

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA (INPA)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS**

**DENSIDADE DA MADEIRA: VARIÁVEL FUNDAMENTAL NA
DETERMINAÇÃO DE USO E ESTIMATIVA DE ESTOQUE DE BIOMASSA
FLORESTAL**

THAIS DE NAZARÉ OLIVEIRA NOVAIS

**Manaus, Amazonas
Janeiro, 2022**

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS

THAIS DE NAZARÉ OLIVEIRA NOVAIS

**DENSIDADE DA MADEIRA: VARIÁVEL FUNDAMENTAL NA
DETERMINAÇÃO DE USO E ESTIMATIVA DE ESTOQUE DE BIOMASSA
FLORESTAL**

DR. PHILIP MARTIN FEARNSIDE (Orientador)

Dr^a Flora Magdaline Benitez Romero (Coorientadora)

Dissertação apresentada ao Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências de Florestas Tropicais.




**Manaus, Amazonas
Janeiro, 2022**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS

ATA DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO MESTRADO

Ata da Defesa Remota de **Thais de Nazaré Oliveira Novais**, ocorrido no dia 18/03/2022, via Plataforma de ConferênciaWeb RNP.

Aos dezoito dias de março do ano de 2022, às 9h (horário de Manaus/AM), realizou-se a Defesa Pública de Dissertação de **THAIS DE NAZARÉ OLIVEIRA NOVAIS**, aluna do Programa de Pós-Graduação *Stricto sensu* em Ciências de Florestas Tropicais, intitulada “**Densidade da madeira: uma variável fundamental na determinação de uso e estimativa do estoque de biomassa florestal**”, sob a orientação do Prof. Dr. Philip Martin Fearnside (INPA) e coorientação da Profa. Dra. Flora Magdaline Benitez Romero (INPA), em conformidade com o Art. 52 do Regimento Geral da Pós-Graduação do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (MCTI/INPA) e Art. 67 do Regimento Interno do Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais, como parte das atividades para conclusão e obtenção do Título de Mestre em Ciências de Florestas Tropicais. A **Banca Examinadora** foi constituída pelos seguintes membros titulares: Jochen Schöngart (INPA), Angélica de Cássia Oliveira Carneiro (UFV) e Laércio Antônio Gonçalves Jacovine (UFV). O Presidente da Banca Examinadora deu início à Seção e informou os procedimentos do exame. A aluna fez uma exposição do seu estudo, e ao término foi arguida oralmente pelos membros da comissão. Após as arguições, os membros da banca se reuniram para avaliação e chegaram ao seguinte parecer:

Nome	Parecer		Assinaturas
Jochen Schöngart	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovou	<input type="checkbox"/> Reprovou	
Angélica de Cássia Oliveira Carneiro	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovou	<input type="checkbox"/> Reprovou	
Laércio Antônio Gonçalves Jacovine	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovou	<input type="checkbox"/> Reprovou	

Menção: “Com Distinção” “Com Louvor” “Com Distinção e Louvor”

Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente Ata que, após lida e aprovada, foi assinada pela Coordenação:



Philip Martin Fearnside
Orientador Titular

Philip Martin Fearnside
Presidente da Banca / Orientador



Adriano José Nogueira Lima
Coordenador do PPG-CFT/INPA
PO. N° 163/2021

Catalogação na Publicação (CIP-Brasil)

N936d Novais, Thais de Nazaré Oliveira
Densidade da Madeira: Variável Fundamental na Determinação de
Uso e Estimativa de Estoque de Biomassa Florestal./ Thais de Nazaré
Oliveira Novais; orientador Philip Martin Fearnside e coorientadora Flora
Magdaline Benitez Romero; - Manaus:[s. l.], 2022.

1.9 MB
53 p. : il. color.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós Graduação em Ciências
de Florestas Tropicais) - Coordenação do Programa de Pós-Graduação,
INPA, 2022.

1. Densidade da madeira. 2. Variação vertical. I. Fearnside, Philip
Martin. II. Romero, Flora Magdaline Benitez , coorient. III. Título.

CDD: 634.98

DEDICATÓRIA

A todos pesquisadores que dedicam suas vidas e esforços pela conservação da Amazônia, mesmo diante de todas as dificuldades inerentes ao nosso país.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, por me conceder forças, por renovar diariamente a minha esperança e por todas as bênçãos concedidas durante minha caminhada;

Agradeço à CAPES, pois o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001;

Agradeço ao PPG - CFT /INPA pela oportunidade de realizar este curso e por todo apoio durante esses anos de pesquisa;

Ao meu orientador, Dr. Philip Fearnside, e à minha coorientadora Dr^a Flora Magdaline Romero por toda atenção, paciência e confiança depositada durante a realização deste estudo. E também, ao Grupo AGROECO, coordenado pelo Dr. Philip Fearnside e Dr. Paulo Maurício Lima de Alencastro Graça, por ter concedido a estrutura necessária a mim e aos demais colegas, para desenvolvermos trabalhos que colaboram com o avanço da ciência e ensino;

Aos Pesquisadores do INPA, principalmente ao Dr. Jochen Schöngaart e à Dr.^a Claudete Catanhede do Nascimento, por toda a ajuda e acolhimento em seus laboratórios, pela transmissão de conhecimento, pela dedicação e profissionalismo repassado durante as disciplinas do curso;

Agradeço à minha família, principalmente aos meus pais, Maria de Oliveira e Pedro Novais, à minha irmã Taynara e ao meu sobrinho Cauã, por serem minha fortaleza, inspiração, e por terem me apoiado em todos os momentos;

Ao Grupo “Squad das Perfeitas”, no qual compartilhei os melhores e piores momentos durante o curso. Com este grupo, composto pela Hellen, Brendinha, Ana Luiza, João e Yanka e por mim, reforcei o verdadeiro valor de uma amizade, principalmente, quando estamos longe da família. E todos amigos que fiz durante o mestrado, em especial ao Paulinho, que não dividiu apenas o apartamento comigo durante 2 anos, mas também momentos incríveis de conversa na nossa cozinha. Compartilhamos histórias, risadas, fofocas, angústias, reclamações e muita comida;

Por fim, e não menos importante, agradeço ao “Meu lindo”, Denilson Reis, que sempre me apoiou, me ajudou e compartilhou comigo a experiência do namoro a distância, que graças a Deus deu tudo certo, pois não nos acostumamos com a distância e todos os dias acumulávamos a saudade e a vontade de estarmos juntos novamente.

RESUMO

No contexto das mudanças climáticas, a densidade básica da madeira é fundamental na quantificação da biomassa florestal e, conseqüentemente, na redução de incertezas das estimativas de biomassa das florestas tropicais. Além disso, contribui na indicação de potenciais usos comerciais, principalmente no setor da construção civil. No entanto, poucos são os estudos que descrevem as variações da densidade ao longo da árvore para espécies tropicais. Nesse contexto, o presente estudo pretende avaliar a variabilidade vertical da densidade da madeira ao longo do fuste, ajustar equações e classificar os usos de espécies comerciais provenientes da região amazônica. No total, foram amostradas 224 árvores de 20 espécies, e estas foram categorizadas por tipo de madeira em função da densidade, resultando em: espécies de madeira leve ($\leq 0,40 \text{ g cm}^{-3}$), madeira média ($0,41 - 0,60 \text{ g cm}^{-3}$) e madeira pesada ($\geq 0,61 \text{ g cm}^{-3}$). A variabilidade da densidade básica da madeira ao longo do fuste varia por tipo de madeira. Em fuste de árvores de madeira leve a densidade aumenta com a altura, e diminui em espécies de madeira média e pesada. Assim, se apenas a densidade básica da madeira obtida na base do fuste for considerada, isso acarretará em uma subestimativa de 2,89% da densidade do fuste para as espécies de madeira leve, e superestimativas de 4,12% e 2,46%, respectivamente, para as espécies de madeira média e pesada. Esses vieses sistemáticos acarretarão em erros significativos se incorporados em estimativas de biomassa florestal de ampla escala. Por meio das percentagens supracitadas e das equações desenvolvidas para estimar a densidade do fuste, é possível corrigir a variação vertical. E por fim, foi constatado que a densidade da madeira exerce influência na determinação do uso madeireiro e durabilidade. As espécies de madeira leve e a maioria de madeira média, por apresentarem menor densidade, têm seus produtos madeireiros empregados em usos temporários. Estes produtos madeireiros, após a sua utilização e descarte, originam grande quantidade de resíduos, que podem contribuir nas emissões de gases que intensificam o efeito estufa. Por outro lado, as espécies de madeira pesada, provavelmente, devido sua alta densidade, maior resistência e durabilidade natural, têm produtos com uma maior vida útil, mantendo o carbono por mais tempo armazenado.

Palavras – chave: Variação vertical, uso madeireiro, tipo de madeira, floresta tropical, sudoeste da Amazônia.

ABSTRACT

In the context of climate change, basic wood density is essential for quantifying forest biomass and for reducing uncertainties in biomass estimates for tropical forests. In addition, it contributes to the indication of potential commercial uses, mainly in the civil construction sector. However, there are few studies that describe density variations along the tree for tropical species. The present study intends to evaluate the vertical variability of wood density along the bole, fit equations and classify the uses of commercial species from the Amazon region. In total, 224 trees in 20 species were sampled, and these were categorized by type of wood as a function of density, resulting in: light-wood ($\leq 0.40 \text{ g cm}^{-3}$), medium-wood ($0.41 - 0.60 \text{ g cm}^{-3}$) and heavy-wood ($\geq 0.61 \text{ g cm}^{-3}$) species. The variability of basic density of the wood along the bole varies by type of wood. In light-wood tree trunks, density increases with height, while it decreases in medium- and heavy-wood species. Thus, if only the basic density of the wood obtained at the bottom of the bole is considered, this will result in an underestimation of 2.89% for the density of the bole for light-wood species, and overestimations of 4.12% and 2.46%, respectively, for the medium and heavy wood species. These systematic biases will lead to significant errors if incorporated into large-scale forest-biomass estimates. Through the above percentages and the equations developed to estimate the stem density, it is possible to correct for the vertical variation. Finally, it was found that wood density influences the use of the wood and its durability. Light-wood species and the majority of medium-wood species, due to their lower densities, are used for temporary products, which, after their use and discard, generate large amounts of residues that can contribute to the emission of greenhouse gases. In contrast, heavy-wood species, probably due to their high density, greater strength and natural durability, have products with a longer shelf life, keeping the carbon stored for longer periods of time.

Keywords: Vertical variation, wood use, type of wood, tropical forest, southwest of the Amazon.

SUMÁRIO

1. OBJETIVOS	13
2. MATERIAL E MÉTODOS	14
2.1. Área de estudo	14
2.2. Seleção das espécies e amostragem de madeira	15
2.3. Determinação da densidade da madeira	17
2.4. Classificação das espécies por tipo de madeira	18
2.5. Modelos testados para estimar a densidade básica do fuste	19
2.6. Classificação de uso das espécies comerciais	20
3. RESULTADOS	21
3.1. Classificação das espécies comerciais por Tipo de Madeira em função da densidade básica do fuste	22
3.2. Variabilidade vertical da densidade básica ao longo do fuste	23
3.2.1 Espécies de madeira leve	24
3.2.2 Espécies de madeira média	25
3.2.3 Espécies de madeira pesada	26
3.3. Ajuste de equação para estimar a densidade básica do fuste	28
3.3.1 Ajuste de equação para as 20 espécies comerciais	28
3.3.2 Ajuste de equação para espécies de madeira leve e média	29
3.3.3 Ajuste de equação para espécies de madeira pesadas	31
3.4. Classificação de uso madeireiro das espécies comerciais	32
4. DISCUSSÃO	35
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Lista das principais características dos indivíduos por espécie.	16
Tabela 2. Descrição dos critérios que definem as categorias do Tipos de Madeira	18
Tabela 3. Características frequentes observadas em espécies arbóreas por grupo ecológico em florestas tropicais.	19
Tabela 4. Modelos de regressão linear e não-linear para estimar a densidade básica do fuste.	20
Tabela 5. Classificação de espécies arbóreas comerciais por Tipo de Madeira e grupos ecológicos (GE) em função da densidade básica do fuste (ρ_{fuste} , g cm ⁻³). Pioneira (P), secundária inicial (SI), secundária tardia (ST), clímax (CL) e não classificada (NC).	23
Tabela 6. Densidade básica média (g cm ⁻³) por posição de amostragem no fuste e por tipo de madeira.	24
Tabela 7. Diferença relativa entre a densidade básica da madeira na base do fuste e a densidade básica da última ¹ seção amostrada do fuste por espécie.....	25
Tabela 8. Diferença relativa entre a densidade básica média da madeira na base do fuste e a densidade básica média da última ¹ seção amostrada no fuste por espécie.	26
Tabela 9. Diferença relativa entre a densidade básica média da madeira na base do fuste e a densidade básica média da última ¹ seção amostrada do fuste por espécie.	27
Tabela 10. Parâmetros e critérios avaliativos de equações linear e não-linear para estimar densidade básica do fuste de 20 (todas) espécies comerciais.....	28
Tabela 11. Parâmetros e critérios avaliativos de equações linear e não-linear para estimar densidade básica do fuste de espécies de madeira leve e média.	30
Tabela 12. Parâmetros e critérios avaliativos de equações lineares para estimar a densidade básica de espécies de madeira pesada.	32
Tabela 13. Classificação de uso de produtos madeireiros por espécie e tipo de madeira. Usos na construção civil: Pesada externa – PE, Pesada interna – PI, Leve externa – LE, Leve interna estrutural – LIE, Leve interna decorativa – LID e Leve em esquadrias – LEQ. Vida útil: Definitivo – D e Temporário – T.....	34
Tabela 14. Relação de estudos de densidade básica da madeira do fuste (ρ_{fuste}) para a região sudoeste da Amazônia brasileira, estado do Acre.	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo na Fazenda Antimary I e II - de Porto Acre-AC, em uma unidade de produção anual de 1.253,02 hectares.	14
Figura 2. Delineamento da amostragem dos discos.	17
Figura 3. Densidade básica da madeira de 20 espécies arbóreas do sudeste da Amazonia brasileira. ● média, ○ observações individuais. Intervalo de confiança de 95% para média. Os desvios padrão individuais foram usados para calcular os intervalos.	22
Figura 4. Variação vertical da densidade básica da madeira de espécies de "Madeira Leve".	25
Figura 5. Variação vertical da densidade básica da madeira de espécies de "madeira média".	26
Figura 6. Variação vertical da densidade básica da madeira de espécies de "madeira pesada".	27
Figura 7. Análise gráfica das equações ajustadas para densidade básica do fuste de 20 espécies comerciais.	29
Figura 8. Análise gráfica das equações ajustadas para densidade básica do fuste de espécies comerciais de madeira leve e média.	31
Figura 9. Análise gráfica das equações ajustadas para densidade básica do fuste de espécies comerciais de madeira pesada.	32

INTRODUÇÃO

A manutenção das florestas tropicais, como as da Amazônia, é uma das ações de mitigação das mudanças climáticas, pois, além de regular o ciclo hidrológico e manter a biodiversidade, as árvores são capazes de armazenar carbono, que compõe entre 40 a 60% da sua biomassa seca (Thomas e Martin 2012; Romero *et al.* 2020a). No entanto, a pressão exercida pelo desmatamento e degradação sobre as áreas florestais é preocupante, pois a floresta pode se tornar uma fonte potencial de emissão dos gases que intensificam o efeito estufa (Fearnside *et al.* 2009; 2018a; Baccini *et al.* 2017; IPCC 2021).

Uma alternativa, com benefícios substanciais em relação à exploração e à degradação ilegal das florestas, é o manejo florestal com técnicas de exploração de impacto reduzido (Putz *et al.* 2008; Romero *et al.* 2021), o qual visa utilizar os recursos florestais (madeireiros e não madeireiros), de forma que gera benefícios econômicos, sociais e ambientais (Putz *et al.* 2008; Brasil 2006a). O real papel desse manejo nas mitigações das mudanças climáticas ainda está sendo discutido, pois o mesmo enfrenta desafios para ser sustentável de fato (Fearnside 1989; 2018b; Richardson e Peres 2016; Barni *et al.* 2021) e possui tanto efeitos ambientais positivos quanto negativos (Keith *et al.* 2015; Romero *et al.* 2021). Por exemplo, a recuperação do estoque de carbono pela regeneração da floresta e o armazenamento do carbono em produtos madeireiros com diferentes tempos de vida são alguns dos efeitos positivos (Romero *et al.* 2020a). Do outro lado, o estoque de carbono da floresta diminui com a retirada das grandes árvores comerciais, e os mesmos produtos que armazenam carbono, quando chegam ao fim da vida útil, se deterioram e emitem gases que afetando o balanço de emissões (Romero *et al.* 2020a; 2020b; 2021).

No geral, o principal objetivo dos planos de manejo florestal é a colheita de madeira em tora para produção de madeira serrada. Sendo o principal consumidor, desses produtos madeireiros, o setor da construção civil (Zenid *et al.* 2009; SindusCon-SP e WWF 2011). É carente de informações quanto as espécies adequadas para determinados usos madeireiros, sendo necessário que a qualidade da madeira seja avaliada e para isso as propriedades físicas e mecânicas precisam ser mensuradas. Dentre essas propriedades, a densidade da madeira é historicamente a mais utilizada (Fearnside 1997) para qualificar e auxiliar na definição do uso madeireiro de determinada espécie (Deng *et al.* 2014), pois ela está relacionada com diversas outras propriedades importantes para a utilização da madeira (Chave *et al.* 2009; Lachenbruch e McCulloh 2014). Geralmente, as espécies de maior densidade são utilizadas

para usos que exigem maior resistência e durabilidade, enquanto as de menor densidade são empregadas em usos menos duráveis (Zenid *et al.* 2009; IPT 2013; Husqvarna 2016).

Além da classificação de uso, a densidade básica da madeira vem sendo avaliada como uma das variáveis mais importantes a serem incluídas em modelos alométricos (Chave *et al.* 2005; 2006; 2014), buscando melhorar as estimativas da biomassa das florestas tropicais (Baker *et al.* 2004; Chave *et al.* 2014; Goodman *et al.* 2014; Mukuralinda *et al.* 2021). Essas estimativas são essenciais para avaliações dos estoques e fluxo de carbono, bem como das emissões dos gases do efeito estufa, visando, assim, uma melhor compreensão da influência desses fatores sobre a mudança climática global (Fearnside 1997; Nogueira *et al.* 2005; Malhi *et al.* 2006).

Embora seja uma propriedade muito importante, sua determinação requer cautela, pois diversos fatores influenciam essa variável, tais como: as variações radial e vertical em função da altura da árvore (Nogueira *et al.* 2005; Momo *et al.* 2020; Billard *et al.* 2021), diferenças entre espécies e grupos taxonômicos (Chave *et al.* 2006; Zanne *et al.* 2009) e variação espacial e de tipologias florestais (Baker *et al.* 2004; Chave *et al.* 2006, 2009; Nogueira *et al.* 2007; Mitchard *et al.* 2014; Melo 2017). Além disso, há influência das condições ambientais locais, como a fertilidade do solo e as condições de luz (Baker *et al.* 2004; Muller-Landau 2004; Van Gelder *et al.* 2006).

Dentre esses fatores, o que mais exerce influência nos métodos de amostragem para determinação da densidade é a variação vertical ao longo do fuste. Diversos estudos já comprovaram que é fundamental considerar essa variação dentro da árvore, principalmente quando a densidade é usada para estimar a biomassa florestal, pois esse viés sistemático, quando não considerado, implica em erros significativos nas estimativas realizadas para vastas áreas, como a Amazônia (Nogueira *et al.* 2008; Wiemann e Williamson 2013; 2014; Wassenberg *et al.* 2015; Momo *et al.* 2020; Billard *et al.* 2020; 2021). Alguns desses estudos desenvolveram equações para corrigir as variações dentro das árvores (Nogueira *et al.* 2005; Momo *et al.* 2020; Billard *et al.* 2021) e/ou determinar pontos “ideais” de amostragens para uma única espécie (Schmitt 2017) ou para um grupo de espécies (Wassenberg *et al.* 2015). No entanto, os resultados, embora satisfatórios, não podem ser generalizados para todas as espécies, principalmente para as espécies tropicais, pois estas possuem diferentes características ecológicas que implicam em diferentes padrões de variações (Momo *et al.* 2020).

São escassos estudos que analisaram a variação vertical da densidade da madeira em espécies que compõem a região do sudoeste da Amazônia brasileira (ex., Melo 2017),

principalmente estudos que incluíssem árvores de grande porte (com diâmetro a altura do peito - DAP \geq 50 cm). As árvores de grande porte possuem uma arquitetura específica e são especialmente importantes para questões ligadas à mudança climática por terem uma contribuição desproporcional na biomassa total da floresta (Lutz *et al.* 2018; Momo *et al.* 2020). A escassez de dados sobre árvores de grande porte pode ter os seguintes motivos: por a amostragem desenvolvida ser extremamente onerosa e, principalmente, por árvores grandes possuem restrições, até mesmo para pesquisa, pois só podem ser legalmente extraídas da floresta por meio da aprovação de Plano de Manejo Florestal Sustentável – PMFS (Brasil 2006b). Dessa forma, parcerias com empresas que possuem licença para desenvolver manejo florestal é uma alternativa para que estudos como esses sejam realizados.

Neste contexto, vale ressaltar o estudo de Romero (2018) que, por meio de parceria com uma empresa que detinha um PMFS, realizou amostragem ao longo do fuste para incluir a densidade da madeira e outras variáveis nas estimativas de biomassa e carbono de árvores de grande porte. No entanto, a densidade da madeira e a influência de suas variações, tanto no sentido radial quanto longitudinal da árvore, não foram avaliadas e discutidas. Logo, o presente estudo é um complemento da pesquisa iniciada por Romero (2018), visando avaliar a densidade básica da madeira e a sua variação vertical ao longo de fuste de árvores de grande porte, bem como, propor correções para essa variação e discutir suas influências na determinação de usos madeireiros e nas estimativas de biomassa florestal na região do sudoeste da Amazônia brasileira, que se trata de uma região de grande importância ecológica e socioeconômica.

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo geral

Avaliar o papel da densidade da madeira na determinação de uso de espécies comerciais e a influência de suas variações nas estimativas de biomassa de árvores de grande porte da região do sudoeste da Amazônia brasileira.

1.2. Objetivos específicos

- Categorizar espécies arbóreas comerciais em tipo de madeira em função da densidade básica do fuste;
- Analisar a variabilidade vertical da densidade básica ao longo do fuste das espécies e por tipo de madeira;
- Desenvolver equações lineares para normalização da densidade básica do fuste;

- Classificar os usos madeireiros por espécie e por tipo de madeira.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

Este estudo utilizou o banco de dados coletados, compilados e disponibilizados por Romero (2018). O sítio de coleta está localizado em uma área privada pertencente à Fazenda Antimary I e II (9°23'43'' de latitude Sul e 67°58'50'' de longitude Oeste), localizada no município de Porto Acre-AC, na região do sudoeste da Amazônia brasileira (Figura 1). A área de estudo trata-se de uma unidade de produção anual de 1.253,02 hectares, designada como UPA 02, a qual está incluída no Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) e conta com o Plano Operacional Anual (Selivon 2014), os quais foram executados pela empresa Fox Laminados Ltda (Romero *et al.* 2020a). Na área foi realizado um Inventário Florestal 100%, em maio de 2015, que foi aprovado em 2016 pelo Instituto de Meio Ambiente do Acre (IMAC) (Selivon 2014; Romero 2018).

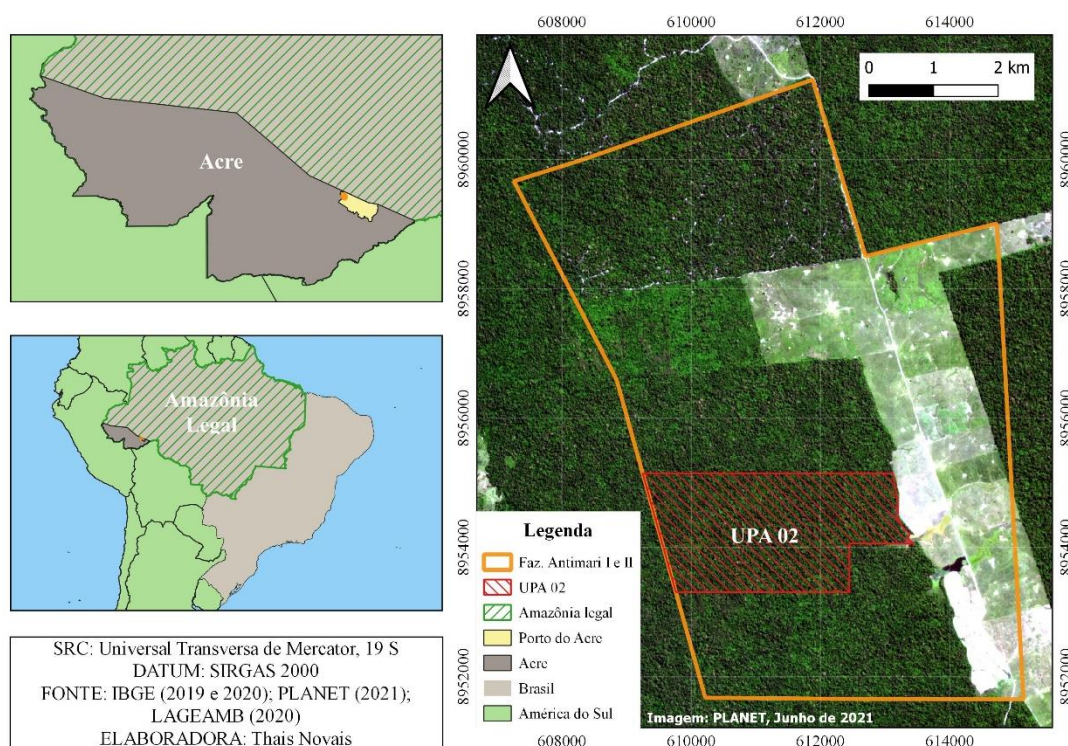


Figura 1. Localização da área de estudo na Fazenda Antimary I e II - de Porto Acre-AC, em uma unidade de produção anual de 1.253,02 hectares.

A vegetação do sudoeste da Amazônia brasileira está classificada como Floresta Úmida de Terra Firme (Whitmore 1998; Achard *et al.* 2002; Goodman *et al.* 2014). Na área manejada, a vegetação predominante é a Floresta Ombrófila Densa, mas há também, em

menor presença, a Floresta Ombrófila Aberta com Bambu (Selivon 2014; Romero *et al.* 2020b).

O Clima da região é classificado como “Am” (Köppen), caracterizado como clima tropical de monções, com estações seca e chuvosa definidas pelo vento (Alvares *et al.* 2013). A temperatura e a precipitação média anual variam entre 24 a 26 °C e 1750 a 2500 mm, respectivamente (INMET 2019). O período da estação seca ocorre durante os meses de junho a setembro, enquanto o período chuvoso é entre os meses de outubro até abril ou maio, sendo o primeiro trimestre do ano de maior acúmulo de precipitação (Duarte 2006).

Os solos predominantes na região são classificados como Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico, Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico e Latossolo Vermelho Distrófico, dependendo do solo a textura varia de argilosa a muito argilosa (IBGE 2005; Selivon 2014).

2.2. Amostragem de árvores e seleção de espécies

Para seleção das espécies, Romero (2018) baseou-se na avaliação do Índice de Valor de Cobertura, obtido a partir de informações de densidade de árvores (indivíduos ha⁻¹) e área basal (m² ha⁻¹), as quais foram provenientes do Inventário Florestal 100% realizado pela empresa responsável, no qual foram medidas todas as árvores de interesse comercial com Diâmetro a altura do peito (DAP) ≥ 50 cm. Os nomes científicos foram verificados no banco de dados da Flora 2020 do Brasil (2020).

Foram selecionadas as 20 espécies (Tabela 1) com maior valor de cobertura, as quais contribuíram com 85,9% da área basal total da área manejada. Foram amostrados um total de 224 indivíduos arbóreos, sendo número proporcional à frequência de ocorrência (indivíduo ha⁻¹) de cada espécie (Romero 2018; Romero *et al.* 2020b).

Tabela 1. Lista das principais características dos indivíduos por espécie.

Nº	Espécies	Nº de indivíduos	DAP Médio (cm)	Altura comercial média (m)
1	<i>Albizia niopoides</i> (Spruce ex Benth.) Burkart	7	65,8	14,0
2	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F.Macbr.	13	95,7	15,8
3	<i>Astronium lecointei</i> Ducke	6	62,7	15,9
4	<i>Barnebydendron riedelii</i> (Tul.) J.H.Kirkbr	5	77,0	15,3
5	<i>Castilla ulei</i> Warb.	37	79,7	11,4
6	<i>Cedrela odorata</i> L.	8	70,7	11,8
7	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	5	130,2	19,8
8	<i>Ceiba samauma</i> (Mart.) K.Schum.	22	78,9	12,6
9	<i>Copaifera multijuga</i> Hayne	6	97,8	18,2
10	<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.	11	90,4	18,3
11	<i>Eschweilera bracteosa</i> (Poepp. ex O.Berg) Miers	15	68,1	15,0
12	<i>Eschweilera grandiflora</i> (Aubl.) Sandwith	13	76,4	20,0
13	<i>Ficus insipida</i> Willd.	4	82,5	13,8
14	<i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) S.Grose	8	61,8	17,1
15	<i>Hura crepitans</i> L.	6	96,5	12,6
16	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	8	93,5	21,0
17	<i>Parkia paraensis</i> Ducke	20	86,9	15,2
18	<i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> (Huber ex Ducke) Barneby	16	62,8	14,3
19	<i>Sterculia apetala</i> (Jacq.) H.Karst.	5	75,9	17,8
20	<i>Terminalia tetraphylla</i> (Aubl.) Gere & Boatwr	9	70,7	13,4
Total Geral		224	79,6	14,9

Fonte: Romero (2018) modificado.

2.3. Amostragem e coleta de madeira do fuste

As árvores amostras foram todas cortadas a 30 cm acima do solo, incluindo aquelas com sapopemas (Romero *et al.* 2020b). Os fustes comerciais foram seccionados em toras, e da base de cada tora foram retirados discos de espessura constante (≈ 3 cm). Dos indivíduos com DAP > 80 cm, o fuste foi seccionado a cada 4,30 m até que o comprimento total da tora comercial fosse alcançado. Enquanto em indivíduos com DAP no intervalo de 50 a 80 cm, o tamanho das toras foi de 8,30 m de comprimento. Portanto, o primeiro disco, em todas as

árvores, foi retirado nos 30 cm acima do solo (Figura 2). No total foram 479 discos coletados e analisados. O número de discos retirados por indivíduo arbóreo variou de acordo com o diâmetro e o comprimento da árvore.

Essa metodologia de amostragem dos discos ao longo do fuste foi adaptada de acordo com os procedimentos operacionais da empresa para as atividades práticas na área de manejo, como a classificação do comprimento da tora para facilitar a execução da etapa de arraste.

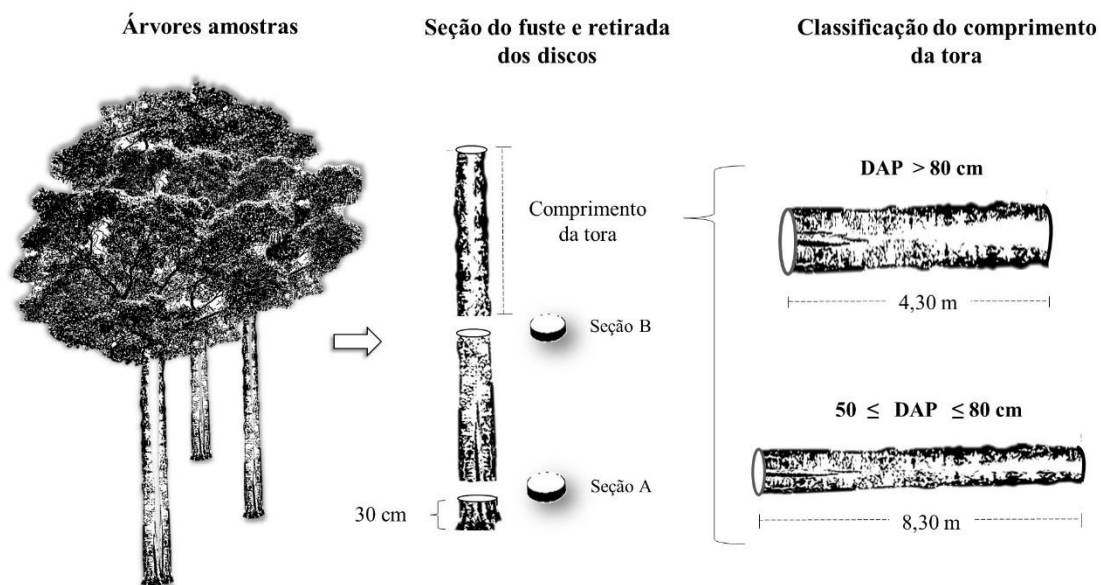


Figura 2. Delineamento da amostragem dos discos.

De modo geral, o número de discos de madeira amostrados variou entre 2 e 5 por indivíduo, e os mesmos foram classificados em seções denominadas A, B, C, D e E, de acordo com suas posições ao longo do fuste. Para todos os indivíduos amostrados a seção A correspondeu à posição da base do fuste, ou seja, a 30 cm acima do solo, enquanto as seções B, C, D e E variaram em altura de acordo com o secionamento do fuste.

2.4. Determinação da densidade básica da madeira

Os discos de madeira coletados em campo foram levados para o laboratório, e de cada um deles foi retirada uma unidade amostral denominada de “cunha”, que incluiu partes do cerne, alborno e casca, representando de forma adequada o disco. As cunhas foram imersas em água até a saturação das mesmas, para obtenção do volume saturado pelo método da imersão, o qual refere-se à aferição do deslocamento da água relacionado ao volume saturado da peça (cm³).

Posteriormente, as amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 100 ± 2 °C, até a obtenção da massa seca. A densidade básica da madeira foi

determinada por meio da razão entre a massa seca (g – 0% umidade) e o seu volume saturado (cm³; Fórmula 1). A densidade básica da madeira de cada espécie amostrada foi obtida pela média aritmética das densidades das amostras da mesma espécie (Goodman *et al.* 2014; Silva *et al.* 2015).

$$\rho = \frac{m_s}{V_{\text{sat}}} \quad (\text{Fórmula 1})$$

Onde,

ρ = densidade básica da madeira (g cm⁻³);

m_s = massa seca da madeira (g);

V_{sat} = volume da madeira saturada (cm³). Fonte:

Fonte: Adaptado de ABNT (2003).

2.5. Classificação das espécies por tipo de madeira

As 20 espécies foram categorizadas por tipo de madeira com base no valor médio da densidade básica. As espécies foram categorizadas de acordo com os critérios na Tabela 2. Os valores definindo cada intervalo são propostos por este estudo, enquanto as denominações em “Madeira leve”, “Madeira média” e “Madeira pesada” já são frequentemente usadas na literatura, inclusive pelo Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro (LPF 2021).

Tabela 2. Descrição dos critérios que definem as categorias do Tipos de Madeira

Categoria	Critério
Madeira leve	Esta categoria inclui espécies com densidade básica do fuste igual ou inferior a 0,40 g cm ⁻³ .
Madeira média	Inclui espécies com densidade básica do fuste entre 0,41 – 0,60 g cm ⁻³ .
Madeira pesada	Inclui espécies com densidade básica do fuste igual ou superior a 0,61 g cm ⁻³

Além da classificação por tipo de madeira, as espécies foram divididas em grupos ecológicos, sendo eles: “pioneiras”, “secundárias iniciais”, “secundárias tardias” e “clímax” (Budowski 1965). Para o enquadramento das espécies em cada grupo, foi realizada uma revisão de literatura, sendo considerados artigos científicos, estudos não publicados (teses e dissertações), livros e relatórios técnicos, nos quais continham informações sobre características de crescimento, tolerância à sombra, regeneração, dispersão de sementes e tipo de madeira.

Tabela 3. Características frequentes observadas em espécies arbóreas por grupo ecológico em florestas tropicais.

Características	Pioneiras	Secundárias		Clímax
		Iniciais	Tardias	
Crescimento	Muito rápido	Muito rápido	Rápido, outros lentos	Lento ou muito lento
Tolerância a sombra	Intolerante	Intolerante	Tolerante no estágio juvenil, depois intolerante	Tolerante, exceto no estágio adulto
Regeneração	Rara	Praticamente ausente	Ausente ou abundante, com grande mortalidade nos primeiros anos	Abundante
Dispersão de sementes	Anemocoria e/ou Zoocoria (ave e morcego)	Anemocoria e/ou Zoocoria (ave e morcego)	Principalmente Anemocoria	Barocoria e/ou Zoocoria (mamíferos)
Tipo de madeira	Leve	Leve	Leve a mediamente pesada	Pesada

Fonte: Budowski (1965) adaptado.

2.6. Modelos testados para estimar a densidade básica do fuste

Cinco modelos de regressão linear e não linear foram ajustados para estimar a densidade básica da madeira do fuste todo (ρ_{fuste}) a partir das variáveis independentes como densidade básica da madeira da base do fuste (ρ_{base} , g cm^{-3}), do Diâmetro à altura do peito (d, cm) e da altura comercial (h, m). Para a estimativa da densidade básica do fuste em função das variáveis apresentadas acima, utilizou-se a análise de regressão, para três cenários. No primeiro, foram consideradas todos indivíduos arbóreos das 20 espécies avaliadas neste estudo. Para formar o segundo cenário, foram consideradas as espécies de “madeira leve” junto com as “madeira média”, pois o número de amostras das espécies de madeira leve foi insuficiente para o ajuste de uma equação específica para esta categoria. No último cenário foram consideradas somente as espécies de “madeira pesada”. Os modelos testados foram os seguintes:

Tabela 4. Modelos de regressão linear e não-linear para estimar a densidade básica do fuste.

Nº	Modelos matemáticos	Tipo
1	$\rho_{\text{fuste}} = \beta_0 + \beta_1 \rho_{\text{base}} + \varepsilon$	Linear simples
2	$\rho_{\text{fuste}} = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 \rho_{\text{base}} + \varepsilon$	Linear múltipla
3	$\rho_{\text{fuste}} = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 h + \beta_3 \rho_{\text{base}} + \varepsilon$	Linear múltipla
4	$\rho_{\text{fuste}} = \beta_0 + \beta_1 \rho_{\text{base}} + \beta_2 \rho_{\text{base}}^2 + \varepsilon$	Polinomial
5	$\rho_{\text{fuste}} = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 \rho_{\text{base}} + \beta_3 d \times \rho_{\text{base}} + \varepsilon$	Linear múltipla

Onde:

β_0 e β_1 referem-se aos coeficientes da equação e ε ao erro;

ρ_{fuste} é a densidade básica da madeira do fuste todo;

ρ_{base} é a densidade básica da madeira da base do fuste;

d é diâmetro à altura do peito e h da altura comercial.

A análise do ajuste da equação foi realizada com base nos seguintes indicadores (Campos e Leite 2017):

- Coeficiente de determinação (R^2), o qual trata-se de uma medida referente a qualidade do ajustamento de uma linha de regressão:

$$r^2 = \frac{SQ_{reg}}{SQ_{total}}$$

Onde: SQ_{reg} e SQ_{total} são as somas dos quadrados da regressão e do total, respectivamente.

- Raiz quadrada do erro médio quadrático (RQEM), que amplifica e penaliza com maior força os erros de maior magnitude:

$$RQEM = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}$$

Onde: E_i = valor estimado; O_i = valor observado; n = número de observações.

- Coeficiente de variação da regressão, dado por:

$$CV = \frac{\sqrt{QMR_{reg}}}{\bar{Y}} \cdot 100$$

Onde: QMR_{reg} é o quadrado médio do resíduo da regressão; \bar{Y} é a média dos valores observados da variável dependente \bar{Y} .

- E análise da distribuição gráfica dos resíduos.

2.7. Classificação de uso das espécies comerciais

A classificação dos usos madeireiros foi de acordo com o objetivo comercial do plano de manejo florestal da área estudada, que era a extração de madeira em tora para produção de madeira serrada e beneficiada, e também, considerando o principal setor consumidor dessa produção de madeira no Brasil, que é o setor da construção civil (Zenid *et al.* 2009; SindusCon-SP e WWF 2011).

Para isso seguiu-se a classificação proposta por Zenid *et al.* (2009) com adaptações, que classifica o uso de madeira de acordo com suas propriedades físicas, principalmente a densidade da madeira, e mecânicas, nos seguintes grupos de uso dentro da Construção civil:

- **Pesada externa (PE):** peças de madeira serrada usadas em estruturas pesadas na forma estacas, escoras, dormentes, mourões, vigas, postes;
- **Pesada interna (PI):** peças de madeira serrada na forma de vigas, caibros, pranchas e tábuas utilizadas em estruturas de cobertura);
- **Leve externa (LE):** peças de madeira serrada na forma de tábuas, pontalotes, sarrafos, empregados em usos temporários como para a caixaria (fôrmas para concreto, andaimes e escoramentos);
- **Leve interna estrutural (LIE):** peças de madeira serrada na forma de ripas e caibros, utilizados em partes secundárias de estruturas de cobertura);
- **Leve interna decorativa (LID):** peças de madeira serrada e beneficiada, como forros, painéis, lambris e guarnições, onde a madeira apresenta cor e desenhos considerados decorativos;
- **Leve em esquadrias (LEQ):** Abrange as peças de madeira serrada e beneficiada, como portas, venezianas, caixilhos.

Além disso, a vida útil desses produtos foi considerada, sendo classificados em “uso temporário” e “uso definitivo” (Zenid *et al.* 2009).

3. RESULTADOS

Os valores da densidade básica do fuste (ρ_{fuste}) dos indivíduos arbóreos variaram de 0,273 a 0,891 g cm⁻³ (Fig. 3), com média \pm desvio padrão, respectivamente, de 0,560 \pm 0,164 g cm⁻³ (n= 224 indivíduos, 20 espécies) para as espécies comerciais da região sudoeste da Amazônia brasileira. Houve alta variação entre espécies ($p < 0,000$), com a densidade básica média do fuste variando de 0,288 g cm⁻³ para *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn, espécie de menor densidade, até 0,825 g cm⁻³ para *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S. Grose, de maior densidade. Além da diferença entre as espécies, houve uma notável variação, mas não significativa ($p = 0,368$), entre indivíduos da mesma espécie, como foi o caso de

Schizolobium parahyba var. *amazonicum* (Huber ex Ducke), que variou de 0,305 a 0,655 g cm⁻³ entre seus indivíduos.

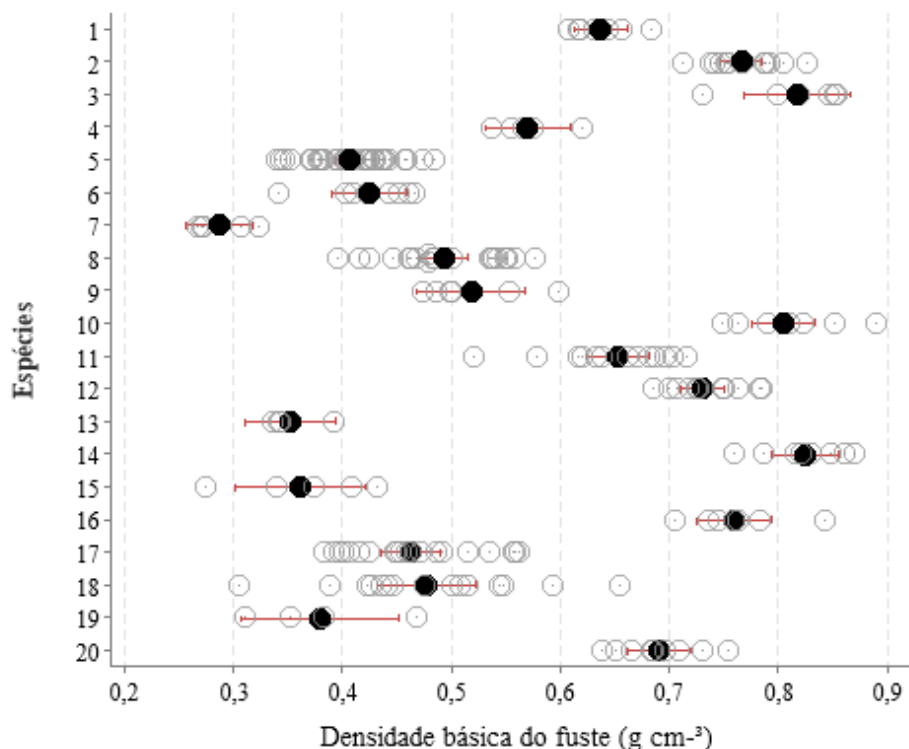


Figura 3. Densidade básica da madeira de 20 espécies arbóreas do sudeste da Amazonia brasileira. ● média, ○ observações individuais. Intervalo de confiança de 95% para média. Os desvios padrão individuais foram usados para calcular os intervalos. Espécies: 1- *Albizia niopoides* (Spruce ex Benth.) Burkart; 2- *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F.Macbr.; 3- *Astronium lecointei* Ducke; 4- *Barnebydendron riedelii* (Tul.) J.H.Kirkbr.; 5- *Castilla ulei* Warb.; 6- *Cedrela odorata* L.; 7- *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.; 8- *Ceiba samauma* (Mart.) K.Schum.; 9- *Copaifera multijuga* Hayne; 10- *Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd.; 11- *Eschweilera bracteosa* (Poepp. ex O.Berg) Miers; 12- *Eschweilera grandiflora* (Aubl.) Sandwith; 13- *Ficus insipida* Willd.; 14- *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S.Grose; 15- *Hura crepitans* L.; 16- *Hymenaea courbaril* L.; 17- *Parkia paraensis* Ducke; 18- *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (H. ex D.) B.; 19- *Sterculia apetala* (Jacq.) H.Karst.; 20- *Terminalia tetraphylla* (Aubl.) Gere & Boatwr.

3.1. Classificação das espécies comerciais por Tipo de Madeira em função da densidade básica do fuste

De acordo com a classificação proposta por este estudo, 20% (4) das 20 espécies comerciais foram incluídas na categoria “madeira leve”, 35% (7) na categoria “madeira média” e 45% (9) foram consideradas como “madeira pesada” (Tab. 5).

As espécies *Ceiba pentandra*, *Ficus insipida*, *Hura crepitans* e *Sterculia apetala* representaram a categoria de madeira leve, com densidade básica do fuste de 0,288 a 0,380 g cm⁻³, e pertencem ao grupo ecológico das pioneiras e intermediárias iniciais. A categoria das espécies de madeira média foi composta por uma espécie pioneira, *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*, e cinco espécies intermediárias tardias. Ainda na categoria de

Madeira média, a espécie *Castilla ulei* não foi classificada quanto ao seu grupo ecológico por não haver informações suficientes na literatura sobre as suas características ecológicas.

Tabela 5. Classificação de espécies arbóreas comerciais por Tipo de Madeira e grupos ecológicos (GE) em função da densidade básica do fuste (ρ_{fuste} , g cm⁻³). Pioneira (P), secundária inicial (SI), secundária tardia (ST), clímax (CL) e não classificada (NC).

Categoria	Critério	Espécie	ρ_{fuste}	GE
Madeira leve	$\rho_{\text{fuste}} \leq 0,40 \text{ g cm}^{-3}$	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn	0,288	P
		<i>Ficus insipida</i> Willd.	0,353	P
		<i>Hura crepitans</i> L.	0,361	SI
		<i>Sterculia apetala</i> (Jacq.) H.Karst	0,380	SI
Madeira média	$0,41 \leq \rho_{\text{fuste}} \leq 0,60 \text{ g cm}^{-3}$	<i>Castilla ulei</i> Warb.	0,407	NC
		<i>Cedrela odorata</i> L.	0,425	ST
		<i>Parkia paraensis</i> Ducke	0,464	ST
		<i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> (Huber ex Ducke) Barneby	0,477	P
		<i>Ceiba samauma</i> (Mart.) K.Schum.	0,493	ST
		<i>Copaifera multijuga</i> Hayne	0,519	ST
		<i>Barnebydendron riedelii</i> (Tul.) J.H.Kirkbr.	0,571	ST
Madeira pesada	$\rho_{\text{fuste}} \geq 0,61 \text{ g cm}^{-3}$	<i>Albizia niopoides</i> (Spruce ex Benth.) Burkart	0,628	ST
		<i>Eschweilera bracteosa</i> (P. ex O.Berg) Miers	0,653	NC
		<i>Terminalia tetraphylla</i> (Aubl.) Gere & Boatwr.	0,691	ST
		<i>Eschweilera grandiflora</i> (Aubl.) Sandwith	0,721	ST
		<i>Hymenaea courbaril</i> L.	0,760	ST
		<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F.Macbr.	0,766	ST
		<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.	0,805	CL
		<i>Astronium lecointei</i> Ducke	0,818	ST
		<i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) S.Grose	0,825	ST

A densidade básica do fuste das espécies de madeira pesada variou de 0,628 a 0,825 g cm⁻³. A maioria espécies incluídas nesta categoria pertenceram ao grupo ecológico das secundárias tardias, apenas *Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd foi classificada como uma espécie clímax, e não foi possível classificar a *Eschweilera bracteosa* (P. ex O.Berg) Miers.

3.2. Variabilidade vertical da densidade básica ao longo do fuste

A densidade básica ao longo do fuste foi significativamente influenciada pelo tipo de madeira ($p < 0,001$, Kruskal-Wallis). A densidade básica média das espécies de madeira leve foi de $0,346 \pm 0,056 \text{ g cm}^{-3}$, madeira média de $0,458 \pm 0,068 \text{ g cm}^{-3}$ e de madeira pesada de $0,738 \pm 0,075 \text{ g cm}^{-3}$ (Tab. 6).

Tabela 6. Densidade básica média (g cm⁻³) por posição de amostragem no fuste e por tipo de madeira.

Densidade básica	Espécies											
	Madeira leve			Madeira média			Madeira pesada			Todas		
	<i>n</i>	$\bar{X} \pm s$	IC 95%	<i>n</i>	$\bar{X} \pm s$	IC 95%	<i>n</i>	$\bar{X} \pm s$	IC 95%	<i>n</i>	$\bar{X} \pm s$	IC 95%
ρ do fuste (média ¹ de todas as Seções)	20	0,346 ±0,056	0,320 - 0,372	114	0,458 ±0,068	0,445 - 0,470	90	0,738 ±0,075	0,722 - 0,753	224	0,560 ±0,164	0,539 - 0,582
ρ da base do fuste ²	20	0,338 ±0,059	0,310 - 0,366	114	0,477 ±0,092	0,460 - 0,494	90	0,756 ±0,096	0,736 - 0,775	224	0,576 ±0,177	0,553 - 0,600
ρ da última seção vertical ³	20	0,354 ±0,067	0,323 - 0,386	114	0,441 ±0,086	0,425 - 0,457	90	0,725 ±0,071	0,710 - 0,739	224	0,547 ±0,167	0,525 - 0,569

¹ é a média aritmética; ² representada pela seção A; ³ refere-se a última seção amostrada ao longo do fuste, podendo ser a seção B, C, D ou E dependendo da espécie; *n* refere-se ao número de árvores-amostras; \bar{X} é a média aritmética e *s* o desvio padrão.

As espécies de madeira média e pesada tenderam a reduzir a densidade ao longo do fuste. Para as espécies de Madeira média, a densidade básica média obtida da base do fuste foi 4,12% maior que a média do fuste todo e 8,11% maior do que a densidade básica da última seção amostrada. Para as espécies de madeira pesada, a densidade da base foi 2,46% maior que a do fuste e 4,27% maior que da última seção. As espécies de Madeira leve seguiram a tendência oposta das demais categorias, sendo a densidade básica da base 2,23% menor que a densidade de todo o fuste e 4,54% menor que a da última seção amostrada.

Quando analisada de forma geral, ou seja, considerando todos os indivíduos das 20 espécies, sem categorizar por tipo de madeira, observou-se que a densidade básica média da base do fuste é maior que a média do fuste todo, tendo diferença relativa de 2,89%. Comparando a densidade básica da base do fuste e da última seção do fuste, verificou-se que a média seguiu a tendência de diminuição ao longo do fuste, sendo a diferença de 5,34%.

3.2.1 Espécies de madeira leve

As espécies dessa categoria, no geral, tenderam a aumento a densidade básica no sentido base – topo do fuste. Para este grupo, com exceção da *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn, houve aumentos entre 14,18 até 35,08% na densidade básica média da última seção do fuste de cada espécie em relação a densidade básica da base (seção A), sendo a *Sterculia apetala* (Jacq.) H. Karst a espécie que apresentou a maior variação relativa, de 35,08% (Tab. 7). A espécie *C. pentandra* (L.) Gaertn teve maior DAP médio (130,2 cm) entre as espécies, e, devido a isso, proporcionou um maior seccionamento do fuste, sendo a única a ter a “seção E” (Fig. 4). Esta espécie não teve grande variação vertical na densidade básica em relação

às demais da mesma categoria, embora, seguindo uma tendência sutil tanto de aumento quanto de diminuição da densidade básica ao longo do fuste, permaneceu, no final, com um decréscimo de 6,27% da seção E em relação à seção da base (seção A).

Tabela 7. Diferença relativa entre a densidade básica da madeira na base do fuste e a densidade básica da última¹ seção amostrada do fuste por espécie.

Espécie	Varição Vertical (%)
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn	- 6,27 ²
<i>Ficus insipida</i> Willd.	14,18
<i>Hura crepitans</i> L.	23,50
<i>Sterculia apetala</i> (Jacq.) H.Karst	35,08

¹ refere-se a última seção amostrada ao longo fuste, podendo ser a seção B, C, D ou E dependendo da espécie;

² sinal negativo representa diminuição da densidade ao longo do fuste (Fig.4).

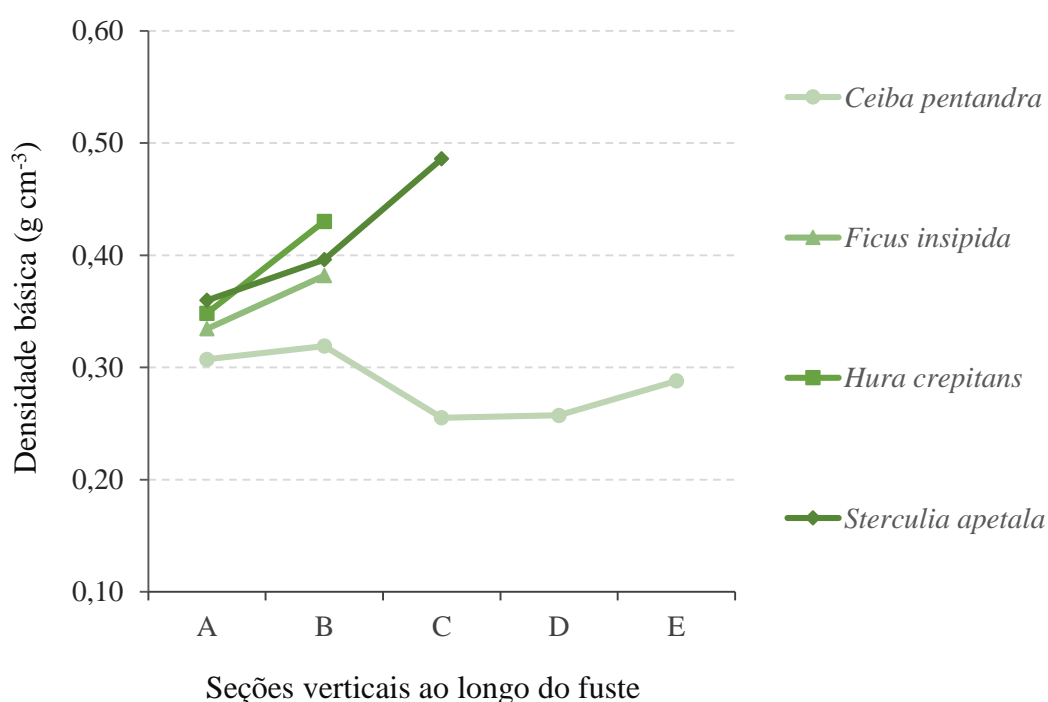


Figura 4. Variação vertical da densidade básica da madeira de espécies de "Madeira Leve".

3.2.2 Espécies de madeira média

Não houve um único padrão quanto à variação vertical da densidade básica nesta categoria. Espécies como *Ceiba samauma* (Mart.) K. Schum. e *Cedrela odorata* L. aumentaram suas densidades básicas, respectivamente, em 3,13% e 6,18% na última seção do fuste, representada pela seção B para ambas as espécies. Em contraste, as demais espécies tiveram uma diminuição de -2,60 a -36,31% na densidade básica no sentido base – topo do fuste (Tab. 8). As espécies como *Parkia paraensis* Ducke e *Schizolobium parahyba* var.

Amazonicum (Huber ex. Ducke) Barneby, tiveram as maiores variações verticais, com decréscimos de 36,31% e 34,79%, respectivamente.

Tabela 8. Diferença relativa entre a densidade básica média da madeira na base do fuste e a densidade básica média da última¹ seção amostrada no fuste por espécie.

Espécie	Variação Vertical (%)
<i>Barnebydendron riedelii</i> (Tul.) J.H.Kirkbr	- 2,60 ²
<i>Castilla ulei</i> Warb.	- 2,79 ²
<i>Cedrela odorata</i> L.	3,13
<i>Ceiba samauma</i> (Mart.) K. Schum.	6,18
<i>Copaifera multijuga</i> Hayne	- 2,64 ²
<i>Parkia paraensis</i> Ducke	- 36,31 ²
<i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>Amazonicum</i> (Huber ex. Ducke) Barneby	- 34,79 ²

¹ refere-se a última seção amostrada ao longo do fuste, podendo ser a seção B, C ou D dependendo da espécie;
² sinal negativo representa diminuição da densidade ao longo do fuste (Fig. 5).

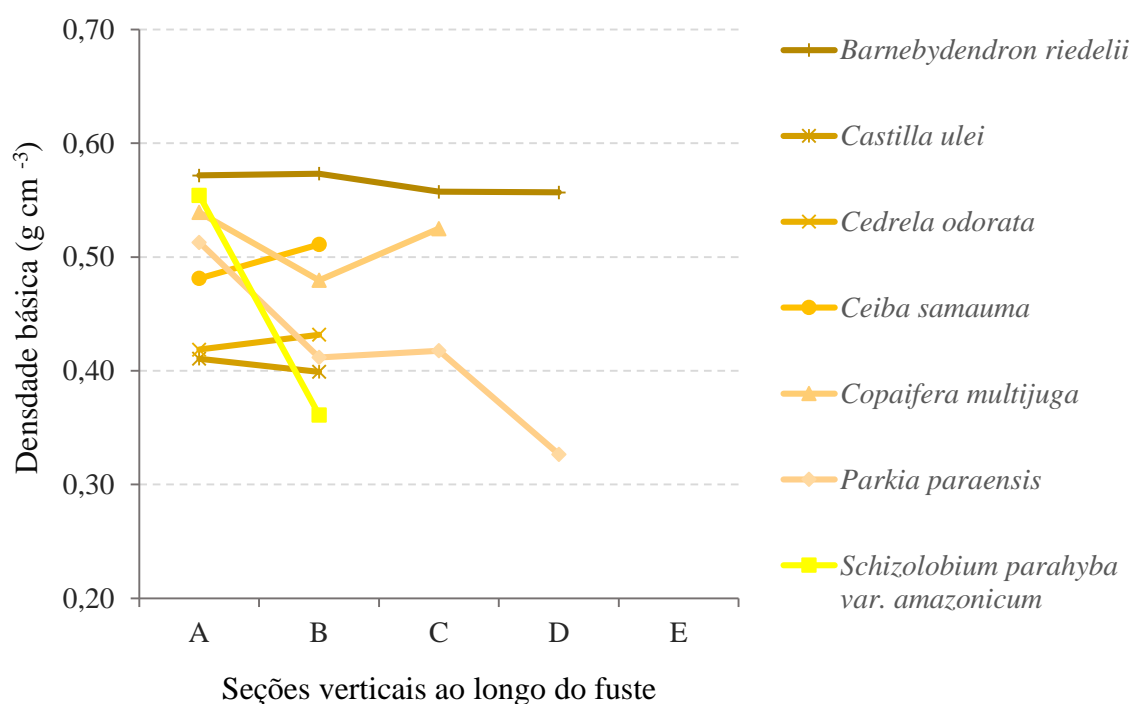


Figura 5. Variação vertical da densidade básica da madeira de espécies de "madeira média".

3.2.3 Espécies de madeira pesada

A maioria das espécies desta categoria apresentaram decréscimo de -2,71 a -7,96% na densidade básica no sentido base – topo do fuste (Tab. 9), exceto as espécies *Eschweilera bracteosa* (Poepp. Ex O Berg) Miers e *Terminalia tetraphylla* (Aubl.) Gere & Boatwr, que tiveram acréscimo de 9,23% e 2,64%, respectivamente, na densidade da última seção em relação a seção A. É interessante ressaltar que, embora a *E. grandiflora* e *E. bracteosa* sejam

do mesmo gênero, elas têm comportamentos opostos da variação da densidade básica ao longo do fuste. As variações verticais de cada espécie constam na Tabela 9, as quais foram de -7,96% até 9,23%, para *Albizia niopoides* (Spruce ex. Benth.) Burkart e *Eschweilera bracteosa* (Poepp. Ex O.Berg) Miers, respectivamente.

Tabela 9. Diferença relativa entre a densidade básica média da madeira na base do fuste e a densidade básica média da última¹ seção amostrada do fuste por espécie.

Espécie	Variação Vertical (%)
<i>Albizia niopoides</i> (Spruce ex. Benth.) Burkart	- 7,96 ²
<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F. Macbr.	- 7,50 ²
<i>Astronium leicointei</i> Ducke	- 7,85 ²
<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.	- 7,64 ²
<i>Eschweilera bracteosa</i> (Poepp. Ex O.Berg) Miers	9,23
<i>Eschweilera grandiflora</i> (Aubl.) Sandwith	- 7,08 ²
<i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) S. Grose	- 2,71 ²
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	- 2,71 ²
<i>Terminalia tetraphylla</i> (Aubl.) Gere & Boatwr.	2,64 ²

¹ refere-se a última seção amostrada ao longo fuste, podendo ser a seção B, C ou D dependendo da espécie.

²sinal negativo representa diminuição da densidade ao longo do fuste (Fig. 6).

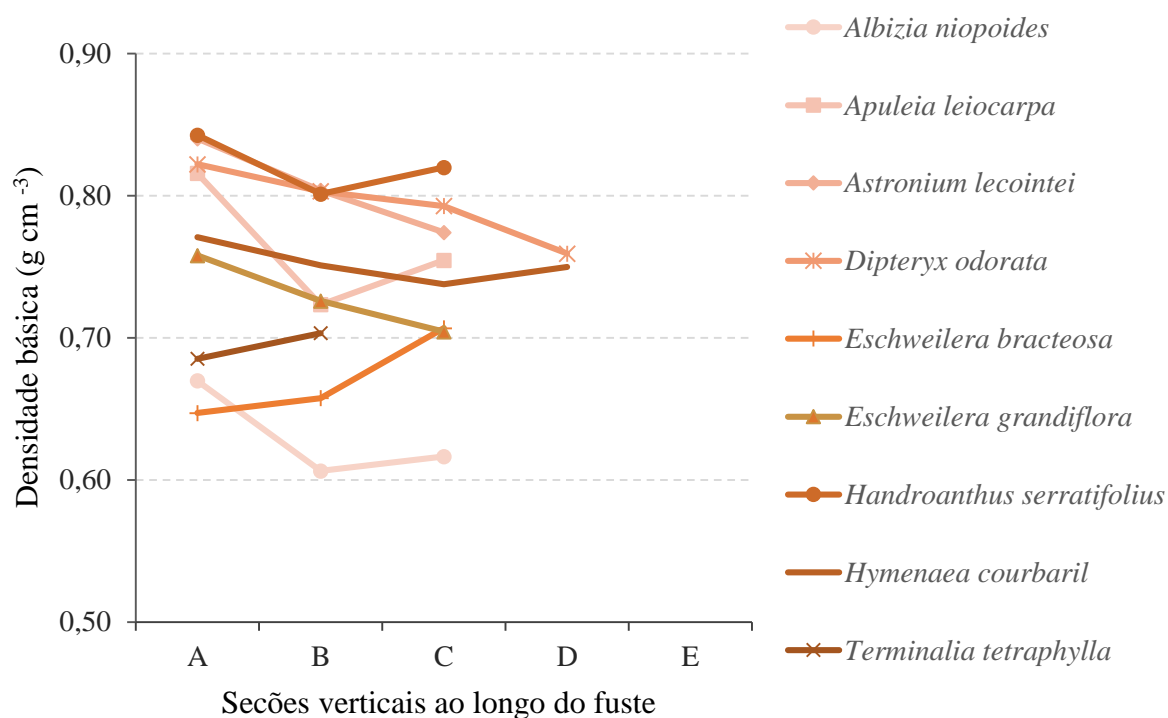


Figura 6. Variação vertical da densidade básica da madeira de espécies de "madeira pesada".

3.3. Ajuste de equação para estimar a densidade básica do fuste

3.3.1 Ajuste de equação para as 20 espécies comerciais

Dos cinco modelos testados para todas as espécies, apenas três tiveram os melhores ajustes, os quais são observados na Tabela 10. Os três modelos explicaram mais de 92% a variação da densidade básica do fuste (ρ_{fuste}), a RQEM foi a mesma de 0,045 g cm⁻³ e o CV foi de aproximadamente 8%, sendo um valor relativamente baixo, o que constata a homogeneidade dos dados e uma baixa dispersão em torno da média. No entanto, alguns dos coeficientes estimados pelos modelos n° 2 e n° 3 não foram significativos, principalmente os relacionados as variáveis diâmetro (d) e altura (h), e, devido a isso, considera-se o modelo n° 1 como o melhor dentre os demais, pois utiliza somente a densidade básica da base como variável preditora.

Tabela 10. Parâmetros e critérios avaliativos de equações linear e não-linear para estimar densidade básica do fuste de 20 (todas) espécies comerciais.

Modelo	Nº	Coeficientes	p-Valor	R ² %	RQEM	CV%																											
$\rho_{\text{fuste}} = \beta_0 + \beta_1 \rho_{\text{base}}$	1	b ₀	0,045930	0,000	92,47	0,045	8,06																										
		b ₁	0,892211	0,000				$\rho_{\text{fuste}} = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 \rho_{\text{base}}$	2	b ₀	0,036362	0,030	92,49	0,045	8,08	b ₁	0,000106	0,467	b ₂	0,894152	0,000	$\rho_{\text{fuste}} = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 h + \beta_3 \rho_{\text{base}}$	3	b ₀	0,033016	0,056	92,51	0,045	8,08	b ₁	0,000070	0,643	b ₂
$\rho_{\text{fuste}} = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 \rho_{\text{base}}$	2	b ₀	0,036362	0,030	92,49	0,045	8,08																										
		b ₁	0,000106	0,467																													
		b ₂	0,894152	0,000																													
$\rho_{\text{fuste}} = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 h + \beta_3 \rho_{\text{base}}$	3	b ₀	0,033016	0,056	92,51	0,045	8,08																										
		b ₁	0,000070	0,643																													
		b ₂	0,000693	0,419																													
		b ₃	0,886929	0,000																													

Destaca-se que a equação desenvolvida por meio do modelo n° 1 teve erro médio de 0,69% ± 9,31%, mas com resíduos individuais discrepantes, isto é, erros ao nível de árvore variando de -31,78% a 40,31% (Fig. 7). Esses erros discrepantes corresponderam principalmente às árvores com densidade de 0,30 a 0,50 g cm⁻³, ou seja, às espécies de madeira leve e média.

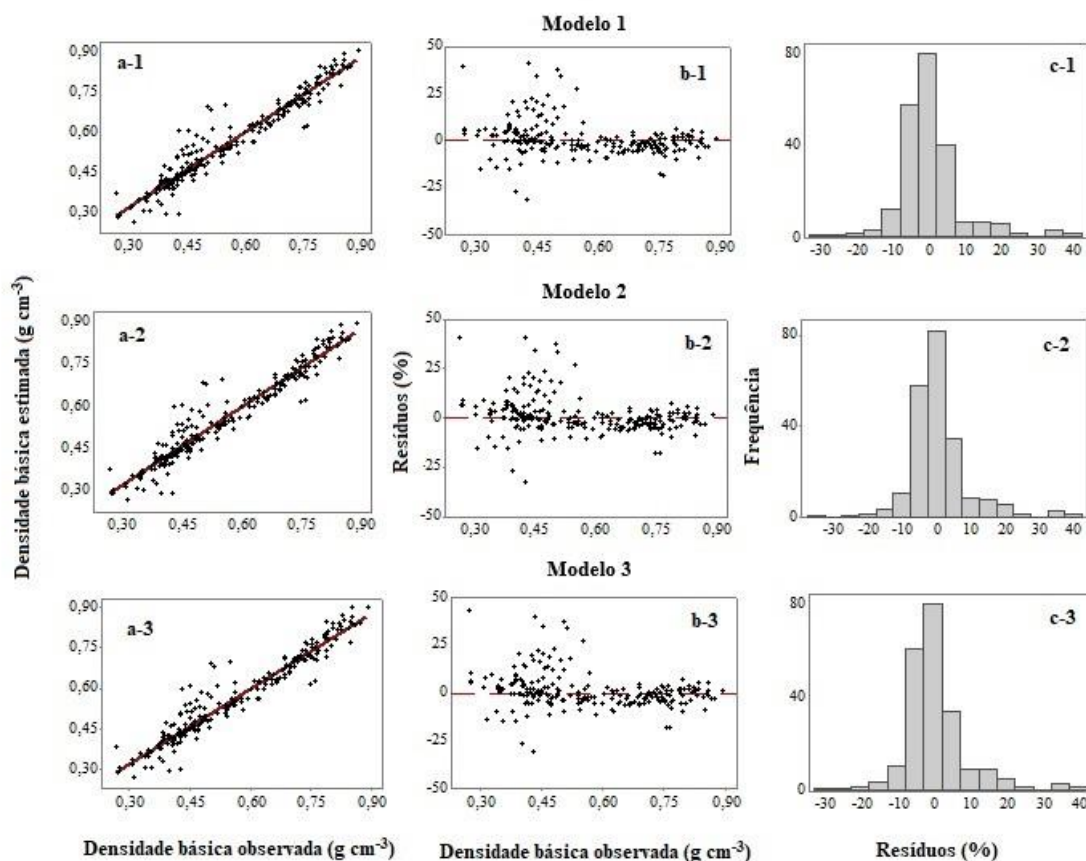


Figura 7. Análise gráfica das equações ajustadas para densidade básica do fuste de 20 espécies comerciais.

3.3.2 Ajuste de equação para espécies de madeira leve e média

As equações desenvolvidas para o cenário de espécies madeira leve e média foram as que tiveram a menor precisão, quando comparadas aos demais cenários. No entanto, na Tabela 11 encontram-se os modelos que tiveram resultados relativamente aceitáveis para estimar a densidade básica do fuste deste grupo. Dentre os três modelos, o nº 5 é o se destaca por explicar mais de 74% a variação da densidade básica do fuste (ρ_{fuste}), e por apresentar a menor RQEM ($0,039 \text{ g cm}^{-3}$) e o menor CV (8,94%). Além disso, todos os coeficientes estimados foram significativos ao nível de probabilidade de 5%.

Tabela 11. Parâmetros e critérios avaliativos de equações linear e não-linear para estimar densidade básica do fuste de espécies de madeira **leve e média**.

Modelo	Nº	Coefficientes	p-Valor	R ² %	RQEM	CV%	
$\rho_{\text{fuste}} = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 h + \beta_3 \rho_{\text{base}}$	3	b ₀	0,152691	0,000	70,84	0,042	9,57
		b ₁	- 0,000065	0,706			
		b ₂	0,000041	0,970			
		b ₃	0,643014	0,000			
$\rho_{\text{fuste}} = \beta_0 + \beta_1 \rho_{\text{base}} + \beta_2 \rho_{\text{base}}^2$	4	b ₀	- 0,017639	0,759	72,67	0,040	9,23
		b ₁	1,378064	0,000			
		b ₂	- 0,778282	0,003			
$\rho_{\text{fuste}} = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 \rho_{\text{base}} + \beta_3 d \times \rho_{\text{base}}$	5	b ₀	0,329023	0,000	74,58	0,039	8,94
		b ₁	- 0,002265	0,000			
		b ₂	0,215432	0,040			
		b ₃	0,005417	0,000			

A inclusão do diâmetro (d) como variável preditiva junto com a ρ_{base} foi significativa, a equação ajustada pelo modelo nº 5 teve erro médio de $0,75\% \pm 9,00\%$, com resíduos variando de -19,97% a 39,12%. Por meio da análise gráfica é possível confirmar que o modelo nº 5 teve uma distribuição mais uniforme dos resíduos (Fig. 8, c-5), embora ainda se constata a presença de pontos de “grandes resíduos”, além das sub e superestimativas da densidade básica do fuste (Fig. 8, b-5).

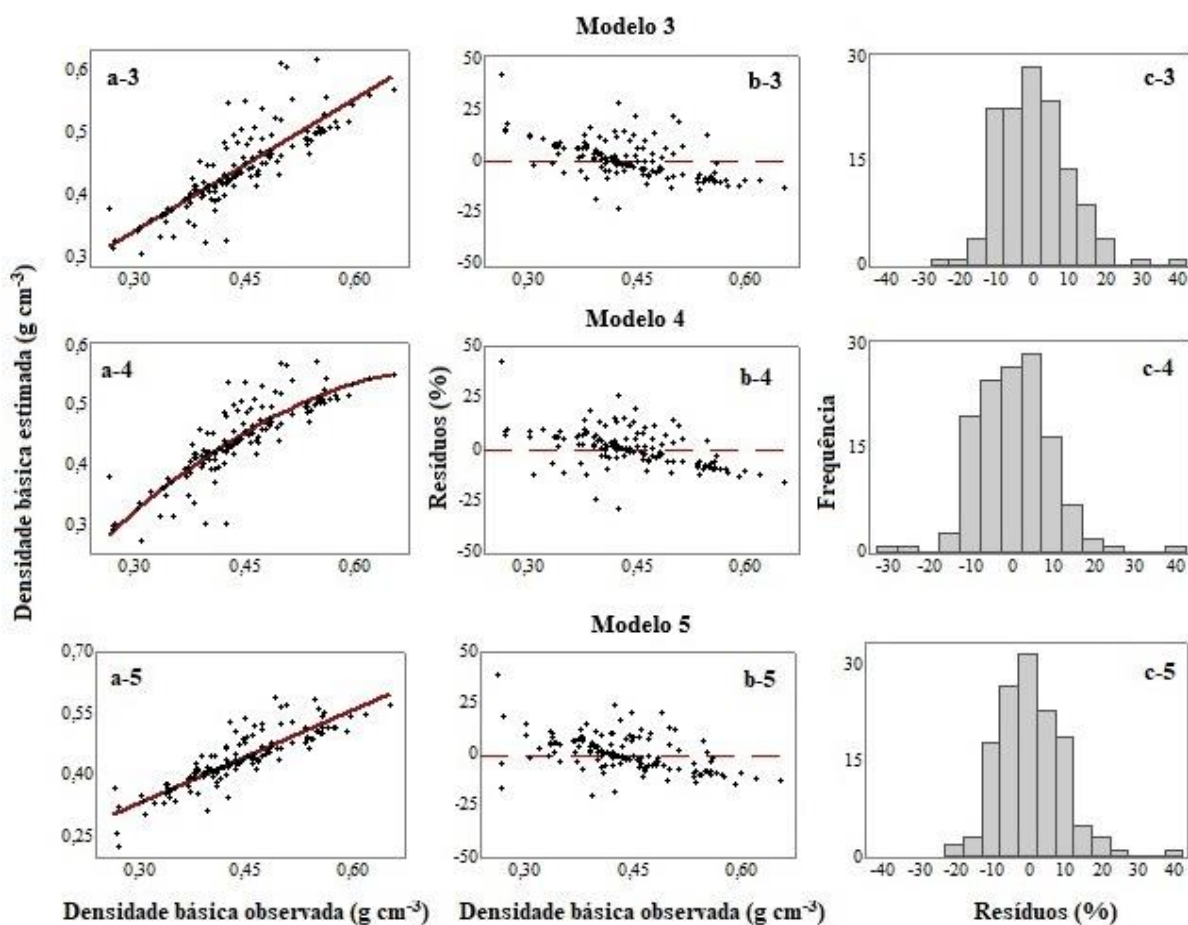


Figura 8. Análise gráfica das equações ajustadas para densidade básica do fuste de espécies comerciais de madeira leve e média.

3.3.3 Ajuste de equação para espécies de madeira pesadas

Para as espécies de madeira pesada foram desenvolvidas duas equações para estimar a densidade básica do fuste, as quais explicaram mais de 85% da variação da variável resposta (Tab. 12). Entre as duas equações, a que resultou nos melhores indicadores foi a que foi ajustada por meio do modelo 5 (RQEM = 0,026 e CV% = 3,62), a qual inclui a interação do diâmetro (d) com a ρ_{base} . Deste melhor modelo, o erro médio \pm desvio padrão foi de $0,13 \pm 3,64\%$, variando de $-12,63\%$ a $9,67\%$ individualmente. O erro médio da equação ajustada pelo modelo 1 foi de $0,16 \pm 3,94\%$ (mín.: $-13,64\%$, máx.: $13,50\%$ individualmente).

Tabela 12. Parâmetros e critérios avaliativos de equações lineares para estimar a densidade básica de espécies de madeira pesada.

Modelo	Nº	Coefficientes	p-Valor	R ² %	RQEM	CV%	
$\rho_{\text{fuste}} = \beta_0 + \beta_1 \rho_{\text{base}}$	1	b ₀	0,192120	0,000	85,61	0,028	3,85
		b ₁	0,721771	0,000			
$\rho_{\text{fuste}} = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 \rho_{\text{base}} + \beta_3 d \times \rho_{\text{base}}$	5	b ₀	-0,218471	0,062	87,64	0,026	3,62
		b ₁	0,005818	0,000			
		b ₂	1,233065	0,000			
		b ₃	-0,007263	0,001			

Por meio da análise gráfica (Fig. 9) verifica-se o bom ajustamento dos modelos para as espécies de madeira pesada, embora com a presença de alguns dados de resíduos discrepantes, como observado nos gráficos b-1 e b-5 da Figura 9.

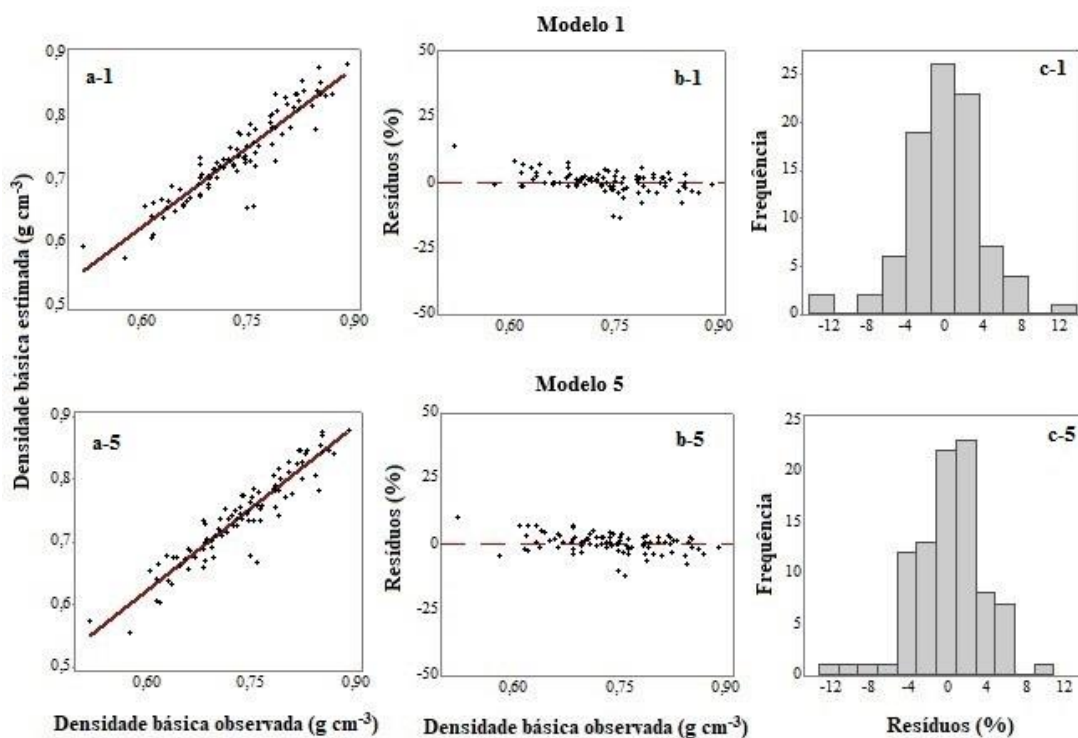


Figura 9. Análise gráfica das equações ajustadas para densidade básica do fuste de espécies comerciais de madeira pesada.

3.4. Classificação de uso madeireiro das espécies comerciais

Todas as espécies de madeira Leve, com densidade inferior a 0,40 g cm⁻³, apresentaram usos temporários na construção civil, com produtos que são utilizados principalmente nas construções leves externas (LE) como Tábuas, pontaltes e sarrafos para caixaria (Tab. 13). Dentre as espécies de madeira média, 5 espécies possuem os mesmos usos temporários que as espécies de madeira leve, mas as espécies *Copaifera multijuga* e

Parkia paraensis, além do uso temporário, possuem outros usos definitivos empregados em construções leves internas estruturais (LIE). Apenas *Cedrela odorata* e *Barnebydendron riedelii*, espécies de madeira média, possuíram unicamente usos definitivos na construção civil, sendo os usos principalmente para estruturas leves internas decorativas (LID) e leves em esquadrias (LEQ) para fabricação de portas e janelas.

Todas as espécies de madeira pesada, com densidade superior a $0,61 \text{ g cm}^{-3}$, possuíram produtos de madeira empregados em usos definitivos na construção civil, sendo esses usos principalmente para construções pesadas externas (PE) e pesadas internas (PI). Além desses usos em estruturas pesadas, as espécies como *Hymenaea courbaril*, *Apuleia leiocarpa*, *Dipteryx odorata* e *Handroanthus serratifolius* possuem produtos beneficiados que são empregados em estruturas leves internas para fins decorativos (LID) e em esquadrias (LEQ).

Tabela 13. Classificação de uso de produtos madeireiros por espécie e tipo de madeira. Usos na construção civil: Pesada externa – PE, Pesada interna – PI, Leve externa – LE, Leve interna estrutural – LIE, Leve interna decorativa – LID e Leve em esquadrias – LEQ. Vida útil: Definitivo – D e Temporário – T.

Categoria	Espécie	ρ_{fuste}	Uso madeireiro		
			Produtos PMFS	Uso na construção	Vida útil
Madeira Leve	<i>Ceiba pentandra</i>	0,288	Tábuas, pontaletes e sarrafos (Caixaria)	LE	T
	<i>Ficus insipida</i>	0,353	Tábuas, pontaletes e sarrafos (Caixaria)	LE	T
	<i>Hura crepitans</i>	0,361	Tábuas, pontaletes e sarrafos (Caixaria)	LE	T
	<i>Sterculia apetala</i>	0,380	Tábuas, pontaletes e sarrafos (Caixaria)	LE	T
Madeira Média	<i>Castilla ulei</i>	0,407	Tábuas, pontaletes e sarrafos (Caixaria)	LE	T
	<i>Cedrela odorata</i>	0,425	Pernamanca, lambril, tábuas, torneados	LID, LEQ	D
	<i>Parkia paraensis</i>	0,464	Tábuas, pontaletes e sarrafos (Caixaria), torneados	LE, LIE	T
	<i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i>	0,477	Tábuas, pontaletes e sarrafos (Caixaria)	LE	T
	<i>Ceiba samauma</i>	0,505	Tábuas, pontaletes e sarrafos (Caixaria)	LE	T
	<i>Copaifera multijuga</i>	0,519	Tábuas, pontaletes e sarrafos (Caixaria), esquadrias, ripas	LE, LEQ e LIE	D, T
	<i>Barnebydendron riedelii</i>	0,571	Tábuas, esquadrias, painel, lambril	LID, LEQ	D
Madeira Pesada	<i>Albizia niopoides</i>	0,638	Tábuas, pontaletes e sarrafos (Caixaria), prancha, ripas, vigas, caibros	PI, LIE, LE	D, T
	<i>Eschweilera bracteosa</i>	0,653	Tábuas, prancha, ripas, vigas, vigotas, caibros	PI, LIE	D
	<i>Terminalia tetraphylla</i>	0,691	Pernamanca, tábuas, vigas, ripas,	PI, LIE	D
	<i>Eschweilera grandiflora</i>	0,732	Tábuas, prancha, ripas, vigas, vigotas, caibros	PI, LIE	D
	<i>Hymenaea courbaril</i>	0,760	Pernamanca, lambril, ripas, tábuas, vigas	PE, PI, LEQ, LID	D
	<i>Apuleia leiocarpa</i>	0,766	Pernamanca, tábuas, vigas, ripas, torneados, esquadrias, lambril	PE, PI, LID, LEQ	D
	<i>Dipteryx odorata</i>	0,805	Pernamanca, tábuas, vigas, ripas, esquadrias, lambril	PI, LID, LEQ	D
	<i>Astronium lecointei</i>	0,818	Dormentes, postes, mourões, pernamanca, estacas/esteio, ripas, tábuas, vigas	PE, PI	D
	<i>Handroanthus serratifolius</i>	0,825	Dormentes, postes, mourões, vigas, tábuas, estacas, esquadrias	PE, PI, LEQ	D

4. DISCUSSÃO

Densidade básica da madeira de espécies do sudoeste da Amazônia brasileira

A densidade da madeira possui diversas variações, e a geográfica é uma delas. Entre as próprias regiões da floresta amazônica, seja ela nacional ou internacional, há diferença nos valores médios determinados, os quais formam um gradiente de aumento da densidade no sentido do Sudoeste (menor densidade) – Noroeste (maior densidade) da Amazônia. (Baker *et al.* 2004; Chave *et al.* 2006, 2009; Nogueira *et al.* 2007; Mitchard *et al.* 2014). Por exemplo, a média da densidade da madeira determinada neste estudo ($0,560 \pm 0,164$), região do sudoeste da Amazônia, é menor em relação as regiões do sul da Amazônia ($0,593 \pm 0,113 \text{ g cm}^{-3}$; Nogueira *et al.* 2007) e centro da Amazônia ($0,647 \pm 0,093 \text{ g cm}^{-3}$; Nogueira *et al.* 2005). Esse gradiente de variação, pode ser explicado pela ocorrência de diferentes tipologias florestais (Nogueira *et al.* 2007), como as florestas ombrófilas densas e abertas, que têm composições florísticas diversas (Chave *et al.* 2006; Zanne *et al.* 2009). Além disso, há influência das condições ambientais, como fertilidade do solo (Muller-Landau 2004; Quesada *et al.* 2012; Mitchard *et al.* 2014) e de luminosidade (Van Gelder *et al.* 2006), que são fatores inversamente proporcionais com a densidade da madeira, ou seja, ambientes mais férteis e luminosos propiciam crescimento mais rápido, resultando em árvores com menores densidades da madeira.

Esses fatores florísticos e ambientais, quando associados a fatores de amostragem dos dados (Williamson e Wiemann 2010; Wassenberg *et al.* 2015), podem explicar as diferenças relativas entre densidade da madeira de diferentes áreas florestais da mesma região, como pode se observar na Tabela 14, onde o estudo atual é comparado com outros estudos desenvolvidos na região do sudoeste da Amazônia brasileira.

Tabela 14. Relação de estudos de densidade básica da madeira do fuste (ρ_{fuste}) para a região sudoeste da Amazônia brasileira, estado do Acre.

Autor	$\rho_{\text{fuste}} \text{ média}$ (g cm ⁻³)	Tipo de floresta ¹	Amostragem			
			<i>n</i>	Nº espécies	DAP	Variação vertical
Estudo atual	0,560 ± 0,164	FD (96%), FAB (4%)	196	20	≥ 50 cm	Considerada
Melo (2017)	0,577 ± 0,036	FAP (área 1) ²	81	69	≥ 10 cm	Considerada
	0,594 ± 0,036	FAP (área 2) ²				
França (2002) corrigido por Nogueira <i>et al.</i> (2007)	0,601 ± 0,031	FD	100	123 ³	> 2,5 cm	Não Considerada ⁴
	0,517 ± 0,034	FAB	100			

¹ Tipos de floresta: Floresta Ombrófila Densa – FD, Floresta Ombrófila Aberta com bambu – FAB, Floresta Ombrófila Aberta com palmeiras – FAP; ² Área 1 está localizado no Seringal do Limoeiro (município de Bujari) e o Área 2 no Seringal de Santa Quitéria (município de Brasiléia), ambos no estado do Acre; ³ 19,5 % desse total foi identificação somente a nível de gênero; ⁴ amostras somente ao nível do DAP.

Embora determinada em uma área de floresta predominantemente densa, a densidade básica média do fuste deste estudo foi 2,94% e 5,72% menor que as densidades básicas médias nas áreas 1 e 2 analisadas por Melo (2017), respectivamente, ambas localizadas em floresta aberta com palmeiras. No entanto, ao comparar a ρ_{fuste} do presente estudo com os valores das duas áreas avaliadas por França (2002), constata-se que as diferenças entre as duas foram maiores, sendo a densidade básica média do estudo atual 6,82% menor que a da área de floresta densa e 8,31% maior que a da área de floresta com bambu naquele estudo. É possível que essas maiores diferenças ocorreram devido à variabilidade vertical da densidade da madeira não ser considerada nos métodos de amostragem no estudo de França (2002).

Variação da densidade da madeira ao longo do fuste

Está bem documentado de que há uma influência real da variabilidade vertical na densidade média ao longo do fuste, que pode diferir significativamente da densidade de amostras retiradas apenas à altura do peito (1,30 m acima do solo) ou da base do fuste (Nogueira *et al.* 2005; 2007; Wiemann e Williamson 2014; Wassenberg *et al.* 2015; Longuetaud *et al.* 2017; Billard *et al.* 2021). Nogueira *et al.* (2007), por exemplo, sugeriram o decréscimo de 4,2% para estimar os valores médios da densidade básica reportados por França (2002), sendo essa percentagem concluída a partir da análise de 119 espécies de áreas florestais do sul da Amazônia brasileira. Outros valores percentuais também foram encontrados para corrigir a densidade básica amostrada somente da base

do fuste ou ao nível da altura do peito, como o valor de 4,3% para Amazônia central (Nogueira *et al.* 2005) e o valor de 3,2% para o sudoeste da Amazônia (Melo 2017).

A partir dos dados atuais coletados de 224 indivíduos de 20 espécies, sugere-se a redução de 2,89% no valor médio da densidade básica da madeira, caso somente amostras ao nível da base do tronco sejam coletadas. No entanto, sugere-se, principalmente, que essa correção seja feita por categoria de tipo de madeira, pois foi verificado que o comportamento da variabilidade vertical da densidade ao longo do fuste das espécies de madeira leve difere das categorias de madeira média e pesada. Desta forma, constatou-se que o uso de amostras da base do tronco de espécies de madeira leve causa uma subestimativa de 2,89% da densidade básica do fuste, enquanto o uso de amostras da base do tronco de espécies de madeira média e pesada, causa superestimativas de 4,12% e 2,46%, respectivamente.

Essa classificação por tipo de madeira, em função da densidade básica, tem o objetivo de facilitar e contribuir para um melhor manejo das florestas (Reis *et al.* 2019), por meio da definição de metodologias e práticas de manejo aplicáveis a cada grupamento. Além disso, ao agrupar essas espécies e tentar explicar os diferentes padrões da variabilidade vertical da densidade ao longo do fuste, auxilia na compreensão do quanto essa variável está interligada com as estratégias de vida das árvores e com as suas funções ecológicas dentro da floresta (Poorter *et al.* 2008; Chave *et al.* 2009; Henry *et al.* 2010; Larjavaara e Muller-Landau 2010; Becker *et al.* 2012).

Os padrões de variabilidade vertical de densidade da madeira das espécies avaliadas neste estudo (Figs. 4, 5 e 6) corroboram com descobertas descritas anteriormente (Henry *et al.* 2010; Larjavaara e Muller-Landau 2010; Longuetaud *et al.* 2017; Momo *et al.* 2020). Ao agrupar por tipo de madeira, observou-se que as espécies de madeira leve são, geralmente, pioneiras ou secundárias iniciais, e essas tendem a aumentar a sua densidade de madeira em direção à copa das árvores (Momo *et al.* 2020). Essas espécies possuem vida curta (Budowski 1965; Marciel *et al.* 2003) e necessitam de altas taxas de crescimento nos estágios iniciais (Poorter *et al.* 2008; 2010; Chave *et al.* 2009) e, para isso, produzem inicialmente madeira de baixa densidade e, posteriormente, madeira mais densa, em função da redução da taxa de crescimento e para manter estabilidade estrutural (Larjavaara e Muller-Landau 2010; Lehnebach *et al.* 2019). Em contraste, a categoria de madeira pesada, representada por espécies secundárias tardias e clímax, no geral, exibem perfis de variação vertical decrescentes (Momo *et al.* 2020), onde inicialmente produzem uma maior quantidade de madeira por unidade de volume, e

depois essa quantidade diminui, contribuindo para menor densidade (Larjavaara e Muller-Landau 2010).

Os dois conjuntos principais de características descritos acima são os extremos de um contínuo de possibilidades, onde as variações observadas são complexas e altamente dependentes das características funcionais e estratégicas de cada espécie (Longuetaud *et al.* 2017). Por exemplo, espécies com características intermediárias, como as espécies de madeira média deste estudo, apresentaram tanto variações verticais com tendências crescentes (*Ceiba samauma*) quanto tendências altamente decrescentes (*Parkia paraensis*), ou até mesmo praticamente constantes (*Barnebydendron riedelii*), o que torna difícil de se obter um padrão típico, sem considerar uma média.

Além disso, essa variabilidade vertical pode estar relacionada com a variação radial no fuste, e, quando analisadas juntas, esses tipos de variação podem explicar melhor as tendências de variações de muitas espécies (Nogueira *et al.* 2005; Henry *et al.* 2010; Wassenberg *et al.* 2015; Billard *et al.* 2021). Neste estudo não houve a possibilidade de analisar as variações radiais, mas elas foram consideradas, pois as amostras foram retiradas em forma de disco completo (cerne, alburno e casca). As variações radiais estão também relacionadas às diferentes estratégias de vida (Bastin *et al.* 2015; Hietz *et al.* 2013), e podem ser explicadas pela idade cambial, pelo tamanho dos anéis de crescimento, bem como pelas proporções de diferentes tipos de madeira, como a madeira juvenil e madura, onde esses fatores podem mudar suas proporções, aumentando ou diminuindo com a altura da árvore (Chowdhury *et al.* 2013; Bastin *et al.* 2015; Longuetaud *et al.* 2017; Billard *et al.* 2021), desta forma impactando também a variação vertical.

Os estudos de variações verticais são menos frequentes em relação aos estudos de variações radiais (Billard *et al.* 2021), principalmente para florestas tropicais. Por isso, torna-se importante o atual estudo da variabilidade vertical da densidade ao longo do fuste, tanto a nível taxonômico (espécies) quanto funcional (grupos ecológicos), pois permite auxiliar num melhor aprimoramento das estimativas de biomassa do fuste de árvores, assim como a contabilidade do carbono em árvores tropicais (Momo *et al.* 2020; Billard *et al.* 2021).

Equações para estimar a densidade básica do fuste

Neste estudo, além de verificar o quanto e o como a variação vertical da densidade básica é apresentada por espécie e por categoria de tipo de madeira, e de sugerir

percentagens para corrigir a variabilidade vertical da densidade, equações também foram desenvolvidas (Seção 4.3) para estimar a densidade básica do fuste de árvores com DAP ≥ 50 cm de 20 espécies comerciais, diferenciando também por tipo de madeira, com o objetivo de incluir a variável mais significativa (ρ_{base}), e também, as mais convenientes para medição em campo (d e h).

Para os três cenários avaliados (“todas as espécies”, “espécies de madeira leve e média” e “espécies de madeira pesada”), as equações que tiveram somente a densidade da base (ρ_{base}) como variável preditiva forneceram o melhor ajuste para estimar a densidade de todo o fuste, pois a ρ_{base} sozinha explicou mais de 70% das variações de todas as regressões (Tabela 10, Tabela 11 e Tabela 12). As variáveis diâmetro e altura, embora sejam mais convenientes para medição em campo, não foram significativas para aprimorar a maioria das estimativas, com exceção do modelo nº 5. Sem considerar essa exceção, a possível explicação para o fato do diâmetro e, principalmente, a altura não serem variáveis significativas é devido à não existência de uma relação consistente entre a densidade da madeira e o tamanho da árvore (Phillips *et al.* 2019). Por exemplo, alguns estudos constataram correlações positivas e negativas, mas estas correlações foram fracas (Matínez-Cabrera *et al.* 2011; Becker *et al.* 2012; Kunstler *et al.* 2016; Weber *et al.* 2018), enquanto outros estudos demonstraram que essas variáveis são amplamente independentes (Nogueira *et al.* 2005; Coelho de Souza *et al.* 2016; Hietz *et al.* 2017). Phillips *et al.* (2019) afirmaram que o tamanho da árvore não é um bom indicador da densidade da madeira, e, por isso, as dimensões (d e h) das árvores não podem ser usadas para inferir a densidade. Desta forma, das equações desenvolvidas neste estudo para o cenário de “todas as espécies”, recomenda-se as que tiveram somente a ρ_{base} como variável preditiva, enquanto para os cenários de “madeira leve e média” e “espécies de madeira pesada”, o diâmetro junto com a densidade da base do fuste contribuíram para um melhor ajuste e, por isso, recomenda-se a equação desenvolvida no modelo nº 5.

Essas equações são alternativas importantes para a normalização da densidade básica do fuste (Nogueira *et al.* 2008; Momo *et al.* 2020), pois amostrar árvores inteiras para quantificar a densidade básica da madeira ao longo do fuste, conforme realizado neste estudo, é extremamente oneroso e raramente é feito para aplicações práticas (Williamson e Wiemann 2010), principalmente quando se trata de espécies de árvores de grande porte. Desta forma, basear-se em valores aproximados de densidade básica da madeira é frequentemente a única maneira pragmática de obter uma estimativa mais

precisa (Demol *et al.* 2021). Portanto, desenvolver equações para grupos de espécies que possuem características e comportamentos próximos já é um grande avanço.

Densidade influenciando na determinação do uso madeireiro

A densidade da madeira está relacionada com as demais propriedades físicas e mecânicas (Chave *et al.* 2009; Lachenbruch e McCulloh 2014), e, por isso, ela é usada como indicador importante de qualidade da madeira e para a seleção de espécies para diversas utilizações (Deng *et al.* 2014; Reis *et al.* 2019). As espécies de florestas tropicais possuem diferentes densidades e fornecem qualidades variadas que podem ser adequadas em aplicações específicas, e, devido a essa grande diversidade, agrupar as espécies por categorias de madeira que têm características físico-mecânicas similares é uma das estratégias que facilitam a destinação de uso (Zenid *et al.* 2009; Reis *et al.* 2019).

Dentre as propriedades físico-mecânicas, já foi demonstrado que a densidade da madeira é a melhor variável para discriminar grupos de espécies comerciais da Amazônia brasileira (Reis *et al.* 2019), e, devido a isso, no presente estudo as três categorias de tipo de madeira – Madeira Leve, Madeira Média e Madeira Pesada – foram definidas por meio da densidade básica, e os resultados demonstram que as espécies, de cada categoria, possuem usos madeireiros específicos (Tabela 13), os quais originam produtos que podem ter ou não maior tempo de vida útil.

Os produtos madeireiros originados das espécies de madeira leve possuem baixa resistência, e, devido a isso, são empregados em usos temporários na construção civil (Tabela 13), como em construções externas (ex.: formas para concreto, andaimes e escoramentos). O mesmo foi constatado para a maior parte das espécies de madeira média, com exceção das espécies *Cedrela odorata* e *Barnebydendron riedelii*, que possuem maior valor agregado devido aos aspectos decorativos, que também são importantes (Santos *et al.* 2020). As espécies de madeira pesada são transformadas em produtos madeireiros com vida útil a longo prazo, ou seja, são empregados em usos definitivos na construção civil, desde o uso mais bruto (construções pesadas externas) até os mais nobres (usos decorativos internos e em esquadrias).

A importância dessa avaliação de uso dos produtos madeireiros é, principalmente, em saber a vida útil desses produtos, pois os mesmos armazenam carbono e, dependendo da forma de uso, esse elemento permanecerá armazenado por menos ou mais tempo, contribuindo na discussão e compreensão dos estudos em relação às emissões de gases do efeito estufa (GEE). Avaliando os mesmos indivíduos arbóreos do estudo atual,

Romero *et al.* (2020a) constataram que produtos madeireiros originados das espécies de menor densidade ($< 0,50$ g cm) armazenam menos carbono do que os produtos originados de espécies de maior densidade ($> 0,50$ g cm). Os produtos originados das espécies de menor densidade armazenam menos carbono por serem menos densos, e esses produtos são empregados em usos temporários, e, quando não são reutilizados e/ou reciclados (Brito *et al.* 2016; Ribeiro *et al.* 2016), são descartados – sendo essa opção a mais frequente no Brasil (Silva *et al.* 2016; Kern *et al.* 2018) – e se transformam em grandes resíduos da construção civil, os quais são depositados em aterros sanitários e contribuem posteriormente nas emissões de GEE, como o CO₂ e CH₄ (Kern *et al.* 2018; Maciel *et al.* 2018).

Minimização de resíduos e emissões

Tentar minimizar a geração dos resíduos madeireiros originados de usos temporários da construção civil já é uma realidade. Vários estudos e normas regulatórias, como a Resolução CONAMA nº 307/2002 (Brasil 2002), estão contribuindo nas discussões na busca de soluções que visam a reutilização (Brito *et al.* 2016; Ribeiro *et al.* 2016), a reciclagem (Lima e Lima 2009; Paschoalin Filho *et al.* 2015) e a redução desses resíduos madeireiros (Tam *et al.* 2005; Jaillon *et al.* 2009; Kern *et al.* 2018; Maciel *et al.* 2018).

No estudo atual, por se tratar de árvores extraídas em áreas de manejo de floresta nativa com a finalidade de produção madeireira, uma possível alternativa seria por meio da classificação dos usos não madeireiros que as mesmas espécies podem oferecer. Ressalta-se a importância dos produtos florestais não madeireiros (PFNM), porque algumas espécies que possuem usos temporários na construção civil, como a *Copaifera multijuga* e a *Ceiba pentandra*, têm mais valor agregado em seus PFNM do que nos seus produtos madeireiros, pois o valor econômico pode ser compensado pelo comércio dos PFNM (Souza *et al.* 2005; Santos e Guerra 2010; SEMA/AC 2019; RSPA 2021), fazendo com que seja evitada a derrubada das árvores e, portanto, evitando a geração e o descarte dos resíduos madeireiros dessas espécies, mantendo desta forma, o carbono estocado dentro da floresta, além de contribuir pela manutenção dos outros serviços ambientais, como a ciclagem de nutrientes e água.

A maioria das espécies de madeira pesada oferecem tanto produtos madeireiros quanto não madeireiros, ambos relevantes e com alto valor econômico, como a *Dipteryx odorata*, *Apuleia leiocarpa*, *Hymenaea courbaril* e *Handroanthus serratifolius*, e devido

a isso são as que mais possuem conflito de uso (Herrero-Jáuregui *et al.* 2009). Essas espécies são as mais valiosas no mercado madeireiro de floresta nativa e, por isso, são as mais exploradas (Nam *et al.* 2018), pois possuem melhor resistência e durabilidade de seus produtos (Chave *et al.* 2009; Reis *et al.* 2019) e são as que mais estocam carbono (Romero *et al.* 2020a), mas também são apreciadas pelos seus usos não madeireiros, sendo o consumo voltado para usos alimentícios, tecnológicos (ex.: cosméticos), medicinais e para reflorestamento (Herrero-Jáuregui *et al.* 2009; EMBRAPA 2021; RSPA 2021).

O conflito de uso dessas espécies é difícil, pois podem envolver interesses distintos entre os produtos madeireiros e não madeireiros (Herrero-Jáuregui *et al.* 2009), e, para isso, é necessário que pesquisas continuem buscando formas de como integrar esses usos conflitantes em planos de manejo florestal. Além disso, é também fundamental que haja enriquecimento de espécies em áreas exploradas e investimento em recuperação de áreas degradadas por meio do reflorestamento.

A recomendação de Romero *et al.* (2020a) de como manejar as espécies analisadas é apoiada no estudo atual, ou seja, é recomendável que espécies que possuem madeira pesada, por serem as mais exploradas e terem crescimento lento, sejam plantadas (enriquecidas) nas florestas manejadas e que suas regenerações sejam conduzidas, pois a aplicação desses sistemas silviculturais de pós-colheita poderá garantir a diversidade ecológica (Vidal *et al.* 2016) e a produção madeireira (Neves *et al.* 2019) e favorecer o estabelecimento da regeneração natural e o crescimento de indivíduos remanescentes potencialmente capazes de substituir as árvores colhidas (Schwartz *et al.* 2013).

No caso das espécies de madeira leve e média, recomenda-se que haja investimento em florestas plantadas, pois além de ser uma forma de reflorestar áreas alteradas ou degradadas (Schwartz *et al.* 2017), poderá diminuir a exploração de árvores dessas espécies em floresta nativas, e estas espécies, por sua vez, ao serem mantidas na floresta, evitam o emprego de seus produtos madeireiros em usos temporários e podem cumprir as funções ambientais e ecológicas, como armazenamento de carbono, ciclagem de nutrientes e água, e até mesmo servindo como matrizes para subsidiar a implantação de reflorestamento.

Portanto, em tempos de drásticas alterações no clima do planeta, é dever de todos, principalmente do setor produtivo e das instituições de pesquisa, buscar metodologias e estratégias para realizar adequadamente o manejo das florestas, estabelecendo a integração dos produtos madeireiros e não madeireiros, visando a maximização de

benefícios pela diversificação (Herrero-Jáuregui *et al.* 2009). Ressalta-se, ainda, que todos os setores, principalmente, o setor madeireiro e as indústrias compradoras de madeira, como a construção civil, dependem da floresta, que é uma das principais fontes de matéria-prima, e, por isso, conservar a floresta é uma condição fundamental para a manutenção do empreendimento ao longo prazo (Zenid *et al.* 2009).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo apresenta dados sobre a densidade básica da madeira de espécies comerciais do sudoeste da Amazônia brasileira e discute a importância dessa variável tanto nas estimativas de biomassa florestal quanto na determinação de usos madeireiros. Além disso, as espécies analisadas foram classificadas em categorias de tipo de madeira em função da densidade básica, com objetivo de analisar o papel e o comportamento dessa variável nas diferentes categorias.

As espécies de madeira leve e a maioria de madeira média, por apresentarem baixa densidade, têm seus produtos madeireiros empregados em usos temporários no setor da construção civil. Estes produtos originam grande quantidade de resíduos que podem contribuir nas emissões de GEE. Diferente das espécies de madeira pesada, que, devido à sua alta densidade, são usadas para produtos, com vida útil longa, mantendo o carbono armazenado a longo prazo nos produtos.

O comportamento da variação vertical da densidade básica ao longo do fuste difere por tipo de madeira, onde espécies de madeira leve aumentam a densidade com a altura, e as de madeira média e pesada diminuem. Desta forma, se apenas a densidade da base do fuste for considerada, isso acarretará em uma subestimativa de 2,89% da densidade básica do fuste para as espécies de madeira leve, e superestimativas de 4,12% e 2,46% para as espécies de madeira média e pesada, respectivamente. É possível corrigir a variação vertical por meio dessas percentagens supracitadas ou pelas equações desenvolvidas neste estudo. Assim, as equações que melhor estimaram a densidade do fuste, na maioria, foram as que tiveram apenas a densidade da base como preditora. As dimensões das árvores como diâmetro e altura, no geral, não são bons indicadores para estimar a densidade da madeira de árvores.

A correção da variabilidade vertical da densidade da madeira ao longo do fuste é necessária, pois mesmo um pequeno viés sistemático, representado em percentagem, implica em erros significativos nas estimativas de biomassa e estoque de carbono quando os valores são aplicados em escalas amplas de recurso florestal em nível regional,

nacional ou internacional, como no caso da floresta amazônica. Por isso, é importante ter valores de densidade mais próximo aos reais (corretos), para que os estoques de carbono, tanto nas florestas e nos produtos madeireiros, sejam estimados da forma melhor.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achard, F.H.; Stibig, F.; Eva, H.; Mayaux, P. 2002. Tropical forest cover monitoring in the humid tropics: TREES project. *Tropical Ecology* 43(1): 9–20.
- Acre. 2010. *Governo do Estado do Acre, Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre, Fase II* (Escala 1:250.000): Documento Síntese, 2. Ed. Rio Branco, Acre.
- Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L. de M.; Sparovek, G. 2013. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6): 711–728.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2003. *NBR 11941: Madeira – determinação da densidade básica*. Rio de Janeiro, 6 p.
- Baccini, A.; Walker, W.; Carvalho, L.; Farina, M.; Sulla-Menashe, D.; Houghton, R. A. 2017. Tropical forests are a net carbon source based on aboveground measurements of gain and loss. *Science*, 358(6360): 230-234.
- Baker, T.R.; Phillips, O.L.; Malhi, Y.; Almeida, S.; Arroyo, L.; Di Fiore, A.; Killeen, T.J.; Laurance, S.G.; Laurance, W.F.; Lewis, S.L.; *et al.* 2004. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian Forest biomass. *Global Change Biology*, 10(5): 545-562.
- Baraloto, C.; Rabaud, S.; Molto, Q.; Blanc, L.; Fortunel, C.; Herault, B.; *et al.* 2011. Disentangling stand and environmental correlates of aboveground biomass in Amazonian forests. *Global Change Biology*, 17(8): 2677-2688.
- Barni, P. E.; Rego, A. C. M.; Silva, F. C. F.; Lopes, R. A. S.; Xaud, H. A. M.; Xaud, M. R.; *et al.* 2021. Logging Amazon forest increased the severity and spread of fires during the 2015-2016 El Niño. *Forest Ecology and Management*, 500: 119652.
- Bastin, J. F.; Fayolle, A.; Tarelkin, Y.; Van den Bulcke, J.; De Haulleville, T.; Mortier, F.; *et al.* 2015. Wood specific gravity variations and biomass of central African tree species: The simple choice of the outer wood. *PloS one*, 10(11): e0142146.
- Becker, G. S.; Braun, D.; Gliniars, R.; Dalitz, H. 2012. Relations between wood variables and how they relate to tree size variables of tropical African tree species. *Trees*, 26(4): 1101-1112.
- Billard, A.; Bauer, R.; Mothe, F.; Colin, F.; Christine, D.; Longuetaud, F. 2021. Vertical variations in wood basic density for two softwood species. *European Journal of Forest Research*, 140(6): 1401-1416.
- Billard, A.; Bauer, R.; Mothe, F.; Jonard, M.; Colin, F.; Longuetaud, F. 2020. Improving aboveground biomass estimates by taking into account density variations between tree components. *Annals of Forest Science*, 77(4): 1-18.

- Brasil. 2002. Resolução CONAMA n°. 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil. Ministério do Meio Ambiente: CONAMA, 2002. Diário Oficial da União. Brasília, DF.
- Brasil. 2006a. Lei n° 11.284, de 2 de março de 2006. Dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*. Brasília, DF.
- Brasil. 2006b. Ministério do Meio Ambiente. Instrução Normativa n°. 05, de 11 de dezembro de 2006. Dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Planos de Manejo Florestal Sustentável – PMFS's nas florestas primitivas e suas formas de sucessão na Amazônia Legal, e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente, 2006. *Diário Oficial da União*. Brasília, DF.
- Brito, B. R.; dos Santos Forcato, M.; Moura, M. C. 2016. Reutilização da madeira temporária da construção civil em produto de superfícies. *Blucher Design Proceedings*, 2(9): 1894-1905.
- Budowski, G. N. 1965. Distribution of tropical American rain forest species in the light of succession processes. *Turrialba*, 15: 40-42.
- Campos, J. C. C.; Leite, H. G. 2017. *Mensuração Florestal: Perguntas e respostas*. Editora UFV, 5. Ed. atual. e ampl., Viçosa, Minas Gerais, 636 p.
- Chave, J.; Andalo, C.; Brown, S.; *et al* 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145(1): 87 –99.
- Chave, J.; Coomes, D.; Jansen, S.; Lewis, S.L.; Swenson, N.G.; Zann, A.E. 2009. Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters*, 12(4): 351–366.
- Chave, J.; Muller-Landau, H.C.; Baker, T.R.; Easdale, T.A.; ter Steege, H.; Webb, C.O. 2006. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2,456 neotropical tree species. *Ecological Applications*, 16(6): 2356-2367.
- Chave, J.; Rejou-Mechain, M.; Burquez, A.; Chidumayo, E.; Colgan, S.M.; Delitti, B.C. W.; Duque, A.; Eid, T.; Fearnside, M.P.; *et al*. 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical. *Global Change Biology*, 20(10): 3177–3190.
- Chowdhury, M. Q.; Khan, M. R.; Mehedi, M. A. H. 2013. Wood density variation in four plantation species growing in Bangladesh. *Journal of the Indian Academy of Wood Science*, 10(1): 32-38.
- Coelho de Souza, F.; Dexter, K. G.; Phillips, O. L.; Brienen, R. J.; Chave, J.; Galbraith, D. R.; *et al*. 2016. Evolutionary heritage influences Amazon tree ecology. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1844): 20161587.
- Demol, M.; Calders, K.; Moorthy, S. M. K.; Van den Bulcke, J.; Verbeeck, H.; Gielen, B. 2021. Consequences of vertical basic wood density variation on the estimation of aboveground biomass with terrestrial laser scanning. *Trees*, 35(2): 671-684.
- Deng, X.; Zhang, L.; Lei, P.; Xiang, W.; Yan, W. 2014. Variations of wood basic density with tree age and social classes in the axial direction within *Pinus massoniana* stems in Southern China. *Annals of Forest Science*, 71(4): 505-516.

- Djomo, A. N.; Ibrahima, A.; Saborowski, J.; Gravenhorst, G. 2010. Allometric equations for biomass estimations in Cameroon and pan moist tropical equations including biomass data from Africa. *Forest Ecology and Management*, 260(10): 1873-1885.
- Djomo, A. N.; Picard, N.; Fayolle, A.; Henry, M.; Ngomanda, A.; Ploton, P.; *et al.* 2016. Tree allometry for estimation of carbon stocks in African tropical forests. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 89(4): 446-455.
- Duarte, A. F. 2006. Aspectos da climatologia do Acre, Brasil, com base no intervalo 1971-2000. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 21(3b): 308-317.
- Duarte, M. L.; Brito, W. B. M.; da Silva, T. A.; de Castro, A. L. 2020. Padrões e causas do desmatamento no Baixo Acre, região oeste da Amazônia brasileira. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 5(1): 117-127.
- EMBRAPA, 2021. Espécies. (<https://www.embrapa.br/codigo-florestal/especies>). Acesso em 30/08/2021.
- Erb, K. H.; Kastner, T.; Plutzer, C.; Bais, A. L. S.; Carvalhais, N.; Fetzel, T.; *et al.* 2018. Unexpectedly large impact of forest management and grazing on global vegetation biomass. *Nature*, 553(7686): 73-76.
- Fearnside, P. M. 1989. Forest management in Amazonia: The need for new criteria in evaluating development options. *Forest Ecology and Management*, 27(1): 61-79.
- Fearnside, P. M. 2005. Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences. *Conservation Biology*, 19(3): 680-688.
- Fearnside, P. M. 2018a. Brazil's Amazonian forest carbon: The key to Southern Amazonia's significance for global climate. *Regional Environmental Change*, 18(1): 47-61.
- Fearnside, P. M. 2018b. Challenges for sustainable development in Brazilian Amazonia. *Sustainable Development*, 26(2): 141-149.
- Fearnside, P. M.; Righi, C. A.; de Alencastro Graça, P. M. L.; Keizer, E. W.; Cerri, C. C.; Nogueira, E. M.; Barbosa, R. I. 2009. Biomass and greenhouse-gas emissions from land-use change in Brazil's Amazonian "arc of deforestation": The states of Mato Grosso and Rondônia. *Forest Ecology and Management*, 258(9): 1968-1978.
- Fearnside, P.M. 1997. Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 90(1): 59-87.
- Flora do Brasil 2020 em construção. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2020. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>). Acesso em: 10/11/2020.
- França, M. B. 2002. *Modelagem de biomassa florestal através do padrão espectral no Sudoeste da Amazônia*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Amazonas – UA/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, Manaus Amazonas. 106 p.
- Goodman RC.; Phillips OL; Baker, TR. 2014. The importance of crown dimensions to improve tropical tree biomass estimates. *Ecological Applications*, 24(4): 680-698.
- Henry, M.; Besnard, A.; Asante, W. A.; Eshun, J.; Adu-Bredu, S.; Valentini, R.; Bernoux, M.; Saint-André, L. 2010. Wood density, phytomass variations within and among

- trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. *Forest Ecology and Management*, 260(8): 1375-1388.
- Herrero-Jáuregui, C.; García-Fernández, C.; Sist, P. L.; Casado, M. A. 2009. Conflict of use for multi-purpose tree species in the state of Pará, eastern Amazonia, Brazil. *Biodiversity and Conservation*, 18(4): 1019-1044.
- Hietz, P.; Valencia, R.; Joseph Wright, S. 2013. Strong radial variation in wood density follows a uniform pattern in two neotropical rain forests. *Functional Ecology*, 27(3): 684-692.
- Hietz, P.; Rosner, S.; Hietz-Seifert, U.; Wright, S. J. 2017. Wood traits related to size and life history of trees in a Panamanian rainforest. *New Phytologist*, 213(1): 170–180.
- Husqvarna. 2016. *As principais madeiras brasileiras e possibilidades de uso*. nº 8, Marketing Husqvarna, Brasil, 27 p.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 2005. Mapas Temáticos: Solos estaduais/Acre. (<https://mapas.ibge.gov.br/tematicos/solos.html>). Acesso em: 23/10/2019.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 2011. Mapas Físicos: Estado do Acre. (<https://mapas.ibge.gov.br/fisicos/estaduais.html>). Acesso em: 23/10/2019.
- IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo), 2013. *Catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil*. nº 4371, Publicação IPT, São Paulo, 2013, 104p.
- INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), 2019. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. (<http://www.inmet.gov.br>). Acesso em: 23/10/2019.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V. P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, e B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. (<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>). Acesso em: 01/09/2021.
- Jaillon, L.; Poon, C. S.; Chiang, Y. H. 2009. Quantifying the waste reduction potential of using prefabrication in building construction in Hong Kong. *Waste Management*, 29(1): 309-320.
- Keith, H.; Lindenmayer, D.; Macintosh, A.; Mackey, B. 2015. Under what circumstances do wood products from native forests benefit climate change mitigation?. *PLoS ONE*, 10(10): e0139640.
- Kern, A. P.; Amor, L. V.; Angulo, S. C.; Montelongo, A. 2018. Factors influencing temporary wood waste generation in high-rise building construction. *Waste Management*, 78: 446-455.
- Kunstler, G.; Falster, D.; Coomes, D. A.; Hui, F.; Kooyman, R. M.; Laughlin, D. C.; *et al.* 2016. Plant functional traits have globally consistent effects on competition. *Nature*, 529(7585): 204-207.

- LPF (Laboratório de produtos florestais), 2021. Banco de Dados Madeiras Brasileiras. (<https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/banco-de-dados-madeiras-brasileiras-selecao>). Acesso em: 30/0//2021.
- Lachenbruch, B.; McCulloh, K. A. 2014. Traits, properties, and performance: how woody plants combine hydraulic and mechanical functions in a cell, tissue, or whole plant. *New Phytologist*, 204(4): 747-764.
- Larjavaara, M.; Muller- Landau, H. C. 2010. Rethinking the value of high wood density. *Functional Ecology*, 24(4): 701-705.
- Lehnebach, R.; Bossu, J.; Va, S.; Morel, H.; Amusant, N.; Nicolini, E.; Beauchêne, J. 2019. Wood density variations of legume trees in French Guiana along the shade tolerance continuum: heartwood effects on radial patterns and gradients. *Forests*, 10(2): 80.
- Lima, R. S.; Lima, R. R. R. 2009. *Guia para elaboração de projeto de gerenciamento de resíduos da construção civil*. Série de Publicações Temáticas do Crea-PR. Curitiba: Crea, 60 p.
- Longo, M.; Keller, M.; dos- Santos, M. N.; Leitold, V.; Pinagé, E. R.; Baccini, A.; *et al.* 2016. Aboveground biomass variability across intact and degraded forests in the Brazilian Amazon. *Global Biogeochemical Cycles*, 30(11): 1639-1660.
- Longuetaud, F.; Mothe, F.; Santenoise, P.; Diop, N.; Dlouha, J.; Fournier, M.; Deleuze, C. 2017. Patterns of within-stem variations in wood specific gravity and water content for five temperate tree species. *Annals of Forest Science*, 74(3): 1-19.
- Lutz, J. A.; Furniss, T. J.; Johnson, D. J.; Davies, S. J.; Allen, D.; Alonso, A.; *et al.* 2018. Global importance of large- diameter trees. *Global Ecology and Biogeography*, 27(7): 849-864.
- Maciel, M. A. D.; Andreazzi, M. A.; Junior, C. B.; Lizama, M. D. L. A. P.; Gonçalves, J. E. 2018. Emissões de gases de efeito estufa na construção civil. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, 16(1): 1-11.
- Maciel, M. D. N. M.; Watzlawick, L. F.; Schoeninger, E. R.; Yamaji, F. M. 2003. Classificação ecológica das espécies arbóreas. *Revista Acadêmica Ciência Animal*, 1(2): 69-78.
- Malhi, Y.; Wood, D.; Baker, T.R.; Wright, J.; Phillips, O.L.; Cochrane, T.; Meir, P.; Chave, J.; Almeida, S.; Arroyo, L.; Higuchi, N.; *et al.* 2006. The regional variation of aboveground live biomass in old-growth Amazonian forests. *Global Change Biology*, 12(7): 1107-1138.
- Melo, A.W.F.D. 2017. *Alometria de Árvores e Biomassa Florestal na Amazônia Sul- Ocidental*. Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, 156 p.
- Mitchard, E.T.; Feldpausch, T.R.; Brienen, R J.; Lopez- Gonzalez, G.; Monteagudo, A.; Baker, T.R.; *et al.* 2014. Markedly divergent estimates of Amazon Forest carbon density from ground plots and satellites. *Global Ecology and Biogeography*, 8(23): 935-946.
- Momo, S. T.; Ploton, P.; Martin-Ducup, O.; Lehnebach, R.; Fortunel, C.; Boyemba, F.; *et al.* 2020. Leveraging signatures of plant functional strategies in wood density

- profiles of African trees to correct mass estimations from terrestrial laser data. *Scientific Reports*, 10(1): 1-11.
- Mukuralinda, A.; Kuyah, S.; Ruzibiza, M.; Ndoli, A.; Nabahungu, N. L.; Muthuri, C. 2021. Allometric equations, wood density and partitioning of aboveground biomass in the arboretum of Ruhande, Rwanda. *Trees, Forests and People*, 3: 100050.
- Muller-Landau, H.C. 2004. Interspecific and intersite variation in wood density of tropical trees. *Biotropica*, 36(1): 20-32.
- Nam, V. T.; Anten, N. P.; van Kuijk, M. 2018. Biomass dynamics in a logged forest: the role of wood density. *Journal of Plant Research*, 131(4): 611-621.
- Neves, R. L. P.; Schwartz, G.; Lopes, J. D. C. A.; Leão, F. M. 2019. Post-harvesting silvicultural treatments in canopy logging gaps: Medium-term responses of commercial tree species under tending and enrichment planting. *Forest Ecology and Management*, 451: 117521.
- Nogueira, E. M.; Fearnside, P. M.; Nelson, B. W. 2008. Normalization of wood density in biomass estimates of Amazon forests. *Forest Ecology and Management*, 256(5): 990-996.
- Nogueira, E.M.; Fearnside, P.M.; Nelson, B.W.; França, M.B. 2007. Wood density in forests of Brazil's 'arc of deforestation': Implications for biomass and flux of carbon from land-use change in Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 248(3): 119-135.
- Nogueira, E.M.; Nelson, B.W.; Fearnside, P.M. 2005. Wood density in dense forest in central Amazonia, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 208(1-3): 261-286.
- Phillips, O. L.; Sullivan, M. J.; Baker, T. R.; Mendoza, A. M.; Vargas, P. N.; Vásquez, R. 2019. Species matter: wood density influences tropical forest biomass at multiple scales. *Surveys in Geophysics*, 40(4): 913-935.
- Poorter, L.; McDonald, I.; Alarcón, A.; Fichtler, E.; Licona, J. C.; Peña- Claros, M.; *et al.* 2010. The importance of wood traits and hydraulic conductance for the performance and life history strategies of 42 rainforest tree species. *New Phytologist*, 185(2): 481-492.
- Poorter, L.; Wright, S. J.; Paz, H.; Ackerly, D. D.; Condit, R.; Ibarra-Manríquez, G.; *et al.* 2008. Are functional traits good predictors of demographic rates? Evidence from five neotropical forests. *Ecology*, 89(7): 1908-1920.
- Putz, F. E. et al. 2008. Reduced-impact logging: challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management*, 256 (7): 1427-1433.
- Quesada, C. A.; Phillips, O. L.; Schwarz, M.; Czimczik, C. I.; Baker, T. R.; Patiño, S.; *et al.* 2012. Basin-wide variations in Amazon forest structure and function are mediated by both soils and climate. *Biogeosciences*, 9(6): 2203-2246.
- RadamBrasil. 1976. *Levantamento dos Recursos Naturais*. Folha SC19, Rio Branco. Vol. 12, DNPM, MME. Rio de Janeiro, Brasil, 458 p.
- Reis, P. C. M. D. R.; Reis, L. P.; Souza, A. L. D.; Carvalho, A. M. M. L.; Mazzei, L.; Reis, A. R. S.; Torres, C. M. M. E. 2019. Agrupamento de espécies madeireiras da

- Amazônia com base em propriedades físicas e mecânicas. *Ciência Florestal*, 29: 336-346.
- Ribeiro, D.; De Moura, L. S.; Dos Santos, N. S. P. 2016. Sustentabilidade: formas de reaproveitar os resíduos da construção civil. *Revista de Ciências Gerenciais*, 20(21): 41-45.
- Richardson, V. A.; Peres, C. A. 2016. Temporal decay in timber species composition and value in Amazonian *Logging Concessions*. *PLoS ONE*, 11(7): e0159035. doi:10.1371/journal.pone.0159035
- Romero, F. M. B.; Jacovine, L. A. G.; Ribeiro, S. C.; Ferreira Neto, J. A.; Ferrante, L.; Da Rocha, S. J. S. S.; *et al.* 2020a. Stocks of carbon in logs and timber products from forest management in the southwestern Amazon. *Forests*, 11(10): 1113.
- Romero, F. M. B.; Jacovine, L. A. G.; Ribeiro, S. C.; Torres, C. M. M. E.; Silva, L. F. D.; Gaspar, R. D. O.; Rocha, A. J. S. S.; Staudhammer, C. L.; Fearnside, P. M. 2020b. Allometric equations for volume, biomass, and carbon in commercial stems harvested in a managed forest in the southwestern Amazon: A Case Study. *Forests*, 11(8): 874.
- Romero, F. M. B.; Jacovine, L. A. G.; Torres, C. M. M. E.; Ribeiro, S. C.; de Moraes Junior, V. T. M.; da Rocha, S. J. S. S.; *et al.* 2021. Forest management with reduced-impact logging in Amazonia: Estimated aboveground volume and carbon in commercial tree species in managed forest in Brazil's state of acre. *Forests*, 12(4): 481.
- Romero, F.M.B. 2018. *Contribuição do manejo sustentável em floresta do bioma amazônico para minimização de gases de efeito estufa*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 92 p.
- RSPA (Rede Sementes Portal da Amazônia), 2021. Espécies da RSPA. (<http://www.sementesdoportal.com.br/seed/Especies/>). Acesso em: 30/08/2021.
- Santos, A. J.; Guerra, F. G. P. Q. 2010. Aspectos econômicos da cadeia produtiva dos óleos de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) e copaíba (*Copaifera multijuga* Hayne) na Floresta Nacional do Tapajós-Pará. *Floresta*, 40(1): 23-28.
- Schmitt, A. R. K. 2017. *Variação geográfica e intraespecífica da densidade básica da madeira do gênero Eschweilera (E. coriacea e E. truncata) no estado do Amazonas*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 56 p.
- Schwartz, G.; Lopes, J. C.; Mohren, G. M.; Peña-Claros, M. 2013. Post-harvesting silvicultural treatments in logging gaps: A comparison between enrichment planting and tending of natural regeneration. *Forest Ecology and Management*, 293: 57-64.
- Schwartz, G.; Pereira, P. C.; Siviero, M. A.; Pereira, J. F.; Ruschel, A. R.; Yared, J. A. 2017. Enrichment planting in logging gaps with *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby: A financially profitable alternative for degraded tropical forests in the Amazon. *Forest Ecology and Management*, 390: 166-172.

- SEMA/AC (Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Acre), 2019. Plano de manejo florestal sustentável (PMFS) madeireiro da Floresta Estadual do Antimary. Revisão III. (<http://semapi.acre.gov.br/wp-content/uploads/sites/20/2020/04/Plano-de-Manejo-Florestal-Antimary.pdf>). Acesso em: 04/10/2021.
- Selivon, C. A. 2014. Plano de operação anual-POA, UPA-002. Fazenda Antimari I e II. Rio Branco, AC. 94 p.
- Silva, G. S.; Silva, N. E. G.; de Oliveira Silva, S. M. G.; Do Nascimento, F. B. C. 2016. Resíduos de madeira produzidos na construção civil. *Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS*, 3(3): 207.
- Silva, H.F.; Ribeiro, S.C.; Botelho, A.S.; Faria, R.A.V.B.; Teixeira, M.B.R.; Mello, J.M. 2015. Estimativa do estoque de carbono por métodos indiretos em área de restauração florestal em Minas Gerais. *Scientia Forestalis* 43: 943-953.
- Sinduscon-SP; WWF-Brasil. 2011. Aquisição responsável de madeira na construção civil: Guia prático para as construtoras. (<https://www.wwf.org.br/?40245/Produo-sustentavel---Aquisio-responsvel-de-madeira-na-construocivil>). Acesso em: 21/09/2021.
- Slik, J. F.; Paoli, G.; McGuire, K.; Amaral, I.; Barroso, J.; Bastian, M.; *et al.* 2013. Large trees drive forest aboveground biomass variation in moist lowland forests across the tropics. *Global Ecology and Biogeography*, 22(12): 1261-1271.
- Souza, C. R.; de Lima, R. M. B.; de Azevedo, C. P.; Rossi, L. 2005. *Sumaúma (Ceiba pentandra (L.) Gaerth)*. Embrapa Amazônia Ocidental – Documentos 41 (INFOTECA-E), 28 p.
- Tam, C. M.; Tam, V. W.; Chan, J. K.; Ng, W. C. 2005. Use of prefabrication to minimize construction waste-a case study approach. *International Journal of Construction Management*, 5(1): 91-101.
- Thomas, S. C.; Martin, A. R. 2012. Carbon content of tree tissues: a synthesis. *Forests*, 3(2): 332-352.
- Van Gelder, H.A.; Poorter, L.; Sterck, F.J. 2006. Wood mechanics, allometry, and life-history variation in a tropical rain forest tree community. *New Phytologist*, 171: 367-378.
- Vidal, E.; West, T. A.; Putz, F. E. 2016. Recovery of biomass and merchantable timber volumes twenty years after conventional and reduced-impact logging in Amazonian Brazil. *Forest Ecology and Management*, 376: 1-8.
- Wassenberg, M.; Chiu, H. S.; Guo, W.; Spiecker, H. 2015. Analysis of wood density profiles of tree stems: incorporating vertical variations to optimize wood sampling strategies for density and biomass estimations. *Trees*, 29(2): 551-561.
- Whitmore, T. 1998. *An Introduction to Tropical Rain Forests*. Oxford University Press, Oxford, Reino Unido.
- Wiemann, M. C.; Williamson, G. B. 2014. Wood specific gravity variation with height and its implications for biomass estimation. *USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, Research Paper, FPL-RP-677*, 677: 1-12.

- Wiemann, M.C; Williamson, G.B. 2013. Biomass determination using wood specific gravity from increment cores. General Technical Report FPL-GTR-225. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 7 p.
- Williamson, G.B.; Wiemann, M.C. 2010. Measuring wood specific gravity correctly. *American Journal of Botany*, 97(3): 519-524.
- Zanne, A. E.; Lopez-Gonzalez, G.; Coomes, D. A.; Ilic, J.; Jansen, S.; Lewis, S. L.; *et al.* 2009. Data from: towards a worldwide wood economics spectrum. Dryad Digital Repository. (<https://doi.org/10.5061/dryad.234>). Acesso em: 24/10/2019.
- Zenid, G. J.; Romagnano, L. F. T.; Nahuz, M. A. R. 2009. *Madeira: uso sustentável na construção civil*. 2^a ed. Instituto de Pesquisas Tecnológicas–SVMA, São Paulo, 103 p.