



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**DEISIANE SANTOS DA CRUZ**

**ESTOQUE DE NECROMASSA LENHOSA E MORTALIDADE DE ÁRVORES EM  
UMA FLORESTA SECUNDÁRIA NO NORDESTE PARAENSE**

BELÉM  
2024

**DEISIANE SANTOS DA CRUZ**

**ESTOQUE DE NECROMASSA LENHOSA E MORTALIDADE DE ÁRVORES EM  
UMA FLORESTA SECUNDÁRIA NO NORDESTE PARAENSE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador: Prof.<sup>o</sup> Dr. Fabiano Emmert  
Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Lina Bufalino  
Coorientador: Prof.<sup>o</sup> Dr Rodrigo Geroni

BELÉM  
2024

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

---

- C955e Cruz, Deisiane Santos da  
ESTOQUE DE NECROMASSA LENHOSA E MORTALIDADE DE ÁRVORES EM UMA FLORESTA SECUNDÁRIA NO NORDESTE PARAENSE / Deisiane Santos da Cruz. - 2024.  
86 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Ciências Florestais (PPGCF), Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2024.  
Orientador: Prof. Me. Fabiano Emmert  
Coorientador: Prof. Dr. Lina Bufalino; Rodrigo Geroni Mendes Nascimento.
1. Inventário florestal. 2. Floresta secundária. 3. Necromassa. 4. Densidade. 5. Mortalidade. I. Emmert, Fabiano, *orient.* II. Título
-

**DEISIANE SANTOS DA CRUZ**

**ESTOQUE DE NECROMASSA LENHOSA E MORTALIDADE DE ÁRVORES EM  
UMA FLORESTA SECUNDÁRIA NO NORDESTE PARAENSE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em ciências Florestal da Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

08 de agosto de 2024  
DATA DA APROVAÇÃO

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. Dr. Fabiano Emmert – Orientador  
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Lina Bufalino – Coorientador  
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

---

Prof. Dr. Rodrigo Geroni – Coorientador  
Universidade Prof. Dr. Federal Rural da Amazônia – UFRA

---

Dr<sup>ª</sup> Michelliny Pinheiro de Matos Bentes – 1º Examinador  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA

---

Prof. Dr. Sueo Numazawa – 2º Examinador  
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

---

Dr. Deusdedit Cruz Filho – 3º Examinador  
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente e infinitamente, gostaria de agradecer a Deus, eu não seria nada sem você, meu amado, Jesus. Para sempre Totus Tuus.

Meu agradecimento especial é para minha vovozinha (Nazaré), ela que deixou de viver seus próprios sonhos para viver para os meus.

Aos meus pais, Djalma e Marilene por todo apoio durante todos esses anos. Muito obrigada por acreditarem no meu sonho.

Aos amigos do laboratório, em especial a Marina Mell por todo acreditar nessa pesquisa fazendo parte do seu desenvolvimento como minha primeira “orientada”, obrigada pela paciência e apoio, principalmente por ouvir minhas reclamações diária (rs) durante esse processo.

Aos amigos que foram realizar a coleta de dados comigo: Leandro Nascimento, Camila Mainardi, Lucas Viana, Amanda Silva, Lucas Lima, vocês foram incríveis, obrigada por encarar a famigerada FEIGA, vulgo “No limite”.

Aos meus orientadores do mestrado: Lina Bufalino, por ceder seu laboratório para as análises; Rodrigo Geroni, pelos conselhos e puxões de orelhas e especial ao Fabiano Emmert por toda paciência e amizade que teve comigo durante os 4 anos que fiquei sob sua orientação. Sou imensamente grata por todas os seus conselhos e orientações, com certeza levei para minha vida pessoal e profissional.

Ao Laboratório de Mensuração e Manejo dos Recursos Florestais (LABFOR) por todo o suporte que me foi dado para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais (PPGCF), por me proporcionar condições para o desenvolvimento dessa pesquisa.

À Paula Pinheiro, secretária do PPGCF, por estar sempre disposta a nos ajudar, fazendo o possível para resolver nossas demandas.

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

À Fazenda Escola de Igarapé – Açú e aos colaboradores que muito auxiliaram durante a execução da pesquisa.

“Põe um motivo sobrenatural na tua atividade profissional de cada dia, e terás santificado o trabalho.” (São Josemaria Escrivá)

## RESUMO

A mortalidade das árvores é um processo importante nos ecossistemas florestais e está associado à dinâmica do povoamento. Esse componente florestal desempenha um papel importante nos ciclos biogeoquímicos, especialmente no do carbono. Apesar da importância, ainda existem lacunas sobre as respostas da mortalidade de árvores na comunidade e no ecossistema e como os processos geradores ocorrem em florestas secundárias. Nesse sentido, surgiram as seguintes perguntas: de que forma a ponderação da densidade básica da madeira, considerando diferentes classes de decomposição, influencia a estimativa do estoque de necromassa? E o que pode explicar a morte das árvores da comunidade nessa região? Com o intuito de compreender melhor esses fenômenos, o estudo objetivou estimar a necromassa estocada no reservatório lenhoso do material em decomposição, utilizando a densidade básica da madeira como indicador, e investigar como as árvores estão morrendo em um fragmento de floresta secundária no município de Igarapé-Açu no nordeste paraense. Para atingir este objetivo, este trabalho foi dividido em dois capítulos. O primeiro capítulo abordou a necromassa arbórea em uma floresta secundária na Amazônia e o segundo investigou possíveis explicações para a morte das árvores na comunidade e analisa o comportamento delas dentro do sítio. O experimento foi conduzido na Fazenda Escola de Igarapé – Açu e para a mensuração dos indivíduos arbóreos (galhos e árvores), foram instalados 30 conglomerados em layout cruz de malta. Os resultados obtidos para o primeiro capítulo mostraram que estatisticamente não há diferença significativa na estimativa da necromassa com a ponderação da densidade básica, porém, os dados desta variável sofreram uma diminuição com o aumento da decomposição. Já o segundo capítulo apontou que não houve influência na incidência de madeira morta devido aos modos de morte e à distância da borda, mas é significativa nas classes de decomposição e direção de queda. Em resumo, o estudo contribui para o entendimento da dinâmica dos povoamentos florestais secundários, pois a mortalidade das árvores e a decomposição da necromassa são processos importantes para o ciclo do carbono e outros ciclos biogeoquímicos. Além disso, esse estudo pode servir de base para estudos futuros.

**Palavras – chave:** Amazônia, Floresta secundária, Necromassa, Dinâmica florestal, Densidade básica da madeira, Fatores bióticos e abióticos.

## ABSTRACT

Tree mortality is an important process in forest ecosystems and is associated with stand dynamics. This forest component plays an important role in biogeochemical cycles, especially carbon cycles. Despite its importance, there are still gaps in the community and ecosystem responses to tree mortality and how the processes that generate it occur in secondary forests. In this sense, the following questions have arisen: how does the weighting of basic wood density, considering different decomposition classes, influence the estimation of necromass stock? And what can explain the death of the community's trees in this region? In order to better understand these phenomena, the study aimed to estimate the necromass stored in the woody reservoir of decomposing material, using basic wood density as an indicator, and to investigate how trees are dying in a fragment of secondary forest in the municipality of Igarapé-Açu in northeastern Pará. To achieve this objective, this work was divided into two chapters. The first chapter looked at tree necromass in a secondary forest in the Amazon and the second investigated possible explanations for the death of trees in the community and analyzed their behavior within the site. The experiment was conducted at the Fazenda Escola de Igarapé - Açu and 30 conglomerates were set up in a Maltese cross layout to measure tree individuals (branches and trees). The results obtained for the first chapter showed that statistically there was no significant difference in the estimate of necromass with the weighting of basic density; however, the data for this variable decreased as decomposition increased. The second chapter pointed out that there was no influence on the incidence of dead wood due to the modes of death and distance from the edge, but it was significant in the decomposition classes and direction of fall. In summary, the study contributes to understanding the dynamics of secondary forest stands, as tree mortality and necromass decomposition are important processes for the carbon cycle and other biogeochemical cycles. Furthermore, this study can serve as a basis for future studies.

**Keywords:** Amazonia, Secondary forest, Necromass, Forest dynamics, Basic wood density, Biotic and abiotic factors



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### CONTEXTUALIZAÇÃO

**Figura 1** – Localização da área de estudo em fragmento de floresta secundária na Fazenda Escola de Igarapé Açu.....20

#### CAPÍTULO 1

**Figura 1** – Imagens ilustrativas de layout em cruz de malta com suas respectivas direções cardeais dos conglomerados utilizados na área de estudo.....40

**Figura 2** – Imagens representativas dos critérios de inclusão da necromassa florestal no inventário, onde: indivíduos inclusos (A), (B) e (C); indivíduos não inclusos (D) e (E) ..... 40

**Figura 3** – Classificação tátil-visual dos indivíduos em três classes de decomposição, onde: classe inicial (A); Classe média (B); classe avançada (C) .....41

**Figura 4** – Método de medição do diâmetro, com o auxílio da suta (A), e comprimento, com o uso da trena de caixa aberta, (B) dos indivíduos inventariados na área de estudo.....42

**Figura 5** – Imagens ilustrativas da retirada dos discos de madeira nos indivíduos mortos e do processo para a obtenção da densidade básica da madeira, onde: Coleta em campo (A), decarcação para corte (B), corte das cunhas (C), saturação das amostras em água destilada (D), volume pelo método de arquimed (E) e sacagem das amostras em estufa (F) .....44

**Figura 6** – Distribuição da frequência do número de necromassa por classes diamétricas (cm) e Volume médio ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ ) estimado de madeira morta caída por classe diamétrica e por tipo de necromassa, galhos (G) e árvores (A), na área de estudo. .... 48

**Figura 7** – Estoque de necromassa médio por hectare pela ponderação da densidade básica em um fragmento florestal secundário da Amazônia, onde: classe I representa o estoque pela média geral da densidade básica da literatura, II pela densidade geral dos indivíduos da área de estudo e III pela densidade pela ponderação das classes de decomposição .....49

#### CAPTULO 2

**Figura 1** – Método de medição do diâmetro, com o auxílio da suta (A), e comprimento, com o uso da trena de caixa aberta, (B) dos indivíduos inventariados na área de estudo.....67

**Figura 2** – Modos de morte dos indivíduos encontrados na área de estudo: Árvore com raiz exposta (A); Árvores quebradas (B). .....68

**Figura 3** – Classificação tátil-visual dos indivíduos em três classes de decomposição: inicial (A); média (B); avançada (C) .....69

<b>Figura 4</b> – Descrição do método para identificar a direção de queda dos indivíduos mortos na área de estudo, localizada na Fazenda Escola de Igarapé – Açu. .....	70
<b>Figura 5</b> – Distribuição das frequências de diâmetro (a) e comprimento (m) por Galhos (G) e Árvores (A). .....	72
<b>Figura 6</b> – Distribuição diamétrica (a) e de comprimento (b) por modo de morte do número de indivíduos inventariados na área de estudo, onde raiz exposta (RE); árvore quebrada (AQ). .....	73
<b>Figura 7</b> – Direção de queda das árvores caídas (a); distribuição de tamanhos por direção de queda para classe de diâmetro (cm) (b) e classe de comprimento (m) (c) .....	74
<b>Figura 8</b> – Distribuição das classes de diâmetro (cm) (a) e classe de comprimento (m) (b) por classe de decomposição na área de estudada. Onde: classe de decomposição: Inicial (IN); Média (ME); Avançada (AV) .....	75
<b>Figura 9</b> – Representação gráfica da correlação entre a frequência de árvores mortas (n) e a distância da borda (m) nos conglomerados em um fragmento florestal secundário.....	75

**LISTA DE TABELA**  
**REVISÃO DE LITERATURA**

**Tabela 1** – Tabela resumo dos materiais consultados para o desenvolvimento dessa pesquisa .....27

**CAPÍTULO 1**

**Tabela 1**– Classificação das classes de ponderação para o cálculo de necromassa na área de estudo.....46

**Tabela 2**– Estatísticas descritivas do inventário por conglomerados em estágio único pelas proporções do material lenhoso morto caído na área de estudo.....47

**Tabela 3** – Densidades básica e teor de umidade da literatura e por classe de decomposição da área de estudo.....48

**Tabela 4** – Lista de espécies e suas densidades básica da madeira da área de estudo encontradas na literatura.....57

**LISTA DE QUADROS**  
**CAPÍTULO 2**

**Quadro 1** – Ficha de campo.....84

## LISTA DE SIGLAS

ANOVA – Análise de variância

AQ – Árvore quebrada

AV – Avançado

C – Carbono

CD – Classe de decomposição

D<sub>j</sub> – densidade em cada classe de decomposição j em g.cm<sup>-3</sup>, obtida por meio de coletas em campo e procedimentos laboratoriais do projeto

EQ – Equação

FEIGA – Fazenda Escola de Igarapé-Açu

GEE – Gases do efeito estufa

GPS – Sistema de posicionamento global

IN – Inicial

LE – Literatura

LTPF – Laboratório De Tecnologia de Produtos Florestais

ME – Médio

M<sub>s</sub> – Massa da madeira seca, em g

RE – Raiz exposta

UFRA – Universidade Federal Rural da Amazônia

V<sub>v</sub> – Volume verde ou saturado, em cm<sup>3</sup>

## SUMÁRIO

<b>1 CONTEXTUALIZAÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>1.1 Estrutura da dissertação</b> .....	<b>18</b>
<b>1.2 Perguntas científicas e hipóteses</b> .....	<b>18</b>
<b>1.3 Objetivos</b> .....	<b>19</b>
<i>1.3.1 Geral:</i> .....	19
<i>1.3.2 Específicos:</i> .....	19
<b>1.4 Caracterização da área de estudo</b> .....	<b>20</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>21</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>25</b>
<b>2.1 Florestas secundárias</b> .....	<b>25</b>
<b>2.2 Processo de fragmentação: efeito de borda em florestas</b> .....	<b>26</b>
<b>2.3 Mortalidade de árvores</b> .....	<b>27</b>
<b>2.4 Necromassa Florestal</b> .....	<b>28</b>
<b>2.5 Densidade básica da madeira</b> .....	<b>30</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>32</b>
<b>DETERMINAÇÃO DO ESTOQUE DE NECROMASSA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA NO NORDESTE PARAENSE, BRASIL</b> .....	<b>37</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>39</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODO</b> .....	<b>40</b>
<b>2.1 Método e processo de amostragem</b> .....	<b>40</b>
<b>2.2 Critérios de inclusão</b> .....	<b>41</b>
<b>2.3 Classes de decomposição de campo</b> .....	<b>42</b>
<b>2.4 Volume florestal</b> .....	<b>43</b>
<b>2.5 Teor de umidade e densidade básica da madeira</b> .....	<b>44</b>
<b>2.6 Cálculo da necromassa</b> .....	<b>46</b>
<b>2.6 Análise de dados</b> .....	<b>47</b>
<i>2.6.1 Estatísticas do inventário florestal</i> .....	47
<i>2.6.2 Estatísticas das densidades</i> .....	48
<i>2.6.3 Estimativas de necromassa</i> .....	48
<b>3 RESULTADOS</b> .....	<b>48</b>
<b>3.1 Estatística do inventário</b> .....	<b>48</b>
<b>3.2 Densidade básica da necromassa</b> .....	<b>50</b>

3.3 Estoque de necromassa .....	51
4 DISCUSSÃO .....	52
5 CONCLUSÃO.....	54
REFERÊNCIAS .....	54
APÊNDICE .....	59
<b>TAMANHOS DE ÁRVORES E MODOS DE MORTE EM UMA FLORESTA SECUNDÁRIA NO NORDESTE DO PARÁ, BRASIL .....</b>	<b>65</b>
1 INTRODUÇÃO .....	67
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	68
2.1 Método de amostragem .....	68
2.2 Distribuição de tamanhos (galhos e árvores) da madeira morta .....	68
2.3 Modos de morte .....	69
2.4 Classes de decomposição .....	70
2.5 Direções de queda .....	71
2.6 Efeitos de borda .....	72
2.7 Análise de dados .....	72
2.7.1 Distribuição de tamanhos.....	72
2.7.2 Classe de decomposição e modo de morte .....	73
2.7.3 Direção de queda .....	73
2.7.4 Efeito de borda .....	73
3 RESULTADOS .....	74
4 DISCUSSÃO .....	78
5 CONCLUSÃO.....	80
REFERÊNCIAS .....	80
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	85
APÊNDICE .....	86

## 1 1 CONTEXTUALIZAÇÃO

2 A mudança climática combinada com o aumento da pressão humana representa uma  
3 ameaça significativa para as florestas em todo o mundo (Neumann *et al.*, 2017; Klein e  
4 Hartmann, 2018). Esses fatores estão associados ao aumento de perturbações e secas extremas  
5 nas áreas florestais (Zuleta *et al.*, 2022), resultando em um aumento da mortalidade das árvores  
6 (Barbosa *et al.*, 2017). No entanto, muitas lacunas ainda existem sobre o entendimento de como  
7 a mortalidade das árvores ocorre, e boa parte delas é devido a variação da mortalidade ao longo  
8 do tempo e do espaço (Arellano *et al.*, 2019). Detectar as alterações na taxa de mortalidade se  
9 tornou cada vez mais importante para proporcionar informações valiosas para a compreensão  
10 de como as florestas estão reagindo às pressões exercidas pelas ações humanas (Mcmahon *et*  
11 *al.*, 2019). Na Amazônia estudar os processos envolvidos na mortalidade ganha grande  
12 importância nas florestas secundárias amazônicas, que desempenham um papel crucial na  
13 regulação e equilíbrio do carbono e na preservação da biodiversidade (Elias *et al.*, 2020).

14 As florestas secundárias estão cada vez mais presentes no bioma amazônico brasileiro  
15 e são importantes mecanismos para reduzir as emissões líquidas de carbonos (Smith *et al.*,  
16 2020). Essa vegetação é o resultado dos processos sucessionais que ocorrem após o uso total  
17 ou parcial da floresta primária, principalmente, pelas atividades da agricultura e/ou pecuária  
18 (Costa, 2004; Salomão *et al.*, 2012). Essas áreas possuem um alto potencial para o sequestro de  
19 carbono, sendo mitigador climático devido ao seu rápido crescimento e múltiplos benefícios  
20 para a conservação da biodiversidade e a geração serviços ecossistêmicos (Chazdon *et al.*,  
21 2016). Além disso, as árvores presentes nesses ecossistemas continuam desempenhando papéis  
22 fundamentais mesmo após sua morte, contribuindo para o estoque de detritos lenhosos que  
23 atuam em diversos processos biológicos nas florestas, servindo de habitat para animais,  
24 substratos para as plantas e como armazenamento de carbono em madeira morta ou necromassa  
25 (Harmon *et al.*, 1986; Palace *et al.*, 2012).

26 A necromassa constitui-se de materiais de diferentes origens, incluindo árvores caídas  
27 ou em pé, galhos e pedaços de troncos (Brown, 1997). Embora frequentemente associada a  
28 árvores mortas, a necromassa também pode ser proveniente de galhos de árvores ainda vivas  
29 que se desprendem e se acumulam acima do solo (Nordén *et al.*, 2004; Svensson *et al.*, 2014).  
30 Esses fenômenos ocorrem principalmente devidos a eventos climáticos que ocasionam danos  
31 nas copas das árvores, que resulta no desprendimento dos galhos (Reis *et al.*, 2022). A presença



32 desses materiais influência nos processos do ecossistema florestal, que inclui aqueles  
33 relacionados ao habitat, ao fluxo de energia e à água (Harmon, 2021). O fluxo de energia  
34 presente no ecossistema depende do processo de decomposição desse material lenhoso, já que  
35 a concentração de carbono da necromassa pode diminuir significativamente com a  
36 decomposição da madeira (Chao *et al.*, 2017).

37 O processo de decomposição da madeira pode mudar ao longo do tempo, tornando  
38 desafiadora a compreensão dos efeitos da biodiversidade na putrefação da madeira (Gessner *et*  
39 *al.*, 2010). Isso ocorre devido à influência de vários fatores, como a atividade microbiana,  
40 temperatura, umidade, diâmetro do detrito e componentes da madeira, bem como compostos  
41 químicos, sendo a densidade básica da madeira um dos fatores mais significativos (Zhou *et al.*,  
42 2007). Já que a densidade básica da madeira tende a diminuir à medida que o grau de  
43 decomposição aumenta (Moreira *et al.*, 2019; Shorohova *et al.*, 2022). Embora a mortalidade e  
44 seus desdobramentos sejam componentes essenciais na dinâmica florestal, desempenhando um  
45 papel crucial nos ciclos biogeoquímicos e na composição das florestas (Franklin *et al.*, 1987),  
46 eventos de mortalidade em grande escala podem ter um impacto negativo no fornecimento de  
47 serviços ecossistêmicos e na conservação da biodiversidade (Cardinale *et al.*, 2012).

48 Estudos comprovam que a mortalidade de árvores pelo mundo vem crescendo (Allen *et*  
49 *al.*, 2010; Mcdowell *et al.*, 2020). Um dos principais motivos desse aumento é a mudança  
50 climática, que afeta principalmente a temperatura e a precipitação e vem ocasionando mais  
51 frequentes eventos extremos (IPCC, 2023), deixando vulneráveis não apenas as árvores de  
52 grande porte, como também, os de pequenos portes (Taccoen *et al.*, 2021). Embora esses  
53 eventos afetem a estrutura e a composição das florestas, prever com precisão como, onde e  
54 quando a mudança climática se manifestará na mortalidade das árvores ainda é um desafio  
55 (Chao *et al.*, 2010). Isso reforça a necessidade de inventários florestais para reconhecimento,  
56 quantificação e monitoramento com foco na mortalidade de árvores (Fontes *et al.*, 2018).

57 Ainda pouco explorado, estudos que busquem compreender a dinâmica do estoque da  
58 necromassa e sua influência no balanço de carbono são muito importantes nas florestas tropicais  
59 devido as extensas áreas e tamanhos dos estoques (Gora *et al.*, 2019) Portanto, analisar a  
60 mortalidade das árvores é fundamental para compreender como a mudança climática afeta a  
61 estrutura da comunidade e a produtividade dos ecossistemas na Amazônia, subsidiando  
62 iniciativas de manejo florestal. Nessa pesquisa, a mortalidade foi abordada de maneira  
63 abrangente, permitindo o registro e a obtenção de atributos das árvores que morreram  
64 recentemente ou há um tempo maior. Esses atributos foram utilizados para identificar como as

65 árvores estão morrendo e compreender o impacto que a dinâmica do povoamento tem no  
66 estoque de necromassa por em uma floresta secundária na Amazônia.

67

### 68 **1.1 Estrutura da dissertação**

69 Esta dissertação está estruturada em dois capítulos e se ambienta na mesma área de estudo  
70 (Figura 1), dessa forma a caracterização da mesma se encontra na sessão da contextualização  
71 desta dissertação. O primeiro capítulo abordou o estoque na necromassa arbórea em uma  
72 floresta secundária na Amazônia, considerando a ponderação da densidade básica da madeira  
73 das árvores mortas na área de estudo para a estimativa da necromassa. O segundo capítulo  
74 investigou possíveis explicações para a morte das árvores na comunidade e analisa o  
75 comportamento delas dentro do sítio. Estas duas investigações são norteadas por duas perguntas  
76 científicas e duas hipóteses abaixo:

77

### 78 **1.2 Perguntas científicas e hipóteses**

79 Em florestas secundárias, que ganham cada vez mais importância multidimensional no  
80 contexto do uso da terra na Amazônia, ainda há muito a se estudar sobre como elas vem  
81 funcionando e respondendo às condições ambientais atuais, especialmente como componente  
82 ligado ao balanço do carbono com um considerável reservatório de carbono no contexto da  
83 mudança do clima. Identificar e desentrelaçar como os fatores estão agindo é fundamental para  
84 construir o conhecimento de como as florestas secundárias funcionam biologicamente. Nesse  
85 sentido, esta pesquisa buscou iniciar os estudos sobre a mortalidade de árvores em florestas  
86 secundárias, abrindo frente para aprofundamentos científicos.

87 Desenvolver procedimentos adequados para estimar o estoque de biomassa florestal é  
88 fundamental para compreender o funcionamento das florestas. O método de estimativa da  
89 necromassa de um povoamento a partir da amostragem por interceptação e com o uso da  
90 densidade básica da madeira (Pearson e Brown, 1997), pode trazer essas informações. Porém,  
91 a dificuldade implícita no método está em definir o valor de densidade básica, pois será  
92 encontrado na literatura e provavelmente não será vindo do local de estudo e/ou baseado na  
93 média das densidades das árvores vivas. Isso torna-se um problema quando consideramos que,  
94 com o processo de decomposição da madeira, a densidade tende a diminuir (Moreira *et al.*,  
95 2019; Shorohova *et al.*, 2022). Dessa forma, a pergunta e hipótese que norteiam o primeiro  
96 capítulo é:

97 *Q1: De que forma a ponderação da densidade básica da madeira, considerando diferentes*  
 98 *classes de decomposição, influencia a estimativa do estoque de necromassa?*

99 *H0: A necromassa é estimada a partir da densidade básica média das árvores morta, sem*  
 100 *a necessidade de ponderar o estoque do reservatório em classes de decomposição.*

101 A mortalidade das árvores decorre da interação das características do indivíduo, da espécie  
 102 e da associação com as condições do sítio (Franklin *et al.*, 1987; Chao *et al.*, 2008). Inerente ao  
 103 indivíduo, a morte depende de características idiossincráticas e genéticas e dos fatores bióticos  
 104 e abióticos que estão agindo na árvore. Quanto à espécie, a mortalidade depende das  
 105 características genéticas e evolutivas e do crescimento da população, além de condições  
 106 endógenas e alógenas impostas ao sítio. Sobre o sítio, a disponibilidade de fatores limitantes do  
 107 crescimento, as características geográficas do sítio e o regime de perturbações determinam os  
 108 eventos de mortalidade de árvores. O problema é que a interação entre todos os fatores é  
 109 complexa e pode ser específica para cada floresta, levando em consideração o legado que a  
 110 comunidade e o ecossistema experimentam ao longo do tempo. Dessa forma, a pergunta  
 111 científica e hipótese nula que se declara para o segundo capítulo é:

112 *Q2: O que pode explicar a morte das árvores da comunidade nessa região?*

113 *H0: A frequência observada de árvores mortas caídas distribui-se uniformemente ou sem*  
 114 *relação com as variáveis qualitativas e geográficas.*

115

### 116 **1.3 Objetivos**

#### 117 *1.3.1 Geral:*

118 Quantificar a necromassa estocada no reservatório lenhoso do material em  
 119 decomposição, utilizando a densidade básica da madeira como parâmetro e investigar como as  
 120 árvores estão morrendo em um fragmento de floresta secundária no município de Igarapé-Açu  
 121 no nordeste Paraense.

122

#### 123 *1.3.2 Específicos:*

124 **Capítulo 1:** Estimar a necromassa estocada no reservatório lenhoso do material em  
 125 decomposição, utilizando a densidade básica da madeira como indicador.

- 126 • Quantificar o número de árvores caídas pelo sistema de amostragem;
- 127 • Determinar a densidade básica da madeira das árvores em diferentes estágios de
- 128 decomposição no fragmento florestal;

- 129       • Quantificar o estoque de necromassa do fragmento considerando a variação dos valores  
130       de densidade básica da madeira.
- 131       • Identificar como as árvores estão morrendo.

132

133   **Capítulo 2:** Investigar como as árvores estão morrendo em um fragmento de floresta secundária  
134 no município de Igarapé-Açu no nordeste Paraense.

- 135       • Determinar as características individuais de tamanho, modo de morte e classe de  
136       decomposição das árvores caídas;
- 137       • Obter as características geográficas por meio do ângulo azimutal de direção de queda  
138       da árvore e da distância da borda, da distribuição espacial das árvores caídas no  
139       fragmento florestal.

140

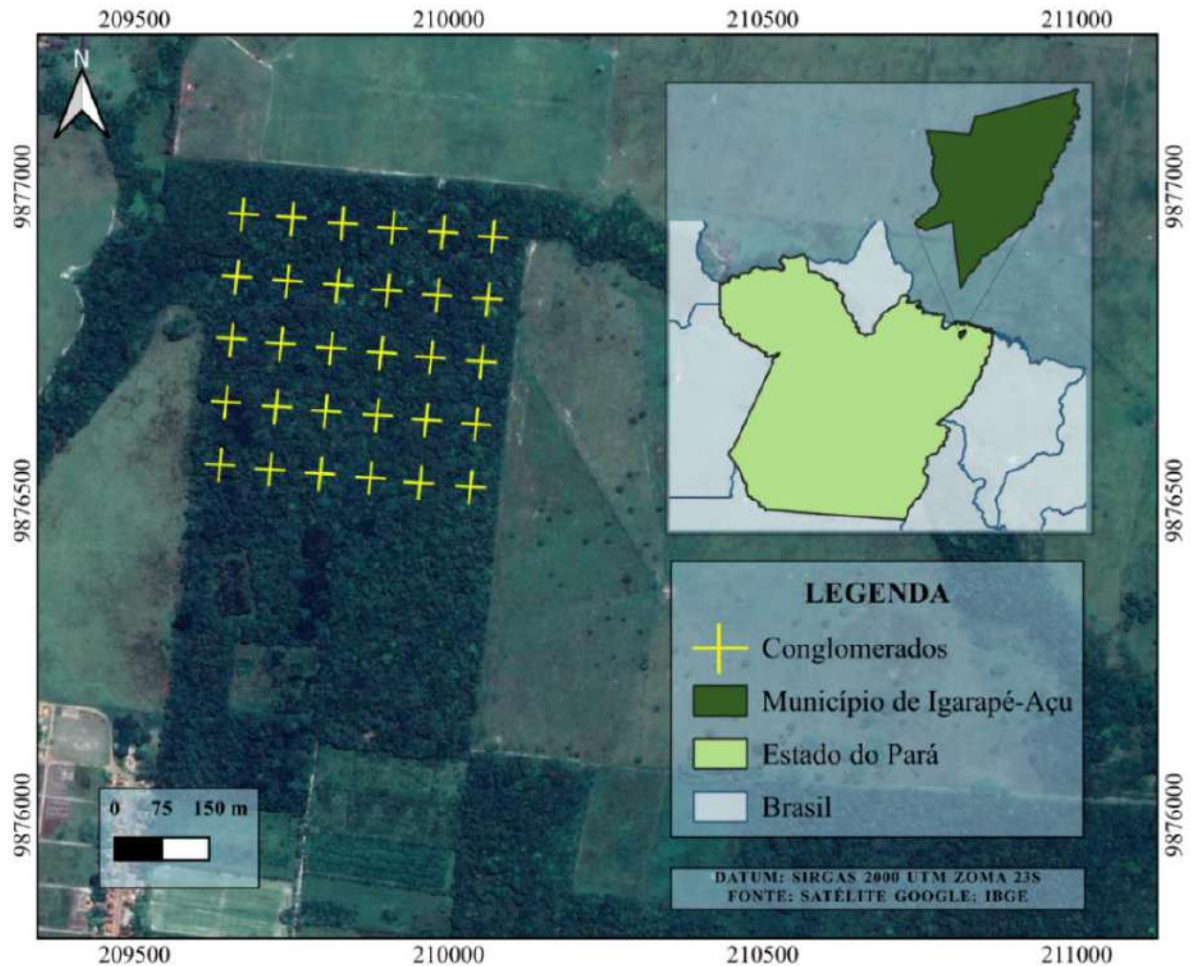
#### 141   **1.4 Caracterização da área de estudo**

142       O estudo foi realizado em uma floresta secundária localizada na Fazenda Escola de Igarapé-  
143 Açú (FEIGA) da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), município de Igarapé-Açu  
144 (zona bragantina) na Zona Bragantina do Estado do Pará (Figura 1). De acordo com Köppen, o  
145 clima do local é do tipo Am (Alvares *et al.*, 2013), com precipitação média anual de 2500 mm  
146 e temperaturas mínima e máxima de 21,4 °C e 32,2 °C, respectivamente. A umidade relativa  
147 do ar tem média anual de 85% (Pachêco *et al.*, 2005). Os solos que predominam o município  
148 de Igarapé-Açu são o latossolo amarelo de textura média e o solo concrecionários lateríticos  
149 nas terras firmes (Fonseca, 2019). Com relevo caracterizado como plano e suave ondulado,  
150 exhibe vertentes longas que não ultrapassam a dez graus (10°) (Da Silva *et al.*, 2009). A cobertura  
151 da vegetação original é floresta ombrófila densa (IBGE, 2023), mas poucas áreas de florestas  
152 maduras ocorrem na região e a maioria das florestas são secundárias em consequência dos  
153 intensos processos de ocupação e das atividades produtivas (Denichl e Kanashiro, 1995). A  
154 Fazenda Escola de Igarapé-Açu (FEIGA) fica localizada a cerca de 91 km de Belém, no  
155 município de Igarapé-Açu, nordeste do Pará. A Fazenda foi implantada com o objetivo de  
156 melhorar a qualidade de ensino dos acadêmicos de graduação e pós-graduação da instituição, a  
157 área foi cedida pelo ministério da agricultura para a então Faculdade de Ciências Agrárias  
158 (FCAP) em 1984 e em 14 de maio de 1984 a doação foi publicada no Diário Oficial da União  
159 (UFRA, 2021).

160

161

162 Figura 1 – Localização da área de estudo em fragmento de floresta secundária na Fazenda Escola de  
 163 Igarapé-Açu.



164

165 Fonte: A autora (2024).

## 166 REFERÊNCIAS

167 ALLEN, Craig D. *et al.* A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals  
 168 emerging climate change risks for forests. **Forest ecology and management**, v. 259, n. 4, p.  
 169 660-684, 2010.

170 ALVARES, Clayton Alcarde *et al.* Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil.  
 171 *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, pág. 711-728, 2013.

172 ARELLANO, Gabriel *et al.* Crown damage and the mortality of tropical trees. **New**  
 173 **Phytologist**, v. 221, n. 1, p. 169-179, 2019.

174 BARBOSA, R. I.; CASTILHO, C. V.; PERDIZ, R. O.; DAMASCO, G.; RODRIGUES, R.;  
 175 FEARNSIDE, P. M. Decomposition rates of coarse woody debris in undisturbed Amazonian  
 176 seasonally flooded and unflooded forests in the Rio Negro-Rio Branco Basin in Roraima,  
 177 Brazil. **For. Ecol. Manag.** 2017.

178 BROWN, Sandra. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. Food  
 179 e Agriculture Org., 1997.

- 180 CARDINALE, Bradley J. *et al.* Biodiversity loss and its impact on humanity. **Nature**, v. 486,  
181 n. 7401, p. 59-67, 2012.
- 182 CHAO, Kuo-Jung *et al.* Carbon concentration declines with decay class in tropical forest woody  
183 debris. **Forest Ecology and Management**, v. 391, p. 75-85, 2017.
- 184 CHAO, Kuo-Jung *et al.* Growth and wood density predict tree mortality in Amazon  
185 forests. **Journal of Ecology**, v. 96, n. 2, p. 281-292, 2008.
- 186 CHAO, Kuo-Jung *et al.* Vegetation dynamics of a lowland rainforest at the northern border of  
187 the paleotropics at Nanjenshan, southern Taiwan, v. 25, n. 1, p. 29-40, 2010.
- 188 CHAZDON *et al.* Carbon sequestration potential of second-growth forest regeneration in the  
189 Latin American tropics. **Sci. Adv.** 2016.
- 190 CHAZDON *et al.* Carbon sequestration potential of second-growth forest regeneration in the  
191 Latin American tropics. **Sci. Adv.** 2016.
- 192 COSTA, F. de A. Path dependency e a transformação agrária do bioma amazônico: o sentido das  
193 capoeiras para o desenvolvimento. *Novos Cadernos NAEA*, v. 7, n.2, p.111-158. 2004.
- 194 DA SILVA, Benedito Nelson Rodrigues *et al.* Solos das mesobacias hidrográficas dos igarapés  
195 São João e Cumaru, municípios de Marapanim e Igarapé Açu. In: **CONGRESSO**  
196 **BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**. 2009.
- 197 ELIAS, Fernando *et al.* Assessing the growth and climate sensitivity of secondary forests in  
198 highly deforested Amazonian landscapes. **Ecology**, v. 101, n. 3, p. e02954, 2020.
- 199 FALCETTA, F.M. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC): ferramenta  
200 de mitigação da crise climática ou perpetuador da hegemonia?. 2023.
- 201 FONSECA, A. I. T. **Laudo hidrogeológico para construção de poço tubular**. Prefeitura de  
202 Igarapé-Açu, 2017.
- 203 FONTES, Clarissa G.; CHAMBERS, Jeffrey Q.; HIGUCHI, Niro. Revealing the causes and  
204 temporal distribution of tree mortality in Central Amazonia. **Forest Ecology and**  
205 **Management**, v. 424, p. 177-183, 2018.
- 206 FRANKLIN, Jerry F.; SHUGART, Herman H.; HARMON, Mark E. Tree death as an  
207 ecological process. **BioScience**, v. 37, n. 8, p. 550-556, 1987.
- 208 GESSNER, Mark O. *et al.* Diversity meets decomposition. **Trends in ecology e evolution**, v.  
209 25, n. 6, p. 372-380, 2010.
- 210 GORA, Evan M. *et al.* Dead wood necromass in a moist tropical forest: stocks, fluxes, and  
211 spatiotemporal variability. **Ecosystems**, v. 22, p. 1189-1205, 2019.
- 212 HARMON, Mark E. The role of woody detritus in biogeochemical cycles: past, present, and  
213 future. **Biogeochemistry**, v. 154, n. 2, p. 349-369, 2021.
- 214 IBGE. (2022). **Censo Demográfico 2022: Resultados Preliminares do Universo - Brasil**.  
215 Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/igarape-acu/panorama>Acesso em: 12 de  
216 setembro de 2023.

- 217 KLEIN, Tamir; HARTMANN, Henrik. Climate change drives tree mortality. **Science**, v. 362,  
218 n. 6416, p. 758-758, 2018.
- 219 MCDOWELL, Nate G. *et al.* Pervasive shifts in forest dynamics in a changing world. **Science**,  
220 v. 368, n. 6494, p. eaaz9463, 2020.
- 221 MCMAHON, Sean M.; ARELLANO, Gabriel; DAVIES, Stuart J. The importance and  
222 challenges of detecting changes in forest mortality rates. **Ecosphere**, v. 10, n. 2, p. e02615,  
223 2019.
- 224 MOREIRA, Andréa B.; GREGOIRE, Timothy G.; DO COUTO, Hilton Thadeu Z. Wood  
225 density and carbon concentration of coarse woody debris in native forests, Brazil. **Forest**  
226 **Ecosystems**, v. 6, p. 1-10, 2019.
- 227 NEUMANN, Mathias *et al.* Climate variability drives recent tree mortality in Europe. **Global**  
228 **change biology**, v. 23, n. 11, p. 4788-4797, 2017.
- 229 NORDÉN, Björn *et al.* Dead wood in semi-natural temperate broadleaved woodland:  
230 contribution of coarse and fine dead wood, attached dead wood and stumps. **Forest Ecology**  
231 **and Management**, v. 194, n. 1-3, p. 235-248, 2004.
- 232 PACHÊCO, N. A.; BASTOS, T. X. Boletim agrometeorológico 2004 Igarapé-Açu, PA.  
233 Embrapa Amazônia Oriental-Documentos (INFOTECA-E), 2005.
- 234 PALACE, Michael *et al.* A review of above ground necromass in tropical forests. **Tropical**  
235 **forests**, p. 215-252, 2012.
- 236 REIS, Simone M. *et al.* Climate and crown damage drive tree mortality in southern Amazonian  
237 edge forests. **Journal of Ecology**, v. 110, n. 4, p. 876-888, 2022.
- 238 SALOMÃO, R. P.; VIEIRA, I. C. G.; BRIENZA JÚNIOR, S.; AMARAL, D.D. Sistema  
239 Capoeira Classe: uma proposta de sistema de classificação de estágios sucessionais de florestas  
240 secundárias para o estado do Pará. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat., Belém, v. 7, n.  
241 3, p. 297-317, set.-dez. 2012.
- 242 SHOROHOVA, Ekaterina *et al.* Coarse woody debris density and carbon concentration by  
243 decay classes in mixed montane wet tropical forests. **Biotropica**, v. 54, n. 3, p. 635-644, 2022.
- 244 SMITH, Charlotte C. *et al.* Secondary forests offset less than 10% of deforestation-mediated  
245 carbon emissions in the Brazilian Amazon. **Global Change Biology**, v. 26, n. 12, p. 7006-7020,  
246 2020.
- 247 SVENSSON, Måns *et al.* Dead branches on living trees constitute a large part of the dead wood  
248 in managed boreal forests, but are not important for wood-dependent lichens. **Journal of**  
249 **Vegetation Science**, v. 25, n. 3, p. 819-828, 2014.
- 250 TACCOEN, Adrien *et al.* Climate change impact on tree mortality differs with tree social status.  
251 **Forest Ecology and Management**, v. 489, p. 119048, 2021.
- 252 UNIVERSIDADE FERERAL RURAL DA AMAZÔNIA. Em comemoração aos 70 anos de  
253 ufra, vamos relembra 70 fatos importantes sobre a **trajetória da primeira rural do norte do**  
254 **país: A fazenda escola de Igarapé-Açu (FEIGA)**. Belém, 2021.  
255

- 256 ZHOU, Li *et al.* Review on the decomposition and influence factors of coarse woody debris in  
257 forest ecosystem. **Journal of Forestry Research**, v. 18, n. 1, p. 48-54, 2007.
- 258 ZULETA, Daniel *et al.* Individual tree damage dominates mortality risk factors across six  
259 tropical forests. **New Phytologist**, v. 233, n. 2, p. 705-721, 2022.



## 260 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 261 2.1 Florestas secundárias

262 Segundo o Conama (1994), as florestas secundárias são o resultado dos processos de  
263 sucessão natural, que ocorrem logo após o uso total ou parcial da vegetação primária por ações  
264 antrópicas, ou naturais. As ações antrópicas nas florestas tropicais incluem a pecuária,  
265 agricultura, mineração, hidrelétricas e abertura de estradas, extração de madeira e o fogo, cada  
266 um apresenta impacto vegetativo diferente (Canteral *et al.*, 2022). Popularmente, ao longo do  
267 tempo, muitos nomes surgiram para indicar os estágios da vegetação secundária, os termos  
268 indicam principalmente a percepção da dinâmica da estrutura vegetativa no local. Os principais  
269 nomes encontrados na literatura são: Quiçassa, Juquira, Masega, Capoeirinha, Capoeira e  
270 Capoeirão (Salomão *et al.*, 2022). Em suma, as florestas secundárias estão em um processo de  
271 regeneração, em diversos estágios sucessionais e a sucessão secundária estará completa quando  
272 alcança uma comunidade mais complexa, diversa e estável (Klein, 1980; Kageyama e Castro,  
273 1989; Cordeiro *et al.*, 2017).

274 A regeneração florestal ocorre principalmente após o abandono de áreas agrícolas  
275 devido à perda da sua produtividade (Chazdon, 2013). A sucessão é o processo gradual de  
276 mudança na composição de espécies, estrutura da comunidade e características físicas que  
277 ocorrem em resposta a distúrbio em uma comunidade biológica (Primack e Rodrigues, 2006).  
278 A recuperação de um ecossistema cria condições que garantem a reprodução e a diversidade  
279 genética de sua população (Kageyama e Gandara, 2003; Oliva *et al.*, 2018). Pois, a riqueza de  
280 espécies aumenta rapidamente nos estágios iniciais de sucessão (Elias *et al.*, 2020). Essa  
281 recuperação é determinada principalmente por fatores intrínsecos, como a característica de solo,  
282 tempo de abandono da área e o histórico de uso do solo (Barros *et al.*, 2020). Em decorrência  
283 do seu crescimento, as florestas secundárias são altamente produtivas, importantes para mitigar  
284 a mudança do clima (Poorter *et al.*, 2016).

285 Na região amazônica, as áreas em que ocorre a maior formação de capoeiras são as de  
286 pousio no sistema de corte e queima e no abandono de áreas de pastagens (Pereira e Vieira,  
287 2001). Essas formações de vegetação desempenham diversos serviços tanto ambiental como  
288 também social, como, por exemplo, na econômica, fornecendo produtos e subprodutos, sendo  
289 fonte de renda para pequenos agricultores (Dourojeanni, 1990). Além disso, essas formações  
290 naturais são uma estratégia eficaz e de baixo custo para aumentar a cobertura vegetal, a

291 biodiversidade e a estrutura do solo em uma área antes degradada (Chazdon e Guariguata,  
292 2016).

293

## 294 **2.2 Processo de fragmentação: efeito de borda em florestas**

295 Os fragmentos florestais decorrem de um processo de mudança da paisagem (Fahrig,  
296 2003), principalmente atribuído a modificações antrópicas no uso e ocupação da terra (Pires *et*  
297 *al.*, 2006). Esse processo consiste na redução ou divisão de áreas florestais em duas ou mais  
298 partes (Shafer, 1990). A fragmentação florestal pode resultar em mudanças na biodiversidade e  
299 no funcionamento da comunidade remanescente (Turner, 1996). Sendo o desmatamento o  
300 principal propulsor das causas da perda global de biodiversidade (Haddad *et al.*, 2015). A  
301 fragmentação florestal inevitavelmente cria bordas, desencadeando transformações nos  
302 sistemas biológicos, ocasionadas em grande parte por efeitos de borda (Rodrigues e  
303 Nascimento, 2006).

304 Os efeitos de borda desempenham um papel de destaque no contexto da fragmentação,  
305 possuindo grande potencial de influenciar a organização das áreas remanescente, resultando na  
306 exposição a diversas condições climáticas, como a diminuição da umidade do ar, aumento da  
307 temperatura, além de uma maior suscetibilidade aos ventos. Isso pode leva a uma diminuição  
308 na diversidade de espécies dentro dos remanescentes florestais (Pires *et al.*, 2006). Além disso,  
309 esses efeitos podem ser influenciados por fatores externos, como o uso do solo no entorno dos  
310 fragmentos. Em ambiente como pastagem, por exemplo, são frequentemente sujeitos a  
311 incêndios, que causam perturbação recorrentes na área (Broadbent *et al.*, 2008).

312 As mudanças ecológicas nos fragmentos florestais são fortemente influenciadas pelos  
313 efeitos de borda (Laurance *et al.*, 2018). Contudo, a vulnerabilidade também está relacionada  
314 ao tamanho e à localização do fragmento na paisagem (Kapos, 1989). Em paisagens com maior  
315 cobertura florestal, a preservação e a sobrevivência tendem a ocorrer com maior frequência,  
316 enquanto fragmentos menores tendem a ser mais suscetíveis a impactos externos (Schaadt *et*  
317 *al.*, 2015). É importante destacar que dentro dos remanescentes, os efeitos variam de forma  
318 irregular (Laurance *et al.*, 1998). Compreender o impacto da fragmentação florestal na  
319 biodiversidade e nas respostas ecológicas é uma questão central no campo da biologia da  
320 conservação (Fahrig *et al.*, 2019).

321 Na Amazônia, o desmatamento associado ao uso da terra tem levado a criação de  
322 mosaicos de fragmentos florestais (Barros e Fearnside, 2016). Apesar de não serem diretamente  
323 causadas pela fragmentação, as florestas secundárias, frequentemente, resultado da regeneração

324 de áreas desmatadas, se apresentam como pequenas ilhas de habitat, cercadas por uma paisagem  
325 dominada por atividades agrícolas e sistemas de uso da terra (Macarthur e Wilson 2001). Com  
326 isso, atualmente, as florestas secundárias estão isoladas de outras paisagens florestais (Smith *et*  
327 *al.*, 2020). Dessa forma, gerir as florestas remanescentes em paisagens fragmentadas, tanto para  
328 a conservação das espécies como para o funcionamento dos ecossistemas, requer uma  
329 compreensão detalhada das interações entre os vários fatores (Hartzog *et al.*, 2019).

330

### 331 **2.3 Mortalidade de árvores**

332 A dinâmica do ecossistema é uma característica básica que mantém o equilíbrio  
333 florestal, preservando sua estrutura e sua composição ao longo do tempo. As interações entre  
334 os processos de regeneração, crescimento e mortalidade são fundamentais para isso (Dajoz,  
335 2006; Colpini *et al.*, 2010). A mortalidade é um processo importante e complexo nos  
336 povoamentos florestais, além da redução no volume de biomassa em pé, a morte das árvores  
337 também pode aumentar o crescimento dos indivíduos residuais, estabelecer a regeneração e  
338 alterar as propriedades do solo (Ruel e Gardiner, 2019). Dessa forma, a mortalidade é um  
339 componente importante que controla o desenvolvimento e a produtividade florestal (Valkonen  
340 *et al.*, 2020). Para Lee (1971), a mortalidade pode ser caracterizada como regular e irregular. A  
341 mortalidade regular refere-se a morte dos indivíduos pela competitividade por luz, água e  
342 nutriente, geralmente, no período inicial do seu desenvolvimento. Já a mortalidade irregular se  
343 dá por danos de insetos, doenças, vento, fogo e outras ações humanas.

344 Os eventos de mortalidade também trazem sinais sobre a saúde dos ecossistemas  
345 florestais (Trumbore *et al.*, 2015). Pois servem como indicadores das condições biológicas e  
346 auxiliam na compreensão de como as florestas tropicais estão funcionando e respondendo às  
347 pressões exercidas por ações antrópicas (Carey *et al.*, 1994). A mortalidade pode estar ligada a  
348 fatores de origens global ou locais como, seca, aumento da temperatura, condutividade  
349 hidráulica, capacidade fotossintética e aumento da exposição a patógenos/pragas (Dyer *et al.*,  
350 2012; Arellano *et al.*, 2019). Quando se estuda o indivíduo isolado, as mortes das árvores podem  
351 ser por causas internas (efeitos genéticos ou fisiológicos) e externas (distúrbios ou causas  
352 ambientais) (Gavrilov e Gavrilova, 2001). Além disso, as espécies diferem em suas respostas a  
353 essas condições (Wright *et al.*, 2010).

354 A mudança global aumenta a ocorrência de fatores ambientais, que podem resultar no  
355 aumento da mortalidade de árvores nas florestas pelo mundo (Mcdowell *et al.*, 2018). Uma das  
356 principais ameaças para a sobrevivência das árvores é o aumento da temperatura, pois

357 intensifica a seca atmosférica, a seca nos solos e o efeito do estresse térmico (IPCC, 2014).  
358 Diante desse cenário, inúmeros estudos estão surgindo para identificar possíveis causas de  
359 morte das árvores nas florestas. O estudo desenvolvido por Stovall *et al.* (2019), demonstrou  
360 que a seca exerce maior influência na mortalidade nas árvores de maior porte. Na pesquisa  
361 desenvolvida por Hartmann *et al.* (2022), na qual buscou identificar os riscos da mudança  
362 climática para a saúde da floresta, também ficou evidente que os componentes florestais se  
363 tornam mais sucessivos à mortalidade em ambientes mais quentes e com seca extrema.

364 No trabalho de Magnabosco Marra *et al.* (2018), foi observado que a severidade dos  
365 ventos controla a dinâmica da biomassa/carbono ao longo do tempo nas florestas Amazônia.  
366 Outros fatores também estão sendo analisados para detectar a mortalidade, como no estudo de  
367 Arellano *et al.* (2019), no qual identificou que os danos nas copas ajudam a explicar o aumento  
368 da probabilidade de morte dos indivíduos florestais. Na pesquisa de Zuleta *et al.* (2022), foi  
369 proposto um ranking dos fatores de risco de mortalidade de árvores em florestas tropicais.  
370 Sendo este fundamental para pesquisas futuras, possibilitando o avanço no entendimento sobre  
371 mortalidade de árvores.

372

#### 373 **2.4 Necromassa Florestal**

374 A necromassa é definida como a biomassa morta presente nos ecossistemas florestais,  
375 que inclui árvores caídas e em pé, galhos e pedaços de troncos (Brown, 1997). Sendo subdivida  
376 em duas categorias: liteira fina, que inclui as folhas, gravetos e galhos finos com diâmetro  
377 inferior a 2 cm e a liteira grossa, com galhos e tronco com diâmetros maiores ou igual a 2 cm  
378 (Pauletto, 2006). A necromassa caída geralmente está presente em maior quantidade em relação  
379 a em pé nas florestas maduras, porém a quantidade total é variável dependendo de fatores como,  
380 idade do povoamento, estrutura da floresta, regime das perturbações e o clima no local (Gora  
381 *et al.*, 2014; Pfeifer *et al.*, 2015; Carlson *et al.*, 2017).

382 Para os ecossistemas florestais, a necromassa possui diversas funcionalidades, atuando  
383 no estoque de carbono, na ciclagem dos nutrientes (Esquivel-Muelbert *et al.*, 2020; Dalagnol *et*  
384 *al.*, 2021), como hábitat para organismos como invertebrados, répteis e pequenos mamíferos,  
385 pode ser considerada substrato para germinação e crescimento de espécies vegetais (Harmon *et*  
386 *al.*, 1986), exercendo um papel importante como indicador da qualidade do habitat,  
387 especialmente para invertebrados (Alexander, 2004; Lassauce *et al.*, 2011), dessa forma a  
388 necromassa acaba moldando a biodiversidade (Piaszczyk *et al.*, 2022). Sua classificação em  
389 níveis de decomposição com base nos levantamentos de campo tem sido utilizada para melhorar

390 a quantificação dessa biomassa morta nas florestas (Harmon *et al.*, 1995; Eaton e Lawrence,  
 391 2006). Alguns estudos atuais demonstram a importância dessa classificação e estão realizando  
 392 o levantamento do estoque de necromassa de acordo com a classificação da decomposição do  
 393 material lenhoso. Porém poucas pesquisas estão sendo realizadas nas florestas secundárias  
 394 amazônicas, como se pode observar na tabela a seguir:

395 Tabela 1– Tabela resumo dos materiais consultados para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Item	Título do trabalho	Área de estudo	Tipo	Referências
1	Estoque de madeira morta ao longo de um gradiente altitudinal de Mata Atlântica no nordeste do estado de São Paulo	Mata Atlântica no estado de São Paulo	Dissertação	Viega, (2010).
2	Conversion from forests to pastures in the Colombian Amazon leads to differences in dead wood dynamics depending on land management practices	Florestas primárias da Amazônia colombiana.	Artigo científico	Navarrete <i>et al.</i> (2016).
3	Necromassa lenhosa e carbono em florestas no centro-sul, Sudeste e centro ocidental paranaense	Centro-sul, Centro ocidental e Sudeste Paranaense	Dissertação	Oliveira, (2017).
4	Dead Wood Necromass in a Moist Tropical Forest: Stocks, Fluxes, and Spatiotemporal Variability	Floresta tropical madura e úmida no Panamá	Artigo científico	Gora <i>et al.</i> (2019).
5	Wood density and carbon concentration of coarse woody debris in native forests, Brazil	Mata Atlântica brasileira e floresta estacional tropical	Artigo científico	Moreira <i>et al.</i> (2019)
6	Necromass Carbon Stock in a Secondary Atlantic Forest Fragment in Brazil	Fragmento secundário de Mata Atlântica no Brasil	Artigo científico	Villanova <i>et al.</i> (2019).
7	Propriedades físico-químicas e dinâmica da necromassa em floresta estacional semidecidual	Fragmento de floresta secundária de Mata Atlântica	Tese	Villanova, (2021).
8	A simple concept for estimating deadwood carbon in forests	Florestas austríacas.	Artigo científico	Neumann <i>et al.</i> (2023).
9	Determinação do volume de resíduos lenhosos pelo método das linhas interceptadoras na Amazônia brasileira	Floresta madura na Amazônia brasileira	Dissertação	Nunes, (2023)
10	Impacts of a severe storm on carbon accumulation in coarse woody debris within a secondary	Fragmento secundário de Mata Atlântica	Artigo científico	Villanova <i>et al.</i> (2024)

	Atlantic Forest fragment in Brazil			
--	---------------------------------------	--	--	--

396 Fonte: A autora (2024).

397

398 Existem inúmeras técnicas para quantificar os detritos florestais, que incluem métodos  
399 diretos (destrutivos) e indiretos (não destrutivos). Essas técnicas podem determinar a  
400 quantidade da necromassa, sendo este importante para a compreensão dos ecossistemas.  
401 (Watzlawick *et al.*, 2021). A sua quantificação requer uma metodologia que facilite a sua  
402 medição, nesse cenário os transectos ou linhas de interceptação são aceitáveis para essa  
403 finalidade (Cardoso *et al.*, 2013). Outro fator que pode facilitar sua medição, são trazidos por  
404 estudos recentes realizados por meio de imagens de aeronave remotamente pilotada (ARP) e  
405 dados de campo, como de Peixoto (2022), que se associar o número de clareiras com o número  
406 de árvores mortas e área aberta, conseqüentemente maior necromassa será produzida.

407

## 408 **2.5 Densidade básica da madeira**

409 A densidade básica da madeira é uma característica física importante e complexa que resulta  
410 da combinação de diversos fatores, incluindo dimensão das fibras, espessura da parede celular,  
411 volume dos vasos e parênquimas, proporção entre madeira do cerne e albúrnio e arranjo dos  
412 elementos anatômicos (Foelkel *et al.*, 1971). Além disso, apresentam variação entre família,  
413 gênero, entre espécies do mesmo gênero, bem como variar longitudinalmente e radialmente em  
414 toda a árvore (Baker *et al.*, 2004; Chave *et al.*, 2006). As características físicas são de grande  
415 importância para a indústria, uma vez que essas características influenciam no processo  
416 tecnológico da industrialização e é um parâmetro de avaliação da qualidade da madeira  
417 (Bonduelle *et al.*, 2015). Além disso, quando se relaciona com a biomassa morta, é uma  
418 característica que determina a rapidez com que a decomposição pode ocorrer na floresta (Wu  
419 *et al.*, 2020).

420 A densidade básica tende a diminuir à medida que a classe de decomposição aumenta  
421 (Moreira *et al.*, 2019; Shorohova *et al.*, 2022). Essa diminuição se deve a redução da massa e o  
422 aumento do volume, devido ao afrouxamento das fibras em decorrência da decomposição  
423 (Harmon *et al.*, 1995). Com isso, o teor de umidade aumenta, visto que quanto maior a  
424 quantidade de água, menor a quantidade dos outros elementos químicos da madeira - celulose,  
425 hemicelulose e lignina (Foelkel *et al.* 1971). Essa redução pode variar de acordo com a região,  
426 a espécie, as vias de decomposição e a posição e tipo da madeira (em pé, caída e galhos)  
427 (Harmon, 2021). Os estudos sobre densidade da madeira, redução de massa e concentração de

428 carbono por classes de decomposição em florestas tropicais são escassos (Martin *et al.*, 2021).  
429 Assim, Shorohova *et al.* (2022) resalta a importância de mais pesquisas para entender as  
430 possíveis fontes de variação nos efeitos da degradação e na concentração de C nas florestas. Já  
431 que a concentração de carbono da necromassa pode diminuir significativamente com a  
432 decomposição da madeira (Chao *et al.*, 2017).

433 Os detritos florestais são fontes de biodiversidade e são elementos importantes nos  
434 componentes florestais, principalmente para as propriedades do solo (Piaszczyk *et al.*, 2019).  
435 Assim como, é também uma fração considerável do estoque de carbono (C) do ecossistema,  
436 respondendo cerca de 20% do C total nas florestas (Pan *et al.*, 2011). Para o balanço do carbono  
437 global, a taxa de decomposição da madeira é um notável preditor. (Russell *et al.*, 2015). Pois  
438 determina a liberação de dióxido de carbono para o solo ou atmosfera, sendo assim, a  
439 necromassa é importante reservatório de carbono florestal (Keller *et al.*, 2004). Os detritos  
440 florestais, contribuem para a biodiversidade e o estoque de carbono, com a quantidade e a  
441 qualidade da madeira morta, logo, vem se tornando alvo cada vez mais frequentes de inventários  
442 florestais (Rajala *et al.*, 2010).

443 A quantização da densidade pode ser de dois métodos, o indireto, semidestrutivo e o  
444 direto (destrutivo), este último consiste no abate da árvore para a retirada da amostra em forma  
445 de disco, cunha ou cavaco (Nicoletti; Silva; Floriani, 2015). Sendo que pode ser apreendida de  
446 duas formas: a densidade básica e a aparente a densidade básica, que relaciona o peso da massa  
447 absolutamente seca com o volume saturado da amostra, e a densidade aparente, que relaciona a  
448 massa e o volume para a determinação das relações entre propriedade mecânicas e densidade  
449 (Foelkel *et al.*, 1971). A densidade básica é calculada entre a razão da massa seca em estufa e  
450 o volume da madeira verde ou fresca (Henry *et al.*, 2013). Os métodos mais comumente  
451 empregados na determinação do volume da madeira para assim obter a densidade são: Método  
452 de Imersão ou Balança Hidrostática, Máximo Teor de Umidade, Método de Medição Direta do  
453 Volume e Método da Flutuação. O método de imersão é o mais usado, devido ser considerado  
454 um dos mais precisos e pode ser usado para amostras com formato irregular, sendo o volume  
455 determinado pela variação de peso do líquido, em virtude da imersão da amostra de madeira  
456 (Vital, 1984).

457

458

459 **REFERÊNCIAS**

- 460 ALEXANDER, K. Revision of the Index of Ecological cContinuity as used for saproxylic  
461 beetles. *English Nature*, 2004.
- 462 ARELLANO, Gabriel *et al.* Crown damage and the mortality of tropical trees. **New**  
463 **Phytologist**, v. 221, n. 1, p. 169-179, 2019.
- 464 BAKER, Timothy R. *et al.* Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian  
465 forest biomass. **Global Change Biology**, v. 10, n. 5, p. 545-562, 2004.
- 466 BARROS, Henrique S.; FEARNSTIDE, Philip M. Soil carbon stock changes due to edge effects  
467 in central Amazon forest fragments. **Forest Ecology and Management**, v. 379, p. 30-36, 2016.
- 468 BARROS, Tássia Cristina *et al.* Natural recovery of plant species diversity in secondary forests  
469 in Eastern Amazonia: contributions to passive forest restoration. **Brazilian Journal of Botany**,  
470 v. 43, n. 1, p. 165-175, 2020.
- 471 BONDUELLE, Ghislaine Miranda *et al.* Análise da Massa específica e da retratibilidade da  
472 Madeira de *Tectona grandis* nos sentidos axial e radial do tronco. **Floresta**, v. 45, n. 4, p. 671-  
473 680, 2015.
- 474 BROADBENT, Eben N. *et al.* Forest fragmentation and edge effects from deforestation and  
475 selective logging in the Brazilian Amazon. **Biological conservation**, v. 141, n. 7, p. 1745-1757,  
476 2008.
- 477 BROWN, Sandra. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. Food  
478 e Agriculture Org., 1997.
- 479 CANTERAL, Kleve Freddy Ferreira *et al.* CLASSIFICAÇÃO DOS ESTÁGIOS  
480 SUCESSIONAIS DE FLORESTAS SECUNDÁRIAS: SISTEMA CAPOEIRA CLASSE  
481 (CAPCLAS). **FITOQUÍMICA: POTENCIALIDADES BIOLÓGICAS DOS BIOMAS**  
482 **BRASILEIROS-VOLUME 2**, v. 2, n. 1, p. 12-35, 2022.
- 483 CARDOSO, Denise Jeton *et al.* Determinação do comprimento ótimo de transectos para  
484 estimativa de necromassa floresta. 2013.
- 485 CAREY, E. V.; BROWN, S.; GILLESPIE, A. J. R.; LUGO, A. E. Tree mortality in mature  
486 lowland tropical moist and tropical lower montane moist forests of Venezuela. **Biotropica**,  
487 Lawrence, v. 26, n. 3, p. 255-265. 1994.
- 488 CARLSON, Ben S. *et al.* Deadwood stocks increase with selective logging and large tree  
489 frequency in Gabon. **Global Change Biology**, v. 23, n. 4, p. 1648-1660, 2017.
- 490 CHAVE, Jérôme *et al.* Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456  
491 neotropical tree species. **Ecological applications**, v. 16, n. 6, p. 2356-2367, 2006
- 492 CHAZDON R. L (2013). Tropical forest regeneration. *Encycl Biodivers.*  
493 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00377-4>.
- 494 CHAZDON, Robin L.; GUARIGUATA, Manuel R. Natural regeneration as a tool for large-  
495 scale forest restoration in the tropics: prospects and challenges. **Biotropica**, v. 48, n. 6, p. 716-  
496 730, 2016.
- 497 COLPINI, Chirle *et al.* Incremento, ingresso e mortalidade em uma floresta de contato  
498 ombrófila aberta/estacional em Marcelândia, Estado do Mato Grosso. **Acta Amazonica**, v. 40,  
499 p. 549-555, 2010.



- 500 CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n.4, de 04 de**  
501 **maio de 1994**. Diário Oficial da União, nº 114, 17 jun. 1994. Seção 1, p. 8877-8878.
- 502 CORDEIRO, Iracema Maria Castro Coimbra *et al.* Nordeste Paraense: panorama geral e uso  
503 sustentável das florestas secundárias. 2017.
- 504 DAJOZ, R. 2006. Ecology principles. Artmed, Porto Alegre. 519 pp. (in Portuguese).
- 505 DALAGNOL, R.; WAGNER, F. H.; GALVÃO, L. S.; STREHER, A. S.; PHILLIPS, O. L.;  
506 GLOOR, E.; ARAGÃO, L. E. Large-scale variations in the dynamics of Amazon forest canopy  
507 gaps from airborne lidar data and opportunities for tree mortality estimates. **Scientific reports**,  
508 11(1), 1-14. 2021.
- 509 DOUROJEANNI, M. J. **Amazonia, qué hacer?**. Centro de Estudios Teológicos de la  
510 Amazonia, 1990.
- 511 EATON, James M.; LAWRENCE, Deborah. Woody debris stocks and fluxes during succession  
512 in a dry tropical forest. **Forest Ecology and Management**, v. 232, n. 1-3, p. 46-55, 2006.
- 513 ELIAS, Fernando *et al.* Assessing the growth and climate sensitivity of secondary forests in  
514 highly deforested Amazonian landscapes. **Ecology**, v. 101, n. 3, p. e02954, 2020.
- 515 ESQUIVEL-MUELBERT, A *et al.* Tree mode of death and mortality risk factors across  
516 Amazon forests. **Nature communications**. 2020.
- 517 FAHRIG, Lenore. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. **Annual review of ecology,**  
518 **evolution, and systematics**, v. 34, n. 1, p. 487-515, 2003.
- 519 FOELKEL, Celso Edmundo Bochetti; BRASIL, Maria Aparecida Mourão; BARRICHELO,  
520 Luiz Ernesto George. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para  
521 coníferas e folhosas. **IPEF, Piracicaba**, v. 2, n. 3, p. 65-74, 1971.
- 522 GAVRILOV L. A, GAVRILOVA N. S. 2001. The reliability theory of aging and longevity.  
523 *Journal of Theoretical Biology* 213: 527–545.
- 524 GORA, Evan M. *et al.* Dead wood necromass in a moist tropical forest: stocks, fluxes, and  
525 spatiotemporal variability. **Ecosystems**, v. 22, p. 1189-1205, 2019.
- 526 GORA, Evan M. Patterns of coarse woody debris volume among 18 late-successional and  
527 mature forest stands in Pennsylvania1. **The Journal of the Torrey Botanical Society**, v. 141,  
528 n. 2, p. 151-160, 2014.
- 529 Harmon ME, Franklin JF, Swanson FJ, Sollins P, Gregory SV, Lattin JD, Anderson NH, Cline  
530 SP, Aumen NG, Sedell JR, Lienkamper GW, Cromack J, Cummins KW, (1986). Ecology of  
531 coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advance Ecology Restoration* 15: 133-302.
- 532 HARMON, Mark E. *et al.* Decomposition and mass of woody detritus in the dry tropical forests  
533 of the northeastern Yucatan Peninsula, Mexico. **Biotropica**, p. 305-316, 1995.
- 534 HARTMANN, Henrik *et al.* Climate change risks to global forest health: emergence of  
535 unexpected events of elevated tree mortality worldwide. **Annual Review of Plant Biology**, v.  
536 73, p. 673-702, 2022.
- 537 HARTZOG, Lionel R. *et al.* Forest fragmentation modulates effects of tree species richness and  
538 composition on ecosystem multifunctionality. **Ecology**, v. 100, n. 4, p. e02653, 2019.

- 539 IPCC. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and  
540 Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the  
541 Intergovernmental Panel on Climate Change (eds Field, C. B. *et al.*) (Cambridge University  
542 Press, 2014).
- 543 Joseph *et al.* Functional traits and the growth–mortality trade-off in tropical trees. **Ecology**, v.  
544 91, n. 12, p. 3664-3674, 2010.
- 545 KAGEYAMA, P.Y.; CASTRO, C. Sucessão secundária, estrutura genética e plantações de  
546 espécies nativas. **IPEF**, Piracicaba, n.41- 42, p. 83-93, 1989.
- 547 KAGEYAMA, Paulo; GANDARA, Flávio Bertin. Restauração e conservação de ecossistemas  
548 tropicais. Métodos de estudos em Biologia da Conservação e Manejo da Vida Silvestre (L.  
549 Cullen Jr., R. Rudran e C. Valladares-Padua, orgs.). Editora da UFPR e Fundação O Boticário  
550 de Proteção à Natureza, Curitiba, p. 383-394, 2003.
- 551 KAPOS, Valerie. Effects of isolation on the water status of forest patches in the Brazilian  
552 Amazon. **Journal of tropical ecology**, v. 5, n. 2, p. 173-185, 1989.
- 553 LASSAUCE, *et al.* Madeira morta como substituto para a biodiversidade florestal: meta-análise  
554 de correlações entre volume de madeira morta e riqueza de espécies de organismos  
555 saproxilicos. **Indicadores Ecológicos**. v. 11, n. 5, pág. 1027-1039, 2011.
- 556 LAURANCE, William F. *et al.* An Amazonian rainforest and its fragments as a laboratory of  
557 global change. **Biological reviews**, v. 93, n. 1, p. 223-247, 2018.
- 558 LAURANCE, William F. *et al.* Rain forest fragmentation and the dynamics of Amazonian tree  
559 communities. **Ecology**, v. 79, n. 6, p. 2032-2040, 1998.
- 560 LEE, Y. Predicting mortality for even-aged stands of lodgepole pine. *The Forestry Chronicle*,  
561 v. 47, n. 1, p. 29-32, 1971.
- 562 MACARTHUR, Robert H.; WILSON, Edward O. **The theory of island biogeography**.  
563 Princeton university press, 2001.
- 564 MAGNABOSCO MARRA, Daniel *et al.* Windthrows control biomass patterns and functional  
565 composition of Amazon forests. **Global Change Biology**, v. 24, n. 12, p. 5867-5881, 2018.
- 566 MARTIN, Adam R. *et al.* Carbon fractions in the world's dead wood. **Nature**  
567 **communications**, v. 12, n. 1, p. 889, 2021.
- 568 MCDOWELL, Nate *et al.* Drivers and mechanisms of tree mortality in moist tropical  
569 forests. **New Phytologist**, v. 219, n. 3, p. 851-869, 2018.
- 570 MOREIRA, Andréa B.; GREGOIRE, Timothy G.; DO COUTO, Hilton Thadeu Z. Wood  
571 density and carbon concentration of coarse woody debris in native forests, Brazil. **Forest**  
572 **Ecosystems**, v. 6, p. 1-10, 2019.
- 573 NAVARRETE, Diego *et al.* Conversion from forests to pastures in the Colombian Amazon  
574 leads to differences in dead wood dynamics depending on land management practices. **Journal**  
575 **of environmental management**, v. 171, p. 42-51, 2016.
- 576 NEUMANN, Mathias; ECHEVERRIA, Sebastian; HASENAUER, Hubert. A simple concept  
577 for estimating deadwood carbon in forests. **Carbon Management**, v. 14, n. 1, p. 2197762,  
578 2023.
- 579 NUNES, Fiana Kelly Melo *et al.* **Determinação do volume de resíduos lenhosos pelo**  
580 **método das linhas Interseptadoras na Amazônia brasileira**. 2023. Tese de Doutorado.  
581 UFRA-Campus Belém.

- 582 OLIVA, Elaine Vivian *et al.* Florística e estrutura de duas comunidades arbóreas secundárias  
583 com diferentes graus de distúrbio em processo de recuperação. **Ciência Florestal**, v. 28, p.  
584 1088-1103, 2018.
- 585 OLIVEIRA, K. A. **Necromassa lenhosa e carbono em florestas no centro-sul, sudeste e**  
586 **centro ocidental paranaense. 2017. 68 f.** 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia  
587 Florestal: Área de Concentração em Manejo Florestal) –Universidade Federal do Paraná,  
588 Curitiba.
- 589 PAULETTO, D. 2006. Estoque, produção e fluxo de nutrientes da liteira grossa em floresta  
590 submetida à exploração seletiva de madeira no noroeste do Mato Grosso. Dissertação de  
591 Mestrado. Manaus, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Brasil.
- 592 PEIXOTO, A.; S.; L.; Distribuição e geometria de clareiras em floresta da Amazônia central  
593 combinando imagens de aeronave remotamente pilotada (ARP) e dados de campo. Dissertação  
594 apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais, do Instituto  
595 Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus. 2021.
- 596 PEREIRA, C. A.; VIEIRA, I. C. G. A Importância das florestas secundárias e os impactos de  
597 sua substituição por plantios mecanizados de grãos na Amazônia. **Interciência**, v.26 n.8, p.337-  
598 341, Caracas ago. 2001.
- 599 PFEIFER, Marion *et al.* Deadwood biomass: an underestimated carbon stock in degraded  
600 tropical forests?. **Environmental Research Letters**, v. 10, n. 4, p. 044019, 2015.
- 601 PIASZCZYK, Wojciech *et al.* How habitat moisture condition affects the decomposition of fine  
602 woody debris from different species. **Catena**, v. 208, p. 105765, 2022.
- 603 PIRES, Alexandra S.; FERNANDEZ, Fernando AS; BARROS, Camila S. Vivendo em um  
604 mundo em pedaços: efeitos da fragmentação florestal sobre comunidades e populações  
605 animais. **Biologia da Conservação: Essências. São Carlos, São Paulo, Brazil**, p. 231-260,  
606 2006.
- 607 POORTER, Lourens *et al.* Biomass resilience of Neotropical secondary forests. **Nature**, v. 530,  
608 n. 7589, p. 211-214, 2016.
- 609 PRIMACK, Richard B.; RODRIGUES, Efraim. Biologia da conservação. In: **Biologia da**  
610 **conservação**. 2006. p. vii, 327-vii, 327.
- 611 Queiroz, Waldenei Travassos de. Amostragem em inventário florestal / Waldenei Travassos de  
612 Queiroz. -- Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2012.
- 613 RODRIGUES, Pablo José Francisco Pena; NASCIMENTO, Marcelo Trindade. Fragmentação  
614 florestal: breves considerações teóricas sobre efeitos de borda. **Rodriguésia**, v. 57, p. 67-74,  
615 2006.
- 616 RUEL, Jean-Claude; GARDINER, Barry. Mortality patterns after different levels of harvesting  
617 of old-growth boreal forests. **Forest Ecology and Management**, v. 448, p. 346-354, 2019.
- 618 SALOMÃO, Rafael Paiva *et al.* Estágios Sucessionais de Florestas Secundárias: Sistema  
619 Capoeira Classe (2022).
- 620 SCHAADT, Suélen Schramm; VIBRANS, Alexander Christian. O uso da terra no entorno de  
621 fragmentos florestais influencia a sua composição e estrutura. **Floresta e Ambiente**, v. 22, p.  
622 437-445, 2015.

- 623 SHOROHOVA, Ekaterina *et al.* Coarse woody debris density and carbon concentration by  
624 decay classes in mixed montane wet tropical forests. **Biotropica**, v. 54, n. 3, p. 635-644, 2022.
- 625 SMITH, Charlotte C. *et al.* Secondary forests offset less than 10% of deforestation-mediated  
626 carbon emissions in the Brazilian Amazon. **Global Change Biology**, v. 26, n. 12, p. 7006-7020,  
627 2020.
- 628 STOVALL, Atticus EL; SHUGART, Herman; YANG, Xi. Tree height explains mortality risk  
629 during an intense drought. **Nature Communications**, v. 10, n. 1, p. 4385, 2019.
- 630 TRUMBORE, S.; BRANDO, P.; HARTMANN, H. Forest health and global change. **Science**,  
631 v. 349, n. 6250, p. 814 LP – 818, 21 ago. 2015.
- 632 TURNER, Iam Marker. Species loss in fragments of tropical rain forest: a review of the  
633 evidence. **Journal of applied Ecology**, p. 200-209, 1996.
- 634 VALKONEN, Sauli; AULUS GIACOSA, Lucie; HEIKKINEN, Juha. Tree mortality in the  
635 dynamics and management of uneven-aged Norway spruce stands in southern Finland.  
636 **European Journal of Forest Research**, v. 139, n. 6, p. 989-998, 2020.
- 637 VEIGA, Larissa Giorgeti. **Estoque de madeira morta ao longo de um gradiente altitudinal**  
638 **de Mata Atlântica no nordeste do estado de São Paulo**. 2010. Tese de Doutorado. [sn].
- 639 VILLANOVA, Paulo Henrique *et al.* Impacts of a severe storm on carbon accumulation in  
640 coarse woody debris within a secondary Atlantic Forest fragment in Brazil. **Environmental**  
641 **Monitoring and Assessment**, v. 196, n. 2, p. 1-16, 2024.
- 642 VILLANOVA, Paulo Henrique *et al.* Necromass carbon stock in a secondary atlantic forest  
643 fragment in Brazil. **Forests**, v. 10, n. 10, p. 833, 2019.
- 644 VILLANOVA, Paulo Henrique. Propriedades físico-químicas e dinâmica da necromassa em  
645 Floresta Estacional Semidecidual. 2021.
- 646 Watzlawick, L. F.; Lorini, A.; Sens, T. M. Z. G.; Schran, J. A. **Conceitos e conhecimentos de**  
647 **métodos e técnicas de pesquisa científica em engenharia florestal: Análise e quantificação**  
648 **da necromassa em floresta ombrófila mista**. Ponta Grossa – Paraná. Atena. 2021. 132 p.
- 649 WU, Chunsheng *et al.* The response of coarse woody debris decomposition and microbial  
650 community to nutrient additions in a subtropical forest. **Forest Ecology and Management**, v.  
651 460, p. 117799, 2020.
- 652 ZULETA, Daniel *et al.* Individual tree damage dominates mortality risk factors across six  
653 tropical forests. **New Phytologist**, v. 233, n. 2, p. 705-721, 2022.
- 654
- 655
- 656
- 657

658 **DETERMINAÇÃO DO ESTOQUE DE NECROMASSA EM FUNÇÃO DA**  
659 **DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA NO NORDESTE PARAENSE, BRASIL**

660 **RESUMO**

661 A necromassa proveniente da dinâmica florestal desempenha um papel importante nos ciclos  
662 biogeoquímicos e do carbono, conseqüentemente, sua quantificação é essencial. Diversos  
663 métodos são empregados para sua quantificação. Corriqueiramente, a densidade básica da  
664 madeira é utilizada nessa estimativa, porém, em muitos casos é utilizado as densidades  
665 provenientes de outros estudos. Mediante a esse cenário, essa pesquisa surge com a seguinte  
666 questionamento: de que forma a ponderação da densidade básica da madeira, considerando  
667 diferentes classes de decomposição, influencia a estimativa do estoque de necromassa? Para  
668 responder o questionamento, foi realizado um inventário florestal em fragmento florestal  
669 localizado na Fazenda Escola de Igarapé-Açu – FEIGA, pertencente a Universidade Federal  
670 Rural da Amazônia – UFRA, localizada no município de Igarapé – Açu. A amostragem deste  
671 trabalho foi em conglomerado, sendo distribuídas 30 parcelas em desenho de cruz de malta.  
672 Foram quantificados os detritos florestais (árvores e galhos) acima de 5 cm de diâmetro que  
673 cruzaram as linhas do inventário. Sendo mensurados e avaliados neste trabalho, os diâmetros  
674 (cm), comprimento (m), a classe de decomposição e foram retiradas discos de madeira de 5 cm  
675 de todos os níveis de decomposição para análises da densidade básica e o teor de umidade da  
676 madeira. Para a análise estatística, o inventário foi calculado pelo método de ponderação. Os  
677 dados de densidade e necromassa foram submetidos a normalidade e homocedasticidade pelo  
678 teste de Shapiro Wilk, como não atenderam os pressupostos, foi realizado o teste de comparação  
679 de média de Kruskal – Wallis. Os resultados apontam um volume médio por hectare de 5,24  
680 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. A estatística do inventário revelou um erro relativo de 22,21%. O teste de média de  
681 Kruskal – Wallis, não apresentou significância. Os dados de densidade básica sofreram uma  
682 diminuição com o aumento da decomposição, os teores de umidades aumentaram com o  
683 aumento da densidade. Avaliando o estoque de necromassa pelas classes de ponderação da  
684 densidade houve um pequeno decréscimo quando ocorre a classificação da densidade por classe  
685 de decomposição. Dessa forma, esse estudo apresentou resultados importantes sobre uma  
686 floresta secundária, trazendo características que poderão ser usadas futuramente. Visto que, a  
687 falta de conhecimento sobre a situação da maioria das florestas secundárias amazônicas, em  
688 relação a essas variáveis é evidente, ressaltando, assim, a necessidade de mais pesquisas sobre  
689 o tema em florestas semelhantes para uma melhor compreensão.

690 **Palavras chave:** Inventário florestal, madeira em decomposição, Madeira morta, Densidade  
691 básica da madeira.

692 **DETERMINING THE STOCK OF NECROMASS AS A FUNCTION OF THE BASIC**  
693 **DENSITY OF WOOD IN NORTHEASTERN PARÁ, BRAZIL**

694  
695

**ABSTRACT**

696 Necromass from forest dynamics plays an important role in biogeochemical and carbon cycles;  
697 consequently, its quantification is essential. Several methods are used for its quantification.  
698 Commonly, the basic density of wood is used in this estimate, however, in many cases, densities  
699 from other studies are used. Given this scenario, this research arises with the following question:  
700 how does the weighting of the basic density of wood, considering different classes of  
701 decomposition, influence the estimate of the necromass stock? To answer this question, a forest  
702 inventory was carried out in a forest fragment located at the Igarapé-Açu School Farm – FEIGA,  
703 belonging to the Federal Rural University of the Amazon – UFRA, located in the municipality  
704 of Igarapé-Açu. The sampling for this work was in conglomerate, with 30 plots distributed in a  
705 Maltese cross design. Forest debris (trees and branches) over 5 cm in diameter that crossed the  
706 inventory lines were quantified. In this study, the diameters (cm), length (m), decomposition  
707 class and 5 cm wood discs were removed from all decomposition levels for analysis of basic  
708 density and moisture content of the wood. For statistical analysis, the inventory was calculated  
709 by the weighting method. The density and necromass data were subjected to normality and  
710 homoscedasticity by the Shapiro Wilk test. As they did not meet the assumptions, the Kruskal-  
711 Wallis mean comparison test was performed. The results indicate an average volume per hectare  
712 of 5.24 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. The inventory statistics revealed a relative error of 22.21%. The Kruskal-Wallis  
713 mean test did not show significance. The basic density data decreased with increasing  
714 decomposition, and moisture content increased with increasing density. Evaluating the  
715 necromass stock by density weighting classes, there was a small decrease when the density was  
716 classified by decomposition class. Thus, this study presented important results about a  
717 secondary forest, bringing characteristics that can be used in the future. Since the lack of  
718 knowledge about the situation of most Amazonian secondary forests, in relation to these  
719 variables is evident, thus highlighting the need for more research on the subject in similar forests  
720 for a better understanding.

721 **Keywords:** Forest inventory, Dead biomass, Basic density of wood.

## 722 1 INTRODUÇÃO

723 As florestas amazônicas maduras desempenham uma contribuição essencial na  
724 mitigação do clima, atuando como sumidouros de carbono. Em paralelo a elas, as florestas  
725 secundárias também possuem um papel significativo na redução da concentração dos gases do  
726 efeito estufa (GEE), devido ao seu rápido crescimento, estocam grande quantidade de carbono  
727 (Fearnside *et al.*, 2018). Estas áreas, que se encontram em expansão, ocupam uma extensão  
728 territorial cada vez maior no bioma amazônico em detrimento ao uso e ocupação da terra (FAO,  
729 1995; Pereira e Vieira, 2001; Chazdon *et al.*, 2016), tornando-se cada vez mais significativas  
730 no contexto da mudança do clima. Além do crescimento, a mortalidade (necromassa) também  
731 possui grande relevância no estoque de carbono. Pois a necromassa acima do solo pode  
732 constituir uma fração significativa dos estoques totais de carbono nas florestas tropicais,  
733 representando cerca de 10 a 20% do total (Houghton *et al.*, 2001).

734 A necromassa corresponde a elementos vegetais, como árvores mortas em pé ou caídas,  
735 galhos, tronco, entre outros (Brown, 1997). A necromassa gerada pela dinâmica de crescimento  
736 das florestas desempenham um papel importante nos ciclos biogeoquímicos e sua quantificação  
737 precisa é essencial para refletir as mudanças no estoque de carbono ao longo do tempo,  
738 reduzindo a incerteza sobre sua eficácia na mitigação das mudanças climáticas enquanto  
739 estiverem presentes no ecossistema florestal (Cornwell *et al.*, 2009; Navarrete *et al.*, 2016;  
740 Villanova *et al.*, 2019). A classificação em classes de decomposição, realizada nos  
741 levantamentos de campo tem sido aplicada para aprimorar a quantificação da biomassa morta  
742 nas florestas (Harmon *et al.*, 1995; Eaton e Lawrence, 2006). Dessa forma, estudar a  
743 necromassa no sistema é importante para a compreensão do funcionamento dos componentes  
744 florestais, proporcionando percepções sobre a velocidade e a quantidade de produção de  
745 estoque de carbono (Pauletto, 2006; Limeira *et al.*, 2020).

746 Ao realizar um inventário florestal para compreender melhor os benefícios que as  
747 florestas proporcionam em termos de serviços ecossistêmicos (Reichstein e Carvalhais, 2019),  
748 principalmente ao considerar o estoque de carbono disponível nos ecossistemas florestais. É  
749 de suma importância a integração da necromassa florestal nos cálculos, pois a omissão desse  
750 compartimento pode resultar na subestimação da quantidade real de carbono disponível no sítio  
751 (Palace *et al.*, 2008). A quantificação da necromassa nos inventários florestais e o  
752 desenvolvimento de métodos mais precisos, que facilite a medição e que seja eficiente contribui  
753 significativamente para uma compreensão melhor da participação das florestas na dinâmica de  
754 carbono e na mudança do clima (De Freitas *et al.*, 2019). Esse conhecimento é necessário para

755 o planejamento da produção florestal e tratamentos silviculturais, pois aponta informações  
756 sobre quantidades, qualidades e distribuição dos produtos florestais (Caldentey, 1995)

757 A quantificação pode evidenciar o potencial de estocagem e a ciclagem de carbono nas  
758 diferentes fases de decomposição de uma árvore. Dessa forma, sua classificação em níveis de  
759 decomposição com base nos levantamentos de campo tem sido utilizada para melhor quantificar  
760 a biomassa morta das florestas (Harmon *et al.*, 1995; Eaton e Lawrence, 2006), visando  
761 melhorar o entendimento ecológico e gestão ambiental desses sítios, diversas técnicas podem  
762 ser empregadas para essa quantificação, as mais conhecidas são denominadas de método direto  
763 (destrutivo) e indireto (não destrutivo) (Watzlawick *et al.*, 2021). No método indireto a  
764 avaliação leva em consideração a extrapolação de mensuração ao nível de parcela, tendo como  
765 variáveis de obtenção, o diâmetro, altura e a densidade da madeira (Higa *et al.*, 2014). Essa  
766 conversão da biomassa utilizando valores da densidade básica, sem a medição de campo, pode  
767 levar a erros, visto que em muitos casos são utilizados valores encontrados na literatura  
768 coletados em outros lugares (Harmon e Sexton, 1996).

769 Como supracitado, os estudos sobre o estoque da necromassa de árvores são de  
770 fundamental importância para o entendimento do papel da floresta no balanço de carbono. A  
771 quantificação pode evidenciar o potencial de estocagem e a ciclagem de carbono nas diferentes  
772 fases de decomposição de uma árvore. Dessa forma, buscou-se responder *de que forma a*  
773 *ponderação da densidade básica da madeira, considerando diferentes classes de*  
774 *decomposição, influencia a estimativa do estoque de necromassa?* A pesquisa quantificou a  
775 necromassa no reservatório lenhoso do material em decomposição no solo da floresta  
776 combinando inventário florestal e valores de densidade básica da madeira, obtidos em  
777 laboratório a partir amostras de material de campo, como parâmetros. Isso permitiu a  
778 comparação de estimativas de estoque de necromassa em função dos diferentes valores médios  
779 de densidade básica encontrados por compartimento de necromassa.

780

## 781 **2 MATERIAL E MÉTODO**

### 782 **2.1 Método e processo de amostragem**

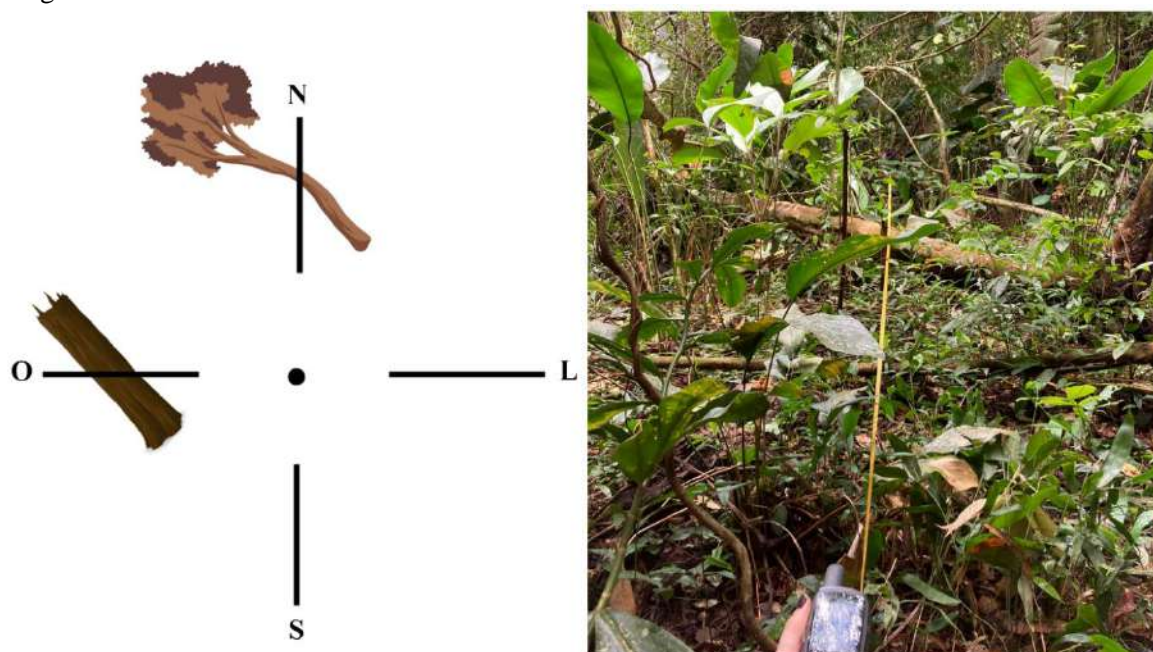
783 O método de amostragem empregado foi o da linha interceptadora e o processo de  
784 amostragem foi em conglomerados ( $n = 30$ ). O desenho das linhas interceptadoras no  
785 conglomerado segue o formato de “cruz de malta”, composto por quatro linhas de 15,71 metros  
786 cada, seguindo o mesmo tamanho de linhas utilizado por Pellico Netto *et al.* (2018). As linhas  
787 são direcionadas pelos pontos cardeais (Norte, Sul, Leste e Oeste) com o auxílio do receptor de



788 sistema de posicionamento global por satélite (GPS) no modo bússola. As árvores mortas caídas  
 789 ou galhos com diâmetro maior ou igual a 5 cm que foram interceptadas pela linha do  
 790 conglomerado foram incluídas no inventário (Figura 1).

791 O processo de amostragem empregado foi por conglomerados em estágio único pelas  
 792 proporções (Queiros, 2012). Os cálculos foram definidos com os seguintes critérios: O  
 793 inventário composto por  $n$  conglomerados (C) estruturados com  $m$  subparcelas, que foram  
 794 classificadas em duas categorias: C1 e C0. Admitindo que qualquer subparcela do  
 795 conglomerado pertença a uma das duas categorias, C1 e C0, onde C1 corresponde às  
 796 subparcelas que possuem o atributo desejado, ou seja, galhos e árvores e C0 definem os dados  
 797 que não os possuem. Em seguida, foi determinada todas as estatísticas relevantes para o  
 798 inventário florestal, como, média, variância, desvio padrão, variância da média, desvio padrão  
 799 da média, erro padrão da média, intervalo de confiança para a média e erro de amostragem  
 800 relativo e absoluta.

801 Figura 1 – Imagens ilustrativas do layout em cruz de malta com suas respectivas direções cardeais dos  
 802 conglomerados utilizados na área de estudo.



803

804 Fonte: Autora (2024).

805

## 806 2.2 Critérios de inclusão

807 Para mensurar os indivíduos, alguns critérios em campo foram adotados, seguindo a  
 808 metodologia de Van Wagner (1968). Registrou-se os diâmetros no mesmo ponto onde a linha  
 809 amostral tocou o indivíduo (A); mediu-se quando a linha amostral cruzou a extremidade de um  
 810 detrito e ao mesmo tempo o eixo central da peça (B); mensurou-se as duas bifurcações dos

811 indivíduos interceptados (C); se a linha cruzou exatamente na extremidade de uma peça,  
 812 registrou-se apenas uma peça sim e a outra não (D) e foram ignorados quaisquer detritos cujo  
 813 eixo central coincide com a linha-amostral (E) (Figura 2).

814 Figura 2 - Imagens representativas dos critérios de inclusão da necromassa florestal no inventário, onde:  
 815 indivíduos inclusos (A), (B) e (C); indivíduos não inclusos (D) e (E).



816  
 817 Fonte: Autora (2024).

818

### 819 2.3 Classes de decomposição de campo

820 Foram adotadas três classes de decomposição das árvores seguindo as categorias táctil-  
 821 visuais e respostas mecânicas que representam, adaptado de Pearson *et al.* (2007) e Felipe *et al.*  
 822 (2016), sendo classificadas em três classes: a inicial (IN), a média (ME) e a avançada (AV)  
 823 (Figura 3).

- 824 ● Inicial (A): deterioração não perceptível, árvores recentemente caídas, cor natural da  
 825 madeira;
- 826 ● Média (B): deterioração na fase inicial, peças com leves sinais de ataques de agentes  
 827 biológicos, coloração levemente escura e baixa resistência ao corte, lâmina entrando  
 828 ligeiramente no fuste;
- 829 ● Avançada (C): estágio avançado de decomposição com peças quebradiças ou  
 830 despedaçando ao toque, coloração escura e fuste se desfaz ou quebra em partes com  
 831 cortes de facão.

832

833



834 Figura 3 – Classificação táctil-visual dos indivíduos em três classes de decomposição, onde: classe  
835 inicial (A); Classe média (B); classe avançada (C).



836  
837  
838

Fonte: Autora (2024).

## 839 2.4 Volume de necromassa

840 Para quantificar a necromassa estocada na área de estudo, inicialmente foi calculado o  
841 volume. Para isso, foram medidos todos os diâmetros dos detritos lenhosos que cruzaram as  
842 linhas dos conglomerados (diâmetro mínimo de inclusão -  $DMI \geq 5$  cm) utilizando a Suta  
843 Mantax Blue 1020 mm Haglof; Precisão:  $e = 0,1$  cm) e seus comprimentos com uma trena de  
844 caixa aberta de 50m (Figura 4). O diâmetro ( $\emptyset$ ) consistiu na média de duas medidas ortogonais  
845 do galho ou árvore morta no ponto da interceptação medidos com a suta. Em seguida, o volume  
846 de galhos e árvores mortas caídas por unidade de hectare foi calculado pela Equação de Van  
847 Wagner (1968), na qual são considerados o diâmetro da peça e o comprimento da linha, sendo:  
848

$$849 \quad V_i = \pi^2 \cdot \frac{[d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + d_n^2]}{8L} \quad eq. (1)$$

850 onde,:

851  $V_i = \text{volume}(m^3 \cdot ha^{-1})$  estimado para o  $i$ -ésimo conglomerado, sendo  $i = 1, 2, 3$  até 30;  
852  $d_n = \text{diâmetro (cm)}$  do  $n$ -ésimo detrito lenhoso grosso (galho, fuste ou árvore morta)  
853 interceptado pela a linha de amostragem;  $n$  é o número de detritos lenhosos grossos ( $\emptyset \geq 5$  cm)  
854 interceptados no conglomerado, e;  $L = \text{soma do comprimento das linhas interceptadoras do}$   
855 conglomerado (m).

856 Figura 4 – Método de medição do diâmetro, com o auxílio da suta (A), e comprimento com o uso da  
857 trena, (B) dos indivíduos inventariados na área de estudo.



858  
859

Fonte: Autora (2024).

860

## 861 2.5 Teor de umidade e densidade básica da madeira

862 O cálculo da necromassa empregado no estudo depende da densidade básica das  
863 madeiras mortas. Das mesmas árvores caídas inventariadas, discos de madeira foram coletados  
864 na porção central dos indivíduos, sendo 8 de indivíduos da classe inicial ( $n_{ni} = 8$ ), 7 da média  
865 ( $n_{nm} = 7$ ) e 11 da avançada ( $n_{na} = 11$ ). A remoção de discos foi feita com o auxílio de uma  
866 motosserra, os quais foram pesados no campo em estado natural para se avaliar a umidade da  
867 madeira. Essas amostras foram armazenadas em sacos plásticos e levados para o Laboratório  
868 de Tecnologia de Produtos Florestais - LTPF do Instituto de Ciências Agrárias - ICA da  
869 Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA.

870 Para o teor de umidade, as amostras foram pesadas em estado natural para se obter o  
871 peso úmido da madeira em seguida as amostras foram condicionadas em estufas de circulação  
872 forçada sob temperatura de 105 °C para se obter a massa seca. Por fim, os cálculos foi seguindo  
873 a fórmula:

$$874 \quad TU(\%) = \frac{PV-PS}{PS} \times 100 \quad eq. (3)$$

875 Onde:

876 TU= Teor de umidade, em %; PV= Peso verde, em g; PS= peso seco, em g.

877

878 No laboratório, ocorreu uma reclassificação de decomposição para melhor prever as  
879 classes. Posteriormente, as amostras foram imersas em água destilada para saturação e posterior  
880 registro de peso. O método de determinação do volume foi realizado com base no Princípio de  
881 Arquimedes que estabelece a relação de igualdade de peso e volume. As amostras foram secadas  
882 na estufa de circulação forçada sob temperatura de 105°C para a obtenção da massa seca. A  
883 determinação da densidade básica da madeira foi realizada com base na Norma NBR da ABNT  
884 (2003), que estabelece a relação entre a massa seca ( $M_s$ ) e o volume da amostra saturada ( $V_s$ ),  
885 utilizando-se a fórmula:

886

$$887 \quad D_j = \frac{M_s}{V_{sat}} \quad eq. (4)$$

888

889 Onde:

890  $D_j$ =densidade básica,  $g.cm^{-3}$ ;  $M_s$  = Massa da madeira seca, em g;  $V_{sat}$  = Volume da madeira  
891 saturada, em  $cm^3$ .

892

893 Além da densidade básica calculada do material lenhoso encontrado na área de estudo,  
894 foi realizado uma pesquisa bibliográfica da densidade básica de todas as espécies identificadas  
895 na área de estudo realizado pelo Laboratório de mensuração e manejo dos recursos florestais  
896 (LabFor), pertencente a Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). Para revisão das  
897 densidades básicas em literatura (LE), foi utilizado o Google Acadêmico, Sites de recurso  
898 florestais, Portal de Periódicos, Dissertações e Teses. Os trabalhos analisados nessa pesquisa  
899 são estudos realizados no Estado do Pará.

900

901

902

903

904

905

906

907

908

909



910 Figura 5 – Imagens ilustrativas da retirada dos discos de madeira nos indivíduos mortos e do processo  
 911 para a obtenção da densidade básica da madeira, onde: Coleta em campo (A), decarcação para corte (B),  
 912 corte das cunhas (C), saturação das amostras em água destilada (D), volume pelo método de arquimed  
 913 (E) e sacagem das amostras em estufa (F).



914  
 915 Fonte: Autora (2024).

916

## 917 2.6 Cálculo da necromassa

918 Para responder a pergunta científica que norteia esse capítulo, o cálculo genérico da  
 919 necromassa (Pearson e Brown 1997) considerou o produto do volume ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ ) e com a  
 920 densidade básica da madeira ( $g \cdot cm^{-3}$ ). Como neste estudo, aprofundou-se o conhecimento sobre  
 921 o valor de referência para a densidade básica da necromassa, sendo que, o cálculo considerou  
 922 os diferentes níveis de decomposição, densidade da literatura e a densidade média os indivíduos  
 923 mortos encontrados na área de estudo. Assim, a necromassa ( $N_j$ ) foi obtida pelo produto entre  
 924 volume de madeira e densidade em cada classe de decomposição:

$$925 \quad N_j = V_j \cdot Db_j \quad eq. (2)$$

926 onde:

927  $N_j$ = necromassa, em  $Mg \cdot ha^{-1}$ , do  $j$ -ésimo de classe de decomposição, sendo a classe de  
 928 decomposição  $j=1$  é o inicial,  $j=2$  a média e  $j=3$  a avançada;  $V_j$ = volume para o conglomerado  
 929 ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ ) e  $Db_j$ = valor de referência da densidade básica da madeira ( $g \cdot cm^{-3}$ ) em cada classe  
 930 de composição  $j$ .

931

932

## 933 2.6 Análise de dados

### 934 2.6.1 Estatísticas do inventário florestal

935 Para a análise do processo de amostragem foi utilizado o volume dos conglomerados  
 936 em hectare como parâmetro. As estimativas foram calculadas utilizando a metodologia de  
 937 Queiros (2012), que consiste em avaliar a estatística do inventário por proporção. As fórmulas  
 938 utilizadas para os valores populacionais e estimadores se encontram abaixo:

939

940 a) Proporção estimada da média

941 Sendo:

$$942 \sum_{i=1}^n pi = \frac{ai}{M} \quad eq. (5)$$

943 Então:

$$944 p = \frac{\sum_{i=1}^n pi}{n} \quad eq. (6)$$

945

946 b) Variância da proporção estimada

947 Dado que:

$$948 \hat{y}(y) = \frac{\sum_{i=1}^n pi^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n pi)^2}{n}}{n - 1} \quad eq. (7)$$

949 Então:

$$950 \hat{y}(p) = \left(\frac{N - n}{N}\right) \frac{\hat{y}(p)}{n} \quad eq. (8)$$

951 c) Desvio padrão

$$952 s(p) = \sqrt{\hat{y}(p)} \quad eq. (9)$$

953

954 d) Intervalo de confiança para a proporção

$$955 IC = p \pm t \times s(p) \quad eq. (10)$$

956

957 Onde:

958  $ai$  = número de subparcelas pertencente à categoria C1 no conglomerado de ordem  $i$ ;  $N$ =  
 959 número total de conglomerados da população;  $n$  = número de conglomerados amostrado;  $M$  =  
 960 número de subparcelas por conglomerado;  $pi$  =  $ai/M$  é proporção de subparcelas pertencentes à  
 961 categoria C1 no conglomerado de ordem  $i$ .

962 *2.6.2 Estatísticas das densidades*

963 Os dados de densidade foram submetidos a normalidade e homocedasticidade pelo teste  
 964 de Shapiro-Wilk ( $p \geq 0,05$ ) e Bartlett ( $p \geq 0,05$ ), respectivamente. Como os dados não atenderam  
 965 os pressupostos estipulado pelos testes, foi realizado o teste de comparação de média de  
 966 Kruskal-Wallis ao nível de probabilidade de 95% ( $\alpha = 0,05$ ), os procedimentos estatísticos  
 967 foram com o auxílio do programa Rstudio.

968

969 *2.6.3 Estimativas de necromassa*

970 Para determinar um possível valor de referência na estimativa da necromassa florestal,  
 971 usando a fórmula Pearson e Brown (1997) que leva em consideração a densidade básica da  
 972 madeira, foram adotadas três classificações:

973 Tabela 1– Classificação das classes de ponderação para o cálculo de necromassa na área de estudo.

Classes	Determinação das classes de estimativa da necromassa florestal
I	Estimativa da necromassa com base no valor obtido a partir da média das densidades básica encontradas na literatura.
II	Estimativa da necromassa com base na densidade básica média dos indivíduos mortos na área de estudo.
III	Estimativa da necromassa com base no estoque contido em cada classe de decomposição.

974 Fonte: Autora (2024).

975

976 Para avaliar se há diferença entre as médias das classes de estimativa, primeiramente,  
 977 os dados foram avaliados a normalidade e homocedasticidade pelo teste de Shapiro Wilk ( $p$   
 978  $\geq 0,05$ ) e Bartlett ( $p \geq 0,05$ ), respectivamente. Como os dados não atenderam os pressupostos  
 979 estipulado pelos testes, foi realizado o teste de comparação de média de kruskal-wallis ao nível  
 980 de probabilidade de 95% ( $\alpha = 0,05$ ).

981

982 **3 RESULTADOS**

983 **3.1 Estatística do inventário**

984 Na área de estudo, o volume médio encontrado foi de  $5,24 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ , com um desvio  
 985 padrão de  $0,57 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ . O intervalo de confiança observado foi de  $4,08 \pm 6,40 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ ,



986 representando um erro relativo de 22,21% (Tabela 2). Vale ressaltar que, entre os 30  
 987 conglomerados instalados na área de estudo, dois não apresentaram registros de indivíduos. Ao  
 988 avaliar o volume médio por hectare por classes de decomposição, foi observado que o maior  
 989 quantitativo se encontra na classe avançada, totalizando 3,56 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> (68,02%), seguida pela  
 990 classe inicial com 1,10 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> (20,92 %) e, finalmente, o menor valor na classe média, com  
 991 0,58 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> (11,06%).

992 Tabela 2– Estatísticas descritivas do inventário por conglomerados em estágio único pelas proporções  
 993 do material lenhoso morto caído na área de estudo.

Estimativas do inventário	
Nº de unidades amostrais (n)	30
Volume médio (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	5,24
Desvio Padrão (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	0,57
Coeficiente de variação (%)	10,88
Erro de amostragem	
Absoluto (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	1,16
Erro relativo (%)	22,21
Intervalo de confiança	4,08 ± 6,40

994 Fonte: autora (2024).

995

996 Nos 30 conglomerados amostrados foram encontrados 101 indivíduos entre galhos e  
 997 árvores. Do total de necromassa mensurada 71 indivíduos (70,30 %) se encontram entre 5 a 15  
 998 cm de diâmetro, dos quais 61,97 % corresponde a galhos e 38,03% a árvores. Nas classes 35 –  
 999 45 e 55 – 65 cm foi registrado 1 (um) indivíduo em cada classe (Figura 6a). O volume médio  
 1000 por hectare está distribuído em todas as classes de tamanho definido neste estudo. Destacando-  
 1001 se a classe diamétrica entre 45 – 55 cm que apresentou maior volume médio por hectare,  
 1002 totalizando 1,57 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> (29,96%). Em seguida, a classe de 15 – 25 cm com 1,16 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>  
 1003 (22,14%). A classe com a menor estimativa de volume foi entre 35 – 45 cm com apenas 0,26  
 1004 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. Somente nas classes iniciais entre 5 – 15 e 15 – 25 cm, encontra-se estoque de  
 1005 necromassa correspondendo a galhos, representando um total de 0,82 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> (15,65%) (Figura  
 1006 6b).

1007

1008

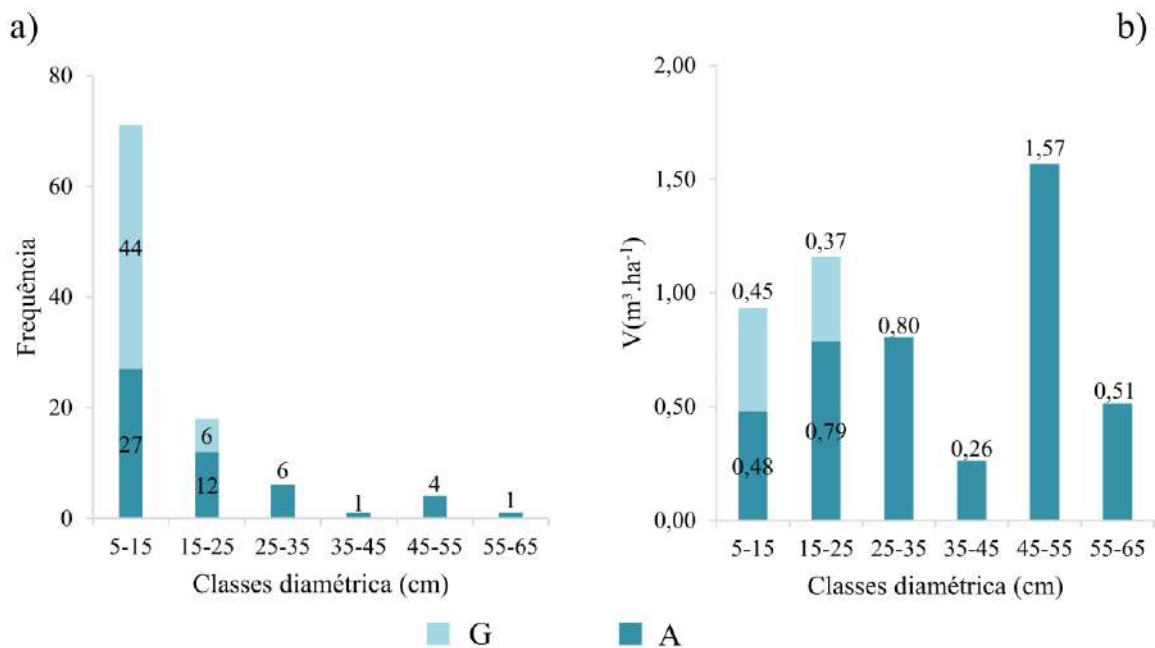
1009

1010

1011

1012

1013 Figura 6 – Distribuição da frequência do número de necromassa por classes diamétricas (cm) e Volume  
 1014 médio ( $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ) estimado de madeira morta caída por classe diamétrica e por tipo de necromassa, galhos  
 1015 (G) e árvores (A), na área de estudo.  
 1016



1017  
 1018  
 1019

Autora (2024).

### 1020 3.2 Densidade básica da necromassa

1021 A densidade básica da madeira em nível de comunidade arbórea foi em média de 0,52  
 1022 +/- 0,13  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ . Foi observado uma variação da densidade básica entre as classes de  
 1023 decomposição, registrando-se redução à medida que a decomposição da madeira aumenta.  
 1024 Comparando as densidades, entre a literatura (LE) e a *classe avançada* de decomposição, houve  
 1025 uma variação de 0,12  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1}$ . No entanto, não foram encontradas diferenças estatísticas  
 1026 significativas entre as variáveis avaliadas ( $p\text{-valor} = 0$ , o maior percentual 1668;  $\alpha = 0,05$ ). Foi  
 1027 também avaliado o teor de umidade das amostras coletadas. A classe de decomposição que  
 1028 apresentou maior teor de umidade foi a *classe avançada* com 46,87%. Seguida da classe e média  
 1029 e inicial, com 24,92 e 22,51%, respectivamente.

1030 Tabela 3 – Densidades básica e teor de umidade da literatura e por classe de decomposição da área de  
 1031 estudo.

Variável	Frequência		Densidade básica ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	Teor de umidade (%)
	N	n	Média e erro relativo	Média e erro relativo
LE	-	88	0,59 (53,81%)	-
IN	9	8	0,56 (64,08%)	22,51 (57,36%)
ME	10	7	0,52 (35,62%)	24,92 (56,65)

AV	82	11	0,47 (68,75%)	46,87 (236,54 %)
----	----	----	---------------	------------------

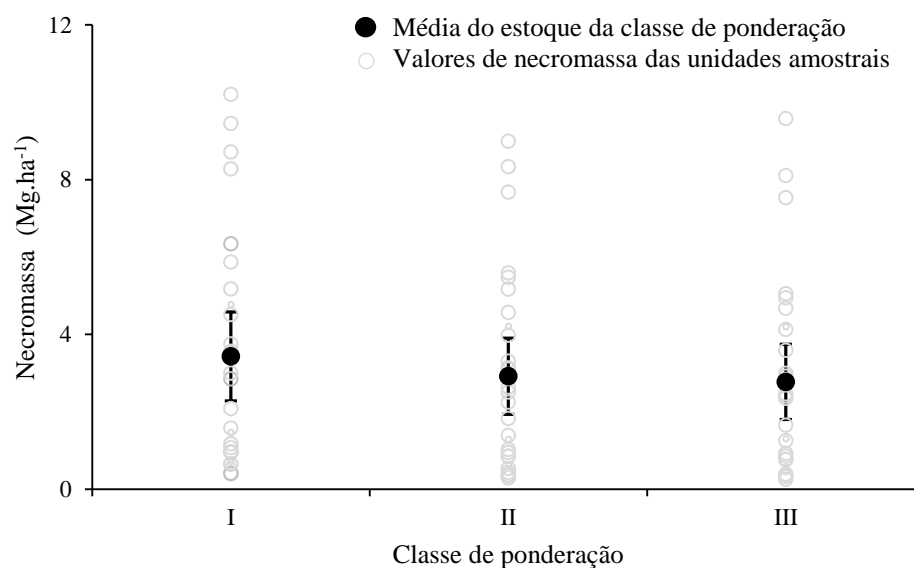
1032 LE: Literatura; IN: Classe Inicial; ME: Classe Média; AV: Classe Avançada; N: Número de indivíduos  
 1033 inventariado na área de estudo; n: número de indivíduos amostrados para densidade.  
 1034 Fonte: A autora (2024).

1035

### 1036 3.3 Estoque de necromassa

1037 Ao analisar as classes de ponderação, observou-se o seguinte comportamento: na classe  
 1038 I, que considerou a densidade básica da literatura (LE), foi estimado um estoque médio de 3,20  
 1039 Mg.ha<sup>-1</sup> (IC95%: 1,15 Mg.ha<sup>-1</sup>). Na classe III, que ponderou a densidade específica de cada  
 1040 classe de decomposição, foi estimado um estoque médio na área estuda de 2,59 Mg.ha<sup>-1</sup>  
 1041 (IC95%: 0,98 Mg.ha<sup>-1</sup>). Essa diferença de 0,61 Mg.ha<sup>-1</sup> entre as classes, indica uma diminuição  
 1042 quando ocorre a ponderação. No entanto, de acordo com a análise estatística, as médias da  
 1043 necromassa estimada para a área de estudo, não foram estatisticamente significativas (*p*-valor  
 1044 = 0,6488  $\alpha=0,05$ ). Portanto, a hipótese nula não foi rejeitada, indicando que não é necessário  
 1045 ponderar a densidade básica quanto ao nível de decomposição para estimar o estoque de  
 1046 necromassa florestal para essa floresta em estudo. A variação da amplitude média do estoque  
 1047 da necromassa entre os conglomerados foi de 0,35 a 9,59 Mg.ha<sup>-1</sup> (Figura 7). É possível  
 1048 observar no gráfico que a maior variação se encontra na classe de ponderação I, ocorrendo entre  
 1049 0,39 a 10,20 Mg.ha<sup>-1</sup>.

1050 Figura 7 – Estoque de necromassa médio por hectare pela ponderação da densidade básica em um  
 1051 fragmento florestal secundário da Amazônia, onde: classe I representa o estoque pela media geral da  
 1052 densidade básica da literatura, II pela densidade geral dos indivíduos da área de estudo e III pela  
 1053 densidade pela ponderação das classes de decomposição.



1054

1055

1056

Fonte: Autora (2024).

1057

1058 **4 DISCUSSÃO**

1059 Para responder ao questionamento desta pesquisa, primeiramente, foram avaliadas  
1060 características imprescindíveis da necromassa florestal, partindo das estimativas do inventário  
1061 florestal. O método de linha interceptadora empregado nesse trabalho é comumente utilizado  
1062 para inventariar a necromassa florestal caída, sendo o método mais barato e que melhor se  
1063 adapta nessas condições (Van Wagner, 1968). Porém, ao analisar algumas pesquisas realizadas  
1064 com esse método, percebem-se relativos elevados. Por exemplo, no estudo de Oliveira (2017)  
1065 e por Deus *et al.* (2017), corroboram com os achados desta pesquisa. Os autores ressaltam a  
1066 importância de mais estudos que levem em consideração maior número de unidades amostrais  
1067 e linhas interceptadoras maiores, para diminuir os erros existentes nesse método (Oliveira,  
1068 2017). Essa ressalva deve ser levada em consideração porque o volume de necromassa possui  
1069 uma alta variação nas florestas, requerendo uma maior intensidade de amostragem para obter  
1070 estimativas mais precisas (Woldendorp *et al.*, 2004).

1071 Notou-se, a partir do inventário florestal, que a distribuição diamétrica dos indivíduos  
1072 segue uma disposição exponencial negativa ou J-reverso. Semelhante a encontradas em  
1073 pesquisas realizadas por Ribeiro *et al.* (2012), em uma floresta Ombrofila mista e De Freitas *et*  
1074 *al.* (2019), em uma floresta não manejada e manejada na Amazônia central, corroborando assim  
1075 os resultados deste estudo. Dessa forma, podemos inferir que essa característica pode ser  
1076 comum em diversas fisionomias florestais brasileiras. Essa característica advém principalmente  
1077 da mortalidade de indivíduos pequenos, que é atribuída a competição por luz, nutriente e água  
1078 no período de seu desenvolvimento inicial (Franklin *et al.*, 1987). Além disso, foi possível  
1079 observar um número expressivo de galhos mensurados, refletindo o mesmo achado de Ribeiro  
1080 *et al.* (2012). Ainda segundo o autor, isso se deve à queda de galhos ser mais frequente que a  
1081 queda de árvores, já que a queda de galhos pode ser facilmente facilitada por chuvas intensas e  
1082 ventos fortes (Reis *et al.*, 2022).

1083 Apesar da baixa mortalidade de indivíduos arbóreos com diâmetro maior que 25 cm, o  
1084 volume médio por hectare de madeira morta acima dessa classe representou um total de 59,92%  
1085 da necromassa produzida. Este resultado advém da relação diâmetro com a biomassa produzida  
1086 pela floresta, já que árvores maiores contêm boa parte da biomassa florestal acima do solo (Lutz  
1087 *et al.*, 2018), contribuindo significativamente para a dinâmica da biomassa e para o balanço do  
1088 carbono (Mcdowell *et al.*, 2020). Essa característica se mostrou peculiar, diferente dos

1089 resultados de Maas (2015), em que apresentou a maior concentração de volume na classe inicial  
1090 entre 10 – 20 cm de diâmetro. Woldendorp *et al.*, (2002) afirma que a necromassa tende a ser  
1091 mais abundante nas classes iniciais e menos frequentes nas maiores classes de distribuição,  
1092 contrapondo estes achados. Um fator que pode ajudar a explicar esses achados é que, nesse  
1093 estudo, foram avaliados indivíduos (galhos e árvore) com diâmetro a partir de 5 cm, que são  
1094 considerados pequenos, o que diminuir o volume nas classes iniciais da distribuição diamétrica,  
1095 uma vez que a amplitude da variação do volume nos conglomerados depende do limite do  
1096 diâmetro mínimo de inclusão das árvores e galhos (Cardoso *et al.*, 2013)

1097 Quando avaliando o volume por classe de decomposição foi observado que na classe  
1098 avançada se encontra o maior volume estocado de necromassa. Resultados semelhantes também  
1099 foram encontrados nas pesquisas realizadas por, Deus *et al.* (2017), Oliveira, (2017), Villanova  
1100 *et al.* (2019), Neumann *et al.* (2023). Esse resultado, segundo Maas (2015), é esperado, pois,  
1101 material lenhoso de mais difícil decomposição, como o cerne, permanece por mais tempo no  
1102 interior das florestas, assim se tornando mais fácil a detecção dessa classe nos inventários  
1103 florestais. Fonte *et al.*, (2018) realça a importância de inventários florestais mais frequentes  
1104 para monitorar com maior precisão a mortalidade dos indivíduos, conseqüentemente, uma  
1105 melhor compreensão de dinâmica da necromassa no sistema, principalmente para o balanço do  
1106 carbono (De Freitas *et al.*, 2019). A decomposição da matéria orgânica influencia fortemente o  
1107 armazenamento de carbono no ecossistema (Wieder *et al.*, 2013) e a análise volumétrica é  
1108 imprescindível para se calcular o real estoque de necromassa e posteriormente de carbono.

1109 A redução da necromassa com o aumento da decomposição está diretamente ligada com  
1110 a redução da densidade básica (Moreira *et al.*, 2019; Shorohova *et al.*, 2022), que corrobora  
1111 estes achados, no qual houve redução da densidade entre as classes de decomposição, apesar de  
1112 não ser estatisticamente significativa. Essa redução pode ser atribuída a diversos fatores, como  
1113 a região, a espécie, decompositores e também a posição da necromassa no sítio (em pé ou  
1114 caída) (Harmon, 2021). Características como o teor de água da madeira também podem ser  
1115 determinantes para a decomposição da madeira (Di Cosmo *et al.*, 2013), uma vez que o aumento  
1116 da umidade contribui para aumento na taxa de respiração microbiana, o que facilita o aumento  
1117 da decomposição (Chambers *et al.*, 2001), logo ocorrendo a redução do estoque de necromassa  
1118 florestal no ambiente. Estes achados indicam um aumento do teor de umidade à medida que a  
1119 densidade diminui, indicando que a relação dessas variáveis são inversamente proporcionais  
1120 (Di Cosmo *et al.*, 2013). Logo, pode-se inferir que em ambientes úmidos a redução da biomassa  
1121 morta deve ser maior.

1122 Quando se levou em consideração a ponderação da densidade básica e a densidade da  
1123 literatura (LE) para o cálculo da necromassa não houve diferença significativa entre as médias  
1124 analisadas. Dessa forma, não rejeitamos a hipótese nula dessa pesquisa. Embora nesse resultado  
1125 não tenha revelado diferença significativa para o componente necromassa, os dados sugerem  
1126 valores mais baixos para seu estoque quando ocorre a ponderação da densidade básica da  
1127 madeira morta. Assim, os valores encontrados utilizando a densidade do material lenhoso  
1128 podem ser considerados mais adequados e realistas para área estudada. Oliveira (2017) em sua  
1129 pesquisa ressalta a importância da densidade básica por classe de decomposição a fim de se  
1130 obter resultados mais seguros em relação à quantificação da necromassa. A necromassa  
1131 florestal, contida no interior das florestas, além de ser um importante reservatório de carbono,  
1132 serve também como de insumos de matéria orgânica e nutrientes para o solo (Maas *et al.*, 2021),  
1133 sendo de suma importância sua quantificação. Geralmente, o estoque é quantificado por meio  
1134 de estimativa, usando valores de densidade da madeira morta fornecidos por estudo anteriores  
1135 da mesma área (Di Cosmo *et al.*, 2013). Vale ressaltar a importância de se realizar amostragens  
1136 com densidade da própria área estudada. Além disso, pesquisas futuras também devem se  
1137 concentrar na análise da densidade básica ao nível de espécie, visto que, esse fator possui  
1138 notória influência nas propriedades físico-químicas da madeira (Chao *et al.*, 2017; Moreira *et*  
1139 *al.*, 2019).

1140

## 1141 5 CONCLUSÃO

- 1142 • A estimativa da necromassa a partir da amostragem empregada revelou-se dentro do  
1143 esperado conforme a literatura;
- 1144 • Adequações são necessárias para melhor capturar a variabilidade da madeira morta em  
1145 uma floresta secundária na Amazônia;
- 1146 • Diferença encontrada na densidade básica da madeira nos níveis de decomposição  
1147 sugere uma estimativa mais fidedigna do estoque de necromassa;
- 1148 • Análises podem revelar características importantes para entender o balanço do carbono  
1149 em florestas secundárias da Amazônia.

1150

## 1151 REFERÊNCIAS

1152 ARCO-VERDE, M. F. **Potencialidades e Usos da *Acacia mangium* Willd no estado de**  
1153 **Roraima**. Boa Vista, Roraima, 2002.

- 1154 BROWN, Sandra. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. Food  
1155 e Agriculture Org., 1997.
- 1156 CALDENTEY, J. Acumulacion de biomasa en rodales naturales de *Nothofagus pumilio* en  
1157 Tierra del Fuego, Chile. **Investigacion Agraria. Sistemas y Recursos Forestales**, v. 4, 1995.
- 1158 CARDOSO, Denise Jeton *et al.* Determinação do comprimento ótimo de transectos para  
1159 estimativa de necromassa floresta. 2013.
- 1160 CARNEIRO, F. da S *et al.* **Densidade da madeira de espécies florestais de quatro áreas**  
1161 **experimentais da Amazônia Oriental brasileira**. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020.
- 1162 CHAMBERS, Jeffrey Q.; SCHIMEL, Joshua P.; NOBRE, Atonio D. Respiration from coarse  
1163 wood litter in central Amazon forests. **Biogeochemistry**, v. 52, p. 115-131, 2001.
- 1164 CHAO, Kuo-Jung *et al.* Carbon concentration declines with decay class in tropical forest woody  
1165 debris. **Forest Ecology and Management**, v. 391, p. 75-85, 2017.
- 1166  
1167 Cornwell, W. K.; Cornelissen, J. H. C.; Allison, S. D.; Bauhus, J.; Eggleton, P.; Preston, C. M.;  
1168 Scarff, F.; Weeden, J.T.; Wirth, C.; Zanne, A.E. Plant traits and wood fates across the globe:  
1169 Rotted, burned, or consumed? **Glob. Chang. Biol.** 2009, 15, 2431–2449.
- 1170  
1171 DE FREITAS, Filipe Campos; DE AZEVEDO, Celso Paulo; DE SOUZA, Cintia Rodrigues.  
1172 Estoque de necromassa em floresta não manejada e floresta manejada na Amazônia Central.  
1173 2019.
- 1174 DEUS, K. H. P. *et al.* LINHA INTERCEPTADORA NA QUANTIFICAÇÃO DE  
1175 NECROMASSA EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA. In: ALFARO,  
1176 A. T. S.; TROJAN, D. G. (Org.). Descobertas das Ciências Agrárias e Ambientais 3. Belo  
1177 Horizonte/MG. Atena Editora, 2017, p. 241-253.
- 1178 DI COSMO, L. *et al.* Deadwood basic density values for national-level carbon stock estimates  
1179 in Italy. **Forest Ecology and Management**, v. 295, p. 51-58, 2013.
- 1180 EATON, James M.; LAWRENCE, Deborah. Woody debris stocks and fluxes during succession  
1181 in a dry tropical forest. **Forest Ecology and Management**, v. 232, n. 1-3, p. 46-55, 2006.
- 1182 FEARNSIDE, Philip M. Brazil's Amazonian forest carbon: the key to Southern Amazonia's  
1183 significance for global climate. **Regional Environmental Change**, v. 18, p. 47-61, 2018.
- 1184 FONTES, Clarissa G.; CHAMBERS, Jeffrey Q.; HIGUCHI, Niro. Revealing the causes and  
1185 temporal distribution of tree mortality in Central Amazonia. **Forest Ecology and**  
1186 **Management**, v. 424, p. 177-183, 2018.
- 1187 FRANKLIN, Jerry F.; SHUGART, Herman H.; HARMON, Mark E. Tree death as an  
1188 ecological process. **BioScience**, v. 37, n. 8, p. 550-556, 1987.
- 1189 GAGLIOTI, A. L. *et al.* **Conhecendo Espécies de Plantas da Amazônia: Mapati (*Pourouma***  
1190 ***guianensis* Aubl. – Urticaceae)**. vol.. 1. ed. Belém, PA: Embrapa, 2013.
- 1191 HARMON, Mark E. *et al.* Decomposition and mass of woody detritus in the dry tropical forests  
1192 of the northeastern Yucatan Peninsula, Mexico. **Biotropica**, p. 305-316, 1995.

- 1193 HARMON, Mark E. The role of woody detritus in biogeochemical cycles: past, present, and  
1194 future. **Biogeochemistry**, v. 154, n. 2, p. 349-369, 2021.
- 1195 HARMON, Mark E.; SEXTON, Jay. Guidelines for measurements of woody detritus in forest  
1196 ecosystems. 1996.
- 1197 HIGA, Rosana Clara Victoria *et al.* Protocolo de medição e estimativa de biomassa e carbono  
1198 florestal. **Colombo: Embrapa Florestas**, v. 1, 2014.
- 1199 LABORATÓRIO de Produtos Florestais: banco de dados. Disponível em:  
1200 <https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/>. Acesso em: 22 de janeiro de 2024.
- 1201 LIMA, I. L. de *et al.* **Caracterização das propriedades mecânicas da madeira de clones de**  
1202 **Hevea brasiliensis (Willd. Ex ADR.). Scientia forestalis**, v. 48, n. 125, p. 1-12, 2020.
- 1203 LIMEIRA, M. M.; BARBOSA, R. S.; GANASSOLI NETO, E.; COELHO, M. C. B.;  
1204 VARAVALLO, M. A.; BARILLI, J.; SILVA, M. V. C.; ERPEN, M. L. Carbono, peso e volume  
1205 de necromassa lenhosa em área de Plano de manejo florestal. **Revista Forestal**  
1206 **Mesoamericana Kurú** (Julio-Diciembre, 2020).
- 1207 LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas**  
1208 **nativas do Brasil**, vol. 1 .ed. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2016.
- 1209 LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas**  
1210 **nativas do Brasil**, vol. 2. ed. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2016.
- 1211 LUTZ, James A. *et al.* Global importance of large-diameter trees. **Global Ecology and**  
1212 **Biogeography**, v. 27, n. 7, p. 849-864, 2018.
- 1213
- 1214 MAAS, G. C. B. Compartimentação do estoque de carbono em floresta ombrófila mista. 2015.  
1215 172 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias,  
1216 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Curitiba, 2015.
- 1217
- 1218 MAAS, Greyce CB *et al.* Combining sample designs to account for the whole necromass carbon  
1219 stock in Brazilian Atlantic Forest. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 40, n. 7, p. 639-655,  
1220 2021.
- 1221 MACHADO, H. B. **Caracterização do potencial madeireiro de uma floresta intensamente**  
1222 **explorada no sudeste paraense**. Belém, PA, 2021.
- 1223 MARGALHO, L. F. *et al.* **Conhecendo Espécies de Plantas da Amazônia: Axixá [*Sterculia***  
1224 ***pruriens* (Aubl.) K. Schum.- Malvaceae]**. vol. 1. ed. Belém, PA: Embrapa, 2014.
- 1225 MCDOWELL, Nate G. *et al.* Pervasive shifts in forest dynamics in a changing world. **Science**,  
1226 v. 368, n. 6494, p. eaaz9463, 2020.
- 1227
- 1228 MOREIRA, Andréa B.; GREGOIRE, Timothy G.; DO COUTO, Hilton Thadeu Z. Wood  
1229 density and carbon concentration of coarse woody debris in native forests, Brazil. **Forest**  
1230 **Ecosystems**, v. 6, p. 1-10, 2019.



- 1231 MOREIRA, Andréa B.; GREGOIRE, Timothy G.; DO COUTO, Hilton Thadeu Z. Wood  
1232 density and carbon concentration of coarse woody debris in native forests, Brazil. **Forest**  
1233 **Ecosystems**, v. 6, p. 1-10, 2019.
- 1234 NAVARRETE, Diego *et al.* Conversion from forests to pastures in the Colombian Amazon  
1235 leads to differences in dead wood dynamics depending on land management practices. **Journal**  
1236 **of environmental management**, v. 171, p. 42-51, 2016.
- 1237  
1238 NEUMANN, Mathias; ECHEVERRIA, Sebastian; HASENAUER, Hubert. A simple concept  
1239 for estimating deadwood carbon in forests. **Carbon Management**, v. 14, n. 1, p. 2197762,  
1240 2023.
- 1241  
1242 OLIVEIRA, K. A. **Necromassa lenhosa e carbono em florestas no centro-sul, sudeste e**  
1243 **centro ocidental paranaense. 2017. 68 f.** 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia  
1244 Florestal: Área de Concentração em Manejo Florestal) –Universidade Federal do Paraná,  
1245 Curitiba.
- 1246  
1247 PALACE, Michael; KELLER, Michael; SILVA, Hudson. Necromass production: studies in  
1248 undisturbed and logged Amazon forests. **Ecological Applications**, v. 18, n. 4, p. 873-884, 2008.
- 1249  
1250 PAULETTO, D. **Estoque, produção e fluxo de nutrientes da liteira grossa em floresta**  
1251 **submetida à exploração seletiva de madeira no noroeste do Mato Grosso.** Mestrado em  
1252 Manejo Florestal, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2006.
- 1253  
1254 PELLICO NETTO, Sylvio *et al.* Sampling system for estimating woody debris in an urban  
mixed tropical forest. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, p. 3769-3780, 2018.
- 1255  
1256 PHILLIPS, Oliver L.; BRIENEN, Roel JW; RAINFOR COLLABORATION. Carbon uptake  
1257 by mature Amazon forests has mitigated Amazon nations' carbon emissions. **Carbon Balance**  
1258 **and Management**, v. 12, p. 1-9, 2017.
- 1259  
1260 REICHSTEIN, Markus; CARVALHAIS, Nuno. Aspects of forest biomass in the earth system:  
Its role and major unknowns. **Surveys in Geophysics**, v. 40, p. 693-707, 2019.
- 1261  
1262 REIS, Simone M. *et al.* Climate and crown damage drive tree mortality in southern Amazonian  
edge forests. **Journal of Ecology**, v. 110, n. 4, p. 876-888, 2022.
- 1263  
1264 REMADE: Madeiras bolivianas e exóticas. Disponível em: <https://www.remade.com.br>.  
Acesso em: 20 de Janeiro de 2024.
- 1265  
1266 RIBEIRO, Andressa *et al.* Proposta metodológica para realização de um inventário florestal de  
1267 necromassa: um estudo de caso Proposed methodology for implementation of coarse woody  
debris forest inventory: a case study.
- 1268  
1269 ROBERTO, R. L. **Densidade da madeira, biomassa aérea e estoque de carbono de árvores**  
1270 **em três fitofisionomias da transição Cerrado-Amazônia, Brasil.** Nova Xantina, Mato  
Grosso, 2014.
- 1271  
1272 SHOROHOVA, Ekaterina *et al.* Coarse woody debris density and carbon concentration by  
decay classes in mixed montane wet tropical forests. **Biotropica**, v. 54, n. 3, p. 635-644, 2022.

- 1273 SILVA, F. da. **Métodos não destrutivos como ferramenta de apoio aos planos de manejo**  
1274 **florestal sustentado na Amazônia.** Manaus, AM, 2012.
- 1275 THE brazilian plantfinder. Disponível em: <https://www.rewild-brazil.org>. Acesso  
1276 em: 20/10/2023.
- 1277 TROVÃO, J. V. de C. **Uso de Método não Destrutivo para Determinar Densidade Básica**  
1278 **de Madeira Caída da Reserva Biologia Abufari–Tapauá–AM.** In: III Congresso de Iniciação  
1279 Científica do INPA-CONIC. 2014.
- 1280 VAN WAGNER, C. E. The line intersect method in forest fuel sampling. **Forest science**, v. 14,  
1281 n. 1, p. 20-26, 1968.
- 1282 VAN WAGNER, C. E. The line intersect method in forest fuel sampling. **Forest science**, v. 14,  
1283 n. 1, p. 20-26, 1968.
- 1284 VILLANOVA, P. H *et al.* Necromass carbon stock in a secondary atlantic forest fragment in  
1285 Brazil. **Forests**, v. 10, n. 10, p. 833, 2019.
- 1286 Watzlawick, L. F.; Lorini, A.; Sens, T. M. Z. G.; Schran, J. A. **Conceitos e conhecimentos de**  
1287 **métodos e técnicas de pesquisa científica em engenharia florestal:** Análise e quantificação  
1288 da necromassa em floresta ombrófila mista. Ponta Grossa – Paraná. Atena. 2021. 132 p.
- 1289 WOLDENDORP, G. *et al.* An analysis of sampling methods for coarse woody debris in  
1290 Australian forest ecosystems. **A report for the national greenhouse strategy, Module**, v. 6,  
1291 2002.
- 1292  
1293 WOLDENDORP, G. *et al.* Analysis of sampling methods for coarse woody debris. **Forest**  
1294 **ecology and management**, v. 198, n. 1-3, p. 133-148, 2004.

## 1295 APÊNDICE

1296 Tabela 4 – Lista de espécies e suas densidades básica da madeira da área de estudo encontradas na literatura.

Nome científico	Nome Popular	Família botânica	Densidade básica (g/cm <sup>3</sup> )	Fonte
<i>Pouteria caimito</i> (Ruiz e Pav.) Radlk.	Abiu seco	Sapotaceae	0,92	Lorenzi (2016); Machado (2021).
<i>Pouteria guianensis</i> Aubl.	Abiurana	Sapotaceae	0,83	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Acacia mangium</i> Willd.	Acácia mãe	Mimosaceae	0,56	Arco-Verde (2002).
<i>Thyrsodium spruceanum</i> Benth.	Amaparana	Anacardiaceae	0,74	Lorenzi (2016).
<i>Symphonia globulifera</i> L.f.	Ananí	Guttiferae	0,58	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	Andiroba	Meliaceae	0,56	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Sterculia pruriens</i> (Aubl.) K.Schum.	Axixá	Malvaceae	0,50	Margalho <i>et al.</i> (2014).
<i>Garcinia gardneriana</i> (Planch. e Triana) Zappi	Bacurí parí	Clusiaceae	0,67	The Brazilian Plantfinder (2023).
<i>Protium decandrum</i> (Aubl.) Marchand	Breu Branco	Burseraceae	0,54	Machado (2021).
<i>Thyrsodium spruceanum</i> Benth.	Breu de Leite/Amaparana	Anacardiaceae	0,54	Carneiro <i>et al.</i> (2020).
<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	Breu Preto	Burseraceae	0,55	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Trattinnickia burserifolia</i> Mart.	Breu Sucuruba	Burseraceae	0,50	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Protium altsonii</i> Sandwith	Breu vermelho	Burseraceae	0,49	Machado (2021).
<i>Ormosia coutinhoi</i> Ducke	Buiuçu/Tento fl. grande	Fabaceae	0,58	Caneiro <i>et al.</i> (2020).

<i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong	Burra leitera	Euphorbiaceae	0,40	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Anacardium giganteum</i> W.Hancock ex Engl	Cajú Açú	Anacardiaceae	0,38	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Eugenia patrisii</i> Vahl	Comida de jabuti	Myrtaceae	0,77	Machado (2021).
<i>Lacistema pubescens</i> Mart.	Comida de Pipira	Lacistemataceae	0,51	Machado (2021).
<i>Dipteryx odorata</i> Willd.	Cumarú	Fabaceae	0,91	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Taralea oppositifolia</i> Aubl.	Cumarúrana	Fabaceae	0,92	Carneiro <i>et al.</i> (2020).
<i>Theobroma grandiflorum</i> (Willd. ex Spreng.) K.Schum.	Cupuaçú	Malvaceae	0,55	Lorenzi (2016).
<i>Cecropia palmata</i> Willd.	Embaúba branca	Urticaceae	0,34	Machado (2021).
<i>Cecropia distachya</i> Huber	Embaúba vermelha	Urticaceae	0,34	Machado (2021).
<i>Pourouma guianensis</i> Aubl.	Embaúbão	Urticaceae	0,36	Gaglioto <i>et al.</i> (2013).
<i>Duguetia cauliflora</i> R.E.Fr.	Envira	Annonaceae	0,78	Carneiro <i>et al.</i> (2020).
<i>Duguetia marcgraviana</i> Mart.	Envira biribá	Annonaceae	0,69	Roberto (2014).
<i>Annona exsucca</i> DC.	Envira Bobó	Annonaceae	0,52	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Guatteria punctata</i> (Aubl.) R.A.Howard	Envira preta	Annonaceae	0,51	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Xylopia frutescens</i> Aubl.	Enviracana/Embirira	Annonaceae	0,61	Machado (2021).
<i>Ouratea castaneifolia</i>	Farinha seca	Ochnaceae	0,66	Machado (2021).
<i>Enterolobium schomburgkii</i> (Benth.) Benth.	Fava orelha de negro	Mimosaceae	0,84	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Parkia nitida</i> Miq.	Faveira benguelê	Mimosaceae	0,42	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Cordia sellowiana</i> Cham.	Freijó Branco	Boraginaceae	0,45	Roberto (2014).

<i>Cordia goeldiana</i> Huber	Freijó Cinza	Boraginaceae	0,48	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Amphiodon effusus</i> Huber	Gema de ovo	Fabaceae	0,81	Machado (2021).
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	Guaçatonga	Salicaceae	0,52	Carneiro <i>et al.</i> (2020).
<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz e Pav.	Guariúba	Moraceae	0,60	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Attalea maripa</i> (Aubl.) Mart.	Inajá	Arecaceae	0,33	Machado (2021).
<i>Inga cinnamomea</i> Spruce ex Benth.	Ingá Açú	Fabaceae	0,52	Lorenzi (2016).
<i>Inga edulis</i> Mart.	Ingá cipó	Fabaceae	0,76	Lorenzi (2016).
<i>Inga capitata</i> Desv.	Ingá feijão	Fabaceae	0,56	Machado (2021).
<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	Ingá vermelho	Mimosaceae	0,62	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Inga heterophylla</i> Willd.	Ingá xixica	Mimosaceae	0,56	Machado (2021).
<i>Brosimum guianense</i> (Aubl.) Huber	Inharé	Moraceae	0,86	Machado (2021).
<i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) S.Grose	Ipê amarelo	Bignoniaceae	0,89	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Macrolobium angustifolium</i> (Benth.) R.S.Cowan	Ipê de Várzea/Iperana	Fabaceae	0,68	Machado (2021).
<i>Lecythis lurida</i> (Miers) S.A.Mori	Jarana	Lecythidaceae	0,85	Machado (2021).
<i>Neea floribunda</i> Poepp. e Endl.	João Mole	Nyctaginaceae	0,62	Machado (2021).
<i>Ocotea guianensis</i> Aubl.	Louro Prata	Lauraceae	0,70	Silva (2012).
<i>Ocotea costulata</i> (Nees) Mez	Louro rosa	Lauraceae	0,48	Remade (2023).
<i>Eriotheca globosa</i> (Aubl.) A.Robyns	Mamorana da terra firme	Malvaceae	0,41	Machado (2021).

<i>Emmotum nitens</i> (Benth.) Miers	Maracaximbé/Faia	Metteniusaceae	0,74	Remade (2023).
<i>Croton matourensis</i> Aubl.	Maravuvúia	Euphorbiaceae	0,39	Machado (2021).
<i>Simarouba amara</i> Aubl.	Marupá	Simaroubaceae	0,38	Machado (2021).
<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A.Mori	Matamatá branco	Lecythidaceae	0,73	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Eschweilera grandiflora</i> (Aubl.) Sandwith	Matamatá preto	Lecythidaceae	0,76	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) <i>Maguire, Steyerm. eamp;</i>	Morototó	Araliaceae	0,41	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Maquira sclerophylla</i> (Ducke) C.C.Berg	Muiratinga	Moraceae	0,57	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Enterolobium timbouva</i> <i>Mart.</i>	Orelha de Negro	Fabaceae	0,42	Richter e Dallwitz (2019).
<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. Don.	Pará pará	Bignoniaceae	0,31	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Stryphnodendron</i> <i>pulcherrimum</i> (Willd.) <i>Hochr.</i>	Paricarana	Fabaceae	0,48	Machado (2021).
<i>Casearia arborea</i> (Rich.) <i>Urb.</i>	Passarinheira	Salicaceae	0,52	Machado (2021).
<i>Margaritaria nobilis</i> L. F.	Pau Branco	Phyllanthaceae	0,64	Machado (2021).
<i>Tapura guianensis</i> Aubl.	Pau de bicho	Dichapetalaceae	0,58	Carneiro <i>et al.</i> (2020).
<i>Ouratea castaneifolia</i> (DC.) Engl.	Pau de cobra	Ochnaceae	0,66	Machado (2021).
<i>Lacmellea aculeata</i> (Ducke) <i>Monach.</i>	Pau de colher	Apocynaceae	0,51	Machado (2021).

<i>Laetia procera</i> (Poepp.) Eichler	Pau jacaré	Flacourtiaceae	0,68	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Apeiba echinata</i> Gaertn.	Pente de macaco	Tiliaceae	0,36	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Ambelania acida</i> Aubl.	Pepino do Mato	Apocynaceae	0,47	Machado (2021).
<i>Caryocar glabrum</i> (Aubl.) Pers.	Piquiarana	Caryocaraceae	0,61	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Vochysia maxima</i> Ducke	Quaruba rosa	Vochysiaceae	0,49	Carneiro <i>et al.</i> (2020).
<i>Geissospermum sericeum</i> Miers	Quinarana	Apocynaceae	0,78	Machado (2021).
<i>Abarema jupunba.</i> (Willd.) Britton e Killip	Saboeira	Fabaceae - Mimosoideae	0,78	Lorenzi (2016).
<i>Lecythis pisonis</i> Cambess.	Sapucaia	Lecythidaceae	0,86	Machado (2021).
<i>Hevea brasiliensis</i> (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg.	Seringueira	Euphorbiaceae	0,45	Lima <i>et al.</i> (2020).
<i>Bowdichia nitida</i> Spruce ex Benth.	Sucupira Amarela	Fabaceae	0,85	Machado (2021).
<i>Himatanthus articulatus</i> (Vahl) Woodson	Sucuúba	Apocynaceae	0,33	Trovão (2014).
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	Tatapiririca	Anacardiaceae	0,49	Lorenzi (2016).
<i>Couratari stellata</i> A.C.Sm.	Tauarí	Lecythidaceae	0,65	Carneiro <i>et al.</i> (2020).
<i>Tachigali vulgaris</i> L.G.Silva e H.C.Lima	Taxí Branco	Fabaceae	0,55	Machado (2021).
<i>Tachigali myrmecophila</i> (Ducke) Ducke	Taxí Preto	Caesalpinaceae	0,56	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Ormosia excelsa</i> Benth.	Tento Amarelo	Fabaceae	0,74	Roberto (2014).
<i>Pseudopiptadenia suaveolens</i> (Miq.) J.W.Grimes	Timborana	Fabaceae	0,72	Machado (2021).

<i>Astrocaryum aculeatum</i> G.Mey.	Tucumã	Arecaceae	0,51	Machado (2021).
<i>Virola surinamensis</i> (Rol. ex Rottb.) Warb.	Ucuúba de várzea	Myristicaceae	0,38	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Iryanthera juruensis</i> Warb.	Ucuubarana	Myristicaceae	0,67	Carneiro <i>et al.</i> (2020).
<i>Humiria balsamifera</i> (Aubl.) A.St.-Hil.	Umirí	Humiriaceae	0,68	Remade (2023).
<i>Sacoglottis guianensis</i> Benth.	Uxirana	Humiriaceae	0,77	Machado (2021).



1298 **TAMANHOS DE ÁRVORES E MODOS DE MORTE EM UMA FLORESTA**  
1299 **SECUNDÁRIA NO NORDESTE DO PARÁ, BRASIL**

1300 *(Submetido: Cerne, Qualis B1)*

1301 **RESUMO**

1302 A dinâmica dos ecossistemas é uma característica básica que mantém o equilíbrio  
1303 florestal, preservando sua estrutura e sua composição ao longo do tempo, incluindo os  
1304 componentes de crescimento, recrutamento e mortalidade. Sendo a mortalidade das árvores um  
1305 processo importante e complexo nos ecossistemas florestais, compreender completamente  
1306 como os indivíduos morrem e seus efeitos na comunidade e no ecossistema ainda é um desafio.  
1307 Esse desafio é maior pelas lacunas ainda existentes em florestas secundárias. O objetivo da  
1308 pesquisa foi investigar como as árvores estão morrendo em um fragmento de floresta secundária  
1309 no município de Igarapé-Açu, no nordeste Paraense. O estudo foi realizado na fazenda escola  
1310 de Igarapé-Açu, pertencente a Universidade Federal Rural da Amazônia. A amostragem  
1311 conduzida foram linhas interceptadoras em conglomerado, sendo distribuídas 30 pontos em  
1312 desenho de cruz de malta. Foram quantificados e mensurados todos os detritos florestais  
1313 (árvores e galhos) com diâmetro igual ou superior a 5 cm interceptados pelas linhas do  
1314 inventário. Para cada registro de madeira morta, foi adquirido devidamente os diâmetros (cm),  
1315 comprimento (m), a direção de queda (N, S, L e O), os modos de morte (Quebrado ou Raízes  
1316 expostas), a classe de decomposição e a distância mais perto da borda do fragmento, atrelada  
1317 ao ponto central do arranjo da unidade amostral. Para avaliar a frequência e identificar a  
1318 uniformidade com as variáveis respostas, foi aplicado o teste de Rayleigh para direção de queda,  
1319 qui-quadrado ( $\chi^2$ ) para modo de morte e classe de decomposição e a correlação de Spearman  
1320 para o efeito de borda. Foram quantificados 50 galhos e 51 árvores mortas. Não houve  
1321 influência na incidência de madeira morta devido aos modos de morte e à distância da borda,  
1322 mas é significativa nas classes de decomposição e direção de queda. Dessa forma, conclui-se  
1323 que o tamanho das árvores podem influenciar seu modo de morte e a direção de queda. A  
1324 mortalidade nessa floresta é complexa e pode ser afetada por fatores abióticos e bióticos. Os  
1325 resultados indicam a necessidade de métodos amostrais mais adequados para entender essa  
1326 variabilidade.

1327

1328 **Palavras-chave:** Detritos florestais, Dinâmica florestal, Amazônia.

1329

1330 **TREE SIZES AND MODES OF DEATH IN A SECONDARY FOREST IN**  
1331 **NORTHEASTERN PARÁ, BRAZIL**

1332  
1333 **ABSTRACT**

1334 Ecosystem dynamics is a basic characteristic that maintains forest equilibrium, preserving its  
1335 structure and composition over time, including the components of growth, recruitment and  
1336 mortality. Since tree mortality is an important and complex process in forest ecosystems, fully  
1337 understanding how individuals die and their effects on the community and ecosystem is still a  
1338 challenge. This challenge is compounded by the gaps that still exist in secondary forests. The  
1339 aim of this research was to investigate how trees are dying in a fragment of secondary forest in  
1340 the municipality of Igarapé-Açu, in northeastern Pará. The study was carried out at the Igarapé-  
1341 Açu school farm, which belongs to the Federal Rural University of Amazonia. The sampling  
1342 was carried out using conglomerate interceptor lines, with 30 points distributed in a Maltese  
1343 cross design. All forest debris (trees and branches) with a diameter of 5 cm or more intercepted  
1344 by the inventory lines were quantified and measured. For each record of dead wood, diameters  
1345 (cm), length (m), direction of fall (N, S, L and O), mode of death (Broken or Roots exposed),  
1346 decomposition class and the closest distance to the edge of the fragment, linked to the central  
1347 point of the sampling unit, were duly acquired. To assess frequency and identify uniformity  
1348 with the response variables, the Rayleigh test was applied for direction of fall, chi-square ( $\chi^2$ )  
1349 for mode of death and decomposition class and Spearman's correlation for edge effect. Fifty  
1350 branches and 51 dead trees were quantified. There was no influence on the incidence of dead  
1351 wood due to mode of death and distance from the edge, but it was significant for decomposition  
1352 classes and direction of fall. It can therefore be concluded that the size of trees can influence  
1353 their mode of death and direction of fall. Mortality in this forest is complex and can be affected  
1354 by abiotic and biotic factors. The results indicate the need for more appropriate sampling  
1355 methods to understand this variability.

1356  
1357 **Keywords:** Forest debris, Forest dynamics, Amazon.  
1358

## 1359 1 INTRODUÇÃO

1360 Os processos da dinâmica florestal incluem a regeneração, o crescimento e a  
1361 mortalidade e são de extrema importância para o equilíbrio florestal (Dajoz, 2006; Colpini *et*  
1362 *al.*, 2010). A mortalidade, dentro desse contexto, tem ganhando destaque em decorrência da  
1363 mudança do clima, uma vez que alterações climáticas aumentam as tensões nas florestas e isso  
1364 afeta negativamente os indivíduos arbóreos (Piponiot *et al.*, 2022). As mortes dos indivíduos  
1365 podem ser por diversos fatores, tanto externo (distúrbio ou causas ambientais) como interno  
1366 (genético ou fisiológico) (Gavrilov e Gavrilova, 2001). As investigações científicas sobre esse  
1367 tema são cada vez mais presentes, como por exemplo nos estudos de Fonte *et al.*, 2018;  
1368 Magnabosco Marra *et al.* (2018); Stovall *et al.* (2019); Arellano *et al.*, 2020; Zuleta *et al.* (2022);  
1369 Hartmann *et al.* (2022). No entanto, a maioria desses trabalhos são desenvolvidos em florestas  
1370 maduras em diversas partes de mundo, com pouca ênfase em florestas secundárias,  
1371 principalmente nas amazônicas. Em decorrência disso, o presente estudo buscou responder o  
1372 que pode explicar a morte das árvores em uma comunidade de floresta secundária na Amazônia  
1373 oriental?

1374 Entender de fato as causas e os fatores relacionados à mortalidade das árvores se torna  
1375 cada vez mais complexo em decorrência da mudança do clima (Arellano *et al.*, 2019). Pois a  
1376 mortalidade dos indivíduos arbóreos está diretamente ligada ao balanço do carbono (Maas *et*  
1377 *al.*, 2021), determinado o ritmo de renovação florestal, bem como estoque do carbono e a  
1378 dinâmica das comunidades (Marra *et al.* 2014), transformando as florestas de sumidouros a  
1379 emissores de carbono (Gora e Esquivel-Muelbert, 2021). Existem diversos fatores que podem  
1380 afetar esse dinamismo das comunidades, como vento, estresse hídrico, raio, fogo, patógenos,  
1381 herbívoros, entre outros (Gora e Esquivel-Muelbert 2021). O reconhecimento desses fatores é  
1382 fundamental para entender o comportamento das florestas a partir de sinais de como as árvores  
1383 estão morrendo e de como estão respondendo às perturbações sofridas. Essa abordagem  
1384 fortalece ainda mais estudos nas florestas tropicais amazônicas (Fonte *et al.*, 2018).

1385 As florestas tropicais maduras são responsáveis pela mitigação de boa parte do carbono  
1386 emitido para atmosfera, sendo crucial para o balanço do carbono e para a ecologia global  
1387 (Chazdon *et al.*, 2016). Além das florestas maduras, as secundárias ou em regeneração também  
1388 possuem alta capacidade de sequestrar e fornecer habitat para espécies tropicais, contribuindo  
1389 também na mitigação das mudanças globais (Elias *et al.*, 2020). Apesar das florestas  
1390 secundárias serem importantes na recuperação da biodiversidade perdida e do carbono, ainda

1391 não se sabe ao certo como elas serão afetadas pela mudança climática, que inclui temperaturas  
1392 mais altas, período de seca e eventos extremos mais frequentes (IPCC, 2023 – AR6; Elias *et*  
1393 *al.*, 2020).

1394 Apesar do aumento na relação entre eventos climáticos e alterações na taxa de  
1395 mortalidade, ainda tem sido um desafio compreender como ocorre as mortes dos indivíduos e  
1396 o que pode explicar essas observações devido às limitações temporais e de obtenção de dados  
1397 de monitoramento (Mcmahon; Arellano; Davies, 2019). Diante disso, este estudo investigou de  
1398 forma exploratória como as árvores estão morrendo e o que pode explicar a mortalidade em um  
1399 fragmento de floresta secundária no município de Igarapé-Açu no nordeste Paraense. A partir  
1400 do inventário florestal amostral, a incidência de galhos e árvores foi quantificada e qualificada  
1401 em fatores e características. A distribuição dos valores dentro de classes de fatores e  
1402 características foi contrastada à distribuição uniforme como esperada, ou seja, testando a  
1403 hipótese de que os valores de incidência de madeira morta são similares entre os níveis dos  
1404 fatores analisados e outros fatores devem explicar as variações da mortalidade na floresta  
1405 estudada.

1406

## 1407 **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### 1408 **2.1 Método de amostragem**

1409 O método de amostragem empregado foi o da linha interceptadora e o processo de  
1410 amostragem foi em conglomerados ( $n = 30$ ). O desenho das linhas interceptadas no  
1411 conglomerado segue o formato de “cruz de malta”, composto por quatro linhas de 15,71 metros  
1412 cada, seguindo o mesmo tamanho de linhas utilizado por Pellico Netto *et al.* (2018) (Figura 1a).  
1413 O diâmetro de inclusão no inventário das árvores ou galhos foi de 5 cm. Os cálculos referentes  
1414 ao método empregado nesta dissertação foram apresentados no capítulo 1.

1415

### 1416 **2.2 Distribuição de tamanhos (galhos e árvores) da madeira morta**

1417 O diâmetro ( $\emptyset$ ) consistiu na média de duas medidas ortogonais do galho ou árvore morta  
1418 no ponto da interceptação (medidas com Suta Mantax Blue 1020 mm Haglof; Precisão:  $e = 0,1$   
1419 cm) (Figura 1b). Para o comprimento foi utilizado a trena de caixa aberta de 50m, sendo  
1420 verificado o comprimento total do indivíduo arbóreo (Figura 1c). Os indivíduos foram  
1421 distribuídos e agrupados em classes de tamanho ( $5 \leq 15$ ;  $15 \leq 25$ ;  $25 \leq 35$ ;  $35 \leq 45$ ;  $45 \leq 55$  e  $55 \leq 65$   
1422 cm de diâmetro e  $0 \leq 5$ ;  $5 \leq 10$ ;  $10 \leq 15$ ;  $15 \leq 20$ ;  $20 \leq 25$  m de comprimento).

1423 Figura 1 - Método de medição do diâmetro, com o auxílio da suta (A), e comprimento, com o uso da  
1424 trena de caixa aberta, (B) dos indivíduos inventariados na área de estudo.



1425  
1426  
1427

Fonte: Autora (2024).

1428

### 2.3 Modos de morte

1429

1430

1431

1432

1433

1434

1435

1436

1437

1438

1439

1440

1441

1442

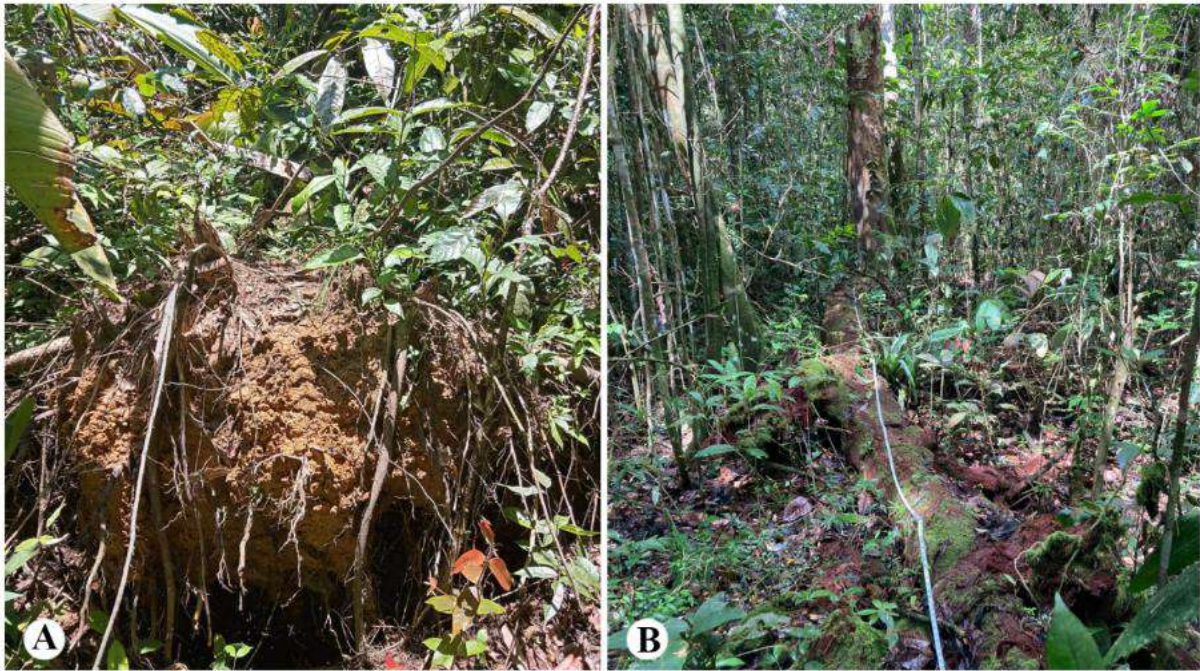
1443

1444

Os modos de morte das árvores foram atribuídos conforme Fontes *et al.* (2018) e segundo o protocolo padronizado para levantamentos de Arellano *et al.* (2021), com as devidas adaptações. As árvores mortas caídas encontradas na área foram divididas em duas categorias: **Árvore quebrada (AQ)** em que o eixo principal está quebrado, incompleto, mas alguns deles ainda está de pé (podem ser metros ou apenas centímetros) e **raiz exposta (RE)** na qual a árvore tombou com as raízes acima do solo. Este código significa que as raízes que estavam abaixo do solo estão agora acima do solo (Figura 2).



1445 Figura 2 – Modos de morte dos indivíduos encontrados na área de estudo: Árvore com raiz exposta (A);  
 1446 Árvores quebradas (B).



1447  
 1448 Fonte: Autora (2024).  
 1449

#### 1450 2.4 Classes de decomposição

1451 As classes de decomposição das árvores foram seguindo as categorias táctil-visuais e  
 1452 respostas mecânicas que representam, adaptado de Pearson *et al.* (2007) e Felipe *et al.* (2016),  
 1453 sendo classificadas em três classes: a inicial (IN), a média (ME) e a avançada (AV) (Figura 3).

- 1454 ● Inicial (A): deterioração não perceptível, árvores recentemente caídas, cor natural da  
 1455 madeira;
- 1456 ● Média (B): deterioração na fase inicial, peças com leves sinais de ataques de agentes  
 1457 biológicos, coloração levemente escura e baixa resistência ao corte, lâmina entrando  
 1458 ligeiramente no fuste;
- 1459 ● Avançada (C): estágio avançado de decomposição com peças quebradiças ou  
 1460 despedaçando ao toque, coloração escura e fuste se desfaz ou quebra em partes com  
 1461 cortes de facão.

1462  
 1463  
 1464  
 1465  
 1466

1467 Figura 3 – Classificação tátil-visual dos indivíduos em três classes de decomposição: inicial (A); média  
1468 (B); avançada (C).



1469  
1470 Fonte: Autora (2024).  
1471

## 1472 2.5 Direções de queda

1473 Para identificar a direção de queda das árvores mortas, foi utilizado o (Garmin GPSMAP  
1474 64 sc) com a bússola devidamente calibrada conforme procedimentos recomendados pelo  
1475 manual do dispositivo. Após a definição da localização do indivíduo arbóreo, o operador  
1476 manteve o dispositivo no modo bússola e se posicionou na base da árvore. Apontando a antena  
1477 do dispositivo para a direção da queda (copa quando presente), registrou-se o ângulo calculado  
1478 e mostrado na tela (Figura 4).

1479  
1480  
1481  
1482  
1483  
1484  
1485  
1486  
1487  
1488



1489 Figura 4 – Descrição do método para identificar a direção de queda dos indivíduos mortos na área de  
1490 estudo, localizada na Fazenda Escola de Igarapé – Açú.



1491  
1492  
1493

Fonte: Autora (2024).

## 1494 2.6 Efeitos de borda

1495 O efeito de borda foi estudado como fator de influência na mortalidade de árvores a  
1496 partir da associação entre a distância da borda do fragmento e o centro do conglomerado. Como  
1497 os conglomerados foram mapeados com receptor SNGS, as coordenadas geográficas do ponto  
1498 central foram usadas como referência dos conglomerados. No programa ArcGIS Pro® versão  
1499 3.1.3, as bordas do fragmento de floresta secundária foram vetorizadas com base na imagem de  
1500 satélite Google Earth, 2023. Em seguida, as distâncias da borda mais próxima do fragmento ao  
1501 centro dos conglomerados foram calculadas com a ferramenta *Near To Feature*, que retorna os  
1502 resultados da análise em uma tabela (formato. DBF) contendo o valor de distância de cada  
1503 conglomerado. A tabela gerada foi utilizada em análises posteriormente descritas.

1504

## 1505 2.7 Análise de dados

### 1506 2.7.1 Distribuição de tamanhos

1507 Para responder à pergunta e testar a hipótese de que a frequência das árvores mortas se  
1508 distribui uniformemente ou sem relação com as variáveis analisadas, foram adotados diversos  
1509 procedimentos metodológicos nessa pesquisa. Primeiramente, as árvores foram distribuídas em  
1510 classes de diâmetro (cm) e comprimento (m). Em seguida, os dados foram analisados de forma



1511 descritiva em suas respectivas classes, considerando, o modo de morte, classe de decomposição  
1512 e direção de queda.

1513

#### 1514 2.7.2 Classe de decomposição e modo de morte

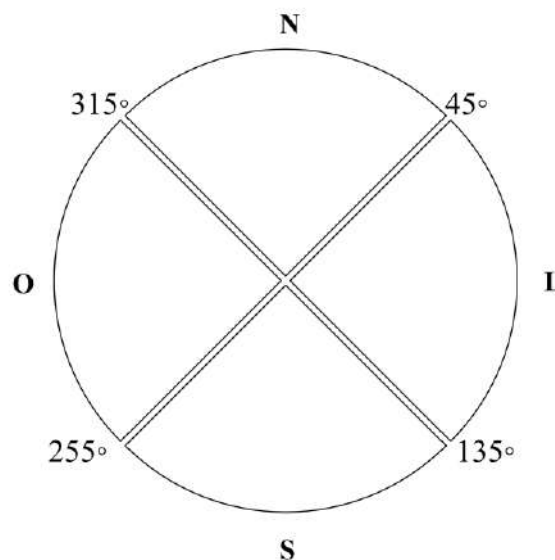
1515 Foi testada a aderência da distribuição dos dados para modo de morte e a classe de  
1516 decomposição. Para isso, foi aplicado o teste Qui-quadrado ( $\chi^2$ ), considerando a hipótese nula  
1517 ( $H_0$ ) de que os dados seguem uma distribuição uniforme ( $\alpha = 0,05$ ).

1518

#### 1519 2.7.3 Direção de queda

1520 Para verificar a distribuição dos dados observados na amostra estudada e avaliar uma  
1521 possível predominância na direção de queda dos indivíduos, foi aplicado o teste de Rayleigh  
1522 (Rayleigh, 1919), baseado na análise de frequências da estatística circular. Para efeito visual,  
1523 os dados e os resultados foram classificados em direção de queda (Norte de 315 a 45°, Leste de  
1524 45 a 135°, Sul de 135 a 225° e Oeste de 225 a 1315°) (Figura 5).

1525 Figura 5 – Figura esquemática da distribuição das direções de queda das árvores mortas na área de  
1526 estudo.



1527

1528

Fonte: Autora (2024)

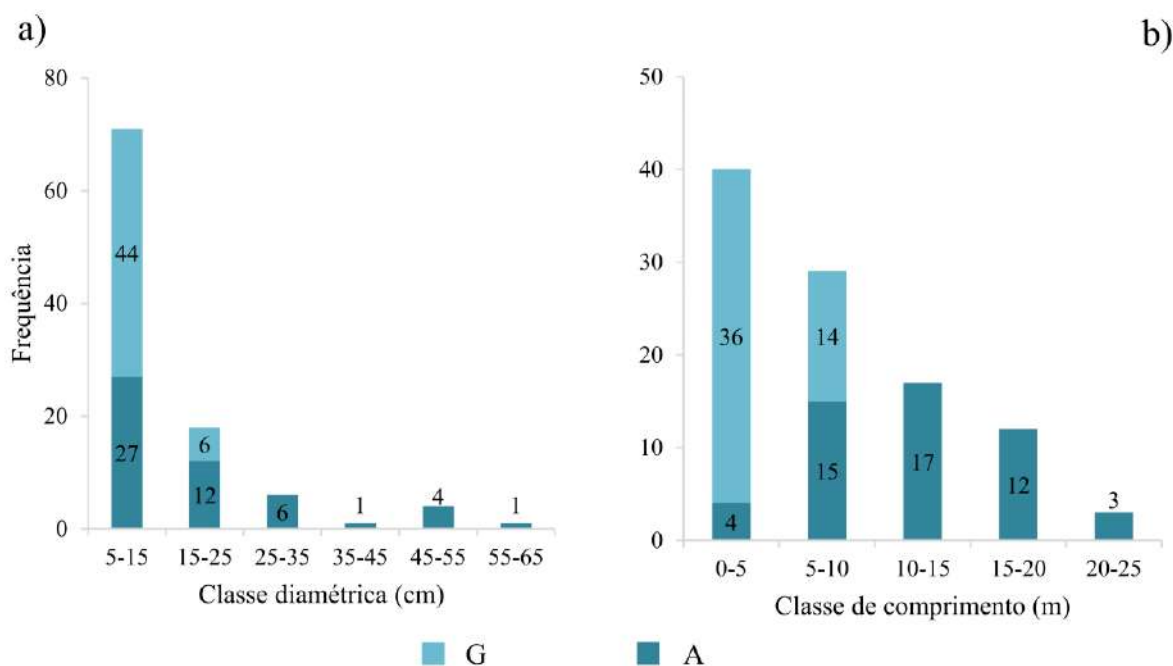
#### 1529 2.7.4 Efeito de borda

1530 Para testar a relação entre a distância da borda (m) e densidade de árvores mortas dos  
1531 conglomerados, os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk ( $p \geq 0,05$ ), para avaliar a  
1532 normalidade dos dados. Em seguida, realizado a correlação de Spearman ( $p \geq 0,05$ ) para dados  
1533 não paramétricos.

### 1534 3 RESULTADOS

1535 Nos 30 conglomerados instalados, foram encontrados 101 indivíduos, sendo 51  
 1536 (50,50%) árvores e 50 (49,50%) galhos. Observou-se que os galhos se concentram nas classes  
 1537 iniciais da distribuição de tamanho, com 88,0% na classe diamétrica entre 5 – 15 cm e 72,0%  
 1538 na classe de comprimento entre 0 – 5 m. Em relação as árvores, a maior concentração dos  
 1539 indivíduos também está nas classes diamétricas 5 – 15 e 15 – 25 cm. Além disso, cerca de  
 1540 57,0% das árvores inventariadas apresentaram um comprimento de 10 a 20 m (Figura 6).

1541 Figura 6 – Distribuição das frequências de diâmetro (a) e comprimento (m) por Galhos (G) e Árvores  
 1542 (A).

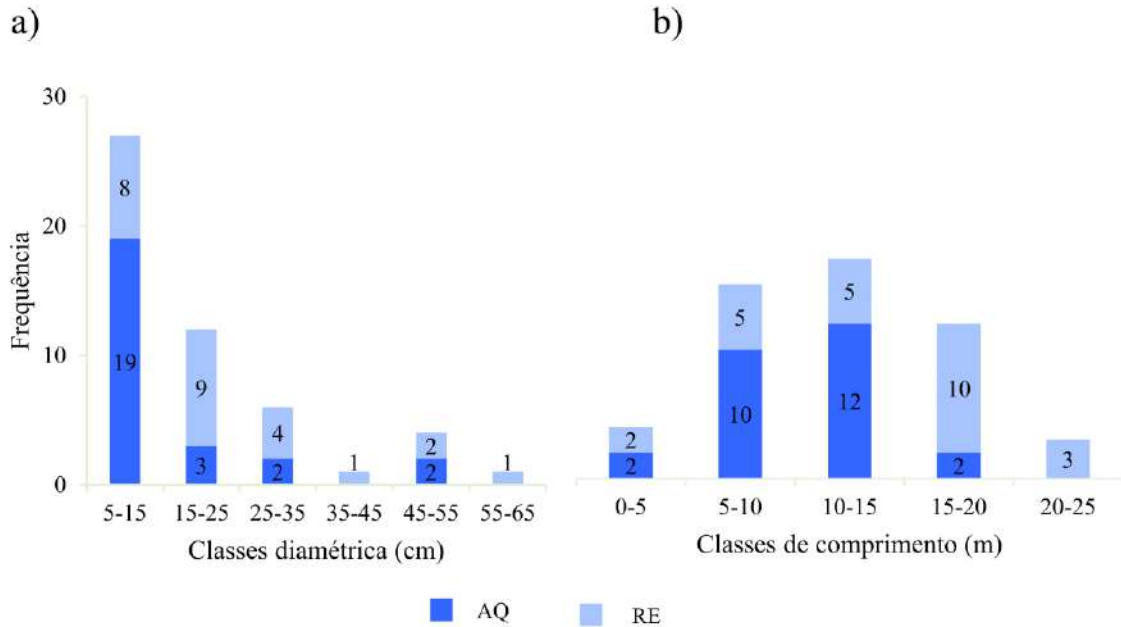


1543  
 1544 Fonte: Autora (2024).  
 1545

1546 Das 51 árvores, 26 morreram quebradas na base ou no fuste (AQ) e 25 com suas raízes  
 1547 expostas (RE). O teste Qui-quadrado ( $\chi^2$ ) aplicado para avaliar o modo de morte, não apresentou  
 1548 diferenças estatísticas significativas ( $\alpha = 0,05$ ;  $p$ -valor = 0,623;  $X^2$  cal = 0,242). As classes  
 1549 diamétricas que registraram o maior número de árvores foram as de 5 – 15 cm, com um total  
 1550 de 24 árvores e de 15 – 25 cm, com 12 árvores. Em relação às classes de comprimento,  
 1551 observou-se a maior concentração de árvores na classe de 10 – 15 m, representando 33,33% do  
 1552 total inventariado (Figura 5). Ao analisar os modos de morte por classe de tamanho, destaca-  
 1553 se que as árvores que apresentam o modo de morte quebradas estão mais presentes na classe de  
 1554 5 – 10 cm, com 19 árvores. Já para o modo de morte desenraizada, a maior incidência está na  
 1555 classe de 15 – 25 cm, com um total de 9 indivíduos. Em relação ao comprimento, o modo de

1556 morte árvore quebrada concentra-se notavelmente nas classes 5 – 10 e 10 – 15 m, com 10 e 12  
 1557 árvores, respectivamente. Quanto às árvores desenraizadas, a concentração é notável na classe  
 1558 de 15 – 20 m (Figura 7).

1559 Figura 7 – Distribuição diamétrica (a) e de comprimento (b) por modo de morte do número de indivíduos  
 1560 inventariados na área de estudo, onde raiz exposta (RE); árvore quebrada (AQ).



1561 Fonte: Autora (2024).  
 1562

1563

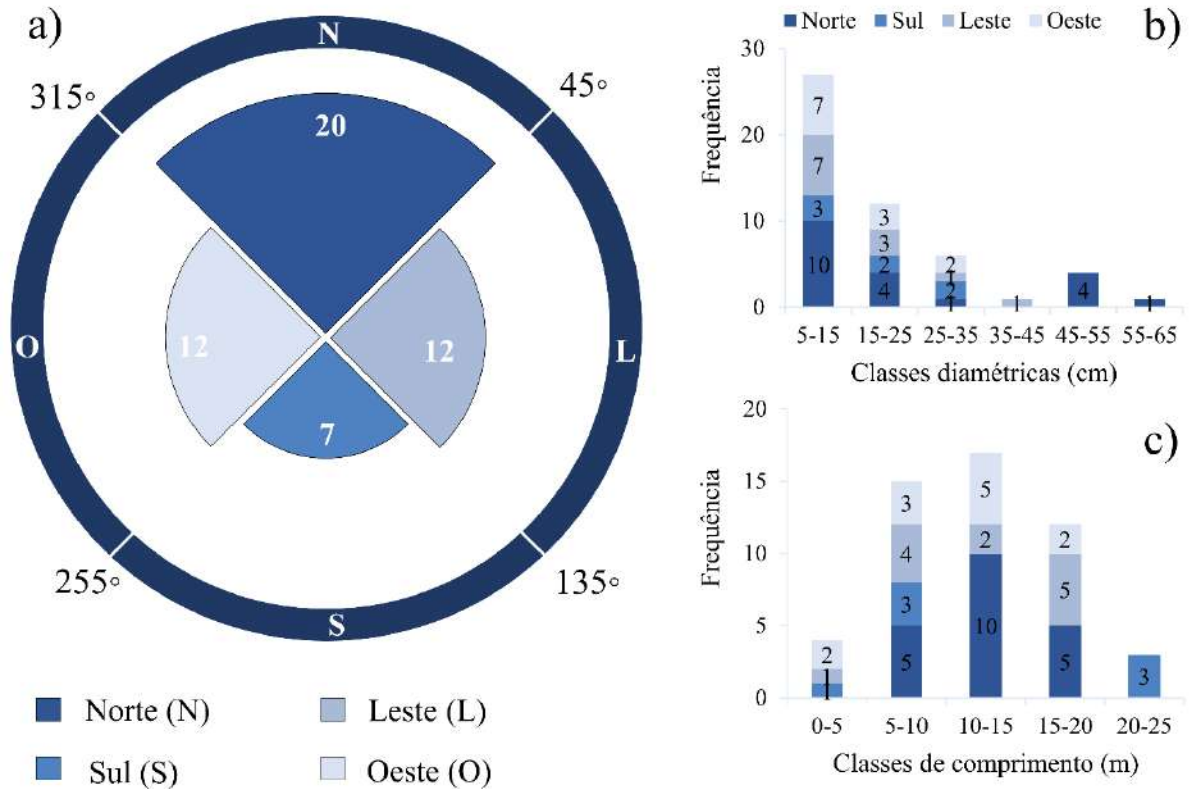
1564 A estatística de Rayleigh apresentou um p-valor significativo para direção de queda na  
 1565 área de estudo (*Test Statistic: 0.2732; P-value: 0.0222*). Dessa forma, rejeita a hipótese nula,  
 1566 indicando que há uma frequência predominando para árvores caídas, ou seja, os dados não  
 1567 seguem uma distribuição normal. As árvores encontradas estão predominantemente  
 1568 direcionadas ao norte (315 – 45°), com 20 exemplares, ao Leste (45 – 135°) e Oeste (225 –  
 1569 315°) com 12 indivíduos cada. Analisando a direção de queda em relação ao tamanho dos  
 1570 detritos lenhosos, as classes de diâmetro de 10 – 20 e 20 – 30 cm estão presente em todas as  
 1571 direções de queda, com 22 e 11 indivíduos, respectivamente. (Figura 10b). Os indivíduos de  
 1572 maior porte estão concentrados nas classes centrais da distribuição de comprimento, sendo que  
 1573 a classe de 15 – 20 m apresenta um valor expressivo, com 12 indivíduos mortos,  
 1574 predominantemente os indivíduos desta classe se encontra na caídos para a direção norte, na  
 1575 última classe de distribuição se encontra apenas árvore para a direção sul. (Figura 8).

1576

1577

1578

1579 Figura 8 – Direção de queda das árvores caídas (a); distribuição de tamanhos por direção de queda para  
 1580 classe de diâmetro (cm) (b) e classe de comprimento (m) (c).



1581  
 1582 Fonte: Autora (2024).

1583

1584 A classe de decomposição mais presente para galhos e árvores na área de estudo é a  
 1585 avançada com 82 (81,19%) registros, seguida pela classe média com 10 registro (9,90%) e pela  
 1586 inicial com 9 (8,91%) exemplares. O resultado do teste de aderência foi estatisticamente  
 1587 significativo, levando à rejeição da hipótese nula ( $\alpha=0,05$ ;  $p\text{-valor} > 0,01$ ;  $X^2_{cal} = 104,10$ ). Ao  
 1588 avaliar os resultados das classes de decomposição pela distribuição de tamanhos, observou-se  
 1589 que todos os níveis de decomposição estão presentes na classe de 5 – 10 e 15 – 25 cm da  
 1590 distribuição diamétrica, totalizando 71 e 18 exemplares, respectivamente (Figura 9a). Na  
 1591 distribuição de comprimento, todas as classes de decomposição estão concentradas nas classes  
 1592 centrais da distribuição, entre 15 – 20 e 20 – 25 cm. (Figura 9b).

1593

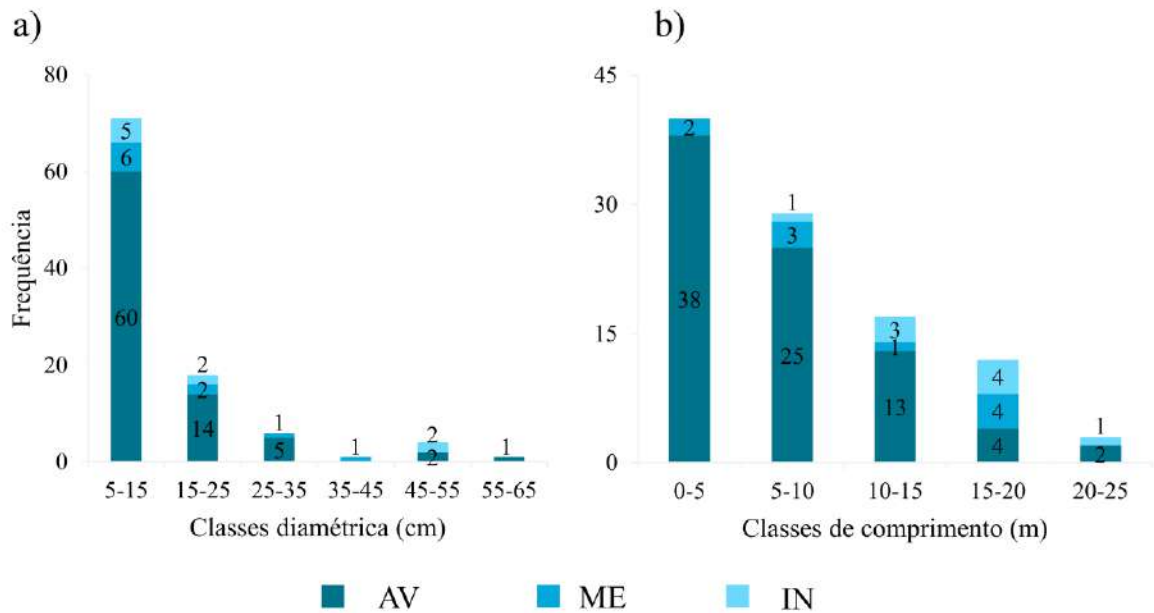
1594

1595

1596

1597

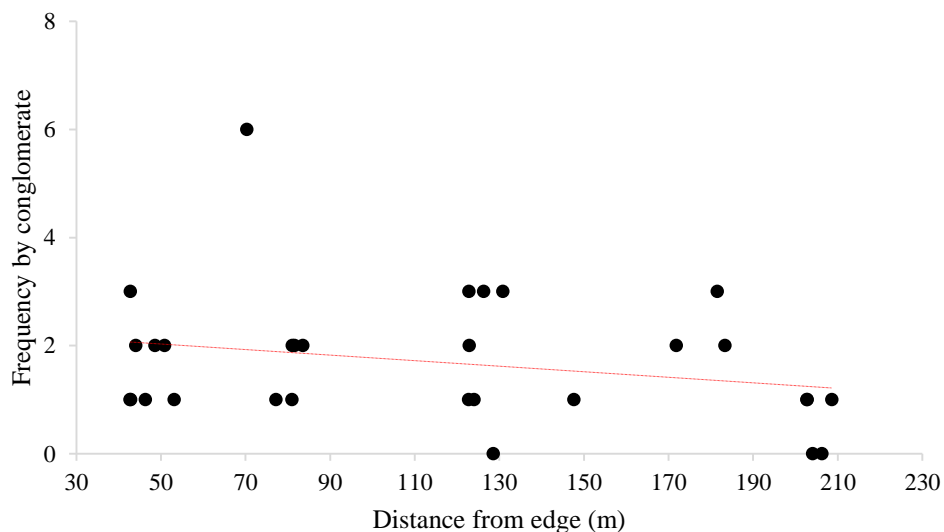
1598 Figura 9 – Distribuição das classes de diâmetro (cm) (a) e classe de comprimento (m) (b) por classe de  
 1599 decomposição na área de estudada. Onde: classe de decomposição: Inicial (IN); Média (ME); Avançada  
 1600 (AV).



1601  
 1602 Fonte: Autora (2024).  
 1603

1604 A correlação Spearman ( $p \geq 0,05$ ) entre a distância da borda, número de árvores mortas  
 1605 ( $\rho = -0,22$ ; p-valor = 0,24) apresentou uma relação negativa e fraca, demonstrando que na área  
 1606 estuda a distância da borda apresenta pouca influência na mortalidade dos indivíduos arbóreos.  
 1607 (Figura 10).

1608 Figura 10 – Representação gráfica da correlação entre a frequência de árvores mortas (n) e a distância  
 1609 da borda (m) nos conglomerados em um fragmento florestal secundário.  
 1610



1611  
 1612 Fonte: Autora (2024).

1613

1614 **4 DISCUSSÃO**

1615 Após a realização das análises estatísticas, foi observado que alguns critérios avaliados  
1616 nesta floresta apresentam um padrão pré-definido para a mortalidade de árvores caída, sendo  
1617 possível observar, um número significativo de árvores grandes mortas, nos diferentes modos de  
1618 morte, bem como, nos três níveis de composição avaliados nesse trabalho. Quando se compara  
1619 à altura das árvores com o déficit de pressão de vapor, temperatura máxima, precipitação e água  
1620 disponível, a altura se demonstra ser um componente mais forte da mortalidade de árvores  
1621 (Stovall *et al.*, 2019), corroborando os resultados encontrados nesse trabalho, que as árvores  
1622 grandes podem estar mais propensas a morrer. Ainda segundo Stovall *et al.* (2019), para cada  
1623 10 m de altura que uma árvore cresce, o risco de mortalidade aumenta em 1,26 vezes e a taxa  
1624 de mortalidade aumenta em 2,40% ano. A sensibilidade das árvores de grande porte tem efeito  
1625 significativo no ciclo do carbono, pois atinge diretamente o crescimento da floresta, reduzindo  
1626 a sequestro de carbono e o seu estoque (Bennett *et al.*, 2015).

1627 Este trabalho se concentra na avaliação do modo de morte das árvores caídas em uma  
1628 floresta secundária da Amazônia brasileira, no qual foi observado que as árvores tendem a  
1629 morrer, principalmente, arrancadas com suas raízes expostas acima do solo. O modo de morte  
1630 das árvores é resultado da interação das características da espécie e com o meio ambiente, que  
1631 frequentemente leva a falha fisiológica ou dano estrutural que resulta na morte das árvores  
1632 (Mcdowell *et al.*, 2018). Eventos como vento e chuva podem ter um grande impacto na  
1633 mortalidade, principalmente, quando se relacionado ao modo de morte quebrada e desenraizada  
1634 (Marra *et al.*, 2014). Além disso, as características funcionais podem moldar a mortalidade das  
1635 árvores (Aleixo *et al.*, 2019). Como características das espécies e a densidade básica da madeira,  
1636 por exemplo, já que madeiras menos densas correm mais riscos de morrer quebradas (Chao *et al.*,  
1637 2008). Sendo assim, o modo de morte das árvores está potencialmente relacionado com a  
1638 causa da mortalidade (Fontes *et al.*, 2018).

1639 A vulnerabilidade das árvores também pode estar ligada a fatores climáticos que podem  
1640 potencializar o processo de mortalidade (Hartmann *et al.*, 2022). Avaliando neste estudo um  
1641 possível padrão de morte das árvores, relacionando com a direção de queda, foi possível  
1642 detectar uma direção predominante (Teste estatístico: 0, 2732; P-valor: 0,0222). A direção de  
1643 queda pode ser explicada pela direção do vento, assim como no trabalho de Fonte *et al.* (2018),  
1644 no qual identificou que a predominância das árvores caídas estava na direção do vento. Segundo  
1645 o site Climatempo, a direção do vento predominante em Igarapé-Açu é para o nordeste,

1646 justificando a predominância de árvores caídas nas direções norte. Além disso, o vento interage  
1647 diretamente com as copas das árvores, uma vez que elas atuam como uma barreira entre a  
1648 floresta e a atmosfera. Isso nos leva a interpretar que as árvores maiores tendem a tombar e  
1649 morrer na mesma direção do vento (Gora e Esquivel-Muelbert, 2021).

1650 Os níveis de decomposição foram classificados de forma tátil-visual em três (3) classes,  
1651 conforme Pearson *et al.* (2007) e Felipe *et al.* (2016). A presença ou não de podridão é dos  
1652 parâmetros usados para identificar as classes de decomposição das árvores mortas (Harmon *et*  
1653 *al.*, 2011). Na área de estudo, foram encontrados um número significativo de indivíduos na  
1654 classe avançada de decomposição, principalmente nas classes iniciais da distribuição  
1655 diamétrica. A decomposição da madeira tende a ser mais rápida em diâmetros menores, pois a  
1656 relação entre a área superficial do diâmetro menor aumenta as trocas gasosas e o acesso dos  
1657 decompositores (Chambers *et al.*, 2000; Harmon *et al.*, 2020). Outros fatores também como as  
1658 condições climáticas e as características da madeira podem estar ligadas com esse resultado  
1659 encontrado nesta pesquisa (Wu *et al.*, 2020). No trabalho de Bradford *et al.* (2014), a  
1660 temperatura foi o fator predominante nas taxas médias de decomposição, assim como a umidade  
1661 (Laiho e Prescott, 1999), dessa forma podendo inferir que o clima da área de estudo pode ser  
1662 um propulsor da decomposição, pois Igarapé-Açu é caracterizado como quente e úmido  
1663 (Pachêco *et al.*, 2005).

1664 A área experimental desta pesquisa está inserida em um fragmento florestal secundário,  
1665 um cenário cada vez mais frequente pelo mundo e também na Amazônia (Haddad *et al.*, 2015).  
1666 Essas áreas podem sofrer mudanças ecológicas devido ao seu isolamento, afetando o  
1667 microclima da floresta (Shafer, 1981; Laurance *et al.* 2011). Já que o fenômeno conhecido como  
1668 efeito de borda cria condições de crescimento variado entre os ambientes (Smith *et al.*, 2013),  
1669 as análises estatísticas desse estudo mostraram não haver relação entre a distância da borda e o  
1670 número de árvores mortas dentro dos conglomerados, vale ressaltar que a distância por si só  
1671 não explica toda a variação da mortalidade dentro dos sítios florestais (Didham e Lawton,  
1672 1999). Prever como a composição florestal evoluirá no futuro é um desafio, devido a existência  
1673 diversas incertezas relacionadas aos principais fatores responsáveis pela mortalidade (Allen *et*  
1674 *al.*, 2010). Dessa forma, esse estudo possui o intuito de trazer informações e características  
1675 sobre a mortalidade de árvores e seu o comportamento em um ambiente de floresta secundária  
1676 na Amazônia brasileira. Somando a isso, McMahon *et al.* (2019) destaca em seu estudo o a  
1677 necessidade de monitorar indivíduos de uma forma mais ampla e focar nas espécies que estão  
1678 em vulnerabilidade para uma melhor compreensão do atual cenário.

1679 **5 CONCLUSÃO**

- 1680 • O tamanho das árvores é um fator determinante para a maneira como elas morrem.
- 1681 • A incidência de árvores mortas predominou em uma direção de queda e em grau de
- 1682 decomposição.
- 1683 • A mortalidade apresenta possíveis padrões, mas a compreensão das inter-relações entre
- 1684 fatores bióticos e abióticos é complexa;
- 1685 • Métodos e processos de inventários apropriados são necessários para captar melhor os
- 1686 sinais de mortalidade
- 1687 • A pesquisa abre possibilidades para o desenvolvimento de estudos de mensuração
- 1688 florestal voltados à mortalidade de árvores na floresta secundária

1689

1690 **REFERÊNCIAS**

- 1691 ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11.941 -  
1692 Determinação da densidade básica em madeira. Rio de Janeiro, 6 p. 2003.
- 1693 ALEIXO, Izabela *et al.* Amazonian rainforest tree mortality driven by climate and functional  
1694 traits. **Nature Climate Change**, v. 9, n. 5, p. 384-388, 2019.
- 1695 ALLEN, Craig D. *et al.* A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals  
1696 emerging climate change risks for forests. **Forest ecology and management**, v. 259, n. 4, p.  
1697 660-684, 2010.
- 1698 ARELLANO, Gabriel *et al.* Crown damage and the mortality of tropical trees. **New**  
1699 **Phytologist**, v. 221, n. 1, p. 169-179, 2019.
- 1700 ARELLANO, Gabriel; ZULETA, Daniel; DAVIES, Stuart J. Tree death and damage: a  
1701 standardized protocol for frequent surveys in tropical forests. **Journal of Vegetation Science**,  
1702 v. 32, n. 1, p. e12981, 2021.
- 1703 BENNETT, Amy C. *et al.* Larger trees suffer most during drought in forests worldwide. **Nature**  
1704 **plants**, v. 1, n. 10, p. 1-5, 2015.
- 1705 BRADFORD, Mark A. *et al.* O clima não consegue prever a decomposição da madeira à escala  
1706 regional. **Natureza Mudanças Climáticas**, v. 4, n. 7, pág. 625-630, 2014.
- 1707 BROWN, Sandra. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. Food  
1708 e Agriculture Org., 1997.
- 1709 Chambers, J.Q.; Higuchi, N.; Schimel, J.P.; Ferreira, L.V.; Melack, J.M. Decomposition and  
1710 carbon cycling of dead trees in tropical forests of the central Amazon. **Oecologia**, v. 122, p.  
1711 380-388, 2000.
- 1712 CHAO, Kuo-Jung *et al.* Carbon concentration declines with decay class in tropical forest woody  
1713 debris. **Forest Ecology and Management**, v. 391, p. 75-85, 2017.
- 1714 CHAO, Kuo - Jung *et al.* Growth and wood density predict tree mortality in Amazon  
1715 forests. **Journal of Ecology**, v. 96, n. 2, p. 281-292, 2008.



- 1716 CHAO, Kuo-Jung *et al.* Vegetation dynamics of a lowland rainforest at the northern border of  
1717 the paleotropics at Nanjenshan, southern Taiwan, v. 25, n. 1, p. 29-40, 2010.
- 1718 CHAZDON, Robin L.; GUARIGUATA, Manuel R. Natural regeneration as a tool for large-  
1719 scale forest restoration in the tropics: prospects and challenges. **Biotropica**, v. 48, n. 6, p. 716-  
1720 730, 2016.
- 1721 **CLIMATEMPO**. <https://www.climatempo.com.br/>, Acesso em 04 de outubro de 2023.
- 1722 COLPINI, Chirle *et al.* Incremento, ingresso e mortalidade em uma floresta de contato  
1723 ombrófila aberta/estacional em Marcelândia, Estado do Mato Grosso. **Acta Amazonica**, v. 40,  
1724 p. 549-555, 2010.
- 1725 DA SILVA, Benedito Nelson Rodrigues *et al.* Solos das mesobacias hidrográficas dos igarapés  
1726 São João e Cumaru, municípios de Marapanim e Igarapé Açu. In: **CONGRESSO**  
1727 **BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**. 2009.
- 1728 DAJOZ, R. 2006. Ecology principles. Artmed, Porto Alegre. 519 pp. (in Portuguese).
- 1729 DENICH, M.; KANASHIRO, Milton. A vegetação secundária na paisagem agrícola no  
1730 Nordeste paraense, Brasil. 1995.
- 1731 DIDHAM, Raphael K.; LAWTON, John H. Edge structure determines the magnitude of  
1732 changes in microclimate and vegetation structure in tropical forest fragments 1. **Biotropica**, v.  
1733 31, n. 1, p. 17-30, 1999.
- 1734 DING, Zhentian *et al.* An Analysis of the Factors Affecting Forest Mortality and Research on  
1735 Forecasting Models in Southern China: A Case Study in Zhejiang Province. **Forests**, v. 14, n.  
1736 11, p. 2199, 2023.
- 1737 DYER, Lee A.; CARSON, Walter P.; LEIGH, Egbert G. Insect outbreaks in tropical forests:  
1738 patterns, mechanisms, and consequences. **Insect outbreaks revisited**, p. 219-245, 2012.
- 1739 ELIAS, Fernando *et al.* Assessing the growth and climate sensitivity of secondary forests in  
1740 highly deforested Amazonian landscapes. **Ecology**, v. 101, n. 3, p. e02954, 2020.
- 1741 FALCETTA, F.M. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC): ferramenta  
1742 de mitigação da crise climática ou perpetuador da hegemonia?. 2023.
- 1743 FELIPE, L.; GONÇALVES, S.; FELIPE, L.; GONÇALVES, S. Necromassa  
1744 florestal: protocolo experimental para estimativas de estoque e produção de liteira grossa.  
1745 Manaus: **Editora INPA**, 2016.
- 1746 FONSECA, A. I. T. **Laudo hidrogeológico para construção de poço tubular**. Prefeitura de  
1747 Igarapé-Açu, 2017.
- 1748 FONTES, Clarissa G.; CHAMBERS, Jeffrey Q.; HIGUCHI, Niro. Revealing the causes and  
1749 temporal distribution of tree mortality in Central Amazonia. **Forest Ecology and**  
1750 **Management**, v. 424, p. 177-183, 2018.
- 1751 GAVRILOV L. A, GAVRILOVA N. S. 2001. The reliability theory of aging and longevity.  
1752 *Journal of Theoretical Biology* 213: 527–545.
- 1753 GORA, Evan M. *et al.* Dead wood necromass in a moist tropical forest: stocks, fluxes, and  
1754 spatiotemporal variability. **Ecosystems**, v. 22, p. 1189-1205, 2019.
- 1755 GORA, Evan M.; ESQUIVEL-MUELBERT, Adriane. Implications of size-dependent tree  
1756 mortality for tropical forest carbon dynamics. **Nature Plants**, v. 7, n. 4, p. 384-391, 2021.

- 1757 HADDAD, Nick M. *et al.* Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's  
1758 ecosystems. **Science advances**, v. 1, n. 2, p. e1500052, 2015.
- 1759 HARMON, Mark E. *et al.* Differences between standing and downed dead tree wood density  
1760 reduction factors: a comparison across decay classes and tree species. **USDA For. Serv. Res.**  
1761 **Pap. NRS-15**, p. 40, 2011.
- 1762 HARMON, Mark E. *et al.* Release of coarse woody detritus-related carbon: a synthesis across  
1763 forest biomes. **Carbon balance and management**, v. 15, n. 1, p. 1-21, 2020.
- 1764 HARMON, Mark E. The role of woody detritus in biogeochemical cycles: past, present, and  
1765 future. **Biogeochemistry**, v. 154, n. 2, p. 349-369, 2021.
- 1766 HARMON, Mark E. The role of woody detritus in biogeochemical cycles: past, present, and  
1767 future. **Biogeochemistry**, v. 154, n. 2, p. 349-369, 2021.
- 1768 HARTMANN, Henrik *et al.* Climate change risks to global forest health: emergence of  
1769 unexpected events of elevated tree mortality worldwide. **Annual Review of Plant Biology**, v.  
1770 73, p. 673-702, 2022.
- 1771 HENRY, Matieu *et al.* GlobAllomeTree: international platform for tree allometric equations to  
1772 support volume, biomass and carbon assessment. **Iforest-biogeosciences and forestry**, v. 6, n.  
1773 6, p. 326, 2013.
- 1774 IBGE. (2022). **Censo Demográfico 2022: Resultados Preliminares do Universo - Brasil.**  
1775 Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/igarape-acu/panorama> Acesso em: 12 de  
1776 setembro de 2023.
- 1777 KELLER, Michael *et al.* Coarse woody debris in undisturbed and logged forests in the eastern  
1778 Brazilian Amazon. **Global change biology**, v. 10, n. 5, p. 784-795, 2004.
- 1779 KLEIN, R.M. Ecologia da flora e vegetação do Vale do Itajaí. **Sellowia**, Florianópolis, n. 32,  
1780 p. 165-389, 1980.
- 1781 LAIHO, Raija; PRESCOTT, Cindy E. The contribution of coarse woody debris to carbon,  
1782 nitrogen, and phosphorus cycles in three Rocky Mountain coniferous forests. **Canadian**  
1783 **journal of forest research**, v. 29, n. 10, p. 1592-1603, 1999.
- 1784 LAURANCE, W. F.; CAMARGO, J. L. C.; LUIZÃO, R. C. C.; LAURANCE, S. G.; PIMM,  
1785 S. L. *et al.* The fate of Amazonian forest fragments: a 32-year investigation. **Biological**  
1786 **conservation**, v. 144, n. 1, p. 56-67, 2011.
- 1787 LAURANCE, William F. Edge effects in tropical forest fragments: application of a model for  
1788 the design of nature reserves. **Biological conservation**, v. 57, n. 2, p. 205-219, 1991.
- 1789 MAAS, Greyce CB *et al.* Combining sample designs to account for the whole necromass carbon  
1790 stock in Brazilian Atlantic Forest. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 40, n. 7, p. 639-655,  
1791 2021.
- 1792 MAGNABOSCO MARRA, Daniel *et al.* Windthrows control biomass patterns and functional  
1793 composition of Amazon forests. **Global Change Biology**, v. 24, n. 12, p. 5867-5881, 2018.
- 1794 MARRA, Daniel Magnabosco *et al.* Large-scale wind disturbances promote tree diversity in a  
1795 Central Amazon forest. **PloS one**, v. 9, n. 8, p. e103711, 2014.
- 1796 MCDOWELL, Nate *et al.* Drivers and mechanisms of tree mortality in moist tropical  
1797 forests. **New Phytologist**, v. 219, n. 3, p. 851-869, 2018.

- 1798 MCMAHON, Sean M.; ARELLANO, Gabriel; DAVIES, Stuart J. The importance and  
1799 challenges of detecting changes in forest mortality rates. **Ecosphere**, v. 10, n. 2, p. e02615,  
1800 2019.
- 1801 NELDER, John Ashworth; WEDDERBURN, Robert WM. Generalized linear models. **Journal**  
1802 **of the Royal Statistical Society Series A: Statistics in Society**, v. 135, n. 3, p. 370-384, 1972.
- 1803 NICOLETTI, M. F.; SILVA, E.; FLORIANI, M. M. P. Metodologia não destrutiva para  
1804 quantificação do volume e biomassa do fuste em remanescente florestal. Revista **Nativa**, Mato  
1805 Grosso, v. 3, p. 287-291, 2015.
- 1806 PACHÊCO, N. A.; BASTOS, T. X. Boletim agrometeorológico 2004 Igarapé-Açu, PA.  
1807 Embrapa Amazônia Oriental-Documentos (INFOTECA-E), 2005.
- 1808 PAN, Y.; BIRDSEY, R. A.; FANG J.; HOUGHTON R, KAUPPI P. E, KURZ W. A,  
1809 PHILLIPS.; O. L, SHVIDENKO, A. Lewis SL, Canadell JG *et al* (2011) A large and persistent  
1810 carbon sink in the world's forests. *Science* 333:988–993.
- 1811 PEARSON, TIMOTHY R.H.; BROWN, SANDRA L.; BIRDSEY, RICHARD A. 2007.  
1812 **Measurement guidelines for the sequestration of forest carbon**. Gen. Tech. Rep. NRS-18.  
1813 Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research  
1814 Station. 42 p.
- 1815 PIASZCZYK, Wojciech, *et al*. A comparison of C: N: P stoichiometry in soil and deadwood at  
1816 an advanced decomposition stage. **Catena**, v. 179, p. 1-5, 2019.
- 1817 PIPONIOT, Camille *et al*. Distribution of biomass dynamics in relation to tree size in forests  
1818 across the world. **New Phytologist**, v. 234, n. 5, p. 1664-1677, 2022.
- 1819 RAJALA, Tiina *et al*. Relationship between wood-inhabiting fungi determined by molecular  
1820 analysis (denaturing gradient gel electrophoresis) and quality of decaying logs. **Canadian**  
1821 **Journal of Forest Research**, v. 40, n. 12, p. 2384-2397, 2010.
- 1822 RAYLEIGH, Lord. XXXI. On the problem of random vibrations, and of random flights in one,  
1823 two, or three dimensions. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and**  
1824 **Journal of Science**, v. 37, n. 220, p. 321-347, 1919.
- 1825 RUSSELL, Matthew B. *et al*. Quantifying carbon stores and decomposition in dead wood: A  
1826 review. **Forest Ecology and Management**, v. 350, p. 107-128, 2015.
- 1827 SMITH, Ian A. *et al*. Juntando os fragmentos: elucidando os efeitos de borda na dinâmica do  
1828 carbono florestal. **Fronteiras na Ecologia e no Meio Ambiente**, v. 16, n. 4, pág. 213-221,  
1829 2018.
- 1830 STOVALL, Atticus EL; SHUGART, Herman; YANG, Xi. Tree height explains mortality risk  
1831 during an intense drought. **Nature Communications**, v. 10, n. 1, p. 4385, 2019.
- 1832 STURGES, Herbert A. The choice of a class interval. **Journal of the american statistical**  
1833 **association**, v. 21, n. 153, p. 65-66, 1926.
- 1834 URIARTE, María *et al*. Impacts of climate variability on tree demography in second growth  
1835 tropical forests: the importance of regional context for predicting successional  
1836 trajectories. **Biotropica**, v. 48, n. 6, p. 780-797, 2016.
- 1837 VAN WAGNER, C. E. The line intersect method in forest fuel sampling. **Forest science**, v. 14,  
1838 n. 1, p. 20-26, 1968.

- 1839 VITAL, Benedito Rocha. Métodos de determinação da densidade da madeira. **Viçosa, MG:**  
1840 **SIF**, v. 501, 1984.
- 1841 WU, Chunsheng *et al.* The response of coarse woody debris decomposition and microbial  
1842 community to nutrient additions in a subtropical forest. **Forest Ecology and Management**, v.  
1843 460, p. 117799, 2020.
- 1844 ZULETA, Daniel *et al.* Individual tree damage dominates mortality risk factors across six  
1845 tropical forests. **New Phytologist**, v. 233, n. 2, p. 705-721, 2022.

1846 **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

- 1847 • O estudo contribuiu para o entendimento da dinâmica da necromassa florestal e dos  
1848 processos de mortalidade de árvores em florestais secundárias amazônicas;
- 1849 • Foi possível identificar padrões de mortalidade para esta floresta que podem se repetir  
1850 em outros ambientes;
- 1851 • Trouxe também uma compreensão melhor dos processos da decomposição e como o  
1852 mesmo implica no estoque de necromassa e consequentemente no balanço do carbono.

