014) (kg espécie<sup>-1</sup>).**

(continua)

| N   | Espécie  | GE  | Média Regionais + Específicas | Média Pan-tropicais + Específicas | Média Geral |
|-----|--|-----|-------------------------------|-----------------------------------|-------------|
| 63  | <i>Solanum mauritianum</i> Scop.                   | P   | 937,37                        | 728,82                            | 833,10      |
| 13  | <i>Persea americana</i> Mill.                      | SI  | 501,83                        | 754,20                            | 628,01      |
| 793 | <i>Musa paradisiaca</i> L.                         | P   | 316,32                        | 523,67                            | 419,99      |
| 5   | <i>Carya illinoensis</i> (Wang.) K.                | ST  | 283,01                        | 425,82                            | 354,41      |
| 12  | <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit         | P   | 241,60                        | 347,76                            | 294,68      |
| 1   | <i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna         | ST  | 237,59                        | 327,76                            | 282,68      |
| 11  | <i>Inga marginata</i> Willd.                       | SI  | 244,07                        | 287,54                            | 265,81      |
| 12  | <i>Patagonula americana</i> L.                     | P   | 143,91                        | 244,48                            | 194,20      |
| 56  | <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze     | P   | 178,21                        | 162,19                            | 170,20      |
| 26  | n/i  | n/i | 122,44                        | 125,56                            | 124,00      |
| 10  | <i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.          | SI  | 113,19                        | 129,20                            | 121,19      |
| 1   | <i>Mimosa scabrella</i> Benth.                     | P   | 95,27                         | 139,77                            | 117,52      |
| 7   | <i>Morus rubra</i> L.                              | SI  | 105,44                        | 124,39                            | 114,91      |
| 14  | <i>Handroanthus sp.</i> L.                         | ST  | 102,55                        | 119,01                            | 110,78      |
| 6   | <i>Bauhinia forficata</i> Link                     | P   | 95,83                         | 119,72                            | 107,77      |
| 8   | <i>Cedrela fissilis</i> Vell.                      | ST  | 100,55                        | 100,23                            | 100,39      |
| 2   | <i>Ateleia glazioviana</i> (Baill)                 | P   | 69,10                         | 95,68                             | 82,39       |
| 3   | <i>Ficus guaratinica</i> Chodat                    | SI  | 82,43                         | 74,70                             | 78,57       |
| 15  | <i>Carica papaya</i> L.                            | P   | 104,30                        | 38,62                             | 71,46       |
| 3   | <i>Pyrus communis</i> L.                           | SI  | 54,64                         | 74,99                             | 64,81       |
| 8   | <i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart.            | ST  | 59,47                         | 57,77                             | 58,62       |
| 5   | <i>Prunus persica</i> (L.) Batsch                  | SI  | 37,57                         | 41,20                             | 39,39       |
| 9   | <i>Campomanesia guazimifolia</i> (Cambess.) O.Berg | ST  | 31,67                         | 33,05                             | 32,36       |
| 5   | <i>Psidium guajava</i> L.                          | ST  | 27,21                         | 32,25                             | 29,73       |
| 5   | <i>Euterpe edulis</i> Mart.                        | CL  | 32,47                         | 20,34                             | 26,40       |
| 8   | <i>Campomanesia xanthocarpa</i> (Mart.) O.Berg     | ST  | 26,22                         | 29,23                             | 27,72       |

| N | Espécie   | GE | Média Regionais + Específicas | Média Pan-tropicais + Específicas | Média Geral |
|---|---|----|-------------------------------|-----------------------------------|-------------|
| 5 | <i>Myroxylon peruiferum</i> L.f.                  | CL | 22,91                         | 24,37                             | 23,64       |
| 1 | <i>Cecropia pachystachya</i> Trécul.              | P  | 22,39                         | 22,76                             | 22,58       |
| 2 | <i>Enterolobiu timbouva</i> Mart.                 | P  | 15,38                         | 14,39                             | 14,89       |
| 8 | <i>Annona mucosa</i> Jacq.                        | SI | 17,61                         | 10,82                             | 14,22       |
| 6 | <i>Calliandra foliolosa</i> Benth.                | P  | 14,10                         | 12,95                             | 13,53       |
| 7 | <i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi.             | P  | 12,03                         | 9,64                              | 10,84       |
| 5 | <i>Myrcianthes pungens</i> (O.Berg) D.Legrand     | ST | 10,69                         | 10,43                             | 10,56       |
| 3 | <i>Hibiscus sp.</i> L.                            | P  | 11,62                         | 6,73                              | 9,17        |
| 1 | <i>Spondias tuberosa</i> Arruda                   | P  | 8,93                          | 8,99                              | 8,96        |
| 3 | <i>Magnolia sp.</i> L.                            | SI | 8,88                          | 7,32                              | 8,10        |
| 6 | <i>Eugenia involucrata</i> DC.                    | CL | 7,61                          | 6,89                              | 7,25        |
| 1 | <i>Trema micrantha</i> (L.) Blume                 | P  | 7,90                          | 5,46                              | 6,68        |
| 8 | <i>Ilex paraguariensis</i> A.St.-Hil.             | CL | 3,83                          | 2,32                              | 3,07        |
| 2 | <i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb. Ex Steud. | P  | 2,37                          | 1,65                              | 2,01        |
| 4 | <i>Eugenia uniflora</i> L.                        | CL | 1,95                          | 1,67                              | 1,81        |
| 3 | <i>Podocarpus lambertii</i> Klotzsch ex Endl.     | CL | 2,15                          | 1,26                              | 1,70        |
| 1 | <i>Eugenia pyriformis</i> Cambess.                | ST | 1,55                          | 1,32                              | 1,44        |
| 3 | <i>Psidium cattleianum</i> Sabine                 | CL | 1,08                          | 0,81                              | 0,95        |
| 1 | <i>Ligustrum lucidum</i> W.T.Aiton                | P  | 1,02                          | 0,73                              | 0,88        |
| 1 | <i>Plinia cauliflora</i> (Mart.) Kausel           | ST | 0,34                          | 0,23                              | 0,28        |
| 1 | <i>Sebastiania brasiliensis</i> Spreng.           | P  | 0,28                          | 0,13                              | 0,20        |
| 1 | <i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.              | P  | 0,18                          | 0,07                              | 0,13        |
| 1 | <i>Maytenus ilicifolia</i> Mart. ex Reissek       | ST | 0,08                          | 0,03                              | 0,05        |
| 1 | <i>Acca sellowiana</i> (O.Berg) Burret            | ST | 0,00                          | 0,00                              | 0,00        |

GE = grupo ecológico. Fonte: O autor (2021).

A média geral aponta *Solanum mauritianum* Scop. como espécie com maior biomassa dentro do SAF. Entretanto, apesar de ser reconhecida devido ao seu prevalectimento na dinâmica da colonização florestal e produção abundante de serrapilheira, sendo inclusive indicada na recuperação de áreas degradadas, tem sido objeto de poucos estudos (CORADIN, 2011). Os dois encontrados na literatura que abrangem seu potencial de produção de biomassa são os trabalhos de Oliveira (2013) e de Liebsch et al (2018). O primeiro foi realizado no município de Araponga - MG, localizado no bioma Mata Atlântica. O autor quantificou o estoque de carbono em quatro SAF's implantados na década de 1990 cuja principal cultura é o café. Apesar de apresentarem diferenças quanto ao desenho, manejo e de espécies, indivíduos de *Solanum mauritianum* Scop. foram encontrados em todos os SAF's (DR% 11,79 em um conjunto de 280 espécies) e tiveram

duas metodologias diferentes para quantificação do estoque de carbono: cinco indivíduos foram cubados rigorosamente e pesados, com valor da biomassa média resultante de 50 kg/indivíduo; então este valor médio foi comparado aos resultados do emprego de duas equações alométricas oriundas da literatura – CETEC (1995) e Brianezzi (2012) –, e considerando o valor de 420 kg/m<sup>3</sup> para densidade básica da madeira, retornaram valores de 59 kg/indivíduo e 82 kg/indivíduo, gerando uma média de 60 kg/indivíduo (OLIVEIRA, 2013). Já o trabalho de Liebsch et al (2018), ao estudar a recuperação em biomassa de fragmentos florestais submetidos a ciclones na região oeste de Santa Catarina, utilizou-se da equação alométrica proposta por Zanette (2017) para Floresta Ombrófila Mista, encontrando o valor médio de 30,23 kg/indivíduo, cerca de metade do valor do estudo anterior, mas é importante ressaltar que a equação de Zanette (2017) não utiliza como variável a densidade básica da madeira. Os valores médios de biomassa/indivíduo de ambos os autores são superiores aos encontrados pela maioria das equações utilizadas neste trabalho, com exceção da de Higuchi *et al.* (1998) (32,39 kg/indivíduo). O valor de 13,22 kg/indivíduo sugere que a presença de muitos exemplares jovens desta espécie no SAF estudado acarretou o baixo valor médio de biomassa por indivíduo.

A espécie *Persea americana* Mill. também mostrou relevante representatividade no SAF de 15 anos estudado por Pequeno et al (2020) em Rondônia – AC, apresentando DAP geralmente acima da média encontrada para as outras espécies da área estudada pelo autor. Entretanto trabalhos que estimam a biomassa estocada pelos indivíduos desta espécie não foram encontrados na literatura, que se restringe a pesquisa sobre a produção anual de serapilheira (cerca de 3 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) para indivíduos de 6 a 7 anos dentro de um SAF também em Rondônia – AC, pelo método de coleta de serapilheira e pesagem do material seco (CORRÊA *et al.*, 2006). Sobre a serapilheira, Duarte *et al.* (2008) afirmam que *Persea americana* Mill. fornece material de decomposição mais lenta.

A biomassa encontrada para *Musa paradisiaca* L. (0,52 kg indivíduo<sup>-1</sup>) apresentou semelhanças com os resultados de Oliveira (2013) (0,88 kg indivíduo<sup>-1</sup>), afinal os dois trabalhos utilizaram a mesma equação de Van Noordwijk *et al.* (2002). Por sua vez, Encina e Torres (2018) utilizaram a equação alométrica de Marquez (1997) e encontraram o valor de 24,42 kg, entretanto não especificam claramente se este resultado é por indivíduo ou touceira, afinal a densidade populacional apresentada da monocultura das bananeiras no trabalho é de 95/há, valor bem baixo para aproveitamento da área. Ao considerar que o valor represente a touceira, e assumindo que o



tipo de manejo adotado permita 4 indivíduos numa mesma touceira, esse valor passaria a ser 6,10 kg indivíduo<sup>-1</sup>, ainda assim maior que os 0,60 kg indivíduo<sup>-1</sup> encontrados através da equação de Van Noordwijk *et al.* (2002). Na pesquisa de Hernandez *et al.* (2002) aplicou-se o método destrutivo em amostras de monocultura de *Musa paradisiaca* L. com densidade de 1800 indivíduos/há, encontrando o valor de biomassa de 6,12 kg/indivíduo e densidade básica do pseudocaule de 136 kg/m<sup>3</sup> (valor ligeiramente maior que a Db de 100 kg/m<sup>3</sup> utilizada no presente trabalho). Ressalta-se que as amostras coletadas pelo autor foram de exemplares na fase final de seu ciclo, ou seja, com presença de penca de bananas, o que, segundo ele, representa metade da biomassa da planta, justificando em parte o valor maior de biomassa por indivíduo.

Por sua vez, *Carya illinoensis* (Wang.) K. é alvo de poucos estudos sobre quantificação de biomassa. Yadav *et al.* (2017) são os únicos autores que a estudaram como componente de sistema agroflorestal, com 11 anos, consorciando-a com trigo e lentilha na Índia. Pela idade é o estudo que mais se assemelha da realidade do SAF estudado neste trabalho, apesar do espaçamento (6,0 m x 7,0 m) ser maior entre os indivíduos. Os autores encontraram o valor médio de 204,83 kg de biomassa arbórea seca acima do solo/indivíduo, valor bem acima do encontrado pela média das equações deste trabalho (96,09 kg/indivíduo). A diferença é justificável se considerar a origem da equação de volume usada por Yadav *et al.* (2017) para determinar a biomassa, cujos autores Ares *et al.* (2005) construíram a partir de exemplares com idade entre 59 e 84 anos, no Kansas – USA.

Com relação à *Ceiba speciosa* (A.St.-Hill.) Ravenna, seu valor em biomassa foi objeto do estudo de Robortella (2010), que abrangeu áreas de reflorestamento e regeneração natural na Amazônia. Através do método destrutivo o autor elaborou equação para estimativa de biomassa para a espécie com idade média de 8 anos, chegando ao valor de 5,19 t ha<sup>-1</sup> – valor relativamente superior ao encontrado: 1,98 t ha<sup>-1</sup>. Entretanto é importante ressaltar que para alcançar a biomassa de 5,19 t ha<sup>-1</sup> em Robortella (2010) são necessários 223 indivíduos, enquanto neste estudo são necessários apenas 7 para proporcionar um estoque de biomassa de 1,98 t ha<sup>-1</sup>. Esta diferença é justificada pelos menores valores de densidade básica (264 kg/m<sup>3</sup>) e DAP médio (17,2 cm) utilizados pelo autor em comparação aos adotados neste trabalho (390 kg/m<sup>3</sup> e 37,64 cm). Os resultados de ambos os trabalhos contrastam com o apresentado por Sousa *et al.* (2021), o qual quantificou a biomassa de indivíduos de *Ceiba speciosa* (A.St.-Hill.) Ravenna com 10 anos, situados no Parque Estadual Alberto Löfgren em São Paulo – SP, chegando ao valor de 5 kg

indivíduo<sup>-1</sup>. Tal valor está aquém dos 23,27 kg indivíduo<sup>-1</sup> encontrados por Robortella (2010), abaixo dos 155 kg indivíduo<sup>-1</sup> estimados por Padovan *et al.* (2017) através da equação alométrica de Higuchi *et al.* (1998) e muito abaixo da média das equações utilizadas no presente trabalho de 282,68 kg indivíduo<sup>-1</sup>. Mesmo considerando os valores médios de 12,1 Ht e 26,2 DAP para 5 exemplares da espécie, Sousa *et al.* (2021) calcularam o volume/indivíduo de 0,01529 m<sup>3</sup>, mas ao refazer os cálculos percebe-se que na realidade o volume/indivíduo é de 0,32617 m<sup>3</sup>, sugerindo equívoco de cálculo por parte dos autores.

Dentre todas as espécies presentes no SAF, as acima mencionadas tiveram impacto decisivo na desenvoltura de seus respectivos grupos ecológicos em produção de biomassa e, conseqüentemente, em estocar carbono. Aplicando-se o fator de conversão 0,5 à biomassa total a fim de obter a quantia de carbono estocado na mesma, obtiveram-se valores na ordem de 2.457,02 kg para a área total do estudo (0,16 há) e de 15.356,36 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 15):

**Tabela 15 – Carbono Estocado na Biomassa Arbórea Seca Acima do Solo por Grupo Ecológico, para a área total do estudo (0,16 há) e para 1 hectare, em toneladas.**

| GE                 | n           | t C 0,16 ha <sup>-1</sup> | n ha <sup>-1</sup> | t C ha <sup>-1</sup> |
|--------------------|-------------|---------------------------|--------------------|----------------------|
| P                  | 986         | 1,19                      | 6162,5             | 7,44                 |
| SI                 | 63          | 0,67                      | 393,75             | 4,17                 |
| ST                 | 67          | 0,50                      | 418,75             | 3,15                 |
| n/i                | 26          | 0,06                      | 162,5              | 0,39                 |
| CL                 | 34          | 0,032                     | 212,5              | 0,20                 |
| <b>Total Geral</b> | <b>1176</b> | <b>2,45</b>               | <b>7350</b>        | <b>15,35</b>         |

GE = grupo ecológico; N = número de indivíduos. Fonte: O autor (2021).

Percebe-se que o grupo das pioneiras estocou mais carbono durante o tempo de vida do SAF do que os demais grupos; em seguida o grupo das secundárias iniciais; o das secundárias tardias; e, por fim, os indivíduos não identificados apresentaram maior aporte de carbono que os indivíduos do grupo das espécies climácicas. Essa configuração reafirma o estágio inicial em que o SAF se encontra, muito devido ao grande número de indivíduos representantes do grupo das espécies pioneiras.

Resultados semelhantes foram encontrados em Floresta Ombrófila Densa com formação secundária majoritária localizada no município de Paracambi – RJ por Silva *et al.* (2018). Os autores utilizaram-se de amostras de madeira do fuste coletadas através de trado para determinar a densidade básica, a qual foi multiplicada pelo volume total com casca obtido por meio da

equação proposta por Scolforo *et al.* (2008), e compararam o estoque de carbono entre os grupos de sucessão ecológica. Seus resultados denotaram que o grupo das espécies secundárias tardias se sobressaiu dos demais, com 24,92 t C ha<sup>-1</sup>, seguido pelo grupo das pioneiras com 15,77 t C ha<sup>-1</sup> e das secundárias iniciais com 5,74 t C ha<sup>-1</sup>. O grupo das climácicas pouco colaborou no estoque, apresentando somente 0,05 t C ha<sup>-1</sup>.

Em Floresta Ombrófila Mista Montana localizada no município de Boa Ventura de São Roque - PR, com predominância de indivíduos de araucária, Watzlawick *et al.* (2014) aplicaram o método direto e não observaram diferença significativa entre os teores de carbono encontrados para os diferentes compartimentos das árvores (fuste, galhos, folhas, frutos) ao considerar-se os grupos ecológicos, mas constataram que, aplicando ao seu sítio de estudo, o fator de conversão de 0,5 na estimativa de carbono das espécies resultou em superestimativa de 14,27% no total de carbono estocado.

Quantificando o carbono estocado na biomassa arbórea de indivíduos com DAP  $\geq$  a 10 cm e área basal total de 21,62 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> na Floresta Nacional dos Patajós - PA, Aguiar *et al.* (2017) fizeram uso das equações de Lima *et al.* (2012), Nogueira *et al.* (2008), Silva (2007) e Araújo *et al.* (1999), observando que o maior estoque foi encontrado nas classes de DAP inferiores, justificando-se pelo maior número de indivíduos dessas classes, levando em conta as equações utilizadas para estimativa de biomassa.

Em quatro desenhos de SAF's multiestratificados situados no Mato Grosso do Sul de fitofisionomia de transição entre Floresta Estacional Semidecidual e Cerrado, Padovan *et al.* (2017) utilizaram a equação alométrica de Higuchi *et al.* (1998) para quantificar valores de carbono estocado na ordem de 66,8 t C ha<sup>-1</sup> a 92,3 t C ha<sup>-1</sup>, valores bem próximos e até superando ao encontrado na área testemunha constituída de mata nativa, cuja idade não foi mencionada no trabalho. É evidente que a equação de Higuchi *et al.* (1998) superestimou os valores encontrados para os SAF's, visto que além de ter sido elaborada para a floresta amazônica, originalmente esta equação não utiliza como variável a densidade básica do fuste. Essa constatação pode ser embasada ao observar que o estoque de carbono quantificado para o SAF Bananal (implantado em 2008) foi o segundo maior dentre os quatro outros modelos (implantados em 1996 e 1997) e superior ao estoque da mata nativa, provavelmente devido a elevada presença de indivíduos de bananeira. Também empregando a equação de Higuchi *et al.* (1998), Salomão *et al.* (2014) estimaram o carbono estocado em SAF com 0,5 há de área e de 5 anos de idade no município de

Dourados - MS, cujos 263 indivíduos, pertencentes a 47 espécies e distribuídos em 22 famílias, apresentaram DAP médio de 14,58 cm e Ht médio de 4,5 m, chegando ao valor de 89,54 t C ha<sup>-1</sup>.

Froufe *et al.* (2011) avaliaram o estoque de carbono no solo, serapilheira e biomassa arbórea e herbácea de SAFs e o compararam ao de capoeiras em diferentes estágios de regeneração, de sistemas agrícolas convencionais e de pastagens da região do Alto vale do Ribeira - SP e, utilizando-se da equação alométrica criada por Arevalo *et al.* (2002) para SAF's de bracatingais com sistema taungya na região sul, encontraram valores de carbono estocado na biomassa arbórea acima do solo na ordem de: 56,51 t C ha<sup>-1</sup> para capoeira com 5 anos de idade; de 31,83 t C ha<sup>-1</sup> para SAF's multiestratificados com 4 anos de idade cujo foco era produção de banana; e apenas de 7,2 t C ha<sup>-1</sup> para unidades cujos sistemas de uso da terra eram voltados à agricultura convencional (monocultura). Novamente, a utilização de equação alométrica generalista que não considere a densidade como variável componente para estimar estoque de carbono em bananeiras tenderá para a superestimativa, sendo necessária a inclusão desta variável, ou o emprego de equação específica, para resultados mais concisos. Considerando todos os compartimentos, a média do estoque total para todos os SAFs de diferentes idades (4, 8 e 16 anos) foi de 75,37 t C ha<sup>-1</sup> e para as capoeiras de idades também diferentes (5, 20 e 30 anos), foi de 115,78 t C ha<sup>-1</sup>, não havendo diferença significativa no estoque de carbono no solo para todos os sistemas.

Segundo Powlson e Jenkinson (1981), os sistemas de uso do solo não têm habilidade de modificar os estoques de carbono no solo, apenas os redistribuindo em profundidade, já que as mudanças nas quantidades de C estocado só ocorreriam em função do manejo do solo, principalmente quanto ao controle dos processos erosivos Bayer *et al.* (2006). Por sua vez, a avaliação de Froufe *et al.* (2011) do estoque de carbono presente na serapilheira das capoeiras e dos SAF's estudados determinou-os como os sistemas de uso da terra que mais estocam carbono. Destaca-se a fração do carbono estocado no solo através do compartimento representado pelos frutos, cujas médias encontradas por Froufe *et al.* (2011) foram de 0,235 t C ha<sup>-1</sup> para as áreas de capoeira (5, 20 e 30 anos) e de 0,103 t C ha<sup>-1</sup> para os SAF's multiestratificados (4, 8 e 16 anos), apesar da diversidade de espécies frutíferas ser maior nos SAF's estudados.

Os autores Azevedo *et al.* (2018) utilizaram equações alométricas de Brown (1997) para estimar a biomassa em áreas de reflorestamento com diferentes idades (3, 5 e 7 anos) e a compararam com área de Floresta Ombrófila Densa da Mata Atlântica no Rio de Janeiro,

chegando a resultados na ordem de 19,94; 22,89 e 35,62 t C ha<sup>-1</sup> para as áreas de reflorestamento e 136,68 t C ha<sup>-1</sup> para a mata nativa, corroborando a importância de espécies pioneiras na produção de biomassa em curto prazo. Segundo Brianézi (2012), apesar das florestas plantadas geralmente apresentarem maiores taxas de crescimento e incremento anual de biomassa arbórea e carbono em relação às florestas naturais, o estoque total, seja de uma floresta natural ou plantada, depende principalmente do tempo de existência desta, tendendo à direta proporcionalidade (AZEVEDO *et al.*, 2018).

Em General Carneiro - PR, Mognon *et al.* (2013) avaliaram durante uma década a dinâmica de fixação de carbono na biomassa arbórea acima do solo de parcelas permanentes de uma Floresta Ombrófila Mista Montana utilizando a equação alométrica de Ratuchne (2010) e chegaram a valores na ordem de 74,07 t C ha<sup>-1</sup> em 1999, aumentando em 2009 para 77,53 t C ha<sup>-1</sup>. Esses valores coincidem com os estoques de carbono encontrados através do método direto por Watzlawick *et al.* (2004) para o mesmo tipo florestal, próximo às parcelas permanentes de Mognon *et al.* (2013), mas em diferentes estágios sucessionais: 28,84 t C ha<sup>-1</sup> para estágio inicial; 70,24 t C ha<sup>-1</sup> para estágio médio; e 165,02 t C ha<sup>-1</sup> para o estágio avançado.

Em monoculturas florestais de *Pinus spp.* na região sul do Paraná, com espaçamento de 3 x 2 m – totalizando 1.600 árv. ha<sup>-1</sup> –, Balbinot *et al.* (2008) estimaram a biomassa arbórea acima do solo em 16,72 t C ha<sup>-1</sup> para povoamento de < 5 anos, valor próximo ao encontrado para o SAF objeto deste estudo, entretanto faz-se necessário atentar-se para a diferença de pelo menos 3 anos entre os sistemas. Para povoamentos de 12 anos de *Eucalyptus grandis* com 1.333 árv. ha<sup>-1</sup> e 10 anos de *Pinus elliottii* com 833 árv. ha<sup>-1</sup>, Oliveira *et al.* (2016) encontraram valores de carbono estocado na ordem de 172,87 e 107,87 t C ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Considerando o preço atual de 66,77 EUR do crédito de carbono (1 tonelada de CO<sub>2eq</sub>), que equivale a 3,67 vezes o valor do C estocado, o agricultor que escolhesse por esse desenho estrutural de SAF poderia comercializar, além do ganho oriundo da venda dos alimentos produzidos pelo sistema (principalmente bananas e abacates), 56 créditos de carbono por hectare ao fim de 8 anos de sistema, angariando 3.739,12 EUR, o que, convertendo para o real segundo a cotação atual (R\$ 1,00 está equivalendo a 6,22 EUR em 17/11/2021)<sup>5</sup> resultaria em R\$ 23.294,71, gerando uma renda mensal de R\$ 242,6. Este valor, para o pequeno produtor rural, pode ser

---

<sup>5</sup> <https://br.investing.com/currencies/eur-brl>

considerado expressivo e de subsídio importante para sua sobrevivência, ressaltando-se que não está incluído o carbono estocado na biomassa das raízes, que segundo Medeiros (2004), contribuem com cerca de 17% do total estocado pela árvore inteira. Desta forma, o valor total angariado seria ainda maior.

## 6 CONCLUSÕES

As espécies que mais estocaram carbono nesse desenho de SAF multiestratificado e, portanto, recomendadas para projetos semelhantes que optem por adentrar no mercado de carbono, foram respectivamente: *Solanum mauritianum* Scop. (833,10 kg), *Persea americana* Mill. (628,01 kg), *Musa paradisiaca* L. (419,99 kg) e *Carya illinoensis* (Wang.) K. (354,41 kg). Com relação à desenvoltura dos grupos de sucessão ecológica, o das espécies pioneiras foi responsável pelo maior estoque de carbono (7,44 t C ha<sup>-1</sup>), seguido pelo grupo das secundárias iniciais (4,17 t C ha<sup>-1</sup>) e pelo das secundárias tardias (3,15 t C ha<sup>-1</sup>), o que, juntamente com a análise fitossociológica, permite classificar o estágio sucessional do SAF em questão como inicial.

A estimativa da quantidade de carbono estocado (15,35 t C ha<sup>-1</sup>) pela biomassa seca arbórea acima do solo resultante da média dos valores obtidos pelo emprego das equações alométricas específicas, das equações regionais propostas por Vismara (2013) e Gusson (2014) e da equação alométrica pan-tropical de Chave *et al.* (2005) é condizente com o valor conservador calculado pela BF, todavia mais estudos são incentivados para testar a eficácia não só das equações alométricas genéricas na estimativa de biomassa e carbono estocado pelo componente arbóreo acima do solo de SAF's multiestratificados, mas também do componente das raízes e do solo, visando reconhecer o potencial dos sistemas agroflorestais em sequestrar e estocar o carbono atmosférico, facilitando, desta forma, sua inserção no âmbito de MDL para comércio de créditos de carbono (green bonds).

De forma geral, os valores de biomassa e carbono estocado encontrados neste estudo podem ser considerados conservadores por estarem aquém dos estimados por outros trabalhos na literatura. Entretanto, em termos de validade para inclusão em projetos MDL e no mercado de créditos de carbono, o esmero com a precisão e consistência das estimativas de carbono estocado são práticas incentivadas pelos órgãos regulatórios responsáveis, tornando a adoção da BF fundamental para guiar a escolha das equações alométricas mais adequadas à área de estudo.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, D. R.; GAMA, J. R. V.; BELDINI, T. P. **Estoque de carbono por grupo ecológico na Floresta Nacional do Tapajós**. Rev. Espacios, v. 38, n. 32, p. 21, 2017. ISSN 0798-1015.

ALBUQUERQUE, I., ALENCAR, A., ANGELO, C. AZEVEDO, T., BARCELLOS, F., COLUNA I., COSTA JR., C., CREMER, M., PIATTO, M. POTENZA, R., QUINTANA, G., SHIMBO, J. TSAI, D., ZIMBRES, B. **SEEG 8: Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil 1970-2019**. Observatório do Clima, 2020. Disponível em [https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Documentos%20Analiticos/SEEG\\_8/SEEG8\\_DOC\\_ANALITICO\\_SINTESE\\_1990-2019.pdf](https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Documentos%20Analiticos/SEEG_8/SEEG8_DOC_ANALITICO_SINTESE_1990-2019.pdf).

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

ANDRADE, J. C. S.; COSTA, P. **Mudança climática, protocolo de Kyoto e mercado de créditos de carbono: desafios à governança ambiental global**. Organ. Soc., Salvador, v. 15, n. 45, p. 29-45, June 2008. Available from [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1984-92302008000200002&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1984-92302008000200002&lng=en&nrm=iso). Access on 17 June 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/S1984-92302008000200002>.

ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. **Capital natural, serviços ecossistêmicos e sistema econômico: rumo a uma 'Economia dos Ecossistemas'**. Campinas: Instituto de Economia, Unicamp, 2009. 24 p. (IE/UNICAMP. Texto para discussão, 159).

AZEVEDO, A. D.; FRANCELINO, M. R.; CAMARA, R.; PEREIRA, M. G.; LELES, P. S. S. **Estoque de carbono em áreas de restauração florestal da Mata Atlântica**. Floresta, Curitiba, PR, v. 48, n. 2, p. 183-194, abr./jun., 2018. ISSN 1982-4688. DOI: 10.5380/rf.v48 i2.4447.

BALBINOT, R.; VALÉRIO, A. F.; SANQUETTA, C. R.; CALDEIRA, M. V. W.; SILVESTRE, R. **Estoque de carbono em plantações de Pinus spp. em diferentes idades no sul do estado do Paraná**. Rev. Floresta, v. 38, n. 2, Curitiba, PR, abr./jun. 2008.

BARBOSA, L. M.; SHIRASUNA, R. T.; LIMA, F. C.; ORTIZ, P. R. T.; BARBOSA, K. C.; BARBOSA, T. C. **Lista de espécies indicadas para restauração ecológica para diversas regiões do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2017. 344p.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, K. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. Soil & Tillage Research, v. 86, p. 237-245, 2006.

BERNER, R. A.; LAGASA, A. C. **Modelling the Geochemical Carbon Cycle**. Scientific American, vol 260; n° 3, março 1989.



BEZERRA, W. C. S. **Caracterização tecnológica das fibras de *Hibiscus rosa-sinensis* e sua utilização para fabricação de papel artesanal.** Monografia (Graduação) - Universidade de Brasília, 2017.

BOLFE, E. L.; FERREIRA, M. C.; BATISTELLA, M. **Biomassa epígea e estoque de carbono de agroflorestas em Tomé-Açu, PA.** Rev. Bras. de Agroecologia, v. 4, n. 2, nov. 2009.

BURGER, D. M.; DELITTI, W. B. C. **Allometric models for estimating the phytomass of a secondary Atlantic Forest area of southeastern Brazil.** Biota Neotropical, v. 8, n. 4, out.-dez.2008. Disponível:

<<http://www.biotaneotropica.org.br/v8n4/en/abstract?article+bn03308042008>>.

BUDOWSKI, G. **Distribution of tropical American rain forest species in the light of succession processes.** Turrialba, 15 (1) 40-2, 1965.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. MCTIC. Secretaria de Políticas para a Formação e Ações Estratégicas. Coordenação-Geral do Clima. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil.** Coordenação-Geral do Clima. - 5. ed. - Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2019. 71p.

BRACHTVOGEL, C.; FERNANDES, A. C. Q.; NIEDACK, L. O. C.; PEREIRA, Z. V.; PADOVAN, M. P. **Sistemas Agroflorestais Biodiversos: Potencial para Sequestro de Carbono.** Cadernos de Agroecologia, v. 13, n. 2, dez. 2018. ISSN 2236-7924.

BREWBAKER, J. L. **Diseases of maize in the wet lowland tropics and the collapse of the Classic Maya civilization.** Econ. Bot., v. 33, p.101–118., 1979.

BRIANÉZI, D. **Estocagem e compensação de carbono pelas árvores do campus – Sede da Universidade Federal de Viçosa.** Dissertação (Mestrado em Ciência florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 144 p., 2012.

BROWN, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer.** FAO Forestry Paper, v. 134, Roma, 1997. Disponível em:  
<<http://www.fao.org/3/W4095E/w4095e00.htm#Contents>>.

CALDEIRA, M. V. W. **Determinação de biomassa e nutrientes em uma floresta ombrófila mista montana em General Carneiro, Paraná.** 2003. 176p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

CAMPOS FILHO, E. M. **Guia de árvores com valor econômico.** São Paulo, Agroicone, 2015.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R. de; CERRI, C. E. P. **Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil.** Rev. Brasileira de Ciência do Solo, vol. 34, p. 277-289, 2010.

CHAVE, J.; ANDALO, C.; BROWN, S.; CAIRNS, M. A.; CHAMBERS, J. Q.; EAMUS, D.; FÖLSTER, H.; FROMARD, F.; HIGUCHI, N.; KIRA, T.; LESCURE, J. P.; NELSON, B. W.; OGAWA, H.; PUIG, H.; RIÉRA, B.; YAMAKURA, T. **Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests.** *Oecologia*, v. 145, p. 87–99, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00442-005-0100-x>>.

CHAVE, J., RÉJOU-MÉCHAIN, M., BÚRQUEZ, A., CHIDUMAYO, E., COLGAN, M.S., DELITTI, W.B., DUQUE, A., EID, T., FEARNSSIDE, P.M., GOODMAN, R.C., HENRY, M., MARTÍNEZ-YRÍZAR, A., MUGASHA, W.A., MULLER-LANDAU, H.C., MENCUCCINI, M., NELSON, B.W., NGOMANDA, A., NOGUEIRA, E.M., ORTIZ-MALAVASSI, E., PÉLISSIER, R., PLOTON, P., RYAN, C.M., SALDARRIAGA, J.G.; VIEILLEDENT, G. **Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees.** *Global Change Biology*, v. 20, maio, 2014. ISSN 3177-3190. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.12629>. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.12629>>.

CORADIN, L.; SIMINSKI, A.; REIS, A. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro – Região Sul.** 934 p., Brasília: MMA, 2011. ISBN: 978-85-7738-153-1.

CORRÊA, F. L. de O.; RAMOS, J. D.; GAMA-RODRIGES, A. C. da; MÜLLER, M. W. **Produção de serapilheira em sistema agroflorestal multiestratificado no estado de Rondônia, Brasil.** *Rev. Ciênc. agrotec.*, Lavras, v. 30, n. 6, p. 1099-1105, nov.dez., 2006.

DAJOZ, R. **Princípios de ecologia.** Murad. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005. 520 p.; 28 cm. ISBN 978-85-363-0565-3

DUARTE, E. M. G.; CARDOSO, I. M.; FÁVERO, C. **Terra Forte.** *Rev. Agriculturas*, v. 5, n. 3, set., 2008.

ENCINA, L. T.; TORRES, V. M. D. **Determinación del potencial de captura de carbono en los cultivos de plátano *Musa paradisiaca* y café *Coffea arabica*, Moyobamba, 2018.** Monografía (Graduação) – Universidad César Vallejo, Moyobamba, Perú, 2018.

FAO. **Assessing carbon stocks and modelling win–win scenarios of carbon sequestration through land-use changes.** Roma, 2014. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/007/y5490e/y5490e00.htm>>.

FERREIRA, A. L.; TSAI, D. S.; SILVA, F. B.; CREMER, M. S.; SOARES, M. Y. **Emissões dos setores de energia, processos industriais e uso de produtos.** Observatório do Clima/IEMA, 2018.

FERNÁNDEZ-NÚÑEZ, E.; RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; MOSQUERA-LOSADAA, M. R. **Carbon allocation dynamics one decade after afforestation with *Pinus radiata* D. Don and *Betula alba* L. under two stand densities in NW Spain.** *Ecol. Eng.*, 2005. v. 36. p. 876–890.

FERRETTI, A. R. **Fundamentos ecológicos para o planejamento da restauração florestal**. In: GALVÃO, A. P. M.; MEDEIROS, A. C. de S. (Ed.). *Restauração da Mata Atlântica em áreas de sua primitiva ocorrência natural*. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. p. 21-27.

FERRETTI, A. R.; KAGEYAMA, P. Y.; ARBOCS, G. F.; SANTOS, J. D.; BARROS, M. I. A.; OLIVEIRA, C. **Classificação das espécies arbóreas em grupos ecológicos para revegetação com nativas no Estado de São Paulo**. *Florestar Estatístico*, São Paulo, 1995. v. 3. n. 7, p. 73-77.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de Biometria Floresta**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. 269 p.

FOQUESATTO, C. F. **Qualidade do solo de uma agroflorestal no sudoeste do estado do Paraná**. 2017. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017.

FREITAS, C. V. M. de; SILVA, M. L. P. da. **Mudanças do Clima: Análise das Conferências que trataram do Mercado de Carbono e seus principais resultados**. *Braz. J. of Develop. Curitiba*, v. 6, n. 10, p. 75332-75342, out. 2020. ISSN 2525-8761

FROUFE, L. C. M.; RACHWAL, M. F. G.; SEOANE, C. E. S. **Potencial de sistemas agroflorestais multiestratos para sequestro de carbono em áreas de ocorrência de Floresta Atlântica**. *Pesq. Flor. Bras.*, Colombo, v. 31, n. 66, p. 143-154, abr./jun., 2011.

GATTO, D. A.; MARTINS, M. F.; CADEMARTORI, P. H. G.; STANGERLIN, D. M.; CALEGARI, L.; BELTRAME, R. **Segregação do lenho de nogueira-pecã (*Carya illinoensis*) pela variação radial da massa específica básica**. *Rev. Bras. de Ciências Agrárias*, v. 7, p.838-843, 2012. ISSN 1981-0097. DOI: 10.5039/agraria.v7isa1935

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. 2. ed. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2001. 653 p.an

GUIMARÃES, B. M. R. **Tratamento químico de partículas de pseudocaule de bananeira visando à produção de painéis aglomerados**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, 2012.

GUSSON, E. **Avaliação de métodos para a quantificação de biomassa e carbono em florestas nativas e restauradas da Mata Atlântica**. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2014.

HERNANDEZ, J. A.; MONTAÑEZ, A. G.; VANEGAS, B. G.; CARRASCAL, M. R. **Estimacion de la tasa de fijacion de carbono en el sistema agroflorestal nogal cafetero (*Cordia alliodora*) – cacao (*Theobroma cacao* L.) – plátano (*Musa paradisiaca*)**. Monografía (Graduação) - Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”, Bogotá, D.C., 2002.

HESS, A. A. **Ecologia e produção agrícola**. Florianópolis, ACARESC, 1980. 126 p.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; MINETTE, Y.B. M. **Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira.** Acta Amazônica, Manaus, v. 28, n. 2, p. 153-166, mar. 1998.

HORST, D. J.; BEHAINNE, J. J. R. **Reutilização de resíduos de madeira para produção de etanol de segunda geração, utilizando HPLC para mapeamento do tratamento com ácido nítrico diluído (HNO<sub>3</sub>) e *Saccharomyces cerevisiae*.** Rev. de Eng. e Tec., v. 4. n. 2, ago., 2012. ISSN 2176-7270.

IPCC, 2019. **2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland. 2019.

IPCC, 2021. **Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. 2021.

HOSOKAWA, R. T.; MOURA, J. B.; CUNHA, U. S. **Introdução ao manejo e economia de florestas.** Curitiba: Ed UFPR, 2008.

KUMAR, B.M.; NAIR, P.K.R. (eds.) **Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems: Opportunities and Challenges, Advances in Agroforestry.** v.8, DOI 10.1007/978-94-007-1630-8\_1, Springer Science+Business Media B.V., 2011.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas - possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado.** Rossdorf: República Federal da Alemanha: Dt. Ges. Für Techn. Zusammenarbeit, 1990.

LIEBSCH, D.; LONGHI-SANTOS, T.; GALVÃO, F.; MIKICH, S. B.; MARQUES, M. C. M. **Efeitos de um ciclone extratropical na biomassa de árvores em fragmentos de floresta com araucária.** BIOFIX Scientific Journal, v. 3, n. 1, p. 56-61, 2018. DOI: [dx.doi.org/10.5380/biofix.v3i1.57739](https://doi.org/10.5380/biofix.v3i1.57739).

MACIEL, M. N. M. **Classificação ecológica das espécies arbóreas.** Revista Acadêmica Ciência Animal, [S.l.], v. 1, n. 2, p.69-78, abr. 2003. ISSN 2596-2868. Disponível em: <https://periodicos.pucpr.br/index.php/cienciaanimal/article/view/14922/14451>. Acesso em: 23 de maio, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.7213/cienciaanimal.v1i2.14922>.

MARTELLI, A.; SÁ, L. A.; SAMUDIO, E. M. M. **Redução da biodiversidade pela proliferação de *Leucaena leucocephala* e formas de contenção e controle desenvolvidos no município de Itapira-SP.** Braz. J. Technol.,v. 3, n.1, p. 33-47, jan./mar., 2020.

MARTINELLI, L. A.; MOREIRA, M. Z.; BROWN, I. F.; VICTORIA, R. L. **Incertezas associadas às estimativas de biomassa em florestas tropicais: o exemplo de uma floresta situada no estado de Rondônia.** In: Seminário Emissão x Seqüestro de CO<sub>2</sub>. Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994. 221p.

MARTINELLI, L. A.; OMETTO, J. P. H. B.; NARDOTO, G. B.; PINTO, A. S.; ROCHA, H.; VILLELA, D. M.; MATTOS, E. A. **Primeiro Relatório de Avaliação Nacional.** Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, 2015. p.181-208.

MARTINS, C. R.; PEREIRA, P. A. P.; LOPES, W. A.; ANDRADE, J. B. **Ciclos globais de carbono, nitrogênio e enxofre: a importância na química da atmosfera.** Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, nº 5, 14 p., novembro, 2013.

MARTINS, A. P. M.; SANQUETTA, C. R.; MACHADO, S. A.; CORTE, A. P. D.; WOJCIECHOWSKI, J. **Biomassa total por indivíduo de *Araucaria angustifolia* em diferentes posições no relevo e idades.** Biofix Scientific Journal, v. 3, n. 2, p. 297-301, 2018. DOI: dx.doi.org/10.5380/biofix.v3i2.60895.

MAY, P. H.; TROVATTO, C. M. M.; DEITENBACH, G. S. F.; DUBOIS, J. C. L.; VIVAN, J. L. **Manual Agroflorestal para a Mata Atlântica.** Ministério do Desenvolvimento Agrário, 196 p., Brasília, out. 2008.

MEDEIROS, J. A. F. **Quantificação de biomassa e de carbono orgânico na regeneração natural de floresta ombrófila mista – Nova Prata, RS.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

MENDONÇA, F. **Mudanças Climáticas Globais: controvérsias, participação brasileira e desafios à ciência.** Revista Humboldt, v.1, n.2. jan-jun. 2021. ISSN 2763-5155. Disponível em: <<https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/humboldt/issue/view/2471>>. Acesso em: 24 de abril, 2021.

MIRANDA, D. L. C.; MELO, A. C. G.; SANQUETTA, C. R. **Equações alométricas para estimativa de biomassa e carbono em árvores de reflorestamentos de restauração.** Rev. Árvore, vol. 35, n. 3, pp 679-789, mai/jun. 2011. UFV, Brasil. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48819946012>>

MOGNON, F.; DALLAGNOL, F. S.; SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; BARRETO, T. G. **Uma década de dinâmica da fixação de carbono na biomassa arbórea em Floresta Ombrófila Mista no sul do Paraná.** Floresta, Curitiba, PR, v. 43, n. 1, p. 153-164, jan./mar. 2013.

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology.** New York: Willey & Sons, 1974.

NAIR, P. K. R. **An introduction to agroforestry.** Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1993.

NOGUEIRA JUNIOR, L. R.; ENGEL, V. L.; PARROTTA, J. A.; MELO, A. C. G.; RÉ, D. S. **Equações alométricas para estimativa da biomassa arbórea em plantios mistos com espécies nativas na restauração da Mata Atlântica.** *Biota Neotropica*. V. 14, n. 2, 2014. ISSN 1676-0611. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1676-06032013008413>

NUNES, H. W.; ANDRADE, A. M. **Pirólise do estipe de *Euterpe edulis* Martius (Palmitreiro).** *Rev. Floresta e Ambiente*, v. 7, n. 1, p. 217-226, jan./dez., 2000.

ODUM, E. P.; BARRET, G. W. **Fundamentos de ecologia.** São Paulo: Cengage Learning, 2011. ISBN 978-85-221-0541-0

OLIVEIRA, M.; RIL, F. L.; PERETTI, C.; CAPELLESSO, E. S.; SAUSEN, T. L.; BUDKE, J. C. **Biomassa e estoques de carbono em diferentes sistemas florestais no sul do Brasil.** *Rev. Perspectiva*, v. 40, n. 149, p. 09-20, mar. 2016.

OLIVEIRA, L. Z.; ULLER, H. F.; KLITZKE, A. R.; ELEOTÉRIO, J. R.; VIBRANS, A. C. **Towards the Fulfillment of a Knowledge Gap: Wood Densities for Species of the Subtropical Atlantic Forest.** *Data*, v. 4, n. 104, 2019. DOI: 10.3390/data4030104.

OLIVEIRA, A. C. C. de. **Sistemas agroflorestais com café: fixação e neutralização de carbono e outros serviços ecossistêmicos.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa. 130 p., Viçosa, MG, 2013.

PACHECO, M. R. P. S.; HELENE, M. E. M. **Atmosfera, fluxos de carbono e fertilização por CO<sub>2</sub>.** *Estud. av.*, São Paulo, v. 4, n. 9, p. 204-220, aug. 1990. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40141990000200010&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40141990000200010&lng=en&nrm=iso)>.

PADOVAN, M. P.; SALOMÃO, G. B.; PEREIRA, Z. V.; CARNEIRO, L. F.; FERNANDES, S. S. L. **Estoque de carbono na biomassa vegetal em sistemas agroflorestais de base agroecológica na região fronteiriça do Brasil com o Paraguai.** I Seminário Internacional de Pós-graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável. UNIOESTE, PR, 2017.

PARRON, L. M.; RACHWAL, M. F. G.; MAIA, C. M. B. de F. **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica.** Brasília, DF: Embrapa, 2015. 370 p. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/item/14>>

PEARSON, T.; WALKER, S.; BROWN, S. **Sourcebook for land use, land use change and forestry project. Winrock International and the BioCarbon Fund of the World Bank,** Washington DC, 64 p. 2005 Disponível em: <[http://www.winrock.org/ecosystems/files/winrock-biocarbon\\_fund\\_sourcebook-compressed.pdf](http://www.winrock.org/ecosystems/files/winrock-biocarbon_fund_sourcebook-compressed.pdf)>.

PEQUENO, M. V.; OLIVEIRA, T. K. de; MARQUES, J. de S. **Estrutura e composição florística de um sistema agroflorestal com fins de reflorestamento.** X Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, Cuiabá, MT, 2016.

- POWLSON, D. S.; JENKINSON, D. S. **A comparison of the organic matter, biomass, adenosine triphosphate and mineralization nitrogen contents of ploughed and diect-drilled soils.** Journal of Agricultural Science, v. 97, p. 713-721, 1981.
- RATUCHNE, L. C. **Equações alométricas para a estimativa de biomassa, carbono e nutrientes em uma floresta ombrófila.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Pós-Graduação em Agronomia, 2010.
- ROBORTELLA, H. S. **Equações de biomassa e estoques de carbono de seis espécies arbóreas em plantios mistos no noroeste do Mato Grosso.** Dissertação (Mestrado), INPA, Manaus 2010.
- ROLIM, M. B.; FERREIRA, M. **Variação da densidade básica da madeira produzida pela *Araucaria angustifolia* (Bert). O. Kuntze em função dos anéis de crescimento.** IPEF, n. 9, p. 47-55, 1974.
- RÜGNITZ, M. T.; CHACÓN, M. L.; PORRO, R. **Guia para Determinação de Carbono em Pequenas Propriedades Rurais.** 1ª ed. Belém, Brasil. Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA). 2009. 81 p.
- SALOMÃO, G. B.; FERNANDES, S. S. L.; PEREIRA, Z. V.; NASCIMENTO, J. S.; MOITINHO, M. R.; PADOVAN, M. P. **Estoque de carbono por espécies arbóreas em um sistema agroflorestal biodiverso em Dourados, Mato Grosso do Sul.** Cadernos de Agroecologia, v. 9. n. 4, nov. 2014. ISSN 2236-7934.
- SANTIN, M. F. C. L. **Os impactos da demanda por crédito de carbono sobre o mercado de certificações de reduções de emissões no Brasil, no âmbito do protocolo de Quioto.** Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.
- SANQUETTA, M.; SANQUETTA, C. R.; DURIGAN, A.; CORTE, A. P.; COUTINHO, V. **Equações de biomassa para aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolius* RADDI).** Enciclopédia Biosfera, [S. l.], v. 11, n. 22, 2015. Disponível em: <<https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/1541>>. Acesso em: 7 ago. 2021.
- SILVA, V. P. G.; MARIANO, G. V. P.; SILVA, E. L.; SANTIAGO, V. O.; VALE, V. S. **Densidade básica da madeira a 0,30 m e 1,30 m da árvore de espécies arbóreas de Cerrado.** In: Anais da Semana de Ciências Agrárias e Jornada da Pós-Graduação em Produção Vegetal, v. 15, 2018. ISSN 294-9683.
- SILVA, O. M. C.; SANTANA, L. S.; XIMENES, L. M. A. S.; SANTANA, M. S. **Comportamento da madeira de leucena (*Leucocena leucocephala* Lam.) em processos de usinagem.** Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 15, n. 27, p. 50, 2018.
- SILVA, L. C.; ARAÚJO, E. J. G.; CURTO, R. A.; NASCIMENTO, A. M.; ATAÍDE, D. H. S.; MORAIS, V. A. **Estoques de biomassa e carbono em unidade de conservação no bioma mata**

**atlântica**. Biofix Scientific Journal, v.3, n.2, p. 243-251, 2018. DOI: [dx.doi.org/10.5380/biofix.v3i2.59592](https://doi.org/10.5380/biofix.v3i2.59592).

SOTOMAYOR, M. **Determinação de biomassa aérea em florestas nativas num ambiente agrícola do Estado de São Paulo**. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2013.

SCHUMACHER, V.; WITSCHORECK, R.; CALIL, F. N.; LOPES, V. G.; VIEIRA, M. **Produção de biomassa no corte em plantio *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze de 27 anos de idade em Quedas do Iguaçu, PR**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 54-62, jan.-mar., 2011. ISSN 0103-9954. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53418579007>>. Acesso em 15/07/2021.

STOCKI, A. C. **Efeito do nível freático e da população de *Ligustrum lucidum* W.T.Aiton na dinâmica em fragmento urbano de Floresta Ombrófila Mista Aluvial**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2021.

TURNER, F. W. **O espírito ocidental contra a natureza: mito, história e as terras selvagens**. Rio de Janeiro: Campus, 1990.

UNFCCC. **Annual report of the Executive Board of the clean development mechanism to the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol, 2015**. Disponível em: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cmp11/eng/05.pdf>>. Acesso em 28/04/2020.

URBANO, E.; MACHADO, S. A.; FILHO, A. F.; KOEHLER, H. S. **Equações para estimar o peso de carbon fixado em árvores de *Mimosa scabrella* Bentham (Bracatinga) em povoamentos nativos**. Cerne, vol. 14, n. 3, jul.-set., 2008, p. 194-2003. Universidade Federal de Lavras, Brasil.

VAN NOORDWIJK, M.; RAHAYU, S.; HAIRIAH, K.; WULAN, Y. C.; FARIDA, A.; VERBIST, B. **Carbon stock assessment for a forest-to-coffee conversion landscape in Sumber-Jaya (Lampung, Indonesia): from allometric equations to land use change analysis**. Science In China (Series C), v. 45 Supp., out. 2002.

VIANI, R. A. G.; COSTA, J. C.; ROZZA, A. F.; BUFO, L. V. B.; FERREIRA, M. A. P.; OLIVEIRA, A. C. P. **Caracterização florística e estrutural de remanescentes florestais de Quedas do Iguaçu, sudoeste do Paraná**. Biota Neotrop. v. 11, n. 1, jan. / mar., 2011. Disponível em: <https://www.biotaneotropica.org.br/v11n1/pt/abstract?article+bn01911012011> ISSN 1676-0603.>

VISMARA, E. S. **Avaliação da construção e aplicação de modelos florestais de efeitos fixos e efeitos mistos sob o ponto de vista preditivo**. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2013.

VIEIRA, S. A. *et al.* **Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest**. Biota Neotrop. v. 8, n. 2, abr. / jun., 2008.



WATZLAWICK, L. F.; CALDEIRA, M. V. W.; VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; GODINHO, T. O.; BALBINOT, R. **Estoque de biomassa e carbono na Floresta Ombrófila Mista Montana Paraná**. Sci. For., Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 353-362, set. 2012.

WATZLAWICK, L. F.; MARTINS, P. J.; RODRIGUES, A. L.; EBLING, A. A.; BALBINOT, R.; LUSTOSA, S. B. C. **Teores de carbono em espécies da Floresta Ombrófila Mista e Efeito do Grupo Ecológico**. Rev. Cerne, v. 20, n. 4, p. 613-620, 2014. DOI: 10.1590/01047760201420041492.

WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; SANQUETTA, C. R.; CALDEIRA, M. V. W. **Teores de carbono em espécies da Floresta Ombrófila Mista**. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B. Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas. Curitiba: AM Impressos, p. 95 - 109, 2004.

WENDLING, J. L. G. **Modelos matemáticos de crescimento e de produção em biomassa para árvores de *Euterpe edulis* Mart. plantadas a céu aberto**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

WILKINSON, T. J. **Environmental Fluctuations, Agricultural Production and Collapse: A View from Bronze Age Upper Mesopotamia**. In: Third Millennium BC Climate Change and Old World Collapse; Dalfes, H.N., Kukla, G., Weiss, H., Eds.; NATO ASI Series; Springer: Berlin, Germany; Heidelberg, Germany, 1997; pp. 67–106.

YADAV, R. P.; BISHT, J. K.; BHATT, J. C. **Biomass, carbon stock under different production systems in the mid hills of Indian Himalaya**. Tropical Ecology, v. 58, n. 1, p. 15-21, 2017. ISSN: 0564-3295.

YU, C. M. **Sequestro florestal de carbono no Brasil – dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas**. 2004. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

ZANETTE, V. H. **Equações alométricas de biomassa aérea para floresta ombrófila mista no Paraná**. 2017. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.