

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**DEIWISSON WILLAM DA SILVA SANTOS**

**ESTRUTURA HORIZONTAL E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ESPÉCIES  
COMERCIAIS DA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

**LAGES**

**2022**

**DEIWISSON WILLAM DA SILVA SANTOS**

**ESTRUTURA HORIZONTAL E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ESPÉCIES  
COMERCIAIS DA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Floriani Stepka

Co-orientador: Prof. Dr. André Felipe Hess

**LAGES**

**2022**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da  
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Santos, Deiwisson  
ESTRUTURA HORIZONTAL E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL  
DE ESPÉCIES COMERCIAIS DA AMAZÔNIA BRASILEIRA /  
Deiwisson Santos. -- 2022.  
112 p.

Orientador: Thiago Stepka  
Coorientador: André Hess  
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa  
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2022.

1. Amazônia. 2. Manejo Florestal Comunitário. 3. Função  
Densidade Probabilística. 4. Distribuição espacial. I. Stepka, Thiago.  
II. Hess, André. III. Universidade do Estado de Santa Catarina,  
Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Florestal. IV. Título.

**DEIWISSON WILLAM DA SILVA SANTOS**

**ESTRUTURA HORIZONTAL E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ESPÉCIES  
COMERCIAIS DA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

**BANCA EXAMINADORA:**

Prof. Dr. Thiago Floriani Stepka  
UDESC/Lages-SC

Membros:

Prof. Dr. Rafael Rode  
UFOPA/Santarém-PA

Prof. Dr. Gerson dos Santos Lisboa  
UFG/Goiânia-GO

Lages, 28 de julho de 2022

*Dedico este trabalho aos meus eternos avós,  
Lucineide e Zezinho, com amor!*

## **AGRADECIMENTOS**

À minha mãe, Adriana Ferreira da Silva, por todo o apoio, carinho e incentivo necessário para que eu pudesse chegar até aqui e ir além, muito obrigado!

Ao meu orientador, Prof. Dr. Thiago Floriani Stepka, pelo apoio, paciência e dedicação a esse projeto, e pela pessoa incrível que tem sido desde o início, muito obrigado!

À Cooperativa Agroextrativista do Rio Inambú (COOPRUNÃ), por apoiar essa pesquisa, fornecendo todos os subsídios necessários para realização das atividades de coleta. A todos os cooperados por todo o carinho e dedicação. Agradeço em especial ao Engenheiro Florestal Lucian, por apoiar e incentivar a realização dessas atividades.

À Cooperativa Mista da Flona Tapajós (COOMFLONA) por todo o apoio fornecido para a realização desse projeto. Agradeço a todos os cooperados que participaram direta e indiretamente da realização das atividades, com todo carinho e dedicação, muito obrigado!

Ao laboratório de Manejo em Ecossistemas Florestais (LAMEF) pelo fornecimento de todos os equipamentos necessários ao projeto. Em especial ao professor Renato Bezerra da Silva, por conceder a oportunidade de poder fazer parte desse grupo, e ao professor João Ricardo, pelo apoio e incentivo à pesquisa.

Ao pesquisador Dr. Diego Vieira, por toda a ajuda, disponibilidade, paciência e dedicação prestadas da melhor maneira possível, muito obrigado!

À professora Karla Almada, que sempre esteve disponível a ajudar e esclarecer todas as dúvidas que surgiram pelo caminho, sempre com paciência e máxima dedicação em tudo o que faz, muito obrigado!

## RESUMO

A Amazônia é sinônimo de riqueza em biodiversidade, com um ambiente repleto de espécies detentoras de características únicas e distintas de todas as demais regiões do mundo, que demandam cada vez mais de pesquisas que busquem o entendimento e simplificação de suas características estruturais. O trabalho foi subdividido em 3 capítulos, onde o primeiro aborda a avaliação do desempenho de diferentes dendrômetros ópticos digitais na estimativa de altura comercial, e o ajuste de modelos hipsométricos e volumétricos para estimar a produção madeireira em uma área de manejo florestal sustentável na Floresta Nacional do Tapajós. Foi coletada com auxílio de três dendrômetros (Trupulse 360°, Criterion RD-1000 e Vertex IV) a altura comercial de seis espécies de grande valor comercial, além de seus respectivos comprimentos logo após a derrubada, totalizando 300 indivíduos. Não houve diferença significativa entre a média dos comprimentos em relação as médias de altura obtidas pelos dendrômetros. O dendrômetro Trupulse 360° mostrou-se o mais preciso nas estimativas de altura por espécie, de forma individual. As medidas dendrométricas apresentaram alta variação, fator esse que refletiu diretamente na qualidade dos ajustes volumétricos e hipsométricos. O segundo capítulo tratou da determinação do comportamento individual de dez espécies de maior interesse comercial na área da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, mediante a utilização de seis Funções Densidade Probabilísticas (FDP) para classes de altura comercial e diâmetro, avaliando seu desempenho para cada espécie de forma individual. Para os ajustes, utilizou-se dados do censo da área de manejo, com 1.500 hectares e o total de 6.961 árvores. As distribuições Weibull 3P e Gama obtiveram os melhores ajustes para as classes de diâmetro, enquanto os modelos Weibull 2P e Gauss foram os que melhor explicaram as distribuições de altura comercial. Já o terceiro capítulo propôs a representação da estrutura horizontal e densidade populacional da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, além da distribuição espacial das dez espécies de maior valor comercial, analisando seu comportamento estrutural e observando tendências a aleatoriedade ou agrupamento em sua distribuição. A área apresentou diversidade moderada de espécies e a análise de densidade populacional indicou zonas preferenciais para o desenvolvimento das atividades exploratórias. O padrão espacial para a maioria das espécies foi do tipo agregado nas menores distâncias, passando a aleatório com o aumento desta, com exceção das espécies *Holopyxydium jarana* e *Manilkara paraenses*, que apresentaram o padrão do tipo regular.

**Palavras-chave:** Amazônia; Manejo Florestal Comunitário; Função Densidade Probabilística; Distribuição espacial.

## ABSTRACT

The Amazon is synonymous with rich biodiversity, with an environment full of species with unique and distinct characteristics from all other regions of the world, which increasingly demand research that seeks to understand and simplify their structural characteristics. The work was subdivided into 3 chapters, where the first addresses the evaluation of the performance of different optical digital dendrometers in the estimation of commercial height, and the adjustment of hypsometric and volumetric models to estimate timber production in an area of sustainable forest management in the National Forest. from Tapajos. The commercial height of six species of great commercial value in the area was collected with the aid of three dendrometers (Trupulse 360°, Criterion RD-1000 and Vertex IV), in addition to their respective lengths immediately after felling, totaling 300 individuals. There was no significant difference between the average of the lengths in relation to the averages of height obtained by the dendrometers. The Trupulse 360° dendrometer proved to be the most accurate in the estimates of height by species, individually. The dendrometric measurements showed high variation, a factor that directly reflected in the quality of the volumetric and hypsometric adjustments. The second chapter dealt with the determination of the individual behavior of ten species of greater commercial interest in the area of the Tapajós-Arapiuns Extractive Reserve, through the use of six Probabilistic Density Functions (PDF) for classes of commercial height and diameter, evaluating their performance for each species. individually. For the adjustments, data from the census of the management area was used, with 1,500 hectares and a total of 6,961 trees. The Weibull 3P and Gamma distributions obtained the best fits for the diameter classes, while the Weibull 2P and Gauss models were the ones that best explained the commercial height distributions. The third chapter proposed the representation of the horizontal structure and population density of the Tapajós-Arapiuns Extractive Reserve, in addition to the spatial distribution of the ten species of greatest commercial value, analyzing their structural behavior and observing trends towards randomness or clustering in their distribution. The area presented moderate diversity of species and the analysis of population density indicated preferential zones for the development of exploratory activities. The spatial pattern for most of the species was of the aggregate type at the smallest distances, becoming random with the increase of this distance, with the exception of the species *Holopyxydium jarana* and *Manilkara paraenses*, which presented the pattern of the regular type.

**Keywords:** Amazon; Community Forest Management; Probabilistic Density Function; Spatial distribution.



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Mapa de localização da Unidade de Produção Anual 02, km 117 da Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.....28
- Figura 2.** Relação dendrômetro/altura real para a população total e por espécie na Flona do Tapajós, Pará, Brasil. .... 34
- Figura 3.** Distribuição de resíduos dos melhores modelos hipsométricos obtidos para *Dipteryx odorata* na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil. .... 39
- Figura 4.** Distribuição de resíduos dos melhores modelos hipsométricos obtidos para *Hymenaea courbaril* na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.....40
- Figura 5.** Distribuição de resíduos dos melhores modelos hipsométricos obtidos para *Couratari guianensis* na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.....40
- Figura 6.** Distribuição de resíduos dos melhores modelos volumétricos obtidos para *Dipteryx odorata* na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil. ....44
- Figura 7.** Distribuição de resíduos dos melhores modelos volumétricos obtidos para *Goupia glabra* na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil. ....45
- Figura 8.** Distribuição de resíduos dos melhores modelos volumétricos obtidos para *Hymenaea courbaril* na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.....45
- Figura 9.** Distribuição de resíduos dos melhores modelos volumétricos obtidos para *Hymenaea parvifolia* na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil. ....46
- Figura 10.** Distribuição de resíduos dos melhores modelos volumétricos obtidos para *Manilkara huberi* na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.....47
- Figura 11.** Distribuição de resíduos dos melhores modelos volumétricos obtidos para *Couratari guianensis* na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.....48
- Figura 12.** Mapa de localização da Reserva extrativista Tapajós-Arapiuns, Pará, Brasil. .... 59
- Figura 13.** Frequência absoluta para as principais espécies comerciais presentes na UPA 02 da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, Pará, Brasil. .... 63
- Figura 14.** Distribuição diamétrica observada e distribuição estimada com as funções de Gauss, Weibull 2P, Weibull 3P, Log Normal, Beta e Gama para *Couratari guianensis*, *Caryocar villosum*, *Manilkara paraenses*, *Hymenaea parvifolia*, *Apuleia leiocarpa*, *Holopyxydium jarana*, *Hymenaea courbaril*, *Goupia glabra*, *Dipteryx odorata* e *Handroanthus impetiginosus*..... 63
- Figura 15.** Distribuição de altura comercial observada e distribuição estimada com as funções de Gauss, Weibull 2P, Weibull 3P, Log Normal, Beta e Gama para *Couratari guianensis*, *Caryocar villosum*, *Manilkara paraenses*, *Hymenaea parvifolia*, *Apuleia leiocarpa*, *Holopyxydium jarana*, *Hymenaea courbaril*, *Goupia glabra*, *Dipteryx odorata* e *Handroanthus impetiginosus*.....65
- Figura 16.** Representação gráfica da distribuição K de riplely.....77

<b>Figura 17.</b> Densidade de Kernel para a população total da área de manejo florestal avaliada na Reserva extrativista Tapajós-Arapiuns, Pará, Brasil, onde: Remanescente ( $30,0 \text{ cm} \leq \text{dap} \leq 49,9 \text{ cm}$ ); Comercial ( $\text{dap} \geq 50,0 \text{ cm}$ ).....	81
<b>Figura 18.</b> Distribuição diamétrica da população total presente na área de manejo florestal avaliada na Reserva extrativista Tapajós-Arapiuns, Pará, Brasil. ....	82
<b>Figura 19.</b> Mapa de distribuição das principais espécies comerciais da área de manejo florestal avaliada na Reserva extrativista Tapajós-Arapiuns, Pará, Brasil, para a classe Remanescente ( $35,0 \text{ cm} \leq \text{dap} \leq 49,9 \text{ cm}$ ). ....	82
<b>Figura 20.</b> Mapa de distribuição das principais espécies comerciais da área de manejo florestal avaliada na Reserva extrativista Tapajós-Arapiuns, Pará, Brasil, para a classe Remanescente ( $35,0 \text{ cm} \leq \text{dap} \leq 49,9 \text{ cm}$ ). ....	84
<b>Figura 21.</b> Função K(s) de Ripley para as espécies avaliadas na Reserva extrativista Tapajós-Arapiuns, Pará.....	86

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Modelos hipsométricos e volumétricos testados para seis espécies comerciais da Flona do Tapajós, Belterra, Pará, Brasil. ....	30
<b>Tabela 2.</b> Parâmetros estatísticos gerais dos dados de altura comercial estimados para seis espécies comerciais nativas da Amazônia, Pará, Brasil. ....	32
<b>Tabela 3.</b> Contrastes entre os tratamentos e o grupo controle em diferentes classes de altura, de acordo com o teste de Dunnet a 5% de probabilidade. ....	33
<b>Tabela 4.</b> Contrastes entre os tratamentos e o grupo controle por espécie, de acordo com o teste de Dunnet a 5% de probabilidade. ....	33
<b>Tabela 5.</b> Parâmetros e medidas de precisão das equações hipsométricas obtidas para <i>Dipteryx odorata</i> na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil. ....	36
<b>Tabela 6.</b> Parâmetros e medidas de precisão das equações hipsométricas obtidas para <i>Goupia glabra</i> na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil. ....	36
<b>Tabela 7.</b> Parâmetros e medidas de precisão das equações hipsométricas obtidas para <i>Hymenaea courbaril</i> na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil. ....	37
<b>Tabela 8.</b> Parâmetros e medidas de precisão das equações hipsométricas obtidas para <i>Hymenaea parvifolia</i> na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil. ....	37
<b>Tabela 9.</b> Parâmetros e medidas de precisão das equações hipsométricas obtidas para <i>Manilkara huberi</i> na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil. ....	38
<b>Tabela 10.</b> Parâmetros e medidas de precisão das equações hipsométricas obtidas para <i>Couratari guianensis</i> na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil. ....	38
<b>Tabela 11.</b> Parâmetros e medidas de precisão das equações volumétricas obtidas para <i>Dipteryx odorata</i> na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil. ....	41
<b>Tabela 12.</b> Parâmetros e medidas de precisão das equações volumétricas obtidas para <i>Goupia glabra</i> na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil. ....	41
<b>Tabela 13.</b> Parâmetros e medidas de precisão das equações volumétricas obtidas para <i>Hymenaea courbaril</i> na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil. ....	42
<b>Tabela 14.</b> Parâmetros e medidas de precisão das equações volumétricas obtidas para <i>Hymenaea parvifolia</i> na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil. ....	42
<b>Tabela 15.</b> Parâmetros e medidas de precisão das equações volumétricas obtidas para <i>Manilkara huberi</i> na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil. ....	43
<b>Tabela 16.</b> Parâmetros e medidas de precisão das equações volumétricas obtidas para <i>Couratari guianensis</i> na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil. ....	43
<b>Tabela 17.</b> Funções de Densidade Probabilística ajustadas para as dez espécies de maior valor comercial da Reserva Extrativista Tapajós Arapiuns, Pará, Brasil. ....	61
<b>Tabela 18.</b> Média e Variância para as distribuições de Gauss, Log Normal, Weibull 2P, Weibull 3P, Beta e Gama. ....	61

- Tabela 19.** Estatística dos modelos de Gauss, Weibull 2P, Weibull 3P, Log Normal, Beta e Gama para as distribuições diamétricas das espécies *Couratari guianensis*, *Caryocar villosum*, *Manilkara paraensis*, *Hymenaea parvifolia*, *Apuleia leiocarpa*, *Holopyxydium jarana*, *Hymenaea courbaril*, *Goupia glabra*, *Dipteryx odorata* e *Handroanthus impetiginosus*. ..... 106
- Tabela 20.** Estatística dos modelos de Gauss, Weibull 2P, Weibull 3P, Log Normal, Beta e Gama para as distribuições de altura das espécies *Couratari guianensis*, *Caryocar villosum*, *Manilkara paraensis*, *Hymenaea parvifolia*, *Apuleia leiocarpa*, *Holopyxydium jarana*, *Hymenaea courbaril*, *Goupia glabra*, *Dipteryx odorata* e *Handroanthus impetiginosus*. ..... 108

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$\beta_i$	Parâmetros da equação
Cm	Centímetros
dap	Diâmetro a altura do peito
Ht	Altura total
Hc	Altura comercial
m	Metros
N	Número de árvores ha <sup>-1</sup>
R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	Coefficiente de determinação ajustado
S <sub>y.x%</sub>	Erro padrão da estimativa em porcentagem
CAE	Índice de Completa Aleatoriedade espacial
FDP	Função de Densidade Probabilística
UPA	Unidade de Produção Anual
UT	Unidade de Trabalho
APP	Área de Preservação Permanente
MMA	Ministério do Meio Ambiente
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COOMFLONA	Cooperativa Mista da Floresta Nacional do Tapajós
COOPRUNÃ	Cooperativa Mista Agroextrativista do Rio Inambu

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1 <b>OBJETIVOS</b> .....	14
1.2 <b>HIPÓTESES</b> .....	14
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	14
2.1 FLORESTA AMAZÔNICA.....	14
2.2 INVENTÁRIO FLORESTAL NA AMAZÔNIA.....	16
2.3 OBTENÇÃO DE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS.....	17
2.4 DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA E HIPSOMÉTRICA .....	18
2.5 DISTRIBUIÇÕES PROBABILÍSTICAS.....	19
2.6 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ESPÉCIES NA AMAZÔNIA .....	20
2.6.1 Métodos para a determinação de não-aleatoriedade.....	21
2.6.2 Densidade de Kernel .....	22
<b>3 CAPÍTULO I: VIABILIDADE TÉCNICA NO USO DE DENDRÔMETROS E AJUSTE DE MODELOS HIPSOMÉTRICOS E VOLUMÉTRICOS NA FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS</b> .....	24
<b>4 CAPÍTULO II: MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA E HIPSOMÉTRICA DE DEZ ESPÉCIES COMERCIAIS NATIVAS DA AMAZÔNIA, NO ESTADO DO PARÁ</b> .....	55
<b>5 CAPÍTULO III: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E ESTRUTURA HORIZONTAL EM UMA ÁREA DE MANEJO FLORESTAL NA AMAZÔNIA, BRASIL</b> .....	70
<b>6 REFERÊNCIAS</b> .....	91
<b>7 APÊNDICE I</b> .....	106

## 1 INTRODUÇÃO

A Amazônia é detentora da maior riqueza em biodiversidade dentre todas as demais regiões do mundo, com características únicas e marcantes, como fauna e flora compostas por espécies inexistentes em outras regiões, amplamente distribuídas em sua vasta e complexa extensão territorial (LEITÃO-FILHO, 1987). Algumas características como distribuição espacial das espécies, tipologias florestais distintas, clima, solo e hidrografia tornam complexa a modelagem de seu ecossistema, trazendo grandes desafios quanto ao planejamento e exploração florestal, além de pôr em evidência a necessidade de estudos florísticos na região (BRAZ, 2002; GONÇALVES et al., 2008; OLIVEIRA, 2020).

Avaliar a florística e distribuição das espécies de interesse é atividade primordial na condução eficiente das atividades de manejo e conservação da biodiversidade na região amazônica (OLIVEIRA et al., 2008). Por meio da análise de variáveis importantes como a distribuição diamétrica, é possível acompanhar o estado atual e capacidade produtiva da área, com a estratificação das espécies em classes diamétricas, possibilitando a estimativa no número de árvores existentes em cada classe, junto a quantificação do estoque disponível e remanescente (MIGUEL et al., 2010; TÉO et al., 2011).

A capacidade de diagnose florística não se restringe apenas ao diâmetro, uma vez que, assim como essa, a altura constitui um importante indicativo de produtividade por meio do detalhamento da estrutura vertical, incremento em altura, além de ser imprescindível a determinação do volume individual ou por hectare (SOUZA; SOUZA, 2004; SILVA et al., 2012). A estratificação dessas variáveis em classes possibilita a determinação do formato de distribuição que essas apresentam atualmente, além da prognose da produção mediante as Funções de Densidade Probabilística (FDP), que permitem a seleção da distribuição estatística que melhor representa um grupo de espécies, constituindo assim um dos melhores métodos para descrição comportamental de florestas (SCOLFORO et al., 1998; MACHADO et al., 2009; FERREIRA, 2011; SILVA SANTOS; STEPKA, 2021).

A eficiência do manejo florestal na Amazônia está diretamente ligada ao desenvolvimento de novas tecnologias e alternativas sustentáveis relacionadas a gestão dos recursos naturais, dispondo de um conjunto de importantes instrumentos para o desenvolvimento sustentável nessa região (BRAZ et al., 2014). Por meio de ferramentas disponibilizadas por intermédio do avanço matemático, é possível a otimização das atividades de manejo a partir de técnicas de planejamento e pesquisa operacional, aplicadas às ciências florestais e associadas ao Sistema de Informações Geográficas (SIG), amplamente utilizado

na compreensão de fenômenos naturais, mostrando-se consideravelmente eficaz (BRAZ et al., 2005).

A consolidação do SIG possibilitou a utilização de diversas ferramentas para análises florísticas, dentre elas a análise de distribuição espacial das espécies de interesse, onde é possível caracterizar a dinâmica de regeneração e padrão estrutural, além da compreensão dos estágios de vida de cada espécie em relação a processos ecológicos característicos de cada bioma (CAPRETZ et al., 2012). Essa análise vem auxiliando nas atividades de planejamento e colheita florestal, uma vez que possibilita a identificação de zonas com maior densidade de árvores comerciais e árvores matrizes essenciais a regeneração natural, além de servir como importante ferramenta de inferência sobre processos ecológicos e histórico de perturbações (MARTINS et al., 2003; HERRERO-JÁUREGUI et al., 2012; VIEIRA et al., 2017; VIEIRA et al., 2021).



## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral desse estudo é avaliar as principais características dendrométricas e formas de distribuição das principais espécies comerciais nativas da Amazônia, de modo a gerar informações pertinentes ao manejo florestal sustentável na região.

Objetivos específicos:

- Comparar estimativas de altura comercial de três dendrômetros eletrônicos e ajustar modelos volumétricos e hipsométricos para as principais espécies comerciais da Floresta Nacional do Tapajós.
- Avaliar o desempenho de funções de densidade probabilística na distribuição diamétrica e hipsométrica das dez espécies de maior valor comercial na Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns.
- Representar a estrutura horizontal da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns e determinar o padrão espacial das dez espécies de maior valor comercial.

## 1.2 HIPÓTESES

- A utilização de instrumentos ópticos eletrônicos pode vir a subsidiar a mensuração da variável altura comercial na área, tornando o processo de medição mais preciso e confiável.
- A determinação da forma de distribuição das variáveis altura e diâmetro, a partir de funções probabilística, pode vir a subsidiar as atividades de exploração e monitoramento das principais espécies comerciais de forma individual.
- O detalhamento da distribuição espacial de espécies comerciais da área de manejo serve como importante ferramenta na definição de zonas preferenciais para a realização de atividades exploratórias.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 FLORESTA AMAZÔNICA

O Brasil possui uma grande biodiversidade em ecossistemas florestais, seja por sua grande extensão territorial, ou por seu clima e tipologia de solo variada (LEITÃO-FILHO, 1987). Possui o maior bioma de floresta úmida do mundo, contendo a maior parcela dessa

tipologia florestal remanescente, conhecida mundialmente como Amazônia (MARGULIS, 2003).

A Amazônia, responsável por cerca de 60% do território brasileiro e abrigando 24 milhões de habitantes, pode ser considerada um reservatório de recursos naturais e um dos melhores exemplos de diversidade florística, onde em um hectare de floresta existem inúmeras espécies que em grande parte não se repetem nas demais áreas, além de sua grande diversidade étnico-cultural, principalmente da parte de povos indígenas de mais de 173 etnias conhecidas, compondo cerca de 450 mil habitantes da área (MARGULIS, 2003; GONÇALVES, 2005; VERÍSSIMO et al., 2011).

A vasta floresta amazônica possui uma imensa rede hidrográfica responsável por cerca de um quinto das águas doces superficiais do mundo, portando assim um enorme e maior potencial hidrelétrico do Brasil (VERÍSSIMO, 2012). Apesar de solos relativamente pobres em disponibilidade de nutrientes, é detentora de uma enorme jazida de minério dos mais diversos tipos, cobertos por uma das mais ricas e diversas florestas do mundo, possuindo enorme influência sobre o clima regional e mundial (SALATI; VOSE, 1984; SHUKLA et al., 1990, HOUGHTON et al., 2000).

Com a exaustão das florestas nativas do Sul do Brasil, junto a grande abundância de recursos madeireiros presentes na região Amazônica sem grandes restrições, a atividade madeireira veio a crescer de forma significativa nos anos de 1980 e 1990, sem grandes planejamentos e com o manejo florestal quase inexistente, o que acarretou uma extração predatória de alto impacto. Essa realidade começou a mudar apenas a partir dos anos de 1990, quando veio a exigência de exploração mediante um Plano de Manejo Florestal Sustentável (VERÍSSIMO et al., 1992).

As florestas públicas brasileiras são geralmente regidas pela Lei de Gestão de Florestas Públicas, tornando os recursos florestais madeireiros e não madeireiros (óleos, cipós, sementes) como bens comuns a sociedade, sendo o seu comércio regido por modelos de gestão de florestas públicas, como a concessão florestal, que beneficia direta e indiretamente comunidades tradicionais por meio dos produtos da sociobiodiversidade usados como alternativa ao desenvolvimento econômico e social (BRASIL, 2006; BRASIL, 2009). Nas Unidades de Conservação, que consistem em florestas públicas destinadas ao uso coletivo, existem incentivos governamentais que buscam a promoção do manejo florestal comunitário como fonte de emprego e renda sustentável a pequenas comunidades (BRASIL, 2009).

Dentro da Floresta Nacional do Tapajós, por exemplo, o manejo florestal realizado pelas comunidades que compõem a área, organizadas na forma de cooperativa, é voltado em

maior parte a exploração madeireira, sendo a principal atividade econômica de muitas comunidades, movimentando cerca de R\$ 4 milhões por ano dentro de uma área de aproximadamente 35 mil hectares, correspondente a apenas 6% da área total da Flona. Algumas comunidades também possuem grande parte de sua renda advinda de produtos não madeireiros e serviços prestados, como a extração de óleos essenciais, sementes, pesca artesanal e turismo de base comunitária (ESPADA et al., 2018).

## 2.2 INVENTÁRIO FLORESTAL NA AMAZÔNIA

O monitoramento florestal por meio de inventário florestal é o passo inicial, indispensável na elaboração e boa execução de atividades exploratórias em florestas tropicais (SILVA et al., 1985), o que consiste na aquisição de dados quantitativos e qualitativos de espécies de interesse, garantindo todas as variáveis necessárias para a execução das atividades de exploração (ARAÚJO, 2006).

O inventário florestal pode ser dividido em três categorias: o inventário de reconhecimento, para uma avaliação total da floresta; inventário pré-exploratório, que consiste no levantamento de cada unidade que será explorada, geralmente com intensidade de 100%, possibilitando detalhamento ao nível de localização espacial das espécies de interesse; e o Inventário Florestal Contínuo (IFC), que consiste em ferramenta básica no reconhecimento de mudanças na floresta ao longo do tempo, sendo elas naturais ou provocadas por ações antrópicas (SILVA; LOPES, 1984; SILVA et al., 1985).

A Amazônia possui uma estrutura florestal extremamente complexa, heterogênea e diversificada, longe de ser uma região de fácil acesso e caracterização. A diversidade expressa a real natureza dessa área, onde em uma amostra de um hectare existem espécies que, na maioria das vezes, não se repetem nas áreas vizinhas, tornando a convivência com um ambiente tão diverso o principal patrimônio cultural que as populações tradicionais amazônicas oferecem em uma interação e diálogo com as demais culturas e saberes (GONÇALVES et al., 2005).

As estimativas de variáveis dendrométricas como altura em floresta nativa apresentam grande complexidade quando comparadas com povoamentos plantados, principalmente pelo grande porte de suas árvores (CURTO et al., 2013). A grande diversidade presente em florestas tropicais, aliadas ao seu grande adensamento, são fatores que na maioria das vezes comprometem a coleta de dados como altura comercial e altura total, que são obtidos por meio de métodos visuais sem qualquer auxílio tecnológico, comprometendo a confiabilidade

de estudos de crescimento nessas áreas, ou mesmo fazendo com que essas variáveis importantes não sejam consideradas (GONÇALVES et al., 2008; CURTO et al., 2013; NICOLETTI et al., 2015).

### 2.3 OBTENÇÃO DE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS

A cubagem rigorosa sem a necessidade de abate da árvore pode ser qualificada como método indireto ou não destrutivo, o que pode ser utilizado para quantificação de biomassa e determinação de volume para fins comerciais, requerendo medidas de diâmetro ao longo do fuste, que podem ser obtidas mediante equipamentos de uso internacional, como dendrômetros ópticos, dispensando escaladas em árvores para obtenção de variáveis como diâmetro, medidas com fita ou suta (BRACK, 1997; NICOLETTI, 2011; NICOLETTI et al., 2015).

Os dendrômetros podem ser baseados no princípio geométrico, que utiliza a relação entre triângulos semelhantes, como o hipsômetro de Christen, ou do tipo trigonométrico, que levam em consideração a relação entre ângulo e distância, onde podem ser citados o Nível de Abney, Haga, Blume Leiss, Clinômetro Suunto, Relascópio de Bitterlich e Pentaprisma de Wheeler (GONÇALVES et al., 2008, NICOLETTI et al., 2015). Os trigonométricos podem também ter seu funcionamento baseado em raio *laser*, como o Criterion RD-1000 e Trupulse 360°, que possuem todas as funcionalidades melhoradas de seus antecessores, com alguns modelos que garantem maiores possibilidades na coleta de dados, como medições sucessivas ao longo do fuste que possibilitam a cubagem rigorosa de uma árvore de forma precisa, e sem a necessidade de sua derrubada. Já o Vertex IV tem seu funcionamento baseado em ondas sonoras, que possibilitam estimar, além da altura, a distância entre o observador e o objeto a ser medido (GONÇALVES et al., 2008).

A utilização de equipamentos que auxiliam no inventário florestal, fornecendo medições de variáveis dendrométricas com um considerável grau de rapidez e precisão, já são frequentemente utilizados em povoamentos florestais. No entanto, se tratando de florestas tropicais, sua utilização é dificultada por fatores inerentes ao ambiente, como elevado adensamento, presença de árvores muito altas com raízes tabulares e cipós lenhosos entrelaçados em seu fuste, que limitam a visibilidade e conseqüentemente as medições (GONÇALVES et al., 2008; CURTO et al., 2013).

Um fator imprescindível a ser levado em consideração em métodos de medição não destrutivos, indo além do princípio de mensuração de cada aparelho, é a capacitação do

operador para o seu uso de forma adequada, o que pode reduzir consideravelmente a probabilidade de mensurações equivocadas de variáveis imprescindíveis ao manejo florestal (EVANS; YOUNGQUIST, 2004). É evidente que a utilização de dendrômetros tecnológicos de alta precisão em conjunto com a experiência do operador pode aumentar consideravelmente a precisão das estimativas da variável de interesse (BRACK, 1999; FORSTREUTER; WAKOLO, 2000; GONÇALVES et al, 2008).

#### 2.4 DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA E HIPSOMÉTRICA

Para a eficiência do manejo e conservação das áreas de florestas nativas, é necessária a devida compreensão do comportamento de sua população frente a exploração e outras perturbações antrópicas (SANTOS et al., 2016). O conhecimento da distribuição diamétrica das espécies de interesse possibilita a caracterização da tipologia florestal e detalhamento de toda a composição e forma de distribuição da área estudada, com a quantificação do estoque de madeira disponível, e possíveis projeções da produção para os anos futuros que garantem a continuidade da floresta de forma sustentável (SCOLFORO et al., 1998; PULZ et al., 1999; REIS et al., 2014; BILA et al., 2018).

No geral, a distribuição diamétrica de florestas tropicais sem níveis significativos de perturbações antrópicas, apresentam uma distribuição na forma exponencial negativa, onde a maioria dos indivíduos estão presentes nas menores classe (HESS et al., 2010). No entanto, levando em consideração o comportamento ecofisiológico das espécies estudadas individualmente, a distribuição pode variar muito do modelo geral, apresentando uma grande variedade de formas como exponencial negativa, unimodal, bimodal ou irregular, mantendo uma relação direta com as características estruturais de cada espécie (REIS et al., 2014; DALLA LANA et a., 2013).

O conhecimento da distribuição de uma espécie ao longo de classes de diâmetro é de grande importância para o planejamento das atividades de manejo sustentável de florestas nativas, onde as informações acerca da idade de cada árvore são dificultadas (OLIVEIRA, 2020). Além de garantir informações imprescindíveis às atividades de exploração, a distribuição diamétrica permite, além da compreensão dos componentes de uma população, a prognose da produção florestal mediante o uso de Funções de Densidade Probabilística (FDP) (FERREIRA, 2011; DE OLIVEIRA, 2020).

No planejamento do manejo de florestas nativas, além do diâmetro, a altura das árvores é uma variável indispensável na quantificação de volume e incremento de uma região,

bem como servir de forte indicadora da sua capacidade produtiva (SILVA et al., 2012). A quantificação da altura ajuda a compreender e detalhar a estrutura vertical da comunidade, bem como selecionar as espécies mais importantes ecologicamente e suas respectivas posições sociológicas, como demonstrado por Souza e Souza (2004) e Souza e Leite (1993).

A estratificação vertical da área manejada exerce grande influência na compreensão de sua riqueza e diversidade, além de servir como importante ferramenta em estudos acerca da disponibilidade de biomassa, e de forte indicador da sustentabilidade ambiental da floresta manejada. A altura total da árvore, expressa por Machado e Figueiredo Filho (2003) é compreendida como a altura que vai do solo até o topo da árvore, ao longo de seu eixo principal, onde possui sua coleta dificultada por fatores inerente ao ambiente que reduzem a precisão de suas relações hipsométricas (SILVA et al., 2012).

## 2.5 DISTRIBUIÇÕES PROBABILÍSTICAS

Uma das melhores formas de descrever de forma confiável a estrutura diamétrica, seja para um grupo ecológico específico ou mesmo para todas as espécies de uma floresta é por meio de Funções de Densidade Probabilísticas (FDP), que constituem uma importante ferramenta na determinação da probabilidade de um determinado número de árvores ocorrerem em classes pré-definidas, comumente utilizando classes diamétricas (MACHADO et al., 2010).

Essas relações probabilísticas possibilitam a seleção da distribuição estatística que melhor se adapta e explica um conjunto de dados gerado por um processo aleatório, podendo seguir ou não uma distribuição normal. O ajuste de funções probabilísticas constitui uma importante ferramenta para sanar incertezas nos mais diversos campos da ciência, uma vez que a escolha equivocada da distribuição estatística para a representação de uma população poderá acarretar sérios prejuízos e até mesmo comprometer toda a produção (KHUDRI; SADIA, 2013).

As Funções de Densidade Probabilísticas (FDP) vem sendo utilizadas por diversos autores para a descrição dos padrões, comportamentos e formas de distribuição de espécies de interesse, ou mesmo para avaliação de toda a floresta através da determinação do número de árvores em cada classe de diâmetro (SILVA SANTOS; STEPKA, 2021; MACHADO et al., 2009; BARTOSZECK et al., 2004; ABREU et al., 2002).

Dentre as mais populares e utilizadas na literatura está a distribuição normal de Gauss, também conhecida como distribuição gaussiana, que constitui um dos mais aplicados e

importantes modelos para representação de variáveis aleatórias contínuas em diversas áreas do conhecimento, onde a distribuição normal é o principal requisito a ser atendido para a representação correta dos dados (BUSSAB; MORETTIN, 2010). Assim como Gauss, a função Log-Normal é uma alternativa a dados que seguem uma distribuição normal, uma vez que o logaritmo da variável de interesse segue essa distribuição, variando sua curva de acordo com o tamanho da amostra (SCOLFORO, 2006; NETTO et al., 2008).

A distribuição Weibull é caracterizada por sua flexibilidade, podendo assumir diversas formas levando seus coeficientes em consideração, o que permite moldar diferentes tendências de distribuições que vão desde a exponencial até a normal, gerando ajustes satisfatórios tanto em povoamentos florestais quanto para florestas nativas, sendo, portanto, a função de densidade probabilística mais utilizada dentro do setor florestal (LEITE et al., 2010; BINOTI et al., 2010; BILA et al., 2018).

A distribuição Beta é definida em um intervalo de (0, 1), e consiste em uma alternativa para variáveis aleatórias e contínuas, possuindo grande aplicação em estudos de fenômenos biológicos e no setor florestal, devido principalmente a sua flexibilidade e aplicabilidade em diversas tipologias florestais (SILVA, 2003; SILVA et al., 2013). Já a distribuição Gama é utilizada desde os anos de 1960 no detalhamento do comportamento da distribuição diamétrica de espécies florestais de interesse (NELSON, 1964). Assim como a Weibull e Beta, a distribuição Gama possui uma curvatura flexível, podendo assumir uma variedade de formatos de acordo com seus parâmetros, o que torna possível a descrição de diferentes tendências da distribuição (GUIMARÃES, 2002).

## 2.6 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ESPÉCIES NA AMAZÔNIA

A distribuição espacial das espécies de interesse é considerada uma importante característica na descrição de padrões de distribuição de grupos ecológicos ou de florestas, que em muitos casos, se tratando de florestas tropicais, sua obtenção é dificultada principalmente pela heterogeneidade característica dessas regiões que compromete sua descrição precisa (SILVA; LOPES, 1982). Levando essa e outras dificuldades em consideração, como a obtenção de uma amostra de árvores aleatórias para seus vizinhos mais próximos, um método foi desenvolvido por Pielou (1959) utilizando as distâncias de pontos aleatórios para a árvore mais próxima.

O grau de agregação pode variar muito em uma mesma espécie, uma vez que as menores classes de tamanho podem apresentar tendências ao agrupamento, e as maiores

classes ocorrendo de forma fortemente agrupada (CARVALHO, 1983). Diversos fatores são responsáveis por essas variações, dentre eles a disponibilidade de luz e água, as características de solo, fenologia da espécie, fator de competição, dentre outros (JORGE et al., 2015). De acordo com Jankauskis (1990), o padrão de distribuição espacial de uma espécie é contemplado pela frequência de seus indivíduos em cada uma das unidades amostrais coletadas, uma vez que, embora essa espécie tenha grande ocorrência na área geral de estudo, sua distribuição em cada classe pode ser irregular (NASCIMENTO et al., 2001).

Alguns métodos são bastante utilizados nos estudos e descrição da distribuição espacial de árvores adultas, como o método dos quadrados, que consiste no emprego de distribuições generalizadas como a distribuição Binomial e de Poisson, além do método das distâncias, que utiliza a distância das árvores selecionadas com relação a outras plantas, ou mesmo pontos aleatórios para plantas adjacentes (SILVA; LOPES, 1982). Em virtude da dificuldade de descrição do agrupamento na vegetação apresentados por espécies que apresentam uma tendência à agregação, McGuinnes (1934) estudando a distribuição de uma Floresta Seca da América do Norte, criou um índice que relaciona as variáveis Abundância relativa e Frequência absoluta das espécies de interesse, possibilitando a análise e descrição da distribuição espacial de forma mais confiável.

Diversos autores (STAMATELLOS; PANOURGIAS, 2005; DANTAS et al., 2017; MORAES et al., 2017; VIEIRA et al., 2020) utilizaram e destacaram a importância de padrões espaciais como importante alternativa para indicar o estado funcional do ecossistema, seus processos e interações biológicas entre os mais diversos organismos que compõem a fauna e flora local, observando um grande favorecimento nas atividades pré-exploratórias, como o inventário florestal e planejamento de colheita, além da diminuição de custos na logística e consequente maximização da produção e de práticas de conservação.

Em um trabalho desenvolvido por Malleux (1971 e 1974) para a determinação do padrão espacial de dez espécies em uma floresta tropical no Peru, foram utilizados quatro métodos distintos, dentre eles o Índice de dispersão de Hazen (1966), o grau de agregação de McGuinnes, a distribuição de Poisson e o método gráfico por meio da localização de cada árvore, concluindo que, enquanto algumas espécies possuem tendências ao agrupamento, outras estão de fato se desenvolvendo de forma agrupada.

### 2.6.1 Métodos para a determinação de não-aleatoriedade



Os estudos para a determinação do padrão espacial de populações biológicas já interessam biólogos, ecologistas e estudiosos das ciências florestais a muito tempo, a exemplo dos estudos realizados por Clark e Evans (1954) que foram pioneiros e difundiram o método de determinação do padrão espacial de uma população utilizando as distâncias entre os vizinhos mais próximos. Pielou (1959), levando em consideração os entraves existentes para a obtenção de uma amostra de indivíduos aleatórios para os vizinhos mais próximos, desenvolveu uma metodologia também testada por Payandeh (1970) e mais facilmente aplicável na prática, onde consideram-se as distâncias de pontos aleatórios para o indivíduo mais próximo.

Os principais métodos para a determinação da não-aleatoriedade na distribuição espacial de populações naturais são apresentados por Payandeh (1970), classificando-os em “métodos de quadrados” e “métodos de distância”. Os métodos de quadrados partem da premissa que os elementos ocorrem em grupos, e o número de indivíduos por grupo possuem uma outra distribuição específica para essa característica. Para o ajuste da distribuição por esse método, é necessário o número de indivíduos por quadrado ou parcela, o que torna os resultados fortemente influenciados pelo tamanho da parcela e intensidade da amostra, assim como destacado por Zhang et al. (2013) e Vieira et al. (2017).

Os “métodos de distâncias” baseiam-se nas distâncias dos indivíduos selecionados para outro indivíduo, ou mesmo na distância de pontos aleatórios para os demais indivíduos, proporcionando a determinação do espaçamento sem a utilização de unidades amostrais, como parcelas, eliminando assim sua influência sobre os resultados. Os principais métodos que utilizam distância para a determinação do padrão espacial são o Índice de Pielou (1959), e a Função K de Ripley (1977). Payandeh (1970), testando diversos “métodos de quadrados” e “métodos de distância” concluiu o método de distâncias de pontos aleatórios para a planta mais próxima (Índice de Pielou) o melhor para a detecção de não-aleatoriedade na distribuição espacial. Vieira et al. (2017) determinando o padrão espacial de *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. na Floresta Nacional do Tapajós concluíram que o ideal é que se utilizem métodos como a Função K de Ripley, uma vez que essa leva em consideração todas as árvores da área, determinando seu comportamento em função de suas distâncias.

#### 2.6.2 Densidade de Kernel

Dentro do contexto das análises de distribuição espacial, a Densidade de Kernel surge como importante alternativa na determinação de padrões espaciais de forma individual ou

para grupos ecológicos pré-determinados, servindo também como base para estudos fitossociológicos, fornecendo subsídios indispensáveis ao planejamento da colheita e logística florestal (OLIVEIRA et al., 2021). A partir da análise de densidade de Kernel é possível determinar as regiões preferenciais às atividades exploratórias, onde a presença de espécies comerciais de interesse é mais relevante, além da localização de árvores matrizes essenciais à regeneração natural, auxiliando na alocação dos pátios de estocagem e estradas de acesso. Além disso, essa ferramenta vem apresentando grande eficácia na região amazônica em relação ao monitoramento de incêndios florestais e do avanço do desmatamento (FERREIRA; SANO, 2013; ARAÚJO; FIGUEIREDO, 2017; TAVARES et al., 2019).

### **3 CAPÍTULO I: VIABILIDADE TÉCNICA NO USO DE DENDRÔMETROS E AJUSTE DE MODELOS HIPSOMÉTRICOS E VOLUMÉTRICOS NA FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS**

#### **RESUMO**

Estimar com precisão variáveis dendrométricas essenciais em floresta tropical ainda apresenta grandes desafios, principalmente pelas adversidades de seu ambiente, como elevado adensamento, grande diversidade florística e porte elevado de suas árvores, ocasionando frequentemente estimativas visuais sem qualquer auxílio tecnológico, sujeita a erros constantes e comprometimento de sua precisão. O objetivo do estudo foi avaliar o desempenho de diferentes dendrômetros ópticos digitais na estimativa de altura comercial, e o ajuste de modelos hipsométricos e volumétricos para estimar a produção madeireira em uma área de manejo florestal sustentável na Floresta Nacional do Tapajós. A partir do acompanhamento da equipe de colheita, foram coletados com auxílio de três dendrômetros a altura comercial de seis espécies de grande valor comercial dentro da Floresta Nacional do Tapajós, além de seus respectivos comprimentos logo após a derrubada, totalizando 300 indivíduos. As alturas foram estratificadas em classes e por espécie. Para os ajustes foram utilizados modelos de simples e múltipla entrada, além de lineares e não lineares. Não foi observada diferença significativa entre a média real em relação as médias obtidas pelos dendrômetros utilizados em nenhuma das classes de altura avaliadas. Já na análise por espécie de forma individual, o dendrômetro Trupulse 360° foi o mais adequado, a partir de menores discrepâncias em relação à média real, apesar das adversidades observadas em sua utilização. As medidas dendrométricas apresentaram alta variação, fator esse que refletiu diretamente na qualidade dos ajustes volumétricos e hipsométricos, ocasionando em baixa relação entre as variáveis dependentes e independentes, além de maiores tendências a sub ou superestimativas de volume e altura em todas as espécies. Estudos buscando avaliar a aplicabilidade de instrumentos ópticos digitais na floresta Amazônica são de grande importância para a modernização do manejo florestal, além da modelagem a nível de espécie refletir diretamente na qualidade das predições de importantes variáveis de interesse.

**Palavras-chave:** Amazônia; Manejo florestal sustentável; Inventário florestal.

## ABSTRACT

Accurately estimating essential dendrometric variables in tropical forests still presents great challenges, mainly due to the adversities of its environment, such as high density, great floristic diversity and high size of its trees, often causing visual estimates without any technological aid, subject to constant errors and compromise. of its accuracy. The objective of the study was to evaluate the performance of different optical digital dendrometers in estimating commercial height, and the adjustment of hypsometric and volumetric models to estimate timber production in an area of sustainable forest management in the Tapajós National Forest. From the monitoring of the harvest team, the commercial height of six species of great commercial value within the Tapajós National Forest, in addition to their respective lengths immediately after felling, were collected with the aid of three dendrometers, totaling 300 individuals. Heights were stratified into classes and by species. For the adjustments, single and multiple input models, as well as linear and non-linear models were used. No significant difference was observed between the real average in relation to the averages obtained by the dendrometers used in any of the evaluated height classes. In the analysis by species individually, the Trupulse 360° dendrometer was the most appropriate, based on smaller discrepancies in relation to the real average, despite the adversities observed in its use. The dendrometric measurements showed high variation, a factor that directly reflected in the quality of the volumetric and hypsometric adjustments, causing a low relationship between the dependent and independent variables, in addition to greater tendencies to under or overestimate volume and height in all species. Studies seeking to evaluate the applicability of digital optical instruments in the Amazon forest are of great importance for the modernization of forest management, in addition to the species-level modeling directly reflecting on the quality of predictions of important variables of interest.

**Keywords:** Amazon; Sustainable Forest management; Forest Inventory.

## INTRODUÇÃO

As florestas tropicais são responsáveis por mais da metade da biodiversidade presente no planeta, cobrindo apenas cerca de 7% de sua superfície (KURTZ; ARAÚJO, 2000). A densidade e diversidade do ambiente, aliadas à grande frequência de árvores de grande porte e à presença de raízes altas e expostas, como sapopemas, além de cipós lenhosos, constituem os principais fatores limitantes na coleta de dados imprescindíveis ao manejo das espécies de interesse comercial (GONÇALVES et al., 2008).

Para o planejamento e execução das atividades exploratórias de forma ordenada, é necessário o conhecimento da composição e estrutura da floresta a ser manejada. O inventário florestal é a atividade inicial e indispensável na qualificação e quantificação de espécies, especialmente as lenhosas, utilizando as suas principais variáveis dendrométricas, garantindo o fornecimento dos subsídios necessários às atividades de exploração e monitoramento (SILVA et al., 1985; ARAÚJO, 2006).

A variável altura possui diversas aplicabilidades no manejo florestal, dentre elas, indicar a qualidade produtiva e determinar o volume individual ou por hectare. Sua determinação, em se tratando de florestas nativas, é comumente realizada por meio de estimativas visuais sem auxílio tecnológico, ou com o auxílio de uma régua telescópica, cujo limite é de 15 m, o que pode comprometer a precisão e operacionalidade da quantificação da variável e, conseqüentemente, a realização de estudos florísticos nessas áreas (SILVA et al., 2012; CURTO et al., 2013).

Existem métodos onde se utilizam equipamentos que mensuram o diâmetro e a altura com elevada precisão, como o Relascópio de Bitterlich, Pentaprisma de Wheeler, Criterion, dentre outros, denominados dendrômetros, qualificados como método de estimativa indireta ou não destrutiva, onde não se faz necessária a derruba da árvore para a sua medição (NICOLLETI, 2011). No entanto, a maioria desses equipamentos possuem pouca aplicabilidade em florestas tropicais, já que exigem o conhecimento prévio da distância entre observador e árvore, tornando imprescindível o desenvolvimento de metodologias que, mesmo com as adversidades inerentes ao ambiente, possam gerar dados confiáveis (GONÇALVES et al., 2008; SILVA et al., 2012; CURTO et al., 2013).

A análise confiável do estoque de madeira e capacidade produtiva de florestas depende diretamente de uma boa estimativa do volume comercial das espécies de interesse, uma vez que a eficiência do manejo sustentável de florestas naturais está diretamente relacionada à construção de equações com elevada confiabilidade estatística na modelagem de variáveis

dendrométricas essenciais (RIBEIRO et al., 2014; HESS et al., 2014). Na região amazônica, é comum e fundamentada por lei a utilização de modelos empíricos na determinação do volume geométrico de espécies comerciais, utilizando-se variáveis independentes como o diâmetro a 1,30 metros do solo (dap) e altura, que são ajustados para áreas específicas submetidas a planos de manejo florestal sustentáveis (MMA, 2002; CAMPOS; LEITE; 2013).

A resolução CONAMA nº 406 indica a obrigatoriedade do desenvolvimento de equações para a correta representação do volume comercial das árvores em pé em áreas de manejo, a partir do segundo Plano Operacional Anual, de forma a diminuir erros e garantir a precisão e confiabilidade das estimativas volumétricas, afim de combater a comercialização ilegal de madeira que ainda se faz fortemente presente na região oeste do Pará (BRASIL, 2009; RIBEIRO et al., 2014).

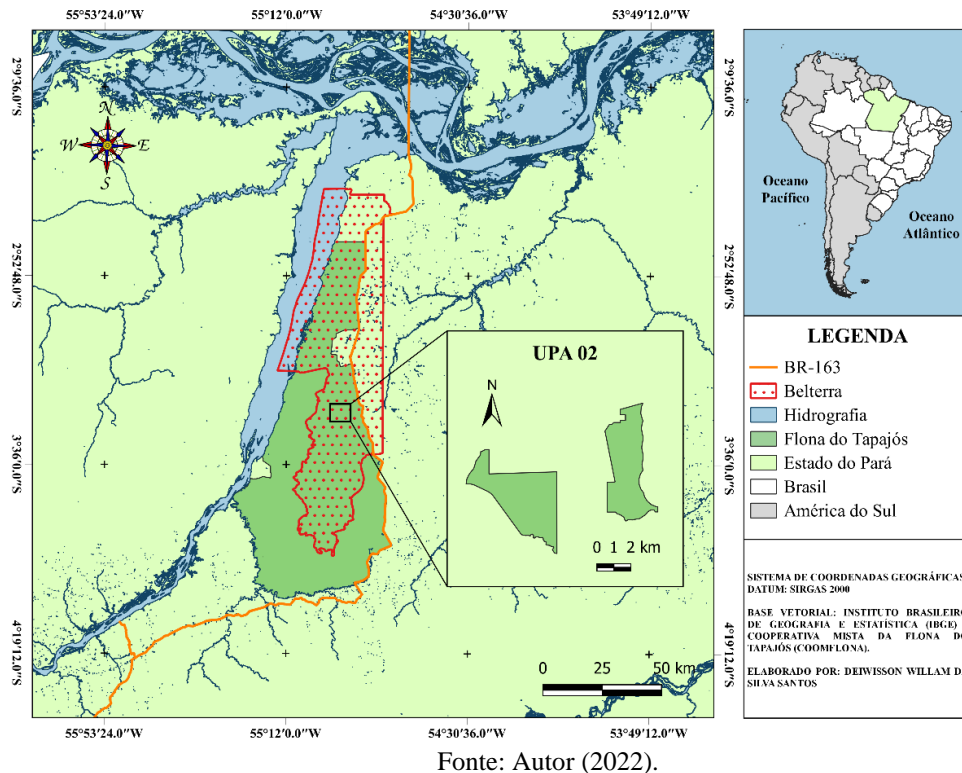
Diante disso, o objetivo desse estudo foi avaliar o desempenho de diferentes dendrômetros ópticos digitais na estimativa de altura comercial, e o ajuste de modelos hipsométricos e volumétricos para estimar a produção madeireira em uma área de manejo florestal sustentável na Floresta Nacional do Tapajós.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Área de estudo**

O estudo foi realizado na Unidade de Produção Anual 02 (UPA 02) da Floresta Nacional do Tapajós, km 117 (BR-163), município de Belterra, Pará (Figura 1). De acordo com a classificação Köppen, o clima da região é do tipo Ami (Tropical úmido) com temperatura média anual de 25 °C, umidade relativa do ar média de 90% e precipitação média anual de 1.820 mm, com o período chuvoso compreendido entre os meses de novembro a março (ALVARES et al., 2013; GAMA et al., 2017). Já a vegetação da área é classificada em sua maior parte como Floresta Ombrófila Densa, caracterizada pelo predomínio de árvores de grande porte, além do solo do tipo Latossolo Amarelo Distrófico, com relevo variando de plano a ondulado (IBAMA, 2004).

**Figura 1.** Mapa de localização da Unidade de Produção Anual 02, km 117 da Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.



### Base de dados

A partir do acompanhamento da equipe de colheita florestal, composta por um parabolotânico e um operador de motosserra, foram coletados com o auxílio de três dendrômetro ópticos digitais, dentre eles Trupulse 360°, Criterion RD-1000 e Vertex IV, dados de altura comercial (compreendida entre a base da árvore até sua primeira ramificação ou deformidade aparente) de 300 árvores, subdividas em seis espécies comerciais (50 indivíduos por espécies) de grande valor comercial da área, a saber: Cumarú (*Dipteryx odorata* Aubl. Willd.), Cupiúba (*Goupia glabra* Aubl.), Tauarí (*Couratari guianensis* Aubl.), Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), Jutaí-Mirim (*Hymenaea parvifolia* Huber) e Maçaranduba (*Manilkara huberi* Ducke A. Chev.). Em seguida, após a derruba de cada árvore, foi realizada a medição do comprimento do tronco por meio de uma trena.

O Trupulse 360° trata-se de um telêmetro a *laser* que possibilita a medição de distância, ângulo de inclinação, azimute, além de possibilitar a obtenção da altura a partir da tomada simultânea dos ângulos de inclinação e distância entre observador e o objeto, sendo esta adquirida junto a tomada do primeiro ângulo. O dendrômetro Vertex IV também toma a distância entre observador e objeto de forma automática mediante as ondas sonoras, sendo apenas necessário que um ajudante acople um transponder na árvore que se deseja medir, a

uma altura de 1,30 m a partir do nível do solo, de modo que o operador realize a primeira visada mirando o transponder, e a segunda visada mirando na altura que se deseja medir, sendo o valor da medida apresentado no visor do aparelho.

O dendrômetro Criterion RD-1000 consiste em um instrumento desenvolvido especificamente para o setor florestal, possibilitando medidas de altura, área basal, diâmetro, dentre outras funcionalidades, sendo apenas requerida a distância do operador ao objeto, adquirida, nesse estudo, com uma trena. Em seguida, após a tomada dos ângulos correspondentes a base e altura comercial com o auxílio da lente ampliada já acoplada ao instrumento, o operador pode visualizar a altura diretamente no visor.

Todos os aparelhos utilizam de forma parcial ou totalmente automática a seguinte relação matemática:

$$h = (\tan \alpha \pm \tan \beta) \times L \quad (1)$$

Em que: h = altura comercial (m);  $\alpha$  = ângulo formado pela visada da linha do horizonte até a base da árvore (graus);  $\beta$  = ângulo formado pela visada da linha de horizonte até a altura comercial (graus); L = distância entre o operador e a árvore medida (m).

Previamente a tomada das medidas de altura, os aparelhos foram submetidos aos seus processos de calibração, descritos passo a passo em seus respectivos manuais de instrução.

Além da altura, foi também coletada a circunferência do fuste com casca a 1,30 metros do solo (cap cm) com o auxílio de uma fita métrica. O volume comercial (m<sup>3</sup>) foi obtido por meio da cubagem rigorosa pelo método de Smalian, realizado pela Cooperativa Mista da Floresta Nacional do Tapajós (COOMFLONA). A cubagem rigorosa foi realizada por técnicos especializados na atividade, obtendo o diâmetro por meio de uma medida cruzada em cada extremidade das toras, com seções que variam de 1 a 3 metros, geralmente determinadas por imperfeições na tora, como tortuosidades acentuadas, ramificações ou presença de oco.

### **Análise de dados**

Para comparar estatisticamente a média da altura obtida para cada dendrômetro e a média das medidas reais realizadas após a derruba, foi utilizado o teste de Dunnett (D) ( $\alpha = 5\%$ ) (2), onde cada dendrômetro representa um tratamento, e a medida real o controle. De acordo com Vieira et al. (1989), o teste de Dunnett é aconselhável nos casos em que se deseja comparar as médias dos tratamentos com a média do controle.

Por meio das medidas reais, as árvores foram estratificadas em classes de altura (CCH m) com amplitude de 5 metros, determinada pelo método estatístico baseado no estimador de Sturges (3), possibilitando a determinação do desempenho de cada dendrômetro nas diferentes



classes. Além das comparações por classe de altura, foi também estabelecida a comparação por espécie, avaliando o desempenho dos aparelhos sem qualquer estratificação de altura.

$$D_{calc} = d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot QMRes}{r}} \quad (2)$$

Em que:  $d$  = valor de Dunnett tabelado; QMRes. = Quadrado médio do resíduo, obtido através da análise de variância;  $r$  = número de repetições.

$$nc = 1 + 3,3 \log(N) \quad (3)$$

Em que:  $nc$  = número de classes;  $N$  = número total de árvores.

$$Ac = \text{máximo} - \text{mínimo} / (nc - 1) \quad (4)$$

Onde: máximo = maior altura medida; mínimo = menor altura medida.

Para avaliar visualmente os resultados, foi estabelecida uma relação dendrômetro/altura real para a população geral e por espécie, de forma a observar a tendência da relação sob as diferentes situações.

### Regressão linear

Os modelos hipsométricos e volumétricos testados foram escolhidos com base na literatura como alguns dos mais usuais nas Ciências Florestais (Tabela 1), a partir das variáveis altura comercial ( $h$  em m), diâmetro altura do peito ( $d$  em cm) e volume comercial com casca ( $v$  em  $m^3$ ). Para comparar as equações obtidas a partir dos ajustes, foram utilizados o coeficiente de determinação ajustado ( $R_{aj}^2$ ), Índice de ajuste de Schlagel ajustado ( $I.A._{aj}$ ), erro padrão da estimativa em porcentagem ( $S_{yx\%}$ ), recalculado conforme Scolforo (1993) para comparação entre equações logarítmicas e não logarítmicas, e análise gráfica dos resíduos.

**Tabela 1.** Modelos hipsométricos e volumétricos testados para seis espécies comerciais da Flona do Tapajós, Belterra, Pará, Brasil.

#	Modelos Hipsométricos	Autor(es)	Modelos Volumétricos	Autor(es)
1	$h = \beta_0 + \beta_1 d + \varepsilon$	Campos e Leite	$v = \beta_0 + \beta_1 d^2 h + \varepsilon$	Spurr
2	$h = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \varepsilon$	Trorey	$v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \varepsilon$	Hohenadl-Krenn
3	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \varepsilon$	Stofells	$\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \varepsilon$	Husch
4	$h = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \varepsilon$	Henricksen	$\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \beta_2 \frac{1}{d} + \varepsilon$	Brenac
5	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{d} + \varepsilon$	Curtis	$v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \beta_3 dh + \beta_4 d^2 h + \varepsilon$	Meyer modificado
6	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \beta_2 \frac{1}{d} + \varepsilon$	Silva	$\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \beta_2 \ln(h) + \varepsilon$	Schumacher-Hall

Continua...

				...Continuação
7	$h = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \beta_3 d^3 + \varepsilon$	Souza et al. (2016)		$v = \frac{d^2 h}{\beta_0 + \beta_1 * d} + \varepsilon$ Takata
8	$h = e^{\beta_0 + \beta_1/d} + \varepsilon$	Curtis (NL)		$v = \beta_0 d^{\beta_1} h^{\beta_2} + \varepsilon$ Schumacher-Hall (NL)
9	$h = \beta_0 d^{\beta_1} + \varepsilon$	Reciprocal		$v = \beta_0 (d^2 h)^{\beta_1} + \varepsilon$ Spurr (NL)
10	$h = (\beta_0 + \beta_1 \sqrt{d})^2 + \varepsilon$	Azevedo et al. (2011)		-

Fonte: Autor (2022), em que: h = altura comercial (m); d = diâmetro a 1,30 m do solo (cm); Ln = logaritmo neperiano;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  e  $\beta_4$  = coeficientes do modelo;  $\varepsilon$  = erro aleatório.

### Critérios de seleção das melhores equações

Para avaliação dos ajustes foram utilizados: a) coeficiente de determinação ajustado ( $R_{aj}^2$ ) ou Índice de ajuste de Schlagel ajustado ( $I.A._{aj}$ ); b) erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ); c) análise gráfica dos resíduos.

A discrepância gerada em decorrência da transformação logarítmica da variável dependente, por meio da operação inversa para obtenção da variável de interesse (MACHADO et al., 2008), foi corrigida por meio da multiplicação do valor estimado de cada indivíduo pelo fator de correção de Meyer (5).

$$\text{Fator de Meyer} = e^{(QM \text{ resíduo} * 0,5)} \quad (5)$$

Em que:  $e$  = Constante de Euler (2,718281828);  $S_{yx}$  = erro padrão da estimativa.

A análise gráfica de resíduos deve ser realizada para avaliar a qualidade dos ajustes de regressão (RIGHETTO et al., 2010), onde valores residuais positivos indicam que a variável dependente foi superestimada e negativos subestimada. O cálculo dos resíduos foi realizado por meio da equação (6):

$$Res\% = \frac{\hat{y}_i - y_i}{\hat{y}_i} * 100 \quad (6)$$

Em que:  $\hat{y}_i$  = valor estimado pela equação;  $y_i$  = valor observado.

Para validar as melhores equações foi separada uma amostra independente da base de dados utilizada para os ajustes, correspondente a 20% do número de árvores, comparando os valores estimados e observados mediante o teste qui-quadrado ( $\chi^2$ ) (7), a partir da seguinte equação:

$$\chi^2_{\text{calculado}} = \sum \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{\hat{y}_i} \quad (7)$$

Em que:  $\chi^2$  = Qui-quadrado;  $y_i$  = valor observado;  $\hat{y}_i$  = valor estimado.

As análises estatísticas foram realizadas nos softwares *R Core Team for Windows* versão 4.0.5. e *Microsoft Excel for Windows (2019)*.

## RESULTADOS

As árvores apresentaram uma altura real mínima e máxima de respectivamente 7,60 m e 32,70 m, com média de 19,87 m e variância de 28,34 m<sup>2</sup>. A variável diâmetro apresentou o mínimo de 50,29 cm e máximo de 127,96 cm, com média de 71,76 cm e variância de 225,94 cm<sup>2</sup>. Os parâmetros estatísticos das estimativas de altura comercial para cada dendrômetro podem ser observados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Parâmetros estatísticos gerais dos dados de altura comercial estimados para seis espécies comerciais nativas da Amazônia, Pará, Brasil.

Parâmetro	Trupulse	Criterion	Vertex	Real
N	300	300	300	300
Média	19,82	19,82	20,13	19,87
Mediana	19,15	19,30	19,75	19,00
Desvio padrão	5,28	5,30	5,32	5,32
Variância	27,93	28,08	28,34	28,34
CV (%)	26,67	26,74	26,45	26,79
Mínimo	7,50	7,60	7,80	7,60
Máximo	32,60	32,70	35,80	32,70

Fonte: Autor (2022).

De acordo com o teste de Dunnett ( $\alpha = 5\%$ ), não houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos em relação à média do grupo de controle para nenhuma das classes de altura avaliadas (Tabela 3). Para as classes 12,5 m, 17,5 m e 27,5 m, o dendrômetro Criterion RD-1000 (T2) obteve melhor representatividade, a partir de menores diferenças em relação às medidas reais (TC). Para as classes 22,5 m e 32,5 m, o dendrômetro Vertex IV (T3) mostrou-se mais adequado, enquanto que para a classe 7,5 m, tanto o Criterion RD-1000 quanto o Vertex IV obtiveram medidas satisfatórias, sendo, portanto, as ferramentas mais adequadas

para a medição de altura comercial na referida classe. O dendrômetro Trupulse 360° (T1) não obteve destaque em nenhuma das classes avaliadas, com desempenho inferior aos demais.

**Tabela 3.** Contrastes entre os tratamentos e o grupo controle em diferentes classes de altura, de acordo com o teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

CCH (m)	Dcalc.	Contrastes		
		T1 - TC	T2 - TC	T3 - TC
7,5	1,06	0,08 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>
12,5	0,69	0,23 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>
17,5	0,47	0,07 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>
22,5	0,51	0,18 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>
27,5	0,56	0,05 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>
32,5	1,37	0,40 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>

Fonte: Autor (2022), em que: Dcalc. = Valor de Dunnett calculado; Dtab = Valor de Dunnett tabelado; T1 = Trupulse 360°; T2 = Criterion RD-1000; T3 = Vertex IV; TC = medida real; médias seguidas de \* diferem pelo teste; médias desiguais de <sup>ns</sup> não diferem.

Assim como nas comparações por classes de altura, não foi observada diferença significativa nas médias dos tratamentos em relação ao grupo controle em nenhuma das espécies avaliadas (Tabela 4). O dendrômetro Trupulse 360° mostrou-se a ferramenta mais precisa para a coleta de altura comercial das espécies *Dipteryx odorata*, *Goupia glabra*, *Hymenaea courbaril*, *Hymenaea parvifolia* e *Manilkara huberi*, a partir da menor diferença em relação às medidas reais, após os contrastes. Já para a espécie *Couratari guianensis*, o dendrômetro Criterion RD-1000 obteve os melhores resultados, com a média de altura comercial mais próxima à real.

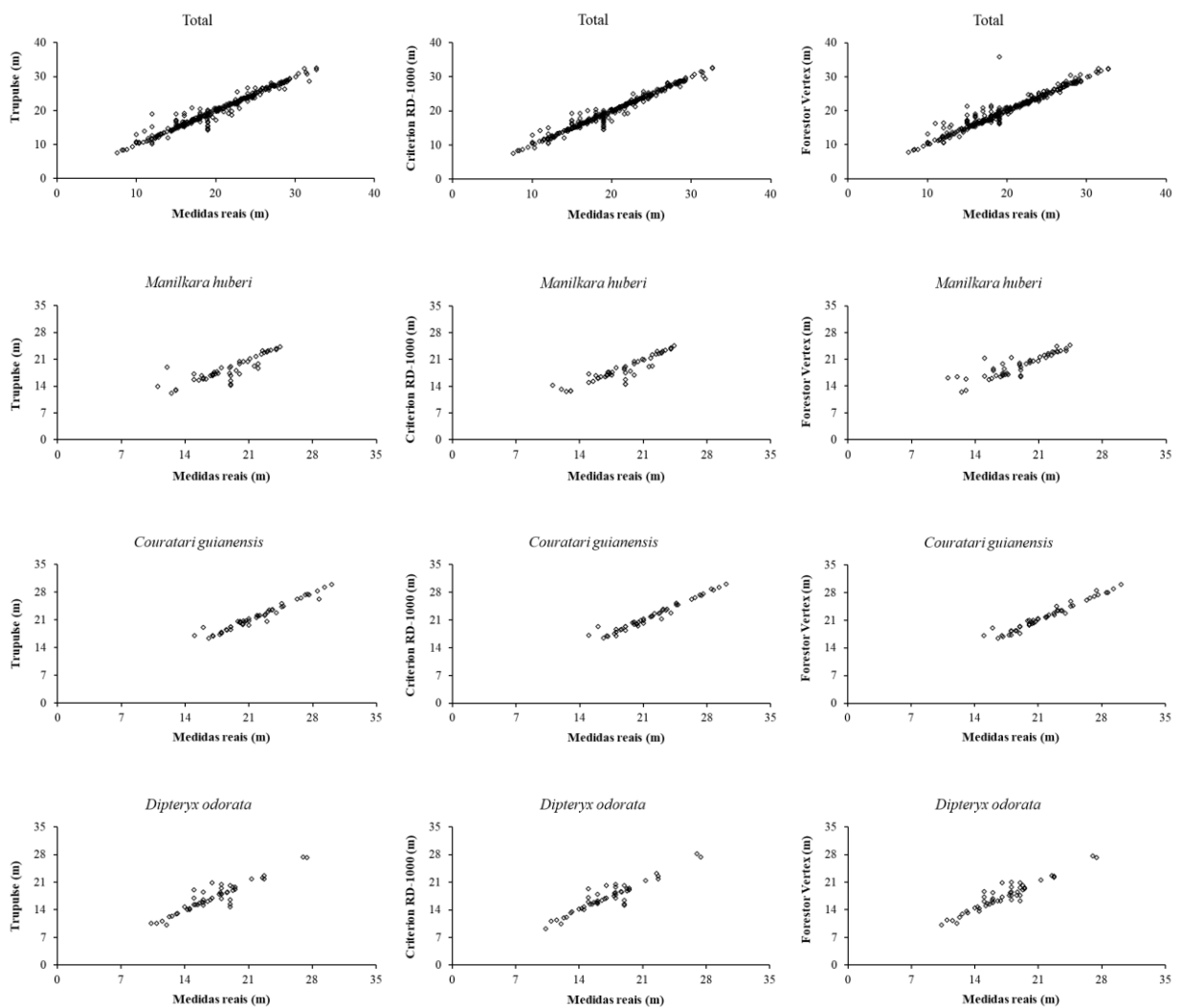
**Tabela 4.** Contrastes entre os tratamentos e o grupo controle por espécie, de acordo com o teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

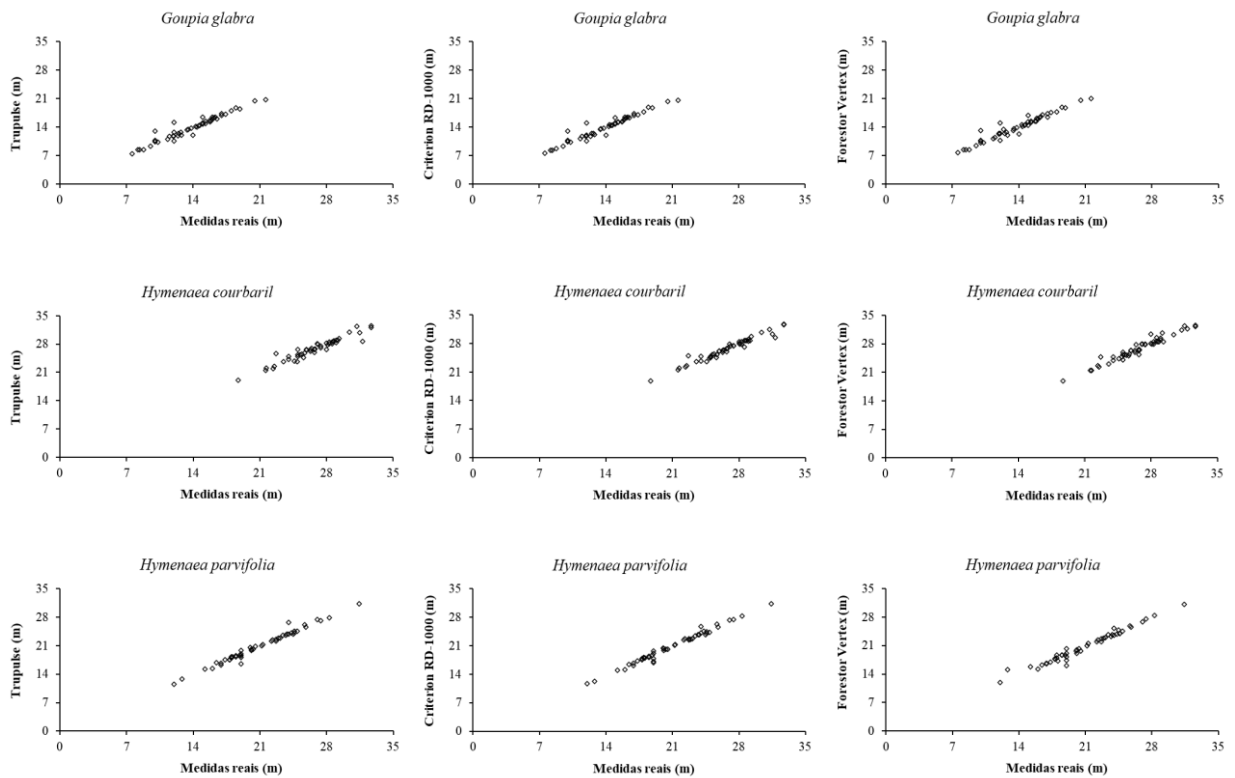
CCH (m)	Dcalc.	Contrastes		
		T1 - TC	T2 - TC	T3 - TC
<i>Dipteryx odorata</i>	1,53	0,04 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>
<i>Goupia glabra</i>	1,40	0,05 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>
<i>Hymenaea courbaril</i>	1,19	0,03 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>
<i>Hymenaea parvifolia</i>	1,66	0,08 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>
<i>Manilkara huberi</i>	1,40	0,29 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	0,97 <sup>ns</sup>
<i>Couratari guianensis</i>	1,74	0,07 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>

Fonte: Autor (2022), em que: Dcalc. = Valor de Dunnett calculado; Dtab = Valor de Dunnett tabelado; T1 = Trupulse 360°; T2 = Criterion RD-1000; T3 = Vertex IV; TC = medida real; médias seguidas de \* diferem pelo teste; médias desiguadas de <sup>ns</sup> não diferem.

A distribuição de pontos da população total mostrou-se mais uniforme para o dendrômetro Criterion RD-1000, a partir de menores diferenças entre as medidas de altura real e as estimativas realizadas pelo instrumento (Figura 2). Já para o dendrômetro Vertex IV, observou-se maior dispersão dos pontos e conseqüentemente maior diferença, além da maior quantidade de *outliers*, principalmente nas medidas entre 20 a 30 metros de altura.

**Figura 2.** Relação dendrômetro/altura real para a população total e por espécie na Flona do Tapajós, Pará, Brasil.





Fonte: Autor (2022).

Visualmente, a relação dendrômetro/altura real da população e por espécie apresentou grande semelhança entre os dendrômetros. Para a população total, foi observada a tendência de superestimativa da altura real pelos dendrômetros Trupulse e Vertex, principalmente entre 10 e 20 metros de altura, além de uma notória subestimativa de altura entre 19 e 20 m, observada em todos os aparelhos. Para as espécies *Manilkara huberi*, *Couratari guianenses* e *Goupia glabra*, foi também observada uma leve tendência a superestimativa da altura real em todos os dendrômetros, principalmente nas menores classes diamétricas. Para a espécie *Dipteryx odorata*, a superestimativa de altura foi observada entre 14 e 21 metros de altura.

Em relação aos ajustes dos modelos hipsométricos (Tabelas 5 a 10), a estatística mostrou uma variação no Coeficiente de Determinação Ajustado ( $R^2_{aj}$ ) / Índice de Ajuste de Schlagel (I.A.<sub>aj</sub>), que foi de -0,00 até 0,25 com erro padrão da estimativa em percentagem ( $S_{yx}\%$ ) variando de 10,22 até 23,87, além de notória semelhança entre os modelos de mesma natureza. Grande parte dos modelos testados não obtiveram a significância aceitável, sendo, portanto, um critério eliminatório na escolha dos melhores ajustes. Para a espécie *Dipteryx odorata* (Tabela 5), a maioria dos modelos testados apresentaram significância nos parâmetros da regressão, sendo os modelos 1 (Campos e Leite) e 10 (Azevedo et al. 2011) detentores de respectivamente maior  $R^2_{aj}$  e menor  $S_{yx}\%$ .

**Tabela 5.** Parâmetros e medidas de precisão das equações hipsométricas obtidas para *Dipteryx odorata* na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.

Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$R^2_{aj}$ ou I.A. <sub>aj</sub>	$S_{yx\%}$
1	9,07570*	0,11810*	-	-	0,21	18,18
2	16,55739 <sup>ns</sup>	-0,09474 <sup>ns</sup>	0,00145 <sup>ns</sup>	-	0,20	19,37
3	0,92950 <sup>ns</sup>	0,44960*	-	-	0,18	19,23
4	-17,14200*	8,15500*	-	-	0,18	19,12
5	3,27690*	-30,02590*	-	-	0,17	19,40
6	-0,93250 <sup>ns</sup>	0,80480 <sup>ns</sup>	24,22650 <sup>ns</sup>	-	0,18	19,66
7	-85,93000 <sup>ns</sup>	4,28300*	-0,05904*	0,00027*	0,25	11,64
8	3,32700*	-32,17690*	-	-	0,17	19,25
9	2,27530*	0,47930*	-	-	0,19	19,13
10	2,17576*	0,23834*	-	-	0,19	18,70

Fone: Autor (2022), em que:  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  = coeficientes de regressão;  $R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx\%}$  = erro padrão da estimativa; I.A. = Índice de ajuste de Schlaegel ajustado (I.A.<sub>aj</sub>); \* = significância a 5% de acordo com o teste t; ns = não significativo.

Para a espécie *Goupia glabra* (Tabela 6), apenas o modelo 5 (Curtis) obteve parâmetros significativos, apresentando baixo I.A.<sub>aj</sub> e  $S_{yx\%}$  elevado. Já para a espécie *Hymenaea courbaril* (Tabela 7), os modelos 2 (Troyey) e 3 (Stofells) apresentaram parâmetros significativos, sendo a melhor estatística observada no modelo 2.

**Tabela 6.** Parâmetros e medidas de precisão das equações hipsométricas obtidas para *Goupia glabra* na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.

Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$R^2_{aj}$ ou I.A. <sub>aj</sub>	$S_{yx\%}$
1	9,38572*	0,06649 <sup>ns</sup>	-	-	0,03	22,53
2	3,71386 <sup>ns</sup>	0,23422 <sup>ns</sup>	-0,00121 <sup>ns</sup>	-	0,01	23,65
3	1,01010 <sup>ns</sup>	0,37920*	-	-	0,02	23,29
4	-5,35600 <sup>ns</sup>	4,57900 <sup>ns</sup>	-	-	0,03	22,44
5	2,98680*	-25,29760*	-	-	0,02	22,23
6	4,15950 <sup>ns</sup>	-0,22540 <sup>ns</sup>	-40,18150 <sup>ns</sup>	-	0,00	23,42
7	-8,25300 <sup>ns</sup>	0,75490 <sup>ns</sup>	-0,00862 <sup>ns</sup>	0,00003 <sup>ns</sup>	-0,01	23,87
8	2,96350*	-22,05400 <sup>ns</sup>	-	-	0,03	22,76
9	3,51270 <sup>ns</sup>	0,32680 <sup>ns</sup>	-	-	0,03	22,10
10	2,51440*	0,14760 <sup>ns</sup>	-	-	0,03	22,31

Fone: Autor (2022), em que:  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  = coeficientes de regressão;  $R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx\%}$  = erro padrão da estimativa; I.A. = Índice de ajuste de Schlaegel ajustado (I.A.<sub>aj</sub>); \* = significância a 5% de acordo com o teste t; ns = não significativo.

**Tabela 7.** Parâmetros e medidas de precisão das equações hipsométricas obtidas para *Hymenaea courbaril* na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.

Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$R^2_{aj}$ ou I.A. <sub>aj</sub>	$S_{yx\%}$
1	25,88911*	0,01032 <sup>ns</sup>	-	-	-0,02	11,77
2	44,04768*	-0,43022*	0,00256*	-	0,06	10,26
3	3,26007*	0,00445*	-	-	-0,02	11,65
4	25,07740*	0,37690 <sup>ns</sup>	-	-	-0,02	11,43
5	3,26818*	0,88223 <sup>ns</sup>	-	-	-0,02	11,57
6	-3,78270 <sup>ns</sup>	1,30870*	103,97940*	-	0,03	10,46
7	1,31000 <sup>ns</sup>	0,67400 <sup>ns</sup>	-0,01013 <sup>ns</sup>	-0,00004 <sup>ns</sup>	0,06	10,22
8	3,28390*	0,13250 <sup>ns</sup>	-	-	-0,02	11,88
9	25,07343*	0,01459 <sup>ns</sup>	-	-	-0,02	11,14
10	5,05081*	0,01327 <sup>ns</sup>	-	-	-0,02	11,43

Fone: Autor (2022), em que:  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  = coeficientes de regressão;  $R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx\%}$  = erro padrão da estimativa; I.A. = Índice de ajuste de Schlaegel ajustado (I.A.<sub>aj</sub>); \* = significância a 5% de acordo com o teste t; ns = não significativo.

Os modelos 9 (Reciprocal) e 8 (Curtis NL) foram os únicos observados com parâmetros significativos para as espécies *Hymenaea parvifolia* (Tabela 8) e *Manilkara huberi* (Tabela 9), respectivamente, onde ambos apresentaram baixos valores de  $R^2_{aj}$ , além de  $S_{yx\%}$  acima de 18. Para a espécie *Couratari guianensis* (Tabela 10), seis modelos obtiveram parâmetros significativos, sendo o maior valor de  $R^2_{aj}$  observado no modelo 8 (Curtis NL), além do menor erro padrão da estimativa em porcentagem ( $S_{yx\%}$ ).

**Tabela 8.** Parâmetros e medidas de precisão das equações hipsométricas obtidas para *Hymenaea parvifolia* na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.

Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$R^2_{aj}$ ou I.A. <sub>aj</sub>	$S_{yx\%}$
1	19,12044*	0,02644 <sup>ns</sup>	-	-	-0,01	18,27
2	16,56764 <sup>ns</sup>	0,09676 <sup>ns</sup>	-0,00047 <sup>ns</sup>	-	-0,03	19,10
3	2,61805*	0,09623 <sup>ns</sup>	-	-	-0,02	19,51
4	12,45300 <sup>ns</sup>	2,01300 <sup>ns</sup>	-	-	-0,01	18,22
5	3,12850*	-6,97830 <sup>ns</sup>	-	-	-0,02	18,45
6	4,62880 <sup>ns</sup>	-0,28520 <sup>ns</sup>	-26,79130 <sup>ns</sup>	-	-0,04	19,83
7	-3,39600 <sup>ns</sup>	2,11700 <sup>ns</sup>	-0,02649 <sup>ns</sup>	0,00010 <sup>ns</sup>	-0,03	19,27
8	3,14530*	-6,91390 <sup>ns</sup>	-	-	-0,01	19,26
9	14,03400*	0,09490*	-	-	-0,01	19,34
10	4,15986*	0,05035 <sup>ns</sup>	-	-	-0,01	19,61

Fone: Autor (2022), em que:  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  = coeficientes de regressão;  $R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx\%}$  = erro padrão da estimativa; I.A. = Índice de ajuste de Schlaegel ajustado (I.A.<sub>aj</sub>); \* = significância a 5% de acordo com o teste t; ns = não significativo.



**Tabela 9.** Parâmetros e medidas de precisão das equações hipsométricas obtidas para *Manilkara huberi* na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.

Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$R^2_{aj}$ ou I.A. <sub>aj</sub>	$S_{yx\%}$
1	16,76472*	0,02836 <sup>ns</sup>	-	-	0,00	18,61
2	18,0903*	-0,00646 <sup>ns</sup>	0,00021 <sup>ns</sup>	-	-0,02	18,13
3	2,46950*	0,10510 <sup>ns</sup>	-	-	-0,01	18,14
4	9,74600 <sup>ns</sup>	2,13000 <sup>ns</sup>	-	-	0,00	18,55
5	3,02550*	-7,49210 <sup>ns</sup>	-	-	-0,01	18,72
6	2,49815 <sup>ns</sup>	0,09973 <sup>ns</sup>	-0,39102 <sup>ns</sup>	-	-0,03	18,28
7	-1,20000 <sup>ns</sup>	1,16900 <sup>ns</sup>	-0,01446 <sup>ns</sup>	0,00005 <sup>ns</sup>	-0,03	18,35
8	3,05070*	-8,04100*	-	-	0,00	18,57
9	11,62730*	0,11300 <sup>ns</sup>	-	-	0,00	18,30
10	3,85569*	0,05699 <sup>ns</sup>	-	-	0,00	18,21

Fone: Autor (2022), em que:  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  = coeficientes de regressão;  $R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx\%}$  = erro padrão da estimativa; I.A. = Índice de ajuste de Schlaegel ajustado (I.A.<sub>aj</sub>); \* = significância a 5% de acordo com o teste t; ns = não significativo.

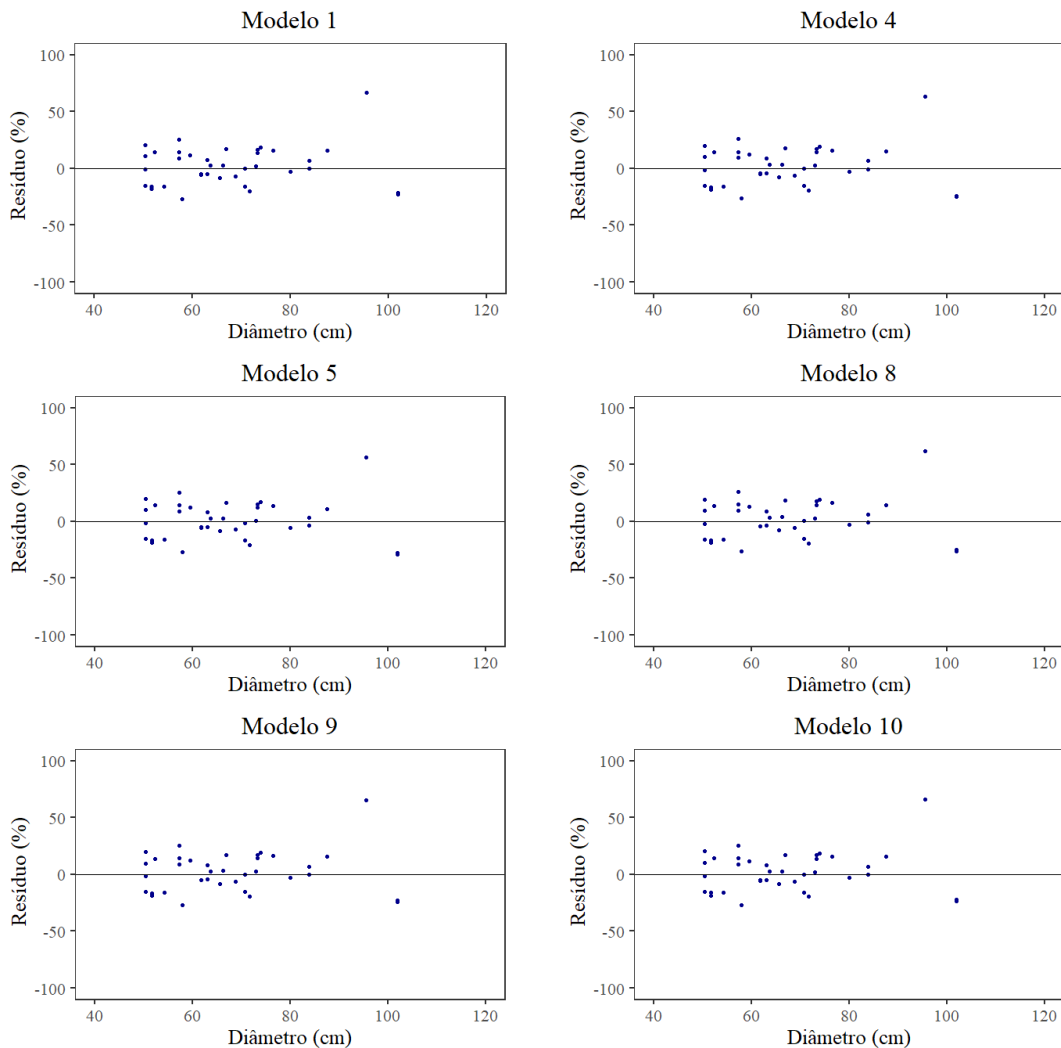
**Tabela 10.** Parâmetros e medidas de precisão das equações hipsométricas obtidas para *Couratari guianensis* na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.

Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$R^2_{aj}$ ou I.A. <sub>aj</sub>	$S_{yx\%}$
1	13,84630*	0,10933*	-	-	0,12	16,03
2	-13,08058 <sup>ns</sup>	0,82335*	-0,00459*	-	0,19	15,38
3	1,29840*	0,41400*	-	-	0,13	15,95
4	-16,20800 <sup>ns</sup>	8,89300*	-	-	0,14	15,81
5	3,51250*	-31,51260*	-	-	0,15	15,75
6	12,67400*	-1,73300 <sup>ns</sup>	-155,91400*	-	0,18	15,46
7	-3,01800 <sup>ns</sup>	1,48600 <sup>ns</sup>	-0,01293 <sup>ns</sup>	-0,00003 <sup>ns</sup>	0,17	15,54
8	3,50360*	-30,04080*	-	-	0,15	15,70
9	4,26690*	0,38120*	-	-	0,13	15,89
10	2,92811*	0,20456*	-	-	0,12	15,96

Fone: Autor (2022), em que:  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  = coeficientes de regressão;  $R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx\%}$  = erro padrão da estimativa; I.A. = Índice de ajuste de Schlaegel ajustado (I.A.<sub>aj</sub>); \* = significância a 5% de acordo com o teste t; ns = não significativo.

A análise gráfica dos resíduos foi composta pelos melhores modelos, selecionados com base na estatística de regressão. A distribuição residual (Figuras 3, 4 e 5) apresentou grande semelhança na distribuição de pontos em todas as espécies, o que torna esse critério pouco decisivo na escolha do melhor modelo, devendo, portanto, ser complementado por outros. Foi detectada uma notória tendência a superestimativa da altura real em todos os modelos ajustados para as diferentes espécies, com a maior quantidade de pontos alocados na parcela superior dos gráficos.

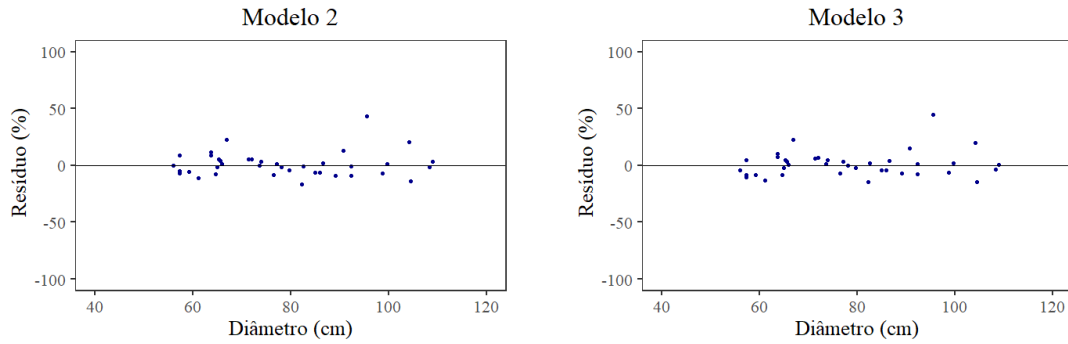
**Figura 3.** Distribuição de resíduos dos melhores modelos hipsométricos obtidos para *Dipteryx odorata* na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.



Fonte: Autor (2022).

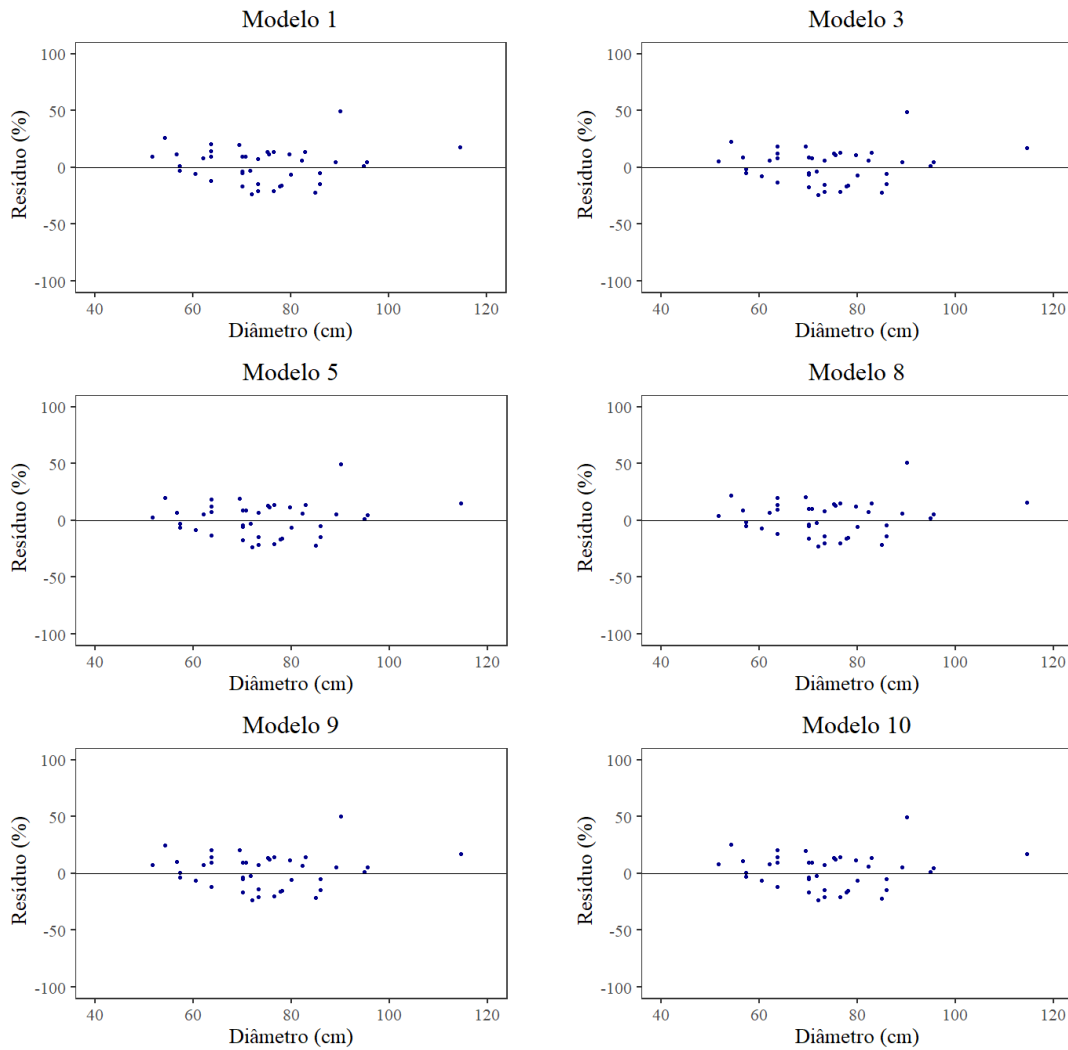
Nota-se que para a espécie *Dipteryx odorata*, as maiores superestimativas ocorrem nos diâmetros inferiores, enquanto que na espécie *Hymenaea courbaril*, as mesmas tendem a ocorrer mais frequentemente nos diâmetros superiores. Já para a espécie *Couratari guianensis*, as maiores dispersões de pontos foram observadas nas medidas diamétricas intermediárias, evidenciando, contudo, maiores tendências a subestimativas.

**Figura 4.** Distribuição de resíduos dos melhores modelos hipsométricos obtidos para *Hymenaea courbaril* na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.



Fonte: Autor (2022).

**Figura 5.** Distribuição de resíduos dos melhores modelos hipsométricos obtidos para *Couratari guianensis* na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.



Fonte: Autor (2022).

Já em relação aos ajustes dos modelos volumétricos (Tabelas 11 a 16), o  $R^2_{aj}$ ,  $I.A._{aj}$  obteve grande variação, oscilando entre 0,61 e 0,89, com  $S_{yx\%}$  entre 1,02 e 7,71. Assim como nos ajustes hipsométricos, os modelos volumétricos de mesma natureza apresentaram estatística semelhante, além de grande parte não obter parâmetros significativos. Os modelos 1 (Spurr), 3 (Husch), 6 (Schumacher-Hall) e 7 (Takata) mostraram parâmetros significativos para a espécie *Dipteryx odorata* (Tabela 11), com elevados valores em  $R^2_{aj}$ ,  $I.A._{aj}$  e  $S_{yx\%}$  abaixo de 10. Os mesmos modelos, com exceção do modelo de Takata, foram os únicos com parâmetros significativos nos ajustes para a espécie *Goupia glabra* (Tabela 12), sendo o modelo de Schumacher-Hall o mais adequado para a espécie, de acordo com a estatística de regressão.

**Tabela 11.** Parâmetros e medidas de precisão das equações volumétricas obtidas para *Dipteryx odorata* na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.

Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$R^2_{aj}$ ou $I.A._{aj}$	$S_{yx\%}$
1	0,68360*	0,00004*	-	-	-	0,69	5,35
2	-2,51393 <sup>ns</sup>	0,06843 <sup>ns</sup>	0,00023 <sup>ns</sup>	-	-	0,72	5,02
3	-8,04500*	2,17590*	-	-	-	0,73	5,24
4	3,63186 <sup>ns</sup>	-0,06305 <sup>ns</sup>	-149,62299 <sup>ns</sup>	-	-	0,72	5,12
5	-5,40600 <sup>ns</sup>	0,19780 <sup>ns</sup>	-0,00155 <sup>ns</sup>	-0,00290 <sup>ns</sup>	-0,00007 <sup>ns</sup>	0,81	7,71
6	-11,00470*	2,32610*	0,85020*	-	-	0,81	7,52
7	23342,82000*	-13,61000*	-	-	-	0,82	7,52
8	0,00003 <sup>ns</sup>	2,10900*	0,93970*	-	-	0,82	7,45
9	0,00004 <sup>ns</sup>	1,01500*	-	-	-	0,82	6,05

Fonte: Autor (2022), em que:  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  = coeficientes de regressão;  $R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx\%}$  = erro padrão da estimativa;  $I.A.$  = Índice de ajuste de Schlaegel ajustado ( $I.A._{aj}$ ); \* = significância a 5% de acordo com o teste t; ns = não significativo.

**Tabela 12.** Parâmetros e medidas de precisão das equações volumétricas obtidas para *Goupia glabra* na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.

Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$R^2_{aj}$ ou $I.A._{aj}$	$S_{yx\%}$
1	0,68360*	0,00003*	-	-	-	0,69	5,03
2	-2,51393 <sup>ns</sup>	0,06844 <sup>ns</sup>	0,00023 <sup>ns</sup>	-	-	0,72	4,25
3	-8,04500*	2,17590*	-	-	-	0,73	5,46
4	3,63186 <sup>ns</sup>	-0,06305 <sup>ns</sup>	-149,62299 <sup>ns</sup>	-	-	0,72	5,08
5	-3,62000 <sup>ns</sup>	0,15740 <sup>ns</sup>	-0,00103 <sup>ns</sup>	-0,00376 <sup>ns</sup>	-0,00007 <sup>ns</sup>	0,75	5,23
6	-8,27200*	2,07420*	0,25050*	-	-	0,75	5,53
7	19712,32000 <sup>ns</sup>	22,16000*	-	-	-	0,64	6,63

Continua...

...Continuação

8	0,00028 <sup>ns</sup>	1,99800*	0,33234*	-	-	0,75	5,27
9	0,00017 <sup>ns</sup>	0,88915*	-	-	-	0,73	4,74

Fonte: Autor (2022), em que:  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  = coeficientes de regressão;  $R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx\%}$  = erro padrão da estimativa; I.A. = Índice de ajuste de Schlaegel ajustado (I.A.<sub>aj</sub>); \* = significância a 5% de acordo com o teste t; ns = não significativo.

Para as espécies *Hymenaea courbaril* (Tabela 13) e *Hymenaea parvifolia* (Tabela 14), os modelos 1, 3 e 7 foram as mais aderentes, com  $R^2_{aj}$ /I.A.<sub>aj</sub> mínimo de 0,63 e máximo de 0,86, além de  $S_{yx\%}$  mínimo de 5,02 e máximo de 7,36 m<sup>3</sup>.

**Tabela 13.** Parâmetros e medidas de precisão das equações volumétricas obtidas para *Hymenaea courbaril* na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.

Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$R^2_{aj}$ ou I.A. <sub>aj</sub>	$S_{yx\%}$
1	1,61800*	0,00003*	-	-	-	0,74	7,03
2	-7,27100*	0,18280*	0,00005 <sup>ns</sup>	-	-	0,86	5,25
3	-6,70450*	1,98290*	-	-	-	0,86	5,02
4	-5,89500 <sup>ns</sup>	1,83300*	-11,96600 <sup>ns</sup>	-	-	0,85	5,54
5	-1,16800 <sup>ns</sup>	-0,23450 <sup>ns</sup>	0,00421*	0,00953*	-0,00011*	0,88	5,85
6	-6,23860*	1,99240*	-0,15440 <sup>ns</sup>	-	-	0,86	5,24
7	15422,90000*	95,46000*	-	-	-	0,74	7,36
8	0,00526 <sup>ns</sup>	1,95408*	-0,39985*	-	-	0,87	5,65
9	0,00003 <sup>ns</sup>	1,01500*	-	-	-	0,89	2,03

Fonte: Autor (2022), em que:  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  = coeficientes de regressão;  $R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx\%}$  = erro padrão da estimativa; I.A. = Índice de ajuste de Schlaegel ajustado (I.A.<sub>aj</sub>); \* = significância a 5% de acordo com o teste t; ns = não significativo.

**Tabela 14.** Parâmetros e medidas de precisão das equações volumétricas obtidas para *Hymenaea parvifolia* na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.

Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$R^2_{aj}$ ou I.A. <sub>aj</sub>	$S_{yx\%}$
1	1,32300*	3,18800*	-	-	-	0,67	6,41
2	-1,02929 <sup>ns</sup>	0,03886 <sup>ns</sup>	0,00063 <sup>ns</sup>	-	-	0,72	5,45
3	-6,72390*	1,94500*	-	-	-	0,73	5,48
4	-0,46110 <sup>ns</sup>	0,75320 <sup>ns</sup>	-82,49560 <sup>ns</sup>	-	-	0,72	5,62
5	-1,50300 <sup>ns</sup>	0,06103 <sup>ns</sup>	0,00028 <sup>ns</sup>	-0,00029 <sup>ns</sup>	0,00001 <sup>ns</sup>	0,71	5,08
6	-6,84114*	1,93565*	0,05096 <sup>ns</sup>	-	-	0,72	5,15
7	14838,10000*	114,55000*	-	-	-	0,63	6,45
8	0,00149 <sup>ns</sup>	1,81649*	0,11520 <sup>ns</sup>	-	-	0,73	5,74
9	0,00071 <sup>ns</sup>	0,76089*	-	-	-	0,67	6,63

Fonte: Autor (2022), em que:  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  = coeficientes de regressão;  $R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx\%}$  = erro padrão da estimativa; I.A. = Índice de ajuste de Schlaegel ajustado (I.A.<sub>aj</sub>); \* = significância a 5% de acordo com o teste t; ns = não significativo.

A espécie *Manilkara huberi* (Tabela 15) obteve boa representatividade por seis dos dez modelos testados, apresentando  $R^2_{aj}/I.A._{aj}$  máximo de 0,78 com  $S_{yx\%}$  mínimo de 3,17 m<sup>3</sup>. Já para a espécie *Couratari guianensis* (Tabela 16), apenas os modelos 3 e 6 obtiveram parâmetros significativos, sendo, portanto, os únicos adequados para essa espécie.

**Tabela 15.** Parâmetros e medidas de precisão das equações volumétricas obtidas para *Manilkara huberi* na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.

Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$R^2_{aj}$ ou $I.A._{aj}$	$S_{yx\%}$
1	1,55700*	2,42700*	-	-	-	0,64	4,65
2	-10,10461*	0,30989*	-0,00149*	-	-	0,78	3,17
3	-5,30940*	1,56670*	-	-	-	0,61	4,78
4	17,02800*	-2,66200*	-300,79000*	-	-	0,77	3,25
5	-9,78000*	0,26840*	-0,00131*	0,00161 <sup>ns</sup>	0,00000 <sup>ns</sup>	0,81	3,64
6	-6,66610*	1,58920*	0,42610*	-	-	0,65	4,57
7	8729,12000*	224,29000*	-	-	-	0,64	4,74
8	0,00475 <sup>ns</sup>	1,29055*	0,41810*	-	-	0,70	4,21
9	0,00301 <sup>ns</sup>	0,62616*	-	-	-	0,69	4,07

Fonte: Autor (2022), em que:  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  = coeficientes de regressão;  $R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx\%}$  = erro padrão da estimativa; I.A. = Índice de ajuste de Schlaegel ajustado (I.A.<sub>aj</sub>); \* = significância a 5% de acordo com o teste t; ns = não significativo.

**Tabela 16.** Parâmetros e medidas de precisão das equações volumétricas obtidas para *Couratari guianensis* na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.

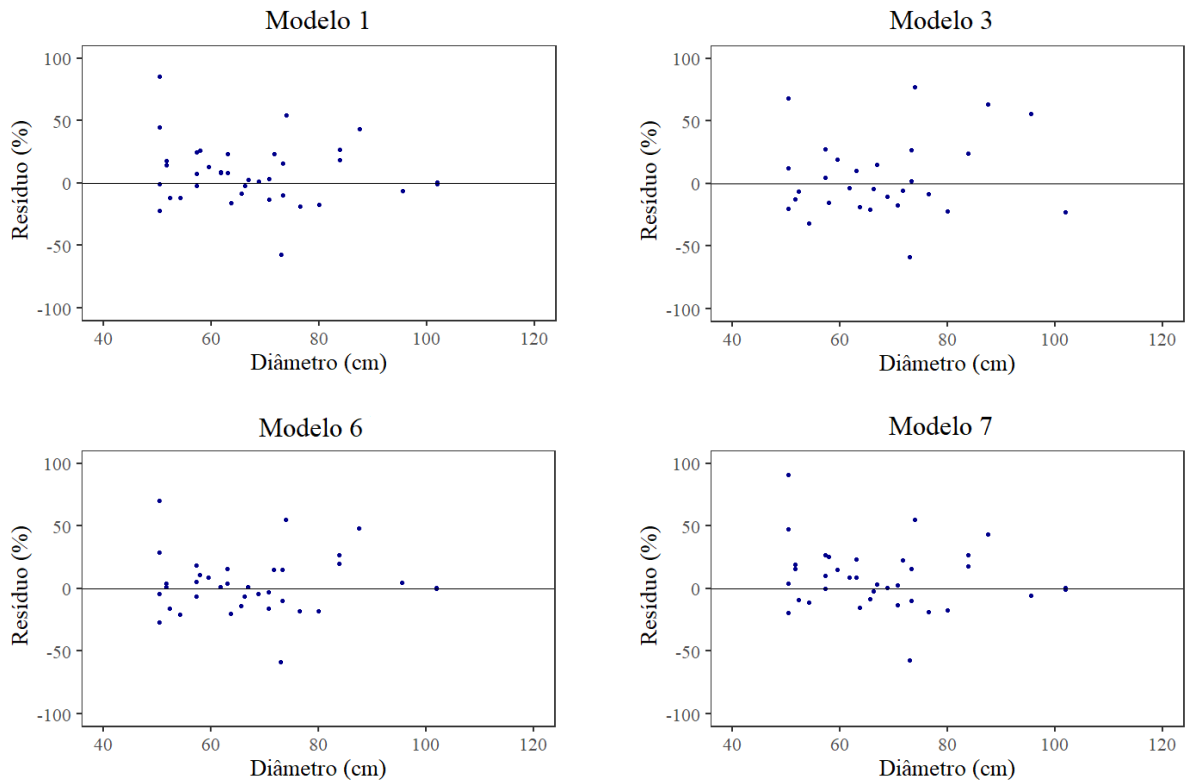
Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$R^2_{aj}$ ou $I.A._{aj}$	$S_{yx\%}$
1	0,46950 <sup>ns</sup>	0,00003*	-	-	-	0,65	6,32
2	4,43852 <sup>ns</sup>	-0,12272 <sup>ns</sup>	0,00178*	-	-	0,67	6,25
3	-7,27680*	2,06720*	-	-	-	0,66	6,06
4	-13,1600 <sup>ns</sup>	3,17700 <sup>ns</sup>	80,91100 <sup>ns</sup>	-	-	0,66	6,46
5	-9,78000*	0,26840*	0,00131*	0,00161 <sup>ns</sup>	0,00000 <sup>ns</sup>	0,70	1,02
6	-7,77260*	1,97940*	0,28100*	-	-	0,67	6,53
7	30215,21000*	-72,19000 <sup>ns</sup>	-	-	-	0,65	6,13
8	0,00013 <sup>ns</sup>	2,15471*	0,41126 <sup>ns</sup>	-	-	0,68	6,63
9	0,00005 <sup>ns</sup>	0,97360*	-	-	-	0,64	7,47

Fonte: Autor (2022), em que:  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  = coeficientes de regressão;  $R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx\%}$  = erro padrão da estimativa; I.A. = Índice de ajuste de Schlaegel ajustado (I.A.<sub>aj</sub>); \* = significância a 5% de acordo com o teste t; ns = não significativo.

Assim como para os modelos hipsométricos, a análise gráfica residual dos modelos volumétricos (Figura 6) foi baseada na estatística de regressão, utilizando-se os melhores

ajustes obtidos para cada espécie. Os modelos ajustados para a espécie *Dipteryx odorata* apresentaram tendências a superestimativas de volume real, com a maioria dos pontos de resíduo dispersos na parcela superior dos gráficos.

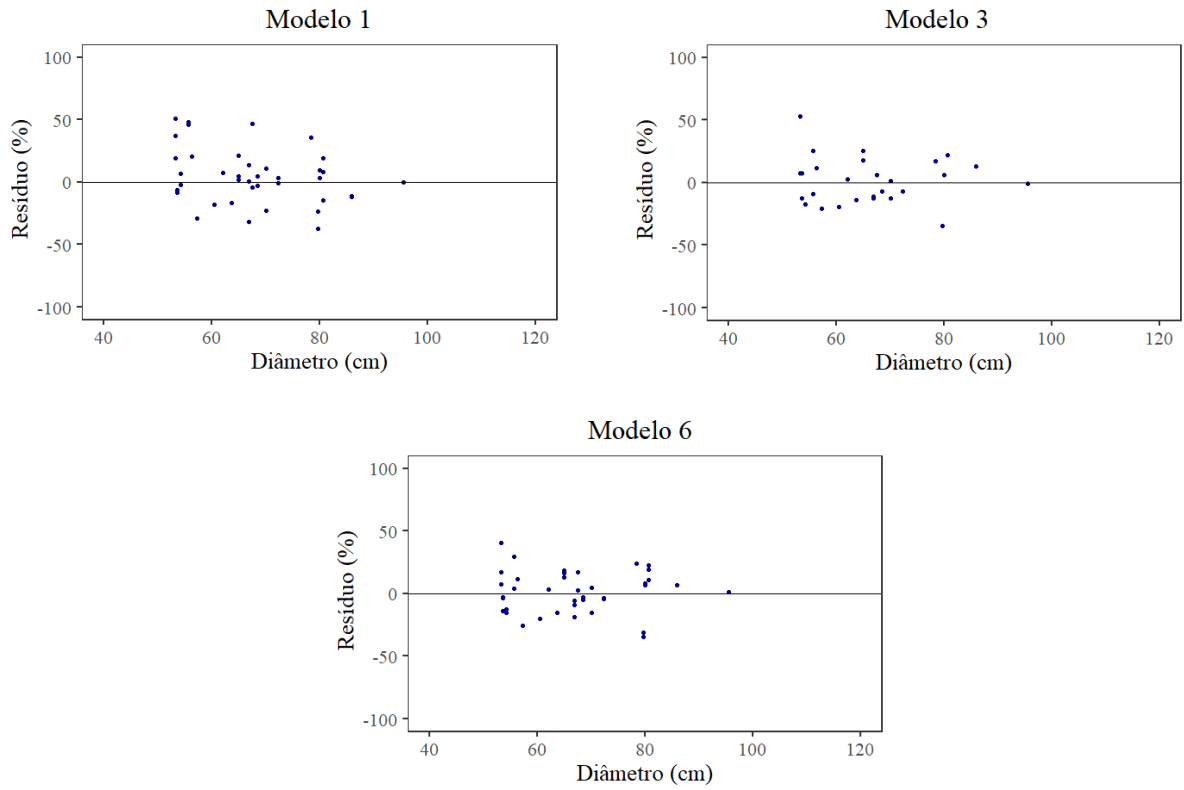
**Figura 6.** Distribuição de resíduos dos melhores modelos volumétricos obtidos para *Dipteryx odorata* na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.



Fonte: Autor (2022).

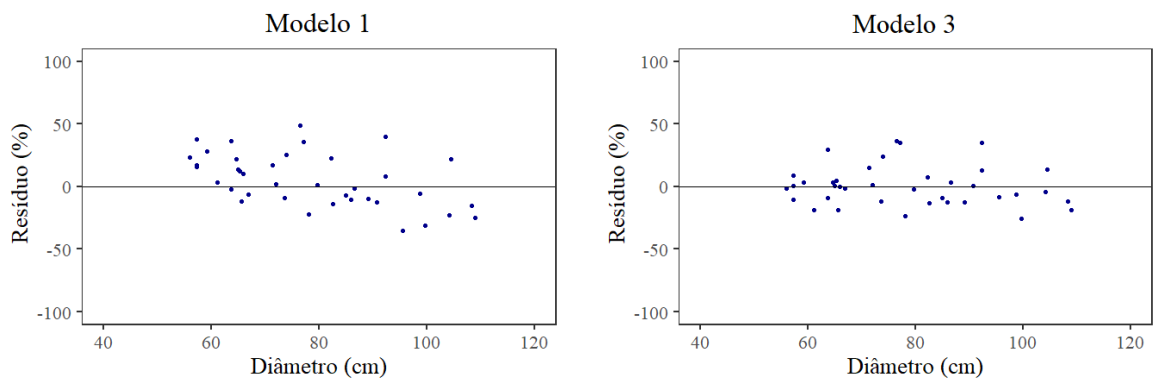
Para a espécie *Goupia glabra*, o modelo 1 apresentou maior tendência a superestimativas, enquanto os modelos 3 e 6 apresentaram menor dispersão de pontos. Já para a espécie *Hymenaea courbaril* foi observada grande semelhança na distribuição residual dos modelos 1 e 7, enquanto o modelo 3 mostrou menor dispersão. Os modelos ajustados para a espécie *Hymenaea parvifolia* mostraram comportamento semelhante, tendendo a superestimar os valores reais de volume.

**Figura 7.** Distribuição de resíduos dos melhores modelos volumétricos obtidos para *Goupia glabra* na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.

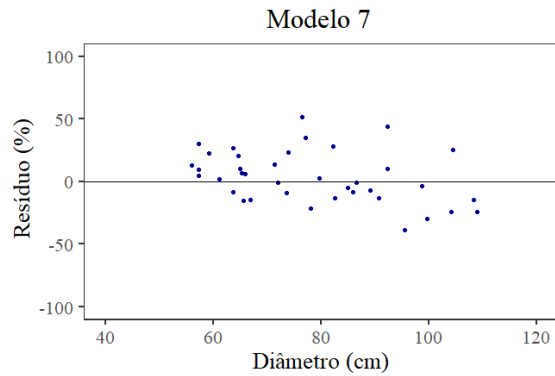


Fonte: Autor (2022).

**Figura 8.** Distribuição de resíduos dos melhores modelos volumétricos obtidos para *Hymenaea courbaril* na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.

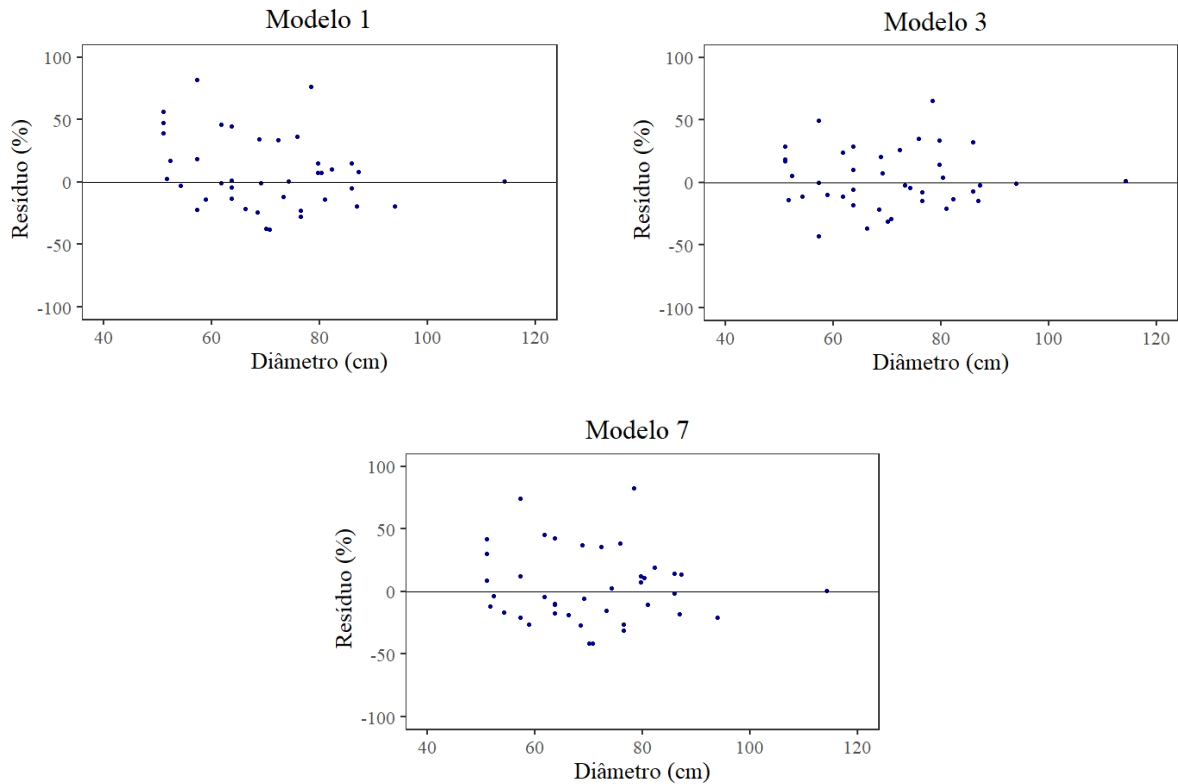






Fonte: Autor (2022).

**Figura 9.** Distribuição de resíduos dos melhores modelos volumétricos obtidos para *Hymenaea parvifolia* na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.

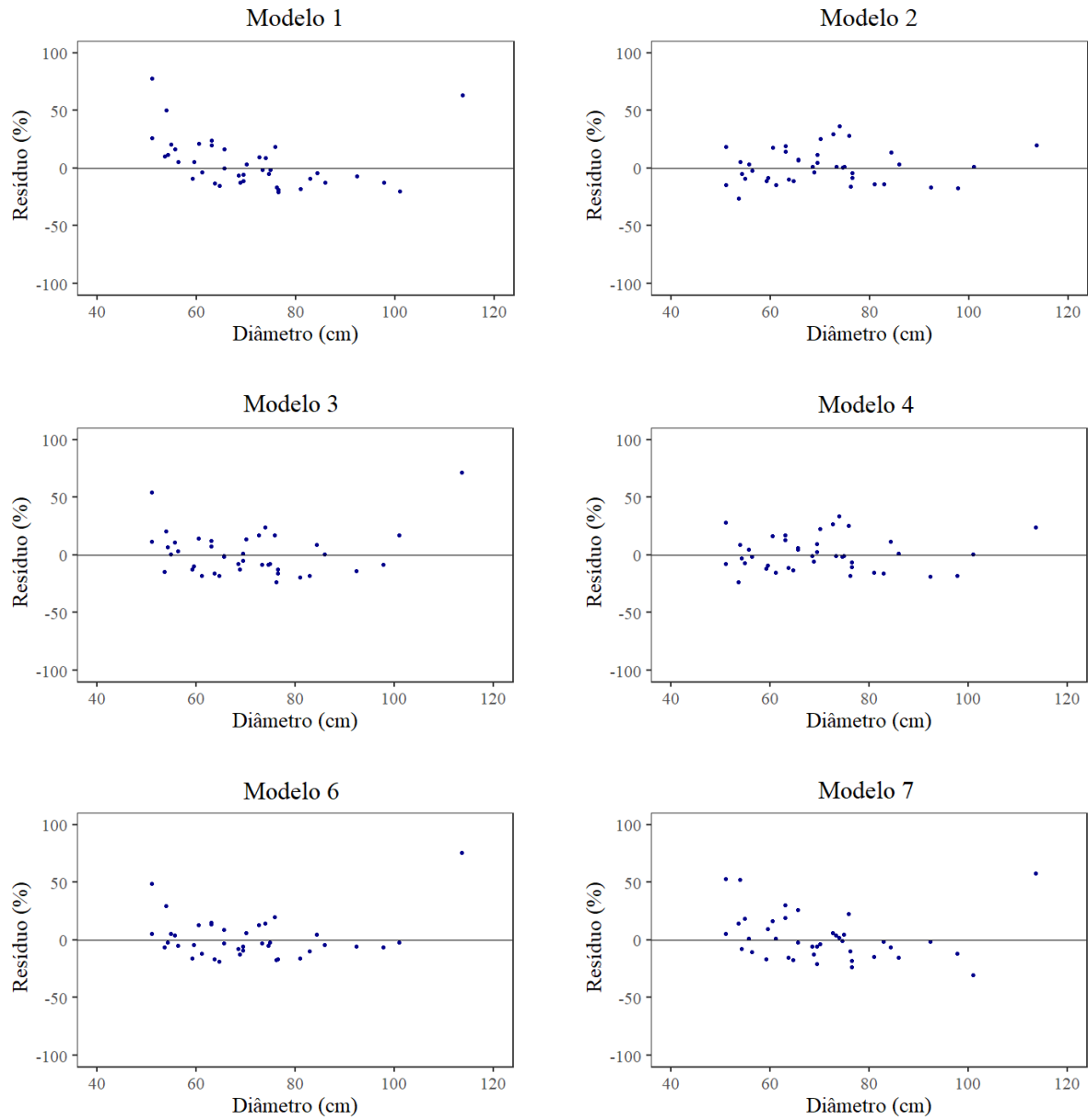


Fonte: Autor (2022).

Para a espécie *Manilkara huberi*, os modelos 1, 3, 6 e 7 assemelharam-se por apresentarem uma tendência a superestimativa do volume real nas menores classes diamétricas, enquanto os modelos 2 e 4 mostraram maior aderência e menor dispersão de pontos. Os modelos 3 e 6 ajustados para a espécie *Couratari guianensis* mostraram uma clara

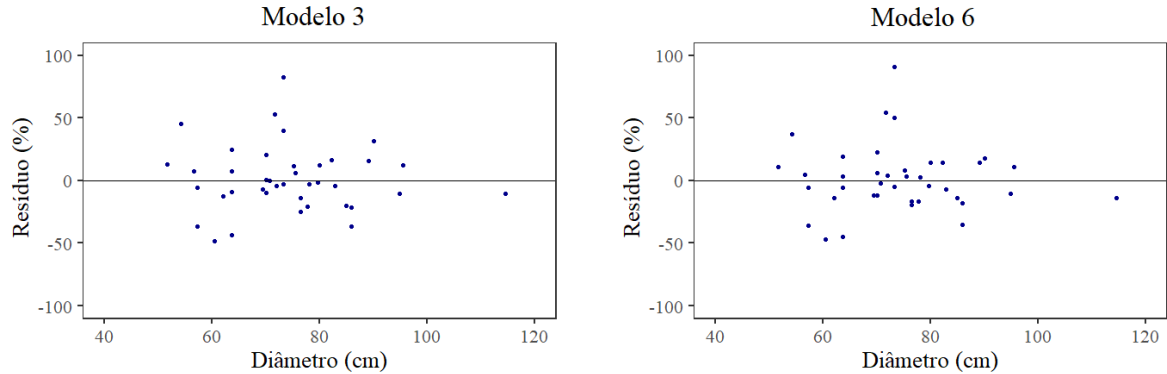
superestimativa do volume real entre 60 e 80 cm de diâmetro, além de elevada dispersão residual.

**Figura 10.** Distribuição de resíduos dos melhores modelos volumétricos obtidos para *Manilkara huberi* na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.



Fonte: Autor (2022).

**Figura 11.** Distribuição de resíduos dos melhores modelos volumétricos obtidos para *Couratari guianensis* na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.



Fonte: Autor (2022).

## DISCUSSÃO

As médias de alturas comerciais obtidas pelo dendrômetro Trupulse (19,82 m) e Criterion (19,82 m) foram igualmente próximas à média da altura real obtida após a colheita. Em estudo realizado por Almeida Gonçalves et al. (2009) em uma floresta tropical com características semelhantes à floresta onde este estudo foi realizado, foi avaliada a precisão de um dendrômetro com tecnologia *laser* para a estimativa de altura comercial, obtendo uma média de 18,5 m, com desvio de 5,9 e CV de 31,8%, bastante semelhante aos parâmetros obtidos no presente estudo, excerto pelo maior coeficiente de variação. Já Curto et al. (2020) avaliando a precisão de um instrumento óptico na medição de altura comercial em uma área de transição Cerrado-Floresta amazônica obtiveram a média de 13,46 m, com desvio padrão de 2,87 m.

É importante ressaltar que estudos realizados em florestas tropicais do tipo Ombrófila Densa, utilizando a variável altura comercial estimada por dendrômetros com tecnologia *laser* ou que utilizam ondas sonoras não é comum, principalmente na região amazônica, onde essa literatura ainda é escassa (SILVA et al., 2019). Já para outros biomas e formações florestais, como Floresta Estacional Decidual e Semidecidual, estudos realizados por Silva et al. (2012a, b), Curto et al. (2013) e Frutuoso et al. (2020) também buscaram avaliar a eficiência de instrumentos ópticos digitais na estimativa de altura comercial para a melhoria da eficiência do manejo florestal nessas áreas.

Não foi constatada diferença significativa entre as médias obtidas pelos dendrômetros (tratamentos) e a média real obtida após a derruba (controle) para nenhuma das classes de altura nem para a análise por espécie, o que já era esperado, uma vez que todos os instrumentos utilizados compartilham do mesmo princípio. No entanto, Silva et al. (2019), comparando três dendrômetros digitais que utilizam o mesmo princípio trigonométrico, dentre eles o Vertex IV, observaram diferença significativa nas estimativas de altura comercial realizadas. Os mesmos autores reforçam que eventuais diferenças entre os aparelhos podem ser geradas por fatores como ergonomia, experiência do operador e condições edafoclimáticas. Outro fator importante é a forma como a informação de distância é obtida nos diferentes dendrômetros, sendo que no Vertex IV, a transmissão e captação de ondas de som, responsáveis pelo cálculo de distância, podem sofrer influência direta da temperatura e umidade relativa do local (BOHN, 1988).

Lauro et al. (2018) avaliando a operacionalidade de instrumentos ópticos como Criterion RD-1000, Vertex IV, dentre outros métodos, na obtenção de altura total de clones de *Eucalyptus* spp. em Sistema Agrossilvipastoril, utilizaram uma metodologia semelhante com relação a medidas prévias a colheita dos indivíduos arbóreos, utilizando a média obtida por cada método como tratamentos, e a altura real média como controle, onde constataram não haver diferença significativa entre tratamentos e controle. No entanto, os dendrômetros Criterion RD-1000 e Vertex IV obtiveram as médias mais próximas às reais, sendo, portanto, os instrumentos mais adequados. Os autores também observaram uma tendência a superestimativas da altura real nos mesmos dendrômetros, principalmente para as menores árvores, obtendo dessa forma, resultados semelhantes aos deste estudo.

Para as classes 12,5 m, 17,5 m e 27,5 m o dendrômetro Criterion RD-1000 obteve as melhores estimativas, enquanto que para as classes 22,5 m e 32,5 m, o Vertex IV foi o mais adequado. Na menor classe (7,5 m) ambos se mostraram eficientes. Para o dendrômetro Trupulse não obteve a melhor representatividade em nenhuma das classes, contrastando com a análise por espécie, onde esse instrumento apresentou as melhores estimativas para a maioria das espécies, dentre elas *Dipteryx odorata*, *Goupia glabra*, *Hymenaea courbaril*, *Hymenaea parvifolia* e *Manilkara huberi*. As dificuldades encontradas para a realização das estimativas de altura foram inúmeras, principalmente pelo grande adensamento e presença de sub-bosque que, na grande maioria das vezes, obstruía a visada tanto da base da árvore quanto da primeira bifurcação. Para o hipsômetro Vertex IV, a visualização do transponder para a obtenção da distância em meio ao adensamento do sub-bosque foi bastante dificultada, necessitando, em

alguns casos, de várias tentativas e uma limpeza prévia na direção da árvore para que a comunicação entre o dendrômetro e o transponder fosse estabelecida, dificuldade esta também relatada por Silva et al. (2019). No entanto, a mesma dificuldade não foi detectada em relação a visualização da primeira bifurcação, onde a visão ampliada pelo aparelho facilitou esse processo.

As medidas tomadas com o Criterion RD-1000 não apresentaram grandes empecilhos com relação a visada e tomada dos ângulos para a obtenção da altura, uma vez que, mesmo a base ou bifurcação obstruída pelo sub-bosque, as lentes possibilitaram visualizar os alvos, além da distância ser tomada previamente com o auxílio da trena, sendo esse último passo o mais difícil, porém, preciso. De acordo com Silva et al. (2017), as estimativas obtidas por este instrumento estão sujeitas a variações diretamente proporcionais ao aumento da altura e distância das árvores. Vale ressaltar que estudos buscando a avaliação de desempenho do Criterion RD-1000 em florestas tropicais como a Amazônia ainda são carentes por diversos fatores, como formações florísticas diversificadas dentro de uma mesma área e presença inevitável de sub-bosque, gerados por diversas associações entre os componentes bióticos característicos dessas áreas (GAMA et al., 2003; CURTO et al., 2020).

Por se tratar de um aparelho cujo o cálculo do ângulo e distância é realizado de forma simultânea, foi observada grande dificuldade nas medições realizadas com o Trupulse 360°, uma vez que não se conseguia confirmar de forma imediata se a distância tomada pelo aparelho tratava-se realmente da árvore medida ou teria sido obstruída por folhas, cipós ou vegetação presentes nas redondezas do alvo, fato esse ocorrido diversas vezes durante o período de coleta, forçando o operador a tomar novamente as medidas. No entanto, as lentes do instrumento possibilitaram uma excelente aproximação na visualização dos alvos de uma forma geral, o que facilitou e gerou maior precisão na tomada dos ângulos e, conseqüentemente, das alturas.

A análise gráfica mostrou grande semelhança na relação dendrômetro/altura real, tanto para a população total quanto na análise por espécie. Observou-se notória tendência a superestimativa pelos dendrômetros Trupulse e Vertex entre 10 e 20 metros de altura, além de subestimativas entre 19 e 20 metros, observadas em todos os aparelhos em relação a população total. Nas espécies *Manilkara huberi*, *Couratari guianenses* e *Goupia glabra*, também foi observada tendência a superestimativas nas menores medidas de altura obtidas por todos os dendrômetros, além de notória superestimativa entre 14 e 21 metros para a espécie *Dipteryx odorata*. Essa tendência a superestimativas da altura real pelo instrumento

Vertex IV também foi observada por Silva et al. (2019) em Floresta Ombrófila aberta com palmeiras e por Jesus et al. (2012) em um povoamento clonal de *Eucalyptus* sp. Silva et al. (2012a) e Curto et al. (2013) observaram uma tendência contrária, onde esse instrumento apresentara tendências a subestimativas, com tudo, de altura total em Floresta Estacional Semidecidual.

As alturas comerciais mínima e máxima foram de respectivamente 7,60 m e 32,70 m, com média de 19,87 m e variância de 28,34 m<sup>2</sup>. Já o diâmetro apresentou o mínimo de 50,29 cm e máximo de 127,96 cm, com média de 71,76 cm e variância de 225,94 cm<sup>2</sup>. Hess et al. (2014) apresentaram resultados semelhantes ajustando modelos hipsométricos em uma floresta amazônica no estado do Amazonas, com clima e vegetação semelhantes ao deste estudo, observaram que as árvores apresentaram uma altura mínima de 8,2 m e máxima de 25,2 m, com média de 16,6 m e variância de 10,89 m<sup>2</sup>, além de diâmetro mínimo de 51,9 cm, máximo de 141,6 cm, média de 79,2 cm e variância de 243,36 cm<sup>2</sup>. Thaines et al. (2010) em estudo no município de Lábrea, no Amazonas, obtiveram uma média de altura igual a 15,5 m, com erro padrão de 0,28 m, sendo a altura mínima de 7,3 m e máxima de 23,8 m, além de um diâmetro médio de 79,2 cm, erro padrão de 1,32 cm, com mínimo de 51,9 cm e máximo de 141,7 cm. É importante ressaltar que a falta de literatura referente a relações hipsométricas na Amazônia ainda é um fator presente, principalmente em relação à altura comercial, muito provavelmente pela grande dificuldade na aquisição de dados confiáveis por diversos fatores inerente ao ambiente, já citados neste estudo.

Os ajustes hipsométricos mostraram uma variação de  $R^2_{aj}/I.A._{aj}$  de -0,00 até 0,25, além de erro padrão da estimativa em percentagem ( $S_{yx\%}$ ) de 10,22 até 23,87. Foi observada semelhança na estatística de regressão dos modelos de mesma natureza. Esses resultados também corroboram com os de Hess et al. (2014), uma vez que os autores identificaram discrepância na relação entre diâmetro e altura, principalmente pelo fato de alguns indivíduos arbóreos apresentarem diâmetros elevados com baixas alturas ou o contrário, o que acaba comprometendo a relação entre as variáveis e consequentemente os ajustes, fato este também observado neste estudo e já esperado, uma vez que a relação biológica entre altura e diâmetro não é alta em comparação com outras relações dendrométricas.

A espécie *Dipteryx odorata* obteve melhor representatividade por meio dos modelos de Campos; Leite e Azevedo et al. (2011). Já para a espécie *Goupia glabra* apenas o modelo de Curtis foi significativo, sendo essa a opção mais viável para o ajuste de altura comercial da espécie. Os modelos de Trorey e Reciprocal obtiveram a melhor representatividade para as

espécies *Hymenaea courbaril* e *Hymenaea parvifolia*, respectivamente, com maiores valores de  $I.A_{aj}$  e menores  $S_{yx}$  registrados. Já o modelo de Curtis em sua forma não linear obteve a melhor representatividade para a altura comercial das espécies *Manilkara huberi* e *Couratari guianensis*, a partir de menores discrepâncias entre os valores observados e estimados. No estudo realizado por Nascimento (2018) em uma floresta também com características semelhantes à deste estudo e localizada no estado do Pará, foram testados modelos hipsométricos, dentre eles os modelos de Henricksen, Trorey, Curtis e Stoffels para estimar a altura comercial de espécies nativas da Amazônia, como *Dipteryx odorata*, *Goupia glabra*, *Hymenaea courbaril* e *Manilkara huberi*, onde, além dos modelos e espécies utilizadas, a estatística de regressão também mostrou-se semelhante a deste estudo, a partir de valores de  $R^2_{aj}$  variando de 0,2 até 0,29, além de erro padrão da estimativa entre 0,18 e 0,20 m. O autor destacou que modelos que apresentam comportamento problemático na predição de determinada variável dendrométricas podem gerar ajustes pouco eficazes para descrever a real relação biológica entre as variáveis utilizadas no ajuste, fato esse gerado por diversos fatores, dentre eles, a natureza matemática do modelo utilizado.

Observou-se a tendência de superestimativa da altura real em todos os modelos ajustados para as diferentes espécies, onde a maior quantidade de pontos residuais está alocada na parcela superior dos gráficos, resultados esses também observados por Hess et al. (2014), onde em todos os modelos utilizados foi observada uma clara tendência a superestimativas da altura comercial real. Um fator importante já citado anteriormente é destacado por Machado et al. (2008), onde em florestas com idade avançada, a competição é um fator preponderante ao surgimento de extratos arbóreos distintos, ocasionando em indivíduos alocados em posições sociológicas diferentes e conseqüentemente uma variação diferente entre a relação diâmetro/altura, o que ocasiona a associações diamétricas diferentes para uma mesma altura.

Os modelos ajustados para estimar o volume comercial das espécies apresentaram um  $R^2_{aj}/I.A_{aj}$  mínimo e máximo de respectivamente 0,61 e 0,89, com  $S_{yx\%}$  variando entre 1,02 e 7,71 m<sup>3</sup>. Assim como nos ajustes hipsométricos, os modelos de mesma natureza também apresentaram estatística de regressão semelhante. Os modelos de Spurr, Husch, Schumacher-Hall e Takata mostraram boa representatividade para as espécies *Dipteryx odorata* e *Goupia glabra*, com exceção, para essa última, do modelo de Takata. Para as espécies *Hymenaea courbaril* e *Hymenaea parvifolia*, os modelos de Spurr, Husch e Takata foram os mais significativos, de acordo com a estatística de regressão. O modelo de Hohenadl-Krenn obteve

o melhor ajuste para a espécie *Manilkara huberi*, a partir do maior  $R^2_{aj}$  (0,78) e menor  $S_{yx\%}$  (3,17). Para a espécie *Couratari guianensis*, o modelo de Schumacher-Hall obteve os melhores parâmetros de regressão, sendo, portanto, a melhor opção para essa espécie. Rolim et al. (2006) ajustando modelos volumétricos para diversas espécies comerciais da Amazônia, no estado do Pará, obtiveram resultados satisfatórios para os modelos de Spurr, Husch, Kopezky-Gehrhardt e Schumacher-Hall, com  $R^2_{aj}$  variando entre 0,82 e 0,99, contrastando com os valores observados neste estudo. Neste estudo, observou-se uma clara superioridade dos modelos de simples entrada em relação aos de múltipla entrada, sendo esses primeiros os responsáveis, na maioria dos casos, pelos melhores ajustes e coeficientes mais significativos, o que contrasta com o estudo realizado por Thaines et al. (2010), onde os modelos de dupla entrada obtiveram parâmetros superiores aos de simples entrada, de acordo com a estatística de regressão. No entanto, o modelo de Meyer modificado adiciona maior quantidade de parâmetros sem, com isso, gerar maior precisão aos ajustes, o que ocorre também no trabalho de Rolim et al. (2006), porém, com o modelo de Prodan.

As espécies *Dipteryx odorata*, *Goupia glabra*, *Hymenaea parvifolia* e *Manilkara huberi* apresentaram uma maior tendência a superestimativas do volume comercial nos diâmetros inferiores, entre 50 e 70 cm. Já as espécies *Hymenaea courbaril* e *Couratari guianensis*, essa tendência foi mais observada nos diâmetros intermediários e superiores, além de grande dispersão residual em ambas as espécies. Da Silva et al. (2020) realizaram ajustes volumétricos para espécies comerciais de forma individual, dentre elas a espécie *Dipteryx odorata*, em uma região de transição entre Cerrado e Amazônia. Os autores observaram que todos os modelos utilizados apresentaram tendências a sub ou superestimativas do volume real em todas as espécies. No entanto, para a espécie *Dipteryx odorata*, os modelos de Schumacher-Hall, Spurr logaritimidado e Honner apresentaram as melhores estatísticas de regressão e distribuições residuais uniformes.

É importante ressaltar que a grande maioria dos trabalhos encontrados na literatura atual realizam relações hipsométricas e volumétricas para toda a população, formando um “mix” de espécies, sem levar em consideração o ajuste para cada espécie de forma individual, fator esse determinante na escolha mais adequada para a predição de variáveis imprescindíveis ao manejo florestal sustentável na Amazônia.



## CONCLUSÕES

Não houve diferença significativa entre a média real em relação as médias obtidas pelos dendrômetros utilizados em nenhuma das classes de altura avaliadas. Já na avaliação por espécie, o dendrômetro Trupulse 360° foi o mais adequado, a partir de menores discrepâncias em relação à média real, apesar das adversidades observadas em sua utilização.

As medidas dendrométricas apresentaram alta variação, fator esse que refletiu diretamente nos ajustes volumétricos e hipsométricos, uma vez que a correlação entre as variáveis dendrométricas foi mais baixa, ocasionando em alta variabilidade no Coeficiente de Determinação/Índice de ajuste Schlaegel ajustados e alto erro padrão da estimativa em percentagem observado na maioria dos ajustes, além de tendências a sub ou superestimativas de volume e altura em todas as espécies.

Estudos buscando avaliar a aplicabilidade de instrumentos ópticos digitais em florestas amazônicas são de grande importância para a modernização do manejo florestal, contribuindo diretamente na quantificação precisa de variáveis essenciais como a altura e, dessa maneira, servindo de incentivo a aplicação, na região amazônica, de tecnologias amplamente utilizadas em outras áreas e que devem ser adaptadas para diferentes realidades, levando em consideração as características e peculiaridades de cada localidade.

Modelar variáveis dendrométricas como altura comercial e volume a nível de espécie representa de forma mais fidedigna a realidade de cada localidade, constituindo um fator determinante na escolha adequada do modelo utilizado para prever importantes variáveis de interesse econômico.

#### 4 CAPÍTULO II: MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA E HIPSOMÉTRICA DE DEZ ESPÉCIES COMERCIAIS NATIVAS DA AMAZÔNIA, NO ESTADO DO PARÁ

##### RESUMO

Para o bom planejamento e eficiência nas práticas sustentáveis de manejo na Amazônia, é necessária a caracterização do comportamento de espécies comerciais de interesse mediante o estudo da distribuição de suas principais variáveis dendrométricas, como diâmetro e altura. O objetivo do estudo foi a avaliação do desempenho de funções de densidade probabilística na distribuição diamétrica e de altura comercial de dez *espécies* da Amazônia. O estudo foi realizado em uma área de manejo florestal localizada na Reserva Extrativista (Resex) Tapajós-Arapiuns. A partir do censo das árvores com  $dap \geq 35$  cm, foram selecionadas as dez espécies de maior valor comercial da área para a avaliação do desempenho das funções de densidade probabilística de Gauss, Weibull 3P, Weibull 2P, Beta e Gama, na representação de distribuições em altura comercial e diâmetro. Para a avaliação da aderência dos ajustes, bem como para a escolha das melhores funções para cada variável, foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov a 1% de probabilidade de erro. A população apresentou o total de 6.961 árvores, com diâmetro médio de 66,38 cm (variância de 428,39 cm<sup>2</sup>) e altura comercial média de 16,19 m (variância de 16,69 m<sup>2</sup>). Em geral, as espécies apresentaram um formato de distribuição diamétrica distinto do habitual para essa tipologia vegetal, devido possivelmente ao elevado nível de inclusão adotado no censo. A função Weibull 3P obteve melhores modelagens da distribuição diamétrica na maioria das espécies, dentre elas *Couratari guianensis*, *Apuleia leiocarpa*, *Hymenaea courbaril* e *Goupia glabra*, com menores discrepâncias entre os valores observados e estimados. Já para a distribuição de altura comercial, a função normal de Gauss obteve melhor aderência e representatividade para as espécies *Couratari guianensis*, *Apuleia leiocarpa*, *Hymenaea courbaril*, *Dipteryx odorata* e *Handroanthus impetiginosus*, com maior concentração de árvores nas classes intermediárias de altura, evidenciando uma tendência à distribuição unimodal.

**Palavras-chave:** Função de Densidade Probabilística. Manejo Florestal. Resex Tapajós-Arapiuns.

## ABSTRACT

For good planning and efficiency in sustainable management practices in the Amazon, it is necessary to characterize the behavior of commercial species of interest through the distribution of their main dendrometric variables, such as diameter and commercial height. The objective of the study was to evaluate the performance of probabilistic density functions in the diameter and height distribution of ten commercial species from the Amazon. The study was carried out in a forest management area located in the Tapajós-Arapiuns Extractive Reserve (Resex). From the census of trees with DBH  $\geq 35$  cm, the ten species with the highest commercial value in the area were selected to evaluate the performance of the probabilistic density functions of Gauss, Weibull 3, Weibull 2, Beta and Gamma, in the representation of distributions in commercial height and diameter. To assess the adherence of the adjustments, as well as to choose the best functions for each variable, the Kolmogorov-Smirnov test at 1% error probability was used. The population had a total of 6,961 trees, with a mean diameter of 66.38 cm (variance of 428.39 cm<sup>2</sup>) and mean height of 16.19 m (variance of 16.69 m<sup>2</sup>). In general, the species presented a different diametric distribution format than usual for this plant typology, possibly due to the high level of inclusion adopted in the census. The Weibull 3P function obtained better modeling of the diameter distribution in most species, among them *Couratari guianensis*, *Apuleia leiocarpa*, *Hymenaea courbaril* and *Goupia glabra*, with smaller discrepancies between the observed and estimated values. As for the commercial height distribution, the normal Gauss function obtained better adherence and representativeness for the species *Couratari guianensis*, *Apuleia leiocarpa*, *Hymenaea courbaril*, *Dipteryx odorata* and *Handroanthus impetiginosus*, with a higher concentration of trees in the intermediate height classes, showing a tendency to the unimodal distribution.

**Keywords:** Probabilistic Density Function. Forest management. Resex Tapajós-Arapiuns.

## INTRODUÇÃO

A evidente heterogeneidade e fragilidade dos ambientes florestais amazônicos, aliadas à carência de informações sobre seu comportamento, tem gerado uso inadequado e a inviabilidade no manejo de recursos florestais, o que evidencia a necessidade do desenvolvimento de pesquisas que possibilitem a compreensão e simplificação de suas características estruturais (OLIVEIRA, 2020). Nesse sentido, a eficiência do manejo florestal sustentável, aliado a conservação da flora nativa, está fortemente relacionado ao

conhecimento da composição florística e características dendrométricas de cada espécie, uma vez que, a partir de informações quali-quantitativas, é possível inferir acerca do comportamento que cada componente assume dentro da comunidade (OLIVEIRA et al., 2008).

A distribuição diamétrica de uma população compreende a distribuição dos indivíduos em função de suas dimensões relacionadas com uma unidade de área, geralmente distribuídos em classes, possibilitando a estimativa do número de árvores por hectare em cada classe existente (MIGUEL et al., 2010; TÉO et al., 2011). Seja para produção ou uso sustentável de recursos naturais, a distribuição diamétrica permite a caracterização do estoque de madeira disponível antes e depois da exploração, gerando maiores probabilidades de projeções temporais acerca da população, além de possibilitar o detalhamento confiável de características dendrométricas que fornecem subsídios necessários às tomadas de decisões (SCOLFORO et al., 1998; PULZ et al., 1999).

No geral, a distribuição diamétrica de florestas tropicais sem níveis significativos de perturbações antrópicas, apresentam o formato de J-invertido, onde a maioria dos indivíduos estão presentes nas menores classe de tamanho (HESS et al., 2010). No entanto, quando se considera o comportamento ecofisiológico individual das espécies estudadas, essa distribuição pode variar muito do modelo geral, apresentando uma grande variedade de formas como exponencial negativa, unimodal, bimodal ou irregular, que mantem uma relação direta com as características estruturais de cada espécie (REIS et al., 2014; DALLA LANA et al., 2013).

O diâmetro está presente na maioria das relações e funções de estimativas, como relações hipsométricas e volumétricas, sendo a única variável independente em muitas delas, principalmente por sua grande capacidade de descrição dos padrões de crescimento de uma árvore (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2006; LIMA; LEÃO, 2013). Além de garantir informações imprescindíveis às atividades de exploração, a distribuição diamétrica permite, além da compreensão dos componentes de uma população, a prognose da produção florestal mediante o uso de Funções de Densidade Probabilística (FDP) (FERREIRA, 2011; OLIVEIRA, 2020).

Assim como o diâmetro, a altura constitui uma importante variável dendrométrica na compreensão do comportamento estrutural de espécies de interesse, possibilitando a determinação do volume, incremento em altura, bem como indicar a capacidade produtiva de um local (SILVA et al., 2012). Se tratando de florestas nativas, essa variável possibilita o planejamento e execução do manejo de forma segura e confiável, uma vez que permite o

detalhamento da estrutura vertical da comunidade, além da determinação de espécies com maior índice de importância ecológica na área (SOUZA; SOUZA, 2004).

Além de importante indicadora da qualidade produtiva de determinada região, a altura está diretamente relacionada ao cálculo de volume individual ou por unidade de área, além de proporcionar a avaliação de sustentabilidade ambiental da área de interesse através da estratificação vertical, influenciando em características como riqueza, diversidade e produção de biomassa, o que exige de sua medição ou estimação elevado grau de confiabilidade (SILVA et al., 2012). O conhecimento da altura comercial das árvores garante a otimização do processamento da madeira em diversos setores, principalmente na serraria, possibilitando a melhor combinação de toras a serem retiradas visando o máximo aproveitamento de cada espécie (SOUZA, 2007).

Os ajustes de distribuições probabilísticas podem ser entendidos como a seleção da distribuição estatística que melhor se adapta e explica um conjunto de dados gerado por um processo aleatório, que escolhidos de forma equivocada, podem acarretar sérios prejuízos à produção, constituindo assim uma importante ferramenta para sanar incertezas nos mais diversos campos da ciência (KHUDRI; SADIA, 2013). As funções de Densidade Probabilística (FDP) constituem uma das melhores formas de descrição da distribuição diamétrica de espécies de interesse, ou mesmo de toda a floresta, já utilizada por diversos autores através da distribuição de frequências por classes de diâmetro (SILVA SANTOS; STEPKA, 2021; MACHADO et al., 2009; DE PLÁCIDO et al., 2004; ABREU et al., 2002).

Devido à grande importância na determinação de distribuições probabilísticas adequadas para o conhecimento do funcionamento estrutural de florestas, junto a exigência de confiabilidade nos dados para tomada de decisões, o objetivo do estudo foi a avaliação do desempenho de funções de densidade probabilística na distribuição diamétrica e de altura comercial de dez espécies comerciais da Amazônia no estado do Pará.

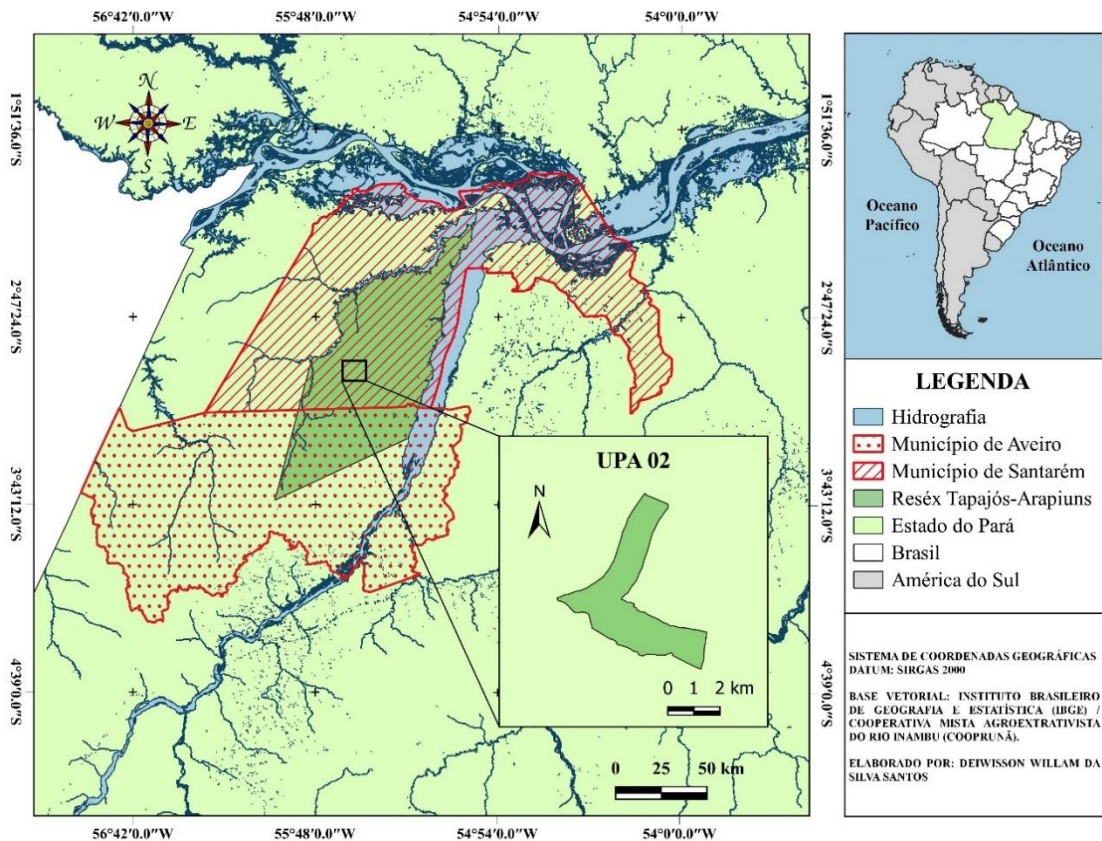
## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Área de estudo**

O estudo foi realizado na Reserva Extrativista (Resex) Tapajós-Arapiuns, localizada a cerca de 300 km do município de Santarém, região Oeste do estado do Pará. A área total da Reserva compreende os municípios de Santarém e Aveiro (Figura 12), entre as coordenadas (02° 20' a 03° 40' S, e 55° 00' a 56° 00' O), totalizando 647.610 hectares. O acesso ao alojamento e ao projeto de manejo é subdividido em duas partes: primeiramente o acesso por

via fluvial até uma das últimas comunidades da Reserva (Tucumatuba), onde fica localizado o porto de escoamento da produção; em seguida o acesso se dá por via terrestre por cerca de 52 km até as instalações da UPA 2, onde o manejo está sendo realizado atualmente.

**Figura 12.** Mapa de localização da Reserva extrativista Tapajós-Arapiuns, Pará, Brasil.



Fonte: Autor (2022).

A vegetação da área em grande maioria (88%) é classificada como Floresta Ombrófila Densa, predominando árvores de grande porte com a formação de um dossel, junto a presença de epífitas e cipós lenhosos, com a ocorrência de algumas manchas de savana, igapós e floresta aberta com palmeiras (MMA, 2008). O solo é do tipo Latossolo Amarelo, com relevo que varia de plano a suavemente ondulado (DA SILVA et al., 2018).

O clima da região de acordo com a classificação Köppen é do tipo Ami (tropical úmido), com temperatura média anual variando entre 26 e 27° C, umidade relativa do ar em torno de 86% e precipitação anual entre 1.287 e 2.538 mm. O período chuvoso compreende os meses de dezembro a julho, onde as médias mensais variam entre 170 a 300 mm, e o período seco entre os meses de agosto a novembro, com médias mensais abaixo de 60 mm.

### **Base de dados**

Os dados são oriundos da planilha de inventário a 100% da Unidade de Produção Anual 2 (UPA 2), realizado no ano de 2019 pela empresa Amazon Consult em parceria com a Cooperativa Mista Agroextrativista do Rio Inambú (COOPRUNÃ), onde foram mensurados altura comercial (que vai da base até o diâmetro mínimo comercial), altura total, diâmetro altura do peito (dap), qualidade de fuste, além da localização (latitude e longitude) de cada árvore. O inventário a 100% consiste em um censo de todas as árvores comerciais com diâmetro altura do peito (dap)  $\geq 35$  cm (diâmetro mínimo de corte), onde são identificadas e marcadas todas as árvores selecionadas para colheita, além das matrizes e as localizadas em áreas de preservação permanente (APP).

A UPA 02 possui 14 unidades de trabalho (UTs) correspondendo cada uma a 107,14 hectares, totalizando 1.500 hectares. Para a realização do estudo foram selecionados dados dendrométricos das dez espécies de maior valor comercial da área, dentre elas Ipê-Roxo (*Handroanthus impetiginosus* Mart.), Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), Jutaí-Mirim (*Hymenaea parvifolia* Huber), Cupiúba (*Goupia glabra* Aubl.), Garapeira (*Apuleia leiocarpa* Vogel J.F. Macbr.), Tauarí (*Couratari guianensis* Aubl.), Pequiá (*Caryocar villosum* Aubl.), Maparajuba (*Manilkara 60araenses* Huber), Jarana (*Holopyxydium jarana* Huber) e Cumarú (*Dipteryx odorata* Aubl. Willd.).

### **Análise de dados**

Os dados foram agrupados em classes diamétricas de 15 cm de amplitude, e classes de altura com 10 m de amplitude, ambas determinadas a partir da fórmula de Sturges. Foram ajustados seis modelos de Função Densidade Probabilística (FDP) para cada uma das espécies, mediante suas frequências em função do Centro de Classe de DAP (cc-dap (cm)) e do Centro de Classe de altura (cc-H (m)) (Tabela 17). Devido à baixa frequência de árvores em algumas espécies como Ipê-Roxo, e a necessidade de comparações entre as estimativas de cada espécie, foi padronizada extrapolação dos dados com base em 1.000 hectares, seguindo a metodologia proposta por Oliveira (2020), que destaca o tamanho médio de talhões (UPAs) na Amazônia.

**Tabela 17.** Funções de Densidade Probabilística ajustadas para as dez espécies de maior valor comercial da Reserva Extrativista Tapajós Arapiuns, Pará, Brasil.

Nome	Função Densidade Probabilística (FDP)
Gauss	$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-b}{c}\right)^2}$
Log Normal	$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{\ln(x) - \mu^2}{2\sigma^2}\right]$
Weibull 2P	$f(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^c}$
Weibull 3P	$f(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1} e^{-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c}$
Beta	$f(x) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1}$
Gama	$f(x) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)}$

Fonte: Autor (2022), em que:  $f(x)$  = função a ser ajustada;  $x$  = variável aleatória estudada (dap e altura); valor mínimo da variável  $X$  ( $a$ ), média ( $b$ ), desvio padrão ( $c$ ) = parâmetros de localização ( $a$ ), escala ( $b$ ) e forma ( $c$ ) da distribuição a serem estimados.

Os cálculos de média ( $\mu$ ) e desvio padrão ( $\sigma$ ) são realizados de maneira específica em cada distribuição, seguindo os requisitos exigidos para cada uma delas (Tabela 18), onde ( $a$ ) equivale ao parâmetro de localização, ( $b$ ) de escala e ( $c$ ) de forma. O parâmetro ( $a$ ) representa o menor limite da distribuição, ( $b$ ) representa a média e ( $c$ ) o desvio padrão das respectivas distribuições.

**Tabela 18.** Média e Variância para as distribuições de Gauss, Log Normal, Weibull 2P, Weibull 3P, Beta e Gama.

Nome	Média	Variância
Gauss	$\mu = b$	$\sigma^2 = c^2$
Log Normal	$\mu = e^{b+c^2/2}$	$\sigma^2 = e^{2b+c^2} (e^{c^2} - 1)$
Weibull 2	$\mu = b * \Gamma\left(1 + \frac{1}{c}\right)$	$\sigma^2 = b^2 * \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{c}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{c}\right)\right]$
Weibull 3	$\mu = a + b * \Gamma\left(1 + \frac{1}{c}\right)$	$\sigma^2 = b^2 * \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{c}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{c}\right)\right]$
Beta	$\mu = \frac{a}{a+b}$	$\sigma^2 = \frac{ab}{(a+b)^2(a+b+1)}$
Gama	$\mu = a * b$	$\sigma^2 = b^2 * a$

Fonte: Autor (2022), em que:  $\mu$  = média da distribuição;  $\sigma^2$  = variância da distribuição; parâmetros de localização ( $a$ ), escala ( $b$ ) e forma ( $c$ ) da distribuição a serem estimados.



Para a escolha do melhor modelo e a verificação da qualidade dos ajustes obtidos para cada função nos diferentes intervalos de classes, bem como a aderência de cada distribuição, foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) ( $\alpha=1\%$ ), amplamente utilizado por diversos autores em comparações da precisão de valores estimados através de distribuições probabilísticas com as respectivas frequências observadas, onde o ponto de maior divergência entre as distribuições é o valor “D” de K-S (MACHADO et al., 2009; BILA et al., 2018; REIS et al., 2018).

$$D_{calc} = (|F_{obs} - F_{est}|)/n \quad (8)$$

$$D_n(1\%) = 1,63/\sqrt{n} \quad (9)$$

Fonte: Autor (2022), em que:  $D_{calc}$  = valor calculado de Kolmogorov-Smirnov;  $D_n(1\%)$  = valor de KS tabelado em nível  $\alpha$  de probabilidade;  $F_{obs}$  = Frequência observada acumulada; e  $F_{est}$  = frequência estimada acumulada;  $n$  = número de indivíduos.

O teste de Kolmogorov-Smirnov é preferível ao teste de Qui-quadrado, uma vez que, se tratando de amostras com o número de observações por classe inferiores a cinco, podem apresentar tendências nos valores e conseqüentemente nas comparações entre modelos (SCOLFORO, 2006).

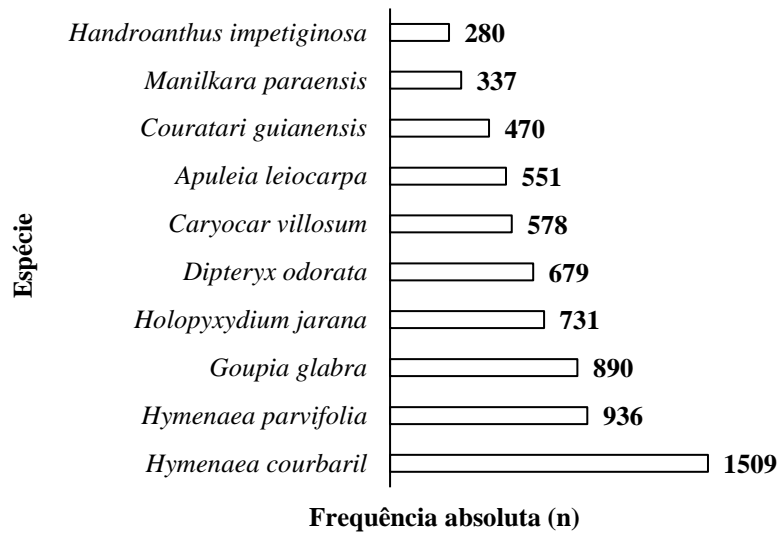
## RESULTADOS

A população apresentou o total de 6.961 árvores para as 10 espécies avaliadas, com altura comercial média de 16,19 metros, variância de 16,69 m<sup>2</sup>, com mínimo de 5 e máximo de 29 metros. Já o diâmetro médio foi de 66,38 centímetros, com variância de 428,39 cm<sup>2</sup>, mínimo de 35,65 e máximo de 165,52 centímetros, indicando elevada variabilidade de diâmetro na área. Ambas as características dendrométricas apresentaram assimetria positiva, com curtose negativa para altura, indicando uma tendência à uma distribuição Platicúrtica, e curtose positiva para o diâmetro, tendendo à distribuição Leptocúrtica.

A espécie *Hymenaea parvifolia* foi a mais abundante encontrada na área, com o total de 1.509 árvores distribuídas ao longo da UPA (Figura 13). A espécie *Handroanthus impetiginosus*, considerada pela Cooperativa como a espécie de maior valor econômico da área, apresentou as maiores dimensões, tanto em altura quanto em diâmetro. Os menores diâmetros identificados foram para a espécie *Holopyxydium jarana*, com valores variando de 35,65 a 102,18 cm. Os menores registros de alturas foram pertencentes as espécies *Apuleia*

*leiocarpa*, *Goupia glabra* e *Manilkara paraensis*, com alturas comerciais mínimas de 5 metros.

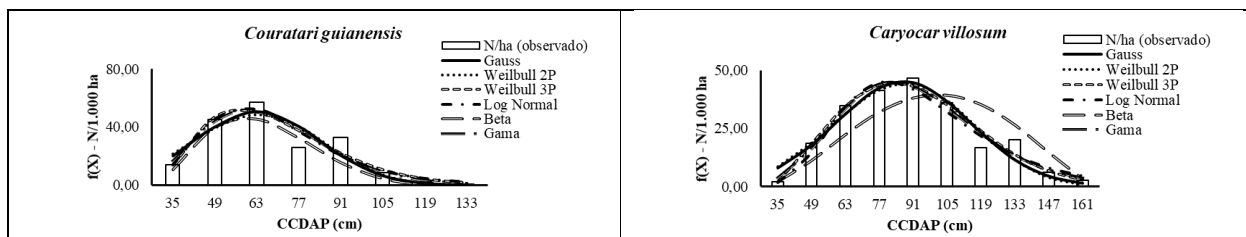
**Figura 13.** Frequência absoluta para as principais espécies comerciais presentes na UPA 02 da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, Pará, Brasil.

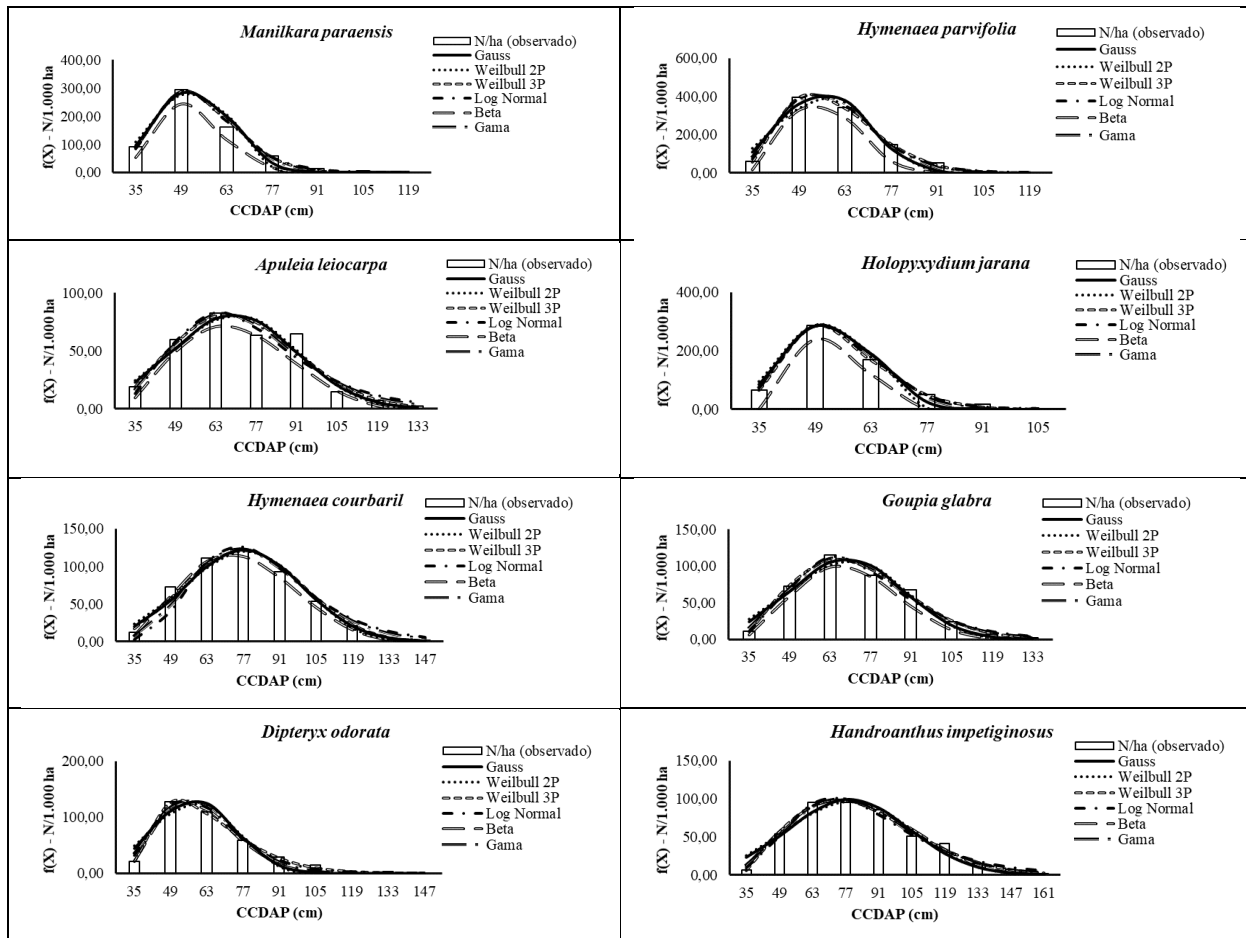


Fonte: Autor (2022).

As distribuições diamétricas foram estimadas para cada uma das dez espécies a partir das funções probabilísticas de Gauss, Weibull 2P, Weibull 3P, Log normal, Beta e Gama, avaliando seu desempenho em relação aos valores observados (Figura 14). As estatísticas e coeficientes das funções ajustadas podem ser observadas no Apêndice I.

**Figura 14.** Distribuição diamétrica observada e distribuição estimada com as funções de Gauss, Weibull 2P, Weibull 3P, Log Normal, Beta e Gama para *Couratari guianensis*, *Caryocar villosum*, *Manilkara paraenses*, *Hymenaea parvifolia*, *Apuleia leiocarpa*, *Holopyxydium jarana*, *Hymenaea courbaril*, *Goupia glabra*, *Dipteryx odorata* e *Handroanthus impetiginosus*.





Fonte: Autor (2022).

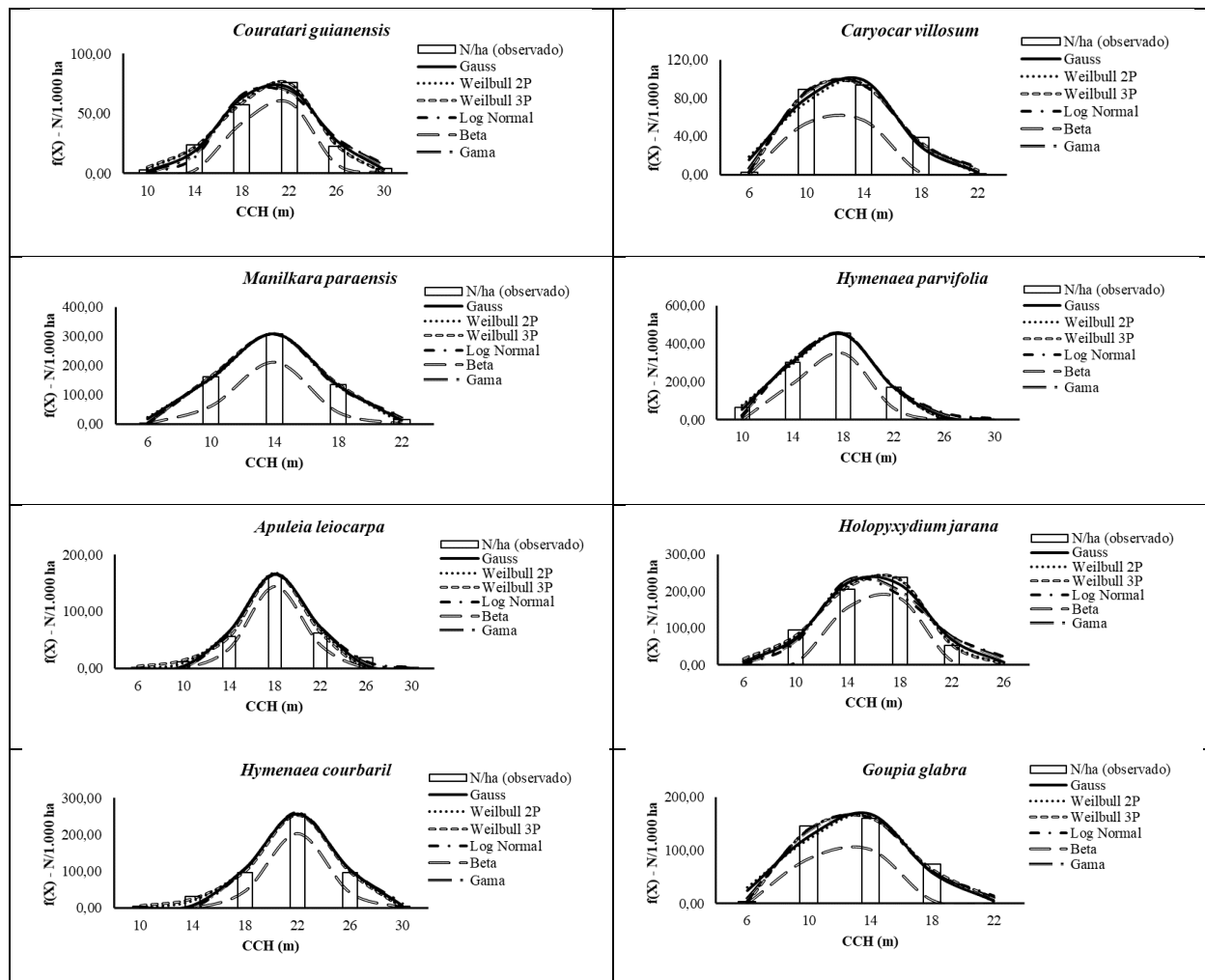
A função Weibull 3P obteve resultados satisfatórios na modelagem da distribuição diamétrica das espécies *Couratari guianensis* ( $D_n = 0,0974 > D_{cal} = 0,0014$ ), *Apuleia leiocarpa* ( $D_{tab} = 0,0752 > D_{cal} = 0,0007$ ), *Hymenaea courbaril* ( $D_n = 0,0603 > D_{cal} = 0,0005$ ) e *Goupia glabra* ( $D_n = 0,0678 > D_{cal} = 0,0022$ ), com ajustes aderentes e menores discrepâncias entre os valores observados e estimados, de acordo com a estatística dos ajustes. A distribuição Gama apresentou melhor aderência às espécies *Hymenaea parvifolia* ( $D_n = 0,0420 > D_{cal} = 0,0006$ ) e *Holopyxydium jarana* ( $D_n = 0,0546 > D_{cal} = 0,0008$ ).

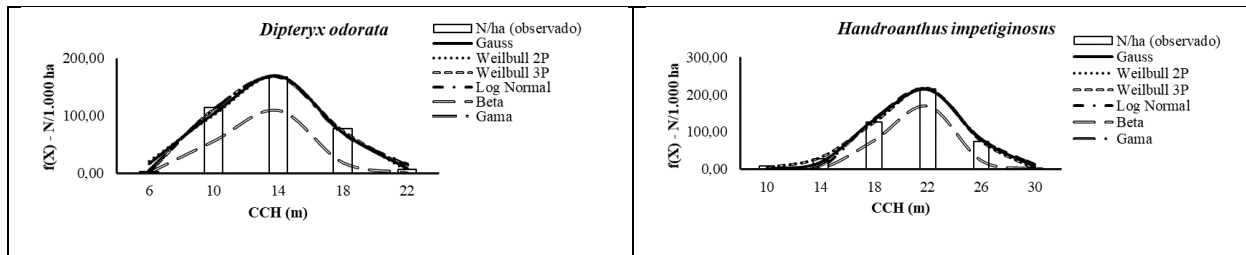
A distribuição Log normal obteve boa aderência para as espécies *Manilkara paraensis* ( $D_n = 0,0533 > D_{cal} = 0,0007$ ) e *Dipteryx odorata* ( $D_n = 0,0694 > D_{cal} = 0,0005$ ), bem como distribuição Beta foi mais adequada para as espécies *Caryocar villosum* ( $D_n = 0,0888 > D_{cal} = 0,0006$ ) e *Handroanthus impetiginosus* ( $D_n = 0,0626 > D_{cal} = 0,0007$ ). Já a distribuição de Gauss não obteve boa representatividade para a distribuição diamétrica das espécies, o que já era esperado, devido principalmente à grande variação nas medidas.

Em relação às classes de altura comercial, os ajustes para cada distribuição podem ser observados na Figura 15. A função de Gauss apresentou melhor aderência às espécies

*Couratari guianensis* (Dn. = 0,0974 > Dcal. = 0,0008), *Apuleia leiocarpa* (Dn. = 0,0752 > Dcal. = 0,0000), *Hymenaea courbaril* (Dn. = 0,0603 > Dcal. = 0,0001), *Dipteryx odorata* (Dn. = 0,0694 > Dcal. = 0,0015) e *Handroanthus impetiginosus* (Dn. = 0,0626 > Dcal. = 0,0002), caracterizando uma tendência da variável altura comercial a uma distribuição normal, com maior concentração de árvores nas classes intermediárias.

**Figura 15.** Distribuição de altura comercial observada e distribuição estimada com as funções de Gauss, Weibull 2P, Weibull 3P, Log Normal, Beta e Gama para *Couratari guianensis*, *Caryocar villosum*, *Manilkara paraensis*, *Hymenaea parvifolia*, *Apuleia leiocarpa*, *Holopyxydium jarana*, *Hymenaea courbaril*, *Goupia glabra*, *Dipteryx odorata* e *Handroanthus impetiginosus*.





Fonte: Autor (2022).

A função de Weibull 2P destacou-se na representação das frequências das espécies *Manilkara paraenses* ( $Dn. = 0,0533 > Dcal. = 0,0004$ ), *Holopyxydium Jarana* ( $Dn. = 0,0546 > Dcal. = 0,0002$ ) e *Goupia glabra* ( $Dn. = 0,0678 > Dcal. = 0,0018$ ) (Apêndice I), com melhores estimativas, bem como a função Gama obteve destaque para a espécie *Caryocar villosum* ( $Dn. = 0,0888 > Dcal. = 0,0018$ ). Para a espécie *Hymenaea parvifolia*, as funções Log normal e Gama proporcionaram melhor representatividade em sua distribuição, com os valores respectivos de ( $Dn. = 0,0420 > Dcal. = 0,0001$ ) e ( $Dn. = 0,0420 > Dcal. = 0,0001$ ).

## DISCUSSÃO

As medidas dendrométricas de altura comercial e diâmetro apresentaram elevada variabilidade, também observadas por Cysneiros et al. (2017), Lanssanova et al. (2018) e Da Silva et al. (2020) em espécies nativas da Amazônia, reforçando essa característica fortemente presente em florestas naturais, especialmente as florestas amazônicas. De acordo com Cysneiros et al. (2017), as florestas nativas, diferente de povoamentos florestais, apresentam grande heterogeneidade em sua formação vegetal devido a variabilidade de idade entre os indivíduos, o que caracteriza essa tipologia florestal como multiânea. Para Lima; Leão (2013), as florestas nativas são marcadas por uma alta diversidade de espécies, amplamente distribuídas devido a variadas condições de luminosidade e outros fatores preponderantes a ausência de uniformidade dentre os indivíduos, o que eleva consideravelmente os valores de variância e coeficiente de variação das variáveis dendrométricas, especialmente o diâmetro.

Conhecer e caracterizar a estrutura diamétrica de uma região é o passo inicial na avaliação de seu potencial econômico, servindo como base ao planejamento e tomadas de decisões no manejo florestal sustentável (SANTOS et al., 2015). De acordo com Cruz et al. (2021), a melhor ferramenta atualmente, para a descrição da estrutura diamétrica de uma

floresta ou espécie, é a utilização de Funções de Densidade Probabilística, onde é possível obter a probabilidade de ocorrência de árvores em determinados intervalos de diâmetro.

Apesar de florestas inequidêneas apresentarem, em geral, um formato exponencial decrescente com o aumento das classes diamétricas, como observado por Lima; Leão (2013), Cysneiros et al. (2017) e Reis et al. (2018), que o destacam como um indicador de áreas sem grandes níveis de perturbações antrópicas, não foi observada essa tendência na distribuição diamétrica das espécies na área estudada, possivelmente pelo nível de inclusão mais elevado adotado no censo.

O teste de K-S é amplamente utilizado na avaliação da aderência de funções de densidade probabilística, apresentando grande vantagem quando comparado a outros testes também aplicáveis, como o teste de qui-quadrado, uma vez que permite a replicação em pequenas e grandes amostras, possibilitando o trabalho com dados agrupados ou isolados (LONGO et al., 2006; MIGUEL et al., 2010).

A função Weibull 3P obteve a melhor aderência às espécies *Couratari guianensis*, *Apuleia leiocarpa*, *Hymenaea courbaril* e *Goupia glabra*. Resultados semelhantes foram observados por Dalla Lana et al. (2013) no estudo em um fragmento de Floresta Ombrófila Densa, onde a flexibilização da função Weibull 3P foi decisiva para a escolha do melhor modelo, bem como por Ciarnoschi et al. (2019) modelando a distribuição diamétrica de três espécies nativas da região Amazônica, obtendo grande representatividade e aderência aos ajustes. Santos et al. (2016) avaliaram a distribuição diamétrica de espécies nativas utilizando as funções de densidade probabilística, verificando melhor aderência aos dados por parte da função Weibull 3P, destacando sua flexibilidade para aplicação em florestas heterogêneas.

De acordo com Santos et al. (2015) e Guilherme (2018), a presença de elevada variação em características como altura e diâmetro influencia diretamente na estimativa dos parâmetros, e em consequência, na aderência de funções de densidade probabilísticas pouco flexíveis, como por exemplo, a função de Gauss. No entanto, avaliar o desempenho de diferentes funções probabilísticas na modelagem de variáveis como altura comercial e diâmetro das espécies, de forma individual e em diferentes biomas, é pertinente ao enriquecimento da literatura acerca do assunto, principalmente no que diz respeito a espécies amazônicas, cuja carência de informações ainda é evidente.

De acordo com Scolforo (2006), algumas funções probabilísticas como Weibull, Beta e Gama são bastante flexíveis, capazes de assumir diversas formas e graus de assimetria para o ajuste a diferentes tipos de curvas, aplicáveis tanto em povoamentos florestais quanto florestas nativas. Oliveira (2020) também avaliou a modelagem da distribuição diamétrica de

espécies comerciais da Amazônia, dentre elas *Manilkara huberi*, *Handroanthus* spp., *Goupia glabra* e *Dipteryx odorata*, a partir das mesmas funções de densidade probabilísticas, com acréscimo da função SB de Johnson, obtendo resultados satisfatórios em todas elas, com exceção da função normal Gauss, que não obteve aderência a todas as espécies avaliadas.

Em relação as classes de altura comercial, a função de Gauss obteve boa aderência para as espécies *Couratari guianensis*, *Apuleia leiocarpa*, *Hymenaea courbaril*, *Dipteryx odorata* e *Handroanthus impetiginosus*. Callegaro et al. (2012) observaram a mesma tendência para classes de altura em um fragmento de floresta, apresentando a maioria de árvores (61,2%) agrupadas nas classes intermediárias. De acordo com Silva (2003) e Stepka et al. (2011), grande parte das variáveis contínuas comportam-se de acordo com essa distribuição, constituindo uma ferramenta amplamente utilizada na área florestal e em variados campos da estatística.

Apesar da função Beta possuir grande capacidade de flexibilização para diversas formas de variáveis, como destacado por Silva (2003), Silva et al. (2013) e Maraschin Jr et al. (2017), não apresentou aderência significativa a distribuição de nenhuma das espécies, de acordo com o teste de K-S, com subestimativas em todas as classes de altura analisadas, sendo, portanto, não indicada para a modelagem da distribuição de altura comercial de espécies nessa área. Souza et al. (2013) apresentaram resultados satisfatórios em ajustes da distribuição de altura, onde a função Beta apresentou a melhor aderência às distribuições, porém, em povoamentos equiâneos.

Não é comum encontrar na literatura estudos que utilizam funções de densidade probabilística na modelagem de frequências de altura em florestas amazônicas. Machado et al. (2000) destacam a importância da realização de pesquisas que utilizem ajustes de funções de densidade probabilística para modelar a distribuição de frequências por unidade de área em plantios florestais ou florestais nativas, na garantia de maiores níveis de confiabilidade. Além disso, avaliar a qualidade e aderência dos ajustes para a escolha mais adequada na representação de variáveis dendrométricas a nível de espécie é de grande importância na eficiência do manejo florestal sustentável.

## CONCLUSÕES

O diâmetro apresentou alta variabilidade, ocasionando em grandes amplitudes diamétricas que dificultam a aderência de funções de densidade probabilística pouco flexíveis, além de um formato de distribuição diamétrica distinto do habitual encontrado em florestas

com as mesmas características, devido principalmente ao nível de inclusão adotado no inventário.

A variável altura comercial apresentou baixa variação entre as espécies, ocasionando tendência a distribuição normal, com maior quantidade de árvores nas classes intermediárias. A função Weibull 3P obteve as melhores modelagens na distribuição diamétrica da maioria das espécies. Já para as classes de altura, a função normal obteve melhor representatividade, sendo, portanto, a mais indicada para modelagem da distribuição de altura na área.

A modelagem das variáveis altura comercial e diâmetro de espécies amazônicas, mediante a utilização de funções de densidade de probabilidade, consiste em uma importante contribuição para a literatura que envolve o bioma, servindo de subsídio para o desenvolvimento de futuros estudos e atividades de exploração e monitoramento.



## 5 CAPÍTULO III: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E ESTRUTURA HORIZONTAL EM UMA ÁREA DE MANEJO FLORESTAL NA AMAZÔNIA, BRASIL

### RESUMO

A grande demanda por produtos florestais madeireiros tem servido de impulso para o desenvolvimento de pesquisas em busca do aperfeiçoamento das práticas para a realização do manejo florestal sustentável, mediante o conhecimento das características gerais das espécies que compõem a área de interesse, como sua densidade populacional e padrão espacial. O objetivo desse estudo foi representar a estrutura horizontal de uma área de manejo florestal na Amazônia e determinar o padrão espacial das dez espécies de maior valor comercial da região. O estudo foi realizado na Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, localizada entre os municípios de Santarém e Aveiro, no estado do Pará. A coleta de dados foi realizada por meio de um censo, onde foram inseridas todas as árvores comerciais e não comerciais com diâmetro a 1,30 m a partir do nível do solo igual ou superior a 35 cm ( $dap \geq 35$  cm), obtendo suas respectivas variáveis dendrométricas, além da localização de cada indivíduo em coordenadas cartesianas. A partir da análise de estrutura horizontal, foi avaliada a população total e as dez espécies de maior valor comercial, separadamente, subdividindo os indivíduos em duas classes diamétricas, gerando um mapa de densidade Kernel para cada classe, dentre elas: a) remanescente (30,0 cm a 49,9 cm) e b) comercial (acima de 50,0 cm). O padrão espacial e as diferentes distâncias foram determinados para as principais espécies comerciais a partir da função K de Ripley. A área apresentou diversidade moderada de espécies, com predominância das famílias botânicas Fabaceae, Burseraceae, Sapotaceae e Vochysiaceae. A espécie *Hymenaea parvifolia* obteve os melhores parâmetros florísticos, obtendo o maior valor de importância dentre as demais avaliadas. Houve maior incidência de indivíduos pertencentes a classe comercial, o que indica zonas preferenciais para o desenvolvimento das atividades exploratórias. O padrão espacial para a maioria das espécies foi do tipo agregado nas menores distâncias. Com o aumento desta, as espécies passaram a assumir um padrão espacial aleatório, com exceção das espécies *Holopyxidium jarana* e *Manilkara paraenses*, que apresentaram o padrão do tipo regular.

**Palavras-chave:** Fitossociologia. Manejo Florestal Sustentável. Densidade populacional.

## ABSTRACT

The great demand for wood forest products has served as an impulse for the development of research in search of the improvement of practices for the realization of sustainable forest management, through knowledge of the general characteristics of the species that make up the area of interest, such as their population density and spatial pattern. The objective of this study was to represent the horizontal structure of a forest management area in the Amazon and to determine the spatial pattern of the ten species with the highest commercial value in the region. The study was carried out in the Tapajós-Arapiuns Extractive Reserve, located between the municipalities of Santarém and Aveiro, in the state of Pará. Data collection was carried out through a census, which included all commercial and non-commercial trees with diameter a 1.30 m from the ground equal to or greater than 35 cm ( $DBH \geq 35$  cm), obtaining their respective dendrometric variables, in addition to the location of everyone in Cartesian coordinates. From the horizontal structure analysis, the total population and the ten species with the highest commercial value in the area were evaluated, separately, subdividing the individuals into two diametric classes, generating a Kernel density map for each class, including: a) remnant (30.0 cm to 49.9 cm) and b) commercial (above 50.0 cm). The spatial pattern at different distances was determined for the main commercial species using Ripley's K function. The area showed moderate species diversity, with a predominance of the botanical families Fabaceae, Burseraceae, Sapotaceae and Vochysiaceae. The species *Hymenaea parvifolia* obtained the best floristic parameters, obtaining the highest importance value among the others evaluated. There was a higher incidence of individuals belonging to the commercial class, which indicates preferential zones for the development of exploratory activities. The spatial pattern for most species was of the aggregated type at shortest distances. With the increase of this, the species started to assume a random spatial pattern, except for the species *Holopyxydium jarana* and *Manilkara paraenses*, which presented the regular type of pattern.

**Keywords:** Phytosociology. Sustainable Forest Management. Population density.

## INTRODUÇÃO

A Amazônia brasileira detém mais da metade de toda a área florestal amazônica (que compreende nove países), em sua maioria com grande potencial madeireiro, o que tornou essa área uma das maiores regiões produtoras de madeira tropical no mundo (SOBRAL et al.,

2002; VERÍSSIMO, 2012). O grande aumento na demanda por produtos florestais madeireiros tem exigido cada vez mais o desenvolvimento de práticas de manejo para a eficiência e aumento da produção, através do conhecimento das características gerais das espécies de interesse, além do local onde estão inseridas (MARQUES, 2006).

O inventário florestal é a primeira atividade realizada para a detecção de padrões organizacionais e mudanças oriundas de perturbações naturais ou antrópicas, através da caracterização geral das espécies vegetais presentes na área, especialmente as de interesse comercial (ARAÚJO, 2006; DIAS JÚNIOR et al., 2020). Na Amazônia, todas as áreas destinadas a exploração mediante plano de manejo são submetidas a um inventário a 100% de intensidade, que consiste em um censo das árvores adultas a partir de um diâmetro a altura do peito (dap) pré-determinado. Estas árvores são mapeadas e classificadas quanto ao estado atual, destinação e uso, permitindo apenas a retirada das com o dap mínimo de 50 cm, assim como previsto na Instrução Normativa do Ministério do Meio Ambiente nº 05/2006, que dispõe sobre procedimentos técnicos para a elaboração e execução de Planos de Manejo Florestal Sustentáveis (MMA, 2006; ARAÚJO, 2006).

O sucesso na realização do manejo florestal depende fortemente do conhecimento detalhado das características de cada espécie, mediante o desenvolvimento de estudos ecológicos que forneçam subsídios para a realização das atividades exploratórias de forma sustentável, não devendo essas, portanto, influenciar negativamente na distribuição e densidade de outras espécies pertencentes a mesma comunidade (VIEIRA et al., 2021; ABREU et al., 2014). Para auxiliar o processamento de dados, bem como agilizar as análises vegetacionais, existem ferramentas práticas como o SIG (Sistema de Informação Geográfica), já consolidado na Amazônia a partir de diversas utilizações como no combate ao desmatamento ilegal, estimativas de biomassa, análises morfométricas e identificação de espécies nativas (FREITAS et al., 2005; DOMINGUES; BERMAN, 2012; FIGUEIREDO et al., 2016; MORAS FILHO et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2021).

A distribuição espacial está entre as principais análises realizadas em estudos ecológicos que buscam a compreensão do crescimento, densidade populacional e produção volumétrica de uma área (MORAES et al., 2017; VIEIRA et al., 2017). A compreensão de padrões espaciais possui ampla utilização em variados campos da ciência, objetivando ampliar o entendimento de fenômenos através da percepção visual e caracterização de sua distribuição (DRUCK et al., 2004; ANJOS, 1998; PEREIRA et al., 2007). A partir das preocupações atuais com a preservação de recursos naturais, a distribuição espacial surge

como uma poderosa ferramenta no diagnóstico da fauna e flora de unidades de conservação e áreas manejadas (ANJOS, 1998).

Alguns índices de dispersão vêm sendo utilizados em análises espaciais, como índice de Morisita, índice de McGuinness e índice de Payandeh, onde a necessidade do número de árvores por unidade amostral torna-os fortemente influenciados pela dimensão da parcela e intensidade amostral (VIANA, 2013; ZHANG et al., 2013; VIEIRA et al., 2021). Dessa forma, o mais aconselhável é que se utilizem métodos que levem em consideração toda a população, determinando o padrão espacial da área através das distâncias entre os indivíduos (VIEIRA et al., 2017).

A Função  $K(s)$  de Ripley (1977) é considerada por diversos autores como a ferramenta estatística mais adequada para a análise do padrão espacial florestal quando todos os indivíduos estão representados por suas respectivas coordenadas  $(x, y)$  conhecidas, possibilitando a verificação do nível de dependência entre as distribuições espaciais de grupos distintos, além de determinar o padrão espacial a diferentes distâncias (ANJOS, 1998; ANJOS et al., 2004; CAPRETZ, 2004; RODE et al., 2010; CAPRETZ et al., 2012; MACHADO et al., 2012; VIEIRA et al., 2017; VIEIRA et al., 2021).

Além da Função  $K$  de Ripley, a análise de densidade de Kernel vem servindo como uma importante ferramenta para a complementação das análises de distribuição espacial de espécies ou grupo ecológicos distintos, fornecendo subsídios indispensáveis às atividades pré-exploratórias, como o auxílio a abertura de estradas e alocação dos pátios de estocagem, de maneira a minimizar custos e maximizar a produção, além de servir de importante indicador de degradação em áreas de floresta, como desmatamento e focos de incêndios (SOUZA et al., 2013; TAVARES et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2021). Adicionalmente, essa análise pode ser utilizada como base para estudos fitossociológicos, possibilitando a caracterização estrutural das espécies aliada ao desenvolvimento de estratégias para o manejo florestal sustentável (OLIVEIRA et al., 2021).

A partir da importância da realização de estudos ecológicos que busquem a compreensão da distribuição e padrão espacial das espécies que compõem a área a ser manejada, o objetivo desse estudo foi representar a estrutura horizontal de uma área de manejo florestal na Amazônia e determinar o padrão espacial das dez espécies de maior valor comercial da região.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de Estudo

O estudo foi realizado na unidade de produção anual 2 (UPA 2) da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, que fica localizada entre os municípios de Santarém e Aveiro, estado do Pará (02° 20' a 03° 40' S, e 55° 00' a 56° 00' O). As atividades exploratórias são realizadas através da Cooperativa Agroextrativista do Rio Inambú (COOPRUNÂ), que realiza o Manejo Florestal Comunitário na área. De acordo com a classificação Köppen, o clima da região corresponde ao tipo Ami, com temperatura média de 25,5 °C, e precipitação média de 1.820 mm (ALVARES et al., 2013). Já o relevo varia de plano a suavemente ondulado, com solo do tipo Latossolo Amarelo (SILVA et al., 2018). A maior parte da vegetação da área corresponde a tipologia Floresta Ombrófila Densa, com o predomínio de árvores de grande porte, além da grande presença de epífitas e cipós lenhosos (MMA, 2008).

### Base de dados

A mensuração florestal procedeu-se por meio de um inventário florestal 100% (censo), onde foram inseridas todas as árvores comerciais e não comerciais com diâmetro a 1,30 m do solo igual ou superior a 35 cm ( $dap \geq 35$  cm), obtendo seus respectivos dados dendrométricos, além do mapeamento em coordenadas cartesianas. O procedimento de identificação foi realizado por mateiros experientes através da observação das folhas, casca, lenho e exsudações. Para esse estudo, foram selecionadas as dez espécies de maior valor comercial da área, a saber: Ipê-Roxo (*Handroanthus impetiginosus* Mart.), Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), Jutaí-Mirim (*Hymenaea parvifolia* Huber), Cupiúba (*Goupia glabra* Aubl.), Garapeira (*Apuleia leiocarpa* Vogel J.F. Macbr.), Tauari (*Couratari guianensis* Aubl.), Pequiá (*Caryocar villosum* Aubl.), Maparajuba (*Manilkara paraensis* Huber), Jarana (*Holopyxydium jarana* Huber) e Cumarú (*Dipteryx odorata* Aubl. Willd.).

### Análise de dados

#### Estrutura horizontal

Os parâmetros fitossociológicos da estrutura horizontal foram estimados a partir das variáveis área basal ( $m^2$ ), frequência relativa, densidade relativa, dominância relativa, valor de cobertura e valor de importância, determinando assim as espécies bem com as famílias botânicas de maior e menor importância dentro da área, além da análise de diversidade mediante os índices de Shannon-Wiener ( $H'$ ) (10) e Simpson ( $D$ ) (11).

$$H' = -\sum_{i=1}^S p_i \ln p_i \quad (10)$$

Em que:  $S$  = número de espécies;  $p_i$  = abundância relativa de cada espécie, calculada pela divisão entre o número total de indivíduos de uma determinada espécie e o número total de indivíduos existentes na comunidade.

$$D = \frac{\sum n(n-1)}{N(N-1)} \quad (11)$$

Em que:  $n$  = número total de indivíduos de uma espécie;  $N$  = número total de indivíduos da comunidade.

### Densidade de Kernel

A densidade das espécies foi representada por meio do mapa de calor baseado em suas respectivas coordenadas geográficas, com o auxílio do estimador de densidade Kernel contido no software QGIS versão 3.20.2, gerando um arquivo *raster* a partir do estimador de intensidade de Kernel (12) para a área total da UPA. Posteriormente, o arquivo criado foi processado mediante o uso da banda falsa-cor, formando as classes Muito Baixa (azul), Baixa (verde), Média (amarela), Alta (laranja) e Muito Alta (vermelho), possibilitando a visualização das áreas de concentração das espécies de interesse. O raio adotado para todas as análises foi padronizado em 100 metros.

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-X_i}{h}\right) \quad (12)$$

Em que:  $K$  = função de Kernel;  $h$  = raio de busca;  $x$  = posição do centro de cada célula do *raster* de saída;  $X_i$  = posição do ponto  $i$  proveniente do centroide de cada polígono; e  $n$  = número total de ocorrências da espécie.

A partir do inventário a 100%, avaliou-se a população total da área, além das dez espécies de maior valor comercial da área, separadamente, subdividindo os indivíduos em duas classes diamétricas, onde foi gerado um mapa de densidade Kernel para cada classe, dentre elas: a) remanescente (35,0 cm a 49,9 cm) e b) comercial (acima de 50,0 cm). As classes foram arbitradas levando em consideração o nível de inclusão do censo realizado na unidade de manejo.

### Função K de Ripley

A função  $K(s)$  de Ripley foi obtida mediante a contagem do número total de vizinhos presentes em um círculo com raio ( $s$ ) de 5 m centrado em cada árvore e correspondente a uma distância mínima entre as árvores. Para a detecção do padrão espacial das espécies de interesse a diferentes escalas de distância, o raio ( $s$ ) foi variado a uma distância máxima de

3.500 m, correspondente a metade da distância do maior eixo da UPA (VIEIRA et al., 2017). Para eliminar o viés ocasionado nos casos em que as árvores se localizavam próximas aos limites da UPA, aplicou-se o estimador da Função  $K(s)$  (13) com correção isotrópica de bordadura, de acordo com Ripley (1977), uma vez que, mesmo essas possuindo vizinhos próximos, esses poderiam não ser computados, ocasionando em um número de vizinhos para árvores presentes nas regiões de borda mais baixo em relação as demais regiões (VIEIRA et al., 2021).

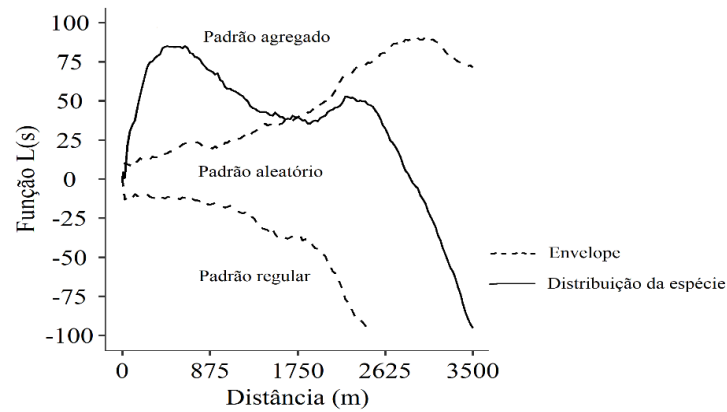
$$K(s) = \frac{1}{\hat{\lambda}_n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{1}{W_i} (X_i, X_j) I(\|X_i - X_j\| < S), \text{ para } i \neq j \text{ e } S > 0 \quad (13)$$

Em que:  $n$  = número de árvores na área de estudo;  $X_i$  e  $X_j$  = coordenadas dos pontos do mapa;  $\|X_i - X_j\|$  = distância euclidiana entre a localização  $X_i$  e  $X_j$ ;  $S$  = vetor arbitrário de distância;  $W_i I(X_i, X_j)$  = função de correção para efeito de borda, que representa a proporção da circunferência com centro em  $X_i$  e com raio  $\|X_i - X_j\|$  que está fora da região de estudo;  $\hat{\lambda} = n/|A|$  = número de árvores dividido pela área da região de estudos, sendo um estimador não viciado da intensidade do processo;  $I(U)$  = função indicadora que assume valor 1 sempre que a condição  $U$  for verdadeira e 0 quando for falsa.

Para a função  $K(s)$  de Ripley na forma univariada, a hipótese nula é dada pela Completa Aleatoriedade Espacial (CAE) (BATISTA, 1994), testada nesse estudo através da construção de envelopes de confiança de 99% de probabilidade por meio de 1.000 simulações Monte Carlo, utilizando-se a CAE. Para a facilitação da análise e visualização dos desvios em relação a hipótese nula, os valores da função  $K(s)$  foram transformados em  $L(s)$  (14) de acordo com a formulação a seguir, e distribuídos em um gráfico, onde os eixos das abscissas e ordenadas representam, respectivamente, as distâncias “ $s$ ” acumuladas e os valores transformados (RIPLEY, 1979).

$$L(s) = \sqrt{\frac{K(s)}{\pi}} - s \quad (14)$$

Para interpretação dos resultados, valores observados de  $L(s)$  localizados dentro dos envelopes construídos indicam padrão espacial do tipo aleatório, valores localizados fora dos envelopes ocasionam na rejeição da hipótese de nulidade, bem como valores positivos indicam padrão agregado e valores negativos padrão regular (Figura 16) (RIPLEY, 1979; CAPRETZ et al., 2012; VIEIRA et al., 2021).

**Figura 16.** Representação gráfica da distribuição K de ripley.

Fonte: Autor (2022).

## RESULTADOS

A partir do censo realizado na área de manejo, foram observadas o total de 12.656 árvores, subdivididas em 87 espécies, 65 gêneros e 23 famílias (Tabela 19), com destaque para as famílias Fabaceae (3.576 árvores), Lauraceae (1.550 árvores), Sapotaceae (1.353 árvores) e Lecythidaceae (1.227 árvores).

**Tabela 19.** Resultados fitossociológicos para a área de manejo florestal avaliada na Reserva extrativista Tapajós-Arapicuns, Pará, Brasil.

Espécie	Família	N	G	FR	DR	DoR	VC	VI	d máx.	d méd.	d mín.
<i>Anacardium spruceanum</i> Benth. ex Engl.	Anacardiaceae	150	93,3	1,1	1,1	1,42	1,3	1,2	133,1	74,2	40,1
<i>Aniba canelilla</i> (Kunth) Mez	Lauraceae	63	18,4	0,5	0,5	0,28	0,4	0,4	85,9	52,5	39,8
<i>Aniba parviflora</i> (Meisn.) Mez	Lauraceae	2	0,7	0,0	0,0	0,01	0,0	0,0	78,3	64,6	50,9
<i>Apeiba echinata</i> Gaertn.	Malvaceae	51	24,2	0,4	0,4	0,37	0,4	0,4	98,0	67,0	41,4
<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F. Macbr.	Fabaceae	200	203,4	2,7	2,7	3,10	2,9	2,8	133,7	71,5	39,8
<i>Aspidosperma excelsum</i> Benth.	Apocynaceae	120	108,8	1,1	1,1	1,66	1,4	1,3	159,2	81,3	39,8
<i>Astronium lecointei</i> Ducke	Anacardiaceae	153	108,3	1,8	1,8	1,65	1,7	1,8	150,6	62,5	39,8
<i>Bagassa guianensis</i> Aubl.	Moraceae	11	23,2	0,2	0,2	0,35	0,3	0,3	127,3	87,2	39,8
<i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl.	Lecythidaceae	63	217,1	1,7	1,7	3,31	2,5	2,2	181,4	91,2	39,8
<i>Bowdichia nitida</i> Spruce ex Benth.	Fabaceae	118	33,7	0,8	0,8	0,51	0,6	0,7	92,3	54,9	37,2
<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	Fabaceae	32	12,6	0,3	0,3	0,19	0,3	0,3	79,6	53,2	39,8

Continua...



...Continuação

<i>Brosimum acutifolium</i> Huber	Moraceae	61	31,9	0,5	0,5	0,49	0,5	0,5	114,6	69,9	44,6
<i>Brosimum lactescens</i> (S. Moore) C.C. Berg	Moraceae	122	70,1	0,7	0,7	1,07	0,9	0,8	130,5	80,4	40,1
<i>Brosimum parinarioides</i> Ducke	Moraceae	189	107,1	1,1	1,1	1,63	1,4	1,3	148,0	79,8	37,2
<i>Buchenavia grandis</i> Ducke	Combretaceae	213	171,8	1,5	1,5	2,62	2,1	1,9	205,3	84,8	39,8
<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	Meliaceae	2	0,5	0,0	0,0	0,01	0,0	0,0	54,1	47,9	42,0
<i>Cariniana micrantha</i> Ducke	Lecythidaceae	43	18,1	0,2	0,2	0,28	0,3	0,3	141,6	68,8	41,1
<i>Caryocar glabrum</i> (Aubl.) Pers.	Caryocaraceae	155	61,6	0,9	0,9	0,94	0,9	0,9	135,6	66,5	39,8
<i>Caryocar villosum</i> (Aubl.) Pers.	Caryocaraceae	290	233,6	1,9	1,9	3,56	2,7	2,5	165,5	90,2	41,4
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	Meliaceae	28	0,3	0,0	0,0	0,01	0,0	0,0	64,9	64,9	64,9
<i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae	3	19,6	0,3	0,3	0,30	0,3	0,3	99,3	63,6	41,4
<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke	Fabaceae	1	3,0	0,0	0,0	0,05	0,0	0,0	158,5	86,0	43,3
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	Malvaceae	3	6,0	0,0	0,0	0,09	0,1	0,1	159,2	109,7	80,9
<i>Chamaecrista bahiae</i> (H.S. Irwin) H.S. Irwin & Barneby	Fabaceae	209	0,9	0,0	0,0	0,01	0,0	0,0	70,0	54,0	43,6
<i>Chrysophyllum lucentifolium</i> Cronquist	Sapotaceae	148	203,0	5,4	5,4	3,09	4,2	4,6	89,1	51,2	35,7
<i>Copaifera duckei</i> Dwyer	Fabaceae	170	62,2	1,1	1,1	0,95	1,0	1,0	127,3	62,0	36,3
<i>Cordia goeldiana</i> Huber	Cordiaceae	3	7,3	0,2	0,2	0,11	0,1	0,1	94,9	57,0	39,8
<i>Couratari guianensis</i> Aubl.	Lecythidaceae	20	109,9	1,6	1,6	1,67	1,6	1,6	127,3	67,9	39,8
<i>Dimorphandra wilsonii</i> Rizzini	Fabaceae	408	2,4	0,0	0,0	0,04	0,0	0,0	116,2	66,4	43,3
<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	Fabaceae	182	26,8	0,1	0,1	0,41	0,3	0,2	241,3	115,7	45,5
<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Forsyth f.	Fabaceae	166	190,3	3,1	3,1	2,90	3,0	3,0	142,9	63,7	39,2
<i>Endopleura uchi</i> (Huber) Cuatrec.	Humiriaceae	19	61,9	1,2	1,2	0,94	1,1	1,1	98,7	59,6	39,8
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	Fabaceae	4	99,6	1,3	1,3	1,52	1,4	1,4	174,4	71,5	34,7
<i>Enterolobium schomburgkii</i> (Benth.) Benth.	Fabaceae	174	9,3	0,1	0,1	0,14	0,1	0,1	89,1	66,3	39,8
<i>Euplassa pinnata</i> (Lam.) I.M. Johnst.	Proteaceae	541	1,7	0,0	0,0	0,03	0,0	0,0	90,4	56,4	39,8
<i>Geissospermum sericeum</i> Miers	Apocynaceae	41	49,0	1,2	1,2	0,75	1,0	1,0	105,4	54,0	39,8
<i>Goupia glabra</i> Aubl.	Goupiaceae	581	248,8	3,3	3,3	3,79	3,5	3,4	139,1	71,6	39,8
<i>Hevea brasiliensis</i> (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg.	Euphorbiaceae	467	9,8	0,2	0,2	0,15	0,2	0,2	89,1	54,1	40,1
<i>Holopyxidium jarana</i> Huber ex Ducke	Lecythidaceae	1098	221,0	5,0	5,0	3,37	4,2	4,5	102,2	54,9	35,7
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Fabaceae	60	363,5	4,1	4,1	5,54	4,8	4,6	152,8	76,9	39,8
<i>Hymenaea parvifolia</i> Huber	Fabaceae	86	444,5	8,5	8,5	6,77	7,6	7,9	117,8	59,8	39,8

Continua...

...Continuação

<i>Hymenolobium excelsum</i> Ducke	Fabaceae	48	22,0	0,3	0,3	0,33	0,3	0,3	99,3	66,1	42,0
<i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke	Fabaceae	94	54,1	0,6	0,6	0,82	0,7	0,7	291,3	72,0	39,8
<i>Laetia procera</i> (Poepp.) Eichler	Salicaceae	4	25,4	0,6	0,6	0,39	0,5	0,5	82,8	55,8	39,5
<i>Lecythis pisonis</i> S.A. Mori	Lecythidaceae	3	105,5	0,8	0,8	1,61	1,2	1,1	206,9	91,0	40,7
<i>Licaria brasiliensis</i> (Nees) Kosterm.	Lauraceae	147	1,5	0,0	0,0	0,02	0,0	0,0	95,5	65,0	41,4
<i>Licaria cannella</i> (Meisn.) Kosterm.	Lauraceae	934	0,7	0,0	0,0	0,01	0,0	0,0	66,8	55,2	47,7
<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) A. Chev.	Sapotaceae	9	67,1	0,9	0,9	1,02	1,0	1,0	133,7	68,3	40,4
<i>Manilkara paraensis</i> (Huber) Standl.	Sapotaceae	522	231,6	5,3	5,3	3,53	4,4	4,7	114,6	54,7	39,5
<i>Marmaroxylon racemosum</i> (Ducke) Killip ex Record	Fabaceae	27	2,2	0,1	0,1	0,03	0,1	0,1	63,7	47,9	40,4
<i>Mezilaurus itauba</i> (Meisn.) Taub. ex Mez	Lauraceae	351	196,0	4,1	4,1	2,99	3,5	3,7	127,3	56,6	39,8
<i>Minquartia guianensis</i> Aubl.	Olacaceae	19	10,3	0,2	0,2	0,16	0,2	0,2	95,5	58,9	40,4
<i>Ocotea baturitensis</i> Vattimo- Gil	Lauraceae	15	124,6	3,2	3,2	1,90	2,5	2,7	111,4	52,1	39,8
<i>Ocotea megaphylla</i> (Meisn.) Mez	Lauraceae	19	11,3	0,3	0,3	0,17	0,2	0,2	82,8	52,7	40,1
<i>Ocotea rubra</i> Mez	Lauraceae	19	3,6	0,1	0,1	0,06	0,1	0,1	84,0	54,6	40,1
<i>Ormosia flava</i> (Ducke) Rudd	Fabaceae	26	4,2	0,1	0,1	0,06	0,1	0,1	64,6	50,2	39,8
<i>Ormosia paraensis</i> Ducke	Fabaceae	170	6,4	0,1	0,1	0,10	0,1	0,1	102,5	57,5	41,4
<i>Parkia multijuga</i> Benth.	Fabaceae	1	9,2	0,2	0,2	0,14	0,2	0,2	106,3	61,5	39,8
<i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth. ex Walp.	Fabaceae	119	93,5	1,1	1,1	1,42	1,3	1,2	135,3	74,6	39,8
<i>Peltogyne maranhensis</i> Huber ex Ducke	Fabaceae	2	0,8	0,0	0,0	0,01	0,0	0,0	100,9	100,9	100,9
<i>Platymiscium trinitatis</i> Benth.	Fabaceae	13	42,5	1,1	1,1	0,65	0,9	0,9	108,5	52,0	39,8
<i>Pradosia huberi</i> (Ducke) Ducke	Sapotaceae	673	1,6	0,0	0,0	0,02	0,0	0,0	100,6	81,6	70,7
<i>Protium paniculatum</i> Engl.	Burseraceae	277	1,0	0,0	0,0	0,01	0,0	0,0	95,5	75,4	55,4
<i>Protium puncticulatum</i> J.F. Macbr.	Burseraceae	28	3,0	0,1	0,1	0,05	0,1	0,1	100,3	50,5	43,0
<i>Protium robustum</i> (Swart) D.M. Porter	Burseraceae	136	0,2	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	54,1	54,1	54,1
<i>Pseudopiptadenia</i> <i>psilostachya</i> (DC.) G. P. Lewis & M. P. Lima	Fabaceae	215	415,2	5,7	5,7	6,33	6,0	5,9	161,1	69,3	39,8
<i>Qualea dinizii</i> Ducke	Vochysiaceae	193	129,3	1,7	1,7	1,97	1,9	1,8	121,0	70,7	40,1
<i>Ruizterania albiflora</i> (Warm.) Marc.-Berti	Vochysiaceae	62	16,7	0,2	0,2	0,25	0,2	0,2	167,1	76,3	43,9
<i>Schizolobium amazonicum</i> Huber ex Ducke	Fabaceae	86	69,8	1,4	1,4	1,06	1,2	1,3	116,5	59,0	39,8
<i>Sclerolobium chrysophyllum</i> Poepp.	Fabaceae	71	78,0	1,5	1,5	1,19	1,4	1,4	161,1	58,9	39,8

Continua...

...Continuação

<i>Sclerolobium melinonii</i> Harms	Fabaceae	80	66,2	1,2	1,2	1,01	1,1	1,2	116,2	60,6	39,8
<i>Sclerolobium paraense</i> Huber	Fabaceae	100	42,1	0,6	0,6	0,64	0,6	0,6	155,3	66,2	40,1
<i>Simarouba amara</i> Aubl.	Simaroubaceae	55	35,9	0,7	0,7	0,55	0,6	0,7	101,9	58,3	40,1
<i>Stryphnodendron pulcherrimum</i> (Willd.) Hochr.	Fabaceae	400	49,3	0,9	0,9	0,75	0,8	0,8	109,8	62,2	39,8
<i>Swartzia arborescens</i> (Aubl.) Pittier	Fabaceae	278	26,0	0,7	0,7	0,40	0,5	0,6	101,9	52,2	39,8
<i>Symphonia globulifera</i> L. f.	Clusiaceae	220	37,7	0,6	0,6	0,57	0,6	0,6	112,4	67,4	39,8
<i>Syzygiopsis oppositifolia</i> Ducke	Sapotaceae	1	15,1	0,3	0,3	0,23	0,3	0,3	89,1	55,7	39,8
<i>Tabebuia impetiginosa</i> (Mart. ex DC.) Standl.	Bignoniaceae	68	396,4	3,8	3,8	6,04	4,9	4,6	165,5	82,6	39,8
<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl) G. Nicholson	Bignoniaceae	242	100,6	2,1	2,1	1,53	1,8	1,9	152,8	56,3	39,8
<i>Terminalia amazonia</i> (J.F. Gmel.) Exell	Combretaceae	83	111,0	1,5	1,5	1,69	1,6	1,6	308,8	68,0	39,8
<i>Tetragastris altissima</i> (Aubl.) Swart	Burseraceae	2	9,4	0,2	0,2	0,14	0,2	0,2	89,1	59,1	39,8
<i>Trattinnickia lawrencei</i> Daly	Burseraceae	20	50,9	0,6	0,6	0,78	0,7	0,6	133,7	76,2	42,0
<i>Trattinnickia rhoifolia</i> Willd.	Burseraceae	240	152,1	1,7	1,7	2,32	2,0	1,9	155,0	76,1	39,8
<i>Vochysia maxima</i> Ducke	Vochysiaceae	106	57,7	0,6	0,6	0,88	0,7	0,7	165,5	78,0	41,7
<i>Vochysia vismiifolia</i> Spruce ex Warm.	Vochysiaceae	2	0,8	0,0	0,0	0,01	0,0	0,0	70,7	70,3	70,0
<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.	Fabaceae	25	5,5	0,1	0,1	0,08	0,1	0,1	68,8	52,1	40,1
<i>Zollernia paraensis</i> Huber	Fabaceae	1	0,2	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	44,6	44,6	44,6
<b>Total</b>		<b>12.656</b>	<b>6.563,2</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>121,3</b>	<b>66,3</b>	<b>42,9</b>

Fonte: Autor (2022), em que: N = número de árvores observadas na UPA (1500 ha); DoA = área basal (m<sup>2</sup>) observada na UPA (1500 ha); FR = frequência relativa (%); DR = densidade relativa (%); DoR = dominância relativa (%); VC = valor de cobertura (%); VI = valor de importância; d = diâmetro a 1,30 m do solo (cm); máx., méd., mín., = mínimo, máximo e médio, respectivamente.

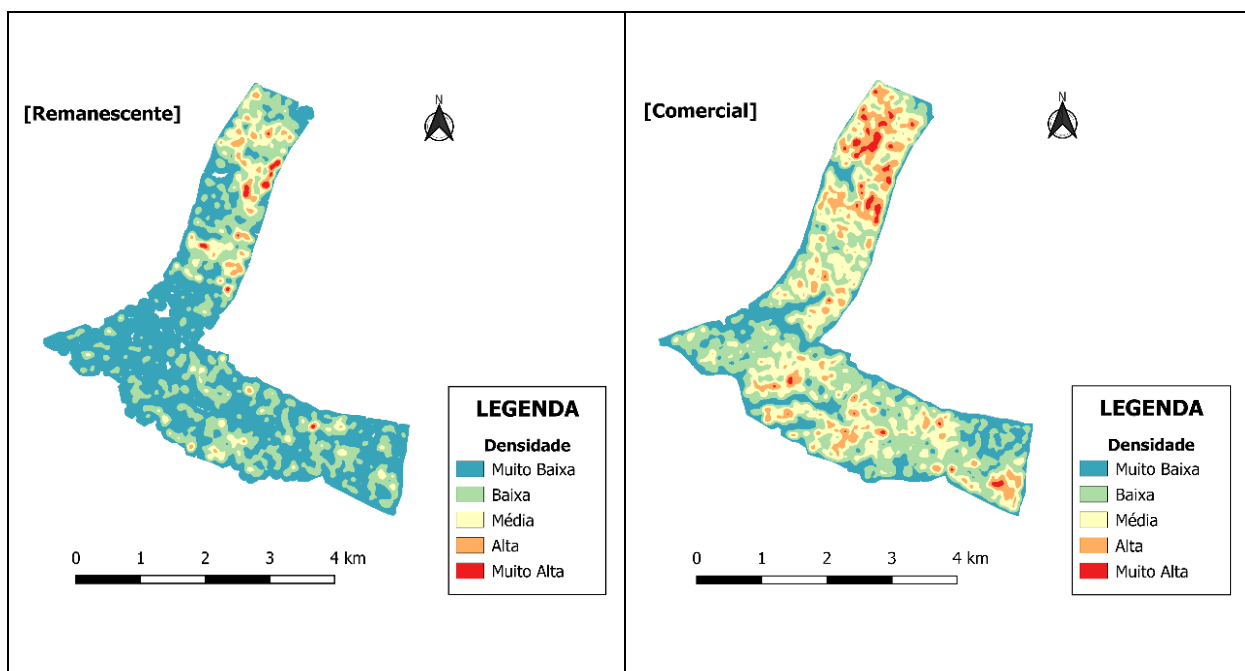
As espécies mais frequentes dentro da área de manejo foram *Hymenaea parvifolia* (8,5%), *Pseudopiptadenia psilostachya* (5,7%), *Chrysophyllum lucentifolium* (5,4%) e *Manilkara paraenses* (5,3%). A espécies *Protium robustum*, *Cedrela fissilis*, *Zollernia paraenses* e *Peltogyne maranhensis* destacaram-se por serem as menos frequentes na área, e consequentemente as mais raras, com apenas um indivíduo para cada, o que acarretou piores estatísticas florísticas como densidade, dominância, valor de cobertura e importância.

A espécie *Hymenaea parvifolia* apresentou os maiores valores de área basal, frequência, densidade, dominância, além do maior valor de cobertura (7,6%) e maior valor de importância (7,9%), o que proporcionou superioridade em relação as demais espécies da área, seguida de *Pseudopiptadenia psilostachya*, *Chrysophyllum lucentifolium* e *Manilkara paraenses*. A diversidade da área foi determinada mediante a utilização dos índices de

diversidade de Shannon-Wiener ( $H'$ ) e Simpson ( $D$ ), obtendo-se os valores respectivos de  $H' = 3,79$  e  $D = 0,97$  para as 87 espécies ao nível de inclusão de 35,0 cm de diâmetro.

A partir da elaboração do mapa de calor para toda a população presente no censo (Figura 17), subdivididas nas classes remanescente e comercial, observa-se que grande parte da área apresenta densidade muito baixa ou baixa de árvores para a classe remanescente ( $N = 3.132$ ), com a presença de pequenas regiões onde a densidade se mostrou mais elevada. Já para a classe comercial ( $N = 9.524$ ), observa-se uma melhor distribuição das árvores de maior porte por toda a área de interesse, demonstrando valores mais elevados de densidade, variando de média, alta a muito alta.

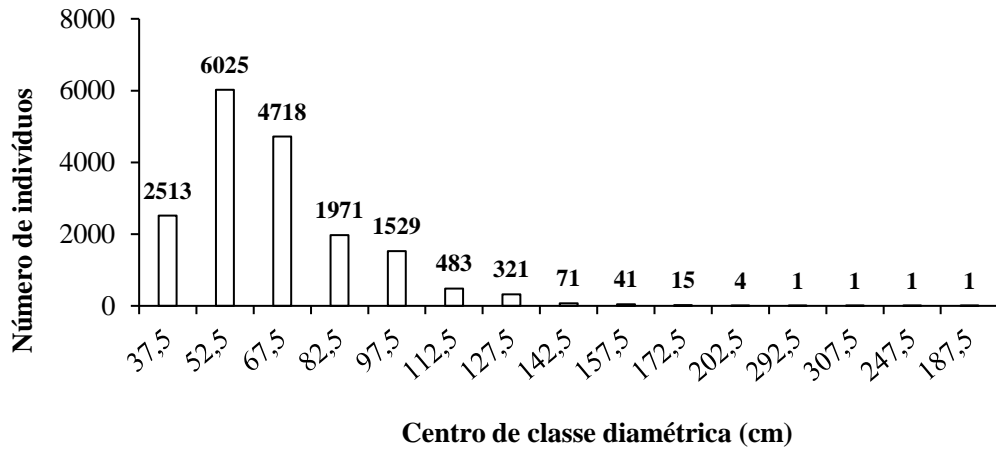
**Figura 17.** Densidade de Kernel para a população total da área de manejo florestal avaliada na Reserva extrativista Tapajós-Arapiuns, Pará, Brasil, onde: Remanescente ( $30,0 \text{ cm} \leq \text{dap} \leq 49,9 \text{ cm}$ ); Comercial ( $\text{dap} \geq 50,0 \text{ cm}$ ).



Fonte: Autor (2022).

Com exceção da primeira classe diamétrica da população total da área (Figura 18) apresentou evidente tendência ao formato de exponencial negativo ou j-investido, com o decréscimo do número de indivíduos à medida que as classes diamétricas aumentam, evidenciando uma população do tipo autorregenerante.

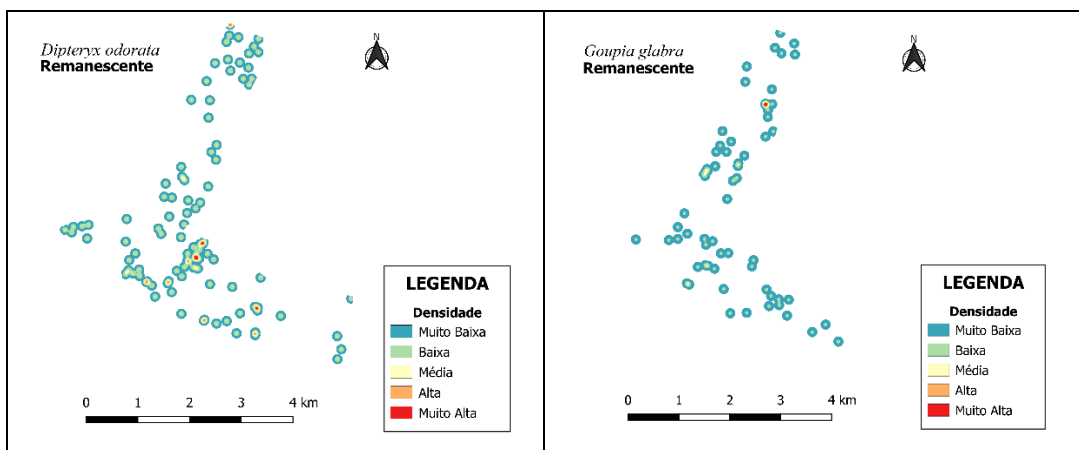
**Figura 18.** Distribuição diamétrica da população total presente na área de manejo florestal avaliada na Reserva extrativista Tapajós-Arapiuns, Pará, Brasil.

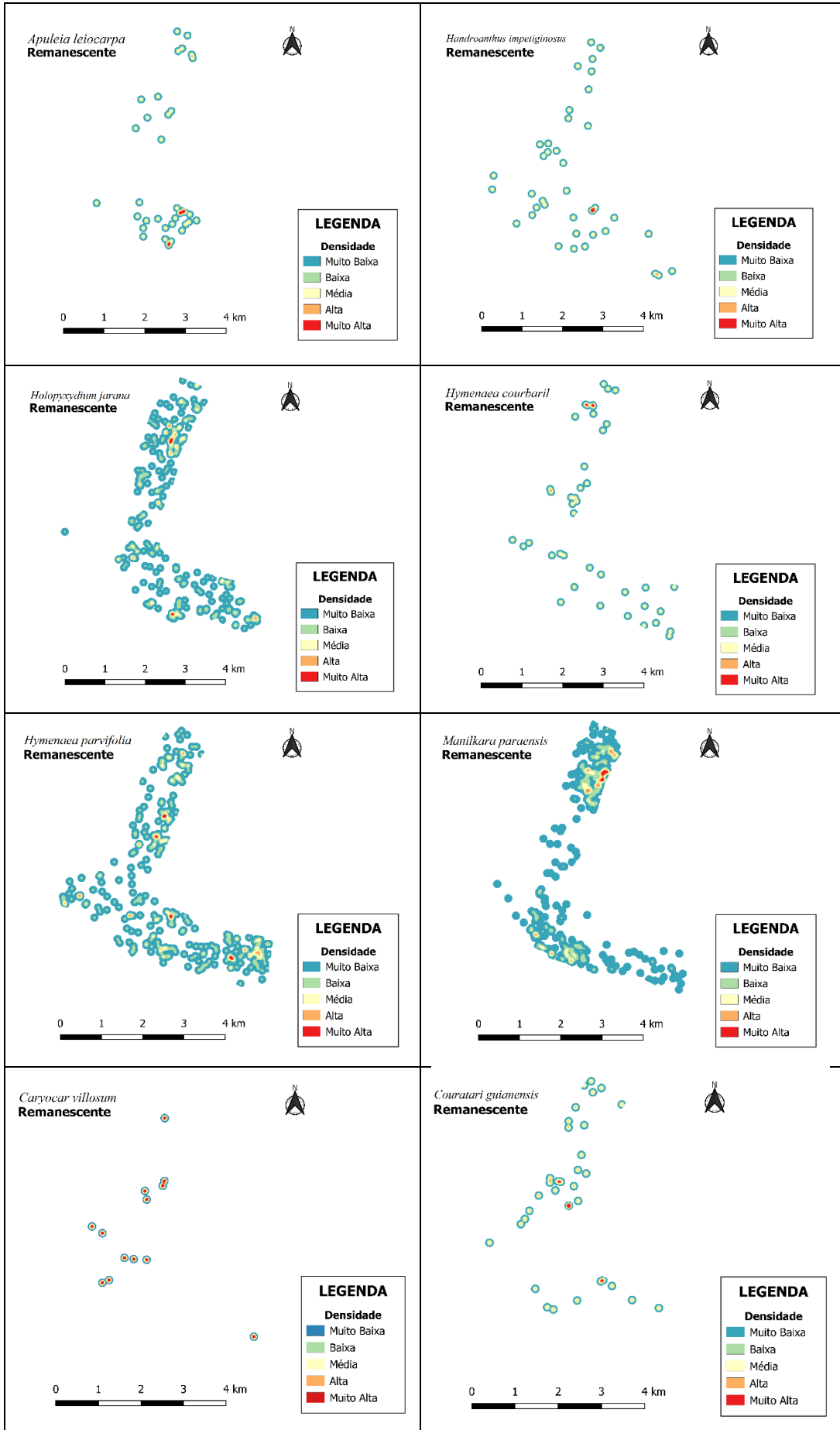


Fonte: Autor (2022).

A densidade das principais espécies comerciais ao longo da área de manejo pode ser observada na Figura 19, onde foram classificadas apenas as árvores com DAP (cm) abaixo do mínimo permitido para colheita, correspondendo a classe remanescente ( $DAP \leq 49,9$  cm). As espécies *Dipteryx odorata*, *Holopyxydium jarana*, *Hymenaea parvifolia* e *Manilkara araensis* apresentaram o maior número de árvores presentes na classe remanescente, com elevada representatividade ao longo de toda a área avaliada. A espécie *Manilkara paraensis* obteve a maior densidade, com o total de 396 árvores. A espécie *Caryocar villosum* obteve a menor densidade dentre as observadas, com o total de 15 árvores dispersas pela área.

**Figura 19.** Mapa de distribuição das principais espécies comerciais da área de manejo florestal avaliada na Reserva extrativista Tapajós-Arapiuns, Pará, Brasil, para a classe Remanescente ( $35,0 \text{ cm} \leq \text{dap} \leq 49,9 \text{ cm}$ ).

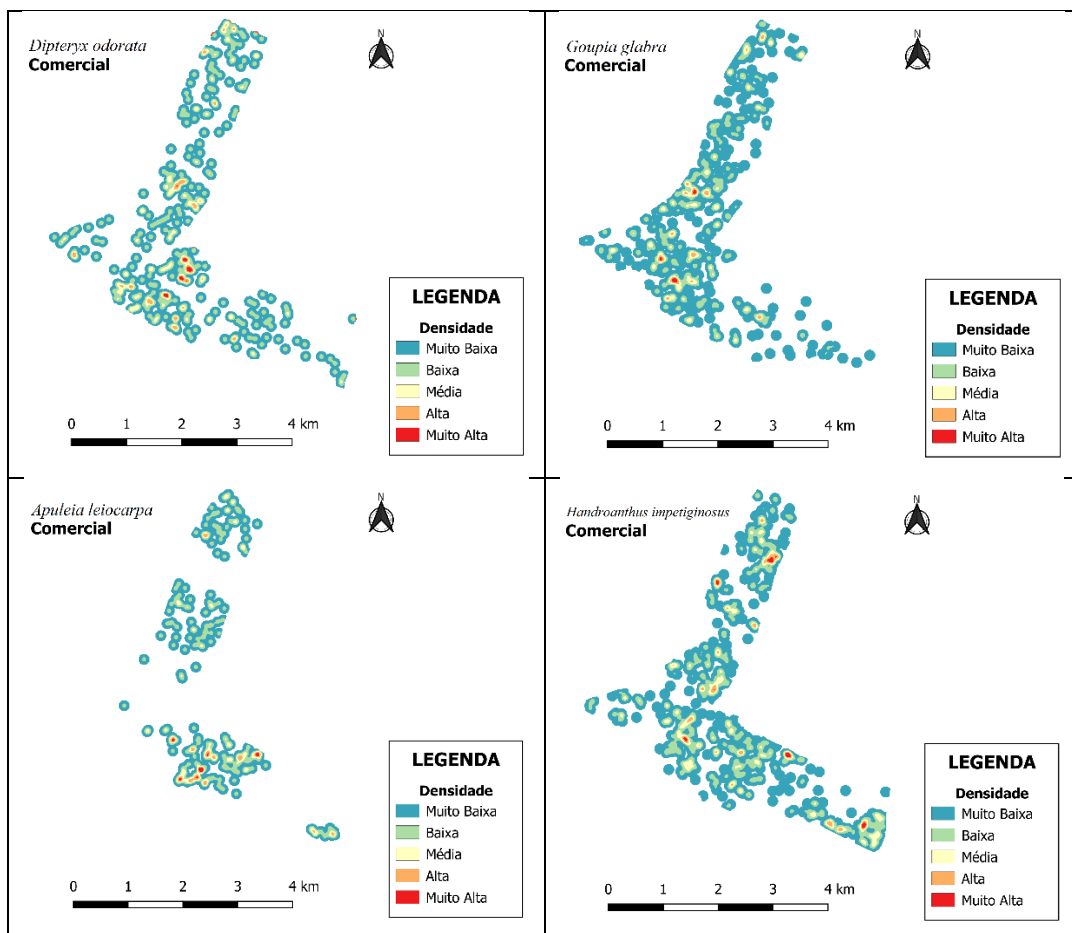


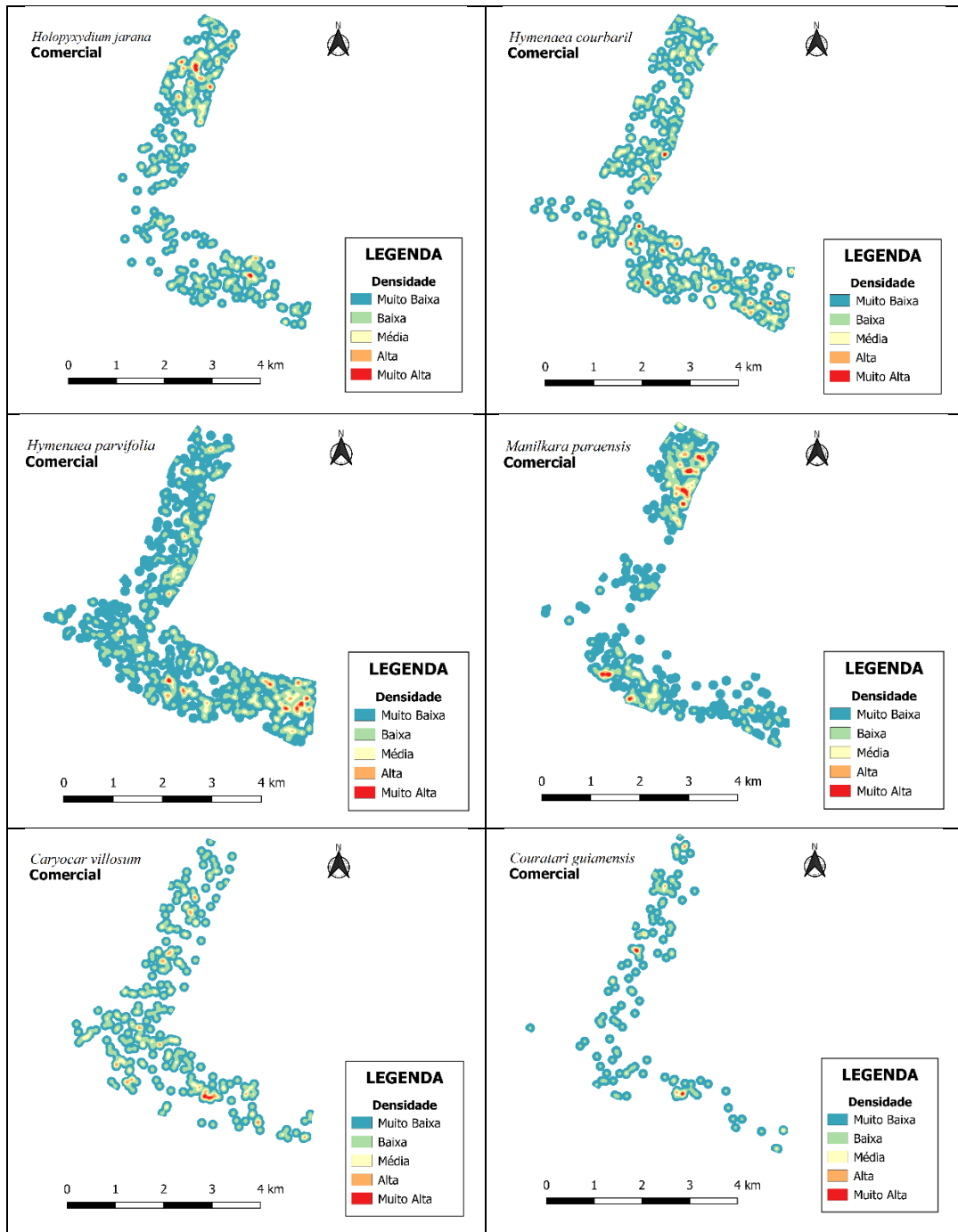


Fonte: Autor (2022).

A presença de árvores de porte comercial ( $dap \geq 50,0$  cm) para as espécies selecionadas foi mais evidente em relação a classe remanescente, com o total de 4.067 árvores. As espécies que obtiveram a maior representatividade em relação a classe comercial foram *Hymenaea parvifolia* (N = 1.113), *Hymenaea courbaril* (N = 668), *Handroanthus impetiginosus* (N = 635) e *Manilkara paraensis* (N = 538), distribuídas uniformemente ao longo de toda a área, com a presença de pequenas manchas com cores variando de amarelo a vermelho onde a densidade se encontra mais elevada (Figura 20), indicando assim zonas preferenciais para a condução das atividades exploratórias dessas espécies. Já as espécies *Caryocar villosum* e *Couratari guianensis* apresentaram baixa densidade de árvores comerciais, com respectivamente 322 e 219 árvores.

**Figura 20.** Mapa de distribuição das principais espécies comerciais da área de manejo florestal avaliada na Reserva extrativista Tapajós-Arapiuns, Pará, Brasil, para a classe Remanescente ( $35,0 \text{ cm} \leq dap \leq 49,9 \text{ cm}$ ).





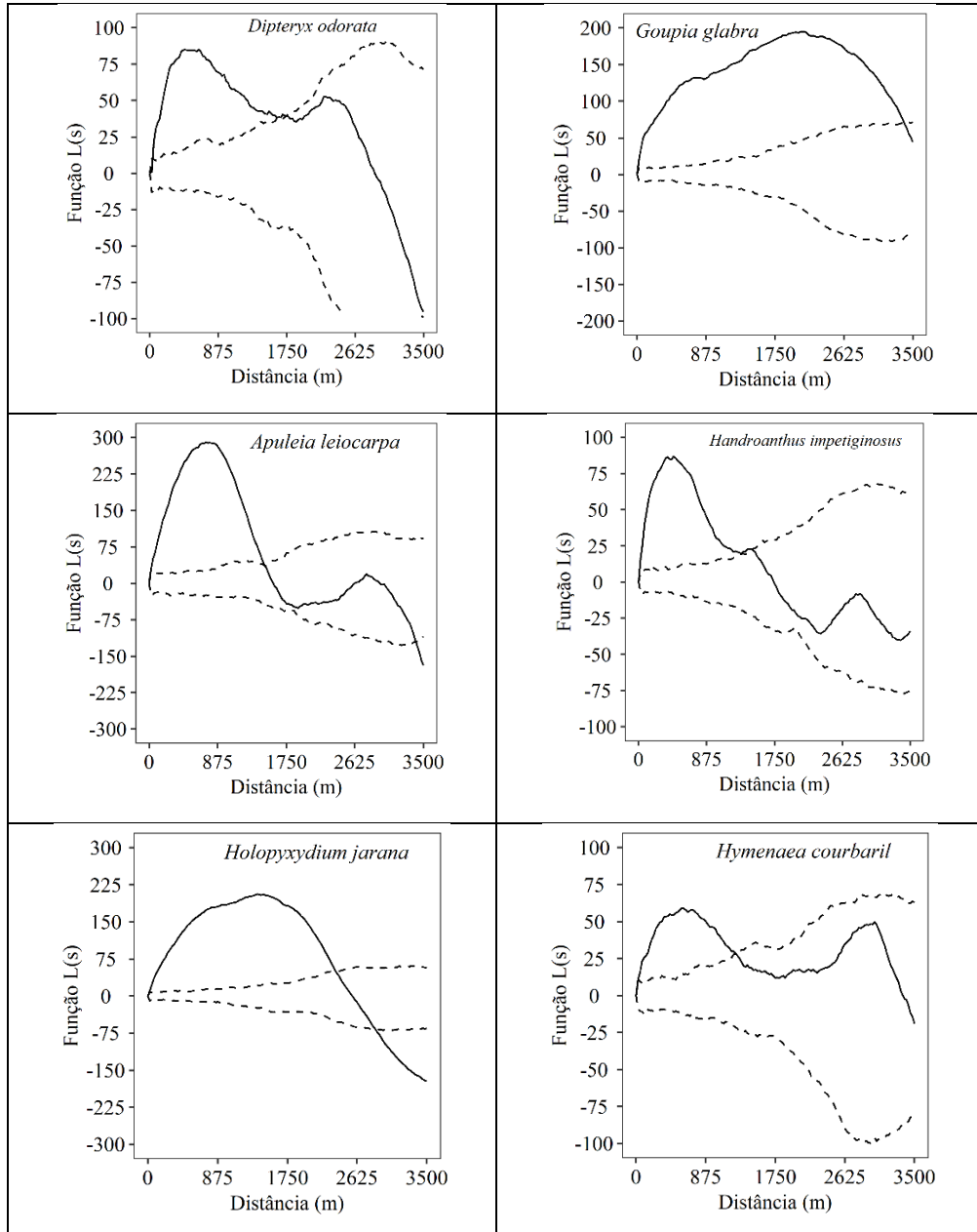
Fonte: Autor (2022).

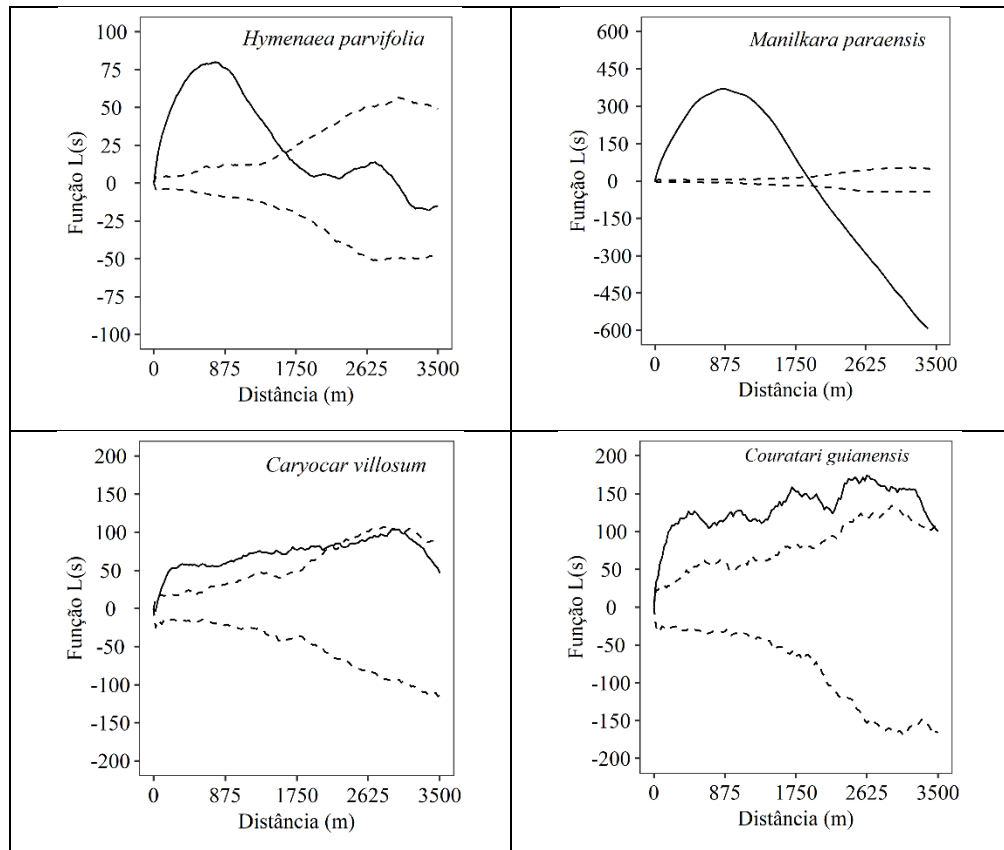
A partir da análise do envelope de confiança obtido mediante a utilização da função  $K(s)$ , observa-se que a grande maioria das espécies atendem de forma parcial a hipótese de completa aleatoriedade espacial (CAE), variando seu padrão espacial proporcionalmente à distância. As espécies *Dipteryx odorata*, *Apuleia leiocarpa*, *Handroanthus impetiginosus*, *Hymenaea courbaril*, *Hymenaea parvifolia* e *Caryocar villosum* apresentaram padrão espacial do tipo agregado nas menores distâncias, até aproximadamente 2500 metros, com valores da



função acima do envelope de confiança, passando posteriormente a um padrão aleatório até a distância máxima de 3500 metros (Figura 21).

**Figura 21.** Função K(s) de Ripley para as espécies avaliadas na Reserva extrativista Tapajós-Arapiuns, Pará.





Fonte: Autor (2022).

As espécies *Holopyxydium jarana* e *Manilkara paraensis* passaram a obter os padrões agregado, aleatório e regular quando submetidas a maiores distâncias. A espécie *Holopyxydium jarana* apresentou um padrão espacial do tipo agregado de forma predominante até a distância de  $\pm 2000$  metros, variando para aleatório até  $\pm 2800$  metros, quando seu padrão passou a ser do tipo regular. Já a espécie *Manilkara paraensis* obteve de forma predominante os padrões do tipo agregado e regular, adquirindo a CAE por um breve intervalo de aproximadamente 1900 a 2000 metros, evidenciando baixa tendência da espécie ao padrão aleatório de distribuição. A espécie *Couratari guianensis* obteve um padrão majoritariamente agregado, onde os valores da função  $K(s)$  foram mantidos acima do envelope de confiança por toda a área avaliada.

## DISCUSSÃO

De acordo com Francez et al. (2007), informações da estrutura florística e fitossociológica de florestas tropicais obtidos através do inventário florestal estão entre as práticas mais importantes na avaliação da capacidade produtiva de uma área florestal, além de

servir como importante ferramenta na formulação de estratégias para a realização do manejo florestal sustentável. É importante ressaltar que a diversidade e riqueza de espécies arbóreas, em se tratando de florestas tropicais, é diretamente proporcional à intensidade amostral (CONDÉ; TONINI, 2013).

Avaliando a florística da área, foi observada a predominância de espécies pertencentes as famílias Fabaceae, Burseraceae, Sapotaceae e Vochysiaceae, resultado semelhante ao observado por Condé; Tonini (2013), onde todas essas, com exceção da família Vochysiaceae, obtiveram maior representatividade em uma área de floresta tropical com características semelhantes à deste estudo. A grande presença de indivíduos oriundos das famílias botânicas Fabaceae, Lecythidaceae e Sapotaceae foram também observados por diversos autores que também desenvolveram estudos florísticos em florestas tropicais no norte do Brasil (ALARCÓN; PEIXOTO, 2007; OLIVEIRA et al., 2008; ALMEIDA et al., 2012; CONDÉ; TONINI, 2013; RIBEIRO et al., 2016; LIMA et al., 2018).

A diversidade florística observada nesse estudo foi equivalente a outros estudos realizados em floresta tropical, como o de Condé; Tonini ( $H' = 3,27$ ), Silva (2003) ( $H' = 3,39$ ), ao mesmo tempo que foi inferior a diversidade observada por Alarcón; Peixoto (2007) ( $H' = 4,66$ ), Alves; Miranda (2008) ( $H' = 4,25$ ) e Oliveira et al. (2008) ( $H' = 5,10$ ). No entanto, como destacado por Muniz et al. (1994) e Rolim; Nascimento (1997), as comparações entre estudos florísticos devem ser feitas com cautela, uma vez que os processos de amostragem e aquisição de dados sofrem grandes adaptações em relação às condições encontradas em cada caso, como tamanho da área e nível de inclusão, influenciando diretamente nos resultados encontrados.

A distribuição diamétrica da população total apresentou evidente tendência ao formato de exponencial negativo ou “J” invertido, com a maioria dos indivíduos ocupando as classes diamétricas inferiores. Esse padrão também é observado e descrito por outros autores como um comportamento padrão para florestas inequidâneas (OLIVEIRA; AMARAL, 2004; GONÇALVES ET AL., 2008; CONDÉ; TONINI, 2013; OLIVEIRA ET AL., 2015).

A espécie *Hymenaea parvifolia* obteve os melhores parâmetros florísticos, como valor de cobertura ( $VC = 7,6\%$ ) e valor de importância ( $VI = 7,9\%$ ), obtendo superioridade em relação as demais espécies observadas. Resultados semelhantes também foram observados por Gama et al., (2007) em estudo fitossociológico na região de Codó, estado do Maranhão, onde a espécie *Hymenaea parvifolia* também obteve destaque na estatística florística, com maior frequência, dominância e valor de importância, estando, portanto, entre as espécies mais importantes ecologicamente na área avaliada.

Diversos são os fatores e processos que exercem influência sobre o padrão espacial de uma determinada espécie ou grupos ecológicos distintos, sejam intrínsecos à espécie, como reprodução, dispersão e competição, ou extrínsecos como disponibilidade de luz, vento e condições edáficas (NASCIMENTO et al., 2002; LAN et al., 2012). Para Bruzinga et al. (2013) e Abreu et al. (2014), a reprodução, dispersão de sementes e condições edáficas constituem os principais fatores na determinação e explicação de padrões aleatórios e agregados em diversas regiões, bem como na Amazônia. Assim como observado por Araújo et al. (2014) e Vieira et al. (2021), mesmo dentro de uma mesma área de floresta, o padrão espacial das espécies é evidentemente diversificado, podendo ser agregado, aleatório e regular quando analisados a diferentes distâncias.

Todas as espécies avaliadas apresentaram um arranjo espacial agregado nas primeiras distâncias da área, ocorrendo devido à alta capacidade de dispersão e condições microclimáticas favoráveis, passando em seguida ao padrão aleatório de distribuição que pode ser explicado, a princípio, pela forma zoocórica de dispersão, uma vez que, após a caída dos frutos, há maior disponibilidade de sementes a diferentes espécies de animais que acabam por tomar rumos aleatórios (CAPRETZ, 2004; NEGRINI et al., 2012). De acordo com Jorge et al. (2015), a dispersão das sementes realizada pela árvore matriz é ponto de partida para a distribuição espacial assumida, onde espécies com dispersão anemocórica tendem a arranjar-se de forma aleatória, bem como se tratando de autocoria, seja através da gravidade (barocoria) ou pela dispersão a partir de animais (zoocoria), os indivíduos possuem grande tendência a uma distribuição agregada, principalmente pela deposição das sementes ao redor da árvore matriz ou em locais próprios para alimentação de dispersores.

A espécie *Couratari guianensis*, mesmo apresentando dispersão anemocórica, manteve um padrão do tipo agregado por toda a área avaliada, diferindo dos resultados observados por Mota et al. (2020) e corroborando com os resultados apresentados por Rodrigues et al. (2021), de forma a contrariar a associação entre síndrome de dispersão e padrão espacial, o que evidencia a ação de outros aspectos como fenologia, competição, além de fatores edáficos. Outra possível explicação para esse comportamento é relatada por Silva (2006), onde, apesar da dispersão anemocórica das sementes, o ataque de pássaros na fase verde dos frutos é mais recorrente, evidenciando um fator limitante para a dispersão das sementes (RODRIGUES et al., 2021). Para Negrini et al. (2012), o padrão espacial do tipo agregado é comum em formações florestais típicas de áreas tropicais, como Floresta Ombrófila Densa, devido a elevada densidade populacional e heterogeneidade na área. O padrão agregado observado para *Couratari guianensis* pode influenciar na maneira que a

espécie é manejada, já que a agregação torna o processo de colheita menos oneroso e mais sistêmico (COSTA et al., 2019). Além disso, o padrão de agregação poder estar relacionado também ao grupo ecológico que determinada espécie pertence, o que permite a inferência acerca de processos sucessionais de uma floresta (ARAÚJO et al., 2014).

Dentre as dez espécies analisadas na Reserva extrativista Tapajós-Arapiuns, apenas duas, as que obtiveram maiores distâncias, apresentaram um padrão espacial do tipo regular, sendo elas *Holopyxydium jarana* e *Manilkara paraenses*, colaborando com os resultados observados por Armesto et al. (1986) e Rodrigues et al. (2021), onde o padrão regular é relatado com uma característica rara em florestas tropicais. De acordo com Nascimento et al. (2002), em florestas tropicais é observada a presença de predadores específicos de determinadas espécies florestais, que, por sua vez, geram uma redução na quantidade de mudas e sementes que se localizam próximas as árvores matrizes, efeito esse que diminui com o aumento da distância e explica a formação de padrões regulares nessas áreas. Outras causas para a formação de padrões regulares ou aleatórios é a ocorrência de perturbações ocasionadas por atividades exploratórias ou síndrome de dispersão da espécie, uma vez que a dispersão de propágulos exerce influência sobre o arranjo espacial da espécie (NEGRINI et al., 2012).

O padrão espacial registrado para as espécies avaliadas pode servir a diversas aplicações dentro do manejo florestal, que variam desde a definição do sistema amostral até a escolha do sistema de colheita utilizado, a exemplo da exploração de espécies com padrão espacial agregado, que tende a seguir sua distribuição, e em consequência disso, os impactos decorrentes dessa atividade não se distribuem de maneira uniforme, com áreas mais impactadas devido a agregação das espécies (SCHWARTZ et al., 2014; VIEIRA et al., 2018).

A distribuição espacial de espécies de interesse comercial pode contribuir diretamente no planejamento das unidades de exploração, uma vez que os mapas gerados por espécie podem influenciar na construção de unidades de trabalho (Uts) mais igualitárias, levando em consideração não apenas a subdivisão por área, mas também a capacidade produtiva de cada região, o que refletiria diretamente no tempo e capital investido em cada projeto e remodelaria a forma como as unidades são divididas.

## CONCLUSÕES

A área de manejo avaliada apresentou alta diversidade de espécies, com predominância das famílias botânicas Fabaceae, Burseraceae, Sapotaceae e Vochysiaceae,

com destaque para a espécie *Hymenaea parvifolia*, que obteve a melhor estatística dentre as demais avaliadas.

Foi observada maior densidade de indivíduos pertencentes a classe comercial, servindo de indicativo para zonas preferenciais de exploração.

O arranjo espacial das principais espécies comerciais foi do tipo agregado nas menores distâncias da área, passando posteriormente a atender a hipótese de completa aleatoriedade espacial, com exceção das espécies *Holopyxydium jarana* e *Manilkara paraenses*, que apresentaram arranjo espacial do tipo regular.

Os estudos que buscam compreender a distribuição espacial de espécies comerciais de interesse podem auxiliar na melhor construção de unidades de exploração, levando em consideração a área e capacidade produtiva de cada região.

## 6 REFERÊNCIAS

ABREU, E. C. R.; SCOLFORO, J. R. S.; DE OLIVEIRA, A. D.; DE MELLO, J. M.; JÚNIOR, H. K. Modelagem para prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.61, p.86-102, 2002.

ABREU, J. C.; GUEDES, M. C.; GUEDES, A. C. L.; BATISTA, E. M. Estrutura e distribuição espacial de andirobeira (*Carapa* spp.) em floresta de várzea do estuário amazônico. **Ciência Florestal**, 24(4), 1009-1019, 2014.

ALARCÓN, J. G. S.; PEIXOTO, A. L. **Florística e fitossociologia de um trecho de um hectare de floresta de terra firme, em Caracará, Roraima, Brasil**. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, 2: 33-60, 2007.

ALMEIDA, L. S. D.; GAMA, J. R. V.; OLIVEIRA, F. D. A.; CARVALHO, J. O. P. D.; GONÇALVES, D. C. M.; ARAÚJO, G. C. Fitossociologia e uso múltiplo de espécies arbóreas em floresta manejada, Comunidade Santo Antônio, município de Santarém, Estado do Pará. **Acta Amazônica**, v. 42, p. 185-194, 2012.

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

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22(6), 711-728, 2013. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

AMARAL, L. P. **Geoestatística a Caracterização do Solo d da vegetação em Floresta Ombrófila Mista**. 2010.

- ANDRADE, V. S. D.; ARTAXO, P. E.; HACON, S. D. S.; CARMO, C. N. D. Distribuição espacial de queimadas e mortalidade em idosos em região da Amazônia Brasileira, 2001-2012. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 22, n. 1, p. 245-253, 2017. DOI: 10.1590/1413-81232017221.09622015.
- ANJOS, A. Análise do padrão de distribuição espacial do palmitreiro (*Euterpe edulis*) utilizando a função K de Ripley. 1998. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo.
- ANJOS, A.; MAZZA, M. C. M.; SANTOS, A. C. M. C.; DELFINI, L. T. Análise do padrão de distribuição espacial da araucária (*Araucaria augustifolia*) em algumas áreas do estado do Paraná, utilizando a função K de Ripley. **Scientia Forestalis**, Piracicaba. n. 66, p. 38-45, dez. 2004.
- ARAÚJO, H. J. B. D. Inventário Florestal a 100% em Pequenas Áreas sob Manejo Florestal Madeireiro. **Acta Amazônica**, v. 36, p. 447-464, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/aa/v36n4/v36n4a07>>. Acesso em out. 2021.
- ARAÚJO, P. T. M.; FIGUEIREDO, S. M. Mapeamento e distribuição espacial de focos de calor em anos de secas severas no sul da Amazônia, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18., 2017, Santos. **Anais...** São Paulo: INPE, 2017. p. 662-668.
- ARMESTO, J. J.; MITCHELL, J. D.; VILLAGRAN, C. A Comparison of Spatial Patterns of Trees in Some Tropical and Temperate Forests. **Biotropica**, 18(1), 1. 1986. doi:10.2307/2388354.
- BILA, J. M.; SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; DE FREITAS, L. J. M. Distribuição diamétrica e principais espécies arbóreas presentes nos ecossistemas de Miombo, Mopane e Mecrusse em Moçambique. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, 2018.
- BINOTI, D. H. B.; LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; SILVA, M. L. M. D.; GARCIA, S. L. R.; CRUZ, J. P. D. Uso da função Weibull de três parâmetros em um modelo de distribuição diamétrica para plantios de eucalipto submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, v. 34, n. 1, p. 147-156, 2010.
- BRACK, C. Comparing diameter measuring instruments. **Last Modified Date Tue, 7 Jan. 1997**.
- BRASIL. Decreto nº 6.874, de 5 de junho de 2009. **Institui, no âmbito dos Ministérios do Meio Ambiente e do Desenvolvimento Agrário, o Programa Federal de Manejo Florestal Comunitário e Familiar-PMCF, e dá outras providências**. Brasília, DF: 5 jun. 20097. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2009/Decreto/D6874.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Decreto/D6874.htm)>. Acesso em: 22 dez. 2021.
- BRASIL. Lei nº 11.284, de 02 de março de 2006. **Dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável, dentre outros**. Brasília, DF: 02 mar. 2006. Disponível em: <[www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2006/lei/111284.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111284.htm)>. Acesso em: 20 dez. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 406, de 02 de fevereiro de 2009. Estabelece parâmetros técnicos a serem adotados na elaboração, apresentação, avaliação técnica e execução de Plano de Manejo Florestal Sustentável-PMFS com fins madeireiros, para florestas nativas e suas formas de sucessão no bioma Amazônia. Brasília, 2009. Disponível em: < <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0406-020209.PDF>>. Acesso em: 15 jan. 2022.

7º SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 7., 2005, Vitória. **Anais**: Sociedade de Investigações Florestais, 2005., 2005.

BRAZ, E. M.; FIGUEIREDO, E. O.; OLIVEIRA, M. V. N.; PASSOS, C. A. M. Manejo florestal de precisão: modelo digital de exploração e manejo de Florestas Naturais. **Manejo de precisão em Florestas Tropicais: modelo digital de exploração florestal. Rio Branco: Embrapa Acre**, p. 15-30, 2007.

BRAZ, E. M.; PASSOS, C. A. M.; CHICHORRO, F.; RIBAS, L.; DE MATTOS, P. P.; DE OLIVEIRA, E. B.; OLIVEIRA, E. B.; OLIVEIRA, L. C.; THAINES, F. OLIVEIRA, M. D. Colheita de precisão para o manejo das florestas naturais da Amazônia Brasileira. In: **Embrapa Florestas-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SIMPÓSIO

BRAZ, R. L.; NUTTO, L.; BRUNSMEIER, M.; SILVA, D. A. Resíduos da colheita florestal e do processamento da madeira na Amazônia—Uma análise da cadeia produtiva. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 5, n. 2, p. 168-181, 2014.

BRUZINGA, J. S.; OLIVEIRA, M. L. R.; MACHADO, E. L. M.; LEITE, H. G.; PEREIRA, I. M.; NOGUEIRA, G. S. Distribuição espacial de indivíduos adultos de pequi. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 98, p. 249-256, 2013.

CALLEGARO, R. M.; LONGHI, S. J.; ARAUJO, A. C. B.; KANIESKI, M. R.; FLOSS, P. A.; GRACIOLI, C. R. Estrutura do componente arbóreo de uma floresta estacional decidual ripária em Jaguari, RS. **Ciência Rural**, v. 42, p. 305-311, 2012.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. Viçosa: UFV, 2013.

CAPRETZ, R. L. Análise de padrões espaciais de árvores em quatro formações florestais no estado de São Paulo, por meio de análises de segunda ordem, como a função Ripley K. **Dissertação** (Mestrado em Ecologia de Agrossistemas) - Curso de Pós-Graduação em Ecologia de Agrossistemas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 2004. 79f.

CAPRETZ, R. L.; BATISTA, J. L. F.; SOTOMAYOR, J. F. M.; CUNHA, C. R. D.; NICOLETTI, M. F.; RODRIGUES, R. R. Padrão espacial de quatro formações florestais do estado de São Paulo, através da função K de Ripley. **Ciência Florestal**, v. 22, p. 551-565, 2012.

CESARO, A.; ENGEL, O. A. C. Comparação dos Métodos de Amostragem de área Fixa, Relascopia e de Seis Árvores quanto à Eficiência, no Inventário Florestal de um Povoamento de Pinus. **Ciência Florestal**, v. 4, n. 1, 1994. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/300>. Acesso em out. 2021.



CLARK, P. J.; EVANS, F. C. Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. **Ecology**, 35 (4):-445-53, 1954.

CONDÉ, T. M.; TONINI, H. Fitossociologia de uma floresta ombrófila densa na Amazônia Setentrional, Roraima, Brasil. **Acta Amazônica**, v. 43, p. 247-259, 2013.

COSTA, S. N.; RABELO, F. G.; LIMA, R. B.; SILVA, D. A. S.; LIMA, C. W. P.; SANTOS, S. M. Estrutura populacional de *Manilkara huberi* (Ducke) A. Chev. e *Dinizia excelsa* Ducke em floresta de terra firme no Amapá. **Nativa (Sinop)**, 7(4), 445-451. 2019.  
<http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i4.7638>.

CRUZ, L. L.; NAKAJIMA, N. Y.; SILVA, R. M. D.; HOSOKAWA, R. T.; JARDIM, F. C. D. S.; CORTE, A. P. D. Distribuição diamétrica de três espécies de Lecythidaceae após exploração de impacto reduzido na Amazônia Oriental. **Ciência Florestal**, v. 31, p. 171-190, 2021.

CURTO, R. D. A.; DOS ANJOS, A. F. T.; DE ARAÚJO, E. J. G.; WINK, C.; KOHLER, S. V. Influência da distância na exatidão da cubagem não destrutiva de *Qualea* sp. no bioma Amazônia. **Nativa**, 8(5), 663-670, 2020.

CURTO, R. D. A.; DA SILVA, G. F.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, L. T.; DAVID, H. C. Métodos de estimação de altura de árvores em floresta estacional semidecidual. **Floresta**, v. 43, n. 1, p. 105-116, 2013.

CYSNEIROS, V. C.; PELISSARI, A. L.; MACHADO, S. D.; FIGUEIREDO FILHO, A.; SOUZA, L. Modelos genéricos e específicos para estimativa do volume comercial em uma floresta sob concessão na Amazônia. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 114, p. 295-304, 2017.

DA SILVA SANTOS, D. W.; STEPKA, T. F. **Modelagem da distribuição diamétrica de cinco espécies comerciais nativas da Amazônia, no Estado do Pará.**

DA SILVA, A. A.; DOS SANTOS, L. E.; DA SILVA CRUZ, G.; DA SILVA RIBEIRO, R. B.; GAMA, J. R. V. Potencial de comercialização de produtos florestais não madeireiros na área de manejo da Reserva Extrativista Tapajós Arapiuns. **Acta Tecnológica**, v. 13, n. 1, p. 45-63, 2018.

DA SILVA, L. B. D.; MORAIS, V. A.; CAETANO, M. G.; BERNARDES, L. F. G. D. M. Equações para estimativa volumétrica de espécies arbóreas da Amazônia. **Revista de Ciências Agroambientais**, 18(1), 16-26, 2020.

DA SILVA, L. B. D.; MORAIS, V. A.; CAETANO, M. G.; BERNARDES, L. F. G. D. M. Equações para estimativa volumétrica de espécies arbóreas da Amazônia. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 18, n. 1, p. 16-26, 2020.

DALLA LANA, M.; BRANDÃO, C. F. L. S.; PELLICO NETO, S.; MARANGON, L. C.; RETSLAFF, F. A. S. Distribuição diamétrica de *Eschweilera ovata* em um fragmento de Floresta Ombrófila Densa - Igarassu, PE. **Floresta**, v. 43, n. 1, p. 59-68, 2013.

DANTAS, A. R.; MARANGON, L. C.; GUEDES, M. C.; FELICIANO, A. L. P.; LIRA-GUEDES, A. C. Spatial distribution of a population of *Pentaclethra macroloba* (Willd.) Kuntze in a floodplain forest of the Amazon Estuary. **Revista Árvore**, 41(4), 1-11, 2017.

ALMEIDA GONÇALVES, D.; VAN ELDIK, T.; POKORNY, B. O uso de dendrômetro a laser em florestas tropicais: aplicações para o manejo florestal na Amazônia. **Floresta**, v. 39, n. 1, 2009.

ANDRADE LIMA, R. B.; SILVA, J. A. A.; MARANGON, L. C.; FERREIRA, R. L. C.; DA SILVA, R. K. S.; FREIRE, F. J. Análises estruturais do componente arbóreo em floresta de terra firme, Carauari, Amazonas, Brasil. **Biodiversidade**, v. 17, n. 1, 2018.

DE ARAÚJO, E. J. G.; DAVID, H. C.; NETTO, S. P.; MORAIS, V. A.; SCOLFORO, J. R. S. Padrão espacial de espécies arbóreas em fragmento de floresta estacional semidecidual. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 57, n. 2, p. 166-171, 2014.

DE ARAUJO, H. J. B. Inventário florestal a 100% em pequenas áreas sob manejo florestal madeireiro. **Embrapa Acre-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2006.

DE PLÁCIDO, A. C.; BARTOSZECK, S.; DO AMARAL MACHADO, S.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E. B. Distribuição diamétrica para bracatingais em diferentes idades, sítios e densidades da região metropolitana de Curitiba. **Revista Floresta**, Curitiba, v.34, n.3, p.305-324, 2004.

DE. A. Bohn, "Environmental Effects on the Speed of Sound," **J. Audio Eng. Soc.**, vol. 36, no. 4, pp. 223-231, (1988 April.).

DIAS JÚNIOR, C. F.; BERTOLINI, C.; BALBINOT, R.; SILVEIRA, S. R. Measure: sistema de coleta de informações. **Tecno-Lógica**, v. 24, n. 1, p. 103-111, 2020. <http://dx.doi.org/10.17058/tecnolog.v24i1.13689>. Acesso em out. 2021.

DO AMARAL MACHADO, S.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; NASCIMENTO, R. G. M.; FIGURA, M. A.; DA SILVA, L. C. R.; MIGUEL, E. P.; TÉO, S. J. Distribuição diamétrica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Scientia Agraria**, v. 10, n. 2, p. 103-110, 2009.

DO CARMO, L. F. Z.; ANDRADE, C. M. S. Geotecnologias aplicadas à conservação e uso sustentável da Amazônia. In: **Embrapa Acre-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: WORKSHOP SOBRE ÁREAS DEGRADADAS DA AMAZÔNIA, 2., 2012, Rio Branco. Anais... Rio Branco: Ifac, 2012., 2012.

DO NASCIMENTO, N. A.; CARVALHO, J. O. P.; LEÃO, N. V. M. Distribuição espacial de espécies arbóreas relacionada ao manejo de florestas naturais. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, n. 37, p. 175-194, 2002.

DOMINGUES, M. S.; BERMAN, C. O arco de desflorestamento na Amazônia: da pecuária à soja. **Ambiente & Sociedade**, v. 15, n. 2, p. 1-22, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1414-753X2012000200002>.

DOS SANTOS VIEIRA, D.; DE OLIVEIRA, M. L. R.; GAMA, J. R. V.; FIGUEIREDO, A. E. S.; LAFETÁ, B. O. Estrutura diamétrica e distribuição espacial de *Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd. no oeste do estado do Pará, Brasil.

- DOS SANTOS, R. O.; DE ABREU, J. C.; DE LIMA, R. B.; DA SILVA APARÍCIO, P.; SOTTA, E. D.; LIMA, R. C. Distribuição diamétrica de uma comunidade arbórea na Floresta Estadual do Amapá, Brasil. **Biota Amazônia**, v. 6, n. 2, p. 24-31, 2016.
- ESPADA, A. L. V.; SOBRINHO, M. V.; DE MIRANDA ROCHA, G.; DE ALBUQUERQUE VASCONCELLOS, A. M. Manejo florestal comunitário em parceria na Amazônia brasileira: o caso da Flona do Tapajós. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 14, n. 1, 2018.
- EVANS, J.; YOUNGQUIST, J. A. **Code of Forest Mensuration Practice: a guide to good tree measurement practice in Australia and New Zealand**. Academic press. 2004. 2400 p.
- FERREIRA, G. P.; SANO, E. E. Mapa de densidade de Kernel como indicador de desmatamento futuro na Amazônia Legal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., Foz do Iguaçu. **Anais...** Paraná: INPE, 2013. p. 4404-4410.
- FERREIRA, J. C. S. Análise da estrutura diamétrica em povoamentos de florestas plantadas a partir de funções de densidade de probabilidade. 2011.
- FIGUEIREDO, E. O.; D'OLIVEIRA; M. V. N.; BRAZ, E. M.; ALMEIDA PAPA, D.; FEARNESIDE, P. M. LIDAR-based estimation of bole biomass for precision management of an Amazonian forest: Comparisons of ground-based and remotely sensed estimates. **Remote Sensing of Environment**, 187, 281-293, 2016.
- FORSTREUTER, W.; WAKOLO, J. Remote sensing for tree measurements in Fiji. **South Pacific GIS e Remote Sensing News**, Fiji, p. 1-2, September/2000.
- FRANCEZ, L. M. B.; CARVALHO, J. O. P.; JARDIM, F. C. S. Mudanças ocorridas na composição florística em decorrência da exploração florestal em uma área de floresta de Terra Firme na região de Paragominas, PA. **Acta Amazônica**, 37: 219-228, 2007.
- FREITAS, P. D.; TEIXEIRA, A. D. F.; SILVA, G. D.; OLIVEIRA, A. D.; FRAGA FILHO, C. V. Software Mata Nativa 2: Sistema de informações aplicado ao manejo de florestas naturais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 5., 2005, **Londrina**. **Anais...** Paraná: SBI-AGRO, 2005.
- GAMA, J. R. V.; DOS SANTOS VIEIRA, D.; DOS SANTOS, S. B.; DOS SANTOS, M. R. G. Potencial de produção dos seringais de Jamaraguá, estado do Pará. **Advances in Forestry Science**, 4 (1), 77-82. 2017.
- GAMA, J. R. V., BOTELHO, S. A., BENTES-GAMA, M. M., SCOLFORO, J. R. S. Estrutura e potencial futuro de utilização da regeneração natural de floresta de várzea alta no município de Afuá, estado do Pará. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 71-82, 2003.
- GAMA, J. R. V.; SOUZA, A. L. D.; CALEGÁRIO, N.; LANA, G. C. Fitossociologia de duas fitocenoses de floresta ombrófila aberta no município de Codó, Estado do Maranhão. **Revista Árvore**, v. 31, n. 3, p. 465-477, 2007.

GERWING, J. Natural resource management in the Brazilian Amazon. **Bioscience**, 47, 160-168. 1997.

GONÇALVES, C. W. P. **Amazônia, amazônias**. Editora Contexto, 2005.

GONÇALVES, F. G.; SANTOS, J. R. Composição florística e estrutura de uma unidade de manejo florestal sustentável na Floresta Nacional do Tapajós, Pará. **Acta Amazonica**, 38: 229-244, 2008.

GUILHERME, S. S. **Aderência de funções densidade de probabilidade em diferentes amplitudes de classes diamétricas**. 2018.

GUIMARÃES, D. P. **Uma função hiperbólica de distribuição probabilística de alta flexibilidade**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2002. 40 p.

HERRERO-JÁUREGUI, C.; SIST, P.; CASADO, M. A. Population structure of two low-density neotropical tree species under different management systems. **Forest Ecology and Management**, 280, 31-39. 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2012.06.006>.

HESS, A. F.; BRAZ, E. M.; THAINES, F.; MATTOS, P. P. Ajuste de relação hipsométrica para espécies da Floresta Amazônica. **Embrapa Florestas-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2014.

HESS, A. F.; CALGAROTTO, A. R.; PINHEIRO, R.; WANGINIÁK, T. C. R. Proposta de manejo de *Araucaria angustifolia* utilizando o quociente de Liocourt e análise de incremento, em propriedade rural no Município de Lages, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 64, p. 337-345, 2010. <http://dx.doi.org/10.4336/2010.pfb.30.64.337>.

HOUGHTON, R. A.; SKOLE, D. L.; NOBRE, C. A.; HACKLER, J. L.; LAWRENCE, K. T.; CHOMENTOSWSKI, W. H. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. **Nature**, v. 403, p. 301-304. 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Floresta nacional do Tapajós: plano de manejo. Brasília, 2004. 373 p.

JANKAUSKIS, J. **Avaliação de técnicas de manejo florestal**. Belém: SUDAM, 1990. 143 p.

JESUS, C. M.; MIGUEL, E. P.; LEAL, F. A.; IMANÃ-ENCINAS, J. Avaliação de diferentes hipsômetros para medição da altura total em um povoamento clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. Enciclopédia Biosfera, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 291, 2012.

JORGE, L. A. B.; MILLANI, T. M.; FONSECA, R. C. B.; ARRUDA, A. A. Estrutura Diamétrica e Arranjo Espacial das Espécies Mais Abundantes de um Fragmento de Floresta Estacional Semidecidual em Botucatu, SP. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 3, p. 355-367, 2015.

KURTZ, B. C.; DE ARAUJO, D. S. D. Composição florística e estrutura do componente arbóreo de um trecho de Mata Atlântica na Estação Ecológica Estadual do Paraíso, Cachoeiras de Macacu, Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguésia**, v. 51, n. 78-79, p. 69-112, 2000.

KHUDRI, Md. M.; SADIA, F. Determination of the best fit probability distribution for annual extreme precipitation in Bangladesh. **Eur J Sci Res**, v. 103, n. 3, p. 391-404, 2013.

LAN, G.; GETZIN, S.; WIEGAND, T.; HU, Y.; XIE, G.; ZHU, H.; CAO, M. Spatial distribution and interspecific associations of tree species in a Tropical Seasonal Rain Forest of China. **PLoS One**, 7(9), e46074, 2012. PMID:23029394.

LANSSANOVA, L. R.; DA SILVA, F. A.; SCHONS, C. T.; PERERIRA, A. C. D. S. Comparação entre diferentes métodos para estimativa volumétrica de espécies comerciais da Amazônia. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 3, n. 1, p. 109-115, 2018.

LAURO, A. C.; CURTO, R. D. A.; TONINI, H.; BIAZATTI, S. C.; KOHLER, S. V. Operacionalidade de instrumentos na obtenção da altura total de árvores em sistema agrossilvipastoril. **Advances in Forestry Science**, 5(4), 445-451, 2018.

LEITÃO FILHO, H. F. Considerações sobre a florística de florestas tropicais e sub-tropicais do Brasil. **IPEF**, v. 35, n. 35, 1987.

LEITE, H. G.; BINOTI, D. H. B.; GUIMARÃES, D. P.; SILVA, M. L. M. D.; GARCIA, S. L. R. Avaliação do ajuste das funções Weibull e hiperbólica a dados de povoamentos de eucalipto submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, v. 34, n. 2, p. 305-311, 2010.

LIMA, J. P. C.; LEÃO, J. R. A. Dinâmica de crescimento e distribuição diamétrica de fragmentos de florestas nativa e plantada na Amazônia Sul Ocidental. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 1, p. 70-79, 2013.

LONGO, A. J.; SAMPAIO, S. C.; QUEIROZ, M. M. F.; SUSSEK, M. Uso das distribuições Gamma e Log-normal na estimativa de precipitação provável quinzenal. **Varia Scientia**, v.6, n.11, p.107-118, 2006.

MACHADO SA, FIGUEIREDO FILHO A. **Dendrometria**. 2nd ed. Guarapuava: UNICENTRO; 2006.

MACHADO, S. A.; AGUIAR, L. P.; FIGUEIREDO-FILHO, A.; KOEHLER, H. S. Modelagem do volume do povoamento para *Mimosa scabrella* BENTH. na região metropolitana de Curitiba. **Revista Árvore**, Viçosa, v.32, n.3, p.465-478. 2008.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2003. 309p.

MACHADO, S. A.; NASCIMENTO, R. G. M.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; SILVA, L. C. R.; FIGURA, M. A.; PEREIRA, E. M.; TÊO, S. J. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.56, p.5-16, jan./jun., 2008.

- MACHADO, S. D. A.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; NASCIMENTO, R. G. M.; TÊO, S. J.; MIGUEL, E. P.; FIGURA, M. A.; SILVA, L. C. R. D. Funções de distribuição diamétrica em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Ciência Rural**, v. 39, n. 8, p. 2428-2434, 2009.
- MALLEUX, J. O. Análisis de dispersión de 10 especies forestales de un bosque húmido tropical. R. **Forestal del Peru**, 5(1/2) :55-66, 1971/1974.
- MARASCHIN JR, D. A.; FINGER, A. F.; LORETO, A. B. Definição intervalar e análise de qualidade da função densidade de probabilidade da variável aleatória contínua com distribuição Beta. **Scientia Plena**, v. 13, n. 4, 2017.
- MARGULIS, S. **Causas do desmatamento da Amazônia brasileira**. 2003.
- MARQUES, M. M. G. Geoestatística aplicada na análise biométrica dos montados de sobreira e azinheira. 2006. 163 f. **Dissertação** (Mestrado em Georrecursos) – Universidade técnica de Lisboa – Portugal, 2006.
- MARTINS, S. S.; COUTO, L.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. L. Efeito da exploração floresta seletiva em uma floresta estacional semidecidual. **Revista Árvore**, 27(1), 65-70. 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622003000100009>.
- MCGINNIES, W. C. The relationships between frequency index and abundance as applied to plant populations in a semi-arid region. **Ecology**, v.15, p.263-382, 1934.
- MIGUEL, E. P.; MACHADO, S. D. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J. E. Using the Weibull function for prognosis of yield by diameter class in *Eucalyptus urophylla* satnds. **Cerne**, Lavras, v.16, n.1, p.94-104, 2010.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA), 2006. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/IN0005-111206.PDF>>. Acesso em: 24 de dez. 2021.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA), 2008. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/florestas/manejoflorestalsustent%C3%A1vel/produtosadeireiros-e-n%C3%A3o-madeireiros>>. Acesso em: 8 de mar. 2021.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Instrução normativa Nº 30, de 31 de dezembro de 2002**. IBAMA, 2002.
- MÔRA, R.; SILVA, G.F.; GONCALVES, F.G.; SOARES, C.P.B.; CHICHORRO, J.F.; CURTO, R.A. Análise de diferentes formas de ajuste de funções de afilamento. **Scientia Forestalis**, v.42, n.102, p.237-249, 2014.
- MORAES, G. C.; SCHORR, L. P. B.; AGUIAR, J. T.; CUCHI, T.; MELO, L. O. Mudanças na estrutura diamétrica e no arranjo espacial de *Manilkara elata* em área manejada na Floresta Nacional do Tapajós. **Enciclopédia Biosfera**, 14(25), 950-959, 2017. [http://dx.doi.org/10.18677/EnciBio\\_2017A76](http://dx.doi.org/10.18677/EnciBio_2017A76).
- MORAS FILHO, L. O.; FIGUEIREDO, E. O.; JÚNIOR, I.; DE BARROS, V. C. C.; HOTT, M. C.; BORGES, L. A. C. Classificador de máxima verossimilhança aplicado à identificação

de espécies nativas na Floresta Amazônica. In **Embrapa Acre-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18., 2017, Santos. Anais... Santos: Inpe, 2017.

MOTA, E. R.; DIONISIO, L. F. S.; SCHWARTZ, G.; PORTO, N. M. Diversidade, distribuição espacial e espécies arbóreas estruturantes em Floresta Ombrófila Densa na Amazônia Oriental. **Brazilian Journal of Development**, 6 (9), 71192-71208, 2020.

MUNIZ, F. H.; CÉSAR, O.; MONTEIRO, R.; Fitossociologia da vegetação arbórea da reserva florestal do Sacavém, São Luís, Maranhão (Brasil) **Acta Amazonica**, v. 24, p. 219-236, 1994.

NASCIMENTO, A. R. T.; LONGHI, S. J.; BRENA, D. A. Estrutura e padrões de distribuição espacial de espécies arbóreas em uma amostra de Floresta Ombrófila Mista em Nova Prata, RS. **Ciência Florestal**, v. 11, n. 1, p. 105-119, 2001.

NASCIMENTO, R. G. M. Modelagem e simulação do crescimento e produção de floresta tropical manejada na Amazônia oriental. **Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Curitiba**, 2016.

NEGRINI, M.; AGUIAR, M. D. D.; VIEIRA, C. T.; SILVA, A. C. D.; HIGUCHI, P. Dispersão, distribuição espacial e estratificação vertical da comunidade arbórea em um fragmento florestal no Planalto Catarinense. **Revista Árvore**, 36, 919-930, 2012.

NELSON, T. C. Diameter distribution and growth of loblolly pine. **Forest Science**, Bethesda, v. 10, n. 1, p. 105-115, 1964.

NETTO, C. C. Dinâmica da distribuição diamétrica de povoamentos de Pinus taeda L. em diferentes idades e espaçamentos. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

NICOLETTI, M. FN. Comparação de métodos não-destrutivos de cubagem de árvores em pé visando à determinação da biomassa. 2011. **Dissertação** (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

NICOLETTI, M. F.; BATISTA, J. L. F.; CARVALHO, S. D. P. C.; CASTRO, T. N. D.; HESS, A. F. Exatidão de dendrômetros ópticos para determinação do volume de árvores em pé. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 2, p. 395-404, 2015.

OLIVEIRA, A. N.; AMARAL, I. L. Florística e fitossociologia de uma floresta de vertente na Amazônia Central, Amazonas, Brasil. **Acta Amazonica**, 34: 21-34, 2004.

OLIVEIRA, A. N.; AMARAL, I. L.; RAMOS, M. B. P.; NOBRE, A. D.; COUTO, L. B.; SAHDO, R. M. Composição e diversidade florística estrutural de um hectare de floresta densa de terra firme na Amazônia Central, Amazonas, Brasil. **Acta Amazonica**, 38: 627-642, 2008.

OLIVEIRA, E. K.; NAGY, A. C.; BARROS, Q.; MARTINS, B.; JÚNIOR, L. M. Composição florística e fitossociológica de fragmento florestal no sudoeste da Amazônia. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 21, 2015.

OLIVEIRA, M. F. Padrão de Crescimento, Estrutura e Modelagem de seis espécies madeireiras da floresta Amazônica, em diferentes locais na região Norte do estado de Mato Grosso, Brasil. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal do Paraná. 2020.

OLIVEIRA, M. F.; DE MATTOS, P. P.; GARRASTAZU, M. C.; BRAZ, E. M.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ROSOT, N. C. Análise da estrutura horizontal por densidade de Kernel como subsídio ao manejo florestal na Amazônia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 41, 2021.

PAYANDEH, B. Comparison of methods for assessing spatial distribution of trees. **Forest Scientia**, 16:312-7, 1970.

PEREIRA, A. A.; PEREIRA, J. A.; MORELLI, F.; BARROS, D. A.; ACERBI-JR, F. W.; SCOLFORO, J. R. Validação dos focos de calor utilizados no monitoramento orbital de queimadas por meio de imagens TM. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 2, p. 335-343, abr./jun. 2012.  
PIELOU, E. C. The use of point to plant distances in study of pattern of plant populations. **Journal of Ecology**, *i2(3):607-3*.1959.

PORTO, C. **Modelos e cenários para a Amazônia: o papel da ciência**. Rio de Janeiro: MACROPLAN, 2001.

PULZ, F.A.; SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D; MELLO, J. M.; OLIVEIRA FILHO, A. T. Acuracidade da predição da distribuição diamétrica de uma floresta inequiana com a matriz de transição. **Cerne** 1999; 5(1): 01-14.

REIS, L. P.; DE SOUZA, A. L.; DOS REIS, P. C. M.; MAZZEI, L.; BINOTI, D. H. B.; LEITE, H. G. Prognose da distribuição diamétrica na Amazônia utilizando redes neurais artificiais e autômatos celulares. **Floresta**, v. 48, n. 1, p. 93-102, 2018.

REIS, L. P.; RUSCHEL, A. R.; SILVA, J. N. M.; DOS REIS, P. C. M.; DE CARVALHO, J. O. P.; SOARES, M. H. M. Dinâmica da distribuição diamétrica de algumas espécies de Sapotaceae após exploração florestal na Amazônia Oriental. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 57, n. 3, p. 234-243, 2014.

RIBEIRO, E. S.; DE SOUZA, R. A. T. M.; DE PAULA, M. H.; DE MESQUITA, R. R. S.; MOREIRA, E. L.; FAZION, H. Espécies florestais comercializadas pelo estado de Mato Grosso. **Biodiversidade**, v. 15, n. 2, 2016.

RIBEIRO, J. E. L. S.; HOPKINS, M. J. G.; VICENTINI, A.; SOTHERS, C. A.; COSTA, M. A. S.; BRITO, J. M.; SOUZA, M. A. D.; MARTINS, L. H. P.; LOHMANN, L. G.; ASSUNÇÃO, P. A. C. L.; PEREIRA, E. C.; SILVA, C. F.; MESQUITA, M. R.; PROCÓPIO, L. C. Flora da Reserva Ducke. **Guia de Identificação das Plantas Vasculares de uma Floresta de Terra firme na Amazônia Central**, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 793 pp. 1999.

RIBEIRO, R. B. S.; GAMA, J. R. V.; MELO, L. O. Seccionamento para cubagem e escolha de equações de volume para a Floresta Nacional do Tapajós. **Cerne**, v.20, n.4, p.605-612, 2014.



RIGHETTO, A. J.; TACHIBANA, V. M. Análise de regressão linear: abordagem tradicional e espacial em um estudo de caso. **Resumo, 19o SINAPE, Sao Pedro-SP**, v. 81, 2010.

RIPLEY, B. D. Tests of 'Randomness' for Spatial Point Patterns. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B. Methodological*, 41(3), 368-374, 1979.  
<http://dx.doi.org/10.1111/j.2517-6161.1979.tb01091.x>.

RODE, R.; FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S. A.; GALVÃO, F. Análise do padrão espacial de espécies e de grupos florísticos estabelecidos em um povoamento de *Araucaria angustifolia* e em uma Floresta Ombrófila Mista no centro-sul do Paraná. **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 2, p. 255-268, abr./jun. 2010.

RODRIGUES, B. L.; BRUZINGA, J. S. C.; RIBEIRO, R. B. D. S.; GAMA, J. R. V.; MACHADO, E. L. M.; OLIVEIRA, M. L. R. D. Padrão e associações espaciais de árvores comerciais da Amazônia. **Ciência Rural**, 51 (6). 2021.

ROLIM, S. G.; NASCIMENTO, H. E. M. Análise da riqueza, diversidade e relação espécie-abundância de uma comunidade arbórea tropical em diferentes intensidades amostrais. **Scientia Forestalis**, 1997. 52: 7-16.

SALATI, E.; VOSE, P. B. Amazon basin: a system in equilibrium. **Science**, v. 225, p. 129-138. 1984.

SANTOS, G. C.; JARDIM, M. A. G. Florística e estrutura do estrato arbóreo de uma floresta de várzea no Município de Santa Bárbara do Pará, Estado do Pará, Brasil. **Acta Amazônica**, 36: 437-446, 2006.

SANTOS, R. O.; ABREU, J. C.; LIMA, R. B.; APARÍCIO, P. S.; SOTTA, E. D.; LIMA, R. C. Distribuição diamétrica de uma comunidade arbórea na Floresta Estadual do Amapá, Brasil. **Biota Amazônia**, v.6, n.2, p.24-31, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v6n2p24-31>.

SANTOS, R. O.; LIMA, R. B.; ABREU, J.C.; APARÍCIO, P. S.; OLIVEIRA, C. P. Modelagem da distribuição em altura de *Eschweilera coriácea* (DC.) S.A. Mori em uma floresta ombrófila densa, Amapá, Brasil. **CONTECC**, p. 4. 2015.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M. Análise de Regressão aplicada à Engenharia Florestal. 2. Ed- Santa Maria: FACOS, 2009. 294p.

SCHWARTZ, G.; LOPES, J. C.; KANASHIRO, M.; MOHREN, G. M.; PEÑA-CLAROS, M. Disturbance level determines the regeneration of commercial tree species in the Eastern Amazon. **Biotropica**, 46(2), 148-156. 2014. <http://dx.doi.org/10.1111/btp.12096>.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal**: modelos de crescimento e produção florestal. Lavras, UFLA/FAEPE, 2006. 393p.

SCOLFORO, J. R. S.; PULZ, F. A.; MELLO, J. M. Modelagem da produção, idade das florestas nativas, distribuição espacial das espécies e a análise estrutural. **Manejo Florestal** 1998; 189-256.

SHUKLA, J.; NOBRE, C.; SELLERS, P. Amazon deforestation and climate change. **Science**, v. 247, p. 1322-1325. 1990.

SILVA, E. Q. Nova função densidade de probabilidade aplicável à Ciência Florestal. 2003. 98f. **Tese** (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, UFPR. Curitiba, 2003.

SILVA, G. F.; OLIVEIRA, O. M.; SOUZA, C. A. M.; SOARES, C. P. B.; LEMOS, R. Influência de diferentes fontes de erro sobre as medições de alturas de árvores. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 3, p. 397-405, 2012b.

SILVA, G. F. D.; CURTO, R. D. A.; SOARES, C. P. B.; PIASSI, L. D. C. Avaliação de métodos de medição de altura em florestas naturais. **Revista Árvore**, v. 36, p. 341-348, 2012.

SILVA, G. F.; MÔRA, R.; CURTO, R. de A. Simulação de erros na medição de altura de árvores inclinadas com aparelhos baseados em princípios trigonométricos. **Nativa**, Sinop, v. 5. n. 5, p. 372-379. 2017.

SILVA, G. F.; CURTO, R. A.; SOARES, C. P. B.; PIASSI, L. C. Avaliação de métodos de medição de altura em florestas naturais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 341-348, 2012a.

SILVA, J. C.; MENDONÇA, A. R.; SILVA, G. F.; CURTO, R. A.; FIGUEIREDO, L. T. M.; SILVA, M. L. M. Métodos de medição da altura comercial de árvores na região Amazônica. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 47, n. 123, p. 588-598, 2019.

SILVA, J. N. M.; DE CARVALHO, J. O. P.; LOPES, J. do. Inventário florestal de uma área experimental na Floresta Nacional do Tapajós. **Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 1985.

SILVA, J. N. M.; LOPES, J. Distribuição espacial de árvores na Floresta Nacional do Tapajós. **Embrapa Amazônia Oriental-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 1982.

SILVA, J. N. M.; LOPES, J. Inventário florestal contínuo em florestas tropicais: a metodologia utilizada pela EMBRAPA-CPATU na Amazônia brasileira. **Embrapa Amazônia Oriental-Documentos (INFOTECA-E)**, 1984.

SILVA, S. **Árvores da Amazônia**: Brasil. São Paulo: Empresa das Artes, 2006. 243p.

SILVA, U.S.C. Fitossociologia do componente arbóreo e não arbóreo de uma Floresta Tropical em Cantá – RR. 2003. **Dissertação de Mestrado**, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, Pará. 63 pp.

SOBRAL, L.; VERISIMO, A.; LIMA, E.; AZEVEDO, T. & SNERALDI, R. **Acertando o alvo 2**: consumo de madeira amazônica e certificação florestal no Estado de São Paulo. Belém: Imazon, 2002.

SOUZA A. L.; SOUZA, D. R. Estratificação vertical em floresta ombrófila densa de terra firme não explorada, Amazônia Oriental. **Revista Árvore**, v.28, n.5, p.691-698, 2004.

SOUZA, C. A. M. Avaliação de modelos de taper não segmentados e segmentados na estimação da altura e volume comercial de fustes de *Eucalyptus* sp. 2007.

SOUZA, N. D.; SILVA, E. M. G. C.; TEIXEIRA, M. D.; LEITE, L. R.; REIS, A. D.; SOUZA, L. D.; ACERBI JÚNIOR, F. W.; RESENDE, T. A. Aplicação do Estimador de Densidade kernel em Unidades de Conservação na Bacia do Rio São Francisco para análise de focos de desmatamento e focos de calor. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 16, 4958-4965, 2013.

SOUZA, R. F.; NASCIMENTO, R. G. M.; NETTO, S. P.; MACHADO, S. A. Efeito de idade e sítio no ajuste de funções probabilísticas para altura de *Mimosa scabrella*. **Floresta**, v. 43, n. 2, p. 271-280, 2013.

STAMATELLOS, G.; PANOURGIAS, G. Simulating spatial distributions of forest trees by using data from fixed area plots. **Forestry**, 78(3), 305-312, 2005.  
<http://dx.doi.org/10.1093/forestry/cpi028>.

STEPKA, T. F.; DOS SANTOS LISBOA, G.; KURCHAIDT, S. M. Funções densidade de probabilidade para a estimativa da distribuição diamétrica em povoamento de *Eucalyptus* sp na região centro-sul do Paraná Probability density functions for estimating the diameter distribution in *Eucalyptus* sp. stand. **Ambiência**, v. 7, n. 3, p. 429-439, 2011.

TAVARES, P. A. Clima, antropização e análise de focos de calor em unidades de conservação de proteção integral na Amazônia Brasileira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, Santos. **Anais...** São Paulo: INPE, 2019. 5 p.

TÉO, S. J.; DA ROCHA, S. P.; BORTONCELLO, A. C.; PAZ, R. A.; DA COSTA, R. H. Dinâmica da distribuição diamétrica de povoamentos de *Pinus taeda*, na região de Caçador, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.31, n.67, p.183-192, jul./set. 2011.

THAINES, F.; BRAZ, E. M.; DE MATTOS, P. P.; THAINES, A. A. R. Equações para estimativa de volume de madeira para a região da bacia do Rio Ituxi, Lábrea, AM. **Pesquisa Florestal Brasileira**, 30(64), 283-283, 2010.

VERÍSSIMO, A. A Amazônia brasileira: desenvolvimento e conservação. In: TRIGUEIRO, A. **Mundo Sustentável 2**: novos rumos para um planeta em crise. São Paulo: Globo p 203-208. 2012.

VERÍSSIMO, A.; BARRETO, P.; MATTOS, M.; TARIFA, R.; UHL, C. Logging impacts and prospects for sustainable forest management in an old Amazon frontier: the case of Paragominas. **Forest Ecology and Management**, v. 55, p. 169-199. 1992.

VERÍSSIMO, A.; PEREIRA, D. Produção na Amazônia Florestal: características, desafios e oportunidades. **Parcerias Estratégicas**, v. 19, n. 38, p. 13-44, 2015.

VIEIRA, D. S.; GOMES, K. M. A.; SANTOS, L. E.; OLIVEIRA, M. L. R.; GAMA, J. R. V.; MENDONÇA, E. L. M.; LAFETÁ, B. O.; MOURA, C. C.; FIGUEIREDO, A. E. S. Estrutura diamétrica e espacial de espécies madeireiras de importância econômica na Amazônia. **Scientia Forestalis**, 49(129), e3438. (2021). <https://doi.org/10.18671/scifor.v49n129.21>

VIEIRA, D. S.; OLIVEIRA, M. L. R.; GAMA, J. R. V.; FIGUEIREDO, A. E. S.; LAFETÁ, B. O. Estrutura diamétrica e distribuição espacial de *Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd. no oeste do estado do Pará, Brasil. **Scientia Forestalis**, 49(131), e3626. (2021). <https://doi.org/10.18671/scifor.v49n131.11>

VIEIRA, D. S.; OLIVEIRA, M. L. R.; GAMA, J. R. V.; OLIVEIRA, B. O.; REGO, A. K. C.; BEZERRA, T. G. Sampling processes for *Carapa guianensis* Aubl. in the Amazon. **Cerne**, 24(3), 169-179. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201824032514>.

VIEIRA, D. S.; OLIVEIRA, M. L. R.; GAMA, J. R. V.; MACHADO, E. L. M.; GÖRGENS, E. B. Patrón espacial y métodos de muestreo para *Bertholletia excelsa* (castaña de Pará) en la Mesorregión del Bajo Amazonas, estado de Pará, Brasil. **Bosque (Valdivia)**, 38(1), 97-107. 2017. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002017000100011>.

VIEIRA, S.; HOFFMANN, R. **Estatística experimental**. São Paulo: Atlas, 1989. 175p.

ZHANG, Z.; HU, G.; ZHU, J.; NI, J. Aggregated spatial distributions of species in a subtropical karst forest, southwestern China. **Journal of Plant Ecology**, 6(2), 131-140. (2013). <http://dx.doi.org/10.1093/jpe/rts027>.

## 7 APÊNDICE I

**Tabela 19.** Estatística dos modelos de Gauss, Weibull 2P, Weibull 3P, Log Normal, Beta e Gama para as distribuições diamétricas das espécies *Couratari guianensis*, *Caryocar villosum*, *Manilkara paraensis*, *Hymenaea parvifolia*, *Apuleia leiocarpa*, *Holopyxydium jarana*, *Hymenaea courbaril*, *Goupia glabra*, *Dipteryx odorata* e *Handroanthus impetiginosus*.

<i>Couratari guianensis</i> (Tauari)							
FDP	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	$\mu$ (cm)	$\sigma^2$ (cm <sup>2</sup> )	Dn.	Dcal.
Gauss	-	63,117	20,705	63,12	428,68	0,0974	0,0280*
Log Normal	-	4,171	0,316	68,09	486,75		0,0056*
Weibull 2P	-	70,618	3,380	63,42	428,89		0,0264*
Weibull 3P	32,367	40,243	1,780	68,18	432,58		0,0014*
Beta	2,802	5,710	-	64,87	263,25		0,1316 <sup>ns</sup>
Gama	10,374	6,410	-	66,50	426,26		0,0058*
<i>Caryocar villosum</i> (Pequiá)							
FDP	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	$\mu$ (cm)	$\sigma^2$ (cm <sup>2</sup> )	Dn.	Dcal.
Gauss	-	86,880	27,733	86,88	769,10	0,0888	0,0117*
Log Normal	-	4,491	0,328	94,12	1006,41		0,0176*
Weibull 2P	-	96,411	3,525	86,78	744,72		0,0082*
Weibull 3P	32,339	65,935	2,254	90,74	751,94		0,0048*
Beta	2,751	2,597	-	100,01	250,00		0,0006*
Gama	9,944	9,198	-	91,47	841,37		0,0088*
<i>Manilkara paraensis</i> (Maparajuba)							
FDP	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	$\mu$ (cm)	$\sigma^2$ (cm <sup>2</sup> )	Dn.	Dcal.
Gauss	-	52,619	11,743	52,62	137,90	0,0533	0,0086*
Log Normal	-	3,974	0,231	54,63	163,92		0,0007*
Weibull 2P	-	55,931	5,016	51,36	137,60		0,0164*
Weibull 3P	31,354	26,094	2,025	54,47	142,88		0,0041*
Beta	4,189	12,808	-	52,15	355,54		0,2049 <sup>ns</sup>
Gama	19,640	2,749	-	53,98	148,38		0,0012*
<i>Hymenaea parvifolia</i> (Jutaí-Mirim)							
FDP	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	$\mu$ (cm)	$\sigma^2$ (cm <sup>2</sup> )	Dn.	Dcal.
Gauss	-	56,678	13,148	56,68	172,86	0,0420	0,0074*
Log Normal	-	4,053	0,234	59,15	197,45		0,0007*
Weibull 2P	-	61,010	4,674	55,80	184,73		0,0144*
Weibull 3P	33,661	28,668	1,912	59,09	191,60		0,0125*
Beta	5,469	13,009	-	57,01	425,78		0,2017 <sup>ns</sup>
Gama	18,923	3,081	-	58,30	179,61		0,0006*
<i>Apuleia leiocarpa</i> (Garapeira)							
FDP	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	$\mu$ (cm)	$\sigma^2$ (cm <sup>2</sup> )	Dn.	Dcal.
Gauss	-	69,266	21,493	69,27	461,93	0,0752	0,0171*
Log Normal	-	4,256	0,313	74,05	565,30		0,0096*
Weibull 2P	-	76,596	3,672	69,10	438,44		0,0148*
Weibull 3P	24,646	52,885	2,432	71,54	423,19		0,0007*
Beta	2,992	4,913	-	70,40	262,62		0,1329 <sup>ns</sup>
Gama	10,754	6,725	-	72,32	486,40		0,0056*

<i>Holopyxydium jarana</i> (Jarana)							
FDP	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	$\mu$ (cm)	$\sigma^2$ (cm <sup>2</sup> )	Dn.	Dcal.
Gauss	-	52,514	11,036	52,51	121,80		0,0058*
Log Normal	-	3,973	0,220	54,45	147,60		0,0012*
Weibull 2P	-	55,298	5,556	51,08	112,87	0,0546	0,0109*
Weibull 3P	33,668	23,329	1,790	54,42	143,83		0,0142*
Beta	9,578	21,142	-	54,19	599,74		0,2593 <sup>ns</sup>
Gama	21,705	2,480	-	53,82	133,45		0,0008*
<i>Hymenaea courbaril</i> (Jatobá)							
FDP	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	$\mu$ (cm)	$\sigma^2$ (cm <sup>2</sup> )	Dn.	Dcal.
Gauss	-	77,158	22,208	77,16	493,19		0,0083*
Log Normal	-	4,386	0,277	83,49	557,98		0,0062*
Weibull 2P	-	84,241	3,905	76,25	477,85	0,0603	0,0080*
Weibull 3P	19,736	65,543	2,970	78,24	460,29		0,0005*
Beta	3,328	5,341	-	76,37	316,16		0,0669 <sup>ns</sup>
Gama	12,843	6,329	-	81,28	514,38		0,0028*
<i>Goupia glabra</i> (Cupiúba)							
FDP	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	$\mu$ (cm)	$\sigma^2$ (cm <sup>2</sup> )	Dn.	Dcal.
Gauss	-	68,879	19,480	68,88	379,48		0,0107*
Log Normal	-	4,248	0,283	72,81	442,02		0,0047*
Weibull 2P	-	75,499	3,942	68,38	377,78	0,0678	0,0117*
Weibull 3P	32,094	44,686	2,177	71,67	367,36		0,0022*
Beta	3,749	6,308	-	69,75	317,57		0,1339 <sup>ns</sup>
Gama	12,961	5,512	-	71,45	393,84		0,0023*
<i>Dipteryx odorata</i> (Cumarú)							
FDP	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	$\mu$ (cm)	$\sigma^2$ (cm <sup>2</sup> )	Dn.	Dcal.
Gauss	-	58,012	15,648	58,01	244,86		0,0157*
Log Normal	-	4,082	0,269	61,44	282,98		0,0005*
Weibull 2P	-	63,249	4,049	57,37	253,37	0,0694	0,0213*
Weibull 3P	34,514	30,638	1,617	61,96	302,59		0,0207*
Beta	3,536	10,222	-	60,39	383,10		0,0676*
Gama	14,413	4,185	-	60,32	252,44		0,0020*
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Ipê-Roxo)							
FDP	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	$\mu$ (cm)	$\sigma^2$ (cm <sup>2</sup> )	Dn.	Dcal.
Gauss	-	78,532	25,472	78,53	648,84		0,0150*
Log Normal	-	4,386	0,327	84,74	812,06		0,0080*
Weibull 2P	-	87,475	3,461	78,66	632,38	0,0626	0,0117*
Weibull 3P	33,414	55,967	2,041	83,00	647,85		0,0044*
Beta	2,744	4,465	-	81,29	298,95		0,0007*
Gama	9,895	8,345	-	82,58	689,16		0,0039*

Fonte: Autor (2022), em que a, b e c = parâmetros localização, posição e escala, respectivamente; Dn. = Valor de D calculado para o teste de KS ( $\alpha = 0,05$ ); Dcal. = valor de D calculado para o teste de KS. \* = significativo ao nível de 1% de probabilidade. <sup>ns</sup> = Não significativo.

**Tabela 20.** Estatística dos modelos de Gauss, Weibull 2P, Weibull 3P, Log Normal, Beta e Gama para as distribuições de altura das espécies *Couratari guianensis*, *Caryocar villosum*, *Manilkara paraensis*, *Hymenaea parvifolia*, *Apuleia leiocarpa*, *Holopyxydium jarana*, *Hymenaea courbaril*, *Goupia glabra*, *Dipteryx odorata* e *Handroanthus impetiginosus*.

<i>Couratari guianensis</i> (Tauari)							
FDP	a	b	c	$\mu$ (m)	$\sigma^2$ (m <sup>2</sup> )	Dn.	Dcal.
Gauss	-	20,470	3,843	20,47	14,77		0,0008*
Log Normal	-	3,031	0,191	21,10	16,62		0,0069*
Weibull 2P	-	21,584	6,068	20,04	14,76	0,0974	0,0012*
Weibull 3P	-6,015	27,563	7,783	19,91	15,57		0,0029*
Beta	10,967	9,943	-	20,59	139,15		0,2667 <sup>ns</sup>
Gama	27,996	0,746	-	20,87	15,56		0,0035*
<i>Caryocar villosum</i> (Pequiá)							
FDP	a	b	c	$\mu$ (cm)	$\sigma^2$ (cm <sup>2</sup> )	Dn.	Dcal.
Gauss	-	12,596	3,331	12,60	11,10		0,0021*
Log Normal	-	2,551	0,258	13,25	12,09		0,0029*
Weibull 2P	-	13,793	4,153	12,53	11,54	0,0888	0,0019*
Weibull 3P	5,812	8,115	2,303	13,00	10,96		0,0141*
Beta	8,482	12,188	-	12,21	108,87		0,3320 <sup>ns</sup>
Gama	14,991	0,868	-	13,01	11,30		0,0018*
<i>Manilkara paraensis</i> (Maparajuba)							
FDP	a	b	c	$\mu$ (cm)	$\sigma^2$ (cm <sup>2</sup> )	Dn.	Dcal.
Gauss	-	13,777	3,229	13,78	10,42		0,0007*
Log Normal	-	2,628	0,231	14,23	11,11		0,0040*
Weibull 2P	-	14,834	4,873	13,60	10,17	0,0533	0,0004*
Weibull 3P	5,519	9,418	2,961	13,92	9,55		0,0024*
Beta	9,099	9,598	-	13,73	102,41		0,3337 <sup>ns</sup>
Gama	18,812	0,749	-	14,09	10,55		0,0020*
<i>Hymenaea parvifolia</i> (Jutaí-Mirim)							
FDP	a	b	c	$\mu$ (cm)	$\sigma^2$ (cm <sup>2</sup> )	Dn.	Dcal.
Gauss	-	17,149	3,442	17,15	11,85		0,0016*
Log Normal	-	2,855	0,192	17,70	11,80		0,0001*
Weibull 2P	-	18,230	5,573	16,84	12,20	0,0420	0,0051*
Weibull 3P	4,175	14,098	4,273	17,00	11,49		0,0011*
Beta	8,250	13,316	-	17,18	135,92		0,2660 <sup>ns</sup>
Gama	26,249	0,667	-	17,52	11,69		0,0001*
<i>Apuleia leiocarpa</i> (Grapeira)							
FDP	a	b	c	$\mu$ (cm)	$\sigma^2$ (cm <sup>2</sup> )	Dn.	Dcal.
Gauss	-	18,114	3,014	18,11	9,08		0,0000*
Log Normal	-	2,902	0,167	18,46	9,66		0,0006*
Weibull 2P	-	19,015	7,020	17,79	8,89	0,0752	0,0011*
Weibull 3P	50,118	-31,011	-12,516	17,47	12,77		0,0219*
Beta	17,083	16,814	-	18,11	248,26		0,2000 <sup>ns</sup>
Gama	36,301	0,506	-	18,35	9,28		0,0002*
<i>Holopyxydium jarana</i> (Jarana)							
FDP	a	b	c	$\mu$ (cm)	$\sigma^2$ (cm <sup>2</sup> )	Dn.	Dcal.
Gauss	-	15,930	3,731	15,93	13,92		0,0005*
Log Normal	-	2,778	0,249	16,60	17,69	0,0546	0,0082*

Continua...

							...Continuação
Weibull 2P	-	17,080	4,918	15,67	13,28		0,0002*
Weibull 3P	-4,396	21,433	6,214	15,53	13,97		0,0015*
Beta	12,629	12,187	-	16,21	158,85	0,0546	0,2665 <sup>ns</sup>
Gama	17,344	0,943	-	16,35	15,41		0,0032*
<i>Hymenaea courbaril</i> (Jatobá)							
FDP	a	b	c	$\mu$ (cm)	$\sigma^2$ (cm <sup>2</sup> )	Dn.	Dcal.
Gauss	-	21,966	3,028	21,97	9,17		0,0001*
Log Normal	-	3,092	0,136	22,23	9,20		0,0017*
Weibull 2P	-	22,902	8,257	21,60	9,68		0,0011*
Weibull 3P	-398,794	421,705	156,758	21,38	11,71	0,0603	0,0073*
Beta	15,752	11,337	-	21,96	172,05		0,2673 <sup>ns</sup>
Gama	54,128	0,409	-	22,15	9,06		0,0008*
<i>Goupia glabra</i> (Cupiúba)							
FDP	a	b	c	$\mu$ (cm)	$\sigma^2$ (cm <sup>2</sup> )	Dn.	Dcal.
Gauss	-	12,851	3,443	12,85	11,85		0,0024*
Log Normal	-	2,567	0,261	13,48	12,86		0,0045*
Weibull 2P	-	14,079	4,141	12,79	12,08		0,0018*
Weibull 3P	5,850	8,342	2,315	13,24	11,48	0,0678	0,0136*
Beta	7,826	10,821	-	0,42	99,70		0,3322 <sup>ns</sup>
Gama	14,620	0,906	-	13,25	12,01		0,0026*
<i>Dipteryx odorata</i> (Cumarú)							
FDP	a	b	c	$\mu$ (cm)	$\sigma^2$ (cm <sup>2</sup> )	Dn.	Dcal.
Gauss	-	13,432	3,403	13,43	11,58		0,0015*
Log Normal	-	2,607	0,248	13,98	12,37		0,0045*
Weibull 2P	-	14,584	4,457	13,30	11,45		0,5005 <sup>ns</sup>
Weibull 3P	5,695	9,009	2,623	13,70	10,77	0,0694	0,0060*
Beta	7,456	8,786	-	12,39	89,63		0,3330 <sup>ns</sup>
Gama	16,251	0,849	-	13,80	11,71		0,0028*
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Ipê-Roxo)							
FDP	a	b	c	$\mu$ (cm)	$\sigma^2$ (cm <sup>2</sup> )	Dn.	Dcal.
Gauss	-	21,289	3,297	21,29	10,87		0,0002*
Log Normal	-	3,065	0,149	21,68	10,56		0,0016*
Weibull 2P	-	22,307	7,151	20,89	11,84		0,0005*
Weibull 3P	0,876	21,434	6,868	20,91	11,73	0,0626	0,0004*
Beta	13,326	10,996	-	21,15	158,54		0,2668 <sup>ns</sup>
Gama	43,981	0,490	-	21,56	10,57		0,0010*

Fonte: Autor (2022), onde a, b e c = parâmetros localização, posição e escala, respectivamente; Dn. = Valor de D calculado para o teste de KS ( $\alpha = 0,05$ ); Dcal. = valor de D calculado para o teste de KS. \* = significativo ao nível de 1% de probabilidade. <sup>ns</sup> = Não significativo.