



Estimativa do estoque volumétrico e acúmulo de biomassa e carbono em uma floresta ombrófila densa na Floresta Nacional de Carajás

Ana Paula Pinheiro Moraes^{1,*}

 <https://orcid.org/0009-0008-2611-7166>

* Contato principal

Sintia Valerio Kohler¹

 <https://orcid.org/0000-0002-8532-771X>

Thais Silva Vieira¹

 <https://orcid.org/0009-0008-6711-3591>

Fernando da Costa Brito Lacerda¹

 <https://orcid.org/0000-0002-9801-3680>

Selma Lopes Goulart¹

 <https://orcid.org/0000-0002-1324-4931>

Ximena Mendes de Oliveira¹

 <https://orcid.org/0000-0002-9887-7075>

Deirilane Galvão de Moraes¹

 <https://orcid.org/0000-0001-6790-4280>

Paulo Jardel Braz Faiad¹

 <https://orcid.org/0009-0005-4491-4896>

¹ Universidade Federal Rural da Amazônia/UFRA, Parauapebas/PA, Brasil. <anapaulapmmoraes16@gmail.com, sintia.kohler@ufra.edu.br, thais.eng.florestal8486@gmail.com, fernando.lacerda@ufra.edu.br, selma.goulart@ufra.edu.br, ximena@ufra.edu.br, deirilane63@gmail.com.br>.

² Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade/ICMBio, Brasil. <paulo.faiad@icmbio.gov.br>.

Recebido em 08/08/2024 – Aceito em 27/12/2024

Como citar:

Moraes APP, Kohler SK, Vieira TS, Lacerda FCB, Goulart SL, Oliveira XM de, Moraes G de, Faiad JB. Estimativa do estoque volumétrico e acúmulo de biomassa e carbono em uma floresta ombrófila densa na Floresta Nacional de Carajás. *Biodivers. Bras.* [Internet]. 2025; 15(1): 13-24. <https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v15i1.2655>.

Palavras-chave: Floresta Amazônica; distribuição diamétrica; equação alométrica; manejo florestal.

RESUMO – A quantificação do volume e biomassa de uma floresta é essencial para o manejo e uso sustentável dos recursos existentes. A biomassa auxilia na compreensão da dinâmica da floresta, permitindo obter estimativas do estoque de carbono, um serviço ecossistêmico imprescindível prestado pelas florestas. O objetivo do estudo foi estimar o estoque volumétrico, acúmulo de biomassa e carbono na Floresta Nacional de Carajás, em Parauapebas, Pará. Foram utilizados dados de inventário florestal contínuo, com 7 parcelas permanentes de 2.000 m², onde foram mensuradas a circunferência à altura do peito (CAP) e altura total das árvores pertencentes ao estrato arbóreo (DAP ≥ 10 cm) e regenerante (5 ≤ DAP < 10 cm). As estimativas de volume e biomassa foram obtidas utilizando equações alométricas e para obtenção do estoque de carbono, a biomassa foi multiplicada por 0,5. O maior acúmulo de volume, biomassa e carbono ocorreu na classe 95 cm de DAP, indicando que um menor número de árvores de grande porte, foram responsáveis pela maior quantidade do volume e biomassa acumulados. Para o componente arbóreo foi estimado um estoque volumétrico de 613,61 m³.ha⁻¹, com 375,70 t.ha⁻¹ de biomassa e 187,85 t.ha⁻¹ de estoque de carbono. Para a regeneração, estimou-se uma biomassa de 23,73 t.ha⁻¹ e 11,86 t.ha⁻¹ de carbono estocado. Os resultados de biomassa e carbono mostraram-se superiores aos encontrados na literatura para regiões fitoecológicas semelhantes, evidenciando o grande acúmulo de carbono na vegetação florestal da Floresta Nacional de Carajás, sendo isso uma característica importante para a mitigação das mudanças climáticas.



Estimation of volumetric stock and accumulation of biomass and carbon in a dense ombrophilous forest at Carajás National Forest

Keywords: Amazon Rainforest; diameter distribution; allometric equation; forest management.

ABSTRACT – The quantification of the volume and biomass of a forest is essential for the management and sustainable use of existing resources. Biomass helps in understanding forest dynamics, allowing for estimates of carbon stock, a crucial ecosystem service provided by forests. The objective of the study was to estimate the volumetric stock, biomass accumulation, and carbon in the Carajás National Forest, in Parauapebas, Pará. Data from continuous forest inventory were used, with 7 permanent plots of 2,000 m², where the circumference at breast height (CBH) and total height of the trees belonging to the arboreal stratum (DBH ≥ 10 cm) and regenerating stratum (5 ≤ DBH < 10 cm) were measured. Volume and biomass estimates were obtained using allometric equations, and to obtain the carbon stock, the biomass was multiplied by 0.5. The greatest accumulation of volume, biomass, and carbon occurred in the 95 cm DBH class, indicating that a smaller number of large trees were responsible for the majority of the accumulated volume and biomass. For the arboreal component, a volumetric stock of 613.61 m³.ha⁻¹ was estimated, with 375.70 t.ha⁻¹ of biomass and 187.85 t.ha⁻¹ of carbon stock. For regeneration, biomass was estimated at 23.73 t.ha⁻¹ and carbon stock at 11.86 t.ha⁻¹. The biomass and carbon results were higher than those found in the literature for similar phytogeographic regions, highlighting the significant carbon accumulation in the vegetation of the Carajás National Forest, which is an important characteristic for climate change mitigation.

Estimación del stock volumétrico y acumulación de biomasa y carbono en un bosque ombrófilo denso en la Floresta Nacional de Carajás

Palabras llave: Selva Amazónica; distribución diamétrica; ecuación alométrica; manejo forestal.

RESUMEN – La cuantificación del volumen y biomasa de un bosque es esencial para la gestión y uso sostenible de los recursos existentes. La biomasa ayuda a comprender la dinámica del bosque, permitiendo obtener estimaciones del stock de carbono, un servicio ecosistémico crucial proporcionado por los bosques. El objetivo del estudio fue estimar el stock volumétrico, la acumulación de biomasa y carbono en la Floresta Nacional de Carajás, en Parauapebas, Pará. Se utilizaron datos de inventario forestal continuo, con 7 parcelas permanentes de 2.000 m², donde se midieron la circunferencia a la altura del pecho (CAP) y la altura total de los árboles pertenecientes al estrato arbóreo (DAP ≥ 10 cm) y regenerante (5 ≤ DAP < 10 cm). Las estimaciones de volumen y biomasa se obtuvieron utilizando ecuaciones alométricas y para obtener el stock de carbono, la biomasa se multiplicó por 0,5. La clase de 95 cm de DAP concentró la mayor acumulación de volumen, biomasa y carbono, indicando que pocos árboles grandes aportan la mayor proporción de estos valores. Para el componente arbóreo se estimó un stock volumétrico de 613,61 m³.ha⁻¹, con 375,70 t.ha⁻¹ de biomasa y 187,85 t.ha⁻¹ de stock de carbono. Para la regeneración, se estimó una biomasa de 23,73 t.ha⁻¹ y 11,86 t.ha⁻¹ de carbono almacenado. Los resultados de biomasa y carbono superan los valores registrados en estudios de regiones fitoecológicas similares, destacando la gran acumulación de carbono en la vegetación forestal de la Floresta Nacional Carajás, característica importante para mitigar el cambio climático.

Introdução

Classificada como a maior floresta tropical úmida do mundo, a Floresta Amazônica possui uma grande biodiversidade de espécies animais e vegetais [1][2]. Composta por diferentes tipos de vegetação

e composição florística, abrange tanto a riqueza de ecossistemas quanto de espécies [3][4].

A conservação, proteção e restauração das florestas nativas são fundamentais, visto sua importância na prestação de serviços ecosistêmicos que são imprescindíveis para a manutenção do



planeta, sobretudo no sequestro e estocagem de carbono. A capacidade das árvores em acumular e armazenar em sua biomassa grandes quantidades de carbono desempenha relevante papel no atual cenário de discussões sobre mudanças climáticas [5][6]. Diante disso, a fomentação de estudos e análises sobre a cobertura florestal são necessários, visto que ainda são escassos e imprescindíveis para determinação de metodologias mais adequadas que garantam a conservação ambiental e promovam o aproveitamento sustentável dos recursos naturais [7].

Nas últimas décadas, os debates têm se intensificado acerca do crescente aumento do efeito estufa e conseqüentemente do aquecimento global. As atividades antrópicas constituem o principal fator agravante para tais aumentos, com a perda de cobertura vegetal nos ecossistemas florestais em virtude do desmatamento, o que proporciona grande fonte de emissão de CO₂ para a atmosfera [6][8].

Visando mitigar esses efeitos, foi estabelecido o Protocolo de Quioto, um tratado internacional para controle da emissão de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, considerado um marco nos esforços internacionais para o enfrentamento das mudanças climáticas [9]. Sua principal meta estabelecida foi a redução em 5% das emissões de gases de efeito estufa pelos países assinantes (maiores poluidores) durante o período de 2008 a 2012, que corresponde ao primeiro período do compromisso. O Protocolo entrou em vigor em fevereiro de 2005, e trouxe três mecanismos a fim de auxiliar os países desenvolvidos: Comércio de Emissões, Implementação Conjunta e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Por meio do MDL, países em desenvolvimento, como o Brasil, podem implementar projetos que visem a sustentabilidade e a redução dos GEE, valorizando as florestas como grandes reservatórios de carbono, e utilizando-as como ferramentas essenciais nesses projetos [6][10].

Novos acordos foram firmados buscando fortalecer ainda mais a resposta dos países à ameaça da mudança do clima global, como o Acordo de Paris, assinado durante a Conferência das Partes (COP 21) em 2015, tornando-se mais abrangente, por envolver tanto os países desenvolvidos como os em desenvolvimento [11]. O acordo propôs metas parecidas na adoção de medidas de redução das emissões de GEE, como limitar o aumento da temperatura global em menos de 2°C e, preferencialmente, abaixo de 1,5°C, em relação aos níveis pré-industriais [12]. Os países assinantes criaram seus próprios compromissos, a partir de

Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC), comprometendo-se em colaborar com a meta global de redução de emissões de gases do efeito estufa [11].

No Brasil, esses compromissos envolvem reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005 até 2025, além de zerar o desmatamento ilegal na Amazônia brasileira, compensar as emissões de gases de efeito estufa provenientes da supressão legal da vegetação, e restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas, como metas até 2030. Essas metas são fundamentais e demonstram o importante papel do Brasil no contexto internacional de combate às mudanças climáticas, considerando a relevância da Amazônia como sumidouro de carbono [13].

Diante disso, torna-se fundamental a realização de estudos voltados para a quantificação do volume, biomassa e carbono estocados nas florestas, gerando, assim, uma base de dados essencial para o manejo e uso sustentável dos recursos existentes. Para que isso seja alcançado, é necessária a obtenção de estimativas precisas e confiáveis acerca desses estoques [8].

A mensuração dessas variáveis pode ser feita pelo método direto e indireto. O método direto, consiste na quantificação pelo modo destrutivo, no entanto, é oneroso e demanda muito tempo. No método indireto, a mensuração é feita utilizando dados de inventário florestal e equações alométricas, que utilizam o diâmetro medido a 1,30 m do solo (DAP) e altura total das árvores como variáveis independentes nas equações, tornando-se uma alternativa viável por não necessitar a derrubada de árvores, o que é vantajoso quando se trata de florestas nativas [5][14][15][16].

Considerando o exposto, este estudo teve como objetivo estimar, por meio de equações alométricas, o estoque volumétrico e o acúmulo de biomassa e carbono em uma floresta ombrófila densa na Floresta Nacional de Carajás, no município de Parauapebas, Pará.

Material e Métodos

O estudo foi desenvolvido na Floresta Nacional de Carajás (FLONA de Carajás), localizada no município de Parauapebas, no estado do Pará, cujas coordenadas são: 6° 01' 47" S, 50° 34' 54" O. A vegetação dessa área é composta majoritariamente por floresta ombrófila densa. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é "Aw", tropical

chuvoso com seca de inverno, caracterizado por um forte período de estiagem, coincidindo com o inverno do Hemisfério Sul, com precipitação média anual de 1.626 mm e temperatura média de 26 °C [17]. Nessa região são predominantes os solos pertencentes às classes cambissolos plínticos e neossolos litólicos, considerados rasos, de difícil manejo e suscetíveis à erosão [18].

Foram instaladas sete parcelas permanentes, com área de 2.000 m² e dimensões de 20 m x 100 m, totalizando 1,4 ha na região do Igarapé Bahia, na FLONA de Carajás (Figura 1). As parcelas foram alocadas de maneira aleatória, seguindo uma antiga estrada de acesso dentro da floresta, de forma a representar o gradiente de variação da região.

Segundo Silva *et al.* [19], o processo de amostragem adotado é o mais indicado para instalação e medição de parcelas permanentes em florestas naturais da Amazônia brasileira. Dentro dos limites das parcelas foram mensuradas a circunferência a altura do peito (CAP) (medida a uma altura de 1,30 m do solo) e altura total das árvores pertencentes ao estrato arbóreo (DAP \geq 10 cm) e regenerante (5 cm \leq DAP < 10 cm). Para a medição do CAP utilizou-se fita métrica e para as alturas, o hipsômetro digital Vertex IV. Foi realizada a identificação botânica a nível de espécie de todos os indivíduos das parcelas, com auxílio de um parobotânico.

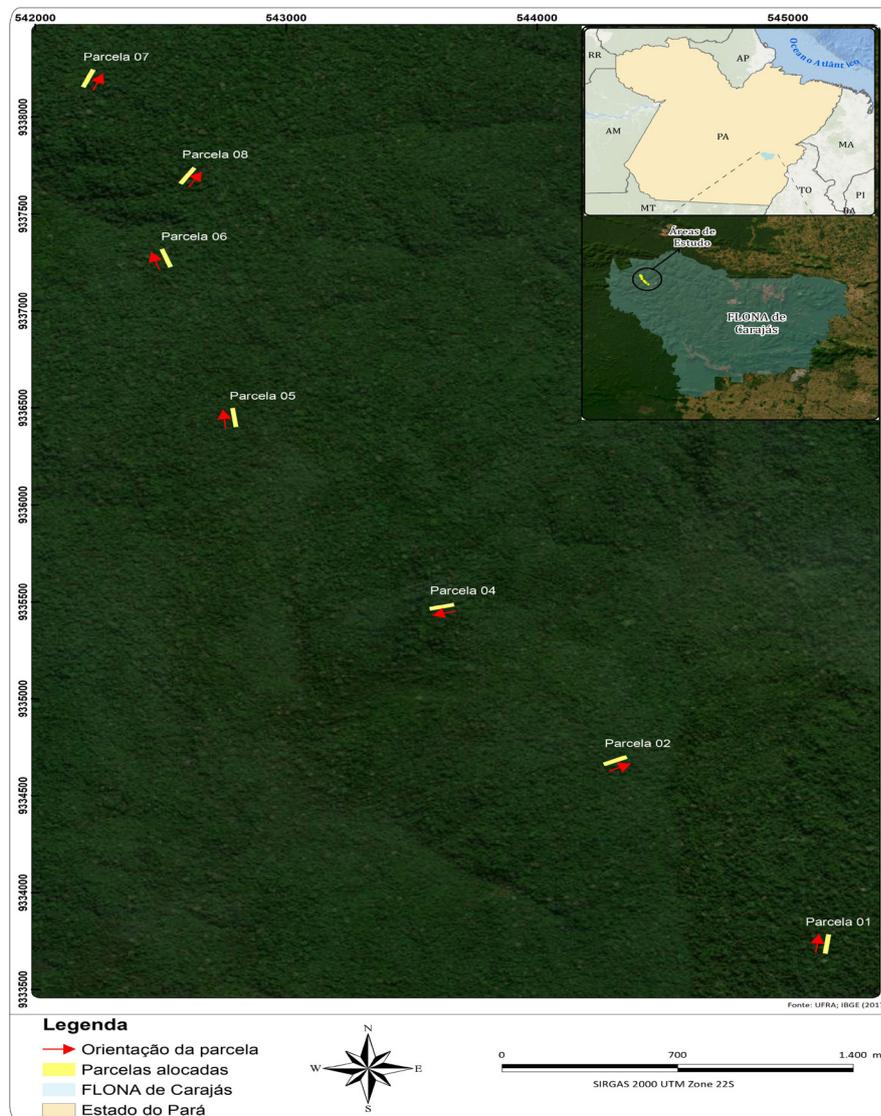


Figura 1 – Localização das parcelas permanentes alocadas na região do Igarapé Bahia, na Floresta Nacional de Carajás, Pará.

Os indivíduos amostrados foram classificados em dois estratos: estrato de regeneração, composto por indivíduos com DAP igual ou maior a 5 cm e inferior a 10 cm, conforme o critério de inclusão utilizado por Silva *et al.* [19]; e outro estrato formado por indivíduos com DAP igual ou superior a 10 cm, sendo um critério de inclusão amplamente utilizado por diversos autores [20][21][22] em estudos direcionados à quantificação de estoques de volume, biomassa e carbono na Floresta Amazônica.

A caracterização da estrutura diamétrica da floresta foi analisada por meio de uma distribuição diamétrica com amplitude de classes de 10 cm, esta informação permitiu compreender a estrutura da floresta e o padrão em que os estoques de volume, biomassa e carbono estão distribuídos.

O volume dos indivíduos amostrados no estrato arbóreo ($DAP \geq 10$ cm) foi estimado a partir da equação volumétrica de Schumacher e Hall, desenvolvida por Rolim *et al.* [23], para dados provenientes da Floresta Nacional do Tapirapé-Aquiri, no Pará. Essa equação foi selecionada, após pesquisa bibliográfica, por ter sido desenvolvida para uma área próxima e com características semelhantes a área do presente estudo. A equação ajustada apresentou coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) de 99,42%, erro padrão de estimativa (S_{yx} %) de 4,68% e não foram identificadas tendências nas estimativas por meio da análise gráfica dos resíduos.

$$V = 1,3332 (DAP)^{2,0836} (h)^{0,7320}$$

Em que: V = volume (m^3); DAP = diâmetro a 1,30 m do solo (m); h = altura total (m).

A biomassa aérea dos indivíduos amostrados foi determinada a partir da equação desenvolvida por Higuchi *et al.* [24], utilizada em diversos trabalhos [25][26][27] direcionados a estudos que estimam a biomassa em formações florestais, apresentando coeficiente de determinação de 90% [24][8]. A equação também foi utilizada para estimar o acúmulo de biomassa presente no estrato regenerante ($5 \text{ cm} \leq DAP < 10 \text{ cm}$) da floresta. Higuchi *et al.* [24], fornecem estimativas de biomassa para os indivíduos considerando seu peso úmido. Assume-se que o peso seco é cerca de 60% do peso úmido, conforme Castilho *et al.* [28], dessa forma, multiplicou-se os valores obtidos por 0,6 para fornecer estimativas de biomassa seca.

$$BA = [0,077 + 0,492 DAP^2 h] 0,6$$

Em que: BA = estoque de biomassa lenhosa da parte aérea ($t \cdot ha^{-1}$); DAP = diâmetro a 1,30 m do solo (m); h = altura total (m).

O estoque de carbono da parte aérea lenhosa (estrato arbóreo e regenerante) foi determinado por meio da multiplicação das estimativas de biomassa pelo fator 0,5, levando em consideração a relação de 2:1 entre a biomassa e o estoque de carbono [8]. Para avaliar a precisão das estimativas, foram analisados os valores de desvio padrão e coeficiente de variação (CV), com o objetivo de avaliar a variabilidade dos dados e compreender sua dispersão em relação à média [29]. As análises estatísticas foram realizadas no Microsoft Excel 365 (Versão 2410 Build 16.0.18129.20100).

Resultados e Discussão

Foram contabilizados 622 indivíduos, distribuídos em 167 espécies arbóreas, pertencentes a 42 famílias botânicas. Obteve-se uma estimativa média de 444 árvores por hectare com $DAP \geq 10$ cm, com área basal de $32,33 \text{ m}^2 \cdot ha^{-1}$ e altura total média igual a 19,6 m. Para a comunidade regenerante, foram amostrados 216 indivíduos, distribuídos em 97 espécies arbóreas, pertencentes a 31 famílias botânicas. Obteve-se uma estimativa média de 360 árvores por hectare, com área basal de $1,78 \text{ m}^2 \cdot ha^{-1}$ e altura total média igual a 10,4 m.

A análise da distribuição diamétrica, com intervalo de classes de 10 cm, conforme observado na Figura 2, demonstrou um padrão decrescente do número de indivíduos, em forma de 'J-invertido', em que o maior número de indivíduos se concentrou nas menores classes de diâmetro, sendo este comportamento, característico de florestas nativas [30]. A menor classe (5 cm) obteve a maior representatividade no povoamento com cerca de 44,76% do total dos indivíduos. Verifica-se que a maior classe de diâmetro (135 cm), possui uma baixa representatividade no povoamento (0,27%), com apenas dois indivíduos por hectare. Esse formato de distribuição demonstra que a floresta não sofreu grandes perturbações, e que um maior número de indivíduos nas classes iniciais indica uma comunidade com alta regeneração natural [22][31].

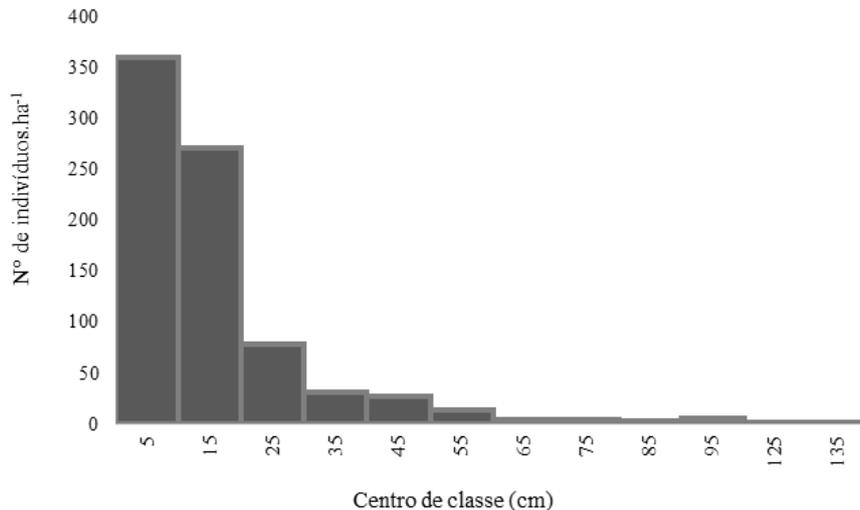


Figura 2 – Distribuição diamétrica para os indivíduos arbóreos de uma floresta ombrófila densa, em Parauapebas, Pará.

O volume total médio estimado para a área de estudo foi de 613,61, com desvio padrão de $\pm 137,07 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Estudos que estimam o volume de florestas na Amazônia, para um DAP de inclusão de 10 cm, obtiveram valores inferiores. Por exemplo, Souza *et al.* [32], em floresta tropical úmida não explorada no estado do Amazonas, encontraram um volume de $360,67 \pm 37,27 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. De forma semelhante, Silva *et al.* [21] estimaram um volume de $383,6 \pm 32,7 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ em uma floresta densa de terra firme no bioma amazônico.

A maior quantidade de volume estimado para o povoamento em estudo, em comparação com os demais trabalhos, pode ser atribuída às possíveis variações fitofisionômicas e características específicas de cada área, apesar de ambas serem florestas densas, a diversidade das florestas tropicais é muito grande, dessa forma, elas podem possuir diferentes estágios de sucessão, de distribuição diamétrica e composição de espécies, influenciando na quantidade de volume de madeira presente [5]. A tipologia da área estudada, uma floresta ombrófila densa, caracteriza-se por apresentar elevados valores de biomassa e elevado volume de madeira [33][34][35]. Dentre as espécies que apresentaram maior estimativa de volume encontram-se *Erisma uncinatum* Warm. ($99,27 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), *Copaifera duckei* Dwyer ($52,95 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), e *Eschweilera bracteosa* (Poepp. ex O.Berg) Miers ($50,45 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), que juntas somam $202,67 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$.

A distribuição do volume por classe diamétrica (Figura 3) demonstra uma uniformidade deste estoque ao longo das classes iniciais (15 a 35 cm). No entanto, à medida que os diâmetros aumentam, observa-se um maior acúmulo no estoque volumétrico, com a classe de 95 cm obtendo o maior volume ($108,21 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$). Além disso, observa-se que (Figura 4), apesar de as parcelas estarem instaladas em uma mesma região, existe uma grande variação em relação à concentração de árvores de grande porte dentro dos limites das parcelas. As parcelas 1 e 2, caracterizaram-se por apresentar uma regeneração natural intensa e menor quantidade de árvores com diâmetros iguais ou superiores a 50 cm ($7 \text{ ind} \cdot \text{ha}^{-1}$). Comparativamente, as parcelas 3 a 7, possuem uma frequência maior de indivíduos com diâmetros iguais ou superiores a 50 cm ($29 \text{ ind} \cdot \text{ha}^{-1}$).

Esse comportamento pode resultar no elevado valor de desvio padrão para o volume estimado ($137,07 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) e o alto coeficiente de variação (23,36%). Conforme Gomes [36], valores de coeficiente de variação entre 20 e 30%, indicam uma alta dispersão dos resultados em relação à média. As medidas de dispersão observadas neste estudo foram influenciadas pelas características típicas de uma floresta tropical, que apresenta alta diversidade de espécies e indivíduos com diferentes estágios de crescimento [30].

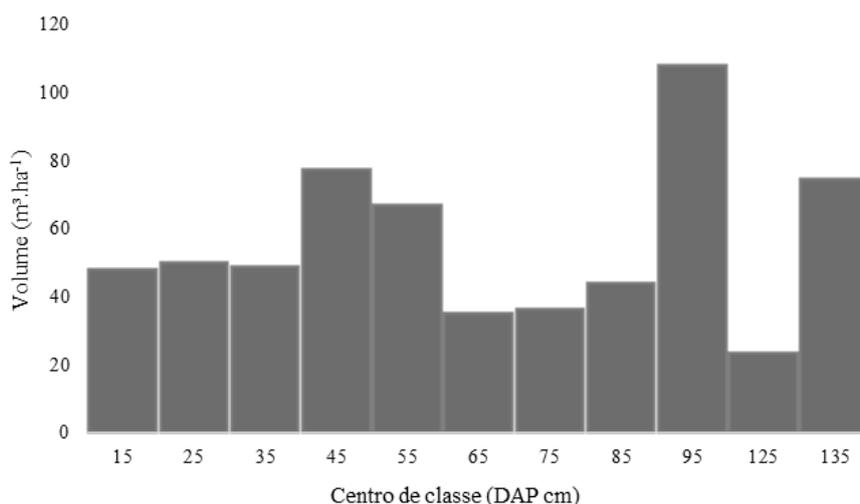


Figura 3 – Distribuição de volume ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$) por classe diamétrica para os indivíduos arbóreos de uma floresta ombrófila densa, em Parauapebas, Pará.

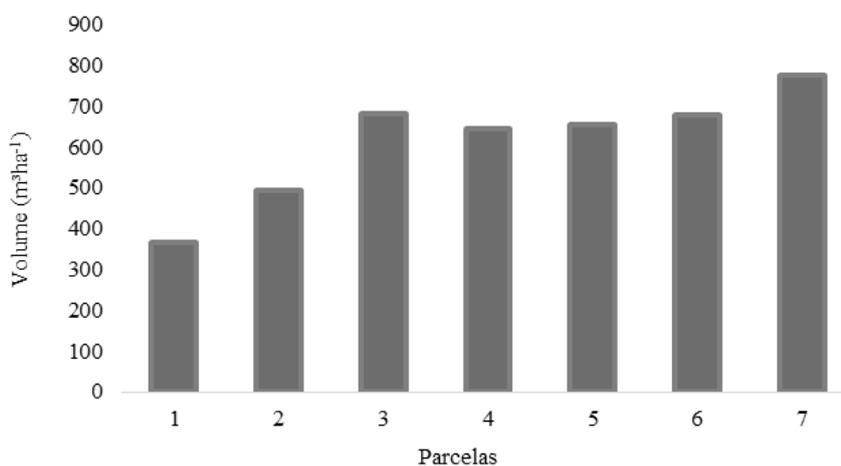


Figura 4 – Distribuição de volume ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$) por parcela, para os indivíduos arbóreos de uma floresta ombrófila densa, em Parauapebas, Pará.

A biomassa aérea total estimada para a floresta foi de $375,70 \pm 82,18 \text{ t.ha}^{-1}$. O resultado obtido neste estudo é semelhante a outros estudos realizados utilizando equações alométricas na Amazônia, como o realizado por Salomão [37] sobre vegetação de floresta primária na Amazônia Oriental, que obteve estimativas de biomassa aérea de 388 t.ha^{-1} e por Castilho *et al.* [28] em floresta de terra firme que obteve valor médio de $328 \pm 41,9 \text{ t.ha}^{-1}$. Em trabalho realizado por Santos *et al.* [38] em floresta ombrófila densa em duas áreas de pesquisa na FLONA Tapajós, calculou-se um valor de biomassa seca inferior aos deste estudo, variando entre $298,11 \pm 29,40$ (área 1) a $248,92 \pm 61,78 \text{ t.ha}^{-1}$ (área 2).

O estoque de carbono total foi estimado em $187,85 \pm 41,09 \text{ t.ha}^{-1}$. Outros valores obtidos em trabalhos na Amazônia, para árvores com o DAP $\geq 10 \text{ cm}$, foram inferiores ao verificado neste estudo, como os de Silva *et al.* [21] em estudo de floresta densa de terra-firme no Amazonas, que obteve estoque de carbono variando entre $158,7 \pm 13,3$ a $165,4 \pm 12,9 \text{ t.ha}^{-1}$, e Pimentel *et al.* [39], que estimou o carbono obtido após a conversão da biomassa em $148,69 \text{ t.ha}^{-1}$, em uma floresta de terra firme na região metropolitana de Belém, no estado do Pará.

As estimativas do presente estudo denotam a importância das árvores de grande porte, no que se refere aos estoques de carbono presentes na floresta, pois, apesar da abundância de indivíduos na classe

de 15 cm, a grande contribuição no acúmulo de biomassa e carbono ocorreu na classe diamétrica de 95 cm, indicando que um menor número de árvores (6 ind.ha⁻¹), foram responsáveis pela maior quantidade de biomassa e carbono acumulados. Esse

padrão é refletido no elevado coeficiente de variação (42,37%) encontrado para ambos os estoques, evidenciando a diferença significativa que existe na contribuição de biomassa e carbono entre as classes de diâmetro (Figura 5).

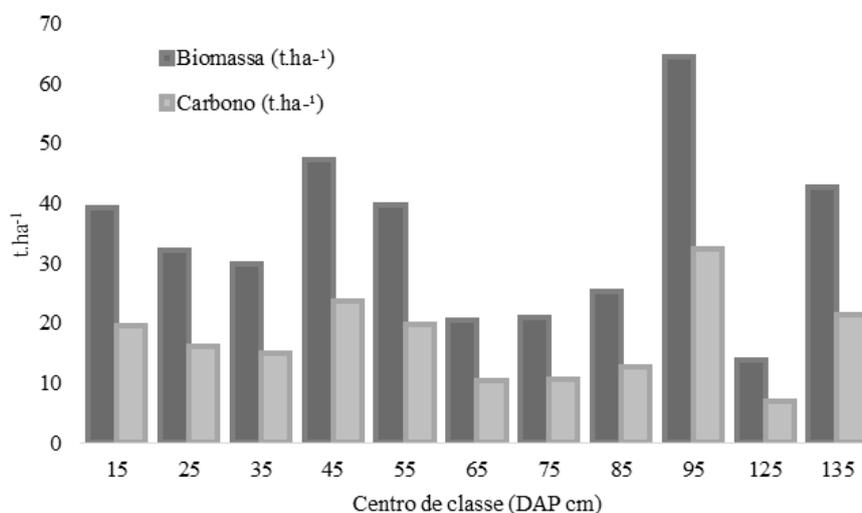


Figura 5 – Distribuição de biomassa e carbono (t.ha⁻¹) por classe diamétrica para os indivíduos arbóreos de uma floresta ombrófila densa, em Parauapebas, Pará.

A quantidade de biomassa acumulada está fortemente correlacionada com o acúmulo da área basal desses indivíduos, além de exercer influência direta no porte das árvores e no potencial da floresta, uma maior área basal pode resultar em maiores valores de biomassa e possivelmente ótimos teores de carbono estrutural presentes na floresta, sendo este um indicativo importante quando se trata de uma abordagem sustentável desses locais como sumidouros de carbono [40][41].

Quando abatidos ou mortos, indivíduos pertencentes às maiores classes, representam um déficit importante nos estoques presentes na floresta, devido possuírem ciclo de vida longo e incremento lento, e deste modo, a recuperação desses estoques pode demorar muitos anos [38]. Além disso, esses indivíduos desempenham um papel chave para o funcionamento do ciclo do carbono, pois detêm a maior parte da biomassa acumulada, como também exercem influência no funcionamento da floresta e nos processos ecossistêmicos como a regulação de luz, água e nutrientes no solo [42][43].

Nesse contexto, as atividades ilegais ou que não possuem planejamento adequado segundo as premissas do manejo florestal sustentável, podem representar uma séria ameaça ao estoque de carbono da floresta, devido à exploração seletiva dos indivíduos com maiores diâmetros, que por sua vez, são os principais responsáveis pelo acúmulo de

carbono [44][45]. Portanto, é evidente a necessidade do aprimoramento de práticas de manejo florestal sustentáveis, buscando a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, de forma racional, respeitando o ecossistema, e que vise mitigar os impactos da degradação florestal e garantir a sustentabilidade das florestas tropicais a longo prazo [46].

A realização de pesquisas e estudos relacionados a estimativas de biomassa e carbono, segundo Higuchi *et al.* [24], contribuem de forma significativa na avaliação das atividades de manejo florestal, no que se refere ao monitoramento da exportação de nutrientes após a exploração florestal, contribuindo assim, para a diminuição os impactos negativos que podem ser gerados por essa atividade.

Para o componente regenerante foi estimado uma biomassa de $23,73 \pm 3,36$ t.ha⁻¹, valor inferior ao encontrado por Higuchi [47], em estudo realizado em sete sub-regiões de florestas maduras de terra firme do estado do Amazonas, que obteve estimativa média de biomassa de $34,7 \pm 3,6$ t.ha⁻¹, para indivíduos com diâmetros entre 5 e 10 cm. Para o estoque de carbono, estimou-se $11,86 \pm 1,68$ t.ha⁻¹, este valor foi inferior ao estimado por Luna [48] para a regeneração natural de uma floresta manejada no estado do Amazonas, que quantificou um estoque de carbono médio de $13,02 \pm 2,1$ t.ha⁻¹. Possivelmente, esta diferença ocorreu devido a influência do manejo sobre a regeneração natural da floresta.

A quantificação da biomassa aérea presente no estrato regenerante possui grande relevância para compreender e avaliar a dinâmica de uma floresta [48]. Segundo Romero [49], os indivíduos que compõem a regeneração podem contribuir para o sequestro de carbono, potencializando assim o papel imprescindível das florestas como sumidouros de CO₂. Além disso, quando os indivíduos selecionados são retirados no processo de extração da madeira, o componente regenerante contribui compensando a perda desse acúmulo, contribuindo assim, na recuperação ao longo dos anos desses estoques em áreas manejadas.

Conclusão

A estimativa de volume médio para a área estudada foi de 613,61 m³.ha⁻¹, com alta variação (CV de 23,36%) entre as parcelas amostradas.

A estimativa média de biomassa foi de 375,70 t.ha⁻¹ com um estoque de carbono estimado em 187,85 t.ha⁻¹.

Os estoques de biomassa e carbono presentes na floresta apresentaram elevada variação (CV de 42,37%) quando distribuídos por classes de diâmetro. O maior acúmulo dos respectivos estoques foi observado nos indivíduos pertencentes à classe de 95 cm de diâmetro (árvores de grande porte da floresta), evidenciando a importância desses indivíduos para os processos ecossistêmicos, como o ciclo do carbono.

Os resultados desta pesquisa reforçam a importância de estudos direcionados à quantificação dos estoques de biomassa e carbono presentes nas florestas, os quais contribuem para o manejo florestal sustentável destas áreas e para o desenvolvimento de políticas públicas, como projetos de crédito de carbono, que incentivam a conservação da floresta em pé. Além disso, ressalta-se o importante papel da Floresta Amazônica para a mitigação das mudanças climáticas.

Agradecimentos

A Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) pelo apoio durante a realização do projeto e a Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA) pela concessão da bolsa de estudos.

Referências

1. Piva LRO, Sanquetta CR, Wojciechowski J, Corte APD. Fitossociologia em comunidades florestais do projeto RADAMBRASIL no bioma Amazônia. *BIOFIX Scientific Journal*, 2020; 5(2): 264-271. doi: [dx.doi.org/10.5380/biofix.v5i2.73668](https://doi.org/10.5380/biofix.v5i2.73668)
2. Steege H, Vaessen RW, Cárdenas-López C, Sabatier D, Antonelli A, De Oliveira SM, *et al.* A descoberta da flora arbórea da Amazônia com uma lista atualizada de todos os taxa arbóreos conhecidos. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais*, 2016; 11(2): 231-261. doi: <http://dx.doi.org/10.1038/srep29549>
3. Barbieri E. A Amazônia e a sustentabilidade da sua biodiversidade. *Revista Relicário*. [Internet]. 2019 [citado em 23 maio de 2024]; 6: 107-126. Disponível em: <https://revistarelicario.museudeartesauberlandia.com/index.php/relicario/article/view/140/129>
4. Barbieri E. *Biodiversidade: Capitalismo Verde ou Ecologia Social*. São Paulo: Editora Cidade nova; 1998.
5. Watzlawick LF, Lisboa GS, França LCJ, Stepka TF, Longhi RV, Marangon GP, *et al.* Modeling of biomass and stored carbon in a seasonal semideciduous forest in Brazil. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*. [Internet]. 2023 [cited 2024 Jul 02]; 95: 4. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/RTdfvsXgghVpZygy4JKqyVJ/#>
6. Ribeiro SC, Jacovine LAG, Soares CPB, Martins SV, De Souza AL, Nardelli AMB. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma floresta madura no município de Viçosa, Minas Gerais. *Revista Árvore*. [Internet]. 2009 [citado em 25 maio de 2024]; 33: 917-926. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/Q3tRFTCj7XrLYkcy9JqNDzG/?format=pdf&lang=pt>
7. Ahmad A, Mirza SN, Nizami SM. Assessment of biomass and carbon stocks in coniferous forest of Dir Kohistan, KPK. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*. [Internet]. 2014 June [citado em 03 fev. 2024]; 51: 345- 350. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/262336994_Assessment_of_biomass_and_carbon_stocks_in_coniferous_forest_of_Dir_Kohistan_KPK
8. Coelho MCB, De Souza MVR, Santana TTC, Ramos YA, Erpen ML. Estoque de volume, biomassa e carbono aéreo de comunidade arborea em área de pos exploração florestal. *Enciclopedia Biosfera*, 2022; 19(41): 128-137. doi: 10.18677/EnciBio_2022C12
9. Bittencourt SRM, Busch SE, Da Cruz MR. O Mecanismo de desenvolvimento limpo no Brasil [Internet]. 2018 [citado em 18 fev. de 2024]. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9474/1/O%20Mecanismo.pdf>

10. Ministério do meio ambiente (MMA) [homepage na internet]. Protocolo de Quioto [acesso em 10 maio 2024]. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto.html>.
11. O que foi o Protocolo de Quioto e o que é o Acordo de Paris? [homepage na internet]. Prateleira Ambiental | Portal de Educação Ambiental. [acesso em 16 out 2024]. Disponível em: <https://semil.sp.gov.br/educacaoambiental/prateleira-ambiental/o-que-foi-o-protocolo-de-quioto-e-o-que-e-o-acordo-de-paris/>
12. Ministério do meio ambiente (MMA) [homepage na internet]. Acordo de Paris [acesso em 16 out 2024]. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris.html>
13. Câmara G, Simões R, Ruivo HM, Andrade PR, Scarabello M, Costa W, *et al.* Desafios do cumprimento da NDC brasileira no bioma Amazônia. *Revista CEBRI*. [Internet]. 2022 [citado em 18 out. de 2024]. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1149925/1/AP-Desafios-NDC-2022.pdf>
14. Brown S. Estimativa de biomassa e mudança de biomassa de florestas tropicais: um manual. [Internet]. 1997 [citado em 05 fev. de 2024] 134: 55. Disponível em: <https://www.fao.org/4/w4095e/w4095e00.htm>
15. Balbinot R, Trautenmüller JW, Caron BO, Breunig FM, Borella J, Carvalho RR. Modelling of allometric equations for biomass estimate in deciduous forest. *Floresta*, 2019; 49(1): 143-154. doi: <http://dx.doi.org/10.5380/RF.V49I1.58490>
16. Cardoso DJ, Parron LM, Franciscan L. Carbono de biomassa em floresta nativa e sistemas florestais como indicador de serviços ambientais In: Parron LM, Garcia JR., De Oliveira EB, Brown GG, Prado RB. Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica. [Internet]. Brasília, DF: Embrapa; 2015 [citado em 2 jun. de 2024]. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/131969/1/Livro-Servicos-Ambientais-Embrapa.pdf>
17. Da Costa RF, Souza PF, Silva Júnior JA, Da Costa ACL, Rodrigues HJB. Como os sistemas oceano-atmosfera influenciam na redução das chuvas em Parauapebas, Pará. *Anais do XX Congresso Brasileiro de Meteorologia*; 27-30 nov 2018; Maceió, AL. p. 827-833.
18. Dos Santos HG, Jacomine PKT, Dos Anjos LHC, De Oliveira VA, Lumberras JF, Coelho MR *et al.* Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. revista e ampliada [Internet]. Brasília, DF: Embrapa; 2018 [citado em 2 fev. de 2024]. Disponível em: <https://www.agroapi.cnptia.embrapa.br/portal/assets/docs/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>
19. Silva JNM, Lopes JCA, De Oliveira LC, Da Silva SMA, De Carvalho JOP, Costa DHM *et al.* Diretrizes para instalação e Medição de parcelas permanentes em florestas naturais da Amazônia Brasileira. Belém, PA: Embrapa, Amazônia Oriental, 2005. [citado em 17 nov. de 2024]. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/205499/1/Diretrizes-para-instalacao-e-medicao-de.pdf>
20. Carim MJV, Florian Karl Wittmann FK, Piedade MTF, Guimarães JRS, Tostes LCL. Estimativa de biomassa lenhosa acima do solo ao longo do gradiente inundável de várzea e igapó na Amazônia oriental, Estado do Amapá. *Biota Amazônia*, 2018; 8(1): 29-33. doi: <http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v8n1p29-33>
21. Da Silva KE, De Souza CR, De Azevedo CP, Rossi LMB. Dinâmica florestal, estoque de carbono e fitossociologia de uma floresta densa de terra-firme na Amazônia Central. *Scientia Forestalis*, 2015; 43(105): 193-201 [Internet]. 2015 [citado em 22 mai. de 2024]; 43: 193-201. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/132874/1/cap19.pdf>
22. Aguiar DR, Gama JRV, Beldini TP. Estoque de carbono por grupo ecológico na Floresta Nacional do Tapajós. *Revista Espacios*. [Internet]. 2017 [citado em 20 mar. de 2024]; 38: 21-34. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n32/a17v38n32p21.pdf>
23. Rolim SG, Do Couto HTZ, De Jesus RM, França JT. Modelos volumétricos para a floresta nacional do Tapirapé-aquirí, Serra dos Carajás (PA). *Acta Amazonica*. [Internet]. 2006 [citado em 10 fev. de 2024]; 36: 107-114. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/NKzvYnwYVTDsFmw9wRRgb5K/?format=pdf&lang=pt>
24. Higuchi N, Dos Santos J, Ribeiro RJ, Minette L, Biot Y. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. *Acta Amazonica*. [Internet]. 1998 [citado em 12 fev. de 2024]; 28: 153-166. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/vk3TPF6vZPXpvvdqCN7Y3WF/?format=pdf&lang=pt>
25. De Bessa NGF, Pereira MAB, Ferraz V, Poletto KQ, Chagas Júnior AF, Alves A. Antimicrobial activity and medicinal biomass of *Siparuna guianensis* in Brazilian Cerrado forest, a global hotspot. *Journal of Medicinal Plants Research*, 2015; 9(37): 968-980. doi: 10.5897/JMPR2015.5884
26. Coelho MCB, Goergen SF, Condessa F, Ataíde YSB, Erpen ML. Indicadores florísticos, fitossociológicos e de produtividade em área nativa de cerrado. *Enciclopedia Biosfera*, 2017; 14(25): 13-25. doi: 10.18677/EnciBio_2017A62

27. Coelho MCB, Limeira MMC, Erpen ML, Barilli J, Giongo M, De Menezes MP, *et al.* Biomassa, carbono e necromassa em formações savânicas e florestais. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, 2023; 12(6): 2613-2639. doi: 10.55905/rcssv12n6-009
28. Castilho CV, Magnusson WE, De Araújo RNO, Luizão RCC, Luizão FJ, Lima AP, Higuchi N. Variation in aboveground tree live biomass in a central Amazonian Forest: Effects of soil and topography. *Forest ecology and management*, 2006; 234(1-3): 85-96. doi: 10.1016/j.foreco.2006.06.024
29. Do Amaral AM, Muniz JA, De Souza M. Avaliação do coeficiente de variação como medida da precisão na experimentação com citros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. [Internet]. 1997 [citado em 16 nov. de 2024]; 32 (12): 1221-1225. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/47155/1/AVALIACAO-DO-COEFICIENTE-DE-VARIACAO-COMO-MEDIDA-DA-PRECISAO.pdf>
30. Lima JPC, Leão JRA. Dinâmica de crescimento e distribuição diamétrica de fragmentos de florestas nativa e plantada na Amazônia Sul Ocidental. *Floresta e Ambiente*, 2013; 20: 70-79. doi: <http://dx.doi.org/10.4322/loram.2012.065>
31. Hess AF, Calgarotto AR, Pinheiro R, Wanginiak TCR. Proposta de manejo de *Araucaria angustifolia* utilizando o quociente de Liocourt e análise de incremento, em propriedade rural no município de Lages, SC. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 2010; 30(64): 337-345. doi: 10.4336/2010.pfb.30.64.337
32. De Souza CR, De Azevedo CP, Rossi LMB, Da Silva KE, Dos SANTOS J, Higuchi N. Dinâmica e estoque de carbono em floresta primária na região de Manaus/AM. *Acta Amazonica*. [Internet]. 2012 [citado em 20 mai. de 2024]; 42: 501-506. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/FSH4LVRYsWhwsYWBqcRYxMr/?format=pdf&lang=pt>
33. Salomão RP, Rosa NA, Morais KAC. Dinâmica da regeneração natural de árvores em áreas mineradas na Amazônia. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais*, 2007; 2(2): 85-139. doi: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v2i2.707>
34. Salomão RP, Rosa NA, Matos AH. Aptidão ecológica de espécies arbóreas amazônicas para a recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita, Porto Trombetas, município de Oriximiná, Pará - 1ª aproximação. In: *Simpósio nacional de recuperação de áreas degradadas*, v. 4, 2000.
35. Radambrasil. Levantamento de recursos naturais. In: *FOLHA SA.21-SANTARÉM* [Internet]. Rio de Janeiro: O Projeto; 1976. [citado em 2 jun. de 2024]. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv24027.pdf>
36. Gomes, FP. Curso de Estatística Experimental. Piracicaba: Livraria Nobel; 1987.
37. Salomão RP. Estimativas de biomassa e avaliação do estoque de carbono da vegetação de florestas primárias e secundárias de diversas idades (capoeiras) na Amazônia Oriental, município de Peixe-boi, Pará. Dissertação de Mestrado, UFPA/MPEG, Belém-PA; 1994. 53 f.
38. Santos F, Camargo PB, De Oliveira Junior RC. Estoque e dinâmica de biomassa arbórea em Floresta Ombrófila Densa na Flona Tapajós: Amazônia Oriental. *Ciência Florestal*, 2018; 28(3): 1049-1059. doi: <https://doi.org/10.5902/1980509833388>
39. Pimentel ENB, De Paula MT, Viana JH. Florística, fitossociologia, estimativa de biomassa e sequestro de carbono em uma floresta de terra firme no Parque Ecológico de Gunma, Santa Bárbara, Pará, Brasil. *Scientia Plena*, 2024; 20(2): 1-14. doi: 10.14808/sci.plena.2024.022402
40. Cardoso DJ, Garrastazú MC, De Lacerda AEB, Fiorucci LH, Zanatta JA, Higa RCV, *et al.* Estoque de biomassa arbórea em remanescentes de Floresta Ombrófila Mista e área de transição: inferências sobre estágio sucessional. [Internet]. Embrapa Florestas. 2018. [citado em 16 jul. de 2024]. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/182144/1/Livro-Doc-319-1543-final.pdf>
41. Da Silva WFM, Ferreira RLA, Cardoso Junior RC, De Sousa KSM, Maciel JCO. Capacidade produtiva de biomassa fresca em uma área de manejo florestal no oeste do Pará. *Brazilian Journal of Development*, 2022; 8(8): 58696-58710. doi: <https://doi.org/10.34117/bjdv8n8-249>
42. Bastin JF, Rutishauser E, Kellner JR, Saatchi S, Pélissier R, Hérault B, *et al.* Pan-tropical prediction of forest structure from the largest trees. *Ecologia Global e Biogeografia*, 2018; 27(11): 1366-1383. doi: 10.1111/geb.12803
43. Pinho BX, Peres CA, Leal IR, Tabarelli M. Papel crítico e colapso das megaárvores tropicais: um recurso global chave. *Avanços na pesquisa ecológica*, 2020; cap. 62(7): 263-294. doi: <https://doi.org/10.1016/bs.aacr.2020.01.009>
44. Andrade AS, Narvaes IS, Pinheiro PFV, Brandão VVP, Braga TGM, *et al.* Dinâmica da degradação florestal em oito municípios da região nordeste do Pará. In: *Pontes AN, Do Rosário AS. Ciências ambientais: climatologia, geotecnologias, mineração e estudos de monitoramento*. Belém: EDUEPA; 2020. p 34-56. [citado em 09 jul. de 2024]. Disponível em: https://paginas.uepa.br/eduepa/wp-content/uploads/2020/12/amb_cl-geo-min.pdf
45. Thompson ID, Guariguata MR, Okabe K, Bahamondez C, Nasi R, Heymell V, *et al.* An operational framework for defining and monitoring forest degradation. *Ecology and Society*, 2013; 18(2). doi: <http://dx.doi.org/10.5751/ES-05443-180220>

46. Presidência da República (Brasil). Lei complementar no 12.651, de 25 de maio de 2012. Institui o novo código florestal brasileiro. [Internet]. Diário Oficial da União. 2012 mai. 25 [citado em 23 nov. de 2024]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm
47. Higuchi FG. Dinâmica de volume e biomassa da floresta de terra firme do Amazonas. Tese (Doutorado em ciências agrárias), UFPR, Curitiba-PR; 2015. 207 f.
48. Luna ER. Dinâmica do carbono na regeneração natural em uma floresta manejada na Amazônia: estudo de caso Mil Madeiras Preciosas. Dissertação (Mestrado em ciências agrárias), UFAM/ PPGCIFA, Manaus-AM; 2021. 63 f.
49. Romero FMB. Contribuição do manejo sustentável em floresta do bioma amazônico para minimização de gases de efeito estufa. Tese (Doutorado em ciências florestais), UFV, Viçosa-MG; 2018. 91 f.

Biodiversidade Brasileira – BioBrasil.

Fluxo Contínuo e Edição Temática:

Gestão do Conhecimento e Sociobiodiversidade das Áreas Protegidas de Carajás
n.1, 2025

<http://www.icmbio.gov.br/revistaeletronica/index.php/BioBR>

Biodiversidade Brasileira é uma publicação eletrônica científica do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) que tem como objetivo fomentar a discussão e a disseminação de experiências em conservação e manejo, com foco em unidades de conservação e espécies ameaçadas.

ISSN: 2236-2886

