

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO" - UNESP

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS – FCA / INSTITUTO DE

BIOCIÊNCIAS DE BOTUCATU – IBB

**“DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE ÁRVORES EM FLORESTAS EM
RESTAURAÇÃO: EFEITO NAS ESTIMATIVAS DE BIOMASSA E CARBONO”**

**“WOOD BASIC DENSITY OF TREES IN RESTORATION FORESTS: EFFECT ON
BIOMASS AND CARBON ESTIMATES”**

Trabalho de conclusão de curso apresentado em formato de artigo científico, seguindo as normas da revista Scientia Forestalis, como requisito para obtenção do título de **Bacharel em Ciências Biológicas**, pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

Aluno: João Paulo Rodrigues Leite

Orientadora: Prof.^a Dra. Vera Lex Engel

Botucatu, SP, fevereiro de 2023

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSEMEIRE APARECIDA VICENTE-CRB 8/5651

Leite, João Paulo Rodrigues.

Densidade básica da madeira de árvores de florestas em restauração : efeito nas estimativas de biomassa e carbono / João Paulo Rodrigues Leite. - Botucatu, 2023

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Biociências de Botucatu

Orientador: Vera Lex Engel

Capes: 20503008

1. Restauração florestal. 2. Biomassa vegetal. 3. Mata Atlântica - Conservação. 4. Seqüestro de carbono.

Palavras-chave: Atributos funcionais; Floresta estacional semidecidual; Mata atlântica; Restauração ecológica; Seqüestro de carbono.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Anatomia, Identificação e Densitometria de raios X em madeira, ESALQ-USP, coordenado pelo Prof. Dr. Mário Tommasiello Filho que nos cedeu espaço e equipamentos para execução do trabalho; ao Departamento de Ciência Florestal, Solos e Ambiente, em especial a toda equipe do Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal (Lerf), coordenado pela Profa. Dra. Vera Lex Engel (orientadora), local central da pesquisa; aos órgãos que financiaram a pesquisa: “Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico” (CNPq), Proc. Nº. 136161/2021-9, e à “Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo” (FAPESP), Proc. Nº. 2021/13251-8.

“DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE ÁRVORES EM FLORESTAS EM RESTAURAÇÃO: EFEITO NAS ESTIMATIVAS DE BIOMASSA E CARBONO”

“WOOD BASIC DENSITY OF TREES IN RESTORATION FORESTS: EFFECT ON BIOMASS AND CARBON ESTIMATES”

João Paulo Rodrigues Leite¹, Vera Lex Engel¹.

¹Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal, Departamento de Ciência Florestal, Solos e Ambiente, FCA/UNESP, Botucatu, São Paulo.

RESUMO

A densidade básica da madeira (DB) é uma variável preditora importante em protocolos de estimativa de biomassa e carbono de ecossistemas florestais e muda consideravelmente com a idade das árvores e em diferentes condições ambientais. Entretanto, dados de DB regionais, e referentes a árvores jovens, que é o caso das florestas em restauração, ainda são escassos, afetando a precisão das estimativas. Comparamos os valores de DB de indivíduos de florestas em restauração com 25 anos com os valores obtidos de bases de dados das mesmas espécies. Além disso, avaliamos o erro contido nas estimativas de biomassa, quando se utiliza valores de DB das bases de dados (literatura) em comparação aos dados locais. Para obtermos os dados de DB, amostramos dois sítios onde foram implantados experimentos de restauração da floresta estacional semidecidual, entre 1997-1998, com cerca de 3,75 ha de área em cada um. Avaliamos 3-6 indivíduos com $DAP \geq 10\text{cm}$ de 32 espécies. Ao todo, coletamos amostras de 178 indivíduos com método não destrutivo (sonda de Pressler). Os valores da literatura foram obtidos através da base “Dryad”, Coleção de Espécies Arbóreas Brasileiras (CARVALHO, 2003, 2006, 2008, 2010, 2014,) e SANTOS *et al.*, (2020). Calculamos as biomassas através das equações de Chave *et al.* (2014) e Nogueira Jr. *et al.* 2014. Encontramos diferença significativa tanto entre a média geral dos valores de densidade (literatura x amostrada) como entre os valores de 6 das 31 espécies analisadas. Quanto à biomassa, também houve diferença entre a média geral dos valores estimados a partir dos valores de DB retirados da literatura, em comparação ao uso de dados reais de campo. Observamos que as diferenças

causadas pela origem da DB nas estimativas de biomassa por espécie, foram significativas para 11 das 31 das espécies analisadas, nas quais houve tanto casos de subestimativa como superestimativa da biomassa com dados da literatura. Portanto, dependendo da composição e abundância de espécies da floresta, os erros nas estimativas gerais de biomassa podem ser ainda mais evidentes, ficando nítida a importância de obtenção de dados de DB locais para minimizar erros de estimativa.

Palavras-chave: atributos funcionais; restauração ecológica; mata atlântica; sequestro de carbono; floresta estacional semidecidual.

ABSTRACT

Basic wood density (WD) is an important predictor variable in biomass and carbon estimation protocols for forest ecosystems and changes considerably with the age of the trees and under different environmental conditions. However, regional WD data, and referring to young trees, which is the case of forests under restoration, are still scarce, affecting the accuracy of estimates. We compared WD values of individuals from 25-year-old forests under restoration with values obtained from databases of the same species. In addition, we evaluated the error contained in biomass estimates when using WD values from databases (literature) compared to local data. To obtain WD data, we sampled two sites where semideciduous seasonal forest restoration experiments were implemented between 1997-1998, with about 3.75 ha of area each. We evaluated 3-6 individuals with $DBH \geq 10\text{cm}$ of 32 species. In all, we collected samples from 178 individuals with nondestructive method (Pressler probe). Literature values were obtained through the base "Dryad", Collection of Brazilian Arboreal Species (CARVALHO, 2003, 2006, 2008, 2010, 2014,) and SANTOS *et al.*, (2020). We calculated biomasses using the equations of Chave *et al.* (2014) and Nogueira Jr. *et al.* 2014. We found a significant difference both between the general average of the density values (literature x sampled) and between the values of 6 of the 31 analyzed species. As for biomass, there was also a difference between the overall mean of the values estimated from WD values taken from the literature compared to using actual field data. We observed that the differences caused by the origin of WD in biomass estimates per species, using literature or actual field data, were significant for 11 of the 31 analyzed species, in which there were both cases of underestimation and overestimation of biomass with literature data. Therefore, depending on the species composition and abundance of the forest, errors in overall biomass estimates may be

even more evident, highlighting the importance of obtaining local WD data to minimize estimation errors.

Keywords: functional traits; ecological restoration; Atlantic Forest, carbon sequestration, tropical seasonal semideciduous forest.

1. INTRODUÇÃO

A densidade básica da madeira das plantas lenhosas é um traço funcional fundamental, devido à sua forte relação com a morfologia e função, sendo uma característica evolutiva que reflete a adaptação ecofisiológica da planta. (CHAVE, *et al.*, 2006, 2009; 2014). É definida como sendo a razão entre a massa seca de uma amostra de madeira e o seu volume verde (CHAVE, *et al.*, 2006). Esse traço funcional representa a biomassa investida por unidade de volume de madeira e, por consequência, a assimilação de carbono nas árvores, e a produtividade dos ecossistemas (MELO; DURIGAN, 2006; POORTER, L. *et al.*, 2008).

A densidade da madeira é influenciada diretamente pelo tipo de células do xilema (CHAVE, *et al.*, 2009; DALLA-SALDA *et al.*, 2009; HACKE *et al.*, 2001; HACKE; SPERRY, 2001; POORTER, L. *et al.*, 2010; SPERRY; HACKE; PITTERMANN, 2006; ZIEMIŃSKA *et al.*, 2013), pelas condições ambientais e climáticas, e e por gradientes relacionados a nutrição do solo (BAKER *et al.*, 2004; LEWIS *et al.*, 2013; PATIÑO *et al.*, 2009; SWENSON; ENQUIST, 2007; WIEMANN; WILLIAMSON, 2002), além de mudar consideravelmente com a idade das árvores (BROWN; LUGO, 1990; SARMIENTO *et al.*, 2011).

A seleção de espécies com base na sua classificação sucessional é usual em projetos de restauração florestal (RODRIGUES *et al.*, 2011). Espécies de estágios iniciais de sucessão, com baixas densidades de madeira, são constantemente selecionadas para os projetos, no pressuposto de que plantios de restauração seguem

o mesmo curso das florestas em regeneração natural (CHARLES *et al.*, 2018). Além disso, essas espécies proporcionam um rápido recobrimento do solo, competindo com espécies invasoras e facilitando o estabelecimento das demais (RODRIGUES *et al.*, 2011). Entretanto, existe um *trade-off* entre taxa de crescimento e sobrevivência (KITAJIMA; POORTER, 2008; POORTER *et al.*, 2008), e a densidade da madeira influi nesse balanço (NASCIMENTO *et al.*, 2005). A dureza da madeira está relacionada ao crescimento e as taxas de sobrevivência (HACKE *et al.*, 2001; PUTZ *et al.*, 1983; STERCK; VAN GELDER; POORTER, 2006), e estudos vem demonstrando que espécies de alta densidade de madeira tendem a sobreviver mais nos estágios iniciais do que espécies de madeiras menos densas, que são as tradicionalmente usadas em plantios de restauração (CHARLES *et al.*, 2018), por apresentarem maior resistência contra herbivoria, danos por patógenos e a queda de restos lenhosos (AUGSPURGER; KELLY, 1984; MCCARTHY-NEUMANN; KOBE, 2008; VAN GELDER; POORTER; STERCK, 2006).

Ainda que a densidade não seja um fator de fácil medição, e geralmente esta variável não faz parte dos inventários florestais, tem um papel importante nas estimativas de biomassa florestal (CHAVE, J. *et al.*, 2005; FLORES; COOMES, 2011), inclusive pela maior parte da biomassa da floresta estar no tronco. Os estudos e estimativas de biomassa e carbono em projetos de restauração usualmente utilizam equações obtidas de árvores em florestas nativas (MELO; DURIGAN, 2006; VILLANOVA *et al.*, 2019), o que pode estar superestimando ou subestimando os valores reais de estoque de carbono (POORTER *et al.*, 2016) e biomassa de árvores plantadas.

Modelos que incluem a densidade da madeira como uma variável preditiva em protocolos de estimativa de biomassa tropical, incluindo a variação regional, tendem

a torná-las mais confiáveis (BAKER *et al.*, 2004; CHAVE *et al.*, 2005; FLORES; COOMES, 2011). A densidade da madeira tem grande destaque nas medições de estoque de biomassa acima do solo, tendo aplicações diretas no Monitoramento, Reportagem e Verificação (MRV) de carbono (CHAVE *et al.*, 2014), fundamental para responder às mudanças climáticas. Entretanto, há dúvidas quanto à precisão das estimativas de biomassa, o que limita os modelos de fluxo de carbono em florestas tropicais (BAKER *et al.*, 2004), principalmente porque os dados da densidade da madeira existentes na literatura são menos precisos quando comparados aos dados locais (FLORES; COOMES, 2011), principalmente quando se trata de espécies não comerciais e árvores jovens, o que pode gerar uma previsão geral falha da biomassa florestal (BAKER *et al.*, 2004).

Objetivamos, com esse trabalho, testar a diferença da densidade da madeira entre florestas restauradas jovens e dados de banco de dados, provenientes em geral de florestas nativas, bem como o impacto dessas diferenças nas estimativas de biomassa em florestas restauradas, colaborando para a precisão nas estimativas de biomassa e sequestro de carbono desses ecossistemas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área

Trabalhamos em **dois sítios** que estão separados por cerca de 2 km em linha reta: o **sítio 1** localiza-se a aproximadamente 700 m de altitude, em área de Nitossolo Vermelho, com relevo ondulado, textura argilosa e alta fertilidade natural, e o histórico agrícola da área era a produção de café, feijão e, posteriormente, pastagens de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone (NOGUEIRA JÚNIOR *et al.*, 2014); já o **sítio 2** encontra-se a aproximadamente 547 m de altitude, com solo Argissolo Vermelho-Amarelo, com textura arenosa, relevo suave a ondulado e de menor

fertilidade quando comparado ao sítio 1 (PONTES; ENGEL; PARROTTA, 2019), e o seu histórico do uso inclui o plantio de *Citrus sp.* e pastagens de *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D.Webster. Os sítios em questão são áreas experimentais de restauração florestal com 25 anos, localizadas na região centro-sul do estado de São Paulo, no município de Botucatu (22°52'32"S e 48°26'46"W). A vegetação natural é classificada como Floresta Tropical Estacional Semidecidual (IBGE, 2012). O delineamento utilizado em ambos os sítios foi de blocos casualizados, contendo três repetições, com cinco tratamentos de restauração e um controle (restauração passiva). Cada parcela experimental tem dimensões de 50 x 50 m (0,25 ha), totalizando 3,75 ha de área por sítio.

2.2. Seleção de espécies

Inventariamos tanto o **sítio 1** quanto o **sítio 2**, onde realizamos a amostragem dentro de subparcelas fixas de 15x15m (225m²) e mensuramos todos os indivíduos que contemplavam diâmetro a altura do peito (DAP) $\geq$ 5cm. Ao todo, foram registrados 1478 indivíduos com DAP $\geq$ 5cm, sendo 713 no denominada "**sítio 1**" e 765 no "**sítio 2**", de 91 espécies diferentes. Seleccionamos os indivíduos respeitando o critério de seleção de diâmetro à altura do peito (DAP) $\geq$ 10cm e o mínimo de 3 indivíduos por espécie. Foram seleccionadas 32 espécies (Tabela 1).

Os indivíduos foram amostrados a partir da distribuição diamétrica das espécies, com a seleção de indivíduos com DAP em torno de 10cm (valor mínimo), em torno da média, e indivíduos com valores próximos ao máximo para a espécie. Houve exceções para algumas espécies em que as distribuições de DAP não era balanceada, sendo a média pouco representativa da população, por apresentar grande discrepância na frequência de indivíduos em intervalos de DAP específicos. Neste caso, seleccionamos indivíduos nos intervalos com maiores frequências de ocorrência.

2.3. Coletas da densidade básica da madeira

2.3.1. Obtenção das amostras de lenho e estimativas de densidade

As amostras do lenho foram extraídas pelo método não destrutivo, a 1,30 m de altura em relação ao solo. A coleta foi realizada com o auxílio de uma sonda de Pressler para a extração das baguetas, com brocas de dimensões compatíveis às dos caules amostrados. As baguetas retiradas foram colocadas em um suporte de madeira para facilitar o transporte e evitar quaisquer eventuais danos às mesmas. O furo oriundo da extração foi selado com rolhas ou madeiras roliças, para prevenir o acesso de agentes xilófagos.

A maioria das amostras (22 espécies) foram analisadas pelo método gravimétrico proposto por Pérez-Harguindeguy *et al.* (2013) e, em 10 espécies, foi utilizado o método de densitometria por raios X (AMARAL E TOMAZELLO FILHO, 1998; TOMAZELLO FILHO *et al.*, 2010), aproveitando outro trabalho do mesmo grupo de pesquisa que estava em andamento (Tabela 1). Para garantir que o método não tivesse efeito nas estimativas, reamostramos com a sonda de Pressler alguns indivíduos que haviam sido analisados pelo método de densitometria, e os resultados não indicaram discrepâncias entre os métodos, portanto, optamos por aproveitar os dados, evitando danos adicionais às árvores.

2.3.2. Obtenção de dados da literatura

Para a coleta de dados de densidade da madeira da literatura foi usada prioritariamente a base de dados pública “Dryad” e, de forma complementar, a publicação Coleção de Espécies Arbóreas Brasileiras, de Paulo Ernani Ramalho Carvalho (CARVALHO, 2003, 2006, 2008, 2010, 2014). Algumas das densidades retiradas da Coleção de Espécies Arbóreas Brasileiras apresentavam a densidade

específica aparente a 15% de umidade (D15), as quais foram corrigidas para densidade básica da madeira usando o fator de correção $DB = 0.819 \times D15$, proposto por VIEILLEDENT *et al.* (2018). Para a espécie *Aloysia virgata* foi usado o valor de densidade da madeira de SANTOS *et al.*, (2020), pelo fato de não termos encontrado valores de referência nas outras fontes citadas (Tabela 1). Utilizamos no estudo todos os dados da base Dryad que eram referentes a florestas tropicais, excluindo alguns poucos valores discrepantes dos demais obtidos. Da Coleção de Espécies Arbóreas Brasileiras, nos casos que era dado um intervalo de densidade para a espécie, e que não era possível recuperar a fonte original dos dados, foram incluídos os valores máximo e mínimo do intervalo.

2.4. Cálculos de biomassa

Para calcular a biomassa dos indivíduos, tanto com os valores de densidade básica da madeira obtidos neste estudo como com os dados extraídos da literatura, usamos as seguintes equações:

Eq. de Nogueira Jr. *et al.* (2014)

$$\log (AGB) = -1.305 + 1.055 \log (DBH^2) + 0.34 \log(H) + 1.077 \log WD$$

Sendo biomassa acima do solo (kg) = AGB, diâmetro do caule a 1,3 m de altura (cm) = DBH, altura da árvore (m) = H e densidade da madeira = WD

Eq. Chave *et al.* (2014)

$$AGB = 0.0673 * (\rho D^2 H)^{0.976}$$

Sendo o diâmetro do tronco (cm) a 1,3 m acima do solo = D, altura total da árvore (m) = H, densidade da madeira = ρ e biomassa acima do solo (kg) = AGB

As equações foram selecionadas pelo fato de a equação de Chave *et al.* (2014) ser uma das mais utilizadas para se obter biomassa acima do solo de florestas tropicais e plantios de restauração, e a equação de Nogueira Jr. *et al.* (2014) ter sido desenvolvida no local onde foi realizado este trabalho, mas quando os plantios tinham a idade entre 11-12 anos. Para ambas as equações os valores de altura e DAP foram os mesmos, e obtidos por meio do inventário realizado. Os valores de densidade que foram inseridos nas equações foram os valores de média de cada uma das espécies, tanto para os valores de densidade da literatura como os obtidos nesse estudo.

2.5. Análises de dados

Com o objetivo de avaliar se há variação nos valores de DB entre indivíduos de florestas em restauração (valores amostrados deste trabalho) e indivíduos das mesmas espécies em florestas nativas (valores obtidos na literatura), foi feito um Teste t não pareado para comparação de médias. Primeiro comparamos as diferenças da média geral dos valores de densidade básica da madeira obtidos da literatura contra a média dos obtidos neste trabalho, para as mesmas espécies (Figura 1). A seguir, para as espécies em que tivemos repetições de dados na literatura ($n \geq 3$) foi feito um Teste t por espécie, para avaliarmos quais espécies apresentaram diferença significativa entre os valores de densidade de florestas em restauração com idade aproximada de 25 anos e florestas nativas (Figura 2).

Para avaliarmos se há diferença entre a média dos valores estimados de biomassa obtidos pelas equações realizadas a partir dos valores de densidade básica da madeira retirados da literatura, em comparação ao uso de dados reais de campo (obtidos nesse estudo), utilizamos o teste não-paramétrico de Wilcoxon, tendo em vista que os dados não puderam ser normalizados com transformação de dados. Em seguida, para testar quais espécies apresentam diferença entre os valores estimados

de biomassa, utilizamos o Teste t pareado para as espécies que apresentavam distribuição normal, e o teste não-paramétrico de Wilcoxon para as que apresentavam distribuição não-normal.

Para testar quais fatores influenciam os valores de biomassa, utilizamos modelos generalizados lineares mistos (GLMM), no qual a variável resposta é a biomassa acima do solo e, para isso, inclui como fatores fixos a origem dos valores de densidade da madeira e a espécie. Como efeito aleatório nesse modelo, inclui a identificação dos indivíduos, pois esta representa uma unidade de dependência amostral, já que para o mesmo indivíduo foi calculado mais de um valor de biomassa, e o diâmetro dos indivíduos, pois tinha como objetivo comparar as espécies e não há padronização na distribuição diamétrica dos indivíduos amostrados em cada uma das espécies, portanto, incluímos o diâmetro para controlar esse efeito, uma vez que há uma relação entre a densidade da madeira e o tamanho dos indivíduos. Além disso, utilizei um teste de Tukey neste modelo para comparar os valores de densidade, quanto a origem, em cada uma das espécies (Tabela 4; Figura 3).

E para aferir o erro embutido nas estimativas de biomassa e estoque de carbono realizadas a partir de dados de densidade básica da madeira obtidos em bancos de dados em comparação ao uso de dados reais de campo (obtidos nesse estudo), foi feita uma análise de variância para testar para quais espécies a densidade da madeira com dados da literatura subestima ou superestima a biomassa em relação aos dados próprios (Tabela 2). Neste caso, a análise foi feita a partir da média dos valores de biomassa obtido pela equação de Chave *et al.* (2014) e Nogueira Jr. *et al.* (2014), quando se usa dados da literatura e a média dos valores de biomassa das mesmas equações quando se utiliza dados reais de campo.

Em todas as análises realizadas, foi excluída a espécie *Tabernaemontana hystrix* Steud., pois não foi encontrado a densidade básica da madeira dessa espécie no levantamento feito da literatura, entretanto, mantivemos o valor de DB dessa espécie na Tabela 1 com o intuito de colaborar para as bases de dados.

Todas as análises foram feitas utilizando o ambiente computacional R Studio Version 4.4.2 (2022-10-31) © (R Core Team, 2022).

3. RESULTADOS

3.1. Densidade básica da madeira: literatura x amostrada

Houve pouca variação intraespecífica dos valores de DB (desvios-padrão baixos), principalmente entre as espécies amostradas nas áreas experimentais de florestas em restauração, sendo a maior variação observada entre as espécies (Tabela 1).

Quando comparamos as densidades obtidas da literatura e as densidades amostradas, houve diferença significativa tanto na média geral (Figura 1), quanto entre os valores de densidade para algumas espécies, como é o caso de *Anadenanthera colubrina* ($t = -3.39$, $df = 12$, $p < 0.01$), *Cedrela fissilis* ($t = -3.02$, $df = 6.59$, $p = 0.02$), *Dipteryx alata* ($t = -4.40$, $df = 5$, $p < 0.01$), *Luehea divaricata* ($W = 19$, $p = 0.03$), *Myroxylon peruiferum* ($t = -4.24$, $df = 7$, $p < 0.01$) e *Peltophorum dubium* ($t = -4.87$, $df = 7$, $p < 0.01$) (Figura 2). Tanto na média geral (este trabalho 0.55g/cm^3 ; literatura 0.61g/cm^3 ; Figura 1) quanto para as espécies, os valores da literatura foram maiores, com exceção de *L. divaricata* (Figura 2).

Tabela 1: Média das densidades básicas da madeira de espécies florestais de áreas experimentais de restauração florestal com 24 anos (DB amostrado) e média das densidades básicas da madeira de espécies florestais presentes em bases de dados (DB da literatura).

DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA (DB)					
Família	Espécie	Nº de indivíduos coletados	DB (g/cm³) amostrado (Média ± Desvio Padrão)	Nº de dados obtidos	DB (g/cm³) da literatura (Média ± Desvio Padrão)
Anacardiaceae	<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi ²	6	0.4884 ± 0.0324	1	0.4900 ± 0.0000
Apocynaceae	<i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll.Arg. ^{1,2}	4	0.7026 ± 0.0173	9	0.7110 ± 0.0975
	<i>Tabernaemontana hystrix</i> Steud.	6	0.4191 ± 0.0258	0	NA
Asteraceae	<i>Moquiniastrum polymorphum</i> (Less.) G. Sancho ¹	5	0.5885 ± 0.0129	1	0.9550 ± 0.0000
Bignoniaceae	<i>Zeyheria tuberculosa</i> (Vell.) Bureau ex Verl. ^{1,2}	6	0.5570 ± 0.0373	3	0.6800 ± 0.0668
Euphorbiaceae	<i>Croton floribundus</i> Spreng. ^{1,2}	6	0.4303 ± 0.0238	3	0.4967 ± 0.0818
Fabaceae	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan *	6	0.6818 ± 0.0579	8	0.8354 ± 0.0980
	<i>Centrolobium tomentosum</i> Guillem. ex Benth. ^{1,2}	6	0.5710 ± 0.0232	4	0.6150 ± 0.0789
	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf. ^{1,2}	6	0.5749 ± 0.0438	4	0.6300 ± 0.0755
	<i>Dipteryx alata</i> Vogel ^{1,2}	6	0.6943 ± 0.0242	6	0.9367 ± 0.1206
	<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong * ^{1,2}	6	0.3268 ± 0.0245	7	0.3835 ± 0.0786
	<i>Hymenaea courbaril</i> L. * ^{1,2}	6	0.7560 ± 0.0131	19	0.7898 ± 0.0714
	<i>Lonchocarpus cultratus</i> (Vell.) A.M.G.Azevedo & H.C.Lima ²	6	0.5578 ± 0.0761	2	0.5900 ± 0.0900
	<i>Machaerium brasiliense</i> Vogel ^{1,2}	6	0.5182 ± 0.0319	2	0.6300 ± 0.0300
	<i>Machaerium hirtum</i> (Vell.) Stefffeld ¹	6	0.3448 ± 0.0065	1	0.6600 ± 0.0000
	<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth. ¹	5	0.7578 ± 0.0302	1	0.8000 ± 0.0000
	<i>Myroxylon peruiferum</i> L.f. ^{1,2}	6	0.7021 ± 0.0192	7	0.8179 ± 0.0635
	<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan ^{1,2}	3	0.7264 ± 0.0422	3	0.7667 ± 0.2231
	<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub. ^{1,2}	6	0.5284 ± 0.0282	7	0.6999 ± 0.0805
	<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F.Macbr. * ^{1,2}	5	0.6418 ± 0.0613	4	0.6375 ± 0.0826
	<i>Poecilanthe parviflora</i> Benth. * ^{1,2}	5	0.9301 ± 0.0273	2	0.9000 ± 0.0900
	<i>Pterogyne nitens</i> Tul. * ^{1,2}	6	0.7043 ± 0.0359	10	0.6821 ± 0.0563
	<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) Blake * ^{1,2}	5	0.3872 ± 0.0341	9	0.3380 ± 0.0710
	<i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton & Rose ^{1,2}	5	0.6806 ± 0.0338	6	0.6279 ± 0.0889
Malvaceae	<i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna * ^{1,2}	5	0.3710 ± 0.0684	4	0.3109 ± 0.1481
	<i>Luehea divaricata</i> Mart. * ^{1,2}	5	0.6699 ± 0.0388	4	0.5548 ± 0.0496
Meliaceae	<i>Cedrela fissilis</i> Vell. ^{1,2}	6	0.3545 ± 0.0298	6	0.4622 ± 0.0739
Moraceae	<i>Ficus guaranitica</i> L. * ¹	5	0.5367 ± 0.0372	1	0.4000 ± 0.0000
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i> L. ¹	6	0.5191 ± 0.0098	4	0.6518 ± 0.0874
Urticaceae	<i>Urera baccifera</i> (L.) Gaudich. ex Wedd. ¹	6	0.2298 ± 0.0289	1	0.1650 ± 0.0000
Verbenaceae	<i>Aloysia virgata</i> (Ruiz & Pav.) Juss. ³	6	0.6169 ± 0.0327	1	0.6000 ± 0.0000
	<i>Citharexylum myrianthum</i> Cham. ²	6	0.3770 ± 0.0248	2	0.4850 ± 0.0850

* Espécies em que a DB amostrada foi obtida pelo método de densitometria por raios X.

¹ Espécies em que a DB da literatura foi retirada da base de dados DRYAD.

² Espécies em que a DB da literatura foi retirada da Coleção Espécies Arbóreas Brasileiras de Paulo Ernani Ramalho Carvalho.

³ Espécie em que a DB da literatura foi retirada de SANTOS *et al.* (2020).

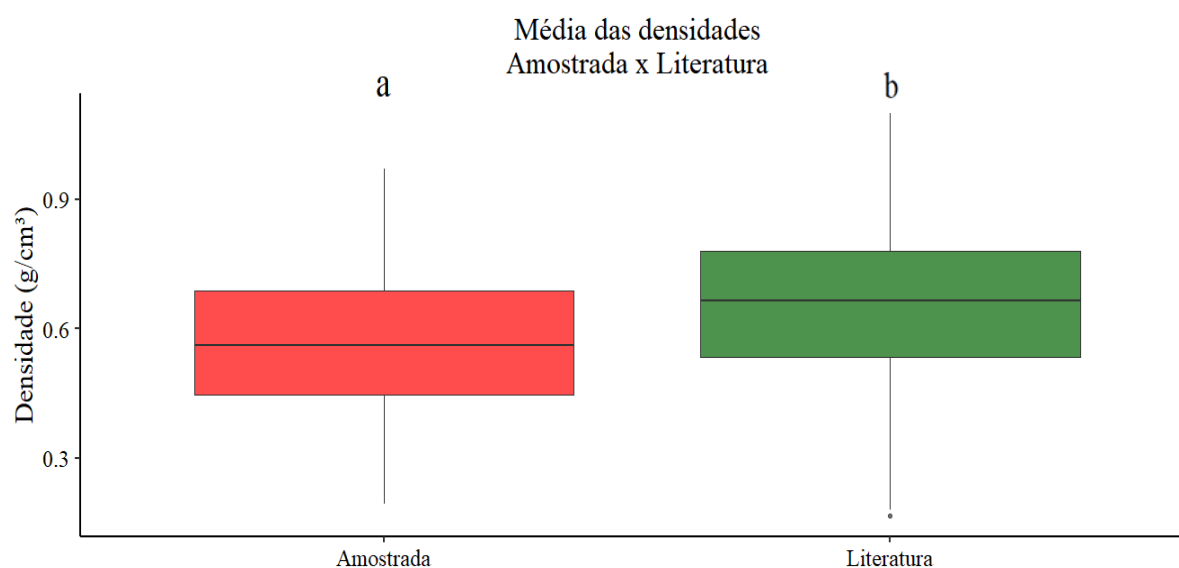


Figura 1. Boxplot (mediana $\pm$ quartis) dos valores de densidade básica da madeira obtidos da literatura contra os amostrados neste trabalho ($t = -4.47$, $df = 272$ e $p < 0.001$).

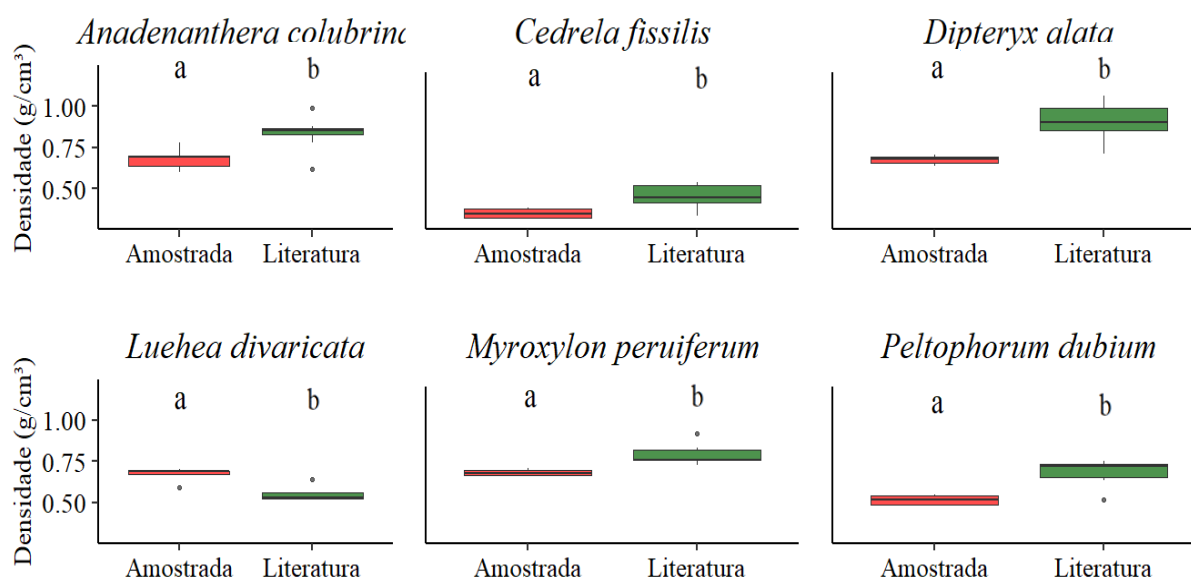


Figura 2. Boxplot (mediana $\pm$ quartis) das espécies que apresentam diferença significativa entre os valores de densidade básica da madeira obtidos da literatura contra os valores de DB amostrados neste trabalho. As letras a e b em cada uma das espécies significam que o valor de densidade da literatura é diferente significativamente da densidade amostrada.

3.2. Impacto das espécies e da origem dos dados de densidade básica nas estimativas de biomassa acima do solo

Quando analisamos as estimativas de biomassa acima do solo, observamos que houve diferença significativa entre a média dos valores estimados de biomassa obtidos pelas equações de Chave *et al.* 2014 ($V=41$, $p < 0.001$) e Nogueira Jr. *et al.*

2014 (V=42, $p<0.001$), realizadas a partir dos valores de densidade básica da madeira retirados da literatura em comparação ao uso de dados reais de campo (Tabelas 2 e 3). Em geral, a biomassa foi superestimada em 7.51% ao se usar os dados da literatura para a equação de Chave *et al* (2014) e 8.24% para a de Nogueira Jr. *et al* (2014) (Tabela 3).

Comparando a média entre os valores de biomassa obtidos das equações de Chave *et al*. (2014) e Nogueira Jr. *et al*. (2014), quando se usa valores de densidade básica da madeira retirados da literatura, com a média entre as equações, quando se usa de dados reais de campo (Tabela 2 e 3), grande parte das espécies mostram diferença significativas entre a origem dos dados de densidade: *Aloysia virgata* (V = 21, $p= 0.03$), *Anadenanthera colubrina* (t = -3.70, df = 5, $p = 0.01$), *Aspidosperma polyneuron* (t = -10.53, df = 3, $p<0.001$), *Cedrela fissilis* (t = -5.48, df = 5, $p<0.01$), *Centrolobium tomentosum* (t = -3.32, df = 5, $p=0.02$), *Citharexylum myrianthum* (t = -4.29, df = 5, $p<0.01$), *Copaifera langsdorffii* (t = -6.29, df = 5, $p<0.01$), *Croton floribundus* (t = -4.50, df = 5, $p< 0.01$), *Dipteryx alata* (t = -5.58, df = 5, $p<0.01$), *Enterolobium contortisiliquum* (t = -3.73, df = 5, $p<0.01$), *Hymenaea courbaril* (t = -3.13, df = 5, $p=0.02$), *Lonchocarpus cultratus* (V = 0, $p=0.03$), *Luehea divaricata* (t = 3.58, df = 4, $p=0.02$), *Machaerium brasiliensis* (t = -4.53, df = 5, $p<0.01$), *Machaerium hirtum* (t = -4.03, df = 5, $p<0.01$), *Mimosa caesalpiniiifolia* (t = -2.97, df = 4, $p=0.04$), *Moquiniastrum polymorphum* (t = -2.88, df = 4, $p=0.04$), *Myroxylon peruiferum* (t = -3.98, df = 5, $p<0.01$), *Parapiptadenia rigida* (t = -4.68, df = 2, $p= 0.04$), *Peltophorum dubium* (t = -2.78, df = 5, $p=0.03$), *Poecilanthe parviflora* (t = 2.94, df = 4, $p=0.04$), *Psidium guajava* (t = -4.82, df = 5, $p<0.01$), *Pterogyne nitens* (t = 3.20, df = 5, $p=0.02$), *Schinus terebinthifolia* (t = -2.78, df = 5, $p=0.04$), *Schizolobium parahyba* (t = 3.17, df

= 4, $p=0.03$), *Urera baccifera* ($t = 5.66$, $df = 5$, $p<0.01$), *Zeyheria tuberculosa* ($t = -9.27$, $df = 5$, $p<0.001$).

Tabela 2: Valores totais de biomassa acima do solo (kg) obtidos em cada uma das equações, Chave *et al.* (2014) e Nogueira Jr. *et al.* (2014), com os dados da literatura e dados reais de campo (dados coletados).

Espécie	Biomassa total (kg)			
	Densidade amostrada		Densidade da literatura	
	Eq. Chave	Eq. Nogueira Jr.	Eq. Chave	Eq. Nogueira Jr.
Aloysia virgata	323.80	471.41	315.14	457.52
Anadenanthera colubrina	3165.74	3042.44	3859.84	3786.40
Aspidosperma polyneuron	301.67	407.08	305.18	412.31
Cedrela fissilis	407.78	490.60	528.26	652.80
Ceiba speciosa	1610.10	1667.44	1355.01	1378.44
Centrolobium tomentosum	869.92	883.09	935.29	956.59
Citharexylum myrianthum	796.40	856.27	1018.37	1123.14
Copaifera langsdorffii	353.51	414.06	386.55	456.95
Croton floribundus	635.74	705.63	731.28	823.50
Dipteryx alata	643.53	703.23	861.96	970.84
Enterolobium contortisiliquum	550.47	691.86	643.46	821.91
Ficus guaranitica	1437.44	1616.42	1078.90	1177.75
Hymenaea courbaril	1116.59	1344.85	1165.33	1409.76
Lonchocarpus cultratus	1025.51	992.79	1083.25	1054.65
Luehea divaricata	1316.64	1928.31	1095.36	1573.98
Machaerium brasiliensis	442.92	563.48	535.96	695.43
Machaerium hirtum	602.68	637.87	1135.78	1283.57
Mimosa caesalpiniiifolia	1294.37	1728.02	1364.68	1831.88
Moquiniastrum polymorphum	562.38	873.44	902.07	1471.22
Myroxylon peruiferum	1044.47	1139.72	1212.35	1343.48
Parapiptadenia rigida	141.20	191.37	148.83	202.82
Peltophorum dubium	1981.99	2047.75	2607.67	2771.79
Piptadenia gonoacantha	1240.88	1383.09	1232.76	1373.12
Poecilanthe parviflora	1032.84	1361.59	1000.20	1314.19
Psidium guajava	254.04	440.20	317.23	562.49
Pterogyne nitens	2833.36	3101.19	2746.08	2995.94
Schinus terebinthifolia	784.31	920.20	786.82	923.45
Schizolobium parahyba	2077.18	2090.64	1819.17	1805.99
Senegalia polyphylla	1275.28	1677.43	1178.73	1537.86
Urera baccifera	88.64	135.76	64.15	95.03
Zeyheria tuberculosa	469.40	537.52	570.32	666.38
Biomassa total	30680.80	35044.76	32985.99	37931.18

Tabela 3: Diferença percentual entre valores de biomassa acima do solo (kg) obtidos em cada uma das equações, Chave *et al.* (2014) e Nogueira Jr. *et al.* (2014) (Tabela 2), usando os dados de densidade básica da madeira da literatura e dados coletados. Valores negativos indicam que usar a densidade oriunda da literatura subestima a biomassa quando comparamos aos valores de biomassa obtido com dados reais de campo e valores positivos indicam que houve superestima da biomassa.

Espécie	Literatura/local (Chave)	Literatura/local (Nogueira Jr.)
<i>Aloysia virgata</i>	-2.7%	-2.9%
<i>Anadenanthera colubrina</i>	21.9%	24.5%
<i>Aspidosperma polyneuron</i>	1.2%	1.3%
<i>Cedrela fissilis</i>	29.5%	33.1%
<i>Ceiba speciosa</i>	-15.8%	-17.3%
<i>Centrolobium tomentosum</i>	7.5%	8.3%
<i>Citharexylum myrianthum</i>	27.9%	31.2%
<i>Copaifera langsdorffii</i>	9.3%	10.4%
<i>Croton floribundus</i>	15.0%	16.7%
<i>Dipteryx alata</i>	33.9%	38.1%
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	16.9%	18.8%
<i>Ficus guaranitica</i>	-24.9%	-27.1%
<i>Hymenaea courbaril</i>	4.4%	4.8%
<i>Lonchocarpus cultratus</i>	5.6%	6.2%
<i>Luehea divaricata</i>	-16.8%	-18.4%
<i>Machaerium brasiliensis</i>	21.0%	23.4%
<i>Machaerium hirtum</i>	88.5%	101.2%
<i>Mimosa caesalpinifolia</i>	5.4%	6.0%
<i>Moquiniastrium polymorphum</i>	60.4%	68.4%
<i>Myroxylon peruiferum</i>	16.1%	17.9%
<i>Parapiptadenia rigida</i>	5.4%	6.0%
<i>Peltophorum dubium</i>	31.6%	35.4%
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	-0.7%	-0.7%
<i>Poecilanthe parviflora</i>	-3.2%	-3.5%
<i>Psidium guajava</i>	24.9%	27.8%
<i>Pterogyne nitens</i>	-3.1%	-3.4%
<i>Schinus terebinthifolia</i>	0.3%	0.4%
<i>Schizolobium parahyba</i>	-12.4%	-13.6%
<i>Senegalia polyphylla</i>	-7.6%	-8.3%
<i>Urera baccifera</i>	-27.6%	-30.0%
<i>Zeyheria tuberculosa</i>	21.5%	24.0%
Biomassa total	7.51%	8.24%

A identidade das espécies exerce influência nos valores estimados de biomassa ($F=5.89$, $Df=30$, $p<0.001$). A origem da densidade da madeira (literatura ou local) usada nas equações alométricas propostas por Chave *et al.* 2014 e Nogueira Jr. *et al.* 2014, também exerceu influência nas estimativas de biomassa acima do solo ($F=21.22$, $Df=1$, $p<0.01$). Além disso, houve interação significativa entre espécie e a

origem do valor de densidade da madeira usado ($F=8.55$, $Df=30$, $p<0.001$), ou seja, a influência da origem do valor de densidade da madeira na resposta (biomassa estimada do indivíduo) muda a depender da espécie (Tabelas 2, 3 e 4).

Os valores de densidade da madeira de *Anadenanthera colubrina*, *Ceiba speciosa*, *Citharexylum myrianthum*, *Dipteryx alata*, *Ficus guaranitica*, *Luehea divaricata*, *Machaerium hirtum*, *Moquiniastrum polymorphum*, *Myroxylon peruiferum*, *Peltophorum dubium* e *Schizolobium parahyba* apresentaram efeito significativo nas estimativas de biomassa acima do solo. Dentre essas espécies, *C. speciosa*, *F. guaranitica*, *L. divaricata* e *S. parahyba* apresentaram razão positiva ($ratio>0$), indicando que o uso de valores de densidade da literatura nessas espécies subestimam os valores de biomassa acima do solo em comparação aos valores obtidos neste estudo, com o uso de dados reais de campo, ao passo que as que apresentam razão negativa ($ratio<0$), *A. colubrina*, *C. myrianthum*, *D. alata*, *M. hirtum*, *M. polymorphum*, *M. peruiferum* e *P. dubium* superestimam a biomassa acima do solo (Tabela 4). Os valores de “ratio” é a razão entre a média das biomassas obtidas pelas equações utilizando a densidade da literatura e a média das biomassas obtidas pelas equações utilizando dados amostrados.

Tabela 4: Efeito da origem da densidade básica da madeira de espécies comumente utilizadas em projetos de restauração florestal nas estimativas de biomassa acima do solo de florestas tropicais. O efeito está sendo avaliado com relação a influência dos valores da literatura quando comparado aos valores reais de campo (amostrados).

Espécie	Efeito da origem da DB nas estimativas de biomassa	ratio	p valor
<i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna	Substima	-3.30	<0.001
<i>Ficus guaranítica</i> L.		-4.83	<0.001
<i>Luehea divaricata</i> Mart.		-3.49	<0.001
<i>Schizolobium parhyba</i> (Vell.) Blake		-3.29	<0.001
<i>Aloysia virgata</i> (Ruiz & Pav.) Juss.	Sem efeito	-0.12	0.901
<i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll.Arg.		0.06	0.953
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.		1.56	0.119
<i>Centrolobium tomentosum</i> Guillem. ex Benth.		0.77	0.443
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.		0.42	0.675
<i>Croton floribundus</i> Spreng.		1.18	0.238
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong		1.23	0.218
<i>Hymenaea courbaril</i> L.		0.63	0.530
<i>Lonchocarpus cultratus</i> (Vell.) A.M.G.Azevedo & H.C.Lima		0.66	0.509
<i>Machaerium brasiliense</i> Vogel		1.24	0.214
<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth.		1.06	0.292
<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan		0.15	0.881
<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F.Macbr.		-0.11	0.913
<i>Poecilanthe parviflora</i> Benth.		-0.48	0.628
<i>Psidium guajava</i> L.		1.03	0.305
<i>Pterogyne nitens</i> Tul.		-1.06	0.288
<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi		0.03	0.975
<i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton & Rose		-1.43	0.153
<i>Urera baccifera</i> (L.) Gaudich. ex Wedd.		-0.36	0.718
<i>Zeyheria tuberculosa</i> (Vell.) Bureau ex Verl.		1.27	0.204
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	Superestima	7.95	<0.001
<i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.		2.70	0.007
<i>Dipteryx alata</i> Vogel		2.69	0.007
<i>Machaerium hirtum</i> (Vell.) Stellfeld		6.52	<0.001
<i>Moquiniastrum polymorphum</i> (Less.) G. Sancho		5.68	<0.001
<i>Myroxylon peruiferum</i> L.f.		2.06	0.040
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.		7.46	<0.001

Em 35.5% das espécies estudadas a origem da densidade básica da madeira (literatura ou amostrada) apresentou influência significativa nos valores de biomassa acima do solo. Entretanto, para a maior parte das espécies (64.5%) não houve efeito da densidade nas estimativas. (Tabela 4; Figura 3).

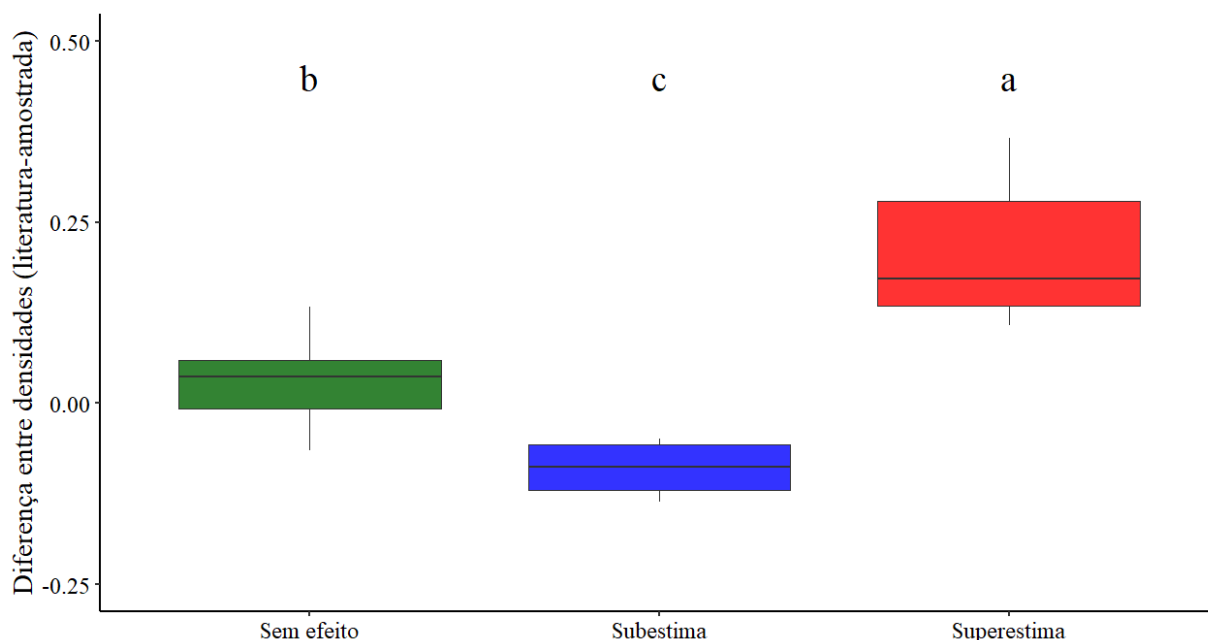


Figura 3. Boxplot (mediana $\pm$ quartis) do efeito da origem da densidade da madeira nas estimativas de biomassa acima do solo. “Sem efeito” é o grupo de espécies que a origem da DB não apresenta efeito significativo na estimativa de biomassa (q25= 0.059, q75= -0.007 e mediana= 0.037); “Subestima” é o grupo de espécies em que o uso de densidade da literatura nas equações alométricas subestima significativamente a biomassa (q25= -0.057, q75= -0.12 e mediana= -0.087); E “Superestima” é o grupo de espécies em que o uso de densidade da literatura nas equações que estimam a biomassa superestima significativamente os valores (q25= 0.278, q75= 0.13 e mediana= 0.175).

4. DISCUSSÃO

Observamos diferenças significativas entre os valores de densidade básica da literatura e as amostrados neste trabalho tanto na média geral, sendo as da literatura maiores, quanto entre os valores de densidade de algumas espécies. A densidade da madeira é influenciada pelas condições ambientais e climáticas e entre gradientes relacionados a nutrição do solo nos locais em que as espécies estão inseridas, podendo inclusive manifestar variações intraespecíficas (BAKER *et al.*, 2004; PATIÑO *et al.*, 2009; LEWIS *et al.*, 2013), como é o caso dos valores de densidade da literatura das espécies *Parapiptadenia rigida* e *Ceiba speciosa* (Tabela 1), que apresentaram valores maiores de desvio padrão. Outro fator que ajuda a explicar essa diferença de densidade entre os valores da literatura e amostrados é a idade das árvores como mostra SARMIENTO *et al.* (2011). Tem-se que nas florestas em restauração

geralmente os indivíduos são jovens e, por consequência, apresentam valores menores de densidade de madeira comparativamente as florestas maduras (BROWN; LUGO, 1990; SARMIENTO *et al.*, 2011). Ao longo do tempo, os vasos podem ser submetidos ao preenchimento com material secundário gerando aumento da densidade com a idade (SARMIENTO *et al.*, 2011). Neste trabalho, de forma geral, os indivíduos são mais jovens que os das bases de dados, o que provavelmente explica parte da diferença de apresentar valores menores de densidade básica da madeira, tanto na média geral como na maioria das espécies. Em 21 das 31 espécies analisadas a densidade amostrada é menor que da literatura, sendo elas: *Anadenanthera colubrina*, *Aspidosperma polyneuron*, *Cedrela fissilis*, *Centrolobium tomentosum*, *Citharexylum myrianthum*, *Copaifera langsdorffii*, *Croton floribundus*, *Dipteryx alata*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Hymenaea courbaril*, *Lonchocarpus cultratus*, *Machaerium brasiliensis*, *Machaerium hirtum*, *Mimosa caesalpiniiifolia*, *Moquiniastrium polymorphum*, *Myroxylon peruiferum*, *Parapiptadenia rigida*, *Peltophorum dubium*, *Psidium guajava*, *Schinus terebinthifolia*, *Zeyheria tuberculosa* (Tabela 1). Também é o caso das espécies em que houve diferença significativa entre os valores de densidade da literatura comparados aos dados deste estudo (Figura 2), que são espécies longevas, com exceção de *Luehea divaricata*.

Como mostramos neste trabalho, os dados presentes nas bases de dados são diferentes dos valores de densidade de florestas em restauração com aproximadamente 25 anos (Tabela 1; Figura 2). A densidade tem um papel importante para explicar as diferenças nas estimativas de biomassa florestal (Figura 3), como também mostrado por CHAVE, J. *et al.* (2005) e FLORES; COOMES (2011), inclusive pela maior parte da biomassa estar presente no tronco. Modelos que incluem a densidade da madeira levando em conta a variação regional, tendem a torná-las mais

confiáveis (BAKER *et al.*, 2004; CHAVE *et al.*, 2005; FLORES; COOMES, 2011), pois os dados existentes na literatura são menos precisos quando comparados aos dados locais (FLORES; COOMES, 2011).

Encontramos diferenças entre a média total dos valores estimados de biomassa acima do solo obtidos pelas equações de Chave *et al.* 2014 e Nogueira Jr. *et al.* 2014, realizadas a partir dos valores de densidade básica da madeira retirados da literatura em comparação ao uso de dados reais de campo. Além disso, há efeito tanto da espécie quanto da fonte dos dados de densidade básica da madeira nas estimativas de biomassa. O uso de dados de DB da literatura, em geral superestimou a biomassa geral das espécies em até 8.24%, em relação às estimativas feitas com dados coletados no local (Tabela 3). A biomassa é um elemento importante em sistemas florestais, pois representa o acúmulo de carbono e a produtividade do ecossistema (MELO; DURIGAN, 2006), além de ser pauta em programas de mitigação de emissões de gases de efeito estufa tendo aplicações diretas, por exemplo, no Monitoramento, Reportagem e Verificação (MRV) de carbono (CHAVE *et al.*, 2014), fundamental para responder às mudanças climáticas. Portanto, quando o intuito é medir os estoques de biomassa acima do solo é fundamental que esses valores sejam confiáveis, para que as estratégias de sequestro de carbono, que visa um enfrentamento as mudanças climáticas, sejam assertivas nesse ponto.

Como mostramos nesse trabalho, há erros nas estimativas de biomassa acima do solo de florestas em restauração com idades próximas a 25 anos, relacionados a origem dos valores de densidade básica da madeira. Erros tanto relacionados ao conjunto geral de espécies, evidenciando uma provável falha na estimativa da floresta, como também individualmente para determinadas espécies (Tabela 4). Em algumas espécies o erro percentual pode ultrapassar 80-100% e, apesar do erro geral, em

média, ser de apenas 7-8% (Tabela 3), dependendo da composição de espécies dos plantios, os erros podem ser bem maiores se houver uma alta densidade de espécies que causam impactos mais expressivos nas estimativas. Em espécies como *Anadenanthera colubrina*, *Citharexylum myrianthum*, *Dipteryx alata*, *Machaerium hirtum*, *Moquiniastrum polymorphum*, *Myroxylon peruiferum* e *Peltophorum dubium* há uma superestimativa dos valores de biomassa quando se usa dados das bases de dados (Tabela 4). Sendo essas as de maior densidade, e também mais longevas, em relação às pioneiras, seu impacto nas estimativas de captura de carbono a longo prazo deve ser maior. Já espécies como *Ceiba speciosa*, *Ficus guaranitica*, *Luehea divaricata* e *Schizolobium parahyba* os valores estimados são subestimados (Tabela 4), justamente as espécies de início de sucessão, de madeira mais mole. Essas espécies apresentam características bem distintas, sendo problemático agrupá-las e definir um determinado comportamento perante as equações alométricas.

Como apontamos, é evidente que há influência do valor de densidade da madeira na resposta (biomassa estimada do indivíduo) e esse efeito muda a depender da espécie, como também mostrado por PHILLIPS *et al.*, 2019, ou seja, a composição de espécies da floresta tem grande impacto nos valores estimados de biomassa acima do solo. Para evitar erros mais grosseiros de estimativa de biomassa para florestas secundárias é necessário entender as características individuais das espécies, para posteriormente galgar para a composição da floresta e proporção de determinadas espécies.

Os bancos de dados são um ótimo recurso para estimar densidades de madeira desconhecidas, entretanto, as estimativas globais atuais sobre o armazenamento de florestas secundárias e absorção de carbono são tendenciosas quando se utiliza somente de bases de dados, em casos subestimam, em outros superestimam os

valores de biomassa, ou seja, há um erro importante nas previsões, como mostramos para florestas em restauração com idade aproximada de 25 anos. Nesse contexto, sugerimos utilizar dados locais, sempre que possível, e direcionar esforços para entender melhor as características das inúmeras espécies tropicais, além de fornecer dados das espécies as bases de dados para que se evite ao máximo os erros associados.

5. CONCLUSÃO

Os valores médios de densidade básica da madeira de plantios de restauração com 25 anos de idade foram menores do que os obtidos de bases de dados, embora ao se considerar as espécies individuais, as diferenças tenham sido significativas em apenas 6 entre as 31 analisadas.

Entretanto, quando analisamos o impacto do uso de valores não locais nas estimativas de biomassa, as diferenças entre espécies foram significativas para cerca de 11 das 31 espécies analisadas, gerando uma superestimativa de até 8,2% na biomassa da floresta como um todo, ao se usar dados de densidade básica da madeira de bancos de dados. Das 11 espécies, houve superestimativa da biomassa para sete delas, enquanto em quatro os valores foram subestimados, sendo essas últimas as de madeira menos densa.

Nossos dados sugerem que, dependendo da composição da floresta restaurada, os erros de estimativa de biomassa podem ainda ser maiores, se forem usados dados de densidade básica da madeira de bancos de dados, deixando clara a importância de esforços para obtenção de dados específicos de cada região para minimizar tais erros e melhorar a precisão das estimativas.

6. REFERÊNCIAS

AMARAL, A.C.B.; TOMAZELLO FILHO, M. Avaliação das características dos anéis de crescimento de *Pinus taeda* pela técnica de microdensitometria de raios X. **Revista de Ciência e Tecnologia**, v.6, n.11/12, p.17-23, 1998.

AUGSPURGER, C. K.; KELLY, C. K. Pathogen mortality of tropical tree seedlings: experimental studies of the effects of dispersal distance, seedling density, and light conditions. **Oecologia**, vol. 61, p. 211–217, 1984.

BAKER, T. R.; PHILLIPS, O. L.; MALHI, Y. *et al.* Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. **Global Change Biology**, vol. 10, no. 5, p. 545–562, 2004.

BROWN, S.; LUGO, A. E. Tropical secondary forests. **Tropical Ecology**, no. 6, p. 1-32., 1990.

CARVALHO, P. E. R. Espécies Arbóreas Brasileiras. Brasília, DF: **Embrapa Florestas**, 2003. vol. 1.

CARVALHO, P. E. R. Espécies Arbóreas Brasileiras. Brasília, DF: **Embrapa Florestas**, 2006. Vol. 4.

CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília, DF: **Embrapa Florestas**, 2008. vol. 3, .

CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília, DF: **Embrapa Florestas**, 2010. vol. 4, .

CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília, DF: **Embrapa Florestas**, 2014. Vol. 5.

CHARLES, L. S.; DWYER, J. M.; SMITH, T. J. *et al.* Species wood density and the location of planted seedlings drive early-stage seedling survival during tropical forest restoration. **Journal of Applied Ecology**, vol. 55, no. 2, p. 1009–1018, 2018.

CHAVE, J.; ANDALO, C.; BROWN, S. *et al.* Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, vol. 145, no. 1, p. 87–99, 2005.

CHAVE, J.; CONDIT, R.; AGUILAR, S. *et al.* Error propagation and sealing for tropical forest biomass estimates. **Philosophical Transactions R. Soc. Lond. B Biol Sci.** Mar 29; 359(1443): 409–420, 2004.

CHAVE, J.; COOMES, D.; JANSEN, S. *et al.* Towards a worldwide wood economics spectrum. **Ecology Letters**, Oxford, v.12, p.351-366, 2009.

CHAVE, J.; MULLER-LANDAU, H. C.; BAKER, T. R. *et al.* Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 neotropical tree species.

Ecological Applications, vol. 16, no. 6, p. 2356–2367, 2006.

CHAVE, J.; RÉJOU-MÉCHAIN, M.; BÚRQUEZ, A. *et al.* Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Glob. Change Biol.* 20, 3177–3190, 2014.

DALLA-SALDA, G.; MARTINEZ-MEIER, A.; COCHARD, H. *et al.* Variation of wood density and hydraulic properties of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) clones related to a heat and drought wave in France. **Forest Ecology and Management**, vol. 257, no. 1, p. 182–189, 2009.

FLORES, O.; COOMES, D. A. Estimating the wood density of species for carbon stock assessments. **Methods in Ecology and Evolution**, vol. 2, no. 2, p. 214–220, 2011.

HACKE, U. G.; SPERRY, J. S. Functional and ecological xylem anatomy. **Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics**, 4, 97–115, 2001. , p. 97– 115, 2001.

HACKE, U. G.; SPERRY, J. S.; POCKMAN, W. T. *et al.* Trends in wood density and structure are linked to prevention of xylem implosion by negative pressure. **Oecologia**, vol. 126, no. 4, p. 457–461, 2001.

IBGE. Manual Técnico da Vegetação Brasileira; **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**: Rio de Janeiro, Brazil, 2012; p. 271.

KITAJIMA, K; POORTER, L. Functional basis for resource niche partitioning by tropical trees. **Tropical forest community ecology**, no. 1936, p. 160–181, 2008.

KITAJIMA, K. Relative importance of photosynthetic traits and allocation patterns as correlates of seedling shade tolerance of 13 tropical trees. **Oecologia**, vol. 98, no. 3–4, p. 419–428, 1994.

LEWIS, S. L.; SONKÉ, B.; SUNDERLAND, T. *et al.* Above-ground biomass and structure of 260 African tropical forests. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 368, no. 1625, 2013.

MCCARTHY-NEUMANN, S.; KOBE, R. K. Tolerance of soil pathogens co-varies with shade tolerance across species of tropical tree seedlings. **Ecology**, vol. 89, no. 7, p. 1883–1892, 2008.

MELO, A. C. G.; DURIGAN, G. Fixação de carbono em reflorestamentos de matas ciliares no Vale do Paranapanema, SP, Brasil Carbon sequestration by

planted riparian forests in Paranapanema Valley, SP, Brazil. **Scientia Forestalis**, no. 71, p. 149–154, 2006.

NASCIMENTO, H. E. M.; LAURANCE, W. F.; CONDIT, R. *et al.* Demographic and life-history correlates for Amazonian trees. **Journal of Vegetation Science**, vol. 16, no. 6, p. 625, 2005.

NOGUEIRA JÚNIOR, L. R.; ENGEL, V. L.; PARROTTA, J. A. *et al.* Allometric equations for estimating tree biomass in restored mixed-species Atlantic Forest stands. **Biota Neotropica**, vol. 14, no. 2, p. 1–9, 2014.

PATIÑO, S.; LLOYD, J.; PAIVA, R. *et al.* Branch xylem density variations across the Amazon Basin. **Biogeosciences** 6, 545–568., 2009.

PÉREZ-HARGUINDEGUY, N.; DÍAZ, S.; GARNIER, E. *et al.* New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany**, vol. 61, no. 3, p. 167–234, 2013.

PHILLIPS, O. L.; SULLIVAN, M. J. P.; BAKER, T. R. *et al.* Species Matter: Wood Density Influences Tropical Forest Biomass at Multiple Scales. **Surveys in Geophysics**, vol. 40, no. 4, p. 913–935, 2019.

PONTES, D. M. F.; ENGEL, V. L.; PARROTTA, J. A. Forest structure, wood standing stock, and tree biomass in different restoration systems in the Brazilian Atlantic forest. **Forests**, vol. 10, no. 7, p. 1–18, 2019.

POORTER, L.; WRIGHT, S. J.; PAZ, H. *et al.* Are functional traits good predictors of demographic rates? Evidence from five neotropical forests. **Ecology**, vol. 89, no. 7, p. 1908–1920, 2008.

POORTER, L.; BONGERS, F.; AIDE, T. M. *et al.* Biomass resilience of Neotropical secondary forests. **Nature** 530:211–214., 2016.

POORTER, L.; MCDONALD, I.; ALARCÓN, A. *et al.* The importance of wood traits and hydraulic conductance for the performance and life history strategies of 42 rainforest tree species. **New Phytologist**, vol. 185, no. 2, p. 481–492, 2010.

PUTZ, F. E.; COLEY, P. D.; LU, K. *et al.* Uprooting and snapping of trees: structural determinants and ecological consequences. **Canadian Journal of Forest Research**, vol. 13, no. 5, p. 1011–1020, 1983.

R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available in: <https://www.R-project.org> (Accessed on January 02, 2023)

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S.; NAVE, A. G. *et al.* Large-scale ecological restoration of high-diversity tropical forests in SE Brazil. **Forest Ecology and Management**, vol. 261, no. 10, p. 1605–1613, 2011.

SANTOS, V. da C. L. dos; *et al.* Biomass and Carbon Stored Estimated in the forest ecosystem of the Nova Canaã Farm (Porciúncula/RJ). **Naturae**, vol. 2, no. 1, p. 1–15, 2020.

SARMIENTO, C.; PATIÑO, S.; TIMOTHY PAINE, C. E. *et al.* Within-individual variation of trunk and branch xylem density in tropical trees. **American Journal of Botany**, vol. 98, no. 1, p. 140–149, 2011.

SPERRY, J. S.; HACKE, U. G.; PITTERMANN, J. Size and function in conifer tracheids and angiosperm vessels. **American Journal of Botany**, vol. 93, no. 10, p. 1490–1500, 2006.

STERCK, F. J.; VAN GELDER, H. A.; POORTER, L. Mechanical branch constraints contribute to life-history variation across tree species in a Bolivian forest. **Journal of Ecology**, vol. 94, no. 6, p. 1192–1200, 2006.

SWENSON, N. G.; ENQUIST, B. J. Ecological and evolutionary determinants of a key plant functional trait: Wood density and its community-wide variation across latitude and elevation. **American Journal of Botany**, vol. 94, no. 3, p. 451–459, 2007.

TOMAZELLO FILHO, M. *et al.* Avaliação tecnológica da madeira e de painéis MDF de eucalipto por densitometria de raios X. Madeira: **Arquitetura & Engenharia, São Carlos**, v. 11, n. 27, p. 45-58, 2010.

VAN GELDER, H. A.; POORTER, L.; STERCK, F. J. Wood mechanics, allometry, and life-history variation in a tropical rain forest tree community. **New Phytologist**, vol. 171, no. 2, p. 367–378, 2006.

VIEILLEDENT, G.; FISCHER, F.; CHAVE, J.; GUIBAL, D.; LANGBOUR, P. E GÉRARD, J. Nova fórmula e fator de conversão para calcular a densidade básica da madeira de espécies de árvores usando uma tecnologia global de madeira banco de dados. **American Journal Of Botany**, issn 0002-9122, 105 (10),p. 1-9, 2018J.

VILLANOVA, P. H.; TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G. *et al.* Carbon stock growth in a secondary atlantic forest. **Revista Arvore**, vol. 43, no. 4, p. 1–9, 2019.

WIEMANN, M. C.; WILLIAMSON, G. B. Geographic variation in wood specific gravity: Effects of latitude, temperature, and precipitation. **Wood and Fiber Science**, vol. 34, no. 1, p. 96–107, 2002. .

WILLIAMSON, G. B.; WIEMANN, M. C. Measuring wood specific gravity...Correctly. **American Journal of Botany**, vol. 97, no. 3, p. 519–524, 2010.

WRIGHT, S. J.; MULLER-LANDAU, H. C.; CONDIT, R.; HUBBELL, S. P. Gapdependent recruitment, realized vital rates, and size distributions of tropical trees. **Ecology**, vol. 84, no. 12, p. 3174–3185, 2003.

ZANNE, A. E.; CHAVE, J. *ET AL.* (2009). Data from: Towards a worldwide wood eco- nomics spectrum. Dryad Digital Repository.

ZIEMIŃSKA, K.; BUTLER, D. W.; GLEASON, S. M. *et al.* Fibre wall and lumen fractions drive wood density variation across 24 Australian angiosperms. **AoB PLANTS**, vol. 5, p. 1–14, 2013.