

Estoque de carbono acima do solo em ecossistema sucessional na Amazônia: existe influência dos elementos do clima?

Aboveground carbon stock in a successional ecosystem in the Amazon: is there an influence of climatic elements?

Angela Batista Guimarães¹  • Julia Isabella de Matos Rodrigues¹  • Marcos Alexandre Vieira Nascimento Filho¹ 
• José Rozendo de Lima Silva¹  • Ricardo Christin Lobato Machado¹  • Francisco de Assis Oliveira¹ 
• Walmer Bruno Rocha Martins² 

Recibido: 28/11/2025

Aceptado: 18/5/2026

Abstract

The conversion of forests is a global concern for climate security due to the carbon storage capacity of these ecosystems. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effects of climate elements on aboveground carbon stock in a secondary forest in the Eastern Amazon. In 2019 and 2023, litterfall was collected during periods of higher and lower precipitation each year, and individuals with diameter at breast height (DBH) ≥ 4.77 cm were inventoried. Carbon estimates were obtained by multiplying biomass by a factor of 0.5 in the case of litterfall, and through the Pantropical equation for aboveground biomass. Pearson's correlation was used to assess relationships between carbon stock in litterfall and aboveground biomass with climate variables, which were obtained from a meteorological station near the study area. Litterfall carbon stock showed slightly positive relationships with air temperature ($r = 0.05$), solar radiation ($r = 0.15$), and precipitation ($r = 0.25$), and a negative relationship with relative humidity ($r = -0.15$). DBH had the highest correlation with aboveground biomass carbon stock (0.71). Therefore, management and restoration strategies in secondary Amazonian forests should consider both forest structure and climatic variability to ensure the maintenance of carbon stocks. As litterfall, carbon was observed to be more sensitive to immediate climatic conditions, while aboveground biomass carbon strongly depends on forest structure.

Keywords: ecosystem services, litterfall, nutrient cycling, precipitation, biomass.

1. Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal Rural da Amazônia; Belém, Brasil; angelabatista629@gmail.com; juliaisabellarodrigues@gmail.com; marcosnascimento1232@gmail.com; joserozendoagro@gmail.com; ricardoufra@gmail.com; francisco.oliveira@ufra.edu.br
2. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal Rural da Amazônia; Capitão Poço, Brasil; walmer.bruno@ufra.edu.br

Resumo

A conversão de florestas é uma preocupação global para a segurança climática devido à capacidade de estocar carbono destes ecossistemas. Com isso, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos dos elementos do clima para o estoque de carbono acima do solo em uma floresta secundária na Amazônia Oriental. Em 2019 e 2023 realizou-se a coleta de serapilheira nos períodos de maior e menor precipitação em cada ano, e inventariou-se os indivíduos com diâmetro a altura do peito (DAP) $\geq 4,77$ cm. As estimativas de carbono ocorreram por meio da multiplicação biomassa pelo fator 0,5 no caso da serapilheira, e via equação Pantropical para a biomassa aérea. Usou-se a correlação de Pearson entre o estoque de carbono da serapilheira e da biomassa aérea com as variáveis do clima, as quais foram obtidas em estação meteorológica próxima da área de estudo. O estoque de carbono da serapilheira foi ligeiramente positivo para temperatura do ar ($r = 0,05$), radiação solar ($r = 0,15$) e precipitação ($r = 0,25$), e negativo para umidade relativa do ar ($r = -0,15$). O DAP teve a maior correlação com o estoque de carbono da biomassa aérea (0,71). Portanto, estratégias de manejo e restauração em florestas secundárias da Amazônia, devem considerar tanto a estrutura da floresta quanto a variabilidade climática para assegurar a manutenção do estoque de carbono, pois observou-se que o carbono da serapilheira é mais sensível às condições climáticas imediatas, enquanto o da biomassa aérea depende fortemente da estrutura florestal.

Palavras-chave: serviços ecossistêmicos; serapilheira; ciclagem de nutrientes; precipitação, biomassa.

Introdução

A floresta amazônica destaca-se pela biodiversidade, variedade de espécies arbóreas, extensa bacia hidrográfica, e provisão de serviços ecossistêmicos [1]. Todavia, nas últimas décadas o bioma amazônico tem sido alterado em virtude dos constantes distúrbios e antropização para a utilização da terra, ocasionando modificações quando ao fornecimento dos serviços ecossistêmicos a nível mundial [2], [3]. Como consequência, tem-se a expansão de florestas secundárias, as quais são essenciais para conservação da biodiversidade e manutenção de ciclos biogeoquímicos [4], [5].

Em regiões de solos com baixa fertilidade natural, a cobertura do solo por meio do estoque da serapilheira é indispensável para a sua manutenção, em virtude da elevada quantidade de macro e micronutrientes disponibilizados ao sistema solo-planta através da ciclagem de nutrientes [6]. Além disso, favorece a regeneração natural de florestas e, consequentemente,

o acúmulo de carbono ao longo da sucessão no caso de florestas secundárias, resultando em estabilidade de processos florestais e atuando como indicadores na restauração ecológica e mitigação das mudanças climáticas [7].

As mudanças climáticas estão associadas às alterações nos padrões dos elementos do clima, especialmente temperatura, precipitação e pressão atmosférica [8], [9], impactando diretamente nas funções ecológicas e biológicas, reduzindo, por conseguinte, a biodiversidade dos ecossistemas [10]. Dessa forma, quantificar o estoque de carbono acima do solo em florestas sucessionais na Amazônia é essencial para compreender como as variações da temperatura e precipitação podem influenciar na manutenção do estoque de carbono e da serapilheira [11].

Adicionalmente, pesquisas desta natureza auxiliarão diretamente o Brasil em atender as metas internacionais, uma vez que está relacionada aos objetivos 13 (mitigação das mudanças climáticas) e 15 (vida terrestre) do Desenvolvimento Sustentável da ONU. Diante do exposto, testou-se a hipótese de que a sazonalidade climática influencia o estoque total de carbono acima do solo, afetando predominantemente o estoque de serapilheira. Com isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência dos elementos climáticos sobre o estoque de carbono acima do solo em uma floresta secundária na Amazônia Oriental, comparando diferentes anos de avaliação.

Material e Métodos

Área de estudo

O estudo foi desenvolvido em um ecossistema florestal sucessional no município de Castanhal-PA, localizado nas dependências da Fazenda Escola de Castanhal, pertencente à Universidade Federal Rural da Amazônia (1°19'16"S, 47°57'50"W) (Figura 1). O relevo da região é classificado como levemente ondulado e os solos são classificados como Latossolos Amarelos Distróficos de Fase Rochosa I (Concrecionário Laterítico), com baixa fertilidade natural [12]. Segundo Köppen, o clima da região é do tipo Af3, com precipitação pluviométrica média anual variando de 2.000 a 2.500 mm [13], sendo o período mais chuvoso de dezembro a maio, e menos chuvoso, de junho a novembro de acordo com as normais climatológicas [14].

Delineamento experimental e coleta de dados

Foram instaladas 12 parcelas permanentes de 400 m² cada (20 m x 20 m), seguindo um delineamento inteiramente casualizado. As coletas de serapilheira foram realizadas nos meses de maior e menor precipitação (março e setembro, respectivamente) dos

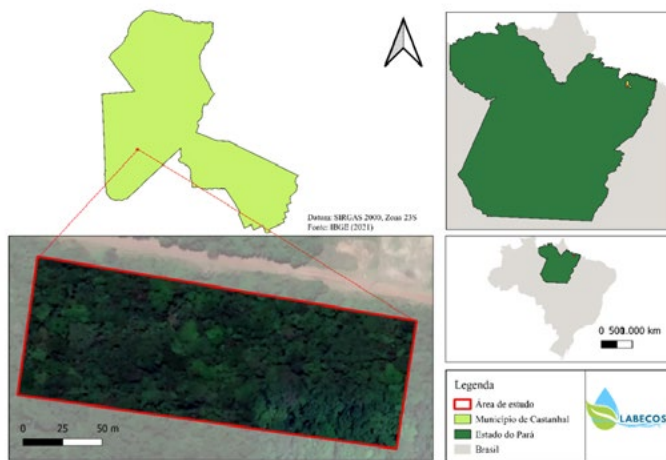


Figura 1. Ecosistema de floresta secundária localizada no município de Castanhal, Pará, Amazônia Oriental. Pertencente a Universidade Federal Rural da Amazônia.

Figure 1. Secondary forest ecosystem located in the municipality of Castanhal, Pará, Eastern Amazon, at the Federal Rural University of the Amazon.

anos de 2019 e 2023. Em cada parcela, foram coletadas cinco subamostras de serapilheira em cada mês de coleta, utilizando-se um gabarito metálico vazado de 0,25 m². A média das subamostras representaram a respectiva parcela, totalizando 12 amostras mensais.

Após a coleta de campo, as amostras foram destinadas à estufa de circulação de ar a 65 °C por 48h e posteriormente pesadas em balança de precisão de 0,01 g. O carbono foi estimado de maneira indireta por meio da multiplicação da massa seca total de serapilheira pelo fator 0,5 proposto pelo Intergovernamental Panel on Climate Change [15], referente a aproximadamente 50 % de carbono presente no total de biomassa. Posteriormente, os valores foram convertidos para a unidade internacional megagrama por hectare (Mg ha⁻¹) por meio da divisão do estoque de carbono pela área do coletor em hectare e posterior multiplicação pelo fator de conversão 0,01.

Para o estoque de carbono da biomassa aérea, instalou-se uma subparcela de 10 m x 10 m no interior de cada parcela, onde foi realizado o inventário florestal. Foram medidos todos os indivíduos arbóreos e arbustivos com DAP (diâmetro a 1,30 m da superfície do solo) ≥ 4,77 cm nos anos de 2019 e 2023. Além da identificação botânica, mensurou-se o DAP (cm) e estimou-se a altura total (m) dos indivíduos. A estimativa de biomassa acima do solo (AGB) foi calculada usando a equação alométrica proposta por Chave et al. (2014) (Eq. 1), amplamente empregada em florestas

tropicais por incorporar variáveis dendrométricas e densidade da madeira, apresentando bom ajuste para estimativas de biomassa na Amazônia. Os dados de densidade da madeira de cada espécie foram obtidos por meio do banco de dados Neotropicais do Global Wood Density Database [17]. A AGB total foi a soma da AGB de todos os indivíduos em cada tratamento, que posteriormente foi convertido em megagramas por hectare (Mg ha⁻¹) e multiplicado pelo fator 0,5 para estimativa de carbono [15].

$$AGB = 0,0673 * (\rho * DAP^2 * H)^{0,976} \quad (3)$$

Onde: AGB é a Biomassa acima do solo (kg); ρ é a densidade específica da madeira (g cm⁻³); DAP é o diâmetro da árvore (cm); H é a altura da árvore (m).

Análise de dados

Os dados foram testados quanto à normalidade e a homoscedasticidade de variância pelos testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente, ambos ao nível de 5% de probabilidade de erro. Após atender aos pressupostos, as médias entre períodos foram comparadas pelo teste t de Student ($p < 0,05$). Para investigar a associação entre os estoques de carbono da biomassa aérea e da serapilheira com as variáveis climáticas (precipitação, temperatura do ar, radiação solar, umidade relativa do ar e velocidade do vento) foi realizada correlação de Pearson. As variáveis de clima foram obtidas para cada mês do estudo, na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a qual localiza-se a 1,8 km da área de estudo. As correlações foram realizadas utilizando-se como unidade amostral os valores médios por parcela em cada período de coleta, totalizando 48 observações (24 para cada ano avaliado). As análises estatísticas e gráficas foram realizadas por meio do Software R versão 4.4.3 [18].

Resultados

O estoque de carbono da biomassa aérea apresentou valores médios de 86,93 ± 50,80 Mg ha⁻¹ em 2019 e 116,73 ± 54,77 Mg ha⁻¹ em 2023 (Figura 2). Apesar do aumento observado ao longo do período, não foram detectadas diferenças significativas entre os anos avaliados (Figura 2). Em relação à serapilheira, observou-se redução no estoque de carbono entre os anos de estudo. Em 2019, a média foi de 3,31 ± 0,62 Mg ha⁻¹, valor significativamente superior ao registrado em 2023 (2,79 ± 0,55 Mg ha⁻¹).

A correlação de Pearson demonstrou que o estoque de carbono da serapilheira apresentou correlações fracas

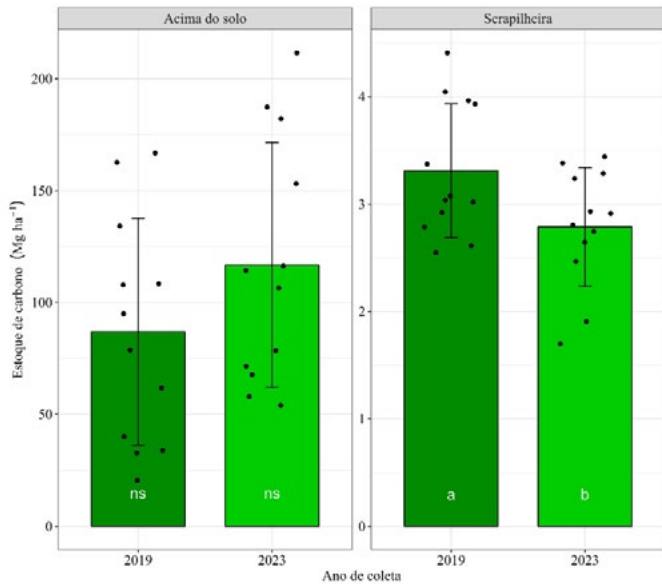


Figura 2. Média $\pm$ Desvio padrão do estoque de carbono da vegetação acima do solo e da serapilheira referente aos períodos mais e menos chuvoso dos anos de 2019 e 2023 em um fragmento de floresta secundária localizado no município de Castanhal, Pará, Brasil. Letras iguais indicam que não houve diferença significativa estatisticamente entre os períodos analisados para cada variável de acordo com teste t de Student ($p < 0,05$). Pontos pretos representam as médias das unidades de amostras (parcelas) avaliadas.

Figure 2. Mean $\pm$ standard deviation of aboveground vegetation and litter carbon stocks during the wetter and drier periods of 2019 and 2023 in a secondary forest fragment located in the municipality of Castanhal, Pará, Brazil. Similar letters indicate no statistically significant differences between periods for each variable according to a student's t-test ($p < 0.05$). Black dots represent the mean values of the sampling units (plots) evaluated.

com as variáveis climáticas (Figura 3), sendo positiva com a temperatura do ar ($r = 0,05$), radiação solar ($r = 0,15$) e precipitação ($r = 0,25$), e negativa com a umidade relativa do ar ($r = -0,15$).

A variável com maior correlação com o estoque de carbono da biomassa aérea foi o DAP (0,71), indicando forte associação positiva.

Discussão

Os ecossistemas florestais sucessionais na Amazônia exercem papel crucial na mitigação das mudanças climáticas, principalmente por sua capacidade de acumular carbono à medida que avançam para estágios mais maduros de sucessão [19], [20]. A avaliação conjunta do carbono estocado na biomassa aérea e na

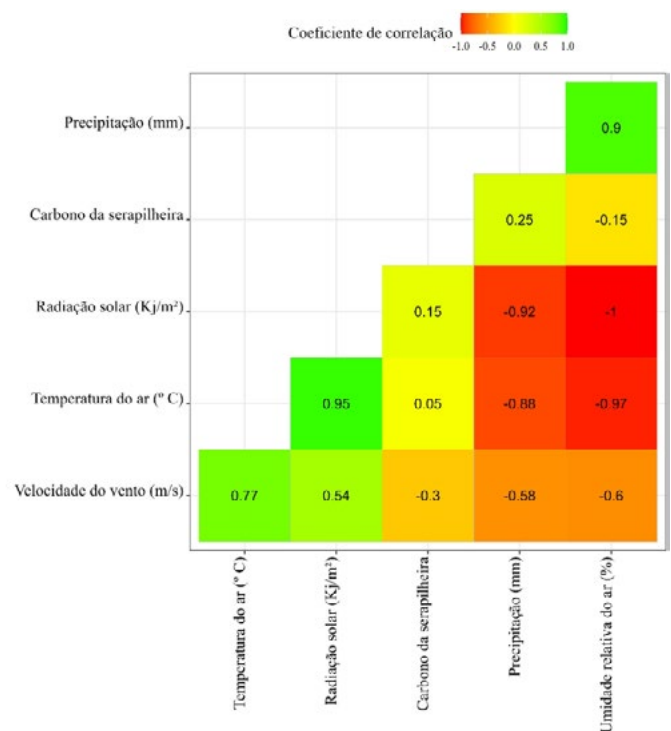


Figura 3. Coeficientes de correlação de Pearson entre o estoque de carbono da serapilheira e as variáveis climáticas (temperatura do ar, radiação solar, precipitação e umidade relativa) em um ecossistema de floresta sucessionária localizado na Amazônia Oriental. Gradiente de cores representam coeficientes mais próximos de 1 (verde) e de -1 (vermelho), respectivamente.

Figure 3. Pearson correlation coefficients between litter carbon stocks and climatic variables (air temperature, solar radiation, precipitation, and relative humidity) in a successional forest ecosystem located in the Eastern Amazon. The color gradient represents coefficients approaching 1 (green) and -1 (red), respectively.

serapilheira neste estudo evidenciou respostas distintas desses compartimentos às condições climáticas e ao avanço estrutural da vegetação. Essa distinção decorre das diferenças nos processos que interferem na formação da biomassa lenhosa e da serapilheira, enquanto a biomassa arbórea reflete a história de crescimento e a composição florística ao longo de anos ou décadas, a serapilheira responde rapidamente a alterações microclimáticas e fenológicas.

A ausência de diferenças significativas observada no carbono da biomassa aérea entre os períodos avaliados indica um padrão comum em florestas secundárias em estágio intermediário de sucessão, onde ocorre a transição de espécies pioneiras para espécies de crescimento mais lento, sendo que esse processo de substituição proporciona maior acúmulo de biomassa no solo [21]. Neste estudo, a forte relação entre

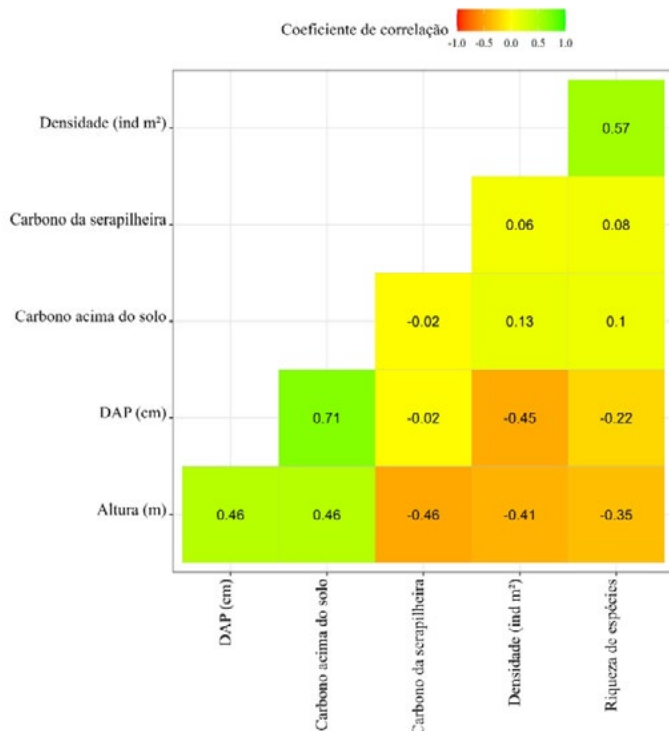


Figura 4. Coeficientes de correlação de Pearson entre variáveis dendrométricas e o estoque de carbono da serapilheira e acima do solo em um ecossistema de floresta sucessional localizado na Amazônia Oriental. Gradiente de cores representam coeficientes mais próximos de 1 (verde) e de -1 (vermelho), respectivamente.

Figure 4. Pearson correlation coefficients between dendrometric variables and litter and aboveground carbon stocks in a successional forest ecosystem located in the Eastern Amazon. The color gradient represents coefficients approaching 1 (green) and -1 (red), respectively.

diâmetro à altura do peito (DAP) e carbono estocado reflete o papel desse parâmetro estrutural como preditor robusto do acúmulo de biomassa, corroborando Chave et al. [17].

Em contraste, o carbono associado a serapilheira apresentou sensibilidade marcada às variações ambientais e sazonais, refletindo o balanço dinâmico entre deposição foliar e decomposição microbiana. O fenômeno La Niña, registrado na região durante o ano de 2023 [23], contribuiu para esse padrão ao intensificar a precipitação e reduzir a temperatura regional, condições que favorecem a atividade decompositora e, portanto, reduzem o acúmulo superficial de serapilheira [24]. Além disso, os resultados sugeriram a vulnerabilidade dos compartimentos superficiais da floresta a eventos climáticos de curta duração, com implicações diretas para o ciclo de nutrientes e para a disponibilidade de material combustível [25].

As correlações com os elementos do clima, embora fracas, evidenciaram que a precipitação elevada acelera a decomposição e, consequentemente, limita o acúmulo de serapilheira no solo [26]. A relação negativa com a umidade relativa, por sua vez, sugere que ambientes mais úmidos, associados a dosséis mais fechados, reduzem a permanência da serapilheira devido à maior atividade da microbiota decompositora [27]. Torna-se evidente, portanto, que o estoque superficial de carbono é determinado não apenas pela quantidade de material depositado, mas também pela qualidade da serapilheira e pela taxa de decomposição, ambas influenciadas pela estrutura florestal e associadas ao microclima [28].

A serapilheira desempenha papel central na ciclagem de nutrientes em florestas amazônicas, cuja fertilidade natural é limitada [29]. A redução do estoque observada neste estudo indica mudanças potenciais nos processos biogeoquímicos, que é um aspecto determinante para a resiliência do ecossistema frente a distúrbios climáticos [30]. Além disso, a interação entre eventos climáticos extremos, como El Niño e La Niña, e a estrutura das florestas secundárias amazônicas pode amplificar riscos ecológicos [11], [31].

Alterações na fenologia e no padrão de deposição foliar influenciam a disponibilidade de material combustível e, combinadas à redução de umidade durante períodos secos, aumentam a suscetibilidade a incêndios florestais [32]. Esses riscos são potencializados em mosaicos sucessionais, onde a maior heterogeneidade estrutural e a abertura do dossel intensificam a circulação de vento e a secagem do solo [33]. Tais dinâmicas reforçam os alertas da comunidade científica sobre a necessidade de manejo adaptativo e políticas públicas voltadas à mitigação de impactos climáticos e à preservação da biodiversidade amazônica [34].

Portanto, compreender como compartimentos distintos do estoque de carbono respondem a variáveis ambientais e sucessionais ajuda a calibrar modelos de predição e orientar o planejamento do uso do solo em áreas de alta pressão antrópica. Os resultados deste estudo oferecem subsídios para políticas de restauração e monitoramento climático. Estudos com maior abrangência temporal e amostral são necessários para uma avaliação mais detalhada e consolidação das estimativas, a fim de ampliar a aplicabilidade dos resultados em programas como o REDD+.

Conclusão

O estoque de carbono total acima do solo (biomassa e serapilheira) apresentou associação com as variáveis estruturais da vegetação, especialmente com o DAP, reforçando o papel estrutural da composição

e do porte da vegetação na regulação do carbono armazenado na biomassa. O estoque de carbono da serapilheira apresentou redução ao longo do período avaliado e correlações fracas com as variáveis climáticas analisadas.

Agradecimentos

Julia Isabella de Matos Rodrigues e Walmer Bruno Rocha Martins agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de doutorado (140573/202-0) e de produtividade (306967/2025-1), respectivamente.

Referencias

- [1] Y. K. Bredin, et al., "Forest type affects the capacity of Amazonian tree species to store carbon as woody biomass," *For. Ecol. Manage.*, vol. 473, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.foreco.2020.118297.
- [2] P. W. M. Souza-Filho et al., "Land-use intensity of official mineral extraction in the Amazon region: Linking economic and spatial data," *L. Degrad. Dev.*, vol. 32, no. 4, pp. 1706–1717, Feb. 2021, doi: 10.1002/ldr.3810.
- [3] J. G. da Silveira et al., "Land Use, Land Cover Change and Sustainable Intensification of Agriculture and Livestock in the Amazon and the Atlantic Forest in Brazil," *Sustainability*, vol. 14, no. 5, p. 2563, Feb. 2022, doi: 10.3390/su14052563.
- [4] L. Huang, et al., "Trends in global research in forest carbon sequestration: A bibliometric analysis," *J. Clean. Prod.*, vol. 252, p. 119908, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119908.
- [5] T. C. Barros, et al., "Natural recovery of plant species diversity in secondary forests in Eastern Amazonia: contributions to passive forest restoration," *Rev. Bras. Bot.*, vol. 43, no. 1, Mar., pp. 165–175, 2020, doi: 10.1007/s40415-020-00585-9.
- [6] F. E. D. de Souza et al., "Physical and chemical soil quality and litter stock in agroforestry systems in the Eastern Amazonia," *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 382, Apr., pp. 1–12, 2025, doi: 10.1016/j.agee.2025.109479.
- [7] G. de M. Rebêlo, et al., "Estoque de nutrientes e decomposição da serapilheira em sistemas agroflorestais no município de Belterra – Pará," *Ciência Florest.*, vol. 32, no. 4, Nov., pp. 1876–1893, 2022, doi: 10.5902/1980509846854.
- [8] P. Vitt, et al., "Seed sourcing strategies for ecological restoration under climate change: A review of the current literature," *Front. Conserv. Sci.*, vol. 3, Oct., pp. 1–16, 2022, doi: 10.3389/fcosc.2022.938110.
- [9] M. Antala, et al., "Impact of climate change-induced alterations in peatland vegetation phenology and composition on carbon balance," *Sci. Total Environ.*, vol. 827, Mar., pp. 1–15, 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.154294.
- [10] F. Mendonça, "Mudanças Climáticas Globais: Controvérsias, Participação Brasileira E Desafios À Ciência," *Rev. Humboldt*, vol. 1, no. 2, jan., pp. 1–28, 2021.
- [11] J. I. de M. Rodrigues, et al., "ENSO impacts on litter stocks and water holding capacity in secondary forests in eastern Amazonia," *J. For. Res.*, vol. 35, no. 8, Dec., pp. 1–7, 2024, doi: 10.1007/s11676-023-01665-8.
- [12] A. R. D. M. Tenório et al., "Mapeamento dos solos da estação de piscicultura de Castanhal, PA," *FCAP Inf. Técnico*, vol. 25, pp. 5–26, 1999.
- [13] C. A. Alvares, et al. "Köppen's climate classification map for Brazil," *Meteorol. Zeitschrift*, vol. 22, no. 6, Dec., pp. 711–728, 2013, doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- [14] I. N. de M. INMET, "Estação: Castanhal A2020." [Online]. Available: <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A001> [Accessed: Jan. 06, 2022.].
- [15] S. Holloway, et al. "Carbon Dioxide Transport, Injection and Geological Storage" in: 2006 IPCC, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 2, n. 2, pp. 1 - 32, Energy, 2006, Japan: IGES, 2006. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>
- [16] J. Chave et al., "Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees," *Glob. Chang. Biol.*, vol. 20, no. 10, Oct., pp. 3177–3190, 2014, doi: 10.1111/gcb.12629.
- [17] J. Chave, et al., "Towards a worldwide wood economics spectrum," *Ecol. Lett.*, vol. 12, no. 4, Apr., pp. 351–366, 2009, doi: 10.1111/j.1461-0248.2009.01285.x.
- [18] R Development Core Team, *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing v. 4.4.3. Viena, Austria, 2025.
- [19] D. Ray et al., "Transformative changes in tree breeding for resilient forest restoration," *Front. For. Glob. Chang.*, vol. 5, Oct. pp. 1–17, 2022, doi: 10.3389/ffgc.2022.1005761.
- [20] R. L. Chazdon, "Landscape restoration, natural regeneration, and the forests of the future," *Ann.*

- Missouri Bot. Gard., vol. 102, no. 2, Aug., pp. 251–257, 2017, doi: 10.3417/2016035.
- [21] L. Poorter et al., “Biomass resilience of Neotropical secondary forests,” *Nature*, vol. 530, no. 7589, Feb., pp. 211–214, 2016, doi: 10.1038/nature16512.
- [22] J. Chave et al., “Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests,” *Oecologia*, vol. 145, no. 1, Aug., pp. 87–99, 2005, doi: 10.1007/s00442-005-0100-x.
- [23] A. Dejean et al., “Rainfall during multiyear La Niñas caused the decline of social wasps in Northeastern Amazonia,” *Ecology*, vol. 105, no. 11, Nov., pp. 1–6, 2024, doi: 10.1002/ecy.4433.
- [24] J. C. M. Lima et al., “Sazonalidade dos elementos do clima e sua influência na serapilheira em uma floresta sucessional na Amazônia oriental,” *Rev. Florest. Mesoam. Kurú*, vol. 18, no. 43, Jul., pp. 62–70, 2021, doi: 10.18845/rfmk.v19i43.5810.
- [25] P. Nyman et al., “Eco-hydrological controls on microclimate and surface fuel evaporation in complex terrain”. *Agricultural and Forest Meteorology*. Vol. 252, Apr., pp. 49–61, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.12.255>.
- [26] H. Qu et al., “Correction to: A 5 and a half year experiment shows precipitation thresholds in litter decomposition and nutrient dynamics in arid and semi arid regions”. *Biol Fertil Soils*. vol. 60, Nov., pp.199–212, 2024, doi: <https://doi.org/10.1007/s00374-023-01779-5>
- [27] G. A. P. Freire, et al., “Dinâmica De Serapilheira Em Uma Área De Floresta De Terra Firme, Amazônia Ocidental,” *Nativa*, vol. 8, no. 3, May., pp. 323–328, 2020, doi: 10.31413/nativa.vol.8i3.9155.
- [28] M. Lyu et al., “Litter quality controls tradeoffs in soil carbon decomposition and replenishment in a subtropical forest”. *Journal of Ecology*, vol. 111, Jul., pp. 2181–2183, 2023, doi: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.14167>
- [29] J. I. de M. Rodrigues et al., “Litter stock, litterfall and nutrients in the Amazonia: defining patterns from last 40 years of scientific research,” *Sci. Plena*, vol. 19, no. 7, Aug., pp.1–17, 2023, doi: 10.14808/sci.plena.2023.077301.
- [30] L. C. Gomez et al., “Soil organic matter molecular composition with long-term detrital alterations is controlled by site-specific forest properties” *Global Change Biology*, vol. 29, Sept., pp. 243–259, 2023, doi: <https://doi.org/10.1111/gcb.16456>
- [31] X. Dong, et al. “Climate influence on the 2019 fires in Amazonia,” *Sci. Total Environ.*, vol. 794, Nov., pp. 1–11, 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.148718.
- [31] X. Dong, et al., “Climate influence on the 2019 fires in Amazonia,” *Sci. Total Environ.*, vol. 794, Nov., pp. 1–11, 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.148718.
- [32] P. Brando et al., “Amazon wildfires: Scenes from a foreseeable disaster,” *Flora Morphol. Distrib. Funct. Ecol. Plants*, vol. 268, Jul., pp. 1–5, 2020, doi: 10.1016/j.flora.2020.151609.
- [33] K. Moon, et al., “Sub-canopy forest winds: understanding wind profiles for fire behaviour simulation,” *Fire Saf. J.*, vol. 105, Apr., pp. 320–329, 2019, doi: 10.1016/j.firesaf.2016.02.005.
- [34] I. Numata, et al. “Forest evapotranspiration dynamics over a fragmented forest landscape under drought in southwestern Amazonia,” *Agric. For. Meteorol.*, vol. 306, Aug., pp. 1–9, 2021, doi: 10.1016/j.agrformet.2021.108446.