



Dinâmica e estoque de carbono em uma floresta manejada na Reserva Extrativista Chico Mendes

Joatan Araújo da Silva¹

 <https://orcid.org/0009-0007-4222-9451>

Sabina Cerruto Ribeiro²

 <https://orcid.org/0000-0002-4504-3050>

Larisse Cristine Sá Costa Cruz^{2*}

 <https://orcid.org/0009-0009-9631-7961>

* Contato principal

Patricia Mendes de Oliveira²

 <https://orcid.org/0009-0007-5949-3267>

Daniely da Frota Almeida²

 <https://orcid.org/0000-0001-8234-5990>

Thiago Augusto da Cunha²

 <https://orcid.org/0000-0003-1210-9647>

¹ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/IBGE, Rio de Janeiro/RJ, Brasil. <joatan80@gmail.com>.

² Universidade Federal do Acre/UFAC, Rio Branco/AC, Brasil. <sabina.ribeiro@ufac.br, larissescruz@gmail.com, patriciamds.engflorestal@gmail.com, danielyalmeida15@gmail.com, thiago.cunha@ufac.br>.

Recebido em 26/09/2024 – Aceito em 01/03/2025

Como citar:

Silva JA, Ribeiro SC, Cruz LCSC, Oliveira PM, Almeida DF, Cunha TA. Dinâmica e estoque de carbono em uma floresta manejada na Reserva Extrativista Chico Mendes. Biodivers. Bras. [Internet]. 2025; 15(3): 92-105. doi: 10.37002/biodiversidadebrasileira.v15i3.2726

Palavras-chave: Floresta tropical; biomassa florestal; taxa de crescimento; taxa de mortalidade; sequestro de carbono.

RESUMO – A análise dos estoques de biomassa em florestas tropicais permite compreender como esses ecossistemas respondem a alterações naturais e antropogênicas, sendo fundamental para o manejo sustentável. Este estudo analisou a dinâmica e o estoque de carbono de uma floresta manejada na Reserva Extrativista Chico Mendes, Acre. Inventários realizados entre 2011 e 2015 analisaram a variação no estoque de carbono e a estrutura da vegetação. No primeiro inventário, foram amostrados 20.997 indivíduos de 98 espécies, sendo 8.440 exploráveis. Entre 2013 e 2015, observou-se um aumento de 3,39% na biomassa, enquanto a perda de indivíduos foi 0,99% superior ao recrutamento, resultando em um acréscimo líquido de 17,99 Mg C no estoque de carbono. As famílias Fabaceae, Moraceae, Lecythidaceae e Burseraceae tiveram as maiores contribuições para a biomassa e fixação de carbono. O estoque de carbono apresentou valores de 101,91 Mg ha⁻¹ em 2013 e 105,37 Mg ha⁻¹ em 2015, com um incremento de 3,46 Mg ha⁻¹ entre esses anos. Embora a biomassa tenha aumentado, a mortalidade arbórea destaca a necessidade de estratégias conservacionistas para equilibrar exploração e recuperação. A floresta desempenha papel fundamental na mitigação das mudanças climáticas, na regulação do ciclo da água e na manutenção da biodiversidade. O manejo sustentável é essencial para garantir a continuidade desses serviços ecossistêmicos e a saúde do ecossistema florestal.

Carbon sink dynamics and stock in a managed forest at the Chico Mendes Extractive Reserve

Keywords: Rainforest; forest biomass; growth rate; mortality rate; carbon sequestration.

ABSTRACT – Analyzing biomass stocks in tropical forests allows us to understand how these ecosystems respond to natural and anthropogenic changes, which are fundamental for sustainable management. This study analyzed the dynamics and carbon stock of a managed forest in the Chico Mendes Extractive Reserve, Acre, Brazil. Forest inventories conducted between 2011 and 2015 assessed variations in carbon stock and vegetation structure. In the first inventory, 20,997 individuals from 98 species were sampled, of which 8,440 were exploitable. Between 2013 and 2015, biomass increased by 3.39%, while tree loss exceeded recruitment by 0.99%, resulting in a net increase of 17.99 Mg C in carbon stock. The families Fabaceae, Moraceae, Lecythidaceae, and Burseraceae contributed the most to biomass and carbon fixation. The carbon stock exhibited values of 101.91 Mg ha⁻¹ in 2013 and 105.37 Mg ha⁻¹ in 2015, with an increase of 3.46 Mg ha⁻¹ over this period. Although biomass increased, tree mortality highlights the need for conservation strategies to balance exploitation and recovery. Tropical forests play a fundamental role in mitigating climate change, regulating the water cycle, and maintaining biodiversity. Sustainable forest management is essential to ensure the continuity of these ecosystem services and the long-term stability of forest ecosystems.

Dinámica y reserva de carbono en un bosque manejado en la Reserva Extractivista Chico Mendes

Palabras clave: Selva tropical; biomasa forestal; tasa de crecimiento; tasa de mortalidade; secuestro de carbono.

RESUMEN – El análisis de las reservas de biomasa en los bosques tropicales permite comprender cómo estos ecosistemas responden a cambios naturales y antropogénicos, siendo fundamental para la gestión sostenible. Este estudio analizó la dinámica y las reservas de carbono de un bosque manejado en la Reserva Extractivista Chico Mendes, Acre, Brasil. Los inventarios forestales realizados entre 2011 y 2015 evaluaron las variaciones en la reserva de carbono y la estructura de la vegetación. En el primer inventario, se muestrearon 20.997 individuos de 98 especies, de los cuales 8.440 eran explotables. Entre 2013 y 2015, la biomasa aumentó un 3,39%, mientras que la pérdida de árboles superó el reclutamiento en un 0,99%, lo que resultó en un incremento neto de 17,99 Mg C en la reserva de carbono. Las familias Fabaceae, Moraceae, Lecythidaceae y Burseraceae contribuyeron en mayor medida a la biomasa y a la fijación de carbono. El stock de carbono presentó valores de 101.91 Mg ha⁻¹ en 2013 y 105.37 Mg ha⁻¹ en 2015, con un incremento de 3.46 Mg ha⁻¹ durante este período. Aunque la biomasa aumentó, la mortalidad de árboles resalta la necesidad de estrategias de conservación para equilibrar la explotación y la recuperación. Los bosques tropicales desempeñan un papel fundamental en la mitigación del cambio climático, la regulación del ciclo del agua y el mantenimiento de la biodiversidad. El manejo forestal sostenible es esencial para garantizar la continuidad de estos servicios ecosistémicos y la estabilidad a largo plazo de los ecosistemas forestales.

Introdução

As florestas tropicais são ecossistemas fundamentais para a manutenção da vida no planeta, realizando diversos serviços ambientais, tais como a fotossíntese e a fixação de carbono, que colaboram para a remoção de dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera [1]. Estima-se que cerca de 190 bilhões

de Mg de carbono estejam fixados acima do solo em florestas tropicais [2].

A Amazônia, maior floresta tropical do mundo, armazena cerca de 10% (12 bilhões de MgC) de todo o carbono contido em florestas no mundo [3]. Contudo, ações antrópicas, como a pecuária intensiva, a extração ilegal de madeira e a urbanização

desordenada, estão promovendo a fragmentação das florestas naturais na região amazônica [4]. Segundo Smith et al. [2], aproximadamente 20% de áreas primárias da floresta amazônica foram suprimidas, acarretando a liberação de grandes quantidades de CO₂ na atmosfera, com taxas variando entre 0,16 e 0,67 MgC por ano.

Essas perturbações muitas vezes ocorrem simultaneamente e se repetem ao longo do tempo, ampliando os danos à floresta e à biodiversidade. Seus efeitos, que podem se estender por décadas, incluem a perda gradual de árvores e o consequente aumento nas emissões de carbono. Estimativas atuais indicam que a perda de carbono associada à degradação pode ser tão significativa quanto ou até superior à do desmatamento [5]. Além de aumentar as emissões, a degradação compromete a capacidade de sequestro de carbono das florestas, pois árvores que armazenam grandes quantidades de carbono são perdidas, e o solo e a cobertura vegetal são alterados. Ademais, áreas exploradas tornam-se mais vulneráveis a incêndios, doenças e outras perturbações, o que intensifica e prolonga a liberação de carbono. O impacto cumulativo de múltiplas extrações ao longo do tempo pode ser ainda mais pronunciado, frequentemente superando os efeitos do desmatamento [6].

Diante desse cenário preocupante, práticas que conciliem a conservação das florestas com atividades econômicas se tornam essenciais. Nesse contexto, o manejo madeireiro sustentável, por meio de práticas de exploração de impacto reduzido (EIR), é apontado por Souza et al. [7] como uma solução viável para equilibrar a preservação ambiental com o desenvolvimento econômico. A EIR permite que as florestas manejadas preservem suas funções ecológicas, como a fixação de carbono, ao mesmo tempo em que possibilita a exploração de madeira de maneira sustentável e responsável.

Ainda de acordo com Souza et al. [7], uma floresta manejada seguindo as diretrizes da exploração de impacto reduzido pode possibilitar um aumento na taxa de carbono fixado, visto que florestas em regeneração sequestram mais carbono e, além disso, ao reduzir a mortalidade de indivíduos remanescentes evita-se que ocorra uma liberação desnecessária do carbono através da perda de biomassa.

Embora o manejo florestal possa ajudar a melhorar a fixação de carbono, é fundamental quantificar com precisão os estoques de carbono nas florestas tropicais. Isso não apenas facilita

o entendimento de seu papel no ciclo global de carbono, mas também é essencial para implementar políticas públicas eficazes, como o REDD+, focadas na redução das emissões provenientes do desmatamento e da degradação. A seleção de modelos alométricos a partir de inventários florestais pode introduzir considerável incerteza nos resultados de estimativas de biomassa [8]. Diversas equações publicadas apresentam variações, principalmente devido ao tamanho das árvores. Isso ocorre porque muitos desses modelos foram desenvolvidos com foco em árvores de diâmetros pequenos ou muito grandes, o que pode limitar sua aplicabilidade para o espectro total de árvores nas florestas [9].

Na Amazônia sul-ocidental, algumas equações foram desenvolvidas para estimar a biomassa, como as propostas por [10][11][12][13]. No entanto, apesar desses esforços, as estimativas ainda podem não refletir adequadamente as características locais e específicas de cada espécie, uma vez que essas equações abrangem um número muito grande de espécies, regiões e tipos de floresta [13]. Além disso, os modelos existentes podem não representar adequadamente as árvores de maior porte, uma vez que árvores com diâmetros superiores a 50 cm podem contribuir com até metade da biomassa e do estoque de carbono.

Dessa forma, embora se reconheça a importância de compreender a dinâmica e o estoque de carbono em florestas manejadas, ainda há uma lacuna significativa de estudos na região. Em particular, as florestas tropicais do sudoeste da Amazônia carecem de mais investigações, sendo essencial realizar pesquisas adicionais para gerar informações mais detalhadas sobre a dinâmica dessas florestas manejadas locais.

Diante disso os objetivos do estudo foram quantificar e descrever a dinâmica do estoque de carbono e biomassa acima do solo em uma floresta manejada na Reserva Extrativista Chico Mendes (RESEX Chico Mendes), no Acre; e analisar o impacto do manejo florestal na composição florística e na dinâmica florestal após a extração de impacto reduzido. Em particular, buscamos responder às seguintes questões: (i) Qual é a variação do estoque de carbono entre os anos de 2013 e 2015? (ii) Quais são os principais fatores que influenciam o estoque de carbono nas principais famílias e espécies presentes na área? (iii) Como o manejo florestal impacta o estoque de carbono e a dinâmica da biomassa em diferentes períodos?

Material e Métodos

O estudo foi realizado em áreas sob manejo florestal na RESEX Chico Mendes localizada na região sudeste do Acre, Brasil, criada através do Decreto nº 99.144, de 12 de março de 1999. Ocupa uma área de 970.570 ha, distribuída em 46 seringais, presente em sete municípios – Rio Branco, Xapuri, Brasília, Epitaciolândia, Sena Madureira, Assis Brasil e Capixaba (Figura 1).

O estudo foi conduzido nas porções localizadas no município de Xapuri, nos seringais Floresta, Sibéria, Albrácia, Palmari e Dois Irmãos. Esses seringais integram a Associação dos Moradores e Produtores da Reserva Extrativista Chico Mendes (AMOPREX). O clima local, segundo a classificação climática de Köppen, é caracterizado predominantemente como Am (clima de monção), apresenta estações bem definidas, com seca de junho a agosto e chuvas de outubro a abril, temperatura média anual variando de 24 °C a 26 °C, e precipitação anual entre 2200 a 2500 mm [14].

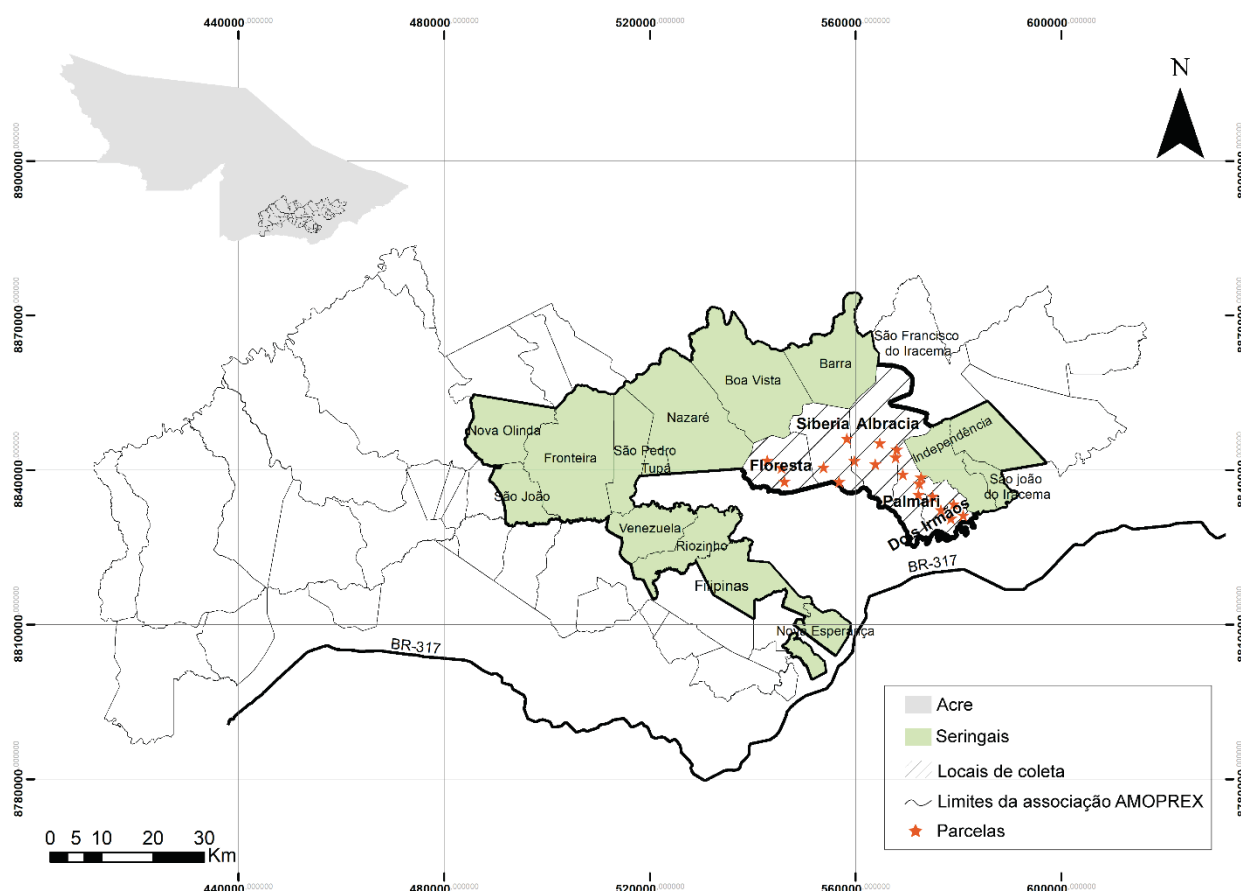


Figura 1 – Localização da Resex Chico Mendes, no sudoeste da região amazônica. As estrelas indicam com precisão as localizações das parcelas onde ocorreram as coletas.

Coleta de dados

Em 2011, foi realizado um inventário florestal 100% antes do início das operações de manejo nas 53 unidades de trabalho (UTs), que formavam a unidade de produção anual a ser explorada. Durante esse levantamento, todas as árvores com diâmetro à

altura do peito (DAP) (1,30 m) $\geq$ a 35 cm tiveram o diâmetro e a altura mensurados. A escolha de 35 cm como critério mínimo para medição foi baseada na necessidade de focar em árvores de maior porte, que possuem maior impacto no estoque de carbono e na dinâmica florestal. Além disso, as árvores foram

avaliadas quanto à qualidade do fuste e estado (viva, caída, quebrada, oca ou morta) e foram identificadas botanicamente. Salienta-se que a exploração ocorreu após o ano de 2015.

Em 2013, foram instaladas 20 parcelas permanentes, com dimensões de 130 m x 20 m (2.600 m² ou 0,26 ha distribuídas em 20 UTs. Nessas parcelas todas as árvores com DAP (1,30 m) ≥ a 5 cm foram catalogadas e identificadas individualmente com plaquetas numeradas. A altura total das árvores foi mensurada com um clinômetro Suunto, usado também para mensurar a altura comercial, definida como a distância da altura do fuste até a primeira ramificação. Todos os indivíduos mensurados foram identificados botanicamente. Em 2015, as 20 parcelas permanentes foram remedidas usando o mesmo procedimento adotado em 2013. As árvores recrutadas foram marcadas e feita a identificação botânica e a mortalidade foi contabilizada. Para todas as áreas monitoradas, foram calculados parâmetros relacionados à dinâmica, ao acúmulo de biomassa e carbono, além dos parâmetros fitossociológicos.

Cálculo da dinâmica florestal

Com base nos dados dos inventários realizados em 2013 e 2015, foram obtidas a área basal (*gi*) pelo somatório das áreas seccionais, e o volume (considerando um fator de forma de 0,7) de cada parcela anualmente [15].

$$gi = \frac{\pi \cdot DAP^2}{40000}$$

Onde: *gi* representa a área seccional individual da árvore em metros quadrados (m²), π é a constante matemática, e DAP corresponde ao diâmetro à altura do peito da árvore (cm). O divisor 40000 é o fator de conversão.

Os aspectos da dinâmica florestal investigados incluíram a taxa de recrutamento, mortalidade e incremento periódico anual (IPA), conforme descrito nas equações, taxa de perda anual (TPA), taxa de ganho anual (TGA), número inicial de árvores (TMA), taxa de recrutamento anual (TRA) e incremento periódico anual (IPA) [15][16].

$$TPA (\% \text{ ano}^{-1}) = \{1 - [(AB_0(AB_m + AB_d))/AB_0^{1/t}]\} * 100$$

Onde: TPA = taxa de perda anual; AB_0 = área basal inicial da área; AB_m = área basal perdida por morte das árvores; AB_d = Área basal perdida por decaimento (apodrecimento ou perda parcial do fuste); *t* = intervalo de tempo entre os inventários.

$$TGA (\% \text{ ano}^{-1}) = \{1 - [1 - (AB_r + AB_l)/AB_0^{1/t}]\} * 100$$

Onde: TGA = taxa de ganho anual; AB_r = área basal ganha pelas árvores recrutadas; AB_m = área basal ganha devido ao incremento (crescimento arbóreo); AB_l = área basal final após o tempo *t*; *t* = Intervalo de tempo entre os inventários.

$$TMA (\% \text{ ano}^{-1}) = \{1 - [(N_0 - m)/N_0^{1/t}]\} * 100$$

Onde: TMA = número inicial de árvores; *m* = número de árvores mortas; *t* = intervalo de tempo entre os inventários.

$$TRA (\% \text{ ano}^{-1}) = [1 - (1 - r/N_0^{1/t})] * 100$$

Onde: TRA = taxa de recrutamento anual; N_0 = número inicial de árvores; *m* = número de árvores mortas; *t* = intervalo de tempo entre os inventários. Onde: *r* = número de árvores recrutadas; N_t = número final de árvores após o tempo *t*; *t* = Intervalo de tempo entre os inventários.

$$IPA (\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}) = \frac{v_{t+n} - v_t}{n}$$

Onde: IPA = incremento periódico anual; v_{t+n} = volume na idade *t*+*n*, em m³; v_t = volume na idade *t*, em m³; *t* = idade, em anos; *n* = período de tempo, em anos.

Estimativa de biomassa e carbono

Para estimar a biomassa florestal acima do solo, foi usada a equação pantropical proposta por [8], desenvolvida para uma variação diamétrica de 5 a 212 cm. A densidade básica da madeira de cada espécie foi obtida com base em consulta a bases de dados especializadas [e.g. 17].

$$AGB = 0,0559 \cdot (\rho \cdot dap^2 \cdot H)$$

Onde AGB = biomassa acima do solo, em Kg; ρ = densidade básica da madeira, em g cm⁻³; *dap* = diâmetro a altura do peito, em cm; *H* = altura total da árvore, em m.

O estoque de carbono foi calculado multiplicando-se a biomassa pelo teor de carbono. Os valores de teor de carbono utilizados foram os obtidos por Mendes et al. [18] para as espécies com maior valor de importância nas parcelas permanentes consideradas neste estudo. Para as espécies sem dados de teor de carbono, foi adotado

um valor médio baseado nos dados disponíveis para as espécies estudadas por Mendes et al. [18]. Uma análise temporal da oscilação do estoque de carbono em cada área foi realizada, comparando a biomassa aérea nas parcelas com o estoque de carbono ao longo dos anos.

Resultados e Discussão

Levantamento fitossociológico

No inventário florestal de 2011 foram amostrados 20.997 indivíduos de 98 espécies, com 486 não identificados botanicamente. A área basal total foi de 7.996,90 m², com uma média de 150,88 m² por unidade de trabalho. Das 53 UTs, 7.885,7 m² corresponderam a indivíduos vivos e 111,2 m² a indivíduos mortos, caídos ou quebrados. O delineamento experimental, baseado nessas UTs, visou comparar as condições iniciais das áreas manejadas e avaliar as modificações ao longo do tempo após a implementação das práticas de manejo. Foram considerados exploráveis 8.440 indivíduos (40,7% das árvores vivas), dos quais 2.147 foram selecionados para corte, representando 15% da área basal total. As seis espécies mais exploradas que compõem cerca de 50% da área basal explorada foram *Apuleia leiocarpa* (15,1%), *Dypterix odorata* (11,4%), *Brosimum acutifolium* (8,2%), *Couratari guianensis* (6,7%), *Enterolobium schomburgkii* (5,5%), e *Hymenaea oblongifolia* (5,2%). Indivíduos não exploráveis foram classificados como inaptos para corte, quando presente em áreas de APP (1.985 Ind), porta-sementes (1.647 Ind) ou remanescentes (2.661 Ind).

Nas parcelas permanentes, a medição de 2013 registrou 1.862 indivíduos (358 Ind ha⁻¹) e uma área basal de 21,70 m² ha⁻¹ distribuídos em 218 espécies. Em 2015, a área basal aumentou para 22,7 m² ha⁻¹, com áreas basais de 3,54 m² para indivíduos mortos e 1,33 m² para indivíduos decaídos. Leite [19] encontrou uma densidade 9,6% (324 Ind ha⁻¹) menor e uma diversidade de espécies 15,9% maior em comparação com este estudo, esse resultado pode ser associado a diferenças metodológicas, pois foram considerados indivíduos com diâmetro ≥ 10 cm, enquanto este estudo incluiu apenas indivíduos com diâmetro ≥ 5 cm. O estudo identificou as espécies mais abundantes como *Tetragastris altissima* (198 Ind), *Pseudolmedia laevis* (120 Ind), *Rinoreaocarpus ulei* (58 Ind), *Brosimum guianense* (54 Ind),

Quararibea guianensis (52 Ind), *Metrodorea flavida* (38 Ind), *Caryodendron amazonicum* (36 Ind), *Clarisia racemosa* (31 Ind), *Aspidosperma vargasii* (29 Ind) e *Licania sp.* (29 Ind).

A Moraceae (323 Ind), Burseraceae (200 Ind), Fabaceae (167 Ind) e Malvaceae (153 Ind) foram as famílias com maior número de indivíduos. O índice de valor de importância (VI) mostrou que *Tetragastris altissima*, *Pseudolmedia laevis*, *Bertholletia excelsa*, e *Brosimum guianense* tiveram os maiores valores de VI, respectivamente 7,02; 4,40; 3,26 e 2,44. O valor de importância indica a relevância de uma espécie em uma determinada comunidade florestal, considerando a densidade, dominância e frequência relativa [20]. Cavalheiro et al. [21] observaram a estrutura horizontal de uma floresta em Rondônia e identificaram um VI máximo de 13,37%, o que pode ser um valor indicativo de equilíbrio interespecífico. No presente estudo, o valor máximo de VI foi de 7,02%.

Espécies como *B. excelsa* apresentaram alta área basal apesar de baixa densidade. Em 2013, essa espécie teve a menor densidade de indivíduos (13 Ind ha⁻¹), porém, devido ao seu elevado DAP, alcançou uma área basal de 8,99 m², justificando seu alto valor de VI. Muitas espécies com baixo VI não são exploradas comercialmente ou possuem menor diâmetro, o que afeta sua viabilidade econômica. Algumas espécies com alto VI, como *Rinoreaocarpus ulei* (1,77) e *Quararibea guianensis* (1,63), não são exploradas no Acre, mas poderiam ser avaliadas para inclusão no comércio local [20].

Estudos sugerem que o valor de importância está correlacionado ao estoque de carbono, com espécies de alto VI frequentemente contribuindo significativamente para a fixação de carbono. Isso é corroborado por pesquisas que mostram que espécies com alto VI também tendem a ter maior contribuição para o estoque de carbono, influenciadas pelo número de indivíduos, volume e densidade da madeira [22].

Biomassa acima do solo e estoque de carbono

A biomassa acima do solo foi avaliada nos anos de 2013 e 2015, totalizando 1.107.264 Mg e apresentando um aumento de 3,39% em 2015. As médias por UT foram de 55.363 Mg em 2013 e 57.245 Mg em 2015. No inventário de 2011, a

biomassa totalizou 48.609.066 Mg, com uma média de 917,152 Mg por UT, valor superior aos anos posteriores, atribuída à maior área inventariada e ao maior número de indivíduos, especialmente em classes diamétricas mais elevadas.

Estimar a biomassa acima do solo é complexo, especialmente na região amazônica, devido à falta de uma recomendação universal para equações alométricas. Nesse contexto, Chave et al. [8] destacam a importância de selecionar equações que considerem variáveis como diâmetro da árvore, altura total e densidade da madeira para aumentar a precisão das estimativas.

A equação pantropical utilizada neste estudo, proposta por Chave et al. [8] e desenvolvida para

árvores com diâmetros de 5-212 cm, considera essas variáveis na estimativa de biomassa. Ao analisar o estoque de biomassa por família, aproximadamente 80,7% e 80,3% da biomassa total acima do solo em 2013 e 2015, respectivamente, foram contribuídos pelas dez principais famílias. As famílias Fabaceae e Moraceae se destacam como as mais representativas, seguidas por Lecythidaceae e Burseraceae. Dessa forma, nota-se que essas quatro famílias acumulam a maior parte da biomassa, com variações mínimas entre os anos, indicando estabilidade na composição e no armazenamento de biomassa. Por outro lado, famílias como Chrysobalanaceae e Euphorbiaceae apresentam contribuições menores e pouco expressivas no total de biomassa (Figura 2).

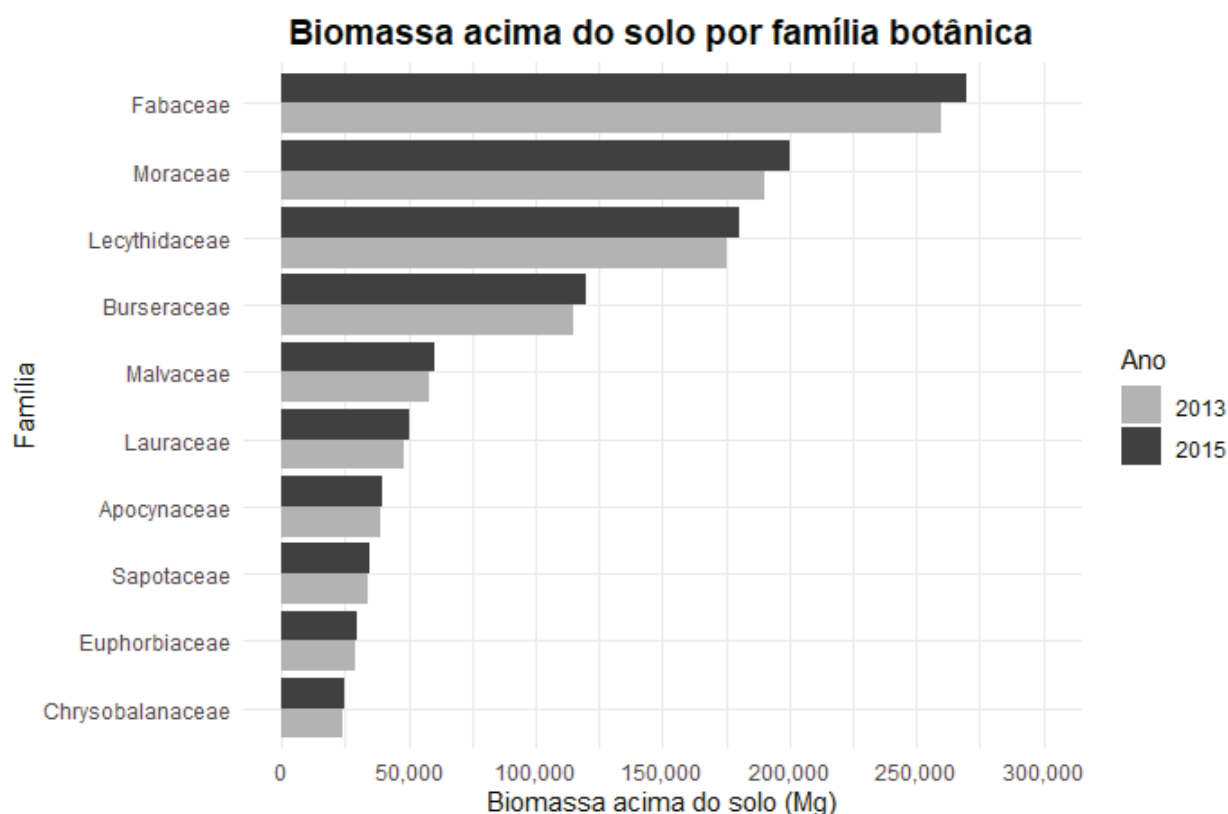


Figura 2 – Biomassa acima do solo das dez principais famílias botânicas nos anos de 2013 e 2015.

Os modelos alométricos pantropicais podem subestimar a biomassa acima do solo (AGB) em árvores de grande porte, com fustes curtos e copas amplas. Nesses casos, foi detectada uma discrepância

superior a 30 Mg para árvores individuais, com uma subestimação média de 20% para as maiores árvores, enquanto esse viés desaparece em indivíduos com AGB entre 10 e 30 Mg. [13] ao adotarem os modelos

desenvolvidos por Chave et al. [8] e Feldpausch [26], observou-se que as equações sem a variável altura tendem a superestimar levemente a AGB, enquanto os modelos que incluem altura resultam em subestimações mais acentuadas.

Esses achados sugerem que a consideração isolada da altura ou do diâmetro pode ser insuficiente para capturar toda a variação alométrica entre diferentes regiões e tipos florestais. No sudoeste da Amazônia, por exemplo, as árvores apresentam copas relativamente grandes, o que pode compensar sua menor altura, ressaltando a importância de incluir variáveis relacionadas à estrutura da copa na modelagem da biomassa [13].

Esse desvio pode ser atribuído, possivelmente, à estrutura da equação, que utiliza predominantemente o DAP como variável explicativa. Apesar de sua simplicidade, a aplicação isolada dessa variável campo pode não capturar todas as nuances necessárias para estimativas mais precisas, como destacado pelos autores. No entanto, a incorporação de variáveis adicionais, como a densidade básica da madeira, contribui significativamente para aumentar a acurácia das estimativas.

Em uma floresta semelhante à do presente estudo, localizada em Feijó, Acre, observou-se uma alta contribuição das famílias Moraceae e Fabaceae no estoque de biomassa acima do solo [24]. Das dez famílias com maior contribuição no acúmulo de biomassa, todas, exceto Chrysobalanaceae e Lecythidaceae, têm os maiores números de indivíduos. Apesar de terem menos indivíduos, Chrysobalanaceae e Lecythidaceae contribuem significativamente devido aos seus indivíduos terem diâmetros iniciais maiores e classes diamétricas mais elevadas.

As dez espécies com maior acúmulo de biomassa acima do solo representaram cerca de 45% da biomassa total em 2013 e 44,5% em 2015, mostrando uma redução na contribuição relativa dessas espécies ao longo do período. Dentre elas, destacam-se *B. excelsa* e *T. altissima*, que destacam os maiores valores de biomassa acumulada. A *B. excelsa*, em especial, sobressai com um acúmulo muito superior ao das demais espécies, reforçando seu papel dominante na estrutura da floresta (Figura 3).

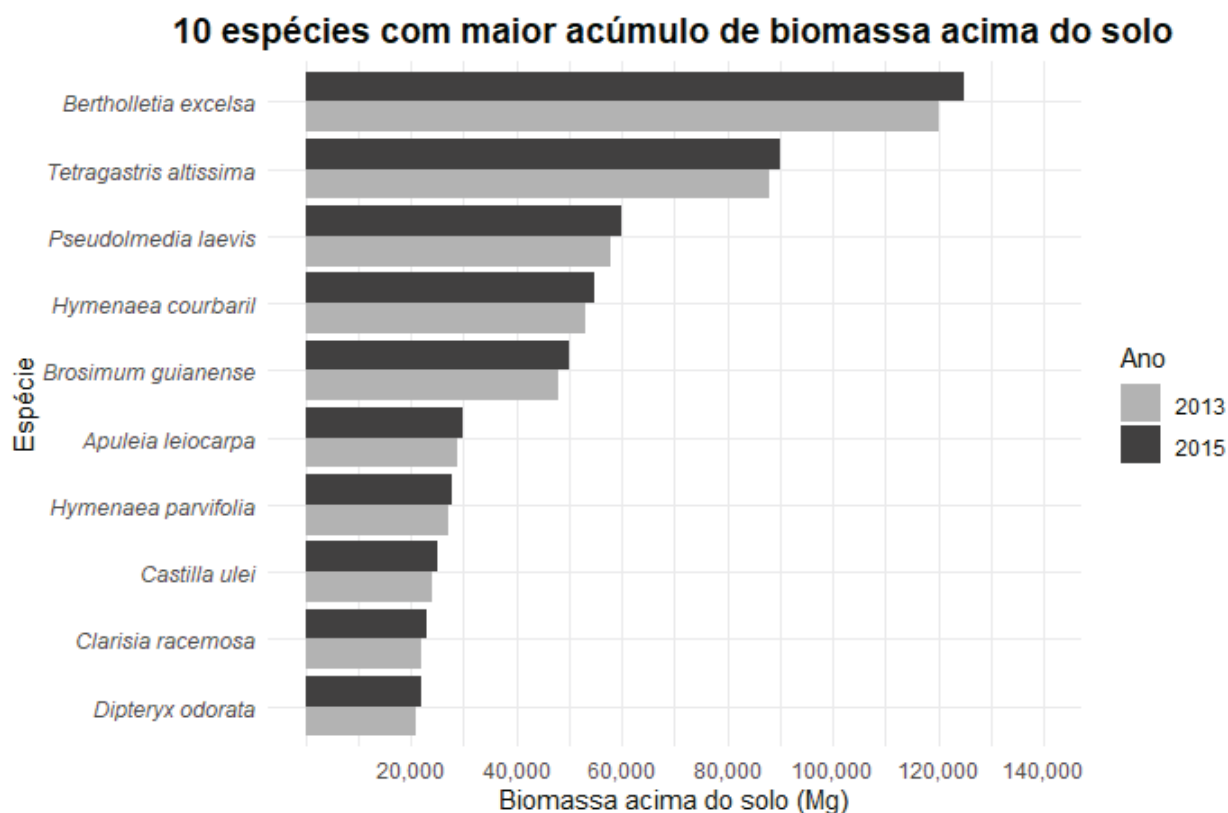


Figura 3 – Comparação do estoque de biomassa acima do solo das 10 espécies nos anos de 2013 e 2015.

Nota-se que, entre essas espécies, apenas quatro (*T. altissima*, *P. laevis*, *B. guianensis* e *C. racemosa*) estão entre as dez espécies com maior número de indivíduos observados na área. A elevada contribuição das demais espécies para o acúmulo de biomassa acima do solo pode ser explicada pela maior concentração de indivíduos com diâmetro mais elevado e, conseqüentemente, maior volume.

Outro aspecto relevante a ser destacado é que todas as espécies são exploradas comercialmente no estado do Acre (Figura 2), devido à sua elevada volumetria e densidade da madeira adequada. Contudo, a extração intensiva dessas espécies no interior florestal pode causar alterações drásticas na estrutura e biomassa florestal e, conseqüentemente, na dinâmica do carbono [25]. Ademais, a espécie *Bertholletia excelsa* apresentou o maior acúmulo de biomassa em ambos os anos (Figura 3). Esse crescimento pode estar relacionado a fatores ambientais favoráveis, políticas de conservação, ou simplesmente ao crescimento natural dessas árvores ao longo do período analisado.

D'Oliveira [26], ao analisar o estoque de biomassa em uma floresta manejada na Amazônia Ocidental, observaram que, imediatamente após a exploração, ocorre uma diminuição na biomassa devido à remoção dos indivíduos explorados. No

entanto, nos três anos seguintes, há uma recuperação da biomassa, impulsionada pelo recrutamento de novos indivíduos e pelo crescimento dos remanescentes.

O estoque de carbono aumentou entre 2013 e 2015, com um incremento de 17,99 Mg C (3,39%). Em 2013, a quantidade de carbono fixado por hectare era de 101,91 Mg ha⁻¹, enquanto em 2015 esse valor foi de 105,37 Mg ha⁻¹. Os valores de estoque de carbono (Mg ha⁻¹) encontrados neste estudo para os anos de 2013 e 2015 foram, respectivamente, 61,1% e 59,7% inferiores aos observados por [27] em outra floresta manejada no leste do estado do Acre. Por outro lado, [28], ao analisar o estoque de carbono na Floresta Estadual do Antimary, registrou um estoque de 312,61 Mg ha⁻¹, cerca de três vezes superior aos valores encontrados no presente estudo.

De acordo com Bessa [29], a composição florística também influencia no estoque de carbono, com florestas não degradadas tendo um estoque mais estável devido ao seu estágio sucessional avançado. Dentre as famílias com maior contribuição, destacam-se as famílias Fabaceae (22,93 Mg ha⁻¹ em 2013 e 23,48 Mg ha⁻¹ em 2015), Moraceae (17,94 Mg ha⁻¹ em 2013 e 18,64 Mg ha⁻¹ em 2015), Lecythidaceae (14,42 Mg ha⁻¹ em 2013 e 14,57 Mg ha⁻¹ em 2015) e Burseraceae (8,06 Mg ha⁻¹ em 2013 e 8,26 Mg ha⁻¹ em 2015; Figura 4).

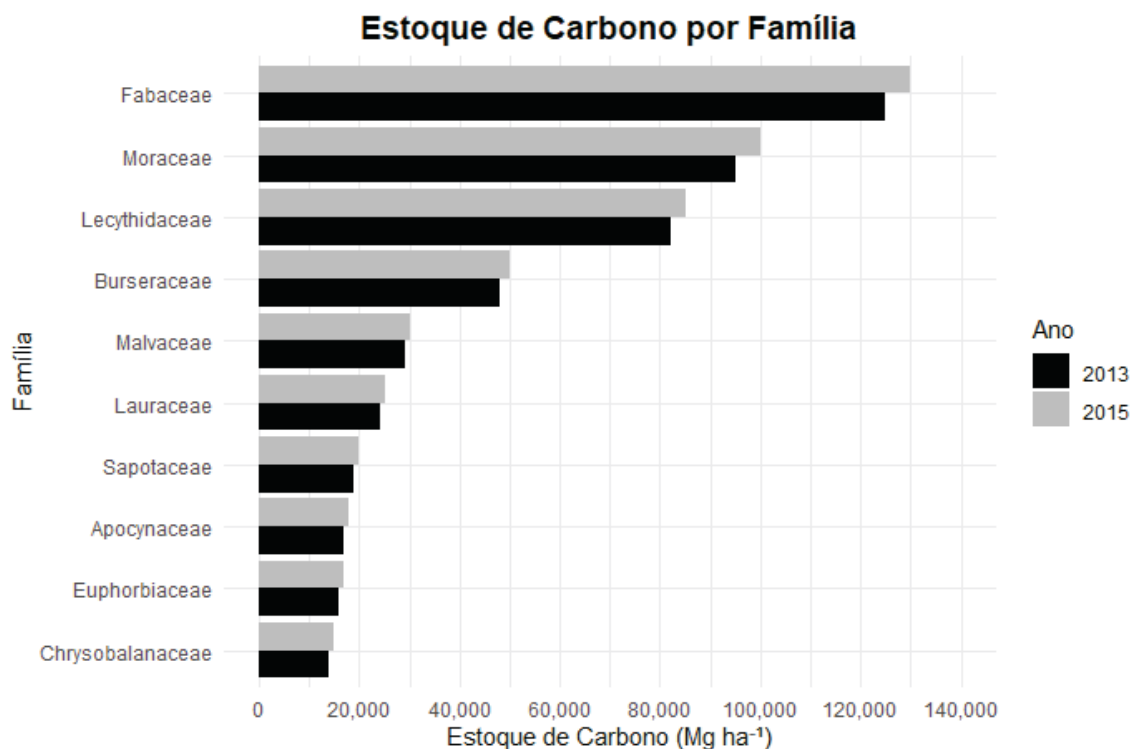


Figura 4 – Comparação do estoque de carbono das dez famílias nos anos de 2013 e 2015.

Em relação à contribuição das famílias para o estoque de carbono, as dez famílias com maior representatividade responderam por 80,8% em 2013 e 80,4% em 2015. Dentre essas famílias, destacam-se as seguintes: Fabaceae (22,93 Mg ha⁻¹ em 2013 e 23,48 Mg ha⁻¹ em 2015), Moraceae (17,94 Mg ha⁻¹ em 2013 e 18,64 Mg ha⁻¹ em 2015), Lecythidaceae (14,42 Mg ha⁻¹ em 2013 e 14,57 Mg ha⁻¹ em 2015) e Burseraceae (Figura 4) (8,06 Mg ha⁻¹ em 2013 e 8,26 Mg ha⁻¹ em 2015). Isso pode estar relacionado ao crescimento das árvores, maior densidade de espécies dessas famílias ou sucessão ecológica positiva ao longo do período.

Silva et al. [30], ao analisarem o estoque de carbono de uma área de floresta na Amazônia Central,

observaram que as famílias Fabaceae, Sapotaceae, Lecythidaceae, Burseraceae e Chrysobalanaceae apresentaram a maior contribuição, ressalta-se que todas essas famílias também apresentaram elevadas contribuição para a fixação de carbono na floresta observada no presente estudo.

Quando considerada a fixação de carbono por espécie, nos anos de 2013 e 2015, as dez espécies com maior destaque contribuíram com 45,1 e 44,6%, respectivamente. Destacam-se as espécies *B. excelsa* e *T. altissima* que apresentaram a maior fixação de carbono dentre as espécies registradas na área (Figura 5). A *B. excelsa* é uma árvore de grande porte e sua biomassa significativa permite que acumule grandes quantidades de carbono ao longo do tempo.

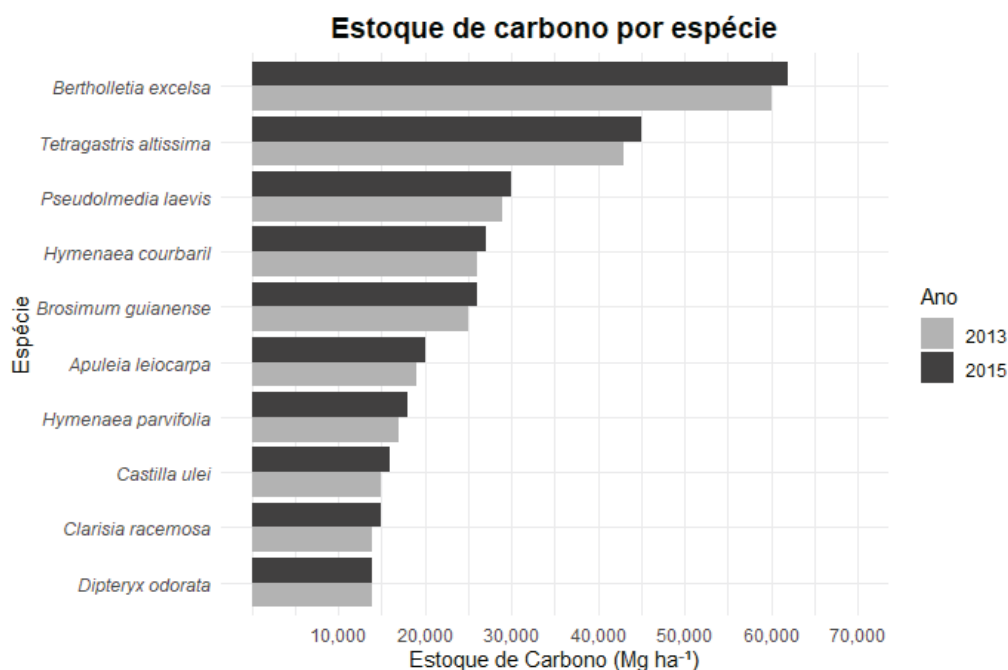


Figura 5 – Comparação do estoque de carbono das dez espécies nos anos de 2013 e 2015.

As dez espécies que mais contribuíram para a fixação de carbono também foram as que apresentaram maior acúmulo de biomassa. Todas essas espécies são valorizadas no mercado madeireiro, inclusive *B. excelsa*, cujo corte é proibido por lei, mas ainda é amplamente comercializada de forma ilegal.

Romero et al. [25] justificam que espécies comercializadas tendem a apresentar maior densidade da madeira e maior diâmetro, ambas as variáveis influenciam na fixação de carbono, sendo assim, tais espécies tendem a contribuir significativamente para

o estoque de carbono. Os mesmos autores relatam que a confecção de produtos sólidos a partir de tais espécies possibilita estocar o carbono por um longo período de tempo, contudo, a extração desenfreada de tais indivíduos possui potencial para agravar mudanças climáticas.

Bessa [29] sugere que o manejo florestal sustentável e a criação de unidades de conservação são estratégias viáveis para conciliar a exploração de espécies comerciais, garantindo sua perpetuação na comunidade florestal e preservando sua

contribuição para o estoque de carbono local. Araújo et al. [1] salientam a necessidade de conhecer o funcionamento do estoque e dinâmica do carbono em áreas da região Amazônia, visto que se trata do bioma de maior biodiversidade do mundo, exposto a intensa pressão antrópica, além disso os autores relatam que os estudos sobre o estoque de carbono na Amazônia se concentram em dois estados da região norte, Amazonas e Pará, porém a ciclagem do carbono pode ter peculiaridades dentro do mesmo bioma.

Dinâmica florestal

Com relação à dinâmica florestal, a taxa de recrutamento não pôde ser determinada, pois no inventário de 2015 não foram identificados novos indivíduos; apenas os previamente registrados foram remediados. Os valores das taxas de mortalidade, ganho e perda anual, e o incremento periódico anual estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros da dinâmica florestal, incluindo taxas de mortalidade, taxa de ganho e perda de anual, além do incremento periódico anual ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$). Esses valores refletem o balanço entre crescimento e mortalidade na área estudada.

Parâmetros	
Taxa de recrutamento	-
Taxa de mortalidade (% ano^{-1})	0,727
Taxa de ganho anual (% ano^{-1})	2,232
Taxa de perda anual (% ano^{-1})	3,225
Incremento periódico anual ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)	5,820

Em trabalho realizado em uma floresta manejada situada na Amazônia Central, Souza et al. [33] relatam que a taxa de mortalidade foi superior a taxa de recrutamento somente no intervalo de tempo posterior a exploração (três anos após a exploração), sendo que conforme o tempo decorreu houve uma redução na taxa de mortalidade e um aumento na taxa de recrutamento. A taxa de mortalidade observada nesse estudo foi inferior à observada pelos autores.

Ao analisarem uma floresta manejada na região sul do Brasil, Likoski et al. [16] encontraram uma taxa de mortalidade de 2,2% ao ano, sendo este valor 1,47% superior ao observado nesse estudo. Os autores também observaram taxas de ganho superiores às de perda na floresta analisada, diferentemente deste trabalho, onde a taxa de perda foi 0,99% superior à de ganho, contudo é válido ressaltar que nesse trabalho os dados do inventário de 2013 foram coletados dois anos após a exploração, em contrapartida, os dos autores foram

coletados passado um período de tempo maior após a exploração, o que pode explicar o fato da taxa de ganho ser superior à taxa de perda.

Natividade et al. [32] informam que árvores em áreas manejadas sob práticas de impacto reduzido tendem a ter o crescimento acelerado em comparação com árvores que estão em áreas sem intervenção, uma vez que os tratamentos silviculturais pós-manejo e as condições de luminosidade tendem a favorecer o crescimento arbóreo.

Conclusão

O presente estudo revelou informações fundamentais sobre a dinâmica florestal, biomassa, e o estoque de carbono em uma área manejada na região do Acre. O inventário florestal realizado em 2011 amostrou 20.997 indivíduos de 98 espécies, com uma área basal total de 7.996,90 m^2 . Desses, 8.440 indivíduos (40,7%) foram considerados exploráveis, com 2.147 árvores selecionadas para

corte, representando 15% da área basal. Esses dados são fundamentais para entender o impacto do manejo florestal e as modificações ao longo do tempo nas áreas manejadas.

A biomassa acima do solo, medida nos anos de 2013 e 2015, apresentou um crescimento de 3,39%, evidenciando uma continuidade no aumento da biomassa e refletindo um incremento no estoque de carbono. O aumento foi de 17,99 Mg C (3,39%), embora ainda abaixo dos valores encontrados em outros estudos na região, o que sugere que há oportunidades de otimização no manejo para alcançar maiores índices de captura de carbono.

A dinâmica florestal revelou algumas taxas importantes, como uma taxa de mortalidade de 0,727% ao ano, uma taxa de ganho anual de 2,232%, e uma taxa de perda anual de 3,225%. O incremento periódico anual foi de 5,820 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, o que indica que, apesar da mortalidade das árvores e das perdas associadas à exploração madeireira, a floresta ainda mantém um crescimento positivo, mas com desafios significativos em termos de regeneração e conservação das espécies.

Espécies como a *Bertholletia excelsa* (castanheira), de alto valor comercial, têm uma contribuição significativa para o estoque de carbono, sendo essencial a sua preservação para o equilíbrio ecológico da floresta. No entanto, o corte ilegal dessas espécies continua sendo uma ameaça, o que destaca a necessidade urgente de práticas de manejo florestal sustentável.

O cenário apresentado neste estudo evidencia a necessidade urgente de aprimorar metodologias padronizadas para o monitoramento do carbono florestal. A consistência na avaliação dos estoques de carbono é fundamental para garantir que as florestas desempenhem seu papel crucial como sumidouros de carbono, essenciais para mitigar os efeitos das mudanças climáticas. A adoção de metodologias uniformes pode permitir uma melhor comparação entre diferentes áreas, aumentando a confiabilidade das estimativas de carbono e oferecendo uma base sólida para o desenvolvimento de políticas ambientais.

Referências

1. Araújo ECG, Sanquetta CR, Corte APD, Pelissari AL, Orso GA, Silva TC. Global review and state-of-the-art of biomass and carbon stock in the Amazon. *J Environ Manag.* 2023; 331: 117251. doi:10.1016/j.jenvman.2023.117251
2. Smith CC, Espírito-Santo FDB, Healey JR, Young PJ, Lennox GD, Ferreira J et al. Secondary forests offset less than 10% of deforestation-mediated carbon emissions in the Brazilian Amazon. *Glob Change Biol.* 2020; 26: 7006-7020. doi:10.1111/gcb.15352
3. Heinrich VHA, Dalagnol R, Cassol HLG, Rosan TM, Almeida CT, Silva Júnior CHL et al. Large carbon sink potential of secondary forests in the Brazilian Amazon to mitigate climate change. *Nat Commun.* 2021; 12: 1785. doi:10.1038/s41467-021-22050-1
4. Mu Y, Jones C. An observational analysis of precipitation and deforestation age in the Brazilian Legal Amazon. *Atmos Res.* 2022; 271: 106122. doi:10.1016/j.atmosres.2022.106122
5. Gatti LV, Basso LS, Miller JB, Gloor M, Domingues LG, Cassol HLG et al. Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. *Nature.* 2021; 595: 388-393. doi:10.1038/s41586-021-03629-6
6. Jacob LL, Prudente BS, Montag LFA, Silva RR. The effect of different logging regimes on the ecomorphological structure of stream fish assemblages in the Brazilian Amazon. *Hydrobiologia.* 2021; 848: 1027-1039. doi:10.1007/s10750-020-04508-3
7. Souza CR, Azevedo CP, Ross LMB, Santos J, Higuchi N. Estoque e dinâmica de carbono em floresta manejada na Amazônia Central. *Sci For.* 2018; 46(119): 427-436. doi:10.18671/scifor.v46n119.10
8. Chave J, Réjou-Méchain M, Búrquez A, Chidumayo E, Colgan MS, Delitti WBC et al. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Glob Change Biol.* 2014; 20: 3177-3190. doi:10.1111/gcb.12629
9. Baker TR, Phillips OL, Malhi Y, Almeida S, Arroyo L, Di Fiore A et al. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass: wood specific gravity and Amazonian biomass estimates. *Glob Change Biol.* 2004; 10: 545-562. doi:10.1111/j.1365-2486.2004.00751.x
10. Romero FMB, Jacovine LAG, Torres CMME, Ribeiro SC, da Rocha SJSS, Novais T et al. Aboveground biomass allometric models for large trees in southwestern Amazonia. *Trees, Forests and People.* 2022; 9: 100317. doi:10.1016/j.tfp.2022.100317

11. Melo L, Lima AJN, d'Oliveira MVN, Santos J, Brown IF, Amaral EF et al. To improve estimates of neotropical forest carbon stocks, more direct measurements are needed: An example from the Southwestern Amazon. *For Ecol Manag.* 2024; 570: 122195. doi:10.1016/j.foreco.2024.122195
12. Cummings DL, Kauffman JB, Perry DA, Hughes RF. Aboveground biomass and structure of rainforests in the southwestern Brazilian Amazon. *For Ecol Manag.* 2002; 163: 293-307. doi:10.1016/S0378-1127(01)00587-4
13. Nogueira EM, Fearnside PM, Nelson BW, Barbosa RI, Keizer EWH. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: new allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. *For Ecol Manag.* 2008; 256: 1853-1867. doi:10.1016/j.foreco.2008.07.022
14. Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, de Moraes G, Sparovek G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol Zeitschrift.* 2013; 22: 711-728. doi:10.1127/0941-2948/2013/0507
15. Campos JCC, Leite HG. Mensuração florestal: perguntas e respostas. Viçosa: UFV; 2017
16. Likoski JK, Vibrans AC, Silva DA. Recruitment exceeds mortality in subtropical secondary forest after conventional selective logging. *Ciência Florestal.* 2022; 32(1): 333-350. doi:10.5902/1980509855265
17. Zanne AE, Lopez-Gonzalez G, Coomes DA, Ilic J, Jansen S, Lewis SL et al. Global wood density database [base de dados online]. Dryad. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10255/dryad>. doi:10.5061/dryad.234
18. Mendes SGB, Borges NSM, Ribeiro SC. Estoque de carbono como subsídio para a avaliação do impacto do manejo florestal na Resex Chico Mendes. In: Anais do I Congresso Regional de Pesquisa do Estado do Acre e XXIV Seminário de Iniciação Científica da UFAC; 2015.
19. Leite CCC. Classificação ecológica de espécies arbóreas como subsídio para o manejo florestal comunitário na Reserva Extrativista Chico Mendes, Acre [monografia]. Rio Branco: Universidade Federal do Acre; 2015.
20. Pinheiro KAO, Ruschel AR, Carneiro FS, Frazão AS, Souza MFS, D'arace LMB et al. Potencial de espécies comerciais analisado pelo índice de valor de importância em área de exploração de impacto reduzido. *Res Soc Dev.* 2021; 10(2): e16610212292. doi:10.33448/rsd-v10i2.12292
21. Cavalheiro WCS, Scoti MSV, Vendrusculo J, Evaristo AP, Brito Junior JF, Bento AR et al. Caracterização da Floresta Ombrófila aberta submontana na REBIO Guaporé, Amazônia Ocidental, Brasil. *Nature and Conservation.* 2021; 14(3): 175-184. doi:10.6008/CBPC2318-2881.2021.003.0015
22. Torres CMME, Jacovine LAG, Oliveira Neto SN, Souza AL, Campos RA, Schettini BLS. Análise fitossociológica e valor de importância em carbono para uma floresta estacional semidecidual. *Floresta e Ambiente.* 2017; 24: e00099714. doi:10.1590/2179-8087.099714
23. Feldpausch TR, Lloyd J, Lewis SL, Brien RJW, Gloor M, Monteagudo Mendoza A et al. Tree height integrated into pantropical forest biomass estimates. *Biogeosciences.* 2012; 9: 3381-3403. doi:10.5194/bg-9-3381-2012
24. D'Oliveira MVN, Melo, AWF, Amaral, EF, Haverroth, M. Mapa de Biomassa Seca acima do Solo da Terra Indígena Kaxinawá Nova Olinda, Município de Feijó, Estado do Acre. Documentos 163. Rio Branco: Embrapa. 2020b. 44p.
25. Romero FMB, Novais TNO, Jacovine LAG, Ferreira Neto JA, Ribeiro SC, Morais ILL, Silva JA. Quantificação da biomassa e estoque de carbono em áreas sob manejo sustentável no Estado do Acre. In: Oliveira RJ (ed.). Engenharia florestal: desafios, limites e potencialidade. Guarujá: Editora Científica; 2020. doi:10.37885/978-65-87196-43-5
26. D'Oliveira MVN, Oliveira LC, Acuña MHA, Bráz EM. Twenty years monitoring growth dynamics of a logged tropical forest in Western Amazon. *Pesq Florest Bras.* 2017; 37(92): 491-500. doi:10.4336/2017.pfb.37.92.1398
27. D'Oliveira MVN, Broadbent EN, Oliveira LC, Almeida DRA, Papa DA, Ferreira M et al. Aboveground biomass estimation in Amazonian tropical forests: a comparison of aircraft- and GatorEye UAV-borne LiDAR data in the Chico Mendes Extractive Reserve in Acre, Brazil. *Remote Sens.* 2020; 12: 1754. doi:10.3390/rs12111754
28. Lima LCC. Estoque de biomassa e carbono em uma área manejada na Floresta Estadual do Antimary [monografia]. Rio Branco: Universidade Federal do Paraná; 2013.
29. Bessa DM. Ciclo do carbono na floresta amazônica: percepções ambientais de moradores da Reserva Extrativista do Baixo Juruá, Amazônia Ocidental, Brasil [dissertação]. Manaus: Universidade Federal do Amazonas; 2019.
30. Silva KE, Souza CR, Azevedo CP, Rossi LMB. Dinâmica florestal, estoque de carbono e fitossociologia de uma floresta densa de terra-firme na Amazônia Central. *Sci For.* 2015; 43(105): 193-201.
31. Souza MA, Azevedo CP, Souza CR, França M, Vasconcelos Neto EL. Dinâmica e produção de uma floresta sob regime de manejo sustentável na Amazônia central. *Floresta* 2017; 47(1): 55-63.

32. Natividade MM, Sampaio JS, Pereira WS, Sousa IRL, Cardoso Júnior CD, Carvalho CSS, Melo LO. Estrutura e dinâmica florestal, antes e após extração de madeira, em área de manejo florestal na FLONA do Tapajós. *Agroecossistemas*. 2018; 10(2): 113-124.

Biodiversidade Brasileira

Fluxo Contínuo e Edição Temática:

Ciências Ambientais na Amazônia Sul Ocidental
n.3, 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

