



## QUANTIFICAÇÃO DE BIOMASSA E CARBONO DE UM FRAGMENTO DE FLORESTA SECUNDÁRIA NA AMAZÔNIA

**Jesomi Jonatan da Costa Abreu<sup>1</sup>**  
**Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo<sup>2</sup>**  
**Helaine Cristine Gonçalves Pires<sup>3</sup>**

### RESUMO

**Objetivo:** O objetivo deste estudo é quantificar a biomassa aérea acima do solo (BAAS) e o estoque de carbono em um fragmento de floresta secundária na Amazônia, no município de São João de Pirabas-PA.

**Referencial Teórico:** O estudo fundamenta-se em três pilares principais: a governança climática internacional, as teorias de sucessão ecológica e os modelos de quantificação de biomassa e carbono. Esses elementos teóricos fornecem base sólida para analisar o papel ecológico das espécies florestais e sua contribuição para o sequestro de carbono em áreas de regeneração na Amazônia.

**Método:** O inventário florestal foi conduzido em 20 parcelas de 10×50 m (1 ha), medindo diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total de todas as árvores com DAP ≥ 10 cm. A biomassa foi estimada usando a equação alométrica de Chaves *et al.*, (2014) incorporando densidade básica da madeira. O estoque de carbono foi calculado com fator 0,47 (IPCC, 2006).

**Resultados e Discussão:** Os resultados mostraram elevada variabilidade estrutural e forte contribuição de poucas espécies para os estoques de biomassa e carbono. A discussão evidencia como esses padrões se alinham ao referencial teórico sobre sucessão e dinâmica florestal, destacando o papel ecológico das espécies dominantes. Eventuais divergências entre áreas e limitações metodológicas são consideradas para contextualizar a interpretação dos achados.

**Implicações da Pesquisa:** Os achados fornecem subsídios práticos para manejo, restauração ecológica e políticas de conservação, ao demonstrar a importância das espécies de maior contribuição para o estoque de carbono. As implicações teóricas reforçam modelos de sucessão aplicados a florestas secundárias e auxiliam na compreensão de sua função ecológica na Amazônia.

**Originalidade/Valor:** O estudo se destaca por integrar análises estruturais e ecológicas para identificar espécies-chave na acumulação de biomassa e carbono em uma floresta secundária amazônica. Essa abordagem oferece uma contribuição inovadora ao apoiar estratégias de restauração baseadas em espécies funcionais e fortalecer a compreensão do papel dessas florestas como ativos climáticos.

**Palavras-chave:** Florestas Secundárias, Estoque de Carbono, Biomassa Aérea, Restauração Ecológica.

### QUANTIFICATION OF BIOMASS AND CARBON IN A FRAGMENT OF SECONDARY FOREST IN THE AMAZON

### ABSTRACT

**Objective:** The objective of this study is to quantify the aboveground biomass (AGB) and carbon stock in a fragment of secondary forest in the Amazon, in the municipality of São João de Pirabas-PA.

**Theoretical Framework:** The study is based on three main pillars: international climate governance, theories of ecological succession, and models for quantifying biomass and carbon. These theoretical elements provide a solid basis for analyzing the ecological role of forest species and their contribution to carbon sequestration in regeneration areas in the Amazon.

<sup>1</sup> Universidade Federal do Pará, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. E-mail: [jonatanabreu1997@gmail.com](mailto:jonatanabreu1997@gmail.com)

<sup>2</sup> Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, Pará, Brasil. E-mail: [ruivo@museu-goeldi.br](mailto:ruivo@museu-goeldi.br)

<sup>3</sup> Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, Pará, Brasil. E-mail: [helaine.pires@ufra.edu.br](mailto:helaine.pires@ufra.edu.br)



**Method:** The forest inventory was conducted in 20 plots of 10×50 m (1 ha), measuring diameter at breast height (DBH) and total height of all trees with DBH ≥ 10 cm. Biomass was estimated using the allometric equation of Chaves *et al.*, (2014) incorporating basic wood density. Carbon stock was calculated with a factor of 0.47 (IPCC, 2006).

**Results and Discussion:** The results showed high structural variability and a strong contribution from a few species to biomass and carbon stocks. The discussion highlights how these patterns align with the theoretical framework on forest succession and dynamics, emphasizing the ecological role of dominant species. Any discrepancies between areas and methodological limitations are considered to contextualize the interpretation of the findings.

**Research Implications:** The findings provide practical support for management, ecological restoration, and conservation policies by demonstrating the importance of the species that contribute most to carbon storage. The theoretical implications reinforce succession models applied to secondary forests and aid in understanding their ecological function in the Amazon.

**Originality/Value:** This study stands out for integrating structural and ecological analyses to identify key species in biomass and carbon accumulation in a secondary Amazonian forest. This approach offers an innovative contribution by supporting restoration strategies based on functional species and strengthening the understanding of the role of these forests as climate assets.

**Keywords:** Secondary Forests, Carbon Stock, Aboveground Biomass, Ecological Restoration.

## CUANTIFICACIÓN DE BIOMASA Y CARBONO EN UN FRAGMENTO DE BOSQUE SECUNDARIO EN LA AMAZONÍA

### RESUMEN

**Objetivo:** El objetivo de este estudio es cuantificar la biomasa aérea (AGB) y el stock de carbono en un fragmento de bosque secundario en la Amazonía, en el municipio de São João de Pirabas-PA.

**Marco Teórico:** El estudio se basa en tres pilares principales: la gobernanza climática internacional, las teorías de la sucesión ecológica y los modelos para cuantificar la biomasa y el carbono. Estos elementos teóricos proporcionan una base sólida para analizar el papel ecológico de las especies forestales y su contribución al secuestro de carbono en las zonas de regeneración de la Amazonía.

**Método:** El inventario forestal se realizó en 20 parcelas de 10 × 50 m (1 ha), midiendo el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura total de todos los árboles con un DAP ≥ 10 cm. La biomasa se estimó mediante la ecuación alométrica de Chaves et al. (2014), incorporando la densidad básica de la madera. El carbono almacenado se calculó con un factor de 0,47 (IPCC, 2006).

**Resultados y Discusión:** Los resultados mostraron una alta variabilidad estructural y una importante contribución de unas pocas especies a la biomasa y las reservas de carbono. La discusión destaca cómo estos patrones se alinean con el marco teórico sobre la sucesión y la dinámica forestal, enfatizando el papel ecológico de las especies dominantes. Se consideran las discrepancias entre áreas y las limitaciones metodológicas para contextualizar la interpretación de los hallazgos.

**Implicaciones de la investigación:** Los hallazgos brindan apoyo práctico a las políticas de gestión, restauración ecológica y conservación, al demostrar la importancia de las especies que más contribuyen al almacenamiento de carbono. Las implicaciones teóricas refuerzan los modelos de sucesión aplicados a los bosques secundarios y ayudan a comprender su función ecológica en la Amazonía.

**Originalidad/Vale:** Este estudio destaca por integrar análisis estructurales y ecológicos para identificar especies clave en la acumulación de biomasa y carbono en un bosque secundario amazónico. Este enfoque ofrece una contribución innovadora al respaldar estrategias de restauración basadas en especies funcionales y fortalecer la comprensión del papel de estos bosques como activos climáticos.

**Palabras clave:** Bosques Secundarios, Reservas de Carbono, Biomasa Aérea, Restauración Ecológica.



RGSA adota a Licença de Atribuição CC BY do Creative Commons (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



## 1 INTRODUÇÃO

As atividades humanas compõem o espectro da perda de biodiversidade dos ecossistemas através da degradação e fragmentação dos componentes florestais (Schneider *et al.*, 2003; Nossack *et al.*, 2011). A queima de combustíveis fósseis e as alterações do uso do solo são consequências das ações antrópicas que resultam nas mudanças climáticas, aumento da concentração dos gases de efeito estufa e, consequentemente, contribuindo para intensificar o fenômeno do aquecimento global (Almeida *et al.*, 2010; Vieira *et al.*, 2011). Dessa forma está explícito que os impactos das alterações ambientais exercerão uma mudança negativa na composição dos sistemas naturais e humanos (Borges *et al.*, 2017).

A preocupação com as florestas e o seu papel na ciclagem de carbono se torna cada vez mais importante. A emissão de CO<sub>2</sub>, através da queima ou desmatamento da cobertura florestal, e o armazenamento de carbono por meio da fotossíntese são fatores que contribuem para a importância do papel das florestas na ciclagem do carbono (Nobre, 2001; Miranda, 2008; Pereira, 2013 e Tenório *et al.*, 2015).

Os estudos de fragmentos florestais em estágio de regeneração natural, bem como a avaliação da composição florística, são fundamentais para entender a capacidade de recuperação ecológica, acúmulo de biomassa e estoque de carbono (Chaves *et al.*, 2014).

A problemática do carbono florestal emitido pode ser mitigada por meio da preservação dos estoques de carbono nas florestas em pé, regeneração natural (florestamento e reflorestamento em áreas degradadas) e pela substituição dos combustíveis fósseis por produtos de origem vegetal (Chang, 2002; Britez *et al.*, 2006).

Dessa forma, o inventário florestal é uma ferramenta de suma importância para fomentar projetos de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas, pois fornece informações acerca de parâmetros que servem de base para estimativas de biomassa aérea e estoque de carbono, tais como mensuração do diâmetro à altura do peito (DAP), altura total e densidade de indivíduos (Brown, 1997).

Diante do exposto, é iminente a urgência de ampliar o conhecimento científico sobre a função vital das florestas secundárias e em estado de regeneração no processo de mitigação das alterações climáticas. Isto posto, o presente trabalho tem como objetivo fomentar



informações técnicas e ecológicas o potencial de sequestro de carbono de um fragmento florestal de uma área em processo de regeneração.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 REUNIÕES CLIMÁTICAS

As mudanças climáticas representam um dos maiores desafios globais da atualidade. Diversas reuniões climáticas têm sido realizadas para discutir e promover ações de mitigação, como a redução das emissões de carbono e o reflorestamento de áreas degradadas.

A Conferência das Partes (COP) é o órgão supremo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). Realizada anualmente, a COP reúne representantes de quase todos os países do mundo para negociar e acordar medidas de combate às mudanças climáticas (UNFCCC, 2021).

A COP21 (Acordo de Paris), realizada em 2015, resultou no Acordo de Paris, um tratado internacional que visa limitar o aumento da temperatura global a menos de 2°C acima dos níveis pré-industriais, com esforços para limitar o aumento a 1,5°C (UNFCCC, 2015).

Em 2021, a COP26, realizada em Glasgow, Reino Unido, destacou a necessidade urgente de ações climáticas mais ambiciosas, incluindo compromissos reforçados para redução de emissões e financiamento climático para países em desenvolvimento (UNFCCC, 2021).

Organizada pela ONU, a Cúpula de Ação Climática reúne líderes globais, empresas e sociedade civil para acelerar a implementação do Acordo de Paris e incentivar novos compromissos climáticos (UN, 2019).

A redução das emissões de carbono é essencial para mitigar as mudanças climáticas. As emissões de gases de efeito estufa (GEE), principalmente CO<sub>2</sub>, são os principais responsáveis pelo aquecimento global. Medidas de redução incluem:

1. Transição para Energias Renováveis: Substituição de combustíveis fósseis por fontes de energia limpa, como solar e eólica (IEA, 2020).
2. Eficiência Energética: Melhoria da eficiência energética em setores como transporte, construção e indústria para reduzir o consumo de energia e, consequentemente, as emissões de GEE (IPCC, 2018).

Além dos benefícios ambientais, a redução de carbono pode gerar impactos econômicos e sociais positivos, como a criação de empregos em setores de energia renovável e a redução dos custos de saúde associados à poluição do ar (Stern, 2007).



A implementação eficaz dos compromissos assumidos em reuniões climáticas é um desafio significativo. Embora haja progresso em alguns países, muitos ainda enfrentam dificuldades para cumprir suas metas de redução de emissões e reflorestamento (Rogelj *et al.*, 2021). A falta de financiamento adequado e a resistência política são barreiras comuns.

Novas tecnologias e iniciativas estão surgindo para apoiar a mitigação das mudanças climáticas. Tecnologias como captura e armazenamento de carbono (CCS) e bioenergia com captura e armazenamento de carbono (BECCS) têm o potencial de reduzir significativamente as emissões (IPCC, 2018). Além disso, iniciativas globais como a Iniciativa 4p1000 visam aumentar o sequestro de carbono no solo através de práticas agrícolas sustentáveis (Minasny *et al.*, 2017).

A sociedade civil desempenha um papel crucial na pressão por ações climáticas mais ambiciosas e na implementação de soluções locais. Movimentos como Fridays for Future e Extinction Rebellion têm destacado a urgência da crise climática e mobilizado milhões de pessoas ao redor do mundo (Otto *et al.*, 2020).

As reuniões climáticas e as ações de redução de carbono e reflorestamento são essenciais para combater as mudanças climáticas e promover a sustentabilidade global. Apesar dos desafios, o compromisso contínuo e a implementação de estratégias inovadoras são fundamentais para alcançar os objetivos climáticos. A colaboração entre governos, setor privado e sociedade civil é vital para assegurar um futuro sustentável.

## 2.2 SUCESSÃO ECOLÓGICA

A sucessão florestal é um processo dinâmico de mudança na composição e estrutura das comunidades vegetais que ocorre ao longo do tempo, após distúrbios naturais como incêndios, tempestades ou atividades humanas como o desmatamento. Este fenômeno é caracterizado pela transição entre diferentes grupos ecológicos de plantas, que desempenham papéis distintos durante os estágios iniciais, intermediários e finais da sucessão.

As espécies pioneiras são as primeiras a colonizar áreas recém perturbadas, como clareiras após incêndios. São geralmente plantas de crescimento rápido e adaptadas a condições de luz intensa e solo pobre em nutrientes. Exemplos comuns incluem herbáceas anuais e perenes, além de espécies arbustivas como pioneiras iniciais em sucessões florestais. Essas plantas são essenciais para o início do processo de sucessão, facilitando a acumulação de nutrientes no solo e criando condições para a chegada de espécies mais exigentes (ODUM, 1988).



As espécies secundárias são aquelas que sucedem as pioneiros à medida que o solo se enriquece e o microclima se modifica. Elas são frequentemente árvores de crescimento rápido e médio porte, que competem com sucesso por luz e espaço. Essas espécies continuam a enriquecer o solo através da queda de folhas e contribuem para a complexidade estrutural do habitat (Connell; Slatyer, 1977).

As espécies secundárias são fundamentais no processo de sucessão florestal, pois contribuem para a formação de uma comunidade vegetal mais diversificada e estável. Elas são capazes de competir eficazmente por recursos, como luz solar e nutrientes, à medida que o ambiente se torna mais propício para o crescimento de árvores de maior porte. Essas espécies desempenham um papel intermediário entre as pioneiros e as clímax, preparando o terreno para a transição para uma floresta mais desenvolvida e complexa.

As espécies clímax representam a fase final da sucessão florestal, caracterizada por comunidades maduras e estáveis que dominam o ecossistema por períodos prolongados. Essas espécies são frequentemente árvores de grande porte e longevidade, que são competitivamente dominantes e bem adaptadas às condições climáticas e de solo locais. Exemplos incluem espécies como carvalhos, castanheiras e árvores de grande porte em climas temperados, ou árvores de grande porte em climas tropicais.

Compreender os grupos ecológicos na sucessão florestal é crucial para a gestão e conservação de ecossistemas florestais. Esses grupos não apenas refletem as mudanças na estrutura e na diversidade da vegetação ao longo do tempo, mas também influenciam a disponibilidade de habitat para uma variedade de espécies animais e a provisão de serviços ecossistêmicos essenciais, como a regulação do ciclo da água e a sequestração de carbono atmosférico. Ao conservar a diversidade de grupos ecológicos e facilitar processos naturais de sucessão, é possível promover a resiliência dos ecossistemas florestais diante das mudanças climáticas e outras perturbações ambientais.

## 2.3 BIOMASSA E CARBONO

A biomassa florestal é definida como o total de matéria orgânica de origem vegetal presente acima e abaixo do solo, abrangendo componentes como troncos, galhos, folhas e raízes (IPCC, 2019). Em termos ecológicos, a biomassa representa a base energética de cadeias tróficas, sendo um indicador essencial da produtividade de ecossistemas. No contexto das florestas tropicais, como a Amazônia, esse termo adquire ainda maior importância por sua conexão direta com os ciclos biogeoquímicos e os serviços ecossistêmicos.



O carbono florestal, por sua vez, refere-se à quantidade de carbono contida na biomassa vegetal viva ou morta. Estima-se que aproximadamente 45 a 50% da biomassa seca de uma planta seja composta por carbono (Chave *et al.*, 2014; IPCC, 2019). Esse carbono é capturado da atmosfera durante o processo de fotossíntese e armazenado nos tecidos vegetais, funcionando como um importante mecanismo de sequestro de gases de efeito estufa, especialmente o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

O DAP é a medida mais acessível e amplamente utilizada em inventários florestais, por sua praticidade e boa correlação com a biomassa aérea. A altura da planta e a densidade da madeira, embora mais trabalhosas de obter, aumentam significativamente a precisão das estimativas (Sullivan *et al.*, 2020). Com base nessas variáveis, é possível estimar a biomassa total de um indivíduo, de uma comunidade vegetal ou de uma paisagem inteira.

Outras abordagens incluem técnicas de sensoriamento remoto, como o uso de LiDAR (Light Detection and Ranging), fotogrametria com drones e sensores orbitais como o GEDI (Global Ecosystem Dynamics Investigation), que permite a estimativa da biomassa em grandes extensões com alta resolução (Silva *et al.*, 2023). Em escalas menores, a colheita direta (método destrutivo) ainda é usada em pesquisas específicas, principalmente para a calibração de modelos.

A biomassa pode ser classificada em categorias: biomassa aérea viva (galhos, troncos, folhas), biomassa subterrânea (raízes), biomassa morta (detritos lenhosos) e necromassa (madeira morta em decomposição). Cada compartimento possui dinâmica própria de armazenamento e liberação de carbono (Malhi *et al.*, 2021).

A importância da biomassa e do carbono florestal ultrapassa o campo da ecologia e alcança dimensões sociais, econômicas e políticas. Em primeiro lugar, a vegetação florestal desempenha papel essencial na mitigação das mudanças climáticas ao capturar e armazenar carbono atmosférico. A Amazônia, por exemplo, armazena mais de 100 bilhões de toneladas de carbono em sua vegetação e solos (Gatti *et al.*, 2021).

Além disso, a quantificação da biomassa é fundamental para a elaboração de políticas públicas e para a execução de instrumentos econômicos como os créditos de carbono e os pagamentos por serviços ambientais (PSA), que dependem de métricas confiáveis para remuneração por sequestro de carbono (MCTI, 2023; SEEG, 2022).

No campo da restauração ecológica, a escolha de espécies com elevada densidade de madeira e bom desempenho em diferentes estágios da sucessão florestal pode potencializar o sequestro de carbono. Florestas secundárias, mesmo em estágio inicial, demonstram capacidade



expressiva de recuperação de biomassa ao longo de décadas, tornando-se ativos climáticos importantes (Poorter *et al.*, 2016; Rozendaal *et al.*, 2020).

A distribuição do carbono na floresta também tem implicações para a biodiversidade, a ciclagem de nutrientes e a resiliência dos ecossistemas frente a distúrbios. De maneira geral, florestas maduras com elevada biomassa tendem a apresentar maior diversidade funcional, estabilidade estrutural e resistência a eventos extremos, como secas e incêndios (Fauset *et al.*, 2022; Brancalion *et al.*, 2019).

Por fim, a mensuração de biomassa e carbono é parte integrante dos sistemas nacionais de monitoramento das emissões de gases de efeito estufa (GEE), sendo exigida por convenções internacionais como a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) e os compromissos do Acordo de Paris.

### 3 METODOLOGIA

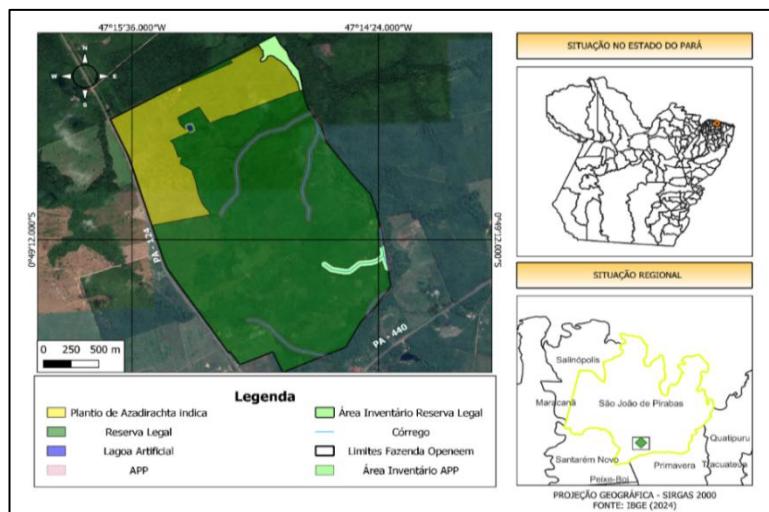
#### 3.1 CARACTERÍSTICAS DAS ESPÉCIES NATIVAS INVENTARIADAS

O estudo será realizado na área da Fazenda do Openeem, localizada nas margens das rodovias PA-124 e PA-324, no município de São João de Pirabas - PA.

O município de São João de Pirabas está localizado na região centro-nordeste do estado do Pará e na microrregião do Salgado (Figura 1). A região é afetada por um clima tropical quente e úmido. De acordo com a classificação de Köppen, possui clima do tipo Aw com amplitudes térmicas reduzidas e precipitação anual de cerca de 2.100 mm. Dessas chuvas, 90% foram distribuídas nos primeiros seis meses do ano.

**Figura 1**

Mapa de localização da Fazenda Openeem, situada no município de São João de Pirabas - PA.

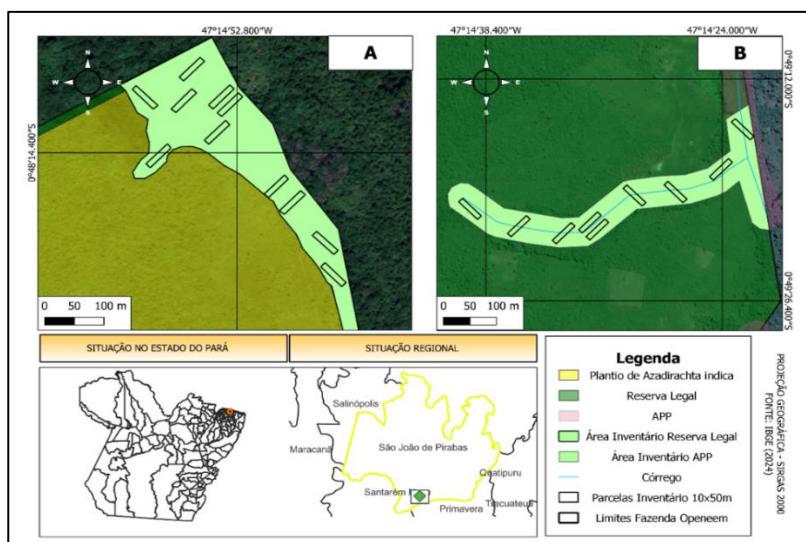


### 3.2 ESTIMATIVAS DE BIOMASSA E CARBONO

A determinação das principais espécies nativas da região deu-se por meio da realização de inventário florestal em parceria com taxonomos e identificadores botânicos do Museu Paraense Emílio Goeldi. Foram alocadas 20 parcelas de 10x50 m (1 ha) distribuídas aleatoriamente (Figura 2).

**Figura 2**

Mapa de localização das parcelas inventariadas na reserva legal (A) e área de preservação permanente (B) em avançado estágio de sucessão ecológica no município de São João de Pirabas – PA.





Em cada parcela foram mensurados DAP (circunferência a 1,30 m convertida), altura total (h) de árvores com DAP  $\geq 10$  cm, número de indivíduos por hectare (N/ha), área basal por hectare (AB/ha). Além disso, foram obtidos os valores mínimo, médio e máximo de cada parâmetro, incluindo o DAP, bem como os desvios-padrão (Tabela 1).

**Tabela 1**

*Equações utilizadas para o cálculo dos parâmetros da estrutura horizontal.*

Variáveis	Equação
DAP	$DAP = CAP/\pi$
Área Transversal	$g = \frac{DAP^2 \times \pi}{40000}$
Área Basal	$G = g/Área$

Para determinação da densidade básica da madeira de cada espécie foram aplicados valores mensurados pelos autores (Tabela 2).

**Tabela 2**

*Valores de densidade básica utilizados para cálculo de biomassa das árvores inventariadas em fragmento florestal no município de São João de Pirabas – PA.*

Espécies	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Autores
<i>Aspidosperma desmanthum</i>	0,57	SFB, 2025
<i>Bocageopsis multiflora (Mart.)</i>	0,58	Nogueira, 2005
<i>Bowdichia virgilioides Kunth</i>	0,56	Regiane, 2014
<i>Buchenavia sp</i>	0,86	SFB, 2025
<i>Calycophyllum spruceanum.</i>	0,69	Araujo <i>et al.</i> , 2016
<i>Carapa guianensis</i>	0,75	SFB, 2025
<i>Cecropia pachystachya</i>	0,58	Wasjutin, 1958; Lopez <i>et al.</i> , 1987
<i>Croton matourensis</i>	0,71	Carneiro <i>et al.</i> , 2020
<i>Diospyros sericea A.DC.</i>	0,38	Regiane, 2014
<i>Emmotum fugifolium Desv.</i>	0,67	Santos <i>et al.</i> , 2017
<i>Enterolobium schomburgkii</i>	0,65	SFB, 2025
<i>Eschweilera juruensis R. Knuth.</i>	0,74	ITTO, 2025
<i>Gouania glabra</i>	0,62	SFB, 2025
<i>Inga alba (Sw.) Willd</i>	0,57	SFB, 2025
<i>Manilkara bidentata</i>	0,69	SFB, 2025
<i>Minquartia guianensis Aubl</i>	0,43	Silveira <i>et al.</i> , 2013
<i>Nectandra rubra (Mez) C. K. Alle</i>	0,83	ITTO, 2025
<i>Ormosia coutinhoi</i>	0,39	Carneiro <i>et al.</i> , 2020
<i>Pachira aquatica Aubl.</i>	0,67	Le Cointe, 1947; Beauchene, 2012
<i>Parahancornia amapa</i>	0,38	ITTO, 2025
<i>Parkia platycephala Benth</i>	0,86	Paula; Alves, 2007



<i>Platonia insignis</i>	0,62	ITTO, 2025
<i>Pterocarpus santalinoides DC</i>	0,50	Borchert, 1994; Campos Filho; Paula; Costa, 2011; Reyes <i>et al.</i> , 1992
<i>Pterodon emarginatus</i>	0,72	Regiane, 2014
<i>Sacoglottis guianensis Benth.</i>	0,55	Regiane, 2014
<i>Schizolobium amazonicum</i>	0,82	Paula, 1980; Rodriguez Rojas & Sibille Martina, 1996
<i>Simarouba amara</i>	0,84	SFB, 2025
<i>Spondias mombin</i>	0,72	SFB, 2025
<i>Sympomia globulifera</i>	0,38	SFB, 2025
<i>Tapirira guianensis Aubl</i>	0,52	Oliveira <i>et al.</i> , 2017
<i>Virola surinamensis</i>	0,48	Lorenzi, 1992
<i>Vochysia spp.</i>	0,77	Carvalho, 2003

### 3.3 DETERMINAÇÃO CARBONO DE BIOMASSA

A estimativa da biomassa aérea acima do solo (BAAS) foi realizada por meio de equações alométricas genéricas propostas por Chaves *et al.*, (2014), amplamente utilizadas em florestas tropicais úmidas. A fórmula utilizada foi:

$$BAAS = 0,0673 \times (\rho \times D^2 \times H)^{0,976} \quad (1)$$

onde:

BAAS = Biomassa aérea seca (kg)

$\rho$  = Densidade básica da madeira (g/cm<sup>3</sup>)

D = Diâmetro à altura do peito (cm)

H = Altura total (m).

A biomassa estimada foi convertida em carbono utilizando o fator de 0,47, conforme recomendações do IPCC (2006):

$$Carbono = BAAS \times 0,47 \quad (2)$$

A estimativa do estoque de carbono foi extrapolada para hectare (Mg C/ha), permitindo comparações com outros estudos e avaliações de potencial de sequestro de carbono por espécies ou áreas.



### 3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para verificar as relações entre as variáveis dendrométricas e os estoques de biomassa aérea acima do solo (BAAS), foram aplicadas análises de **correlação de Pearson (r)**, avaliando a força e direção da associação entre o diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura total (h) com a biomassa. Em seguida, foram ajustados **modelos de regressão linear simples**, obtendo-se os coeficientes de determinação (**R<sup>2</sup>**) que indicam a proporção da variação da biomassa explicada por cada variável independente.

Além disso, foram realizadas **estatísticas descritivas** para quantificar e comparar os estoques de biomassa e carbono entre as parcelas amostrais, com cálculo de médias, totais e percentuais de representatividade. As espécies com maior contribuição para o acúmulo de biomassa e carbono foram identificadas a partir da soma dos valores individuais por hectare, permitindo determinar aquelas mais relevantes para o sequestro de carbono no fragmento florestal estudado.

Todas as análises estatísticas foram conduzidas em ambiente computacional, sendo considerados significativos os resultados com **p < 0,05**.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 CARACTERÍSTICAS DAS ESPÉCIES NATIVAS INVETARIADAS

A tabela 3 demonstra que a variável diâmetro à altura do peito (DAP) apresenta alta correlação com a variável biomassa aérea acima do solo (BAAS), com  $r = 0,9174$ , quando comparado com a variável altura (h) que teve correlação  $r = 0,6328$ .

Ambas as variáveis possuem correlação forte e significativa, porém, a variável DAP se apresenta como o principal fator estrutural relacionado ao acúmulo de biomassa e estoque de carbono, podendo ser considerada como principal variável para predição de BAAS (Brown, 1997; Chaves *et al.*, 2014).

**Tabela 3**

*Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis diâmetro à altura do peito (DAP), altura (h) e biomassa aérea acima do solo (BAAS) dos indivíduos encontrados no fragmento florestal inventariado no município de São João de Pirabas – PA.*

	BAAS x DAP	BAAS X h
<b>n (pares) =</b>	331	331
<b>r (Pearson) =</b>	0.9174	0.6328
<b>IC 95% =</b>	0.90 a 0.93	0.56 a 0.69
<b>IC 99% =</b>	0.89 a 0.94	0.54 a 0.71
<b>t =</b>	41.8113	14.822
<b>GL =</b>	329	329
<b>(p) =</b>	< 0.0001	< 0.0001
<b>Poder 0.05 =</b>	1	1
<b>Poder 0.01 =</b>	1	1

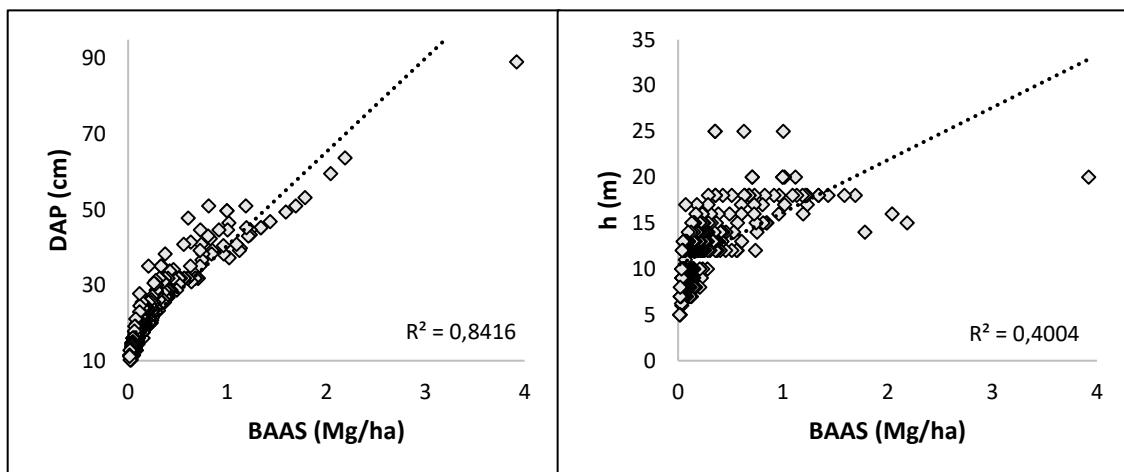
BAAS= biomassa aérea acima do solo; DAP= diâmetro à altura do peito; IC= intervalo de confiança; GL= grau de liberdade.

A figura 3 ratifica os resultados de correlação encontrados, em que o coeficiente de determinação  $R^2$  para a relação entre BAAS e DAP é de 0.8416, confirmando que 84% da variação de biomassa pode ser explicada pelo diâmetro, demonstrando que quanto maior o diâmetro, maior será a área basal e, por consequência, maior acúmulo de biomassa. Já para a relação entre BAAS e h, o coeficiente de determinação  $R^2$  é de 0.4004, informando que apenas 40% da variação de BAAS é explicada pela altura.

Dessa forma, os modelos alométricos para estimativa de biomassa em florestas secundárias devem priorizar o uso do DAP como variável independente principal, podendo incorporar altura em modelos multivariados quando houver precisão nas medições.

**Figura 3**

Correlação de Pearson entre as variáveis diâmetro à altura do peito (DAP), altura (h) e biomassa aérea acima do solo (BAAS) dos indivíduos encontrados no fragmento florestal inventariado no município de São João de Pirabas – PA.



BAAS= biomassa aérea acima do solo.

#### 4.2 ESTIMATIVAS DE BIOMASSA E CARBONO

As parcelas que mais representativas no acúmulo de biomassa e, por consequência, maior estocagem de carbono foram as parcelas 4, 12, 15 e 20, representando aproximadamente 46% da amostragem, totalizando 91,23 Mg/ha de biomassa e um correspondente estoque de carbono de 42,88 Mg C/ha, como demonstrado na tabela 4.

**Tabela 4**

Estimativas de biomassa e carbono por parcela das espécies inventariadas em fragmento florestal no município de São João de Pirabas – PA.

Parcela	BAAS (Mg/ha)	Carbono (Mg/ha)	%
1	3,370534076	1,584151016	3,69472
2	1,072791526	0,504212017	1,175975
3	2,560825234	1,20358786	2,807131
4	<b>10,85024395</b>	<b>5,099614658</b>	<b>11,89384</b>
5	6,058963807	2,84771299	6,641728
6	3,535955129	1,661898911	3,876051
7	3,69832257	1,738211608	4,054036
8	2,678047562	1,258682354	2,935628
9	2,896778314	1,361485808	3,175397
10	0,870356489	0,40906755	0,954069
11	2,285418035	1,074146476	2,505235



<b>12</b>	<b>6,463919044</b>	<b>3,03804195</b>	<b>7,085633</b>
<b>13</b>	4,383218307	2,060112604	4,804806
<b>14</b>	0,812007658	0,381643599	0,890108
<b>15</b>	<b>12,37536618</b>	<b>5,816422104</b>	<b>13,56566</b>
<b>16</b>	2,793373304	1,312885453	3,062046
<b>17</b>	2,59620155	1,220214729	2,84591
<b>18</b>	4,98359043	2,342287502	5,462923
<b>19</b>	11,7834732	5,538232402	12,91683
<b>20</b>	<b>5,156321185</b>	<b>2,423470957</b>	<b>5,652268</b>
<b>Total Geral</b>	<b>91,22570755</b>	<b>42,87608255</b>	100

BAAS= biomassa aérea acima do solo.

As espécies que foram mais representativas para biomassa acima do solo e estoque de carbono foram *Manilkara bidentata* (33,96 Mg/ha), *Tapirira guianensis* (11,22 Mg/ha), *Sympetrum globulifera* (10,13 Mg/ha), *Virola surinamensis* (8,72 Mg/ha) e *Ormosia coutinhoi* (5,55 Mg/ha), como demonstrado na tabela 5. Essas cinco espécies são responsáveis por aproximadamente 70 Mg/ha de biomassa e 32 Mg C/ha de estoque de carbono, ratificando a importância dos fragmentos florestais como ativos de suma importância para o sequestro de carbono atmosférico.

### Tabela 5

*Estimativas de biomassa e carbono das espécies inventariadas em fragmento florestal no município de São João de Pirabas – PA.*

Nome científico	BAAS (Mg/ha)	Carbono (Mg/ha)	%
<i>Aspidosperma desmanthum</i>	0,063094419	0,029654377	0,069163
<i>Bocageopsis multiflora (Mart.)</i>	0,039069481	0,018362656	0,042827
<i>Bowdichia virgiliooides Kunth</i>	0,146173089	0,068701352	0,160232
<i>Buchenavia sp</i>	2,301489453	1,081700043	2,522852
<i>Calycophyllum spruceanum.</i>	2,663894292	1,252030317	2,920114
<i>Carapa guianensis</i>	1,665126476	0,782609444	1,825282
<i>Cecropia pachystachya</i>	0,390724095	0,183640325	0,428305
<i>Croton sp.</i>	1,371703965	0,644700864	1,503638
<i>Diospyros sericea A.DC.</i>	0,112872366	0,053050012	0,123729
<i>Emmotum fugifolium Desv.</i>	0,076611535	0,036007422	0,08398
<i>Enterolobium schomburgkii</i>	4,178855079	1,964061887	4,580787
<i>Eschweilera juruensis R. Knuth.</i>	0,220657786	0,103709159	0,241881
<i>Gouania glabra</i>	0,237249409	0,111507222	0,260069
<i>Inga alba (Sw.) Willd</i>	0,807620417	0,379581596	0,885299
<i>Manilkara bidentata</i>	<b>33,96030735</b>	<b>15,96134446</b>	<b>37,22669</b>
<i>Minquartia guianensis Aubl</i>	0,268416558	0,126155782	0,294233
<i>Nectandra rubra (Mez) C. K. Allen</i>	0,079923992	0,037564276	0,087611



<i>Ormosia coutinhoi</i>	5,547854082	2,607491419	6,081459
<i>Pachira aquatica Aubl.</i>	0,45016229	0,211576276	0,49346
<i>Parahancornia amapa</i>	0,763376123	0,358786778	0,836799
<i>Parahancornia amapa (Huber)</i>	0,156594174	0,073599262	0,171656
<i>Parkia platycephala Benth</i>	1,869326146	0,878583288	2,049122
<i>Platonia insignis</i>	0,032936009	0,015479924	0,036104
<i>Pterocarpus santalinoides DC</i>	0,434022293	0,203990478	0,475768
<i>Pterodon emarginatus</i>	2,15260766	1,0117256	2,35965
<i>Sacoglottis guianensis Benth.</i>	0,442949045	0,208186051	0,485553
<i>Schizolobium amazonicum</i>	0,213781605	0,100477354	0,234344
<i>Simarouba amara</i>	0,291655047	0,137077872	0,319707
<i>Spondias mombin</i>	0,113622272	0,053402468	0,124551
<i>Symponia globulifera</i>	<b>10,13220157</b>	<b>4,762134737</b>	<b>11,10674</b>
<i>Tapirira guianensis Aubl</i>	<b>11,22237502</b>	<b>5,274516259</b>	<b>12,30177</b>
<i>Virola surinamensis</i>	<b>8,723427279</b>	<b>4,100010821</b>	<b>9,562466</b>
<i>Vochysia spp.</i>	0,095027174	0,044662772	0,104167
<b>Total Geral</b>	<b>91,22570755</b>	<b>42,87608255</b>	100

BAAS= biomassa aérea acima do solo.

O gênero *Manilkara* também foi amplamente dominante nos estudos de Nogueira *et al.*, (2008) em biomassa de florestas maduras na Amazônia, destacando a espécie clímax, de alta densidade, com grande potencial para sequestro de carbono a longo prazo. O crescimento rápido e facilidade de distribuição em locais com influência das ações humanas, a espécie *Tapirira guianensis* também representou dominância para biomassa em estudos realizados por Salomão *et al.*, (2007) e Poorter *et al.*, (2016), aferindo a espécie um papel de grande relevância na regeneração de ambientes antropizados.

Tal modelo também foi assinalado para as espécies *Symponia globulifera* e *Virola surinamensis*, que foram classificadas como estruturadoras em florestas secundárias da Amazônia Oriental, com relevante papel ecológico em ambientes úmidos e de várzea (Salomão *et al.*, 2007).

As espécies de maior densidade da madeira (como *Manilkara* e *Symponia*) demonstra protagonismo no sequestro de carbono de longo prazo, uma vez que as espécies de rápido crescimento (como *Tapirira* e *Virola*) elevam a estrutura inicial e favorecem a conectividade vertical e horizontal.

Por fim, o gênero *Ormosia* se demonstrou extremamente adaptável em fragmentos urbanos restaurados quando se trata do acúmulo de carbono em fragmento com estágio sucessional intermediário de regeneração (Martins *et al.*, 2019).



O arranjo florístico inventariado indica um ambiente em processo de regeneração natural, com a hegemonia de espécies secundárias tardias, como *Tapirira guianensis* Aubl e espécies clímax, como *Manilkara bidentata* e *Sympetrum globulifera*, amplamente citadas em formações secundárias na Amazônia (Chazdon, 2014; Martins *et al.*, 2020).

Os resultados encontrados por esse estudo possuem similaridades com os obtidos por Poorter *et al.*, (2016), em que a presença de poucas espécies dominantes apresentou a maior concentração de carbono nas florestas tropicais secundária.

Esse padrão reforça a importância de proteger e monitorar fragmentos secundários, pois sua composição florística pode abrigar espécies-chave para os serviços ecossistêmicos de estocagem de carbono, suporte à biodiversidade e avanço sucessional.

## 5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo, indicam um estoque de biomassa aérea acima do solo de 91,23 Mg/ha e um correspondente estoque de carbono de 42,88 Mg C/ha, demonstram o elevado potencial de fragmentos florestais secundários na Amazônia para contribuir com os esforços de restauração ecológica e mitigação das mudanças climáticas. Estes valores se aproximam daqueles verificados em estudos com florestas em estágios mais avançados de regeneração, e superam muitos indicadores de áreas recém-reflorestadas, destacando o papel desses remanescentes como sumidouros naturais de carbono.

Sob a perspectiva ecológica, o padrão de acumulação de biomassa por poucas espécies — especialmente aquelas de madeira densa, como *Manilkara bidentata*, e espécies estruturais como *Virola surinamensis* e *Sympetrum globulifera* — reforça a importância de se considerar a composição funcional das espécies nas estratégias de restauração. Espécies com elevado potencial de estocagem de carbono, ampla distribuição geográfica e resiliência a distúrbios devem ser priorizadas em planos de restauração ativa e enriquecimento florestal.

Além disso, a presença simultânea de grupos sucessionais distintos (pioneerias, secundárias e clímax) no fragmento analisado sugere que estratégias baseadas na regeneração natural assistida podem ser eficazes na recuperação de áreas degradadas com baixa pressão antrópica.



## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia – BIONORTE em parceria com a Universidade Federal do Pará – UFPA, por meio das instituições de fomento CAPES e CNPQ pelo apoio financeiro e estrutural para o desenvolvimento do presente trabalho.

## REFERÊNCIAS

- Almeida, E. M.; Campelo Júnior, J. H.; Finger, Z. (2010). Determinação do estoque de carbono em Teca (*Tectona grandis* LF.) em diferentes idades. *Ciência Florestal*, v.20, n.4, p. 559-568.
- Araujo, M. M.; Longhi, S. J.; Barros, P. L. C.; Brena, D. A. (2016). Densidade básica da madeira de espécies florestais nativas do sul do Brasil. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 121-132.
- Beauchene, J.; Fournier, M.; Thévenon, M. F.; Thibaut, A.; Clair, B. (2012). Variability of wood density and anatomy in Virola surinamensis. *Bois et Forêts des Tropiques*, v. 312, n. 2, p. 41-54.
- Borchert, R. (1994). Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees. *Ecology*, v. 75, n. 5, p. 1437–1449.
- Borges, L. M. B. F. S. (2017). *Modelos de governança: percepções sobre os tipos de participação das comunidades tradicionais na gestão e preservação de áreas naturais: o caso da Bocaina São Paulo e Rio de Janeiro, Brasil* (Tese de doutorado). Universidade Aberta.
- Brancalion, P. H. S. et al. (2019). The biodiversity and carbon trade-off in tropical forests. *Science Advances*, v. 5, n. 4, p. 8859.
- Britez, R. M.; Borgo, M.; Tiepolo, G.; Ferrelti, A.; Calmon, M.; Higa, R. (2006). Estoque e incremento de carbono em florestas e povoados de espécies arbóreas com ênfase na Floresta Atlântica do Sul do Brasil. 1<sup>a</sup> Ed. Colombo: Embrapa Florestas, p.165.
- Brown, S. (1997). **Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer.** Rome: FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. (FAO Forestry Paper, 134).
- Campos Filho, E. M.; Paula, R. C.; Costa, J. N. (2011). Propriedades físicas da madeira de *Pterocarpus santalinoides*. *Floresta*, v. 41, n. 4, p. 801-808.
- Carneiro, S. M. T. P.; Santos, R. C.; Oliveira, J. T. S.; Baraúna, E. E. P.; Paes, J. B. (2020). Propriedades físicas e mecânicas da madeira de espécies da Amazônia. *Revista Ciência Florestal*, v. 30, n. 1, p. 174-185.



- Carvalho, A. M. M. (2003). **Madeiras da Amazônia: características anatômicas e propriedades das madeiras de uso mais frequente.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental.
- Chang, M. (2002). Sequestro de Carbono Florestal: oportunidades e riscos para o Brasil. *Revista Paranaense de Desenvolvimento*, n.102, p. 85-101.
- Chave, J. et al. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, v. 20, n. 10, p. 3177–3190.
- Chaves, R. B.; Santos, F. A. M.; Amaral, D. D.; Almeida, S. S. (2014). Composição florística e diversidade em florestas secundárias da Amazônia: implicações para sucessão ecológica. *Scientia Forestalis*, v. 42, n. 89, p. 45-58.
- Chazdon, R. L. (2014). **Second Growth: The Promise of Tropical Forest Regeneration in an Age of Deforestation.** Chicago: The University of Chicago Press.
- Connell, J. H.; Slatyer, R. O. (1977). Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *American Naturalist*, v. 111, n. 982, p. 1119–1144.
- Fauset, S. et al. (2022). Drought sensitivity of tropical forests: patterns, mechanisms and consequences. *Ecology Letters*, v. 25, n. 6, p. 1471–1485, 2022.
- Gatti, L. V. et al. (2021). Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. *Nature*, v. 595, p. 388–393, 2021.
- IEA – International Energy Agency. (2020). World Energy Outlook 2020. Paris: IEA.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019). Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Geneva: IPCC.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. (2018). Global Warming of 1.5°C. Geneva: IPCC.
- IPCC. (2006). **Intergovernmental Panel on Climate Change.** Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Hayama, Japan.
- ITTO – International Tropical Timber Organization. (2025). Database of wood density for tropical species. Yokohama: ITTO, 2025. Disponível em: <https://www.itto.int>. Acesso em: julho de 2025.
- Le Cointe, P. (1947). **Árvores da Amazônia.** 3. ed. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi.
- Lopez, L.; Alvarez, R.; Munoz, J. (1987). **Estudio de propiedades físicas de maderas colombianas.** Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Lorenzi, H. (1992). **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** 1. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum.
- Malhi, Y. et al. (2021). The global tree restoration potential. *Nature*, v. 597, p. 671–676.



- Martins, M. S.; Santos, J. U. M.; Lobato, G. J. M.; Costa Neto, S. V. (2019). Estrutura e composição florística de floresta secundária em fragmento urbano no nordeste do Pará, Brasil. *Scientia Plena*, v. 15, n. 7, p. 1-10.
- Martins, M. S.; Santos, J. U. M.; Lobato, G. J. M.; Costa Neto, S. V. (2020). Padrões estruturais e regeneração natural de floresta secundária em fragmento urbano na Amazônia oriental. *Cerne*, v. 26, n. 4, p. 433-443. <https://doi.org/10.1590/01047760202026042630>
- MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. (2023). Quinto Relatório Nacional de Emissões. Brasília.
- Minasny, B. et al. (2017). Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, v. 292, p. 59–86.
- Miranda, D. L. C. (2008). Modelos matemáticos de estoque de biomassa e carbono em áreas de restauração florestal no Sudoeste Paulista.
- Nobre, C. A. (2001). **Amazônia: fonte ou sumidouro de carbono.** p. 197-224.
- Nogueira, E. M.; Furley, P. A.; Nelson, B. W.; Silva, J. N. M.; Folegatti, M. V. (2008). Biomassa, dinâmica e estoque de carbono em florestas maduras da Amazônia brasileira. *Forest Ecology and Management*, v. 256, p. 981–997.
- Nogueira, E. M.; Fearnside, P. M.; Nelson, B. W.; França, M. B. (2005). Wood density in forests of Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 208, n. 1-3, p. 261-286.
- Nossack, F. A.; Sartori, A. A. C.; Silva, R. F. B.; Moraes, D. C. A.; Zimback, C. R. L. (2011). Definição de áreas prioritárias para a recuperação florestal visando conectividade entre fragmentos: Análise Multicriterial. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR.
- ODUM, E. P. (1998). **Ecologia.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
- Oliveira, M. V. N. D.; Braz, E. M.; Silva, J. A. A.; Siviero, M. A.; Andrade, C. M. S. (2017). Estimativas de biomassa e carbono em floresta secundária na Amazônia ocidental. *Revista Árvore*, v. 41, n. 6, p. 1-10.
- Otto, I. M. et al. (2020). Social tipping dynamics for stabilizing Earth's climate by 2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 117, n. 20, p. 1060–1071, 2020.
- Paula, J. E. (1980). **Densidade básica da madeira de espécies do cerrado.** Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo: Embrapa.
- Paula, R. C.; ALVES, A. C. (2007). Densidade básica de madeira de espécies nativas da Amazônia. *Revista Brasileira de Engenharia Florestal*, v. 3, n. 2, p. 25-30.
- Pereira, I. C. N. (2013). *Estoque da biomassa e carbono florestal em unidade de paisagem na Amazônia: uma análise a partir da abordagem metodológica, ecologia da paisagem.* p. 179. (Tese doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido). Universidade Federal do Pará, Belém, PA.
- Poorter, L. et al. (2016). Biomass resilience of Neotropical secondary forests. *Nature*, v. 530, p. 211–214, 2016.



Poorter, L.; Bongers, F.; Aide, T. M.; Almeyda Zambrano, A. M.; Balvanera, P.; Becknell, J. M.; Boukili, V.; Brancalion, P. H. S.; Broadbent, E. N.; Chazdon, R. L.; Craven, D.; de Almeida-Cortez, J. S.; Cabral, G. A. L.; de Jong, B. H. J.; Denslow, J. S.; Dent, D. H.; DeWalt, S. J.; Dupuy, J. M.; Durán, S. M.; ... Rozendaal, D. M. A. (2016). Biomass resilience of Neotropical secondary forests. *Nature*, v. 530, p. 211-214. <https://doi.org/10.1038/nature16512>

Regiane, L. R. (2014). *Densidade básica da madeira de espécies florestais nativas em áreas de reflorestamento no sudeste paraense*. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Paragominas.

Reyes, G.; Brown, S.; Chapman, J.; Lugo, A. E. (1992). Wood densities of tropical tree species. Bogotá: World Agroforestry Centre.

Rodriguez Rojas, J. I.; Sibille Martina, L. (1996). Densidad básica de la madera de especies tropicales de rápido crecimiento. *Revista Forestal Centroamericana*, v. 12, p. 13-16.

Rogelj, J. et al. (2021). Mitigation pathways compatible with 1.5°C in the context of sustainable development. In: IPCC (Ed.). *Global Warming of 1.5°C*. Geneva: IPCC.

Rozendaal, D. M. A. et al. (2020). Biodiversity recovery of Neotropical secondary forests. *Science Advances*, v. 6, p. eabc2936.

Salomão, R. P.; Rosa, N. A.; Castilho, A. U.; Moraes, L. F. D. (2007). Estrutura e composição florística de florestas de várzea na Amazônia Oriental. *Acta Amazônica*, v. 37, n. 4, p. 607-618. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672007000400007>

Santos, R. L.; Silva, J. A. A.; Ferreira, R. L. C.; Silva, M. L. (2017). Propriedades físicas da madeira de espécies amazônicas. *Acta Amazônica*, v. 47, n. 1, p. 1-10.

Schneider, M.P.C., Batista, C.G., Carvalho, D., Cerqueira, R., Ciampi, A.Y., Franceschinelli, E.V., Gentile, R., Gonçalves E.C., Gravitol, A.D., Nascimento, M.T., Póvoa, J.R., Vasconcelos, G.M.P., Wadt, L.H., & Wiederhecker, H.C. (2003) Genética de populações naturais. Em: Rambaldi, D. M., & Oliveira, D. A. S. (org.). (2003). Fragmentação de Ecossistemas: Causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas. Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Biodiversidade e Florestas.

**SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa.** (2022). Relatório Anual.

**SFB – Serviço Florestal Brasileiro.** Banco de Dados Florístico e de Densidade da Madeira – RADAMBRASIL. (2025). Brasília: SFB, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/sfb>. Acesso em: julho de 2025.

Silva, C. V. J. et al. (2023). GEDI Lidar observations provide major advances in biomass mapping. *Remote Sensing of Environment*, v. 293, p. 113–132.

Stern, N. (2007). **Stern Review: The Economics of Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press.

Sullivan, M. J. P. et al. (2020). Long-term changes in forest dynamics across the Amazon. *Nature*, v. 584, p. 234–239.



- Silveira, L. H. C; Rezende, A. V.; Vale, A. T. (2013). Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies amazônicas. *Acta Amazônica*, v. 43, n. 2.
- Tenório, R.; Silva, J. N. M.; Carvalho, J. O. P.; Queiroz, W. T. (2015). Diagnóstico dos projetos de reflorestamento no estado do Pará no período de 2008 a 2012. *Encyclopédia Biosfera*, v. 11, n. 22.
- UN – **United Nations**. (2019). Climate Action Summit. New York: UN.
- UNFCCC – **United Nations Framework Convention on Climate Change**. (2015). The Paris Agreement. Bonn: UNFCCC.
- UNFCCC – **United Nations Framework Convention on Climate Change**. (2021). UN Climate Change Conference 2021 (COP26). Bonn: UNFCCC.
- Vieira, S. A.; Alves, L. F.; Duarte-Neto, P. J.; Martins, S. C.; Veiga, L. G.; Scaranello, M. A.; Picollo, M. C.; Camargo, P. B.; Carmo, J. B.; Sousa Neto, E.; Santos, F. A. M.; Joly, C. A.; Martinelli, L. A. (2011). Stocks of carbon and nitrogen and partitioning between above-and belowground pools in the Brazilian coastal Atlantic Forest elevation range. *Ecology and Evolution*, New Jersey, v. 1, n. 3, p. 421 -434.
- Wasjutin, P. (1958). Densidade da madeira de espécies florestais da região amazônica. *Acta Amazonica*, v. 8, n. 1, p. 1-5.