



RECONECTA

Editora Científica e Eventos

AVANÇOS E DESAFIOS NAS CIÊNCIAS AMBIENTAIS - VOLUME 02

ELIZA C. WENCESLAU



RECONECTA
Editora Científica e Eventos

ISBN: 978-65-85105-50-7



10.5281/ZENODO.23477974

AVANÇOS E DESAFIOS NAS CIÊNCIAS AMBIENTAIS - VOLUME 02

ELIZA C.WENCESLAU

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Avanços e desafios nas ciências ambientais :
volume 2 [livro eletrônico] / Eliza Carminatti
Wenceslau (org.). -- 1. ed. -- São José do
Rio Preto, SP : Reconecta - Soluções
Eduacionais, 2026.
PDF

Vários autores.
Bibliografia
ISBN 978-65-85105-50-7

1. Ciências ambientais I. Wenceslau, Eliza
Carminatti.

26-406912.0

CDD-363.7

Índices para catálogo sistemático:

1. Ciência ambiental 363.7

Maria Alice Ferreira - Bibliotecária - CRB-8/7964



Editora: Reconecta Soluções Educacionais
CNPJ 35.688.419/0001-62
Website: reconectasolucoes.com.br
contato@reconectasolucoes.com.br

Editoração: Maxwell Luiz da Ponte

Conselho Editorial: Profa. Me. Eliza Carminatti Wenceslau; Profa. Dra. Tatiane Scarpelli Ponte, Profa. Dra. Vanessa Schweitzer dos Santos; Profa. Dra. Priscila Pereira Coltri, Profa. Dra. Danielle Marafon, Profa. Dra. Adelir Marinho, Prof. Dr. Danilo Ferrari

Os textos divulgados são de inteira responsabilidades de seus autores, nos termos do edital de trabalhos do congresso, disponíveis na página do evento.

Apresentação

A obra *Avanços e Desafios nas Ciências Ambientais – Volume 02* reúne contribuições científicas voltadas à compreensão das questões ambientais contemporâneas, considerando a diversidade de abordagens, métodos e perspectivas que caracterizam esse campo interdisciplinar do conhecimento. A publicação propõe uma reflexão sobre os desafios relacionados à conservação ambiental, à biodiversidade, às mudanças climáticas, ao desenvolvimento sustentável e à gestão dos recursos naturais, valorizando a produção científica como instrumento de análise, compreensão e enfrentamento dos problemas ambientais.

As Ciências Ambientais ocupam uma posição estratégica diante das transformações que afetam os ecossistemas e as sociedades, uma vez que possibilitam articular conhecimentos de diferentes áreas para investigar as relações entre os componentes naturais, as atividades humanas e as formas de organização dos territórios. Nesse contexto, a presente coletânea contempla um conjunto de enfoques que abrange desde o levantamento e o diagnóstico de condições ambientais até a utilização de tecnologias aplicadas à análise espacial, a investigação dos impactos das alterações climáticas e a discussão de instrumentos relacionados à conservação e à regulação do uso dos recursos naturais.

A diversidade temática da obra expressa a amplitude das questões que integram a agenda ambiental brasileira. Em um país caracterizado pela variedade de ecossistemas, pela riqueza de sua biodiversidade e por expressivas diferenças territoriais, sociais e econômicas, a produção de conhecimento científico constitui uma ferramenta indispensável para compreender as particularidades ambientais e subsidiar estratégias de conservação e desenvolvimento. Essa perspectiva também evidencia a importância de pesquisas que considerem as especificidades locais e regionais, sem perder de vista os processos e desafios de abrangência nacional e global que influenciam a sustentabilidade dos territórios.

Entre os eixos de discussão contemplados pela publicação, destaca-se a conservação ambiental, compreendida como um conjunto de práticas e estratégias fundamentadas no levantamento de informações, na avaliação de impactos, na identificação de riscos e na proteção do patrimônio natural. Essa abordagem reforça a importância de diagnósticos e estudos sistemáticos para ampliar o conhecimento sobre as condições ambientais e contribuir para o planejamento de ações de conservação. A proteção da biodiversidade e dos ecossistemas, por sua vez, evidencia a necessidade de compreender as interações entre os componentes da natureza e os serviços ambientais essenciais à manutenção da vida e ao bem-estar das sociedades.

Ao considerar diferentes áreas temáticas, Avanços e Desafios nas Ciências Ambientais – Volume 02 contribui para ampliar o espaço de diálogo entre a pesquisa científica, a inovação metodológica, a gestão ambiental e as discussões sobre sustentabilidade. A abrangência dos assuntos contemplados permite reconhecer a pluralidade de questões que compõem o campo das Ciências Ambientais e reforça a importância de abordagens interdisciplinares para a compreensão de fenômenos complexos, cujas causas e consequências frequentemente ultrapassam os limites de uma única área do conhecimento.

A publicação destina-se a pesquisadores, docentes, estudantes, profissionais e demais interessados nas questões ambientais, oferecendo uma oportunidade de contato com diferentes perspectivas de investigação e reflexão. Sua proposta insere-se no esforço contínuo de produção e disseminação do conhecimento científico, valorizando estudos que contribuam para a compreensão das transformações ambientais e para o debate sobre estratégias de conservação, planejamento e desenvolvimento sustentável.

Diante dos desafios ambientais que caracterizam o século XXI, torna-se cada vez mais necessário fortalecer a integração entre ciência, tecnologia, políticas públicas e sociedade. A construção de respostas efetivas depende não apenas da ampliação do conhecimento sobre os sistemas naturais, mas também da capacidade de transformar esse conhecimento em subsídios para o planejamento e a tomada de decisões. Nesse sentido, esta coletânea reafirma a relevância das Ciências Ambientais como campo de investigação e reflexão, contribuindo para o debate sobre a conservação do patrimônio natural, o uso responsável dos recursos e a construção de perspectivas de sustentabilidade para o Brasil e para o mundo.

SUMÁRIO

Capítulo 1. ANÁLISE DA SAÚDE E COMPATIBILIDADE DE ÁRVORES EM CASTANHAL-PA Natalia do Nascimento Matos; Luiz Felipe Silva Barbosa; Nathaly de Sousa Botelho; Madson Alan Rocha de Sousa; Raphael Lobato Prado Neves.....	07
Capítulo 2. INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO NA ESTRUTURA DE <i>Ceiba pentandra</i> EM ÁREAS PÚBLICAS, PRIVADAS E COMUNITÁRIAS NO ESTADO DO PARÁ Luiz Felipe Silva Barbosa; Natalia do Nascimento Matos; Jhêmilly da Silva dos Santos; Madson Alan Rocha de Sousa; Raphael Lobato Prado Neves.....	16
Capítulo 3. ESTRUTURA POPULACIONAL, BIOMASSA E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE <i>Anacardium occidentale</i> SOB INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA AMAZÔNIA ORIENTAL Jeyce Aimeé De Amorim Albuquerque; Lucas Gabriel Gomes Menezes; Gabriel Sousa Cabral; Madson Alan Rocha de Sousa; Raphael Lobato Prado Neves.....	31
Capítulo 4. INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO NA ESTRUTURA E BIOMASSA DE <i>Genipa americana</i> L. EM ÁREAS PRIVADAS NO ESTADO DO PARÁ Jhêmilly da Silva dos Santos; Jeyce Aimeé De Amorim Albuquerque; Nathaly de Sousa Botelho; Madson Alan Rocha de Sousa; Raphael Lobato Prado Neves.....	42
Capítulo 5. INTEGRANDO A VALORAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS AO LICENCIAMENTO AMBIENTAL: UM ESTUDO DE CASO DA MATA ATLÂNTICA SUL-BAIANA Luiza Beatriz Fernandes de Oliveira; Gil Strenzel; Andréa da Silva Gomes; Larissa Rocha Santos; Deborah Fariah.....	55
Capítulo 6. NUTRIÇÃO MINERAL COMO ESTRATÉGIA PARA AUMENTAR A RESILIÊNCIA DE FRUTÍFERAS ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS Lubia da Silva Teixeira; Genaina Aparecida de Souza; Deisy Johana Cuellar Lopez; Victor Bertazo Moreira.....	68
Capítulo 7. APLICAÇÃO DE GEOTECNOLOGIA COMO FERRAMENTA PARA O DIAGNÓSTICO DE ÁREAS VERDES URBANAS EM SANTA MARIA DO PARÁ – PA Nathaly de Sousa Botelho; Gabriel Sousa Cabral; Luiz Felipe Silva Barbosa; Madson Alan Rocha de Sousa; Raphael Lobato Prado Neves.....	87
Capítulo 8. ANÁLISE DA VEGETAÇÃO URBANA DE PARAGOMINAS-PA Gabriel Sousa Cabral; Lucas Gabriel Gomes Menezes; Natalia do Nascimento Matos; Madson Alan Rocha de Sousa; Raphael Lobato Prado Neves.....	101
Capítulo 9. ANÁLISE DE ÁREAS VERDES ATRAVÉS DE GEORREFERENCIAMENTO EM MUNICÍPIO AMAZÔNICO Lucas Gabriel Gomes Menezes; Jeyce Aimeé De Amorim Albuquerque; Jhêmilly da Silva dos Santos; Madson Alan Rocha de Sousa; Raphael Lobato Prado Neves.....	114
Capítulo 10. ENTRE CIDADES SUSTENTÁVEIS E VIDA TERRESTRE: CONTRADIÇÕES DOS ODS 8, 11, 13 E 15 NO BAIXO SUL, BAHIA, BRASIL Tayná de Oliveira Vitória.....	124

Capítulo 01

ANÁLISE DA SAÚDE E COMPATIBILIDADE DE ÁRVORES EM CASTANHAL-PA

Natalia do Nascimento Matos, Luiz Felipe Silva Barbosa, Nathaly de Sousa Botelho, Madson Alan Rocha de Sousa, Raphael Lobato Prado Neves.

Resumo: A arborização urbana desempenha papel crucial na biodiversidade e no bem-estar social, devendo ser integrada ao planejamento municipal. Este estudo teve como objetivo avaliar seis praças de Castanhal (PA), considerando oito parâmetros, incluindo contato com a rede elétrica, fitossanidade, bifurcação, presença de resíduos e interferência em calçadas. Os resultados demonstraram que 12 indivíduos (3,05%) estavam em contato com a fiação elétrica e 11 (2,79%) apresentavam risco potencial, evidenciando falhas pontuais no planejamento arbóreo. Quanto à fitossanidade, 393 árvores estavam livres de agentes patogênicos. Entretanto, foram observadas bifurcação abaixo do diâmetro à altura do peito (DAP), espaçamento inadequado, além de 26 indivíduos (6,61%) com acúmulo de resíduos, refletindo baixa conscientização ambiental. Conclui-se que a arborização urbana deve ser manejada de forma ajustada, com ações de correção e monitoramento contínuo para assegurar a saúde das árvores e a compatibilidade com o ambiente urbano.

Palavras-chave: Áreas verdes urbanas. Gestão de espaço urbano. Planejamento de praças.

N. N. Matos  Universidade do Estado do Pará. Paragominas, PA, Brasil. e-mail: natalia.matos055@gmail.com. ORCID: 0009-0006-4406-3742.

L. F. S. Barbosa  Universidade do Estado do Pará. Paragominas, PA, Brasil. e-mail: felipeslv1212@gmail.com. ORCID: 0009-0005-0772-4874.

N. S. Botelho  Universidade do Estado do Pará. Paragominas, PA, Brasil. e-mail: nathalybotelho55@gmail.com. ORCID: 0009-0007-1117-6342.

M. A. R. Sousa  Universidade do Estado do Pará. Paragominas, PA, Brasil. e-mail: madsonalan@uepa.br. ORCID: 0000-0002-7560-3274.

R. L. P. Neves  Universidade do Estado do Pará. Paragominas, PA, Brasil. e-mail: prado.neves@uepa.br. ORCID: 0000-0002-0997-4851.

© Este trabalho integra a obra: “Avanços e Desafios nas Ciências Ambientais (vol. 02)”, publicado pela Reconnecta Soluções em 2026, disponível para acesso gratuito em: www.reconnectasolucoes.com.br/editora

INTRODUÇÃO

A arborização Urbana desempenha um papel fundamental na melhoria da qualidade ambiental e do bem-estar da população, contribuindo para a regulação microclimática e conforto térmico (Melo *et al.*, 2026). Entretanto, muitos municípios enfrentam problemas no planejamento arbóreo devido à escolha inadequada de espécies, comprometendo a qualidade ambiental urbana (Alves *et al.*, 2023). Nesse contexto, a análise qualitativa da arborização é essencial para avaliar a saúde das árvores em praças e subsidiar o planejamento arbóreo.

O planejamento arbóreo compreende a seleção criteriosa de espécies e sua compatibilização com o espaço urbano, considerando aspectos como porte, desenvolvimento do sistema radicular e interação com a infraestrutura existente. Quando conduzido de forma adequada, reduz conflitos com elementos urbanos, como redes elétricas e calçadas, além de potencializar serviços ecossistêmicos, como sombreamento e regulação térmica (Liang; Huang, 2023).

Em diversas praças, observa-se a presença de arborização urbana inadequadamente planejada, evidenciada por fatores como: disposição errônea das árvores ocasionando conflitos com a fiação; crescimento radicular interferindo na calçada; tratamento precário dos aspectos fitossanitários como pragas e doenças; o manejo inadequado, potencializando o riscos de queda das árvores; bem como a presença de resíduos sólidos, associada a baixa conscientização da população e à ineficiência dos serviços de coleta de lixo (Ferreira; Ribeiro, 2023).

No Brasil, diversos estudos têm evidenciado a importância da arborização urbana para a qualidade ambiental e a promoção da saúde pública (Aguar *et al.*, 2021). No estado do Pará, destacam-se inventários arbóreos realizados em municípios como Santarém (Sousa *et al.*, 2023), Tucuruí (Tatagiba *et al.*, 2022) e Mocajuba (Barros *et al.*, 2019), os quais evidenciam a relevância de diagnósticos locais como subsídio ao planejamento e ao manejo da arborização urbana.

O inventário de arborização urbana visa quantificar os indivíduos arbóreos presentes em áreas como praças, podendo ser realizado por censo ou amostragem (Bobrowski, 2022). Esse levantamento inclui variáveis como altura, diâmetro à altura do peito (DAP), diâmetro da copa, estado geral, estabilidade estrutural e conflitos com a infraestrutura urbana (Ma, 2021), constituindo uma ferramenta quali-quantitativa essencial para o monitoramento e a gestão da arborização.

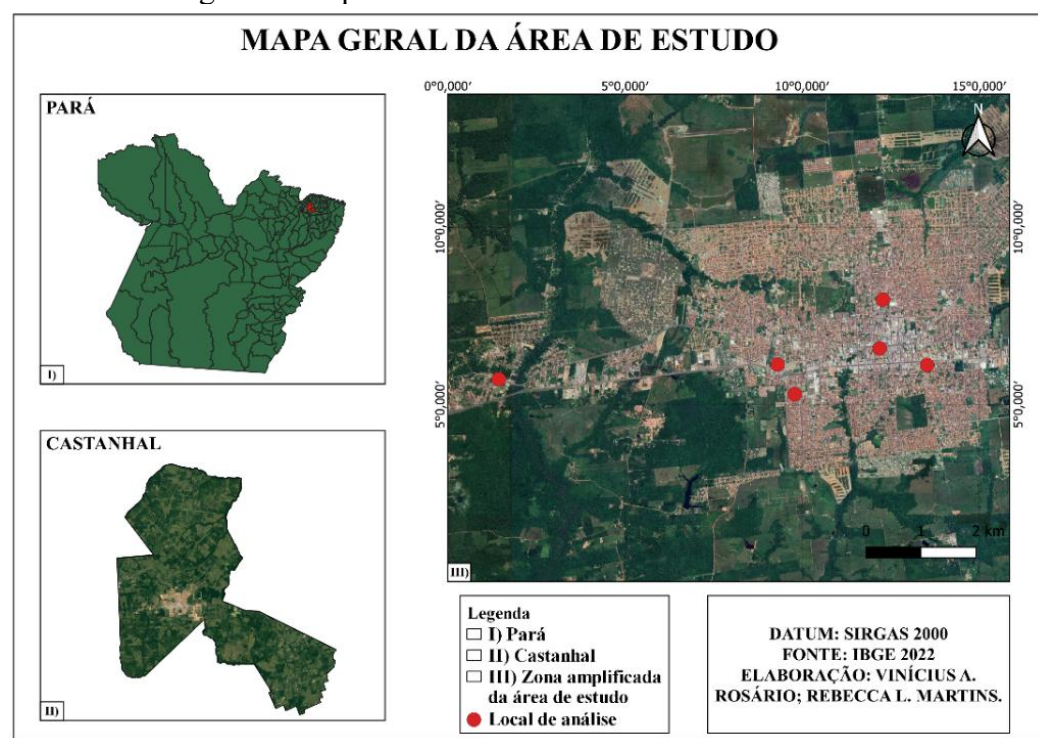
Portanto, o estudo da composição florística e da qualidade das árvores em praças urbanas é fundamental para o planejamento arbóreo, visando à valorização estética e à saúde ambiental e social. A arborização deve ser considerada como parte integrante do tecido urbano, necessitando de cuidado contínuo e destacando a importância da educação ambiental (Sousa, 2022). No entanto, verifica-se a escassez de estudos acerca da arborização de praças urbanas em municípios paraenses, a exemplo de Castanhal. O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade da arborização em seis praças do município de Castanhal (PA), com base em oito parâmetros estruturais e fitossanitários, incluindo a análise da saúde das árvores, da compatibilidade com o ambiente urbano e dos conflitos com a infraestrutura. Essa avaliação pretende fornecer informações que contribuam para um planejamento arbóreo mais eficiente, favorecendo a sustentabilidade e o bem-estar das comunidades.

METODOLOGIA

O estudo foi realizado em Castanhal, no Pará, em seis praças urbanas avaliadas por abordagens quantitativa e qualitativa. A Praça do Estrela, com 3,39 hectares, é a maior, seguida pela Praça do Cristo (1,85 hectares), Praça Dr. José João (0,94 hectares), Praça do Apeú (0,86 hectares), Praça Tiro de Guerra (0,44 hectares) e, por último, a Praça da Matriz (0,38 hectares).



Figura 1- Mapa do Pará e de Castanhal com as áreas de estudo.



Fonte: Vinícius Rosário e Rebecca Martins, (2023).

Foram selecionados oito parâmetros, incluindo contato com a fiação, deterioração do tronco, características da bifurcação, fitossanidade, compatibilidade com o meio, distância da árvore mais próxima, distância da calçada ou meio-fio, e presença de lixo, objetos e detritos, com o objetivo de avaliar a arborização urbana (adaptado de Teixeira & Nunes, 2019).

A avaliação dos parâmetros da arborização urbana foi realizada com base em classificações qualitativas padronizadas. O contato com a fiação elétrica foi categorizado em: (A) contato direto; (B) potencial de contato; e (C) ausência de contato. A deterioração do tronco foi classificada em: (A) presença de cavidades e lesões; (B) injúrias decorrentes de podas ou danos mecânicos; e (C) íntegro. A bifurcação foi avaliada como: (A) abaixo do DAP; (B) acima do DAP; e (C) ausência de bifurcação. A fitossanidade foi classificada em: (A) presença de agentes fitossanitários; e (B) indivíduos saudáveis. A compatibilidade com o meio foi categorizada em: (A) incompatível; (B) potencialmente compatível; e (C) compatível. O espaçamento entre indivíduos e em relação à infraestrutura urbana foi classificado em: (A) inferior a 2 m; (B) entre 2 e 5 m; e (C) superior a 5 m. Por fim, a presença de resíduos foi avaliada em: (A) presença de lixo, objetos ou detritos; e (B) ausência de poluição.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O censo nas praças Dr. José João, Matriz e Estrela registrou 12 (3,05%) árvores em contato com a fiação elétrica e 11 (2,79%) com potencial de contato, enquanto as demais praças não apresentaram árvores nessa condição. Ao todo, 370 árvores estavam livres de contato (TABELA 1). Ainda que os percentuais sejam baixos, a ocorrência de conflitos com a rede elétrica indica falhas no planejamento arbóreo, sobretudo na escolha e no posicionamento das espécies. O planejamento inadequado da arborização urbana, sobretudo em áreas com rede elétrica, gera conflitos que causam interrupções no fornecimento e aumentam a necessidade de manutenção. (Sant'Ana *et al.*, 2022).

Tabela 1 – Classificação dos indivíduos arbóreos quanto ao contato com a fiação elétrica nas praças, sendo: (A) contato direto; (B) potencial de contato; e (C) ausência de contato.

Praças	A	B	C
Cristo	0	0	121
Dr. José João	5	4	55
Matriz	1	0	34
Tiro de guerra	0	0	18
Estrela	6	7	115
Apeú	0	0	27
Total	12	11	370

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em relação à deterioração do tronco, os resultados indicam que na praça do Cristo foram encontrados 2 (0,50%) indivíduos com troncos injuriados, enquanto na praça Dr. José João foi identificado 1 (0,25%) indivíduo com cavidades e lesões. As demais espécies analisadas nas praças apresentaram troncos íntegros e saudáveis, totalizando 390 indivíduos (TABELA 2). Apesar do número baixo de árvores danificadas, estudos recentes em áreas urbanas brasileiras indicam que a baixa ocorrência de falhas de tronco é comum e que estas estão geralmente associadas à deterioração da madeira e defeitos estruturais (Cavalari *et al.*, 2024), reforçando que a predominância de troncos íntegros é um indicativo de boa condição estrutural da arborização.

Tabela 2 - Classificação dos indivíduos arbóreos quanto à deterioração do tronco nas praças, sendo: (A) presença de cavidades e lesões; (B) injúrias por danos mecânicos ou podas; e (C) íntegro.

Praças	A	B	C
Cristo	0	2	119
Dr. José João	1	0	63
Matriz	0	0	35
Tiro de Guerra	0	0	18
Estrela	0	0	128
Apeú	0	0	27
Total	1	2	390

Fonte: Elaborado pelos autores.

Foram identificados 12 (3,05%) indivíduos com bifurcação abaixo do DAP e 76 (19,33%) com bifurcação acima do DAP (TABELA 3).

Tabela 3 - Classificação dos indivíduos arbóreos quanto à bifurcação nas praças, sendo: (A) abaixo do DAP; (B) acima do DAP; e (C) ausência de bifurcação.

Praças	A	B	C
Cristo	2	11	108
Dr. José João	2	9	53
Matriz	0	3	32
Tiro de Guerra	3	3	12
Estrela	4	49	75
Apeú	1	1	25
Total	12	76	305

Fonte: Elaborado pelos autores.

A presença de bifurcações pode influenciar a estabilidade estrutural das árvores, especialmente quando associada a características como ângulos de inserção estreitos e presença de casca inclusa, que aumentam o risco de falhas mecânicas. No entanto, a altura da bifurcação, de forma isolada, não determina a estabilidade, sendo necessária uma avaliação estrutural mais detalhada (Koeser *et al.*, 2023).

A análise revelou que todos os 393 indivíduos nas praças estavam livres de agentes fitossanitários, indicando que, apesar de algumas plantas não estarem nas condições ideais para uma boa arborização urbana, não houve infestação (TABELA 4). Esse resultado pode estar associado a condições ambientais locais ou à menor incidência de agentes patogênicos no período avaliado. Isso contrasta com os achados de Lau e Jardim (2025), onde apenas 35,5% dos indivíduos apresentaram boa integridade física e aparentemente estavam livres de ataque de pragas e doenças, enquanto a maioria das árvores apresentou algum nível de injúria ou infestação, evidenciando que problemas fitossanitários ainda são comuns em áreas urbanas da região.

Tabela 4 - Classificação dos indivíduos arbóreos quanto à fitossanidade nas praças, sendo: (A) presença de agentes fitossanitários; e (B) indivíduos saudáveis.

Praças	A	B
Cristo	0	121
Dr. José João	0	64
Matriz	0	35
Tiro de Guerra	0	18
Estrela	0	128
Apeú	0	27
Total	0	393

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados indicaram que 116 (29,51%) árvores podem se tornar compatíveis com o ambiente mediante manejo e monitoramento adequados, enquanto 277 (70,48%) já apresentam boa compatibilidade (TABELA 5). Os indivíduos enquadrados na categoria de potencial compatibilidade apresentaram, em geral, problemas estruturais, proximidade com a fiação e espaço insuficiente para o crescimento, frequentemente associado à impermeabilização do solo por concreto. Estudos recentes em cidades brasileiras apontam situações semelhantes, nas quais conflitos com calçadas, fiação e espaço urbano comprometem a compatibilidade de algumas espécies, mesmo quando a maioria apresenta bom estado de saúde (Moraes *et al.*, 2026).

Tabela 5 - Classificação dos indivíduos arbóreos quanto à compatibilidade com o meio nas praças, sendo: (A) incompatível; (B) potencialmente compatível; e (C) compatível.

Praças	A	B	C
Cristo	0	6	115
Dr. José João	0	14	50
Matriz	0	13	22
Tiro de Guerra	0	0	18
Estrela	0	68	60
Apeú	0	15	12
Total	0	116	277

Fonte: Elaborado pelos autores.

Foram identificados 22 indivíduos (5,59%) com distância inferior a 2 m em relação ao exemplar mais próximo, concentrando-se nas praças Dr. José João e Matriz. Nas demais praças,

279 indivíduos (70,99%) apresentaram espaçamento entre 2 e 5 m, enquanto 92 (23,40%) registraram distância superior a 5 m (TABELA 6). O espaço disponível exerce influência direta sobre o crescimento das copas, uma vez que restrições físicas e ambientais podem limitar sua expansão. Espaçamentos insuficientes comprometem o desenvolvimento estrutural das árvores, evidenciando a importância de considerar o porte das espécies no planejamento de plantios (Cybula *et al.*, 2026). Esses padrões destacam a necessidade de manejo contínuo, incluindo poda, replantio ou ajustes no planejamento de novas áreas verdes, visando otimizar o crescimento e a funcionalidade das árvores.

Tabela 6 - Classificação dos indivíduos arbóreos quanto ao espaçamento entre árvores nas praças, sendo: (A) inferior a 2 m; (B) entre 2 e 5 m; e (C) superior a 5 m.

Praças	A	B	C
Cristo	0	72	49
Dr. José João	9	55	0
Matriz	13	22	0
Tiro de Guerra	0	18	0
Estrela	0	112	16
Apeú	0	0	27
Total	22	279	92

Fonte: Elaborado pelos autores.

A análise do espaçamento entre árvores e calçadas revelou que 119 indivíduos (30,27%) estão localizados a menos de 2 m, 136 (34,60%) entre 2 e 5 m, e 138 (35,11%) a mais de 5 m (TABELA 7). A elevada proporção de árvores plantadas a menos de 2 metros indica inadequação no planejamento arbóreo, aumentando o risco de danos à infraestrutura e a necessidade de intervenções de manejo. Em contrapartida, indivíduos com maior afastamento tendem a apresentar menor potencial de conflito, dependendo do porte das espécies. Resultados semelhantes foram observados por Alves *et al.* (2024), que associam o plantio inadequado ao aumento de conflitos com a infraestrutura urbana.

Esses resultados reforçam a importância de adequar o porte das espécies ao espaço disponível, a fim de minimizar conflitos e garantir o desenvolvimento adequado da arborização. Estudos recentes indicam que árvores de grande porte ou com características fenotípicas específicas têm maior potencial de causar danos à infraestrutura urbana quando plantadas em espaços restritos. Espécies com maior diâmetro e sistema radicular bem desenvolvido têm maior probabilidade de gerar conflitos com calçadas, especialmente quando plantadas próximas à infraestrutura (Shi, *et al.* 2023; Shi *et al.* 2024).

Tabela 7 - Classificação dos indivíduos arbóreos quanto à distância em relação à calçada ou meio-fio nas praças, sendo: (A) inferior a 2 m; (B) entre 2 e 5 m; e (C) superior a 5 m

Praças	A	B	C
Cristo	0	0	121
Dr. José João	16	48	0
Matriz	13	22	0
Tiro de Guerra	0	18	0
Estrela	75	36	17
Apeú	15	12	0
Total	119	136	138

Fonte: Elaborado pelos autores.

A análise revelou que 26 (6,61%) árvores apresentavam lixo, objetos e detritos, prejudicando sua estrutura, enquanto 368 (93,38%) indivíduos estavam livres de resíduos, o que indica uma boa higienização nas praças (TABELA 8). A presença de lixo é atribuída a falhas na educação ambiental dos cidadãos, mas pode ser facilmente removida com a intervenção da Prefeitura. De maneira geral, as praças demonstraram um sistema eficiente de coleta de resíduos, especialmente na praça do Apeú. Em contraste, o estudo de Brazão *et al.* (2021) em Maracanã (Pará) identificou 226 indivíduos afetados por lixo, evidenciando a falta de políticas adequadas de coleta em centros urbanos.

Tabela 8 - Classificação dos indivíduos arbóreos quanto à presença de lixo, objetos e detritos nas praças, sendo: (A) presença de resíduos; e (B) ausência de poluição.

Praças	A	B
Cristo	5	116
Dr. José João	8	56
Matriz	2	33
Tiro de Guerra	4	14
Estrela	7	121
Apeú	0	27
Total	26	367

Fonte: Elaborado pelos autores.

A avaliação qualitativa não apenas retrata a situação atual das árvores, mas também aponta caminhos para um manejo mais eficiente. A implementação de um planejamento arbóreo baseado nos dados coletados pode promover a biodiversidade e a sustentabilidade ambiental, melhorando a qualidade de vida das comunidades locais. Reconhecendo a arborização como parte integral do tecido urbano, é possível garantir que as árvores desempenhem funções estéticas, ecológicas e sociais. Assim, a continuidade do monitoramento e a adoção de estratégias adequadas de manejo são essenciais para um futuro sustentável da arborização urbana (Ebisawa *et al.*, 2024).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da arborização urbana em Castanhal revelou aspectos importantes sobre a saúde das árvores e sua compatibilidade com o ambiente, visando um planejamento arbóreo mais eficaz. Embora algumas árvores apresentem problemas, como contato com fiações e bifurcações abaixo do diâmetro à altura do peito (DAP), a maioria está livre de agentes fitossanitários, indicando que o manejo fitossanitário é adequado. A compatibilidade das árvores com o meio ambiente é promissora, mas foram identificados problemas como espaçamento inadequado e proximidade excessiva das árvores às calçadas, o que pode comprometer sua saúde. Além disso, a presença de lixo e detritos mostra a necessidade de um cuidado contínuo com a limpeza urbana.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Universidade do Estado do Pará pelo apoio institucional e pela infraestrutura disponibilizada, fundamentais para a execução desta pesquisa. Agradecem, ainda, aos estudantes envolvidos, cuja colaboração foi essencial para o desenvolvimento das atividades e consolidação dos resultados.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. P. *et al.* Composição da arborização urbana dos bairros Pompeia, Gonzaga e Boqueirão da cidade de Santos/SP. **REVSBAU**, Curitiba – PR, v.16, n.4, p. 01-16, 2021.
- ALVES, L. P. *et al.* Arborização urbana em Teixeira de Freitas-BA: um estudo de caso visando subsidiar o desenvolvimento sustentável no planejamento urbano. **Revista de Geografia**, [S. l.], v. 41, n. 2, p. 223–248, 2024. DOI: [10.51359/2238-6211.2024](https://doi.org/10.51359/2238-6211.2024)
- ALVES, L. P.; COSTA, J. A. S.; COSTA, C. B. N. Arborização urbana dominada por espécies exóticas em um país megadiverso: falta de planejamento ou desconhecimento? **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 16, n. 3, p. 1304–1375, 2023. DOI: [10.26848/rbgf.v16.3.p1304-1375](https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.3.p1304-1375)
- BOBROWSKI, R. *et al.* Methods for the estimation of sampling sufficiency in urban forest inventories: The case of non-patterned compositions of trees on sidewalks. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 70, p. 127523, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127523>
- BRAZÃO, S. *et al.* Avaliação da arborização urbana no município de Maracanã, Pará. **Nova Revista Amazônica**, v. 9, n. 3, p. 181-199, 2021.
- CASTANHAL-PA HISTÓRICO. IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Acesso em: 02 de fev. de 2023. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/>
- CAVALARI, A. A. *et al.* Predicting tree failure to define roles and guidelines in risk management, a case study in São Paulo/Brazil. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 91, p. 128181, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.128181>
- CYBULA, P. *et al.* Impervious Surfaces Do Not Impact Urban Tree Crown Growth. **Forests**, v. 17, n. 1, p. 111, 2026. DOI: <https://doi.org/10.3390/f17010111>
- EBISAWA, S. M. *et al.* DIAGNÓSTICO QUALITATIVO E QUANTITATIVO DA ARBORIZAÇÃO VIÁRIA DA CIDADE DE LUZ – MG. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, [S. l.], v. 19, 2024. DOI: 10.5380/revsbau.v19i0.95121. DOI: <https://doi.org/10.5380/revsbau.v19i0.95121>
- KOESER, A. K. *et al.* Defective or just different? Observed storm failure in four urban tree growth patterns. **Forests**, v. 14, n. 5, p. 988, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/f14050988>
- LAU, A. V.; JARDIM, M. A. Florística, estrutura e fitossanidade da comunidade arbórea do Parque Ambiental Antônio Lourenço da Silva Danúbio, Ananindeua, Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 18, n. 3, p. 1970–1981, 2025. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v18.3.p1970-1981>
- LIANG, D.; HUANG, G. Influence of urban tree traits on their ecosystem services: a literature review. **Land**, v. 12, n. 9, p. 1699, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12091699>
- MA, B. *et al.* A global basis of urban tree inventories: What comes first the inventory or the program. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 60, p. 127087, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127087>

MELO, F. P. S. *et al.* Percepção da população de São João Del-Rei, sobre a arborização urbana no município. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, v. 24, n. 1, p. e12822-e12822, 2026. DOI: <https://doi.org/10.55905/oelv24n1-024>

MORAIS, R. F. *et al.* Street-tree composition, infrastructure conflicts and carbon storage in a medium-sized Brazilian city. **Trees, Forests and People**, p. 101167, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2026.101167>

SANT ANA, W. O. *et al.* Methodology for Defining Priority Locations for Carrying out a Forest Inventory in Points with Conflict between Urban Tree Planting and the Electricity Grid. **Energies**, v. 15, n. 3, p. 684, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15030684>

SHI, F. *et al.* Root damage of street trees in urban environments: An overview of its hazards, causes, and prevention and control measures. **Science of the Total Environment**, v. 904, p. 166728, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166728>

SHI, F. *et al.* Key factors influencing street tree root conflicts with planting pits and sidewalks in old Guangzhou, China. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 101, p. 128538, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166728>

SOUSA, K. D. L. Análise da arborização urbana na Avenida Governador Wilson Leite Braga, Conceição-PB. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso.

SOUSA, L. M. R. *et al.* Análise qualitativa da arborização de praças centrais do município de Santarém-Pará. **Scientia Naturalis**, v. 5, n. 2, 2023. DOI: <https://doi.org/10.29327/269504.5.2-15>

TATAGIBA, S. D. *et al.* Inventário qualiquantitativo da arborização na avenida Perimetral de acesso viário ao centro urbano do município de Tucuruí, Pará. **Scientific Electronic Archives**, v. 15, n. 7, 2022.

TEIXEIRA, I. F.; SANTOS; NUNES, J. J. Método Expedito De Análise Qualitativa Da Arborização Da Praça Eufrásio Correia, Curitiba-PR. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 14, n. 3, 2019.

Capítulo 02

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO NA ESTRUTURA DE *Ceiba pentandra* EM ÁREAS PÚBLICAS, PRIVADAS E COMUNITÁRIAS NO ESTADO DO PARÁ.

Luiz Felipe Silva Barbosa, Jhêmilly da Silva dos Santos, Natalia do Nascimento Matos, Madson Alan Rocha de Souza e Raphael Lobato Prado Neves.

Resumo: As florestas tropicais desempenham papel fundamental no equilíbrio ambiental e no ciclo hidrológico, sendo essenciais para a manutenção da biodiversidade e dos estoques de carbono. Este estudo teve como objetivo analisar a distribuição espacial de *Ceiba pentandra* no estado do Pará, a partir de dados de inventários florestais, avaliando a influência da temperatura e da precipitação sobre parâmetros estruturais. Utilizou-se abordagem quantitativa, com estatística descritiva, análise de correlação e técnicas de geoprocessamento em ambiente SIG. Os resultados indicaram padrão espacial agregado heterogêneo de ocorrência da espécie. A precipitação apresentou maior relação com a estrutura da espécie, enquanto a temperatura demonstrou baixa influência. Conclui-se que a distribuição de *C. pentandra* no Pará apresentou padrão espacial agregado, associado principalmente à disponibilidade hídrica e à heterogeneidade ambiental.

Palavras-chave: Distribuição espacial. Exploração de impacto reduzido. Floresta tropical.

L. F. S. Barbosa  Universidade do Estado do Pará Paragominas, PA, Brasil. e-mail: felipelsv1212@gmail.com ORCID: 0009-0005-0772-4874.

J. S. Santos  Universidade do Estado do Pará Paragominas, PA, Brasil. e-mail: jhemilly0909ss@gmail.com ORCID: 0009-0008-7329-8174.

N. N. Matos  Universidade do Estado do Pará Paragominas, PA, Brasil. e-mail: natalia.matos055@gmail.com ORCID: 0009-0006-4406-3742.

M. A. R. Sousa  Universidade do Estado do Pará. Paragominas, PA, Brasil. e-mail: madsonalan@uepa.br. ORCID: 0000-0002-7560-3274.

R. L. P. Neves  Universidade do Estado do Pará. Paragominas, PA, Brasil. e-mail: prado.neves@uepa.br. ORCID: 0000-0002-0997-4851.

© Este trabalho integra a obra: “Avanços e Desafios nas Ciências Ambientais (vol. 02)”, publicado pela Reconecta Soluções em 2026, disponível para acesso gratuito em: www.reconectasolucoes.com.br/editora

INTRODUÇÃO

As florestas tropicais são essenciais ao equilíbrio ambiental global, concentrando elevada biodiversidade e sustentando processos ecológicos fundamentais (Pan *et al.*, 2024). Regulam o ciclo hidrológico por meio da evapotranspiração, influenciando a distribuição das chuvas (Spracklen; Garcia-Carreras, 2015). Também atuam como importantes sumidouros de carbono, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas (Heinrich *et al.*, 2023). Com isso, evidencia-se a necessidade de discutir estratégias voltadas à sua conservação e ao uso sustentável desses recursos naturais.

As principais ameaças às florestas tropicais são a expansão agropecuária, a exploração madeireira e a fragmentação de habitats, processos que intensificam o desmatamento e a degradação ambiental (Soares *et al.*, 2025). A exploração madeireira, quando não acompanhada de um manejo adequado pode gerar danos à estrutura da floresta, redução da biodiversidade e compromete funções ecológicas essenciais (Nanda *et al.*, 2026). Assim, surge o manejo florestal sustentável como uma alternativa vital pois permite a exploração dos recursos madeireiros de forma planejada e controlada.

O manejo florestal sustentável é apresentado como uma alternativa tecnicamente viável baseada em inventários florestais, técnicas de exploração de impacto reduzido (EIR) e ciclos de corte planejados (Condé *et al.*, 2022; Rodrigues *et al.*, 2024). Com o crescente avanço em análises espaciais, tornou-se possível avaliar padrões na distribuição de espécies em larga escala pois estas utilizam Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e softwares de georreferenciamento (Coitinho *et al.*, 2021). Porém, ainda são raros estudos que integrem dados ecológicos e geográficos em escala estadual no Pará, principal polo madeireiro da Amazônia.

O estado do Pará destaca-se como uma das principais áreas da produção madeireira na Amazônia, com histórico de expansão da atividade desde a década de 1970 e forte integração aos mercados nacionais e internacionais, evidenciando sua relevância econômica e produtiva (Moraes *et al.*, 2025). Além disso, o estado concentra grande parte das áreas sob manejo florestal sustentável na Amazônia, reunindo a maioria das concessões florestais do país, as quais estão associadas à elaboração e execução de PMFS (Soares; Bezerra, 2021).

A análise integrada de inventários florestais na Amazônia permite compreender a dinâmica entre disponibilidade de estoques e pressões de exploração, uma vez que o manejo florestal depende da quantificação do volume e do carbono das espécies comerciais (Romero *et al.*, 2021). A elevada biodiversidade amazônica, associada à sua relevância econômica por meio da produção de recursos florestais de alto valor, destaca a região como uma importante área para estudos que integram o uso sustentável dos recursos (Silva; Vaz; Santos, 2025).

Espécies de alto valor comercial, como *Ceiba pentandra*, apresentam grande relevância econômica na Amazônia e vêm sendo amplamente exploradas para diferentes finalidades, o que intensifica a pressão sobre seus estoques naturais (Pinheiro *et al.*, 2021). Nesse contexto, compreender os padrões de ocorrência e os fatores que influenciam sua distribuição torna-se fundamental para subsidiar estratégias de manejo e conservação. Assim, o presente estudo tem como objetivo analisar a distribuição espacial de *C. pentandra* em áreas públicas, privadas e comunitárias no estado do Pará, a partir de dados de inventário florestal, avaliando a relação entre variáveis climáticas (temperatura e precipitação) e parâmetros estruturais (DAP e altura).

METODOLOGIA

O estudo foi baseado em dados de inventários florestais de Planos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) autorizados no estado do Pará. A base de dados,

georreferenciada e abrangente, foi obtida a partir de uma colaboração com a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS). O banco de dados inclui informações detalhadas para cada indivíduo-alvo de exploração, árvores a serem colhidas, e remanescentes, com variáveis como espécie, volume, diâmetro, altura e localização geográfica.

A partir desse acervo, os dados foram filtrados para a espécie de interesse, *C. pentandra*. Foram extraídas informações como localização (coordenadas geográficas X e Y), área das parcelas (ha), número de indivíduos, diâmetro à altura do peito (DAP), altura comercial, qualidade do fuste, além de variáveis climáticas associadas, como temperatura e precipitação anual. Também foram consideradas observações de campo registradas na base de dados.

O estudo foi conduzido com abordagem quantitativa (Creswell, 2010), utilizando técnicas de estatística descritiva e inferencial para análise da relação entre variáveis ambientais e estruturais de *C. pentandra* no estado do Pará.

Com os dados organizados, a análise espacial foi realizada utilizando o software de Sistema de Informações Geográficas (SIG) QGIS versão 3.44. As coordenadas geográficas dos indivíduos de *C. pentandra* foram importadas para o QGIS, permitindo o mapeamento da ocorrência da espécie em todo o estado do Pará. O mapeamento temático foi elaborado para ilustrar a distribuição da espécie por mesorregião e bacias hidrográficas. Realizaram-se análises de densidade para identificar e visualizar as áreas de maior concentração da espécie no estado.

As variáveis climáticas de temperatura média anual e precipitação média anual foram obtidas da base de dados WorldClim e integradas ao Sistema de Informação Geográfica (SIG). Ademais, foi realizada regressão linear simples, entre as variáveis climáticas e dendrométricas, utilizando a função CORREL, com o objetivo de avaliar a intensidade e a direção das associações entre temperatura, precipitação, DAP e altura.

A análise da estatística descritiva foi realizada em planilha eletrônica, com o auxílio de tabelas dinâmicas, permitindo a organização e síntese dos dados por área. Foram calculadas medidas descritivas, incluindo média, valores mínimos e máximos para as variáveis dendrométricas (DAP e altura) e climáticas (temperatura e precipitação).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

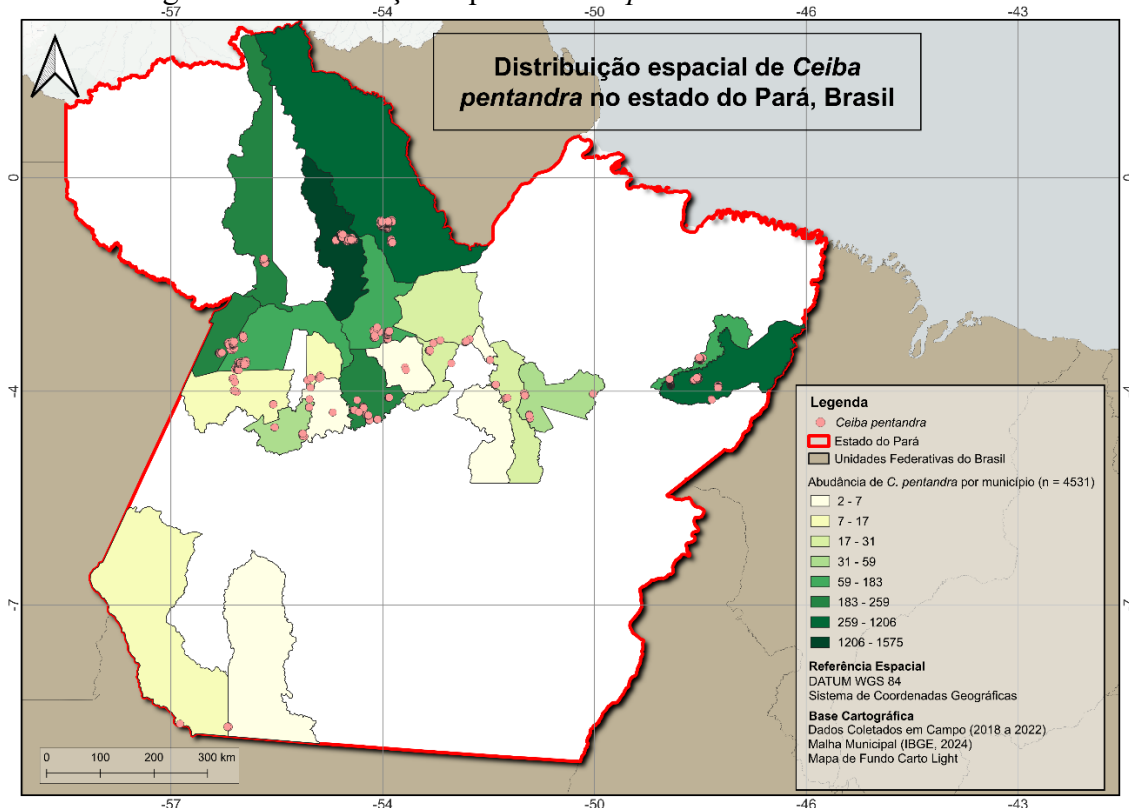
A distribuição espacial de *C. pentandra* no estado do Pará evidencia um padrão heterogêneo de ocorrência, com concentração de registros em regiões específicas do território (Figura 1). Observa-se maior densidade de indivíduos associada a municípios localizados nas porções centro-norte e nordeste do estado, coincidindo com áreas de maior abundância relativa, representadas pelas classes mais elevadas no gradiente cartográfico.

No total, foram registrados 4.531 indivíduos distribuídos ao longo do estado, evidenciando uma ampla, porém heterogênea, distribuição espacial da espécie em escala regional. Esse padrão não aleatório indica forte influência de variáveis ambientais e espaciais na organização da espécie, o que está em consonância com o entendimento de que, em florestas tropicais, a distribuição das espécies responde a gradientes climáticos e ambientais, especialmente à disponibilidade hídrica (Esquivel-Muelbert *et al.*, 2019; Gatti *et al.*, 2021; Spletzer *et al.*, 2023).

A maior concentração de indivíduos em áreas com maior precipitação sugere associação positiva entre a ocorrência da espécie e ambientes mais úmidos, indicando que a disponibilidade hídrica atua como fator condicionante de sua distribuição. Esse resultado é consistente com estudos que demonstram que espécies arbóreas tropicais apresentam distribuição espacial agregada e forte dependência de fatores ambientais,

especialmente condições edáficas e hídricas, que regulam seu estabelecimento e desempenho ecológico (Wédjangnon *et al.*, 2020; Bezerra *et al.*, 2021).

Figura 1 – Distribuição espacial de *C. pentandra* no estado do Pará.



Fonte: autores (2026).

Esse padrão pode ser explicado por processos ecológicos relacionados ao recrutamento e ao estabelecimento inicial, nos quais a disponibilidade de água reduz o estresse hídrico e favorece o sucesso das plântulas. A influência da água sobre processos fisiológicos essenciais, como fotossíntese, transpiração e expansão celular, reforça seu papel como fator limitante ao desenvolvimento vegetal (Jacinto Junior; Lucena, 2022). Além disso, a variabilidade na oferta hídrica, associada à sazonalidade da precipitação e à interceptação pela vegetação, modula a regeneração, o crescimento e a organização espacial das espécies (Arcos *et al.*, 2025).

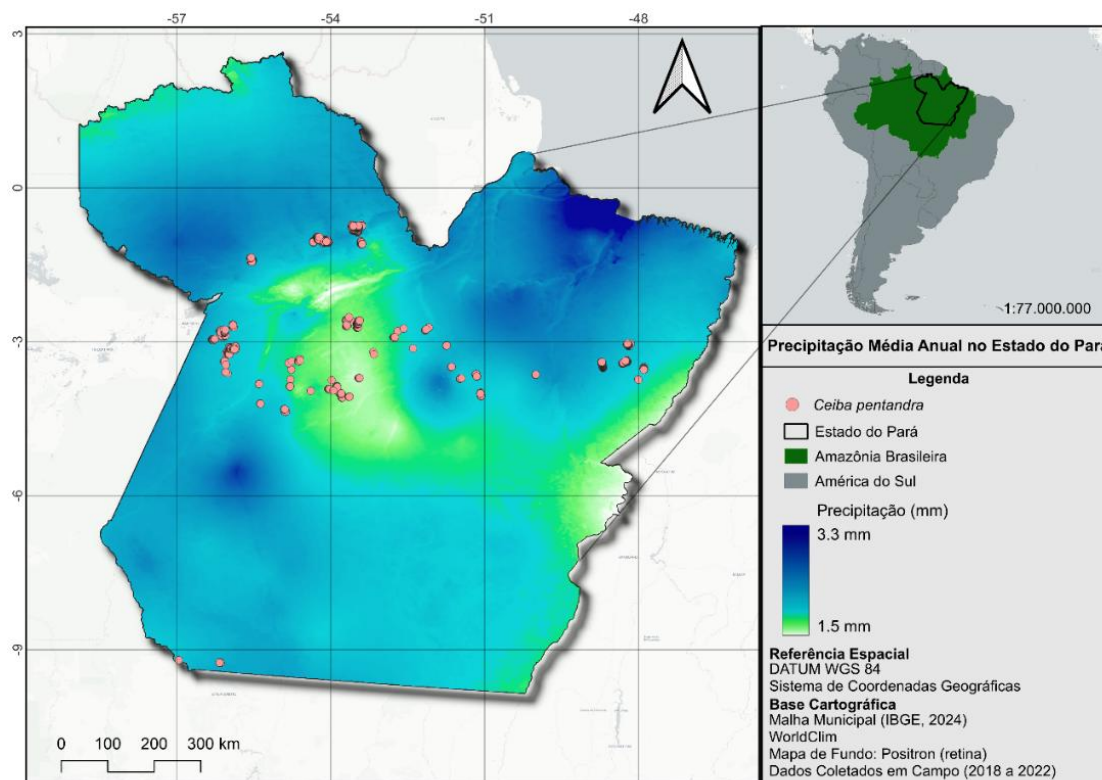
Ambientes mais úmidos e climaticamente estáveis tendem, portanto, a favorecer o estabelecimento e a persistência de espécies arbóreas de grande porte (Nagy *et al.*, 2021), como *C. pentandra*, cuja ocorrência reflete a interação entre condições ambientais, dinâmica ecológica e características biológicas da espécie, incluindo variações germinativas entre procedências (Jansen; Romero; Junior, 2024).

A precipitação média anual associada à ocorrência de *C. pentandra* no estado do Pará (Figura 2) apresentou variação entre aproximadamente 1617 mm e 2272 mm, com média em torno de 2078 mm. Observa-se maior concentração de registros da espécie em áreas com valores intermediários a elevados de precipitação, sobretudo na faixa entre cerca de 1900 mm e 2200 mm.

Áreas com menores índices pluviométricos apresentam ocorrência mais esparsa ou reduzida de *C. pentandra*, indicando uma distribuição espacial irregular ao longo do território paraense. Embora o padrão espacial observado sugira associação entre a ocorrência da espécie e o regime de precipitação, as correlações identificadas foram

fracas, indicando baixa capacidade explicativa da variável pluviométrica sobre os parâmetros estruturais analisados. Dessa forma, a precipitação pode atuar como um fator ambiental associado à distribuição da espécie, mas não como elemento determinante isolado.

Figura 2 – Precipitação média anual nas áreas de ocorrência de *C. pentandra* no estado do Pará.



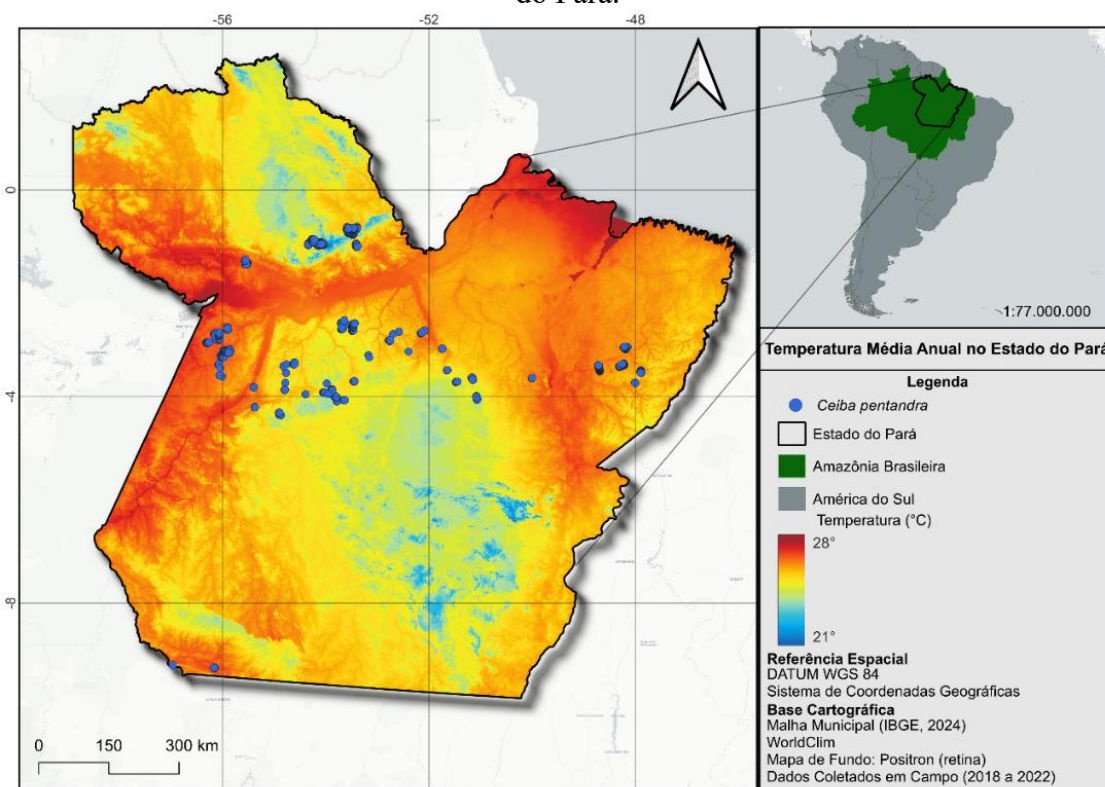
Fonte: autores (2026).

O padrão espacial agregado em áreas de maior precipitação pode estar relacionado a processos ecológicos associados à disponibilidade hídrica e ao recrutamento da espécie. A germinação e o estabelecimento inicial são influenciados pelas condições ambientais, sendo a disponibilidade de água importante para reduzir o estresse hídrico nas fases iniciais e favorecer o desenvolvimento das plântulas (Kakpo; Ganglo, 2025; Vydhehi et al., 2025).

Além disso, características genéticas, condições edáficas e variações microambientais podem influenciar o vigor das sementes, o crescimento e a permanência da espécie em diferentes ambientes amazônicos (Jansen; Romero; Junior, 2024). Assim, a distribuição observada provavelmente resulta da interação entre múltiplos fatores ambientais, e não exclusivamente da disponibilidade hídrica, reforçando a complexidade ecológica associada à dinâmica espacial da espécie no estado do Pará.

A temperatura média anual associada à ocorrência de *C. pentandra* no estado do Pará (Figura 3) apresentou baixa variação, com valores entre aproximadamente 25°C e 27°C e média em torno de 26°C. Observa-se distribuição relativamente homogênea da espécie ao longo desse intervalo térmico, sem concentração expressiva em faixas específicas de temperatura.

Figura 3 – Temperatura média anual nas áreas de ocorrência de *C. pentandra* no estado do Pará.



Fonte: autores (2026).

A análise da distribuição espacial de *C. pentandra* em relação à temperatura média anual no estado do Pará evidencia um padrão de ocorrência distribuído predominantemente em áreas com temperaturas elevadas, típicas da região amazônica. Observa-se que a maior parte dos registros da espécie está concentrada em faixas térmicas intermediárias a altas, especialmente nas porções centro-norte do estado, onde predominam temperaturas mais homogêneas ao longo do ano.

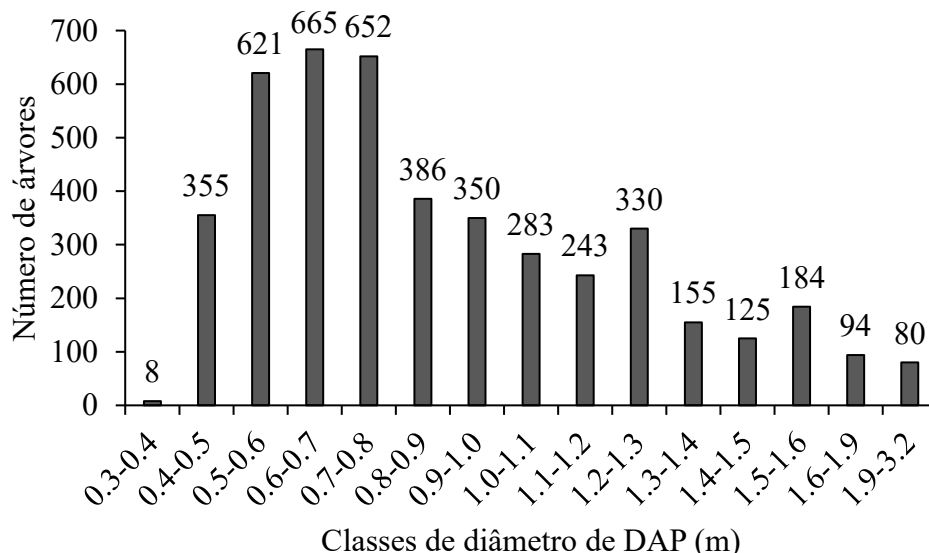
Em contraste, regiões que apresentam menores temperaturas médias, localizadas principalmente em áreas específicas do sul e sudoeste do estado, exibem menor ocorrência de indivíduos, indicando uma distribuição espacial não uniforme em relação ao gradiente térmico. Apesar dessa tendência, nota-se que a espécie ocorre em uma faixa relativamente ampla de temperaturas, sugerindo certa tolerância térmica.

O sistema solo–planta–atmosfera é fortemente influenciado pelas condições climáticas regionais, desempenhando papel fundamental na determinação da distribuição e dinâmica das espécies (Martorano *et al.*, 2017). Nesse contexto, a biodiversidade da Amazônia paraense assume relevância estratégica ao prover serviços ecossistêmicos em escala continental, como regulação hídrica, fluxo de energia e transporte de massa (Martorano *et al.*, 2021). Assim, a compreensão da tipologia climática do estado torna-se essencial para interpretar os padrões ecológicos e o comportamento de espécies florestais.

A amplitude térmica de ocorrência de *C. pentandra* em ambientes tropicais indica elevada tolerância a variações de temperatura, sendo registrada em regiões com médias anuais entre aproximadamente 20°C e superiores a 27°C. Embora a temperatura influencie processos fisiológicos específicos, como a floração, que depende de valores mínimos noturnos, a distribuição da espécie está mais fortemente associada a fatores ambientais como disponibilidade hídrica e características do solo (Neves *et al.*, 2003).

A distribuição diamétrica dos indivíduos de *C. pentandra* por classes de DAP e altura (Figura 4) evidencia maior concentração nas classes intermediárias. Para o DAP, os valores variam de 8 indivíduos na classe inicial (0,3–0,4 m) até máximos de 665 e 652 indivíduos nas classes de 0,6–0,7 m e 0,7–0,8 m, respectivamente, seguidos por redução progressiva nas classes superiores, com valores como 386, 350, 283 e 243 indivíduos, atingindo frequências inferiores a 100 indivíduos nas maiores classes diamétricas.

Figura 3 – Distribuição diamétrica dos indivíduos de *C. pentandra* por classes de DAP.



Fonte: autores (2026).

A distribuição diamétrica de *C. pentandra* apresentou padrão unimodal assimétrico, com maior concentração de indivíduos nas classes intermediárias de DAP e menor frequência nas classes iniciais e superiores. Esse comportamento indica predominância de indivíduos em estágio intermediário de desenvolvimento, sugerindo recrutamento ativo, porém com baixa representação de indivíduos jovens, possivelmente associada a limitações no estabelecimento ou à subamostragem. A redução nas classes superiores reflete a menor proporção de indivíduos que atingem grandes dimensões, em função da mortalidade natural e da competição por recursos.

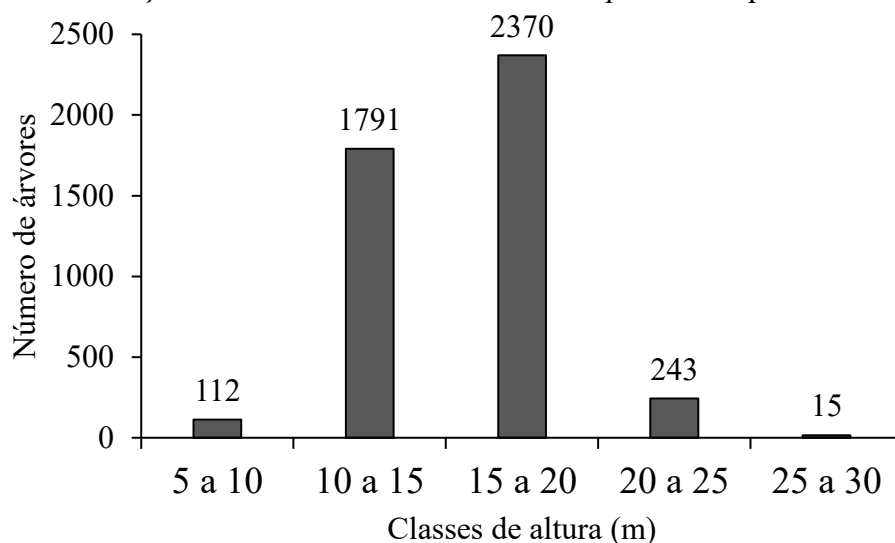
A relação entre os valores médios e os extremos observados nos gráficos indica uma distribuição assimétrica dos dados, com maior concentração de indivíduos nas classes intermediárias de diâmetro. A predominância de valores médios inferiores aos máximos reflete essa assimetria, evidenciando maior frequência de indivíduos em estágios intermediários de desenvolvimento.

Esse tipo de distribuição é frequentemente associado a formações florestais tropicais naturais, nas quais a estrutura diamétrica tende a apresentar padrão semelhante ao “J invertido” ou próximo disso, indicando manutenção da regeneração e renovação populacional ao longo do tempo (Santana *et al.*, 2011). A predominância de indivíduos em classes menores e intermediárias pode estar relacionada a fatores como disponibilidade de luz, competição intraespecífica e condições ambientais que favorecem o estabelecimento de novos indivíduos (Costa *et al.*, 2021).

Esse padrão é comum em florestas tropicais heterogêneas, onde a estrutura populacional resulta da interação entre recrutamento, crescimento e mortalidade (Poorter *et al.*, 2021; Xavier *et al.*, 2022). Assim, os resultados indicam uma população em

dinâmica ativa, com predominância de indivíduos em crescimento e dependente das condições ambientais para sua manutenção estrutural.

Figura 5 – Distribuição diamétrica dos indivíduos de *C. pentandra* por classes de altura.



Fonte: autores (2026).

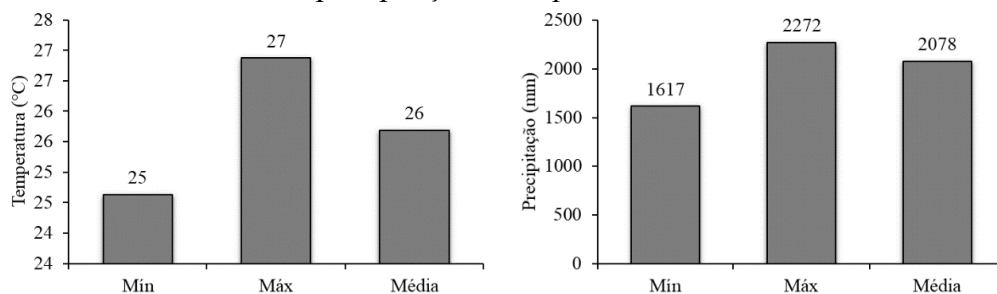
A distribuição dos indivíduos de *C. pentandra* por classes de altura evidenciou maior concentração nas classes intermediárias, com pico na classe de 15 a 20 m ($n = 2370$), seguida pela classe de 10 a 15 m ($n = 1791$), enquanto as classes extremas apresentaram baixa frequência (112 indivíduos entre 5 e 10 m e 15 entre 25 e 30 m). Esse padrão indica predominância de indivíduos em estágio intermediário de desenvolvimento, sugerindo dinâmica populacional ativa, com menor representação de indivíduos jovens e de grande porte. A baixa frequência nas classes iniciais pode estar associada à limitação de abertura de clareiras ou à subamostragem de indivíduos menores, enquanto a redução nas classes superiores reflete restrições ao crescimento máximo e à longevidade.

Esse comportamento é consistente com estudos recentes que apontam a influência de fatores como dinâmica de clareiras, competição por luz e estratégias funcionais das espécies na estrutura vertical de florestas tropicais (Pugh *et al.*, 2019; Hubau *et al.*, 2020). Além disso, diferenças nas estratégias de crescimento e alocação de biomassa entre espécies afetam diretamente a progressão nas classes de altura, contribuindo para a concentração de indivíduos em faixas intermediárias (Meira-Neto *et al.*, 2019; Rozendaal *et al.*, 2019).

Em síntese, a estrutura vertical de *C. pentandra* no estado paraense é marcada pela predominância de indivíduos em classes intermediárias de altura, refletindo o equilíbrio entre crescimento, competição e limitações ao desenvolvimento máximo. Esse padrão indica uma população em dinâmica ativa, na qual a progressão estrutural é condicionada por múltiplos fatores ecológicos, reforçando a complexidade dos processos que regulam a organização das florestas tropicais (Martins *et al.*, 2018).

Os parâmetros estatísticos indicam baixa variabilidade da temperatura média anual no estado do Pará (Figura 6), com valores entre 25°C e 27°C e média de 26°C, evidenciando reduzida amplitude térmica e relativa homogeneidade espacial. Em contraste, a precipitação anual apresentou maior variabilidade, com valores entre 1617 mm e 2272 mm e média de 2078 mm, indicando heterogeneidade na distribuição das chuvas e a presença de diferentes regimes hídricos ao longo da paisagem.

Figura 6 – Parâmetros estatísticos (mínimo, máximo e média) de temperatura e precipitação de *C. pentandra*.



Fonte: autores (2026).

A reduzida variabilidade da temperatura indica que essa variável se manteve relativamente homogênea entre as áreas analisadas, não configurando um fator ambiental determinante para a diferenciação no desenvolvimento de *C. pentandra*. Porém, a maior amplitude observada na precipitação sugere maior heterogeneidade na disponibilidade hídrica, o que pode exercer influência mais significativa sobre o crescimento da espécie, uma vez que variações no regime pluviométrico tendem a promover respostas distintas no desenvolvimento estrutural das plantas (Campos; Santos; Nacarath, 2021).

A disponibilidade hídrica constitui um fator determinante para o desenvolvimento vegetal, influenciando diretamente o crescimento em diâmetro e altura. Nesse sentido, áreas com maior precipitação tendem a favorecer o desenvolvimento de indivíduos de maior porte, enquanto condições de menor disponibilidade de água podem limitar esse crescimento (Nagy *et al.*, 2021). Adicionalmente, a variabilidade na oferta hídrica atua na dinâmica de recrutamento, sobrevivência e competição entre indivíduos, contribuindo para a estrutura e organização das comunidades florestais.

Em síntese, os resultados indicam que a distribuição e o desenvolvimento de *C. pentandra* estão mais fortemente associados à disponibilidade hídrica do que à variação térmica em escala regional. A ocorrência de indivíduos de maior porte em áreas com maior disponibilidade de água reforça a importância do regime pluviométrico como fator determinante na dinâmica ecológica da espécie, indicando que a interação entre condições hídricas e características ambientais locais é fundamental para compreender sua distribuição no estado do Pará.

Os resultados da regressão linear indicaram correlações negativas entre as variáveis climáticas e os parâmetros estruturais de *C. pentandra* (Tabela 1).

Tabela 1 - Coeficientes de correlação Pearson, determinação e significância estatística entre variáveis climáticas e parâmetros estruturais de *C. pentandra* no estado do Pará.

Variáveis	ρ	R^2	p-valor
Temperatura x DAP	-0,26	0,067	<0,001
Temperatura x Altura	-0,12	0,013	<0,001
Precipitação x Altura	-0,37	0,138	<0,001
Precipitação DAP	-0,03	0	0,047

Fonte: autores (2026).

A relação entre temperatura e DAP apresentou correlação fraca ($\rho = -0,26$), com baixo poder explicativo ($R^2 = 0,067$), enquanto a relação entre temperatura e altura

demonstrou correlação muito fraca ($\rho = -0,12$; $R^2 = 0,013$). Para a precipitação, observou-se correlação negativa fraca com a altura ($\rho = -0,37$), representando o maior coeficiente obtido entre as variáveis analisadas, embora ainda com baixa capacidade explicativa ($R^2 = 0,138$). Já a relação entre precipitação e DAP apresentou correlação praticamente nula ($\rho = -0,03$; $R^2 = 0$).

Os coeficientes obtidos sugerem que o aumento das variáveis climáticas está associado a uma leve redução nos atributos estruturais, embora essa tendência não seja expressiva na maioria dos casos. Destaca-se que a relação entre precipitação e altura apresentou a maior magnitude ($-0,37$), indicando uma associação inversa mais evidente quando comparada às demais variáveis, ainda que classificada como fraca. Por outro lado, as correlações envolvendo o DAP, especialmente com a precipitação ($-0,03$), indicam praticamente ausência de relação linear.

A baixa intensidade das correlações reforça que variáveis climáticas isoladas apresentam capacidade limitada de explicar o desenvolvimento estrutural de *C. pentandra*. Espécies de grande porte, como *C. pentandra*, apresentam elevada tolerância térmica, sendo sua distribuição mais associada a fatores como disponibilidade hídrica e condições edáficas (Wédjangnon *et al.*, 2020). Assim, os padrões estruturais da espécie tendem a ser determinados por uma combinação de fatores ambientais e ecológicos, e não por variáveis climáticas isoladas.

Em síntese, os resultados indicam que as variáveis climáticas analisadas exercem influência limitada sobre o DAP e a altura de *C. pentandra*, evidenciada pelas correlações fracas e predominantemente negativas. Embora a precipitação apresente relação ligeiramente mais expressiva com a altura, sua capacidade explicativa ainda é reduzida, reforçando a necessidade de considerar múltiplos fatores na interpretação dos padrões estruturais da espécie. Dessa forma, a dinâmica de crescimento e distribuição da população está associada à interação entre variáveis ambientais, destacando o caráter multifatorial dos ecossistemas florestais tropicais.

O padrão de distribuição agregado de *C. pentandra* pode estar relacionado a processos ecológicos associados à disponibilidade hídrica e ao recrutamento da espécie (Silveira; Netto; Marengo, 2023). Com isso, observa-se à vulnerabilidade da espécie frente às mudanças climáticas, uma vez que cenários de redução ou maior irregularidade da precipitação podem comprometer o recrutamento e o estabelecimento de novos indivíduos, afetando a dinâmica populacional a longo prazo (El-Hashash; El-Absy, 2025).

A gestão espacial do recurso florestal, considerando que a ocorrência concentrada em ambientes mais favoráveis pode levar à exploração seletiva dessas áreas (Orlandi; Santos, 2022). Esse padrão reforça a importância de práticas de manejo florestal sustentável que considerem a heterogeneidade ambiental, evitando a superexploração de populações localmente densas e garantindo a manutenção dos processos de regeneração natural (Duarte *et al.*, 2024). Nesse sentido, políticas públicas devem priorizar o ordenamento territorial e o monitoramento contínuo dessas áreas, de modo a conciliar uso econômico e conservação.

Os resultados deste estudo indicam que a distribuição de *C. pentandra* no Pará não ocorre de forma aleatória, mas está associada a condições ambientais que favorecem seu estabelecimento (Silveira; Marengo, 2023). Esse padrão reforça que a ocorrência e a dinâmica da espécie são resultado da interação entre fatores climáticos, processos de recrutamento e características ecológicas que condicionam sua regeneração e permanência na paisagem (Jesus *et al.*, 2025). Sob essa perspectiva, os achados não se limitam à compreensão da espécie em escala regional, mas contribuem para o entendimento de processos ecológicos mais amplos que estruturam a distribuição de árvores tropicais em ambientes amazônicos.

As pesquisas futuras devem avançar na integração de outras variáveis ambientais, como tipo de solo, topografia e histórico de uso da terra, a fim de ampliar a explicação sobre os mecanismos que determinam a ocorrência da espécie. Essa abordagem pode subsidiar estratégias de manejo e conservação aplicáveis a outras florestas tropicais, ao evidenciar como fatores ambientais moldam a organização espacial das espécies. Assim, o presente trabalho representa um avanço na compreensão da dinâmica ecológica das florestas amazônicas e oferece base para investigações mais abrangentes sobre conservação e manejo florestal sustentável.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A distribuição de *C. pentandra* no estado do Pará apresentou padrão espacial agregado, associado principalmente à disponibilidade hídrica que e à heterogeneidade ambiental. A precipitação apresentou associação relativamente maior em comparação à temperatura aos padrões estruturais da espécie, indicando seu papel como fator determinante na organização espacial e no desenvolvimento dos indivíduos, enquanto a temperatura apresentou baixa capacidade explicativa. Esses resultados evidenciam que a dinâmica da espécie é condicionada por múltiplos fatores ambientais, com destaque para o regime pluviométrico. Nesse contexto, reforça-se a importância de incorporar análises espaciais e dados georreferenciados no manejo florestal sustentável, permitindo a identificação de áreas prioritárias para exploração e conservação, além de subsidiar decisões mais eficientes e alinhadas à realidade ecológica das florestas amazônicas.

REFERÊNCIAS

- ARCOS, A. N. *et al.* Seasonal variation and chemical composition of total precipitation and throughfall in an urban forest fragment in the Central Brazilian Amazon. **RBRH**, v. 30, p. e40, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.302520250014>.
- BEZERRA, T. G. *et al.* Changes caused by forest logging in structure and floristic diversity of natural regeneration: Relationship between climate variables and forest dynamics in the eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 482, p. 118862, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118862>.
- CAMPOS, A. J. M.; SANTOS, S. M.; NACARATH, I. R. F. F. Water stress in plants: a review. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 15, p. e311101523155, 2021. DOI: [10.33448/rsd-v10i15.23155](https://doi.org/10.33448/rsd-v10i15.23155).
- COITINHO, C. H. O. *et al.* Geotechnology applied in the evaluation of phytosociological parameters of the species *Handroanthus* sp, in the State of Pará, Brazil. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 6, p. e18210615437, 2021. DOI: [10.33448/rsd-v10i6.15437](https://doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15437).
- CONDÉ, T. M. *et al.* Effects of sustainable forest management on tree diversity, timber volumes, and carbon stocks in an ecotone forest in the northern Brazilian Amazon. **Land use policy**, v. 119, p. 106145, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106145>.
- COSTA, S. C. C. *et al.* Dinâmica populacional de *Protium Pallidum* Cuatrec. em uma Floresta de Terra-Firme explorada seletivamente no estado do Pará, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [S. l.], v. 12, n. 3, p. 13–28, 2021. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.003.0002>.

CRESWELL, J. W. Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto; tradução Magda Lopes. – 3 ed. – Porto Alegre: **ARTMED**, 296 páginas, 2010. DOI: <https://doi.org/10.26512/les.v13i1.11610>.

DUARTE, A. N. F. *et al.* Uso de equações alométricas para estimar o volume e altura de árvores em área de manejo florestal na Amazônia Ocidental. **Caderno Pedagógico**, [S. l.], v. 21, n. 13, p. e11989, 2024. DOI: <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n13-208>.

EL-HASHASH, E. F.; EL-ABSY, K. M. Kapok (*Ceiba pentandra* L.) Breeding. In: **Breeding and Biotechnology of Leaf, Fruit, and Seed Fiber Crops**. Cham: Springer Nature Switzerland, p. 943-974. 2025. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-032-00407-9_21.

ESQUIVEL-MUELBERT, A. *et al.* Compositional response of Amazon forests to climate change. **Glob Change Biol**. 25:39–56. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.14413>.

GATTI, L. V. *et al.* Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. **Nature** 595, 388–393, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03629-6>.

HEINRICH, V. H. A. *et al.* The carbon sink of secondary and degraded humid tropical forests. **Nature** 615, 436–442, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05679-w>.

HUBAU, W. *et al.* Asynchronous carbon sink saturation in African and Amazonian tropical forests. **Nature** 579.7797, 80-87, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2035-0>.

JANSEN, M. R. A.; ROMERO, F. M. B.; JUNIOR, M. J. V. L. Características germinativas de sementes de *Ceiba pentandra* de diferentes procedências amazônicas. **REVISTA DELOS**, v. 17, n. 60, p. e2042-e2042, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55905/rdelosv17.n60-005>.

JESUS, E. A. *et al.* Impactos das Mudanças Climáticas na Biodiversidade de Ecossistemas Tropicais: Respostas Adaptativas e Resiliência. **IOSR Journal of Business and Management (IOSR-JBM)**. Volume 27, Issue 10, p. 48-59. 2025. DOI: <https://doi.org/10.9790/487X-2710064859>.

KAKPO, S. B.; GANGLO, J. C. Potential Geographic Distributions of *Ceiba pentandra* Under Current and Future Climate Conditions in Benin, West Africa. **World J Forest Res**, v. 4, n. 1, p. 01-11, 2025. DOI: [10.33140/WJFR.04.01.01](https://doi.org/10.33140/WJFR.04.01.01).

MARTINS, W. B. R. *et al.* Dinâmica da população de *Lecythis idatimon* Aubl. no período de 30 anos em uma floresta de terra firme manejada na Amazônia brasileira. **Scientia Forestalis**, v. 46, n. 120, p. 540-550, 2018.

- MARTORANO, L. G. *et al.* Climate conditions in the eastern amazona: Rainfall variability in Belem and indicative of soil water deficit. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 21, p. 1801, 25 jun. 2017. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11801>.
- MARTORANO, L. G. *et al.* Climatology of air temperature in Belterra: Thermal regulation ecosystem services provided by the Tapajós National Forest in the amazon. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, p. 327-337, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-77863620015>.
- MELO, M. L.; FERREIRA, A. L.; PEREIRA, M. J. A Importância das Florestas Tropicais para o Equilíbrio Planetário: Estudo Integrado por Alunos do Ensino Médio. **International Blest Scientific**, [S. l.], v. 1, n. 01, 2025. DOI: <https://doi.org/10.65671/1mh59t74>.
- MEIRA-NETO, J. A. A. *et al.* Drivers of the growth–survival trade-off in a tropical forest. **Journal of Vegetation Science**. v. 30, n. 6, p. 1184-1194, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/jvs.12810>.
- MORAES, E. S. *et al.* Especialização produtiva e desenvolvimento periférico na Amazônia Oriental: uma análise a partir do circuito madeireiro do município de Nova Esperança do Piriá-PA. **Caderno Pedagógico**, [S. l.], v. 22, n. 7, p. e16607, 2025. DOI: <https://doi.org/10.54033/cadpedv22n7-281>.
- NAGY, G. M. *et al.* Raízes tabulares de *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. da Floresta Nacional Mário Xavier–Seropédica-RJ. **Silvicultura e Manejo Florestal: Técnicas de Utilização e Conservação da Natureza-Volume 1**, p. 311-328, 2021. DOI: <https://doi.org/10.37885/201102115>.
- NANDA, S. S. *et al.* A biblio-econometric analysis of tropical forest loss dynamics. **Forest Policy and Economics**, v. 182, p. 103673, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2025.103673>.
- NEVES, E. J. M. *et al.* **Potencialidade de *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. para plantios na Amazônia brasileira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 26 p. (Embrapa Florestas . Documentos, 89). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/308757>. Acesso em: 22/05/2026.
- ORLANDI, M. J. P.; SANTOS, J. F. Análise Espacial da Fragmentação Florestal em Região Extremo-Sul da Bahia. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. 110–125, 2022. DOI: <https://doi.org/10.59306/rgsa.v11e32022110-125>
- PAN, Y. *et al.* The enduring world forest carbon sink. **Nature**, v. 631, n. 8021, p. 563-569, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07602-x>
- PINHEIRO, K. A. O. *et al.* Potential of commercial species analyzed by the importance value index in a reduced impact exploration area. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 2, p. e16610212292, 2021. DOI: [10.33448/rsd-v10i2.12292](https://doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12292).

- POORTER, L. *et al.* Multidimensional tropical forest recovery. **Science**, v. 374, n. 6573, p. 1370-1376, 2021. DOI: [10.1126/science.abh3629](https://doi.org/10.1126/science.abh3629).
- PUGH, T. AM. *et al.* Role of forest regrowth in global carbon sink dynamics. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 116, n. 10, p. 4382-4387, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1810512116>.
- RODRIGUES, N. M. M. *et al.* Viabilidade técnica do manejo florestal sustentável em uma área sob concessão florestal na Amazônia Oriental. **REVISTA CEREUS**, v. 16, n. 2, p. 94-110, 9 jul. 2024. DOI: <https://doi.org/10.18605/2175-7275/cereus.v16n2p94-110>.
- ROMERO, F. M. B. *et al.* Forest management with reduced-impact logging in Amazonia: estimated aboveground volume and carbon in commercial tree species in managed forest in Brazil's State of Acre. **Forests**, v. 12, n. 4, p. 481, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12040481>.
- ROZENDAAL, D. M. A. *et al.* Biodiversity recovery of Neotropical secondary forests. **Science advances**, v. 5, n. 3, p. eaau3114, 2019. DOI: [10.1126/sciadv.aau3114](https://doi.org/10.1126/sciadv.aau3114).
- SANTANA, J. A. S *et al.* Padrão de distribuição e estrutura diamétrica de *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (Catingueira) na Caatinga do Seridó. **Revista de Biologia e Ciências da terra**, v. 11, n. 1, p. 116-122, 2011.
- SILVA, A. H.; VAZ, L. G. N.; SANTOS, A. L. Amazônia viva: caminhos para sustentabilidade e justiça socioambiental. **Revista Políticas Públicas & Cidades**, v. 14, n. 6, p. e2271-e2271, 2025. DOI: <https://doi.org/10.23900/2359-1552v14n6-19>.
- SILVEIRA, A. M. F.; MARENCO, R. A. O CO₂ elevado induz a regulação negativa da fotossíntese e alivia o efeito do déficit hídrico em *Ceiba pentandra* (Malvaceae). **Revista Árvore**, [S. l.], v. 47, p., 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-908820230000021>.
- SILVEIRA, A. M. F.; NETTO, R. A. C.; MARENCO, R. A. Biomass allocation in *Ceiba pentandra* (Malvaceae) under water stress and high CO₂ concentration. **Scientia Forestalis**, v. 51, p. e3955, 2023. DOI: <https://doi.org/10.18671/scifor.v51.10>.
- SOARES, C. C.; BEZERRA, M. G. F. Gestão de florestas públicas: uma revisão de literatura com ênfase à concessão florestal. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [S. l.], v. 12, n. 4, p. 627–641, 2021. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.004.0049>.
- SOARES, L. A. S. S. *et al.* Deforested tropical landscapes: Unveiling the mechanisms driving tree saplings growth and survival in forest fragments. **Global Ecology and Conservation**, v. 62, p. e03730, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2025.e03730>

SPLETOZER, A.G. *et al.* Composition and structure of tree species in two forest fragments in southern amazon region. **Braz. J. Bot** 46, 189–203 (2023). DOI: <https://doi.org/10.1007/s40415-022-00863-8>.

SPRACKLEN, D. V.; GARCIA-CARRERAS, LJGRL. The impact of Amazonian deforestation on Amazon basin rainfall. **Geophysical Research Letters**, v. 42, n. 21, p. 9546-9552, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/2015GL066063>.

VYDHEHI, E. K. *et al.* Valorization of kapok (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.) pods for microcrystalline cellulose: extraction and characterization. **Cellul Chem Technol**, v. 59, p. 271-282, 2025. DOI: <https://doi.org/10.35812/CelluloseChemTechnol.2025.59.24>.

WÉDJANGNON, A. A. *et al.* Spatial distribution and interspecific association patterns between *Mansonia altissima* A. Chev., *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn and *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. in a moist semi-deciduous forest. **Annals of Forest Science**, v. 77, n. 1, p. 6, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0913-0>.

XAVIER, J. A *et al.* Impactos das mudanças climáticas nas florestas tropicais. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 65-82, 2022. DOI: <https://doi.org/10.59306/rgsa.v11e2202265-82>.

Capítulo 03

ESTRUTURA POPULACIONAL, BIOMASSA E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE *Anacardium occidentale* SOB INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA AMAZÔNIA ORIENTAL

Jeyce Aimeé de Amorim Albuquerque, Lucas Gabriel Gomes Menezes, Gabriel Souza Cabral, Madson Alan Rocha de Sousa, Raphael Lobato Prado Neves.

Resumo: A Amazônia, apesar de sua relevância ecológica, sofre pressões antrópicas que afetam a dinâmica das espécies, tornando essencial o uso de inventários florestais e ferramentas de análise espacial para compreender esses padrões. O estudo analisou a distribuição e a dinâmica de *Anacardium occidentale* no Pará. Foram aplicadas estatísticas descritivas e análises espaciais, além de estimativas de volume e biomassa. Os resultados evidenciaram distribuição espacial heterogênea, com concentração em áreas de precipitação intermediária. A estrutura populacional indicou predominância de indivíduos jovens, enquanto a biomassa apresentou alta variabilidade, influenciada principalmente pelo DAP. As correlações entre variáveis climáticas e estruturais foram baixas, destacando a maior relevância de fatores locais, como solo e competição. A forte relação entre volume e DAP confirmou sua importância como preditor dendrométrico. A espécie demonstrou elevada plasticidade ambiental, com maior sensibilidade à disponibilidade hídrica. Os resultados reforçam a importância do manejo sustentável e da conservação de áreas remanescentes.

Palavras-chave: Plano de manejo florestal sustentável. Exploração de impacto reduzido. Floresta tropical.

J. A. A. Albuquerque . Universidade do Estado do Pará. Paragominas, PA, Brasil. e-mail: jeyce.ada.albuquerque@aluno.uepa.br. ORCID: 0009-0005-2153-1614.

L. G. G. Menezes . Universidade do Estado do Pará. Paragominas, PA, Brasil. e-mail: lucas.gg.menezes@aluno.uepa.br. ORCID: 0009-0002-3740-3009.

G. S. Cabral . Universidade do Estado do Pará. Paragominas, PA, Brasil. e-mail: gabrielsousagsc18@gmail.com. ORCID: 0009-0002-2376-2174.

M. A. R. Sousa . Universidade do Estado do Pará. Paragominas, PA, Brasil. e-mail: madsonalan@uepa.br. ORCID: 0000-0002-7560-3274.

R. L. P. Neves . Universidade do Estado do Pará. Paragominas, PA, Brasil. e-mail: prado.neves@uepa.br. ORCID: 0000-0002-0997-4851.

INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos países mais ricos do mundo quando o assunto é a diversidade, sendo essencial para o bem-estar e a saúde humana, apesar de haver ameaças à vida silvestre e às paisagens naturais, devido a diversos fatores. No entanto, o Brasil tem se tornado um líder mundial em conservação da biodiversidade, principalmente por causa do crescente número de profissionais de conservação (Mittermeier *et al.*, 2005).

A Floresta Amazônica é o maior remanescente contínuo de floresta tropical úmida do planeta, com alta diversidade e endemismo, sendo essencial para o clima global. Diante de diversas atividades antrópicas, como a pecuária bovina extensiva, derrubadas para a construção de benfeitorias, mineração, entre outros fatores, tais feitos colaboraram para as condições ecológicas atuais, de modo que sucedeu a redução das populações e impactos graves no clima global e equilíbrio hidrológico, por isso a seleção de espécies adaptadas às condições climáticas e edáficas da Amazônia é essencial para garantir o manejo florestal eficaz e o uso sustentável dos recursos. Cada espécie apresenta desempenho diferente dependendo das características do solo, da altitude e dos regimes de precipitação. Além disso, a floresta amazônica atua como importante reguladora climática, contribuindo para o armazenamento de carbono e para a manutenção dos ciclos hidrológicos. A evapotranspiração desempenha papel essencial na formação de chuvas, influenciando não apenas a região amazônica, mas também outras áreas do continente sul-americano (De Paiva, 2003; Martorano *et al.*, 2025; Pinto, 2018).

Nesse contexto, a distinção entre áreas remanescentes e áreas submetidas a corte torna-se essencial para compreender os efeitos das intervenções antrópicas sobre a dinâmica das espécies florestais, uma vez que diferentes formas de uso do solo influenciam diretamente a estrutura, distribuição e regeneração das populações vegetais. Mudanças no uso da terra, como desmatamento e exploração florestal, promovem alterações significativas na estrutura e composição das florestas tropicais, afetando processos ecológicos como regeneração natural e diversidade de espécies (Roppa, 2009).

Um inventário florestal se torna excepcional na conservação e no manejo sustentável das florestas, auxiliando na coleta de dados florestais e na geração de informações sobre estoques e tendências que subsidiam a formulação de políticas públicas voltadas à conservação e ao abastecimento de produtos florestais. Além disso, constitui uma ferramenta fundamental para a quantificação dos recursos florestais, fornecendo dados sobre a estrutura, composição e volume da vegetação (Floriano, 2021).

A partir das medições de variáveis dendrométricas, como o diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura, é possível avaliar o desenvolvimento dos indivíduos, estimar o volume de madeira e caracterizar a estrutura da vegetação. Essas métricas também permitem a estimativa da biomassa florestal, que está diretamente relacionada ao estoque de carbono, uma vez que as árvores incorporam carbono em seus tecidos ao longo do crescimento. Diante disso, é fundamental a utilização do inventário florestal para o estudo de espécies que se destacam, a fim de compreender a dinâmica dos ecossistemas e subsidiar práticas de conservação mais eficazes (Floriano, 2021).

A incorporação da qualidade do fuste (QF) nas análises possibilita uma avaliação mais detalhada das condições ambientais e estruturais das áreas estudadas, permitindo compreender como variações na qualidade do ambiente influenciam a ocorrência, o desenvolvimento, a produção volumétrica e o acúmulo de biomassa das espécies (Floriano, 2021).

O manejo florestal sustentável (MFS), que se baseia na tomada de decisões de gerenciamento, que leva em consideração a organização, respeito, uso e a conservação dos recursos florestais é proposto como estratégia para conciliar o uso dos recursos com

a conservação da Floresta Amazônica, utilizando práticas planejadas, com o objetivo de otimizar o uso da floresta e sua manutenção por longos anos (Dos Santos, 2017).

As regiões tropicais destacam-se pela elevada diversidade de espécies arbóreas, muitas das quais possuem grande importância ecológica e econômica, sendo uma delas a *Anacardium occidentale*, popularmente conhecida como cajueiro comum, uma espécie arbórea nativa do nordeste brasileiro, onde destaca-se sua diversidade. O cajueiro possui diversas finalidades, sejam elas medicinais ou alimentares. Essa versatilidade de uso confere à espécie grande importância para a sustentação de populações locais, devido a sua produção de castanha, óleo e pseudofruto, demonstrando ser um recurso estratégico no contexto da biodiversidade e do uso sustentável dos recursos vegetais. A distribuição das espécies vegetais é fortemente influenciada por variáveis climáticas, especialmente temperatura e precipitação, que afetam diretamente processos fisiológicos como crescimento, sobrevivência e reprodução. Em ecossistemas tropicais, a disponibilidade hídrica é frequentemente considerada um dos principais fatores limitantes para a distribuição das espécies (Novaes, 2021).

Apesar do Cajueiro possuir uma ampla distribuição, ainda são limitadas as informações acerca da estrutura populacional da espécie em diferentes áreas ambientais, ainda que a espécie se adapte a condições muito secas, no entanto desde o seu extenso sistema radicular deve ter acesso à umidade do solo. Diante disso, é notável a falta de compreensão de sua dinâmica ecológica e o planejamento de estratégias eficazes de conservação. A espécie apresenta ampla plasticidade ecológica, sendo capaz de se desenvolver em diferentes condições ambientais, embora seu desempenho esteja diretamente relacionado à disponibilidade hídrica e às características edáficas (Flores, 2012).

Sabe-se que o cajueiro contém resistência a seca, porém não existem muitos trabalhos científicos que abordem se a *Anacardium occidentale* é adaptada para irrigação, considerando a grande irregularidade da distribuição de chuvas que ocorre na região Nordeste do Brasil, este fato tem contribuído ainda mais para os baixos rendimentos obtidos com o cultivo do cajueiro. Os fatores climáticos influenciam no crescimento e desenvolvimento nas espécies florestais, afetando sua distribuição, estrutura e produtividade, tornando essencial sua análise em estudos voltados à conservação (De Almeida Neto, 2015).

À vista disso, estudos que integrem dados de inventário florestal e variáveis ambientais são fundamentais para ampliar o conhecimento sobre a espécie, contribuindo para a conservação da biodiversidade e para o planejamento de táticas de manejo em ecossistemas tropicais. Portanto, o presente estudo tem como objetivo analisar a distribuição da espécie *Anacardium occidentale* e sua relação com condições climáticas, pretendendo compreender padrões ecológicos e subsidiar estratégias de conservação.

DESENVOLVIMENTO

O presente estudo foi baseado em dados de inventários florestais provenientes de Planos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) autorizados no estado do Pará. A base de dados, georreferenciada e abrangente, foi obtida por meio de colaboração com a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS), contendo informações detalhadas de indivíduos de exploração e remanescentes, incluindo variáveis como espécie, diâmetro, altura e localização geográfica. A partir desse conjunto, realizou-se a filtragem para a espécie de interesse, *Anacardium occidentale*, sendo consideradas informações como coordenadas geográficas, diâmetro à altura do peito (DAP), altura e variáveis climáticas associadas, como precipitação e temperatura média anual.

A organização e o tratamento dos dados envolveram aplicações descritivas (média, valores mínimos e máximos), com o objetivo de sintetizar o comportamento das variáveis e evidenciar sua amplitude. Para a caracterização estrutural da vegetação, utilizaram-se o DAP e a altura comercial, mensurados em campo, os quais analisou-se sobre a organização do povoamento e o volume, utilizando a equação de (Silva *et al.* 1985) na planilha eletrônica: “=EXP(-7,62812+2,1809*LN(G2))”.

As variáveis climáticas foram analisadas sob a mesma abordagem, permitindo descrever o contexto ambiental da área e fornece suporte às interpretações ecológicas relacionadas ao desenvolvimento da espécie.

A biomassa acima do solo foi calculada utilizando a equação de de (Nogueira *et al.* 2008) na Planilha eletrônica: “=EXP(-1,716 + 2,413 * LN(G2))”, ajustados com base nas variáveis dendrométricas, sendo descrita pelos mesmos parâmetros estatísticos. Esse procedimento possibilitou quantificar a variação na produção de biomassa entre os indivíduos.

A análise espacial foi realizada no software de Sistema de Informações Geográficas (SIG) QGIS, no qual as coordenadas geográficas dos indivíduos foram importadas para o mapeamento da ocorrência de *Anacardium occidentale* no estado do Pará. A partir disso, foram elaborados mapas temáticos de distribuição da espécie, bem como mapas climáticos de temperatura e precipitação, utilizando dados obtidos na plataforma WorldClim.

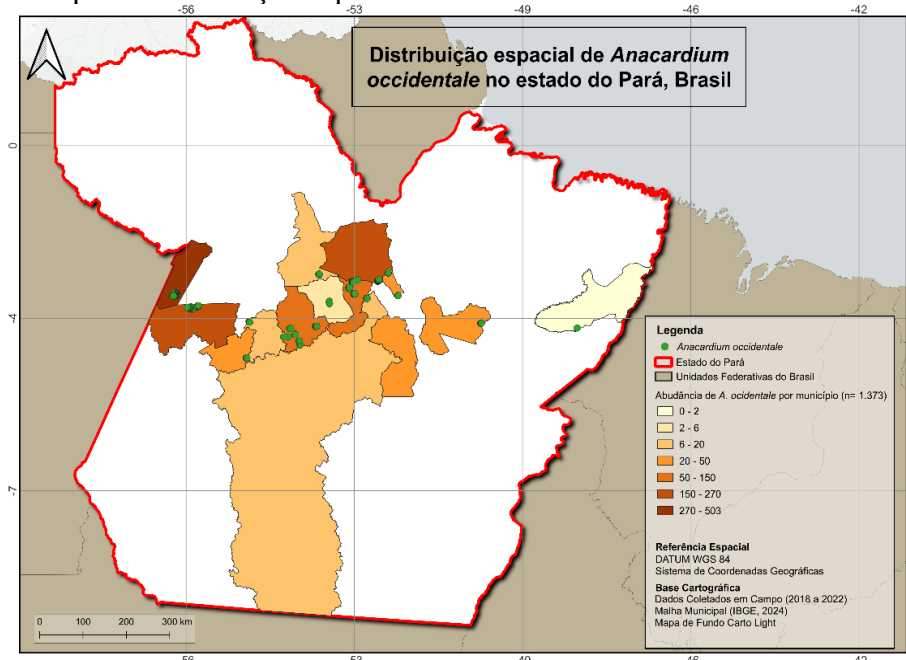
As aplicações descritivas complementares foram conduzidas na Planilha eletrônica, com o uso de tabelas dinâmicas e gráficos para representação das variáveis. Adicionalmente, os dados foram organizados em classes estruturais, possibilitando avaliar a distribuição dos indivíduos em diferentes estágios de desenvolvimento. Essa abordagem permitiu integrar informações dendrométricas, ambientais e espaciais, contribuindo para uma análise consistente da estrutura populacional, da produção de biomassa e da influência das condições climáticas sobre a ocorrência da espécie.

Por fim, a integração entre os dados estruturais, espaciais e climáticos possibilitou a identificação de padrões ecológicos e subsidiou interpretações sobre a dinâmica da espécie na área de estudo, fornecendo base para análises relacionadas ao manejo e à conservação.

A espécie arbórea *Anacardium occidentale* apresenta uma distribuição espacial heterogênea no estado do Pará, com maior concentração de indivíduos nas porções nordeste da área analisada. Observa-se a formação de agrupamentos com elevada densidade populacional, atingindo aproximadamente 500 indivíduos, contrastando com áreas de baixa ocorrência ou ausência da espécie. Esse padrão espacial evidencia que a distribuição não ocorre de forma aleatória, mas sim condicionada por fatores ambientais e ecológicos específicos. A heterogeneidade observada pode estar associada a variações locais de disponibilidade hídrica, características edáficas e dinâmica de regeneração natural, os quais influenciam diretamente o estabelecimento e a permanência da espécie no ambiente. (FIGURA 1).

A partir dos dados obtidos no inventário florestal, verificou-se que a espécie apresenta diâmetro à altura do peito (DAP) médio de aproximadamente 0,67 m e altura média de 15,87 m. Esses valores indicam a presença predominante de indivíduos adultos e estruturalmente desenvolvidos, sugerindo uma população relativamente estável e bem estabelecida. Além disso, tais características estruturais são compatíveis com formações florestais secundárias ou em estágio intermediário de sucessão, nas quais a espécie pode desempenhar papel importante na composição e dinâmica da vegetação.

Figura 1-Mapa de distribuição espacial da *Anacardium occidentale* no estado do Pará.

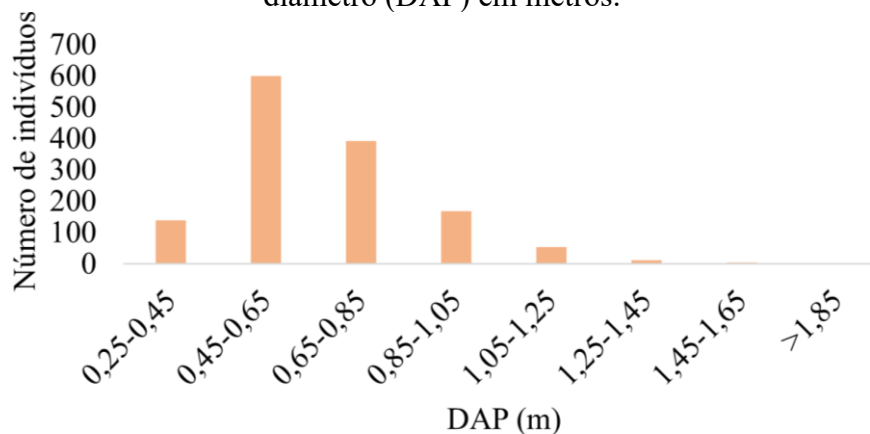


Fonte: Elaborado pelos autores com dados do WorldClim, (2026).

A análise da distribuição diamétrica revelou maior concentração de indivíduos nas classes iniciais de DAP, indicando predominância de indivíduos em estágios mais jovens de desenvolvimento. Esse padrão pode ser interpretado como um indicativo de recrutamento ativo e regeneração contínua da espécie, característica comum em populações com dinâmica equilibrada.

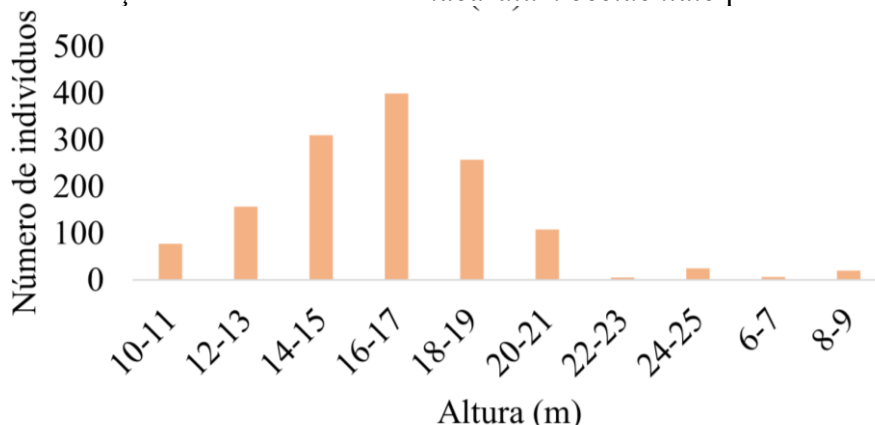
A distribuição por classes de altura apresentou maior frequência de indivíduos em faixas intermediárias, sugerindo que parte significativa da população já ultrapassou os estágios iniciais de crescimento, mas ainda não atingiu as classes superiores. A combinação desses padrões estruturais indica uma população com renovação ativa, porém com possíveis limitações na progressão para classes diamétricas mais elevadas, o que pode estar relacionado a fatores como competição, disponibilidade de recursos e condições ambientais locais. (FIGURA 2; FIGURA 3).

Figura 2 - Distribuição dos indivíduos de *Anacardium occidentale* por classes de diâmetro (DAP) em metros.



Fonte: Autores (2026).

Figura 3-Distribuição dos indivíduos de *Anacardium occidentale* por classes de altura.

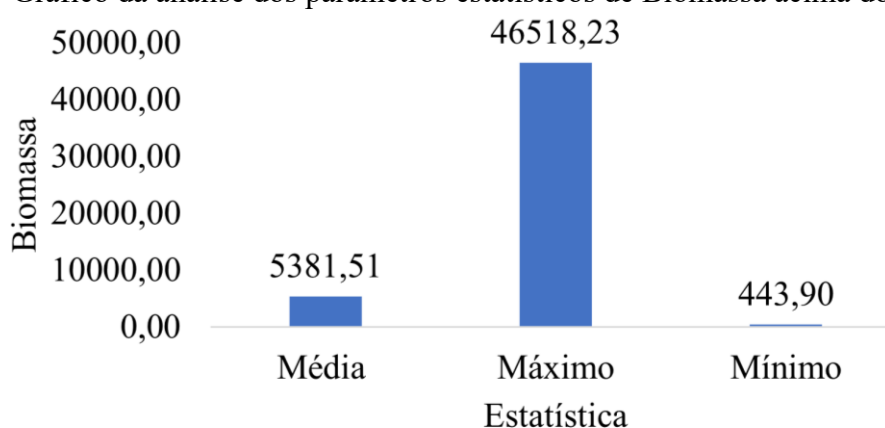


Fonte: Autor, (2026).

No que se refere à biomassa acima do solo, os resultados indicam média de 5381,51 kg, com valores variando de 443,90 kg a 46518,23 kg, evidenciando elevada variabilidade entre os indivíduos. Essa amplitude está diretamente relacionada às diferenças nos atributos dendrométricos, especialmente DAP e altura, uma vez que indivíduos de maior porte contribuem de forma desproporcional para o acúmulo de biomassa (Ramírez Narváez, 2017). Esse padrão é característico de florestas tropicais, nas quais poucos indivíduos dominantes concentram grande parte do estoque de biomassa e carbono (FIGURA 4).

A elevada variabilidade da biomassa acima do solo, com concentração expressiva em poucos indivíduos de maior porte, também está de acordo com o padrão observado em florestas tropicais maduras. Estudos como os de (Phillips *et al.* 2009) e (Laurance *et al.* 1999) demonstram que a maior parte do estoque de biomassa e carbono está concentrada em árvores de grande diâmetro, o que explica a amplitude encontrada neste estudo.

Figura 4-Gráfico da análise dos parâmetros estatísticos de Biomassa acima do solo (kg).

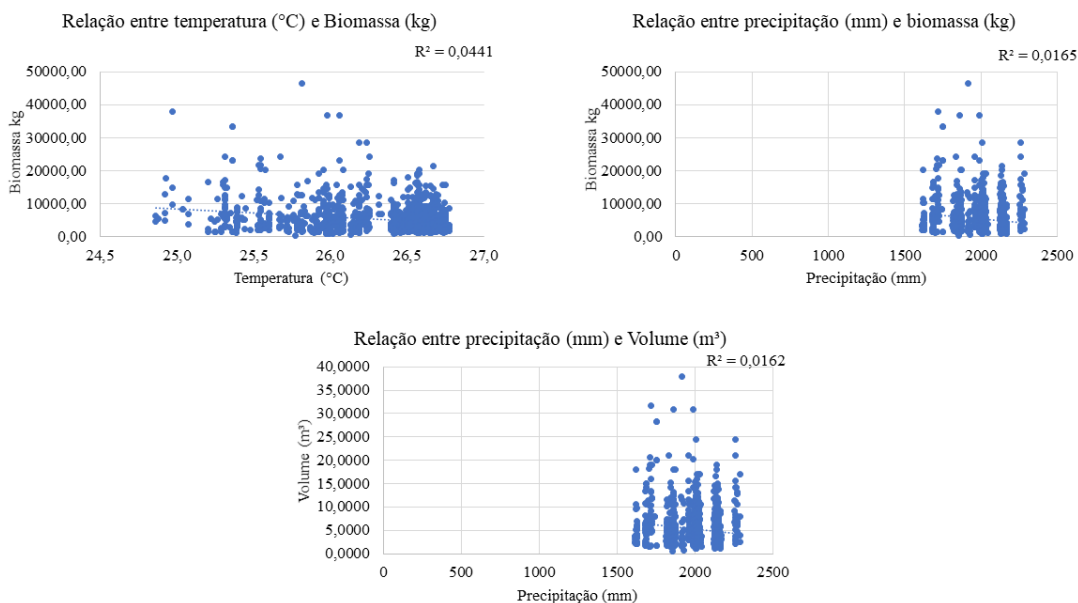


Fonte: Autor, (2026).

A análise das relações entre variáveis revelou que a temperatura apresenta baixa correlação com a biomassa ($R^2 = 0,0441$), indicando que essa variável exerce influência limitada sobre a variação na produção de biomassa na área estudada. De forma

semelhante, a relação entre precipitação e biomassa ($R^2 = 0,0165$), bem como entre precipitação e volume ($R^2 = 0,0162$), também apresentou baixos coeficientes de determinação, sugerindo que, embora a disponibilidade hídrica seja relevante em escala regional, sua variação local não explica significativamente as diferenças estruturais observadas entre os indivíduos (FIGURA 5).

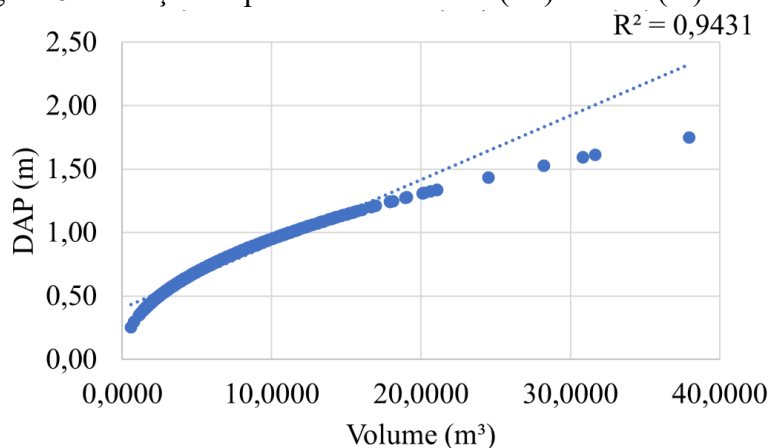
Figura 5 - Relação das variáveis climáticas, biomassa e volume.



Fonte: Autor, (2026).

A relação entre volume e DAP apresentou elevado coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9431$), evidenciando forte associação entre essas variáveis. A forte correlação observada entre DAP e volume confirma a consistência dos dados e está em conformidade com a literatura clássica de biomassa florestal, como descrito por (Brown, 1997), que aponta o diâmetro como a variável mais importante na estimativa de volume e biomassa em ecossistemas tropicais. Esse resultado confirma a consistência dos dados e reforça a importância do DAP como principal preditor do volume e, consequentemente, da biomassa florestal (FIGURA 6).

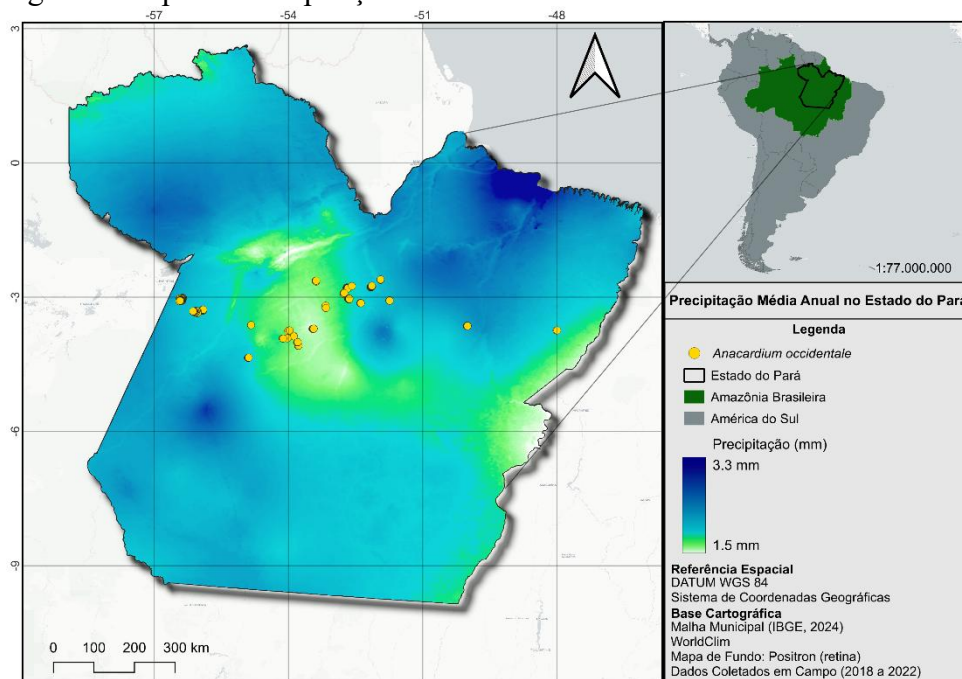
Figura 6 - Relação os parâmetros volume (m³) e DAP (m)



Fonte: Autor, (2026).

A análise espacial da precipitação média anual no estado do Pará evidencia que a ocorrência de *Anacardium occidentale* não se distribui de forma aleatória, apresentando um padrão espacial bem definido e associado a faixas específicas de disponibilidade hídrica (FIGURA 7). Observa-se que a maior concentração de indivíduos está inserida em regiões com precipitação intermediária, representadas por tonalidades de verde a azul claro no mapa, evitando tanto áreas com menores índices pluviométricos quanto regiões com precipitação mais elevada. Esse comportamento indica uma possível preferência ecológica por ambientes com regime hídrico equilibrado, nos quais há disponibilidade de água suficiente para o desenvolvimento, mas sem excesso que possa ocasionar limitações.

Figura 7-Mapa de Precipitação da *Anacardium occidentale* na área de estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores com dados do WorldClim, (2026).

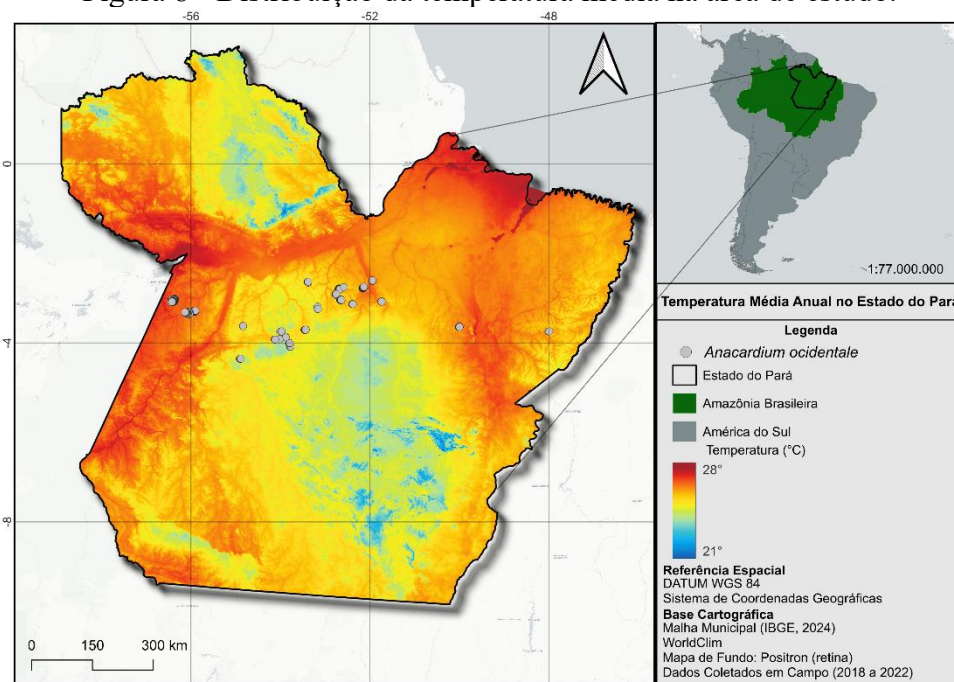
Os baixos valores de correlação observados entre precipitação e variáveis estruturais indicam que, em escala local, outros fatores desempenham papel mais relevante na determinação do crescimento e da produção de biomassa.

De acordo com os estudos de (Malhi *et al.* 2004), que demonstram que a precipitação exerce maior influência na distribuição das espécies em escala regional, mas não necessariamente determina a variabilidade estrutural dentro de áreas específicas. Assim, fatores locais, como características edáficas, disponibilidade de nutrientes e competição, tendem a desempenhar papel mais relevante na dinâmica de crescimento.

A distribuição espacial evidencia agrupamentos de indivíduos, sugerindo influência conjunta de fatores ambientais e antrópicos. A proximidade entre pontos pode estar associada tanto à adequação ambiental quanto a padrões históricos de uso do solo, uma vez que *Anacardium occidentale* possui relevância econômica e pode estar presente em áreas manejadas ou com histórico de intervenção. Assim, embora a precipitação exerça papel determinante, sua influência deve ser interpretada de forma integrada com variáveis como solo, relevo e ação humana.

No que se refere à temperatura, os dados evidenciam que *A. occidentale* ocorre predominantemente em áreas com médias anuais entre 24 °C a 28 °C, faixa característica de ambientes tropicais (FIGURA 8). A baixa amplitude térmica observada no estado do Pará limita a identificação de gradientes mais expressivos que poderiam influenciar a distribuição da espécie. O comportamento observado indica que a variável térmica exerce menor influência na restrição espacial da espécie quando comparada à precipitação. Essa homogeneidade limita seu papel como fator restritivo, o que é corroborado pela baixa correlação com a biomassa. Assim, a temperatura não se configura como um elemento determinante na distribuição ou no desempenho estrutural da espécie na área estudada.

Figura 8 - Distribuição da temperatura média na área de estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores com dados do WorldClim, (2026).

A análise das categorias de uso e cobertura da terra evidenciou que a maior parte dos indivíduos está associada a áreas remanescentes, totalizando 1339 indivíduos, enquanto áreas classificadas como de corte apresentaram apenas 34 indivíduos. Esse padrão indica uma maior afinidade da espécie por ambientes com menor grau de perturbação antrópica, possivelmente devido à maior estabilidade microclimática, maior disponibilidade de recursos edáficos e menor intensidade de estresses ambientais nessas áreas. Tal resultado reforça a importância da conservação de remanescentes florestais para a manutenção da estrutura populacional da espécie.

Em relação à qualidade do fuste (QF), não foram observadas diferenças expressivas nos valores médios de temperatura e precipitação entre as classes analisadas. As temperaturas médias registradas foram de 26,28 °C, 26,38 °C e 26,52 °C, enquanto a precipitação média anual variou entre 2016,08 mm, 2075,90 mm e 2093,20 mm. Apesar da relativa homogeneidade climática entre os QF, verificou-se uma expressiva redução na abundância de indivíduos, com 1208 indivíduos no primeiro QF, 150 no segundo e apenas 15 no terceiro. Esse padrão sugere que a variação na abundância não está diretamente associada às variáveis climáticas analisadas, indicando a possível influência

de outros fatores ecológicos, como estrutura da vegetação, competição interespecífica e condições de uso do solo.

Os resultados indicam que a precipitação exerce maior influência sobre a distribuição da espécie quando comparada à temperatura média anual. A disponibilidade hídrica desempenha papel fundamental nos processos fisiológicos das plantas, influenciando diretamente a absorção de nutrientes, a fotossíntese e o crescimento vegetal. Em contraste, a baixa variabilidade térmica regional reduz o potencial da temperatura como fator de limitação ecológica.

Assim, *Anacardium occidentale* demonstra elevada adaptabilidade ambiental, com ampla distribuição espacial, porém com maior sensibilidade à disponibilidade de água. Esse comportamento evidencia que alterações no regime pluviométrico, especialmente aquelas associadas às mudanças climáticas, podem impactar significativamente a dinâmica de distribuição da espécie, reforçando sua relevância em estratégias de conservação, restauração ecológica e manejo sustentável em ecossistemas tropicais.

CONCLUSÃO

O estudo de *Anacardium occidentale* no estado do Pará demonstrou que as variáveis climáticas apresentam influência limitada sobre a estrutura dendrométrica e o acúmulo de biomassa. Os baixos coeficientes de correlação indicam que temperatura e precipitação não explicam isoladamente a variação estrutural, evidenciando a maior importância de fatores locais, como solo, disponibilidade de nutrientes e competição. No entanto, a análise espacial revelou que a espécie se concentra em áreas com precipitação intermediária, indicando que a disponibilidade hídrica atua como fator condicionante em escala regional.

Além disso, a forte relação entre volume e DAP confirma o papel das variáveis dendrométricas como principais determinantes do crescimento e da biomassa. Assim, conclui-se que a espécie apresenta elevada plasticidade ecológica, com distribuição influenciada pela precipitação e desenvolvimento associado principalmente a fatores estruturais, reforçando a importância da integração de análises estatísticas e espaciais para o manejo sustentável e conservação na Amazônia.

REFERÊNCIAS

BROWN, Sandra. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer**. Food & Agriculture Org., 1997.

DE ALMEIDA NETO, Isidro Patrício *et al.* Avaliação das características morfológicas mudas de cajueiro sob déficit hídrico em condições de Semiárido paraibano. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 1, p. 48, 2015.

DE PAIVA, João Rodrigues; CRISÓSTOMO, João Ribeiro; BARROS, L. de M. **Recursos genéticos do cajueiro: coleta, conservação, caracterização e utilização**. 2003.

DOS SANTOS, Carlos Eduardo Nascimento. **Proposta de normativa técnica para elaboração de Plano de Manejo Florestal Sustentável Comunitário em unidades de conservação federais das categorias Resex, RDS e Flona.** 2017.

FLORES, Lilian Maria Araújo de. **A importância dos habitats naturais no entorno de plantações de cajueiro anão precoce (*Anacardium occidentale* L.) para o sucesso reprodutivo.** 2012.

FLORIANO, Eduardo Pagel. **Inventário florestal.** 2021.

LOPES, Francisco Antonio Mabson Henrique *et al.* **Estudos das características físicas e químicas das folhas do cajueiro (*Anacardium occidentale*) e suas aplicações tecnológicas.** 2020.

MALHI, Yadvinder *et al.* **The above-ground coarse wood productivity of 104 Neotropical forest plots.** *Global change biology*, v. 10, n. 5, p. 563-591, 2004.

MITTERMEIER, Russel A. *et al.* Uma breve história da conservação da biodiversidade no Brasil. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 14-21, 2005.

NOGUEIRA, Euler Melo *et al.* **Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories.** *Forest Ecology and Management*, v. 256, n. 11, p. 1853-1867, 2008.

NOVAES, Thiago Emanuel Rodrigues; NOVAES, Ana Selia Rodrigues. Análise dos potenciais medicinais do cajueiro (*Anacardium occidentale* Linn): uma breve revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, p. e41810111838-e41810111838, 2021.

PHILLIPS, Oliver L. *et al.* **Drought sensitivity of the Amazon rainforest.** *Science*, v. 323, n. 5919, p. 1344-1347, 2009.

PINTO, ALINE RAFAELLA SENA. **Os desafios da Amazônia na segurança climática global: contribuições das unidades de conservação (UC) para a redução do desmatamento nos trópicos úmidos (2002-2014).** 2018. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Ciência Política)-Universidade Federal do Pará, Belém.

RAMÍREZ NARVÁEZ, Perla Natalia *et al.* **Efeito dos parâmetros biométricos e da altitude em estimativas da biomassa de raízes grossas de árvores em florestas do ecótono norte da Amazônia brasileira.** 2017.

ROPPA, Cristiane *et al.* **Avaliação da dinâmica de restauração de ecossistemas perturbados da Mata Atlântica em uma região de exíguos atributos ambientais,** Nova Iguaçu-RJ. 2009.

SILVA JNM, Carvalho JOP De, Lopes J do CA, Carvalho MSP de (1984) **Equações de volume para a Floresta Nacional do Tapajós.**



Capítulo 04

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO NA ESTRUTURA E BIOMASSA DE *Genipa americana* L. EM ÁREAS PRIVADAS NO ESTADO DO PARÁ.

Jhêmilly da Silva dos Santos, Jeyce Aimeé De Amorim Albuquerque, Nathaly de Sousa Botelho, Madson Alan Rocha de Souza e Raphael Lobato Prado Neves.

Resumo: O presente trabalho teve como objetivo analisar a influência da temperatura e precipitação na estrutura e no acúmulo de biomassa de *Genipa americana* L. em áreas privadas. O estudo justifica-se pela importância dessas variáveis no crescimento das espécies florestais e na dinâmica do estoque de carbono. A metodologia consistiu na utilização de dados de inventários florestais de Planos de Manejo Florestal Sustentável no estado do Pará, com obtenção de variáveis dendrométricas e climáticas, além da estimativa da biomassa acima do solo por meio de modelo alométrico. Os resultados indicaram variação da biomassa entre 1328,38 kg e 14574,26 kg, temperatura média de 26 °C e precipitação média de 2064 mm. As correlações apresentaram baixa associação. Conclui-se que as variáveis climáticas analisadas apresentaram baixa capacidade explicativa sobre a estrutura e biomassa de *G. americana*, sendo necessários estudos complementares para melhor compreensão dessas relações.

Palavras-chave: Plano de manejo florestal sustentável. Exploração de impacto reduzido. Floresta - tropical.

J. S. Santos  . Universidade do Estado do Pará Paragominas PA, Brasil. e-mail: jhemilly0909ss@gmail.com . ORCID: 0009-0008-7329-8174.

J. A. A. Albuquerque  . Universidade do Estado do Pará Paragominas PA, Brasil. e-mail: jeyce.ada.albuquerque@aluno.uepa.br . ORCID: 0009-0005-2153-1614.

N. S. Botelho  . Universidade do Estado do Pará Paragominas PA, Brasil. e-mail: natalhybotelho55@gmail.com. ORCID: 0009-0007-1117-6342.

M. A. R Sousa  . Universidade do Estado do Pará Paragominas PA, Brasil. e-mail: madsonalan@uepa.br. ORCID: 0000-0002-7560-3274.

R. L. P Neves  . Universidade do Estado do Pará Paragominas PA, Brasil. e-mail: prado.neves@uepa.br . ORCID: 0000-0002-0997-4851.

© Este trabalho integra a obra: “Avanços e Desafios nas Ciências Ambientais (vol. 02)”, publicado pela Reconnecta Soluções em 2026, disponível para acesso gratuito em: www.reconnectasolucoes.com.br/editora

INTRODUÇÃO

A Amazônia representa o maior bioma brasileiro e o maior bloco remanescente de floresta tropical contínua do mundo, abrigando uma biodiversidade vasta que detém mais de 20% das espécies terrestres conhecidas (Bimestre, 2023). Devido à sua grande extensão, desempenha papel importante na regulação do clima e no ciclo hidrológico, influenciando a circulação atmosférica e a formação de chuvas (Cervantes, 2023). Além disso, a floresta amazônica atua como um importante estoque de carbono, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas globais (Martorano, 2025). No entanto, devido ao aumento das atividades humanas nessa região, torna-se necessária a adoção de estratégias que garantam a conservação da integridade ecológica e promovam o uso sustentável dos recursos florestais (Martorano, 2025).

As espécies nativas são fundamentais para o funcionamento dos ecossistemas, servindo de suporte à fauna e contribuindo para a bioeconomia regional por meio de recursos madeireiros e medicinais (Coletto, 2016; Martorano, 2025). Contudo, as mudanças no uso da terra, como a expansão agropecuária, contribuem para o desmatamento e a fragmentação das florestas, ameaças agravadas pelas mudanças climáticas, podendo alterar a abundância e a distribuição geográfica das espécies, especialmente em função do estresse hídrico (Silva, 2023; Coletto, 2016; Sousa-Santos *et al.*, 2024). Nesse cenário, a implementação de estratégias de manejo florestal sustentável e restauração ecológica torna-se indispensável para garantir a resiliência dos ecossistemas.

As variáveis climáticas, especialmente a temperatura e a precipitação, desempenham papel significativo no crescimento, desenvolvimento e distribuição das espécies florestais. Esses fatores regulam a disponibilidade de energia e água no ambiente, influenciando processos fisiológicos essenciais das plantas e sua produtividade. A interação entre temperatura e precipitação determina padrões ecológicos, como a abundância e a ocorrência das espécies em diferentes ambientes, sendo fundamental para a compreensão da dinâmica dos ecossistemas florestais (Cola *et al.*, 2022).

O inventário florestal é uma ferramenta fundamental para a quantificação dos recursos florestais, fornecendo informações sobre a estrutura, composição e volume da vegetação (Brandelero, 2008). A partir dele, obtêm-se variáveis como o diâmetro a altura do peito (DAP) e a altura total, que indicam o desenvolvimento dos indivíduos e o volume de madeira (Coletto, 2016; Crestana, 2000). Essas métricas permitem avaliar a estrutura da vegetação e estimar a biomassa, a qual está diretamente relacionada ao estoque de carbono, já que as árvores o incorporam em seus tecidos durante o crescimento. Dessa forma, essas variáveis indicam a produtividade do ecossistema e seu potencial de armazenamento de carbono (Coletto, 2016).

Genipa americana L., conhecida como jenipapo, é uma espécie arbórea neotropical amplamente distribuída nas Américas Central e do Sul, ocorrendo em diversos biomas brasileiros (Paiva *et al.*, 2019; Sousa-Santos *et al.*, 2024). Do ponto de vista ecológico, destaca-se por sua adaptação a ambientes úmidos, sendo importante na recuperação de áreas degradadas e na alimentação da fauna (Silva, 2023; Coletto, 2016). A espécie possui relevância socioeconômica devido aos seus usos alimentares, como na produção de sucos e doces, além de aplicações medicinais e culturais, especialmente pelo uso do corante natural extraído de seus frutos verdes por comunidades tradicionais (Coletto, 2016).

Apesar da relevância de *G. americana*, ainda são escassos os estudos que integrem variáveis climáticas, como temperatura e precipitação, com dados estruturais, como

diâmetro à altura do peito (DAP), altura e biomassa (Paiva *et al.*, 2019; Sousa-Santos *et al.*, 2024). A maioria das pesquisas concentra-se em análises isoladas, sem correlacionar esses fatores de forma conjunta (Sousa-Santos *et al.*, 2024). Dessa forma, abordagens integradas tornam-se cruciais para compreender o crescimento, a produtividade e a adaptação da espécie frente às variações ambientais.

O presente estudo tem como objetivo analisar a influência da temperatura e da precipitação na estrutura dendrométrica e no acúmulo de biomassa de *G. americana* em áreas privadas. Considera-se que as variáveis climáticas podem estar relacionadas ao crescimento e ao acúmulo de biomassa da espécie analisada.

METODOLOGIA

O estudo foi baseado em dados de inventários florestais provenientes de Planos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) autorizados no estado do Pará. A base de dados, georreferenciada e consistente, foi obtida por meio de colaboração com a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS).

A partir desse acervo, os dados foram filtrados para a espécie de interesse, *G. americana*. Após a etapa de seleção e organização, foram obtidos registros de 22 indivíduos utilizados nas análises do estudo. Foram extraídas informações como localização (coordenadas geográficas X e Y), área das parcelas (ha), número de indivíduos, DAP, altura comercial, qualidade do fuste, categoria de remanescimento, tipo de uso da terra (floresta privada), além de variáveis climáticas associadas, como temperatura e precipitação anual. Também foram consideradas observações de campo registradas na base de dados.

Para estimar a biomassa acima do solo em quilogramas (AGB) e o volume do tronco, todas as medidas de DAP foram convertidas utilizando modelos alométricos específicos para cada espécie, amplamente aplicados no manejo florestal amazônico. Inicialmente, os valores de DAP, originalmente registrados em metros, foram convertidos para centímetros (cm) com a fórmula $DAP(m) \times 100$ para adequação às equações alométricas.

A biomassa acima do solo kg foi estimada utilizando o modelo alométrico baseado no DAP de (Nogueira *et al.*, 2008), calibrado para florestas da Amazônia central e ocidental: $AGB = \exp(-1.716 + 2.413 \cdot \ln(DAP))$. O volume do tronco (m³) para cada indivíduo foi estimado utilizando a equação de (Silva *et al.*, 1984), originalmente desenvolvida para florestas ombrófilas densas na região do Tapajós: $V = \exp(-7,62812 + 2,1809 \cdot \ln(DAP))$.

As análises espaciais foram realizadas no software QGIS, a partir das coordenadas geográficas dos indivíduos de *G. americana*, permitindo a visualização da distribuição da espécie no estado do Pará.

As variáveis climáticas de temperatura média anual e precipitação média anual foram obtidas da base de dados WorldClim e integradas ao Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Com base nesses dados, foram elaborados mapas temáticos de distribuição da espécie, temperatura e precipitação, utilizando técnicas de interpolação espacial e classificação em intervalos de valores.

Posteriormente, os pontos de ocorrência da espécie foram sobrepostos aos mapas climáticos, possibilitando a análise da relação espacial entre a distribuição de *G. americana* e as variáveis ambientais avaliadas.

A organização e sistematização dos dados em tabela foram realizadas em planilha eletrônica, com o auxílio de tabelas dinâmicas, permitindo a organização e síntese dos

dados por área. Foram elaboradas classes dendrométricas para as variáveis DAP e altura comercial, a partir da divisão dos dados em intervalos com amplitude de 2 unidades, conforme a variação observada. A partir dessa classificação, foram construídas tabelas de frequência e gráficos de distribuição, possibilitando a análise da estrutura da população e a identificação da concentração de indivíduos em diferentes classes de tamanho. Foram também calculadas medidas descritivas, incluindo média, valores mínimos e máximos para as variáveis dendrométricas (DAP, altura comercial, volume e biomassa) e climáticas (temperatura e precipitação).

Foram elaborados gráficos de dispersão para avaliar a relação entre as variáveis climáticas e estruturais, incluindo: temperatura x biomassa, precipitação x biomassa, precipitação x volume, e volume x DAP. Para cada relação, foram inseridas linhas de tendência e o coeficiente de determinação (R^2), com o objetivo de quantificar o grau de associação entre as variáveis.

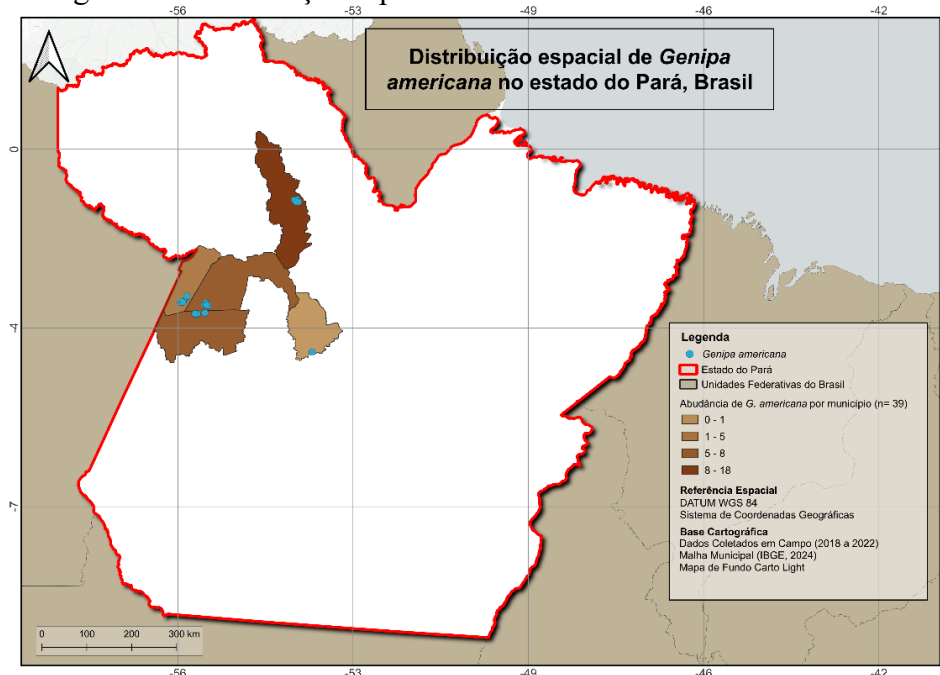
Complementarmente, foi realizada análise de correlação linear entre as variáveis climáticas e dendrométricas, utilizando a função CORREL, com o objetivo de avaliar a intensidade e a direção das associações entre temperatura, precipitação, biomassa, volume, DAP e altura comercial.

Os resultados foram interpretados de forma integrada, considerando a organização de dados e sistematização em tabela e os mapas temáticos de distribuição da espécie e das variáveis climáticas, permitindo uma análise conjunta entre padrões espaciais e relações quantitativas observadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição espacial de *G. americana* no estado do Pará apresentada na Figura 1 evidenciou concentração predominante na porção centro-oeste, com baixa ocorrência nas regiões leste, nordeste e sul. Observou-se que a maior parte dos registros está associada a áreas com precipitação superior a 2000 mm.

Figura 1 – Distribuição espacial de *G. americana* no estado do Pará



Fonte: Elaborado pelos autores com dados do WorldClim (2026).

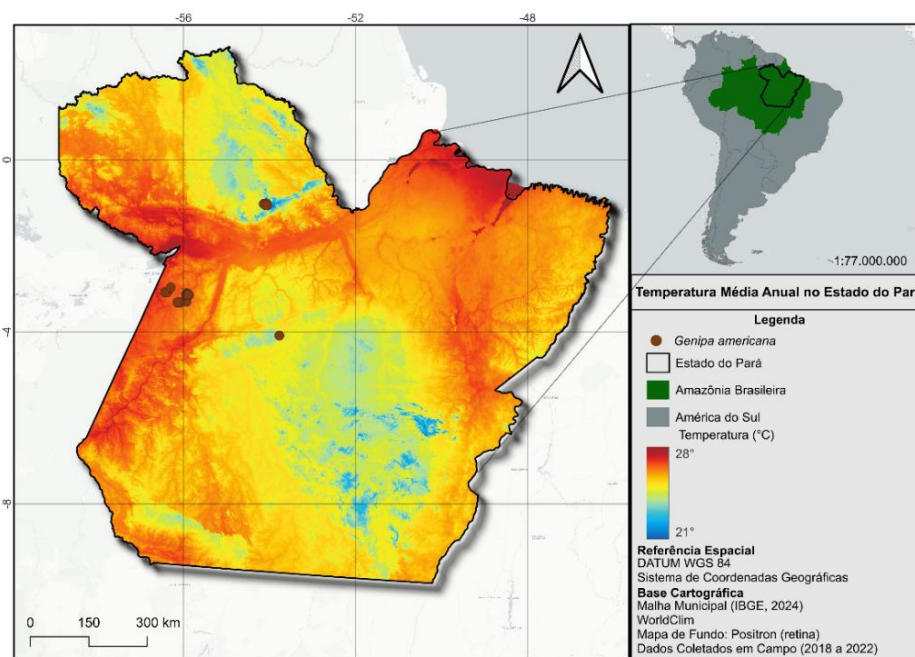
Esse padrão não aleatório está de acordo com o observado por (Lester *et al.*, 2007), que destacam a influência das condições ambientais na definição da distribuição das espécies, e por (Ter Steege *et al.*, 2013), que evidenciam que espécies amazônicas tendem a apresentar distribuição agregada em regiões com condições favoráveis. Assim, os resultados obtidos corroboram esses estudos ao demonstrar a distribuição da *G. americana* em diferentes condições ambientais.

A baixa quantidade de indivíduos registrada pode estar relacionada ao critério de inclusão em inventários de PMFS, que é a partir de 40cm de DAP. Isso pode ter restringido a inclusão de indivíduos jovens na amostragem. Além disso, o número reduzido de indivíduos analisados pode ter influenciado os padrões observados nos resultados. Resultado semelhante foi observado por (Käber *et al.*, 2024), que apontam que dados de inventário podem subestimar a regeneração natural dependendo dos critérios de inclusão.

Além disso, a distribuição agregada observada está em concordância com estudos de (Palma *et al.*, 2021) e (Poorter *et al.*, 2021), que destacam que espécies tropicais frequentemente apresentam padrão espacial condicionado por limitações de dispersão e fatores ambientais. Dessa forma, os resultados demonstraram a ocorrência de *G. americana* em diferentes áreas no estado do Pará, sem evidenciar associação forte entre as variáveis analisadas.

A distribuição da temperatura média anual nas áreas de ocorrência de *G. americana* apresentada na Figura 2 indicou valores entre aproximadamente 25 °C e 27 °C, evidenciando baixa amplitude térmica entre os pontos analisados. Observa-se que todos os registros da espécie estão inseridos em regiões de temperaturas elevadas e relativamente homogêneas.

Figura 2 – Temperatura média anual nas áreas de ocorrência de *G. americana* no estado do Pará



Fonte: Elaborado pelos autores com dados do WorldClim (2026).

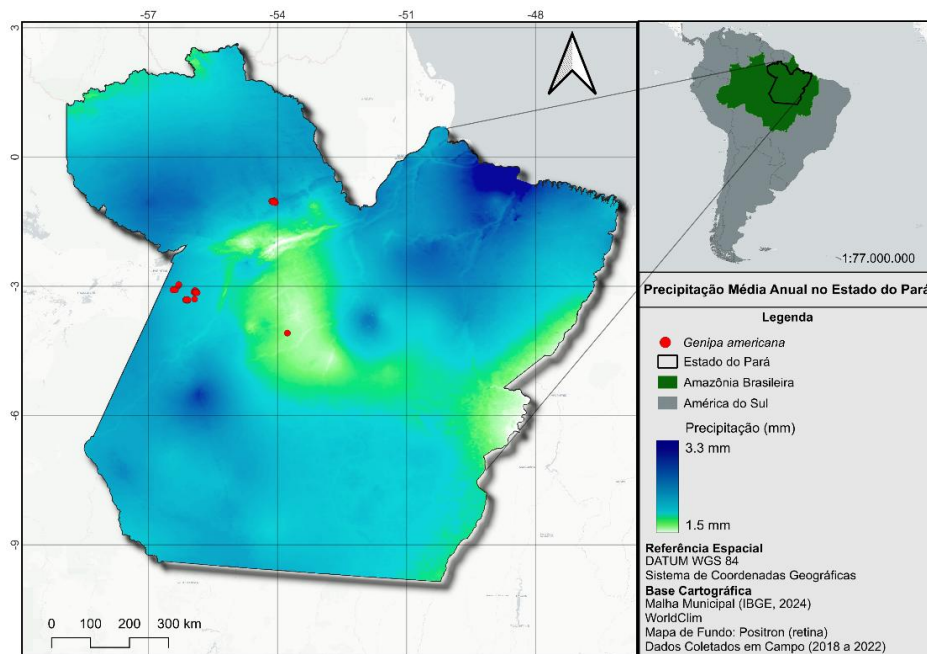
Esse resultado demonstra que a temperatura não apresenta variação expressiva entre as áreas de ocorrência, não configurando um fator de diferenciação espacial

relevante para a espécie. Padrão semelhante foi descrito por (Grote *et al.*, 2010), que destacam que, em ambientes tropicais, a estabilidade térmica favorece o funcionamento fisiológico das espécies, mantendo condições adequadas para crescimento e acúmulo de biomassa. Dessa forma, os resultados obtidos estão em concordância com esses autores ao indicar que a temperatura atua mais como um fator limitante geral do ambiente do que como variável explicativa da distribuição.

Além disso, a baixa variação térmica observada reforça que, na escala analisada, a temperatura apresenta baixa capacidade preditiva sobre a ocorrência da espécie. Esse comportamento também é consistente com (Elith e Leathwick 2009), que apontam que, em regiões tropicais, variáveis climáticas com pouca variabilidade espacial tendem a ter menor importância na modelagem da distribuição de espécies.

A distribuição da precipitação média anual nas áreas de ocorrência de *G. americana* observada na Figura 3 indicou valores variando aproximadamente entre 1684 mm e 2139 mm, mostrando ampla faixa de variação hídrica entre os locais analisados.

Figura 3 – Precipitação média anual nas áreas de ocorrência de *G. americana* no estado do Pará



Fonte: Elaborado pelos autores com dados do WorldClim (2026).

Observa-se que os registros da espécie ocorrem ao longo de diferentes intervalos de precipitação, porém com predominância em áreas com valores superiores a 2000 mm.

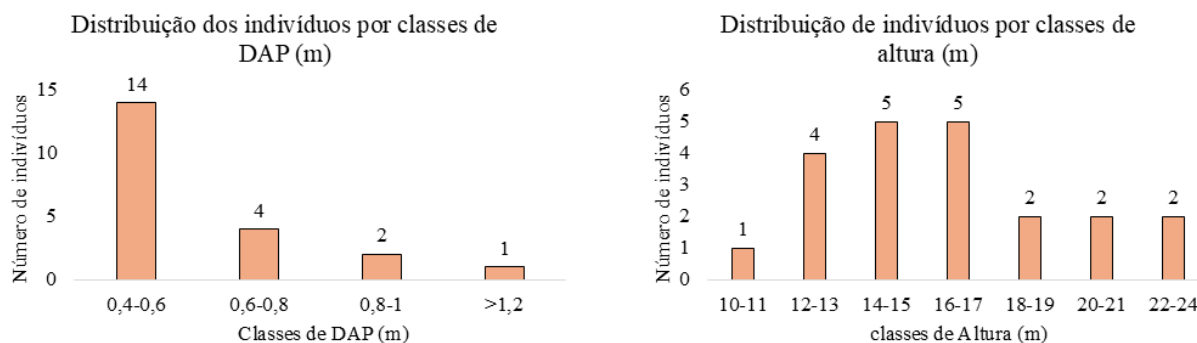
Padrão semelhante foi descrito por (Marenco *et al.*, 2014), que destacam a importância da água para o funcionamento fisiológico de espécies amazônicas, especialmente em processos como crescimento e desenvolvimento. No entanto, os resultados obtidos neste estudo não evidenciaram associação forte entre precipitação e ocorrência da espécie.

Além disso, a distribuição dos registros ao longo das diferentes faixas pluviométricas demonstra a presença de *G. americana* em variados ambientes, sem evidenciar associação linear expressiva entre os parâmetros analisados.

A Figura 4 apresenta a distribuição dos indivíduos de *G. americana* por classes de DAP e altura. Observa-se maior concentração de indivíduos nas classes intermediárias de diâmetro, com 14 indivíduos na classe de 0,4–0,6 m, seguida por 4 indivíduos na classe

de 0,6–0,8 m, enquanto as classes superiores apresentaram menor frequência (2 indivíduos em 0,8–1,0 m e 1 indivíduo >1,2 m). Esse padrão indica predominância de indivíduos em classes diamétricas menores.

Figura 4 – Distribuição dos indivíduos de *G. americana* por classes de DAP e altura.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Para a altura, a distribuição apresentou maior concentração nas classes intermediárias, com 5 indivíduos nas classes de 14–15 m e 16–17 m, seguidas por 4 indivíduos na classe de 12–13 m, enquanto as demais classes apresentaram menor frequência (1 a 2 indivíduos). Esse comportamento evidencia predominância de indivíduos em estágios intermediários de desenvolvimento.

Esse padrão de distribuição, com maior número de indivíduos em classes intermediárias e menor representatividade nas classes superiores, é típico de populações florestais naturais, refletindo dinâmica de crescimento e recrutamento contínuo. Resultados semelhantes foram descritos por (Chave *et al.*, 2014), que destacam a heterogeneidade estrutural como característica comum em florestas tropicais.

Além disso, a baixa frequência de indivíduos nas classes superiores de DAP e altura indica menor presença de árvores de grande porte, o que pode estar associado a fatores como competição, disponibilidade de recursos e histórico de regeneração da área. Esse comportamento também é consistente com estudos como o de (Poorter *et al.*, 2015), que apontam que a distribuição estrutural das florestas resulta da interação entre crescimento, mortalidade e recrutamento.

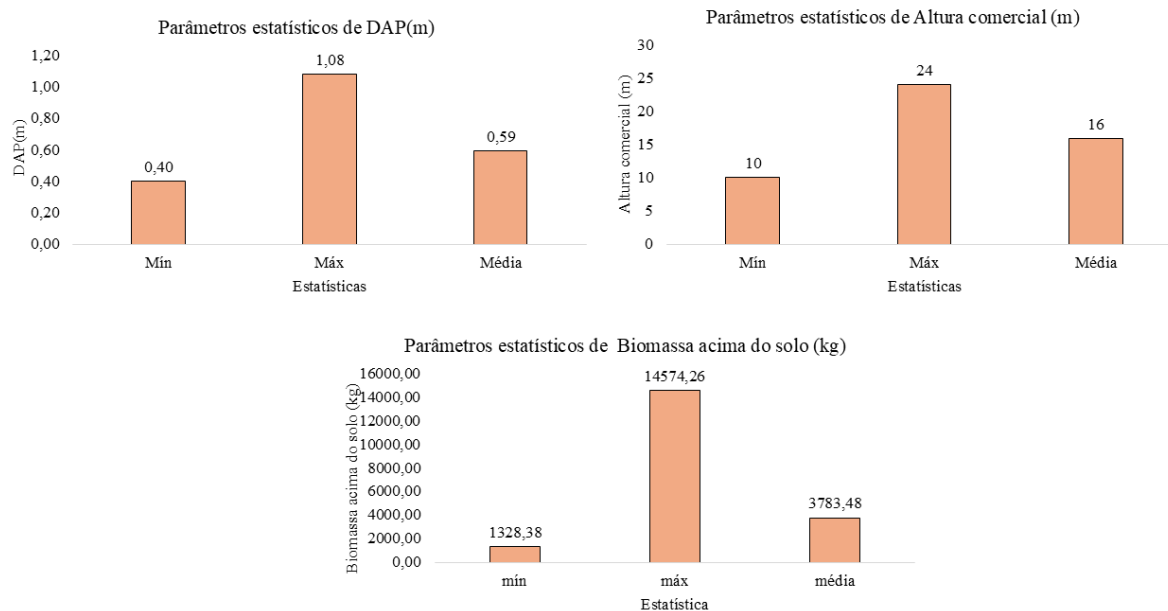
Com relação às variáveis estruturais, demonstrada na Figura 5 os valores de DAP, altura e biomassa de *G. americana* apresentaram variação considerável entre as áreas analisadas. O DAP variou de 0,40 m a 1,08 m, com média de 0,59 m, enquanto a altura apresentou amplitude de 10 m a 24 m, com média de 16 m, evidenciando heterogeneidade estrutural entre os indivíduos. A biomassa acima do solo também apresentou variação expressiva, com valores entre 1328,38 kg e 14574,26 kg, e média de 3783,48 kg, indicando diferenças estruturais entre os indivíduos avaliados.

Essa variação demonstra a presença de indivíduos em diferentes estágios de desenvolvimento, desde classes menores até indivíduos de maior porte. Padrão semelhante foi observado por (Chave *et al.*, 2014), que destacam a elevada variabilidade estrutural como característica comum em florestas tropicais naturais. Assim, os resultados obtidos estão em concordância com esses autores ao indicar uma estrutura populacional heterogênea.

Além disso, a diferença entre os valores médios e máximos de biomassa indica que poucos indivíduos de grande porte concentram parcela significativa do estoque total. Esse comportamento também foi descrito por (Chave *et al.*, 2005), que apontam que a

biomassa em florestas tropicais é desproporcionalmente acumulada por árvores maiores. Dessa forma, os resultados reforçam o papel desses indivíduos no armazenamento de carbono e na estrutura da floresta.

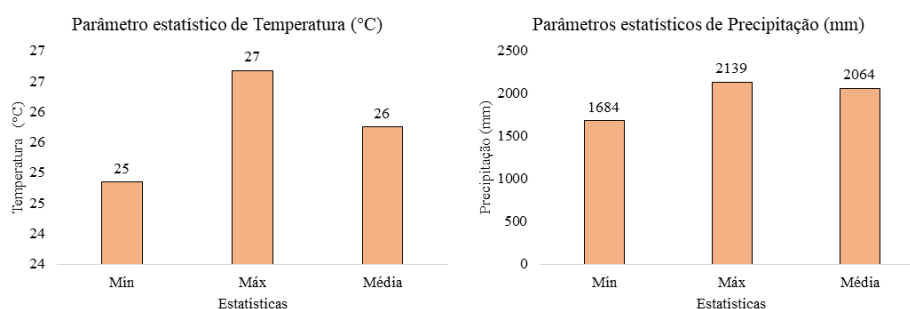
Figura 5 – Parâmetros estatísticos (mínimo, máximo e média) do DAP, Altura e Biomassa de *G. americana*.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Em relação às variáveis climáticas, é possível observar na Figura 6 que a temperatura apresentou valores entre 25 °C e 27 °C, com média de 26 °C, indicando baixa variação entre as áreas analisadas.

Figura 6 – Parâmetros estatísticos (mínimo, máximo e média) de Temperatura e Precipitação de *G. americana*.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Por outro lado, a precipitação variou de 1684 mm a 2139 mm, com média de 2064 mm, mostrando maior amplitude de variação. Esse comportamento demonstra que, enquanto a temperatura se manteve relativamente homogênea, a precipitação apresentou maior heterogeneidade espacial.

A baixa variação térmica indica que a temperatura possui limitada capacidade de diferenciar as áreas estudadas, não se configurando como variável explicativa significativa para o desenvolvimento de *G. americana*. Em contrapartida, a precipitação

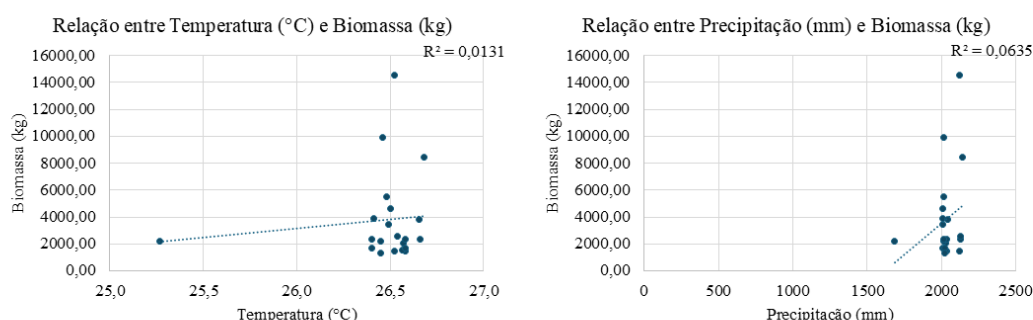
apresentou maior amplitude de variação entre as áreas analisadas, porém as correlações observadas indicaram baixa associação com as variáveis estruturais, conforme destacado por (Chave *et al.*, 2014).

Além disso, estudos como o de (Malhi *et al.*, 2004) destacam a importância da disponibilidade hídrica para ecossistemas tropicais, especialmente em processos relacionados ao crescimento vegetal e dinâmica florestal.

Foram realizadas análises de correlação entre variáveis climáticas e estruturais de *G. americana*, por meio de gráficos de dispersão com linhas de tendência e cálculo do coeficiente de determinação (R^2), visando avaliar o grau de associação entre os parâmetros.

A Figura 7 apresenta as relações entre temperatura e biomassa e entre precipitação e biomassa. Os resultados indicaram baixa capacidade explicativa dos modelos lineares, com valores de $R^2 = 0,0131$ para temperatura x biomassa e $R^2 = 0,0635$ para precipitação x biomassa. Esses valores indicam que menos de 7% da variação da biomassa é explicada pelas variáveis climáticas analisadas.

Figura 7 – Relação entre variáveis climáticas e estruturais de *G. americana*: temperatura x Biomassa; Precipitação x Biomassa



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

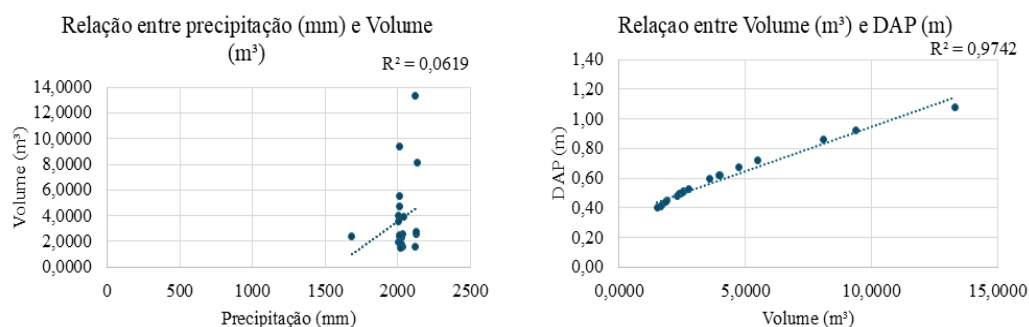
Esse comportamento demonstra a ausência de uma relação linear forte entre as variáveis, sugerindo que o acúmulo de biomassa não é diretamente controlado apenas por temperatura e precipitação na escala avaliada. Resultado semelhante foi descrito por (Poorter *et al.*, 2015), que destacam a influência de múltiplos fatores ambientais e estruturais sobre o acúmulo de biomassa em florestas tropicais, reforçando que variáveis climáticas isoladas possuem capacidade limitada de explicação.

Além disso, fatores como condições do solo, disponibilidade de nutrientes, estágio de desenvolvimento dos indivíduos e interações ecológicas podem exercer influência mais significativa sobre a biomassa. (Chave *et al.*, 2014) também ressaltam a complexidade dos sistemas florestais tropicais, nos quais o crescimento e o acúmulo de biomassa resultam da interação de múltiplos fatores, o que está em concordância com os resultados observados neste estudo.

A Figura 8 evidencia as relações entre precipitação e volume e entre volume e DAP de *G. americana*. Os resultados evidenciam comportamentos distintos entre as variáveis analisadas.

Para a relação entre precipitação e volume, o coeficiente de determinação ($R^2 = 0,0619$) indica que aproximadamente 6% da variação do volume é explicada pela precipitação, evidenciando baixa capacidade preditiva do modelo linear e uma associação fraca entre as variáveis.

Figura 8 – Relação entre variáveis climáticas e estruturais de *G. americana*: Precipitação x volume, volume x DAP.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Esse resultado reforça que variáveis climáticas isoladas possuem limitada capacidade de explicar variações estruturais, comportamento também observado em estudos como o de (Sullivan *et al.*, 2017), que destacam a baixa previsibilidade de atributos florestais a partir de fatores climáticos isolados.

Por outro lado, a relação entre volume e DAP apresentou $R^2 = 0,9742$, indicando que cerca de 97% da variação do volume é explicada pelo diâmetro das árvores, evidenciando uma associação muito forte. Esse resultado está em concordância com (Chave *et al.*, 2014), uma vez que o volume é diretamente dependente do DAP nas equações alométricas, sendo essa uma relação estrutural esperada.

De forma geral, os resultados demonstram que variáveis estruturais apresentam maior capacidade explicativa sobre o volume quando comparadas às variáveis climáticas, indicando que o desenvolvimento da espécie é resultado da interação de múltiplos fatores, e não apenas de condições climáticas isoladas.

Complementarmente, a análise de correlação linear entre as variáveis climáticas e dendrométricas, realizada por meio da função CORREL na planilha eletrônica, indicou associações positivas de baixa magnitude entre a maioria dos pares avaliados.

As relações entre precipitação e biomassa ($r = 0,25$) e entre precipitação e volume ($r = 0,25$) indicam associação fraca, sugerindo que a disponibilidade hídrica explica apenas uma pequena parcela da variação dessas variáveis estruturais. De forma semelhante, a correlação entre temperatura e biomassa ($r = 0,11$) também apresentou baixa intensidade, reforçando a limitada influência das variáveis climáticas isoladas.

Por outro lado, a relação entre volume e DAP apresentou $r = 0,99$, indicando associação extremamente forte, com elevada capacidade explicativa.

De modo geral, os baixos coeficientes observados para as variáveis climáticas indicam que essas apresentam baixa capacidade explicativa sobre as variações estruturais da espécie. Esse comportamento é comum em florestas tropicais, onde múltiplos fatores atuam simultaneamente sobre o crescimento das árvores, conforme destacado por (Sullivan *et al.*, 2017).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da espécie *G. americana* em áreas privadas do estado do Pará evidenciou que as variáveis climáticas analisadas apresentam influência limitada sobre a estrutura dendrométrica e o acúmulo de biomassa quando avaliadas por meio de relações lineares diretas. Os baixos coeficientes de correlação obtidos indicaram ausência de associações fortes entre temperatura, precipitação, DAP, altura comercial, volume e biomassa,

demonstrando que esses fatores não explicam isoladamente a variação observada nos dados.

Além disso, a forte relação observada entre volume e DAP reforça a importância das variáveis estruturais na explicação do crescimento da espécie. Assim, os resultados reforçam a importância da integração entre análises estatísticas e espaciais para melhor compreensão da dinâmica ecológica da espécie e para subsidiar estratégias de manejo florestal sustentável e avaliação do potencial de estoque de carbono. Nesse sentido, recomenda-se a realização de estudos complementares com maior número de indivíduos e inclusão de outras variáveis ambientais, visando ampliar a compreensão sobre os fatores relacionados ao desenvolvimento de *G. americana*.

REFERÊNCIAS

BIMESTRE, Thiago Averaldo et al. Physicochemical characterization and thermal behavior of different wood species from the amazon biome. **Energies**, v. 16, n. 5, p. 2257, 2023.

BRANDELERO, Catize et al. Tecnologia móvel utilizada no inventário florestal. **Floresta**, v. 38, n. 4, p. 727-734, 2008.

CERVANTES, Andrew G.; VEGA GUTIERREZ, Patricia T.; ROBINSON, Seri C. Inventários florestais em áreas privadas e protegidas do Paraguai. **Challenges**, v. 14, n. 2, p. 23, 2023.

CHAVE, Jérôme et al. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. **Global change biology**, v. 20, n. 10, p. 3177-3190, 2014.

CHAVE, Jérôme et al. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, v. 145, n. 1, p. 87-99, 2005.

COLA, Raquel Elvira; GONÇALVES, Maria da Penha Moreira; GALLO, Ricardo. *Genipa americana* L. geographic occurrence in Brazil. **Floresta**, v. 52, n. 4, p. 521-530, 2022.

COLETO, Angelica Leonel. **Estoque de carbono e variação genética para caracteres silviculturais em teste de progênies e procedências de *Genipa americana* L.** 2016. 1 CD-ROM. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2016.

CRESTANA, Cybele de Souza Machado. Estrutura populacional de *genipa americana* l.(rubiaceae) em mata riparia do rio moji-guaçu, em Conchal-sp. **Revista do Instituto Florestal**, v. 12, n. 2, p. 105-117, 2000.

ELITH, Jane; LEATHWICK, John R. Modelos de distribuição de espécies: explicação ecológica e previsão no espaço e no tempo. **Annual review of ecology, evolution, and systematics**, v. 40, n. 1, p. 677-697, 2009.

GROTE, Edmund E. et al. Troca de carbono em comunidades de crostas biológicas do solo sob diferentes temperaturas e conteúdos de água no solo: implicações para as mudanças globais. **Global Change Biology**, v. 16, n. 10, p. 2763-2774, 2010.

LESTER, Sarah E. et al. A relação entre a capacidade de dispersão e o tamanho da área de distribuição geográfica. **Ecology letters**, v. 10, n. 8, p. 745-758, 2007.

MALHI, Yadvinder et al. A produtividade de madeira grossa acima do solo em 104 parcelas florestais neotropicais. **Global change biology**, v. 10, n. 5, p. 563-591, 2004.

MARENCO, Ricardo Antonio et al. Fisiologia de espécies florestais da Amazônia: fotossíntese, respiração e relações hídricas. **Revista Ceres**, v. 61, n. suppl, p. 786-799, 2014.

MARTORANO, Lucietta Guerreiro et al. Zoneamento topoclimático na Amazônia brasileira: aprimorando a sustentabilidade e a resiliência das florestas nativas diante das mudanças climáticas. **Forests**, v. 16, n. 6, p. 1015, 2025.

NOGUEIRA, Euler Melo; FEARNSTIDE, Philip Martin; NELSON, Bruce Walker; FRANÇA, Marcos B.; OLIVEIRA, Átila Rodrigues de. **Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: new allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 256, n. 11, p. 1853–1867, 2008. DOI: 10.1016/j.foreco.2008.07.022.

PALMA, Ana C. et al. Limitações de dispersão e recrutamento em florestas secundárias. **Journal of Vegetation Science**, v. 32, n. 1, p. e12975, 2021.

PAIVA, Jéssica Nunes et al. Crescimento e sobrevivência de *Genipa americana* L. no município de Macaíba (Rio Grande do Norte–Brasil). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 7, n. 3, 2019.

POORTER, Lourens et al. Diversity enhances carbon storage in tropical forests. **Global Ecology and Biogeography**, v. 24, n. 11, p. 1314-1328, 2015.

POORTER, Lourens et al. Recuperação funcional de florestas tropicais secundárias. **Anais da Academia Nacional de Ciências**, v. 118, n. 49, p. e2003405118, 2021.

SILVA, João Antonio da. **Alocação de biomassa em mudas de espécies arbóreas nativas com sistema radicular alongado via irrigação passiva por capilaridade**. 2023. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SILVA, José Natalino Macedo; CARVALHO, João Olegário Pereira de; LOPES, José do Carmo Alves; CARVALHO, Manoel Sebastião Pereira de. **Equações de volume para a Floresta Nacional do Tapajós. Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 8/9, p. 50-63, jun./dez. 1984.

SOUSA-SANTOS, Catriane et al. Uma revisão sistemática quantitativa sobre o conhecimento científico, usos e manejo de *Genipa americana*: uma cultura arbórea

chave para agroecossistemas tropicais. **Recursos Genéticos e Evolução de Culturas**, v. 71, n. 8, p. 3973-3985, 2024.

SULLIVAN, Martin JP et al. Diversity and carbon storage across the tropical forest biome. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 39102, 2017.

TER STEEGE, Hans et al. Hyperdominance in the Amazonian tree flora. **Science**, v. 342, n. 6156, p. 1243092, 2013.

KÄBER, Yannek; HARTIG, Florian; BUGMANN, Harald. Inferring the tree regeneration niche from inventory data using a dynamic forest model. **Geoscientific Model Development**, v. 17, n. 7, p. 2727-2753, 2024.

Capítulo 05

**INTEGRANDO A VALORAÇÃO DOS SERVIÇOS
ECOSSISTÊMICOS AO LICENCIAMENTO AMBIENTAL: UM
ESTUDO DE CASO DA MATA ATLÂNTICA SUL-BAIANA.**

**Luiza Beatriz Fernandes, Gil Strenzel, Andréa Gomes, Larissa Rocha-Santos,
Deborah Faria**

Resumo: O licenciamento ambiental é um instrumento político fundamental para a regulamentação de projetos de desenvolvimento que podem afetar ecossistemas naturais. No entanto, os procedimentos de licenciamento frequentemente deixam de incorporar o valor econômico dos serviços ecossistêmicos perdidos decorrentes da alteração do uso da terra legalmente autorizada. Este estudo examina como a valoração dos serviços ecossistêmicos pode subsidiar a definição de medidas de compensação ambiental nos processos de licenciamento. Utilizando o projeto do porto de Porto Sul, na Mata Atlântica brasileira, como estudo de caso, estimamos o valor dos estoques de carbono acima do solo e dos produtos florestais madeireiros em áreas designadas para supressão da vegetação. Os estoques de carbono variaram de 37,68 a 186,16 Mg ha⁻¹. Com base em cenários de preços de carbono nacionais e internacionais, o valor estimado do armazenamento de carbono variou de US\$ 216.557,55 a US\$ 1.385.968,32. Quando os custos de restauração são considerados, os serviços ecossistêmicos correspondem a aproximadamente 46,09% da compensação ambiental definida no Termo de Compromisso Socioambiental. Esses resultados destacam a importância da incorporação da valoração dos serviços ecossistêmicos nos procedimentos de licenciamento ambiental para aprimorar os mecanismos de compensação e alinhar melhor o desenvolvimento à conservação ambiental.

Palavras-chave: Serviços Ecossistêmicos; Valoração de Serviços Ecossistêmicos; Licenciamento Ambiental; Compensação Ambiental; Mata Atlântica

L. B. Fernandes  Instituto de Biologia/UFBA. Salvador, BA, Brasil. e-mail: becalu12@gmail.com. ORCID: 0000-0001-5735-836X.

G. Strenzel  Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais/UESC. Ilhéus, BA, Brasil. e-mail: gmrstrenzel@uesc.br. ORCID: 0000-0002-7277-342X

A. Gomes  Departamento de Ciências Econômicas/UESC. Ilhéus, BA, Brasil. e-mail: andreauesc@gmail.com. ORCID: 0000-0003-2898-2627.

L. Rocha-Santos  Departamento de Ciências Biológicas/UESC. Ilhéus, BA, Brasil. e-mail: rochalarissa@yahoo.com.br. ORCID: 0000-0002-3231-5635.

D. Faria  Departamento de Ciências Biológicas/UESC. Ilhéus, BA, Brasil. e-mail: deborahuesc@gmail.com. ORCID: 0000-0002-0375-2887.

© Este trabalho integra a obra: “Avanços e Desafios nas Ciências Ambientais (vol. 02)”, publicado pela Reconnecta Soluções em 2026, disponível para acesso gratuito em: www.reconnectasolucoes.com.br/editora

INTRODUÇÃO

As atividades humanas exercem uma pressão crescente sobre os ecossistemas naturais, com avaliações recentes indicando que a humanidade já ultrapassou seis dos nove limites planetários (Richardson et al., 2023). Em resposta a essas crescentes pressões ambientais, governos em todo o mundo desenvolveram marcos regulatórios com o objetivo de controlar os impactos ambientais decorrentes do desenvolvimento econômico (Batalhão, 2018). Entre esses instrumentos, o licenciamento ambiental desempenha papel central na regulamentação de projetos que podem afetar significativamente os recursos naturais. Por meio desse processo, as autoridades avaliam os potenciais impactos ambientais e exigem medidas destinadas a prevenir, mitigar ou compensar esses danos. O licenciamento ambiental, portanto, busca conciliar o desenvolvimento econômico com a proteção ambiental (Bragagnolo et al., 2017).

No Brasil, um país megadiverso que abriga grande parte da biodiversidade mundial, o licenciamento ambiental constitui um componente fundamental da governança ambiental. A Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981) estabelece que qualquer atividade com potencial de causar degradação ambiental deve obter licença ambiental antes de sua implementação. O processo de licenciamento normalmente envolve três fases sequenciais — preliminar, de instalação e de operação — durante as quais as autoridades avaliam os impactos ambientais e definem medidas de mitigação e compensação (Resolução CONAMA 237/1997). Embora o sistema de licenciamento brasileiro seja frequentemente considerado relativamente robusto, tem sido cada vez mais desafiado por pressões políticas e institucionais que visam simplificar ou enfraquecer as regulamentações ambientais. Mudanças legais recentes, como a Lei nº 15.190/2025, ilustram tentativas em curso de reformar a governança ambiental de maneiras que podem fragilizá-la.

Um dos principais desafios enfrentados pelos sistemas de licenciamento ambiental diz respeito ao tratamento do desmatamento e das mudanças no uso da terra associadas a projetos de desenvolvimento. O desmatamento continua sendo um dos principais fatores de perda de biodiversidade (Roriz et al., 2017), particularmente em biomas altamente ameaçados, como a Mata Atlântica brasileira. Embora uma parcela significativa do desmatamento no Brasil ocorra ilegalmente, o licenciamento ambiental também autoriza a supressão legal da vegetação nativa para projetos de infraestrutura e de desenvolvimento. Na Mata Atlântica, que já perdeu mais de 80% de sua cobertura original, aproximadamente 13,7% do desmatamento recente ocorreu por meio de processos legalmente autorizados (Resende et al., 2024).

Além da remoção direta da vegetação, a mudança no uso da terra associada a projetos de desenvolvimento também resulta na perda de serviços ecossistêmicos. Os serviços ecossistêmicos podem ser definidos como os processos e funções ecológicas que sustentam o bem-estar humano (Daily, 1997). Nas últimas décadas, o conceito de serviços ecossistêmicos tornou-se cada vez mais importante na política e na tomada de decisões ambientais, pois fornece uma estrutura para vincular processos ecológicos a benefícios sociais e econômicos. No entanto, apesar desse reconhecimento crescente, os procedimentos de licenciamento ambiental muitas vezes não incorporam adequadamente o valor dos serviços ecossistêmicos nos mecanismos de compensação ambiental. Em muitos casos, as medidas de compensação permanecem focadas principalmente em impactos ambientais visíveis, como erosão, poluição e perda de habitat, enquanto funções

ecossistêmicas mais amplas — como regulação climática, armazenamento de carbono e manutenção da biodiversidade — raramente são consideradas (Rosario et al., 2024).

Um serviço ecossistêmico particularmente relevante neste contexto é o armazenamento de carbono. Os ecossistemas florestais desempenham um papel crucial na regulação do clima global, ao armazenarem grandes quantidades de carbono na biomassa e nos solos. Quando a vegetação é removida durante projetos de desenvolvimento licenciados, quantidades significativas de carbono podem ser liberadas na atmosfera. Apesar disso, os procedimentos de licenciamento ambiental raramente quantificam as emissões de carbono associadas à supressão da vegetação ou incorporam essas perdas nos mecanismos de compensação ambiental. Essa omissão representa uma lacuna importante nas estruturas atuais de governança ambiental e destaca a necessidade de ferramentas analíticas aprimoradas capazes de integrar a valoração dos serviços ecossistêmicos aos processos de licenciamento ambiental (Bôas e Geib, 2024).

Neste contexto, este estudo avalia como a valoração de serviços ecossistêmicos pode apoiar decisões de licenciamento ambiental e aprimorar o desenho de medidas de compensação ambiental. Utilizando o projeto Porto Sul, localizado na Mata Atlântica Sul-Baiana, como estudo de caso, estimamos o valor econômico dos estoques de carbono acima do solo e dos produtos florestais madeireiros associados à supressão da vegetação legalmente autorizada. Além disso, estimamos os custos necessários para restaurar ecossistemas capazes de prover serviços similares na paisagem afetada. Em seguida, comparamos os valores estimados dos serviços ecossistêmicos e os custos de restauração às medidas de compensação ambiental estabelecidas no processo de licenciamento. Dessa forma, este estudo explora como a incorporação da valoração de serviços ecossistêmicos nos procedimentos de licenciamento ambiental pode contribuir para mecanismos de compensação ambiental mais eficazes e para decisões de políticas ambientais mais bem fundamentadas.

METODOLOGIA

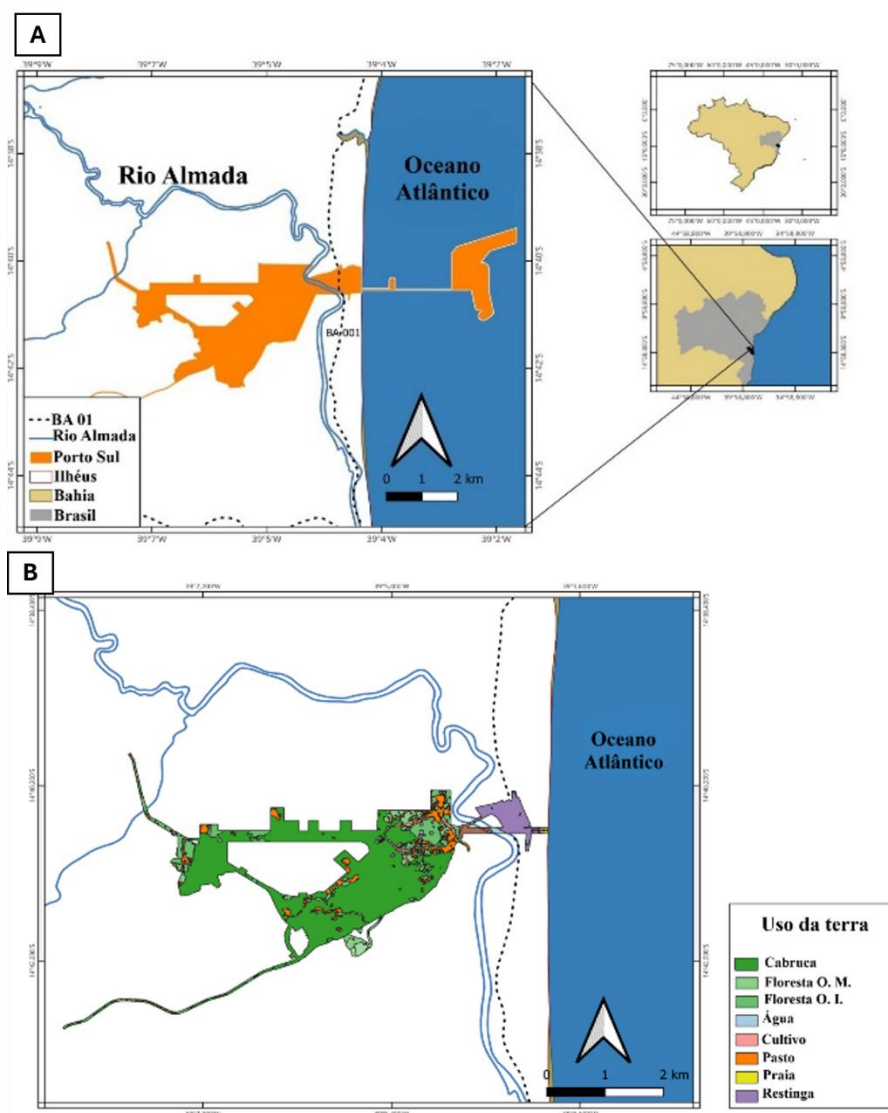
ÁREA DE ESTUDO

O Complexo Porto Sul está sendo instalado no município de Ilhéus, no estado da Bahia, no Nordeste do Brasil (Figura 1). A região está localizada no bioma Mata Atlântica, um dos *hotspots* de biodiversidade mais importantes do mundo (Martini et al, 2007; Rezende et al, 2018). A área do projeto situa-se próxima a importantes áreas de conservação, incluindo a Área de Proteção Ambiental da Lagoa Encantada e o Parque Estadual da Serra do Conduru. Abrange também parte do estuário do rio Almada, importante bacia hidrográfica da região cacauzeira do sul da Bahia.

A economia regional caracteriza-se por serviços, agricultura, pesca, navegação, recreação e ecoturismo (Gomes et al., 2012; Moreira, 2013). O cultivo de cacau desempenha um papel central na economia e na paisagem locais. No sul da Bahia, o cacau é tradicionalmente cultivado em sistemas agroflorestais conhecidos como cabucas, nos quais os cacauzeiros são plantados sob um dossel de floresta nativa raleada. Esse sistema de produção contribui para a conservação da biodiversidade e o armazenamento de carbono em toda a paisagem (Schroth et al., 2015).

A área de licenciamento do Porto Sul é de aproximadamente 576,87 hectares de vegetação composta por diferentes fitofisionomias, incluindo sistemas agroflorestais de cacau (cabucas), restinga, manguezais e florestas em diferentes estágios de regeneração.

Figura 1. Localização de Porto Sul no Distrito de Aritaguá, Ilhéus (a) e mapa de uso do solo na área de implementação de Porto Sul antes do início das obras (b). Floresta O. M.: Floresta em estágio médio de regeneração. Floresta O. I.: Floresta em estágio inicial de regeneração.



Fonte: Elaborado pelos autores.

ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE CARBONO ACIMA DO SOLO NA ÁREA DE ESTUDO

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos do inventário florestal realizado durante o processo de licenciamento ambiental do projeto Porto Sul em 2015 (IBAMA, 2015). É o melhor dado disponível referente às fitofisionomias da área de estudo; todas as modificações ocorridas na área desde o inventário até a realização deste estudo ocorreram por licença e de acordo com o previsto no inventário. O inventário incluiu informações sobre mapeamento da vegetação, bem como medições de campo de árvores amostradas, incluindo identificação de espécies, diâmetro à altura do peito (DAP), altura da árvore e coordenadas geográficas.

Um total de 76 parcelas de amostragem, com 20×20 m, foi distribuído por toda a área de estudo. Destas, 35 parcelas estavam localizadas em sistemas de cabruca, seis em florestas em estágios intermediários de regeneração (FOM), quinze em florestas em estágios iniciais de regeneração (FIN), dezoito na restinga e duas em áreas de mangue. O número de parcelas de cada tipo de vegetação foi proporcional à área de cada fitofisionomia no projeto.

A biomassa acima do solo foi estimada por meio de equações alométricas específicas para cada tipo de vegetação (Quadro 1). Para a maioria dos tipos de vegetação, a biomassa foi estimada com base no modelo proposto por Chave et al. (2014). Apesar das equações desenvolvidas por Chave e colaboradores incorporarem DAP, altura e densidade da madeira para melhorar as estimativas em florestas tropicais, ainda é necessário reconhecer, como limitações do estudo, possíveis erros na medição de campo — o que gera grandes diferenças nas estimativas de biomassa. Outro fator são as diferenças regionais, como características climáticas e ecológicas, que podem não refletir adequadamente essa região tropical específica (Vieilledent et al, 2012). Equações adicionais foram usadas para árvores menores em sistemas de cabruca e para restinga e manguezais (Andrade et al, 2008; Zuñe et al, 2022; Fourqurean et al, 2014). Para essas equações possíveis, medições de campo incorretas também podem provocar distorções relevantes, e a heterogeneidade estrutural dentro de uma mesma fitofisionomia dificulta a representatividade de toda a vegetação (Chave et al, 2014). Os estoques de carbono acima do solo foram estimados aplicando uma fração de carbono de 0,5 aos valores estimados de biomassa (Fourqurean et al, 2014; Schroth et al, 2015).

Para estimar espacialmente os estoques de carbono em toda a área do projeto, a interpolação geoestatística foi realizada por meio do método de krigagem bayesiana empírica no ArcMap, versão 10.8. Essa abordagem prevê valores em locais não amostrados com base na autocorrelação espacial entre as parcelas amostradas e fornece estimativas de erro de previsão, o que permite uma melhor representação espacial da distribuição de carbono na paisagem (Vanderley-Silva e Valente, 2022). A análise é sensível a erros amostrais, outliers e pode não representar bem gradientes.

Quadro 1 - Equações alométricas utilizadas para quantificar o tipo de vegetação.

DAP, diâmetro à altura do peito; H, altura do indivíduo; ρ , densidade da madeira; FIN, Floresta em Estágio Inicial de Regeneração; FOM, Floresta em Estágio Intermediário de Regeneração.

Tipo Vegetação	Equação Alométrica	Referência
Cabruca / FIN / FOM	$(0,0559 \times (\rho D^2 H))$	Chave et al., 2014
Cabruca D < 10cm	$10(-1,27 + 2,20 \cdot \log(DBH))$	Andrade et al., 2008
Restinga	$0.063(\rho(DBH)^2 A)0.976$	Zuñe et al., 2022
Mangue	$0.168 \cdot \rho \cdot (DBH)^{2.471}$	Fourqurean et al., 2014

AValiação Econômica e Análise Econômica

A avaliação econômica do armazenamento de carbono foi realizada com base em quatro cenários de preços de carbono: três cenários de mercados internacionais de carbono e um preço de referência nacional. Os preços internacionais foram obtidos a partir de mecanismos de precificação de carbono descritos no relatório de precificação de

carbono do Banco Mundial (2022), incluindo o American Carbon Registry (US\$ 11 Mg ha⁻¹), o Alberta Emission Offset System (US\$ 32 Mg ha⁻¹) e o Australian Emission Reduction Fund (US\$ 12,7 Mg ha⁻¹). Para o cenário nacional, adotou-se um preço de referência de US\$ 5 Mg ha⁻¹, que reflete valores comumente utilizados em iniciativas brasileiras de pagamento por serviços ambientais apoiadas pelo Fundo Amazônia (BNDES, 2015). Os programas vinculados ao Banco Mundial e ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) foram selecionados como referência de cenário de preços por representarem programas de carbono consolidados e preços mais realistas, ou seja, de acordo com preços praticados efetivamente no mercado. Todos os valores monetários foram calculados com base na taxa de câmbio de junho de 2023, quando US\$ 1 equivalia a R\$ 4,81.

Para complementar a valoração dos serviços ecossistêmicos, os custos de restauração foram estimados para áreas capazes de fornecer serviços ecossistêmicos semelhantes à paisagem afetada. Os custos de restauração incluíram o restabelecimento da vegetação nativa da Mata Atlântica, da restinga e dos ecossistemas de mangue, e de sistemas agroflorestais de cabruca. As estimativas de custos para a restauração da vegetação da Mata Atlântica foram baseadas em Brancalion et al. (2019), enquanto as para a restauração e manutenção da cabruca foram baseadas em Zugaib et al. (2017). Os custos de restauração da restinga foram obtidos de Bechara (2006), e os de restauração dos manguezais foram baseados em Bayraktarov et al. (2016). A correção monetária dos valores em reais foi realizada com base no Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), calculado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, considerando o período entre a publicação do estudo e junho de 2023. Para Bechara (2006), o índice de correção no período foi de 2,58; para Zugaib et al. (2017), de 1,40. Para publicações que apresentaram valores em dólares, o fator de correção foi o próprio dólar: a cotação final da data de correção (junho de 2023) foi dividida pela cotação na data de publicação do trabalho, e o resultado foi multiplicado pelo montante a ser corrigido. Para Bayraktarov et al. (2016), o índice foi de 3,01; para Brancalion et al. (2019), de 1,14.

O valor econômico dos produtos florestais madeireiros decorrentes do desmatamento também foi estimado. Com base no plano de desmatamento do projeto Porto Sul, o volume total estimado de material lenhoso a ser removido é de 187.238,86 m³, dos quais aproximadamente 10% (18.723,88 m³) poderiam ser utilizados para fins comerciais. Com base na lista de espécies identificadas no inventário florestal, foram calculados os preços médios ponderados da madeira, com base nas referências de preços da Instrução Normativa nº 4/2009 da Secretaria de Finanças do Estado da Bahia. Os preços foram ponderados com base no volume estimado de cada espécie, o que permitiu calcular um valor comercial médio por metro cúbico de madeira.

ANÁLISE COMPARATIVA DOS VALORES DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS E DA COMPENSAÇÃO AMBIENTAL

Para avaliar a relevância da valoração dos serviços ecossistêmicos no processo de licenciamento ambiental, foi realizada uma análise comparativa entre os valores econômicos estimados e as medidas de compensação ambiental definidas no contrato de licenciamento do projeto Porto Sul. A análise considerou três componentes principais: (i) o valor estimado do armazenamento de carbono associado à vegetação suprimida para a

implementação do projeto, (ii) o valor econômico dos produtos florestais derivados da remoção da vegetação e (iii) os custos estimados de restauração de ecossistemas capazes de fornecer serviços semelhantes na paisagem afetada.

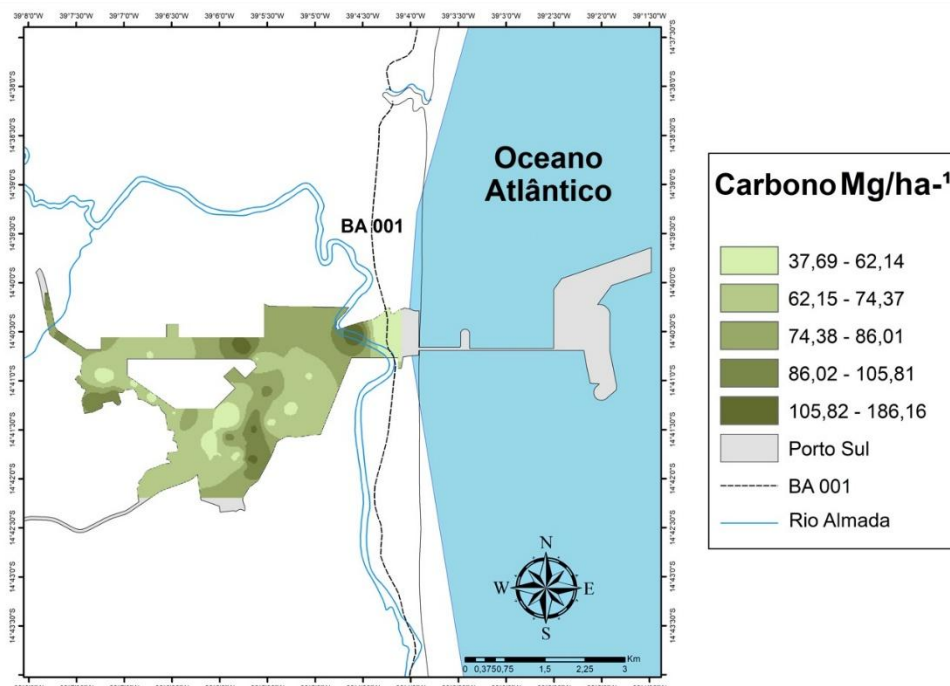
O valor combinado desses componentes foi então comparado ao valor financeiro total alocado às medidas de compensação ambiental estabelecidas no processo de licenciamento. Essa comparação permite avaliar em que medida os mecanismos de compensação atuais refletem o valor econômico dos serviços ecossistêmicos afetados pela mudança no uso da terra legalmente autorizada.

RESULTADOS

ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE CARBONO ACIMA DO SOLO NA ÁREA DE ESTUDO

A concentração de carbono na área de licenciamento variou de 37,68 a 186,16 Mg ha⁻¹ (Figura 2).

Figura 2 - Mapa de estimativa dos estoques de carbono acima do solo na área de licenciamento de Porto Sul. Produzido no *ArcMap*, utilizando a ferramenta de krigagem bayesiana empírica. São apresentadas faixas contínuas, da mais clara (menor concentração de carbono) à mais escura (maior concentração de carbono).

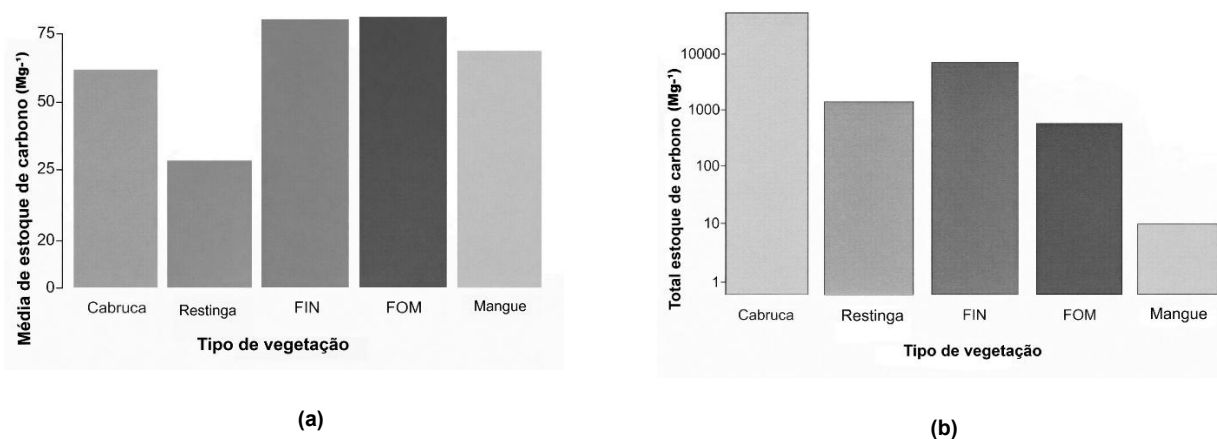


Fonte: Elaborado pelos autores.

Os estoques médios de carbono variaram entre os tipos de vegetação. Florestas em estágios intermediários de regeneração apresentaram média de 92,12 Mg ha⁻¹, enquanto as em estágio inicial de regeneração apresentaram média de 91,23 Mg ha⁻¹. Ecossistemas de mangue armazenaram 82,25 Mg ha⁻¹, os agroflorestais de cabruca, 75,12 Mg ha⁻¹, e as restingas, 44,80 Mg ha⁻¹. Considerando a área total afetada pela supressão da vegetação, os sistemas de cabruca representam a maior parcela do carbono armazenado

na paisagem e, portanto, respondem pela maior perda potencial de carbono associada ao projeto (Figura 3).

Figura 3. Gráfico de barras apresentando o estoque médio e total de carbono por tipo de vegetação na área de licenciamento de Porto Sul. Figura (a). Gráfico de barras mostrando o estoque médio de carbono (Mg ha^{-1}) por fitofisionomia na área de licenciamento de Porto Sul. Cabruca $75,12 \text{ Mg ha}^{-1}$, Restinga $44,80 \text{ Mg ha}^{-1}$, FIN $91,23 \text{ Mg ha}^{-1}$, FOM $92,12 \text{ Mg ha}^{-1}$ e Mangue $82,25 \text{ Mg ha}^{-1}$. Figura (b). Gráfico de barras ajustado à escala logarítmica mostrando o estoque total de carbono (Mg ha^{-1}) por fitofisionomia na área de licenciamento de Porto Sul. Cabruca $34.344,86 \text{ Mg ha}^{-1}$, Restinga $1.884,73 \text{ Mg ha}^{-1}$, FIN $6.582,24 \text{ Mg ha}^{-1}$, FOM $479,94 \text{ Mg ha}^{-1}$ e Mangue $19,74 \text{ Mg ha}^{-1}$.



Fonte: Elaborado pelos autores.

VALORAÇÃO ECONÔMICA DO CARBONO E ANÁLISE ECONÔMICA

Com base em cenários internacionais de precificação do carbono, o valor estimado variou de US\$ 493.751,19 a US\$ 1.385.968,32. Considerando o preço médio do carbono nos mercados analisados (US\$ 15,27 Mg ha^{-1}), o valor econômico estimado do armazenamento de carbono na área de licenciamento foi de US\$ 661.363,29 (Tabela 1).

Tabela 1 - Preço do carbono por tipo de vegetação na área licenciada de Porto Sul, com base nos mecanismos de precificação de carbono praticados nos cenários nacional e internacional. Cenário Internacional 1: American Carbon Registry. Cenário Internacional 2: Alberta Emission Offset System. Cenário Internacional 3: Australia Emission Reduction Fund.

Tipo de vegetação	Cenário nacional	Cenário Int. 1	Cenário Int. 2	Cenário Int. 3	Média dos preços
Valor da Mg/ha-year	US\$ 5.00	US\$11.4	US\$32	US\$12.7	US\$ 15.27
Mangue	98.70	225.03	631.68	250.69	301.03
Restinga	9,423.65	21,485.92	60,311.36	23,936.07	28,776.77
Cabruca	171,724.30	391,531.40	1,099,035.52	436,179.72	524,446.01
FOM	2,399.7	5,471.31	15,358.08	6,095.23	7,328.68
FIN	32,911.20	75,037.53	210,631.68	83,594.44	100,510.80
Total	216,557.55	493,751.19	1,385,968.32	550,056.15	661,363.29

Fonte: Elaborado pelos autores.

PREÇO DOS PRODUTOS FLORESTAIS MADEIREIROS

Com base no volume comercial estimado e no preço médio ponderado da madeira, o valor econômico potencial dos produtos florestais madeireiros derivados da supressão da vegetação foi estimado em US\$ 2.473.986,26.

CUSTO DE RESTAURAÇÃO

O custo total estimado necessário para restaurar ecossistemas capazes de fornecer serviços semelhantes em uma área equivalente foi de US\$ 1.155.156,35. Os custos de restauração variaram conforme o tipo de vegetação e a área afetada pelo projeto. Os sistemas agroflorestais de Cabruca representaram a maior parte dos custos de restauração (US\$ 830.855,84) devido à sua extensa área (457,20 ha). A restauração de florestas em estágios de regeneração totalizou US\$ 198.266,71 (77,36 ha), enquanto os custos de restauração da restinga foram estimados em US\$ 125.319,37 (42,07 ha). A restauração dos manguezais representou uma parcela relativamente pequena do custo total (US\$ 714,43) devido ao tamanho da área (0,24 ha). Esses valores representam os recursos financeiros estimados para restaurar ecossistemas capazes de fornecer funções ecológicas semelhantes à paisagem afetada.

DISCUSSÃO

Os acordos de compensação ambiental no Brasil frequentemente negligenciam o valor econômico dos serviços ecossistêmicos afetados por projetos de desenvolvimento regional. Os resultados deste estudo demonstram que a valoração dos serviços ecossistêmicos pode fornecer informações importantes para o aprimoramento dos processos de licenciamento ambiental, em razão de acordos de compensação ambiental. Quando os valores estimados de armazenamento de carbono, de produtos florestais madeireiros e de custos de restauração de ecossistemas foram combinados, totalizaram aproximadamente 46,09% dos recursos financeiros alocados a medidas de compensação ambiental no processo de licenciamento do Porto Sul. Essa constatação sugere que uma parcela substancial do valor ambiental associado aos serviços ecossistêmicos não é contemplada pelos mecanismos de compensação vigentes.

O valor estimado dos estoques de carbono acima do solo, por si só, representa uma parcela significativa dos recursos financeiros alocados a programas de restauração ambiental. É importante ressaltar que a presente análise considerou apenas os estoques de carbono acima do solo. Estudos anteriores indicaram que a quantidade de carbono abaixo do solo é minimamente equivalente à armazenada acima do solo, sugerindo que o valor total do armazenamento de carbono associado a esses ecossistemas poderia ser significativamente maior (Somarriba et al, 2013). Ou seja, é importante destacar que o presente trabalho adotou uma postura conservadora nas estimativas e que os resultados provavelmente estão subestimados.

Outro fator que limitou as análises foi não considerar outros serviços ecossistêmicos, como água, biodiversidade – já que o porto está sendo instalado em um *hotspot* de biodiversidade –, polinização e turismo. Os serviços ecossistêmicos funcionam de forma integrada, apresentando relações de sinergia e de *trade-offs*. Um serviço

depende da manutenção de outros serviços e de processos ecológicos; focar-se apenas em um serviço simplifica e ignora a interdependência ecológica e social dos ecossistemas (Brauman et al, 2007). No entanto, a indisponibilidade desses dados inviabilizou uma análise mais ampla e integrada.

Para integrar e ampliar as análises – na medida da disponibilidade de dados – considerou-se o potencial valor econômico dos produtos florestais madeireiros, que representou outro componente importante associado à supressão da vegetação. Os recursos madeireiros constituem um ativo econômico que pode contribuir para a otimização dos recursos financeiros disponíveis para a mitigação e a compensação ambientais. Em paisagens florestais tropicais, como a Mata Atlântica, o uso sustentável de espécies nativas e em regeneração pode oferecer oportunidades para conciliar iniciativas de restauração com a geração de valor econômico (Piazza et al, 2017). Nesta pesquisa, a estimativa do produto florestal madeireiro foi de 26,75% do valor total da compensação.

Outro aspecto relevante, destacado neste estudo, refere-se aos custos necessários para restaurar ecossistemas capazes de fornecer funções ecológicas semelhantes. A restauração de ecossistemas desempenha um papel fundamental na reversão da perda de biodiversidade e na recuperação dos serviços ecossistêmicos em paisagens degradadas. Os marcos políticos e ambientais internacionais têm enfatizado cada vez mais a restauração de ecossistemas como uma estratégia importante para a mitigação das mudanças climáticas e a conservação da biodiversidade, como se reflete em compromissos globais, tais como o Acordo de Paris (UNFCCC, 2015).

A incorporação de conceitos de serviços ecossistêmicos na avaliação de impacto ambiental tem sido cada vez mais reconhecida como uma abordagem importante para aprimorar a tomada de decisões ambientais (Geneletti, 2011; Tallis e Polasky, 2009). As avaliações de serviços ecossistêmicos podem apoiar os formuladores de políticas, fornecendo informações sobre as consequências ecológicas e econômicas da mudança no uso da terra e ajudando a projetar estratégias de mitigação e compensação mais eficazes.

O licenciamento ambiental constitui um dos principais mecanismos institucionais disponíveis para regular a mudança no uso da terra e mitigar os impactos ambientais associados a projetos de desenvolvimento (Bragagnolo et al., 2017). No entanto, os procedimentos de licenciamento atuais raramente incorporam a valoração dos serviços ecossistêmicos na definição de medidas de compensação ambiental. A integração da valoração dos serviços ecossistêmicos nos processos de licenciamento ambiental pode, portanto, contribuir para mecanismos de compensação mais transparentes e eficazes, ajudando a alinhar o desenvolvimento econômico aos objetivos de conservação ambiental.

CONCLUSÃO

A integração da valoração dos serviços ecossistêmicos no licenciamento ambiental pode aprimorar o desenho dos mecanismos de compensação ambiental e a mitigação dos impactos ambientais. Neste estudo, o valor econômico estimado do armazenamento de carbono, dos produtos florestais madeireiros e dos custos de restauração de ecossistemas correspondeu a aproximadamente 46,09% da compensação ambiental definida no processo de licenciamento do Porto Sul, conforme o Termo de Compromisso Socioambiental. Essa constatação sugere que as estruturas de compensação

atuais podem subestimar o valor ambiental associado aos serviços ecossistêmicos afetados por mudanças no uso da terra legalmente autorizadas. Como esta análise considerou apenas um conjunto limitado de serviços ecossistêmicos e não incluiu componentes como o carbono do solo, a água, a biodiversidade e a polinização, o valor ambiental associado à perda de ecossistemas pode ser substancialmente maior. Esses resultados destacam a necessidade de incorporar, de forma mais sistemática, a valoração dos serviços ecossistêmicos aos procedimentos de licenciamento ambiental, a fim de alinhar melhor o desenvolvimento econômico ao planejamento territorial e à conservação ambiental.

REFERÊNCIAS

RICHARDSON, K. et al. Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*, v. 9, eadh2458, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>

BATALHÃO, A. C. D. S. Types of environmental licensing: An analysis of the temporal evolution in Brazil. *International Journal of Environmental Protection and Policy*, v. 6, p. 9, 2018. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.ijep.20180601.12>

BRAGAGNOLO, C.; LEMOS, C. C.; LADLE, R. J.; PELLIN, A. Streamlining or sidestepping? Political pressure to revise environmental licensing and EIA in Brazil. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 65, p. 86–90, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2017.04.010>

RORIZ, P. A. C.; YANAI, A. M.; FEARNside, P. M. Deforestation and carbon loss in Southwest Amazonia: Impact of Brazil's revised Forest Code. *Environmental Management*, v. 60, p. 367–382, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00267-017-0879-3>

RESENDE, A. F. et al. How to enhance Atlantic Forest protection? Dealing with the shortcomings of successional stages classification. *Perspectives in Ecology and Conservation*, v. 22, p. 101–111, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2024.04.002>

DAILY, G. C. Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems. Washington: *Island Press*, 1997.

ROSARIO, R. P. G. et al. Ecological descriptors in environmental impact assessments: An urgent review of the method in Brazilian reports. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 106, 107532, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2024.107532>

BÔAS, R. V. V.; GEIB, D. Contemporary climate issues: Relevant topics on the articulation and implementation of public policies, decarbonization and environment. *Revista Jurídica*. 2024. DOI: 10.26668/revistajur.2316-753X.v1i77.6825

MARTINI, A. M. Z. et al. A hot-point within a hot-spot: A high diversity site in Brazil's Atlantic Forest. *Biodiversity and Conservation*, v. 16, p. 3111–3128, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10531-007-9166-6>

REZENDE, C. L. et al. From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. *Perspectives in Ecology and Conservation*, v. 16, p. 208–214, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2018.10.002>

GOMES, R. L. et al. Aspectos físico-ambientais e de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Almada-BA. *Boletim de Geografia*, v. 30, p. 45–57, 2012. DOI: <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v30i2.16423>

MOREIRA, G. L. Ilhéus, a terra da Gabriela cravo e canela: De espaço do cacau a espaço do turismo. *GeoTextos*, v. 9, 2013. DOI: <https://doi.org/10.9771/1984-5537geo.v9i1.8352>

SCHROTH, G. et al. Contribution of agroforests to landscape carbon storage. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, v. 20, p. 1175–1190, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11027-013-9530-7>

IBAMA. Inventário florestal para o processo de licenciamento ambiental do Porto Sul. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2015.

CHAVE, J. et al. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, v. 20, p. 3177–3190, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.12629>

VIEILLEDENT, G. et al. A universal approach to estimate biomass and carbon stock in tropical forests using generic allometric models. *Ecological Applications*, v. 22, n. 2, p. 572–583, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1890/11-0039.1>

ANDRADE, H. J.; SEGURA, M.; SOMARRIBA, E.; VILLALOBOS, M. Valoración biofísica y financiera de la fijación de carbono por uso del suelo en fincas cacaoteras indígenas de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, 2008.

ZUÑE, F.; DO NASCIMENTO MELO, E. C.; CONRADO LOPES, R. Efeito de borda sobre atributos funcionais das árvores num remanescente de restinga, Rio de Janeiro. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 42, p. e202002094, 2022. DOI: <https://doi.org/10.4336/2022.pfb.42e202002094>

FOURQUREAN, J. et al. Field sampling of vegetative carbon pools in coastal ecosystems. *Methods in Ecology and Evolution*, v. 5, p. 1021–1031, 2014. DOI: [10.13140/2.1.1445.3442](https://doi.org/10.13140/2.1.1445.3442)

VANDERLEY-SILVA, I.; VALENTE, R. A. COVID-19 spatialization by empirical Bayesian model in São Paulo, Brazil. *GeoJournal*, v. 88, p. 2775–2785, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10708-022-10780-8>

WORLD BANK. State and trends of carbon pricing 2022. Washington: *World Bank*, 2022.

BNDES. Relatório de atividades 2014: Fundo Amazônia. Rio de Janeiro: *Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social*, 2015.

BRANCALION, P. H. S. et al. What makes ecosystem restoration expensive? A systematic cost assessment of projects in Brazil. *Biological Conservation*, v. 240, 108274, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108274>

ZUGAIB, A. C. et al. Custos de implantação e manejo de sistemas agroflorestais de cacau no sul da Bahia. 2017.

BECHARA, F. C. Unidades demonstrativas de restauração ecológica através de técnicas nucleadoras: floresta estacional semidecidual, cerrado e restinga. 2006. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BAYRAKTAROV, E. et al. The cost and feasibility of marine coastal restoration. *Ecological Applications*, v. 26, p. 1055–1074, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1890/15-1077>

SOMARRIBA, E. et al. Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 173, p. 46–57, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.04.013>

BRAUMAN, K. A.; DAILY, G. C.; DUARTE, T. K.; MOONEY, H. A. The nature and value of ecosystem services: an overview highlighting hydrologic services. *Annual Review of Environment and Resources*, v. 32, p. 67–98, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.32.031306.102758>

PIAZZA, Geferson Elias; ZAMBLAZI, Daisy Christiane; CORREIA, Jean; FANTINI, Alfredo Celso. Regeneração natural de espécies madeireiras na floresta secundária da Mata Atlântica. *Advances in Forestry Science*, Cuiabá, v. 4, n. 2, p. 79–86, 2017. DOI: <https://doi.org/10.34062/afs.v4i2.4034>

UNFCCC. Paris Agreement. Paris: United Nations Framework Convention on Climate Change, 2015.

GENELETTI, D. Reasons and options for integrating ecosystem services in strategic environmental assessment of spatial planning. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 31, p. 385–396, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2011.01.002>

TALLIS, H.; POLASKY, S. Mapping and valuing ecosystem services as an approach for conservation and natural resource management. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1162, p. 265–283, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04152.x>

Capítulo 06

NUTRIÇÃO MINERAL COMO ESTRATÉGIA PARA AUMENTAR A RESILIÊNCIA DE FRUTÍFERAS ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Lubia da Silva Teixeira, Genaina Aparecida de Souza, Deisy Johana Cuellar López e Victor Bertazo Moreira.

Resumo: As mudanças climáticas representam um desafio crescente para a fruticultura, afetando processos fisiológicos, produtividade e qualidade dos frutos, especialmente devido ao aumento da temperatura, irregularidade hídrica, eventos extremos e alterações na disponibilidade de nutrientes. Este trabalho tem como objetivo integrar o conhecimento sobre os impactos das mudanças climáticas na fruticultura, com ênfase nas bases fisiológicas das respostas das plantas e no papel da nutrição mineral na resiliência a estresses abióticos, analisando estratégias nutricionais e identificando lacunas e perspectivas para sistemas mais sustentáveis. Evidencia-se que nutrientes essenciais e elementos benéficos exercem papel determinante na manutenção da homeostase celular e na modulação de mecanismos fisiológicos associados à tolerância a estresses abióticos. Conclui-se que o manejo nutricional integrado, baseado em diagnósticos precisos e ajustado às condições edafoclimáticas, aliado a práticas como fertirrigação, biofortificação e agricultura de precisão, é fundamental para aumentar a resiliência fisiológica, a estabilidade produtiva e a sustentabilidade dos sistemas frutícolas.

Palavras-chave: Estresses abióticos. Fruticultura. Nutrientes minerais.

L. S. Teixeira  EPAMIG Sudeste / Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, Brasil. e-mail: lubia.silva@ufv.br. ORCID: 0000-0001-6857-0585.

G. A. Souza  Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, Brasil. e-mail: genaina.souza@ufv.br. ORCID: 0000-0002-0547-3451

D. J. C. López  Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, Brasil. e-mail: deisy.j.lopez@ufv.br. ORCID: 0000-0002-1833-3861.

V. B. Moreira  Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, Brasil. e-mail: victor.b.moreira@ufv.br. ORCID: 0009-0003-7586-3943.

© Este trabalho integra a obra: “Avanços e Desafios nas Ciências Ambientais (vol. 02)”, publicado pela Reconnecta Soluções em 2026, disponível para acesso gratuito em: www.reconnectasolucoes.com.br/editora

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas representam um dos principais desafios para a fruticultura no século XXI, com impactos diretos na estabilidade produtiva, na segurança alimentar e na sustentabilidade ambiental. O aumento da temperatura e a irregularidade hídrica amplificam estresses térmicos e hídricos, frequentemente associados ao agravamento do estresse oxidativo nas plantas, enquanto a elevação do CO₂ atmosférico modula essas respostas ao alterar a fotossíntese, a transpiração e a eficiência do uso da água. Em conjunto, esses fatores comprometem processos fisiológicos essenciais, incluindo assimilação de carbono, respiração, dinâmica nutricional e desenvolvimento reprodutivo, com impactos diretos na produtividade e na qualidade das frutas (IPCC, 2021; Zandalinas et al., 2016).

As espécies frutíferas perenes apresentam ciclos produtivos prolongados e forte dependência de sincronização fenológica, o que amplia sua sensibilidade a variações de temperatura e disponibilidade hídrica, especialmente durante a fase reprodutiva. Sob estresse, o crescimento é limitado por alterações fisiológicas e metabólicas que afetam a o metabolismo como um todo, além de restringirem a absorção, o transporte e a redistribuição de nutrientes (Zandalinas et al., 2016; Ahanger; Ahmad, 2019). Esses desequilíbrios manifestam-se em distúrbios fisiológicos, como por exemplo, desordens associadas ao cálcio, rachaduras nos frutos relacionadas a desbalanços hídricos e limitações reprodutivas decorrentes da deficiência de boro (Chatzissavvidis, 2024).

Além disso, o aumento da temperatura, a irregularidade hídrica e a ocorrência de eventos extremos como ondas de calor e secas prolongadas, comprometem processos-chave, como crescimento vegetativo, indução e diferenciação floral, pegamento e desenvolvimento dos frutos elevando o risco de perdas produtivas (Zandalinas et al., 2016; Ahanger; Ahmad, 2019). Paralelamente aos efeitos sobre a produtividade, a qualidade dos frutos é altamente sensível às condições ambientais. Variações térmicas e hídricas modulam o metabolismo primário e secundário, afetando a síntese, o acúmulo e a partição de açúcares, ácidos orgânicos e compostos bioativos, com impactos diretos em atributos como sabor, coloração, textura, valor nutricional e dinâmica de maturação (Ripoll et al., 2014). Evidências indicam ainda que mudanças climáticas podem alterar a composição mineral e o perfil de compostos bioativos dos frutos, com implicações diretas para sua qualidade nutricional e para a nutrição humana (Myers et al., 2014).

Diferentemente de culturas anuais, a adaptação de frutíferas é limitada pela dificuldade de substituição rápida de genótipos, uma vez que pomares representam investimentos de longo prazo. Nesse contexto, a nutrição mineral adequada atua como estratégia mitigadora ao otimizar a absorção e a alocação de nutrientes, sustentando o crescimento e a eficiência fisiológica das plantas sob estresse (Zandalinas et al., 2016; Chatzissavvidis, 2024). Nutrientes como potássio regulam a condutância estomática e a eficiência do uso da água, enquanto o cálcio mantém a integridade de membranas e paredes celulares, contribuindo para maior resistência a distúrbios fisiológicos e melhor qualidade pós-colheita. Micronutrientes como zinco, manganês, cobre e elementos benéficos como o selênio e o silício participam da ativação de sistemas antioxidantes, atenuando danos oxidativos induzidos por estresses como altas temperaturas e déficit hídrico (Taiz et al., 2022). Adicionalmente, o manejo nutricional equilibrado contribui para a manutenção da atividade fotossintética e da estabilidade produtiva, ao promover maior eficiência metabólica e equilíbrio fisiológico. Dessa forma, reduz a suscetibilidade a estresses múltiplos, incluindo interações entre fatores abióticos e bióticos, e consolida a nutrição mineral como determinante não apenas da produtividade, mas também da qualidade dos frutos sob condições adversas (Ahanger; Ahmad, 2019).

Essa abordagem está alinhada ao Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente ao ODS 13, que enfatiza a necessidade de fortalecer a capacidade adaptativa dos sistemas agrícolas frente às mudanças climáticas (ONU, 2026). Na fruticultura, isso implica o desenvolvimento de sistemas mais eficientes no uso de recursos, mais tolerantes a estresses e menos dependentes de condições ambientais ideais, por meio de estratégias como manejo integrado da fertilidade do solo, uso eficiente da água e adoção de tecnologias de precisão, contribuindo para sistemas agrícolas mais sustentáveis e resilientes frente às condições climáticas emergentes (FAO, 2017).

Assim, o objetivo desta revisão é integrar o conhecimento atual sobre os impactos das mudanças climáticas na fruticultura, com foco nas bases fisiológicas das respostas das plantas e no papel da nutrição mineral na modulação da resiliência a estresses ambientais. Além de analisar como nutrientes e estratégias nutricionais contribuem para a mitigação de estresses abióticos, à luz de evidências em culturas frutíferas, bem como identificar lacunas e perspectivas para sistemas produtivos mais resilientes e sustentáveis.

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SEUS PRINCIPAIS EFEITOS SOBRE A FRUTICULTURA

As mudanças climáticas afetam a fruticultura por meio de múltiplos fatores inter-relacionados, com destaque para o aumento da temperatura, a irregularidade hídrica, a salinização dos solos e a elevação da concentração atmosférica de CO₂. Esses fatores atuam de forma isolada e combinada, alterando processos fisiológicos fundamentais ao crescimento, desenvolvimento e produção das plantas.

O aumento da temperatura global é um dos principais vetores dessas mudanças e compromete a sustentabilidade da fruticultura ao afetar processos como fotossíntese, respiração, estabilidade de membranas e atividade enzimática (Zandalinas et al., 2016; Urban et al., 2017). Em condições de alta temperatura, a respiração aumenta mais rapidamente que a fotossíntese, resultando em desequilíbrio no balanço de carbono, com menor acúmulo de biomassa e prejuízos ao desenvolvimento dos frutos (Dusenge et al., 2019). Além disso, temperaturas supraótimas danificam o aparato fotossintético, reduzindo a eficiência do fotossistema II e aumentando a produção de espécies reativas de oxigênio (Mathur et al., 2014).

O aumento da temperatura também intensifica o déficit de pressão de vapor, elevando a demanda evaporativa da atmosfera. Como resposta, ocorre fechamento estomático, o que restringe a entrada de CO₂ e reduz a assimilação de carbono (Grossiord et al., 2020). Paralelamente, a fase reprodutiva apresenta elevada sensibilidade ao estresse térmico, resultando em redução da viabilidade do pólen, comprometimento do crescimento do tubo polínico e menor taxa de pegamento de frutos (Zandalinas et al., 2016). Em conjunto, esses efeitos reduzem a produtividade e afetam a qualidade dos frutos, ao alterar a síntese de açúcares, pigmentos e compostos fenólicos, como observado para antocianinas em videira (Venios et al., 2020).

Além do aquecimento, a irregularidade dos regimes pluviométricos e o aumento da frequência de secas intensificam os impactos sobre a fruticultura. O déficit hídrico reduz o potencial hídrico foliar e induz o fechamento estomático, limitando a assimilação de carbono (Chaves et al., 2009; Zandalinas et al., 2016). Inicialmente, a redução da condutância estomática atua como mecanismo de conservação de água, mas restringe a difusão de CO₂ e diminui a fotossíntese (Flexas; Medrano, 2002; Chaves et al., 2009). Com a intensificação do estresse, surgem limitações metabólicas, incluindo menor atividade da Rubisco, prejuízos à regeneração de ribulose-1,5-bisfosfato e aumento do estresse oxidativo (Lawlor; Tezara, 2009; Zandalinas et al., 2016).

Em frutíferas, o déficit hídrico compromete o crescimento dos frutos devido à redução da expansão celular, altera a partição de assimilados e pode induzir abortamento de frutos jovens por limitação de carboidratos (Hsiao; Xu, 2000). Além disso, a menor disponibilidade de água no solo reduz o fluxo de massa e, conseqüentemente, a absorção de nutrientes, agravando deficiências nutricionais e intensificando os efeitos do estresse ambiental (Hu; Schmidhalter, 2005; Chatzissavvidis, 2024).

A salinização dos solos, especialmente em regiões irrigadas de clima árido e semiárido, representa outro impacto relevante, frequentemente agravado pelas mudanças climáticas. O aumento da evapotranspiração e a redução da disponibilidade hídrica favorecem o acúmulo de sais na zona radicular (FAO, 2017). O estresse salino atua por três mecanismos principais: estresse osmótico, toxicidade iônica e desequilíbrio nutricional. A redução do potencial osmótico limita a absorção de água, enquanto o acúmulo de íons como sódio e cloro pode causar toxicidade celular e interferir na absorção de nutrientes essenciais, como potássio e cálcio (Munns; Tester, 2008; Isayenkov; Maathuis, 2019).

Como consequência, há redução do crescimento vegetativo, da área foliar e da fotossíntese, com impactos diretos na produtividade. A salinidade também afeta a qualidade dos frutos ao alterar o metabolismo de açúcares e ácidos orgânicos. Além disso, interações iônicas, como a competição entre sódio e potássio nos sistemas de transporte celular, evidenciam a importância do manejo nutricional na mitigação desse estresse (Isayenkov; Maathuis, 2019).

Por fim, o aumento da concentração atmosférica de CO₂ constitui outro componente relevante das mudanças climáticas. Em plantas C₃, o CO₂ elevado pode estimular a fotossíntese ao aumentar a disponibilidade de substrato para a Rubisco e reduzir a fotorrespiração (Ainsworth; Long, 2021). No entanto, esse efeito positivo depende da disponibilidade de água, nutrientes e de condições térmicas adequadas. Em situações de limitação desses fatores, os ganhos em produtividade podem ser reduzidos.

Além disso, a exposição prolongada ao CO₂ elevado pode levar à aclimação fotossintética, caracterizada pela redução da capacidade fotossintética ao longo do tempo (Ainsworth; Long, 2021). O aumento do CO₂ também tende a reduzir a condutância estomática, aumentando a eficiência no uso da água, mas podendo diminuir a transpiração e o resfriamento foliar, o que favorece o aumento da temperatura das folhas em determinadas condições (Grossiord et al., 2020). Adicionalmente, o crescimento estimulado pode resultar em efeito de diluição de nutrientes nos tecidos vegetais, reduzindo a concentração de minerais nos frutos e afetando a sua qualidade nutricional (Myers et al., 2014).

BASES FISIOLÓGICAS DOS IMPACTOS CLIMÁTICOS EM FRUTÍFERAS

Os impactos das mudanças climáticas na fruticultura são mediados por alterações em processos fisiológicos centrais, especialmente fotossíntese, relações hídricas, equilíbrio redox e desenvolvimento reprodutivo. Esses processos estão interligados e determinam o crescimento, a produtividade e a qualidade dos frutos.

A fotossíntese é um dos processos mais sensíveis às variações ambientais, sendo diretamente afetada por temperatura, disponibilidade hídrica e concentração de CO₂. Em condições de estresse térmico ou hídrico, a redução da assimilação de carbono resulta da combinação de limitações difusivas, como o fechamento estomático e a menor condutância mesofílica, e limitações metabólicas associadas ao ciclo de Calvin (Flexas et al., 2002; Dusenge et al., 2019). Temperaturas elevadas reduzem a eficiência fotossintética ao afetar a ativação da Rubisco, aumentar a fotorrespiração e comprometer

a integridade dos tilacoides. Ao mesmo tempo, o aumento da respiração pode levar a balanço de carbono negativo, restringindo o crescimento (Dusenge et al., 2019).

Esses efeitos têm sido amplamente observados em frutíferas. Em videiras, o aumento da temperatura reduz a eficiência fotoquímica e o acúmulo de carboidratos, afetando a qualidade dos frutos (Greer; Weedon, 2013; Venios et al., 2020). Em citros e mangueira, o estresse térmico e hídrico reduz a fotossíntese e a eficiência do uso da água, comprometendo o crescimento e a produção (Urban et al., 2017; Habermann et al., 2019).

As relações hídricas são outro componente central dessas respostas. O aumento da temperatura e do déficit de pressão de vapor eleva a demanda evaporativa, aumentando o risco de desbalanço hídrico (Grossiord et al., 2020). O fechamento estomático é a resposta inicial para reduzir a perda de água, mas limita a entrada de CO₂ e a fotossíntese, sendo frequentemente o principal fator limitante da assimilação de carbono (Chaves et al., 2009; Flexas et al., 2002). Em condições mais severas, a integridade do sistema hidráulico pode ser comprometida pela formação de embolismos no xilema, reduzindo o transporte de água e elevando o risco de falha hidráulica (Choat et al., 2018).

A capacidade de tolerância à seca em frutíferas está associada à manutenção da funcionalidade hidráulica e ao controle eficiente da abertura estomática. Além disso, o estado hídrico influencia diretamente a nutrição mineral, uma vez que a absorção de nutrientes depende do fluxo de massa, sendo reduzida sob déficit hídrico (Hu; Schmidhalter, 2005).

Outro mecanismo central é o estresse oxidativo, comum a diferentes estresses climáticos, como calor, seca e salinidade. Nessas condições, ocorre acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ROS), como superóxido e peróxido de hidrogênio (Hasanuzzaman et al., 2020). Em níveis moderados, essas moléculas atuam como sinais que ativam respostas de sinalização. No entanto, quando em excesso, causam danos a membranas, proteínas e ácidos nucleicos (Mittler, 2017). Para controlar esse desequilíbrio, as plantas ativam sistemas antioxidantes enzimáticos, como superóxido dismutase, catalase e peroxidases, e não enzimáticos, como ácido ascórbico, glutatona e compostos fenólicos (Hasanuzzaman et al., 2020). Em frutíferas, o aumento da atividade antioxidante tem sido associado à tolerância ao estresse, como observado em morangueiro sob calor e em citros sob déficit hídrico (Zandalinas et al., 2016; Kumar et al., 2022). Esse sistema está fortemente ligado à nutrição mineral, pois micronutrientes como zinco, cobre, manganês e ferro atuam como cofatores dessas enzimas (Taiz et al., 2022).

As fases reprodutivas são particularmente sensíveis às mudanças climáticas. Temperatura e disponibilidade hídrica afetam a indução floral, a viabilidade do pólen, a polinização e o pegamento de frutos. Temperaturas elevadas podem reduzir a germinação do tubo polínico e a fecundação, enquanto o déficit hídrico limita a disponibilidade de carboidratos, aumentando o abortamento de frutos jovens (Piao et al., 2019; Urban et al., 2017). Além disso, alterações climáticas podem desregular a sincronia entre floração e atividade de polinizadores, reduzindo a eficiência reprodutiva.

Por fim, o crescimento e a qualidade dos frutos dependem do balanço entre produção de fotoassimilados nas folhas (fontes) e sua translocação para os frutos (drenos). Estresses térmico e hídrico reduzem a fotossíntese e aumentam a respiração, limitando a disponibilidade de carboidratos e o crescimento dos frutos (Paul; Foyer, 2001; Dusenge et al., 2019). Isso afeta processos como divisão e expansão celular, resultando em frutos menores, como observado em macieira (Tuberosa, 2012).

Além disso, o estresse altera o metabolismo de carboidratos e o transporte de açúcares, impactando o enchimento e a composição dos frutos (Ruan, 2014). A nutrição mineral, especialmente o potássio, desempenha papel central nesse processo ao favorecer o transporte floemático (Cakmak, 2005). As mudanças climáticas também afetam a

qualidade físico-química e nutricional, alterando açúcares, ácidos e compostos bioativos. Em videiras, por exemplo, observa-se aumento de açúcares e redução da acidez, enquanto em morangueiro há prejuízos à firmeza e à conservação pós-colheita (Venios et al., 2020; Kumar et al., 2022).

Adicionalmente, esses estresses podem intensificar desordens fisiológicas relacionadas à nutrição, como deficiência de cálcio e rachaduras nos frutos, além de reduzir compostos antioxidantes, comprometendo o valor funcional dos frutos (White; Broadley, 2003; Saure, 2005; Zandalinas et al., 2016; Hasanuzzaman et al., 2020).

NUTRIÇÃO MINERAL COMO BASE DA RESILIÊNCIA CLIMÁTICA EM FRUTÍFERAS

As mudanças climáticas intensificam múltiplos estresses abióticos que atuam de forma simultânea sobre as plantas, comprometendo processos fisiológicos essenciais. Nesse contexto, a nutrição mineral emerge não apenas como suporte ao crescimento, mas como um dos principais determinantes da capacidade adaptativa das frutíferas. Nutrientes minerais participam diretamente da regulação de mecanismos-chave, como homeostase osmótica, estabilidade de membranas, controle estomático, detoxificação de espécies reativas de oxigênio (ROS) e equilíbrio entre fonte e dreno, promovendo maior estabilidade fisiológica sob condições adversas (Zandalinas et al., 2016; Cakmak; Kutman, 2018; Chatzissavvidis, 2024).

Em condições de estresse, a manutenção da homeostase celular depende fortemente do estado nutricional da planta. O potássio (K), por exemplo, exerce papel central na regulação osmótica, na manutenção do turgor celular e na eficiência do uso da água, contribuindo para a tolerância ao déficit hídrico e para o transporte de fotoassimilados. O cálcio (Ca), por sua vez, está associado à integridade estrutural das membranas e paredes celulares, reduzindo a incidência de distúrbios fisiológicos. Já micronutrientes como zinco (Zn), ferro (Fe) e manganês (Mn) atuam como cofatores de enzimas antioxidantes, sendo fundamentais na mitigação do estresse oxidativo induzido por condições ambientais adversas (White; Broadley, 2003; Hasanuzzaman et al., 2020; Villette et al., 2020).

Além de influenciar a tolerância ao estresse, as mudanças climáticas também afetam diretamente a dinâmica de absorção, transporte e redistribuição de nutrientes. O déficit hídrico reduz o fluxo de massa no solo, limitando a disponibilidade e a absorção de nutrientes pelas raízes, enquanto temperaturas elevadas podem comprometer o crescimento e a atividade radicular (Hu; Schmidhalter, 2005). Nutrientes com alta mobilidade no floema, como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), podem ser parcialmente remobilizados para tecidos em crescimento. Em contraste, elementos com baixa mobilidade, como cálcio (Ca) e boro (B), dependem fortemente do fluxo transpiratório, tornando-se mais suscetíveis à deficiência sob condições de seca, o que favorece a ocorrência de distúrbios fisiológicos (Marschner, 2012; Saure, 2005).

Dessa forma, a resiliência das frutíferas às mudanças climáticas resulta da integração entre nutrição mineral, relações hídricas e metabolismo antioxidante. O adequado manejo nutricional contribui para a manutenção da atividade fotossintética, melhora a eficiência no uso da água e fortalece os sistemas de defesa contra estresses, constituindo uma estratégia fundamental para mitigar os impactos ambientais e sustentar a produtividade e qualidade dos frutos (Zekri; Obreza, 2009; Taiz et al., 2022; Kumar et al., 2022).

PAPEL DOS NUTRIENTES NA RESILIÊNCIA CLIMÁTICA DE FRUTÍFERAS

A nutrição mineral desempenha papel central na resiliência climática de frutíferas ao regular processos fisiológicos diretamente envolvidos na tolerância a estresses abióticos, como regulação osmótica, fotossíntese, metabolismo antioxidante, crescimento radicular, integridade celular e qualidade dos frutos. Em condições adversas, a eficiência nutricional torna-se determinante para a manutenção do funcionamento fisiológico e da produtividade (Cakmak; Kutman, 2018; Chatzissavvidis, 2024).

Esse papel é ainda mais crítico em frutíferas devido ao seu caráter perene, que exige estabilidade fisiológica ao longo de múltiplos ciclos produtivos. Além disso, sob mudanças climáticas, os estresses frequentemente ocorrem de forma combinada, exigindo respostas integradas nas quais a nutrição modula a capacidade antioxidante, a eficiência do uso da água e o equilíbrio fonte-dreno (Zandalinas et al., 2016; Taiz et al., 2022).

Entre os macronutrientes, o nitrogênio (N) está diretamente associado à capacidade fotossintética, por compor clorofila, enzimas e proteínas estruturais. No entanto, seu manejo sob mudanças climáticas requer equilíbrio: enquanto níveis adequados sustentam o crescimento e a recuperação pós-estresse, o excesso pode aumentar a suscetibilidade à seca ao intensificar o crescimento vegetativo e a demanda transpiratória (Marschner, 2012; Keller, 2015). Evidências em videiras e citros mostram que o manejo equilibrado de N favorece maior estabilidade fisiológica e melhor desempenho sob estresse (Keller, 2015; Habermann et al., 2019).

O potássio (K) é um dos nutrientes mais relevantes na tolerância ao estresse climático, atuando na regulação osmótica, no controle estomático e no transporte de carboidratos. Sua função como principal cátion osmótico permite a manutenção do turgor celular e melhora a eficiência do uso da água. Em frutíferas, o adequado suprimento de K está associado a maior tolerância à seca, maior eficiência fotossintética e melhor qualidade dos frutos, incluindo acúmulo de açúcares e enchimento adequado (Cakmak; Kutman, 2018; Villette et al., 2020; Zekri; Obreza, 2009).

O cálcio (Ca) é essencial para a integridade estrutural das células e dos frutos, participando da estabilidade de membranas e da formação da parede celular. Além disso, atua como mensageiro secundário em respostas ao estresse. Sua deficiência está fortemente associada a distúrbios fisiológicos em frutos e redução da vida pós-colheita, sendo agravada em condições de seca devido à sua dependência do fluxo transpiratório (White; Broadley, 2003; Saure, 2005).

O magnésio (Mg), componente central da clorofila, é fundamental para a fotossíntese e o metabolismo energético. Sua deficiência reduz a assimilação de carbono e aumenta o estresse oxidativo, comprometendo o crescimento e a produtividade (Marschner, 2012; Boaretto et al., 2020). O fósforo (P), por sua vez, está diretamente ligado à transferência de energia e ao crescimento radicular, sendo particularmente importante sob déficit hídrico, ao favorecer maior exploração do solo e melhor absorção de água (Marschner, 2012; Keller, 2015).

Os micronutrientes desempenham funções essenciais na defesa contra estresses climáticos, principalmente por atuarem como cofatores enzimáticos no metabolismo antioxidante. O zinco (Zn) participa da regulação enzimática e hormonal, influenciando o crescimento e a tolerância ao estresse; o ferro (Fe) é essencial para a fotossíntese e o transporte de elétrons; e o manganês (Mn) e o cobre (Cu) atuam em reações redox e na ativação de enzimas antioxidantes. O boro (B) destaca-se pelo seu papel no desenvolvimento reprodutivo, sendo essencial para a germinação do pólen, crescimento do tubo polínico e pegamento de frutos, processos altamente sensíveis às mudanças climáticas (Marschner, 2012; Taiz et al., 2022).

Além dos nutrientes essenciais, elementos benéficos como silício (Si) e selênio (Se) têm recebido crescente atenção por seu papel na mitigação de estresses. O silício contribui para o aumento da eficiência do uso da água, estabilidade estrutural, atividade antioxidante e tolerância a estresses abióticos e bióticos (Mostofa et al., 2021). Já o selênio, embora não essencial, atua na modulação do sistema antioxidante, reduzindo danos oxidativos e podendo melhorar o crescimento e a qualidade nutricional dos frutos (Teixeira et al., 2021; Mota et al., 2024).

De forma integrada, a nutrição mineral atua como um dos principais pilares da resiliência climática em frutíferas, ao sustentar processos fisiológicos críticos, modular respostas ao estresse e contribuir para a manutenção da produtividade e qualidade dos frutos em cenários ambientais cada vez mais desafiadores.

ESTRATÉGIAS DE MANEJO NUTRICIONAL PARA AUMENTAR A RESILIÊNCIA CLIMÁTICA EM FRUTÍFERAS

O aumento da variabilidade climática exige a adoção de abordagens mais integradas e dinâmicas no manejo nutricional de frutíferas, superando modelos tradicionais baseados exclusivamente em produtividade potencial. Nesse contexto, a nutrição mineral passa a atuar como ferramenta fisiológica de mitigação de estresses, contribuindo para a manutenção da eficiência do uso da água, estabilidade metabólica e funcionamento fisiológico sob condições adversas (Chatzissavvidis, 2024).

A base dessa resiliência está no manejo adequado da fertilidade do solo, especialmente no incremento da matéria orgânica, que melhora a estrutura do solo, a infiltração de água e a capacidade de retenção hídrica, além de aumentar a capacidade de troca catiônica e a disponibilidade gradual de nutrientes (Lal, 2020). A cobertura vegetal em citros tem sido associada à melhoria da retenção de água no solo e maior estabilidade produtiva sob seca (Habermann et al., 2019), enquanto, em oliveiras, o aumento da matéria orgânica está relacionado à maior tolerância ao déficit hídrico devido à melhoria da retenção hídrica e da atividade microbiana (Gonçalves et al., 2020). Além disso, solos com maior teor de matéria orgânica tendem a apresentar maior diversidade microbiana, favorecendo a ciclagem de nutrientes e a resiliência do sistema produtivo (Habermann et al., 2019).

Associado a isso, programas de adubação baseados em diagnóstico nutricional permitem ajustes mais precisos às condições ambientais e ao estágio fenológico das plantas. Em videiras, essa abordagem tem sido associada à maior estabilidade produtiva sob estresse hídrico (Keller, 2015), enquanto, em citros, o equilíbrio entre N, K e Ca contribui para maior tolerância ao estresse e menor incidência de distúrbios fisiológicos (Habermann et al., 2019). Ferramentas como DRIS e CND permitem identificar desequilíbrios nutricionais antes da manifestação visual de sintomas (Dias et al., 2013), aumentando a eficiência do manejo nutricional.

Em condições de limitação hídrica, a fertirrigação se destaca como estratégia para otimizar o uso conjunto de água e nutrientes. A aplicação parcelada permite maior sincronização entre oferta e demanda nutricional, reduzindo perdas e aumentando a eficiência de uso dos insumos (Feres; Soriano, 2007). Em citros irrigados, a fertirrigação está associada à maior eficiência do uso da água e maior produtividade sob déficit hídrico controlado (Habermann et al., 2019), enquanto, em videiras, o ajuste do manejo à condição hídrica da planta permite manter o funcionamento fisiológico sob estresse moderado (Keller, 2015). Além disso, essa estratégia possibilita o ajuste do suprimento de nutrientes em fases críticas, como floração e enchimento de frutos (Feres; Soriano, 2007).

Complementarmente, a adubação foliar constitui uma ferramenta eficiente para correção rápida de deficiências nutricionais, especialmente quando a absorção radicular está comprometida por estresse hídrico ou térmico. Em macieiras, aplicações foliares de cálcio têm sido utilizadas para reduzir distúrbios fisiológicos e aumentar a firmeza dos frutos. Em morangueiro, a aplicação de micronutrientes está associada ao aumento da atividade antioxidante e à maior tolerância ao estresse térmico (Kumar et al., 2022), enquanto, em maracujazeiro, a aplicação foliar de boro contribui para maior pegamento de frutos, evidenciando seu papel na estabilidade reprodutiva sob condições adversas (Silva et al., 2025).

EVIDÊNCIAS EM CULTURAS FRUTÍFERAS

A aplicação dos conceitos discutidos nas seções anteriores torna-se mais robusta quando examinada à luz de evidências específicas em culturas frutíferas. Embora a intensidade e a consistência das respostas variem entre espécies, cultivares, porta-enxertos, ambiente e sistema de cultivo, há um padrão recorrente na literatura: o manejo nutricional influencia não apenas crescimento e produtividade, mas também estabilidade fisiológica, tolerância a estresses e qualidade dos frutos. Em culturas perenes, esse efeito é particularmente importante porque a nutrição afeta simultaneamente a safra corrente e a capacidade de suporte dos ciclos subsequentes (Chatzissavvidis, 2024; Habermann et al., 2019).

Videira

A videira é provavelmente uma das frutíferas em que a interface entre clima, nutrição mineral e qualidade foi mais explorada. Isso se deve ao fato de que, em uva de mesa e para vinificação, pequenas alterações no estado nutricional e hídrico da planta podem repercutir fortemente sobre rendimento, composição do mosto, equilíbrio entre açúcares e ácidos, coloração e potencial de armazenamento. Estudos recentes mostram que o manejo mineral em videira não deve ser rotineiro, mas continuamente reajustado em função da fertilidade do solo, do estado mineral da planta e das condições climáticas, sobretudo em regiões vitícolas em expansão sob aquecimento recente (Lisek et al., 2025).

Entre os macronutrientes, o potássio tem destaque especial por sua relação com regulação osmótica, funcionamento estomático, transporte floemático e acúmulo de açúcares nos frutos. Em ambientes sujeitos à seca, o suprimento adequado de K favorece a manutenção do turgor, a eficiência do uso da água e o enchimento das bagas; ao mesmo tempo, excesso de K pode elevar o pH do mosto e comprometer o equilíbrio tecnológico em uvas para vinho (Keller, 2015; Li et al., 2024).

O cálcio, por sua vez, tem sido associado sobretudo à firmeza, à integridade da parede celular, à redução de rachaduras, à menor perda de massa e à melhor conservação pós-colheita. Aplicações pré-colheita de Ca fortalecem a parede celular da baga e reduzem problemas como escurecimento do engaço, perda de firmeza e incidência de podridões, sendo a fase fenológica de aplicação determinante devido à limitada mobilidade do elemento (Guirao et al., 2025).

Além do manejo do nutriente em si, a videira mostra claramente que a resposta nutricional depende do genótipo e da interação com o regime hídrico. Estudos demonstram diferenças marcantes entre cultivares quanto à estratégia estomática, recuperação pós-estresse e manutenção da fotossíntese, o que impacta diretamente a eficiência nutricional e a necessidade de manejo específico por material vegetal (Keller, 2015).

Citros

Em citros, a nutrição mineral é particularmente estratégica porque a cultura combina alta exigência hídrica, sensibilidade à salinidade e dependência de boa integridade fisiológica para manter crescimento vegetativo, florescimento, fixação de frutos e qualidade final. Em regiões semiáridas ou irrigadas com água de qualidade marginal, seca, salinidade e desequilíbrio iônico frequentemente ocorrem simultaneamente, afetando composição mineral foliar, metabolismo e rendimento (Habermann et al., 2019).

Estudos recentes com *Citrus clementina* irrigada com água salina demonstraram alterações na composição mineral das folhas e no metabolismo de compostos nitrogenados, com impactos sobre produtividade e qualidade dos frutos. O caso dos citros também ilustra como o balanço entre K e Ca pode influenciar distúrbios fisiológicos (Auñón-Calles et al., 2025).

Nos últimos anos, o silício passou a receber atenção crescente em citros como ferramenta de mitigação de estresses abióticos. Evidências indicam que o Si pode melhorar o desempenho sob seca e salinidade ao favorecer estabilidade de membranas, metabolismo antioxidante e status hídrico da planta. Outro ponto importante é a forte influência de porta-enxertos sobre absorção de nutrientes e tolerância a estresses. Assim, a nutrição mineral precisa ser considerada como parte de um sistema integrado envolvendo genótipo, solo, água e clima (Habermann et al., 2019).

Mangueira

Na mangueira, evidências recentes destacam o papel da nutrição mineral e de elementos benéficos na produtividade, qualidade dos frutos e tolerância ao estresse. O cálcio se sobressai por sua atuação na integridade de membranas, estabilidade da parede celular e redução de distúrbios fisiológicos, sendo diretamente associado à qualidade e conservação dos frutos (White; Broadley, 2003). Em cultivares ‘Ataulfo’ e ‘Kent’, a aplicação de cálcio associada à restrição hídrica aumentou o rendimento e melhorou atributos de qualidade, como sólidos solúveis (Rodrigues et al., 2025), indicando que o nutriente pode atuar tanto na qualidade pós-colheita quanto na mitigação de estresses em pré-colheita, especialmente sob limitação hídrica (Saure, 2005).

Além disso, a mangueira tem sido utilizada como modelo para avaliação de estratégias nutricionais inovadoras. O uso de nanopartículas contendo elementos como selênio, titânio e silício tem demonstrado aumento no crescimento, no teor de clorofila e na produtividade sob condições de seca (Almutairi et al., 2023), possivelmente associado à melhora do metabolismo antioxidante, da eficiência fotossintética e do status hídrico das plantas (Hasanuzzaman et al., 2020; Savvas; Ntatsi, 2015).

Oliveiras

A oliveira é frequentemente considerada adaptada a condições secas, mas apresenta forte resposta ao manejo nutricional em ambientes sob estresse hídrico. Estudos mostram que ajustes na adubação NPK podem manter produtividade e qualidade do fruto mesmo sob irrigação deficitária (Gonçalves et al., 2020).

Micronutrientes como boro e selênio também têm emergido como importantes moduladores da qualidade do fruto e do azeite. Aplicações foliares desses elementos

podem melhorar características físico-químicas e sensoriais do azeite, além de favorecer crescimento dos frutos (Ganino et al., 2025).

Morangueiro

O morangueiro destaca-se como uma espécie modelo para estudos nutricionais devido ao seu ciclo relativamente curto, rápida resposta ao manejo e elevada sensibilidade a estresses ambientais, o que permite avaliar, de forma eficiente, interações entre nutrição e condições abióticas. Além disso, sua importância econômica e valor nutricional ampliam o interesse científico na cultura. Estudos recentes demonstram que a biofortificação com Zn e Se pode aumentar o acúmulo desses elementos nos frutos, melhorar a qualidade nutricional e antioxidante e alterar positivamente a composição mineral (Huang et al., 2023).

O silício também apresenta efeitos promissores no morangueiro, promovendo maior absorção de nutrientes, melhora na eficiência fotossintética, maior estabilidade das membranas e ativação do sistema antioxidante, especialmente sob condições de estresse hídrico e térmico (Savvas; Ntatsi, 2015). Adicionalmente, observa-se redução de danos oxidativos e melhoria na qualidade pós-colheita.

Esses resultados reforçam que o morangueiro constitui um modelo estratégico para integrar abordagens de biofortificação, nutrição funcional e adaptação às mudanças climáticas, contribuindo para o desenvolvimento de sistemas produtivos mais resilientes e sustentáveis.

Maracujazeiro

O maracujazeiro destaca-se pela elevada sensibilidade ao estresse hídrico e à salinidade, o que torna a nutrição mineral um fator central para a manutenção da produtividade e da estabilidade fisiológica. Nesse contexto, estratégias integradas de manejo, como a adubação equilibrada associada ao uso de cobertura do solo, têm se mostrado eficazes na mitigação dos efeitos adversos da irrigação com água salina sobre o estado nutricional e o desempenho produtivo (Souto et al., 2023; Silva et al., 2025).

Dentre os nutrientes, o potássio assume papel de destaque na tolerância à salinidade, por atuar na regulação osmótica, na manutenção do turgor celular e na ativação enzimática, contribuindo para o melhor desempenho fisiológico sob estresse. Evidências recentes indicam, ainda, um efeito sinérgico entre potássio e silício, potencializando a mitigação dos danos causados pelo excesso de sais, especialmente em mudas (Silva et al., 2025). O cálcio, por sua vez, contribui para a integridade estrutural das membranas e para a seletividade iônica, reduzindo a toxicidade por sódio e promovendo maior estabilidade celular em condições salinas (Bezerra et al., 2021).

LACUNAS CIENTÍFICAS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Apesar dos avanços na compreensão do papel da nutrição mineral na resiliência climática de frutíferas, persistem lacunas que limitam sua aplicação prática. Muitos estudos ainda avaliam nutrientes isoladamente, enquanto, em campo, as plantas enfrentam estresses combinados, como altas temperaturas, déficit hídrico e aumento do déficit de pressão de vapor (Zandalinas et al., 2016). Além disso, há escassez de pesquisas integrando nutrição mineral e ecofisiologia em condições reais, o que restringe a extrapolação de resultados obtidos em ambientes controlados.

Outro ponto crítico é a baixa integração entre nutrição e hidráulica vegetal, uma vez que a tolerância ao estresse hídrico depende tanto do estado nutricional quanto da manutenção da integridade do sistema hidráulico (Anderegg et al., 2017). Também é limitada a compreensão sobre o papel da nutrição na modulação de respostas a estresses múltiplos, ainda que esses eventos sejam cada vez mais frequentes.

Em frutíferas perenes, poucos estudos abordam os efeitos da nutrição sobre a estabilidade produtiva ao longo de múltiplos ciclos. Para micronutrientes e elementos benéficos, como Zn, Si e Se, embora haja evidências de seu papel na tolerância ao estresse, faltam protocolos agrônômicos bem definidos. Adicionalmente, abordagens emergentes, como nanotecnologia e interação com o microbioma vegetal, ainda carecem de validação quanto à segurança, eficiência e aplicabilidade em larga escala (Rouphael; Colla, 2020).

Por fim, destaca-se a carência de estudos de longo prazo em condições tropicais, especialmente sob cenários climáticos futuros. Nesse contexto, avanços devem priorizar a integração entre nutrição, ecofisiologia e tecnologias digitais, incluindo biofortificação, modelagem e sistemas de monitoramento em tempo real, visando o desenvolvimento de estratégias adaptativas para a fruticultura.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As mudanças climáticas impõem restrições crescentes à fruticultura, sobretudo pelo aumento da temperatura, irregularidade hídrica, intensificação de eventos extremos e alterações na dinâmica de nutrientes no solo. Assim, a nutrição mineral destaca-se como uma das estratégias mais imediatas e eficazes para aumentar a resiliência fisiológica das frutíferas. Nutrientes atuam diretamente na manutenção da homeostase celular, regulação osmótica, defesa antioxidante, integridade estrutural e balanço de carbono, contribuindo para a estabilidade do funcionamento vegetal sob estresse. Evidências em diferentes culturas indicam que o manejo nutricional adequado melhora a tolerância à seca, a eficiência do uso da água, reduz danos oxidativos, favorece o pegamento de frutos e eleva a qualidade e a vida pós-colheita. Macronutrientes como potássio, cálcio e magnésio exercem funções estruturais e fisiológicas centrais, enquanto micronutrientes como zinco e boro atuam em processos metabólicos e reprodutivos; adicionalmente, elementos benéficos como silício e selênio apresentam potencial na mitigação de estresses climáticos.

O avanço da nutrição vegetal em fruticultura tende a se consolidar por meio de abordagens integradas, envolvendo manejo adaptativo, fertirrigação de precisão, biofortificação, uso de bioestimulantes, nanotecnologia e microrganismos promotores de crescimento. Essa perspectiva exige a transição de programas nutricionais focados exclusivamente em produtividade para estratégias orientadas à resiliência climática. Tal mudança é especialmente crítica em sistemas tropicais e subtropicais, onde a intensificação dos estresses ambientais demanda maior eficiência, estabilidade e sustentabilidade dos sistemas produtivos. Assim, a nutrição mineral deve ser entendida como componente central da adaptação da fruticultura às mudanças climáticas, contribuindo para sistemas produtivos mais resilientes e alinhados ao ODS 13.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Agradecemos também a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais

(FAPEMIG) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - Processo: 174671/2023-7, pelo apoio financeiro essencial à realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

AHANGER, M. A.; AHMAD, P. Role of mineral nutrients in abiotic stress tolerance. Em: KHAN, M. I. R. et al. (Eds.). **Plant Signaling Molecules**. [s.l.] Elsevier, 2019. p. 269–285.

AINSWORTH, E. A.; LONG, S. P. 30 years of free-air carbon dioxide enrichment (FACE): what have we learned about future crop productivity and its potential for adaptation? **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 72, p. 373-401, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.15375>. Acesso em: 02 abr. 2026.

ALMUTAIRI, K. F.; GÓRNIK, K.; AWAD, R. M.; AYOUB, A.; ABADA, H. S.; MOSA, W. F. Influence of selenium, titanium, and silicon nanoparticles on the growth, yield, and fruit quality of mango under drought conditions. **Horticulturae**, v. 9, n. 11, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9111231>. Acesso em: 05 abr. 2026.

ANDEREGG, W. R. L.; WOLF, A.; ARANGO-VELEZ, A.; CHOAT, B.; CHMURA, D. J.; JANSEN, S.; KOLB, T.; LI, S.; MEINZER, F. C.; PITA, P. Plant water potential improves prediction of drought-induced mortality. **Nature Ecology & Evolution**, v. 2, p. 1287-1294, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.018548>. Acesso em: 10 abr. 2026.

AUÑÓN-CALLES, D.; PÉREZ-PÉREZ, J. G.; ROBLES, J. M.; BOTÍA, P.; GARCÍA-SÁNCHEZ, F. Agronomic and metabolic responses of Citrus clementina to long-term irrigation with saline reclaimed water. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 26, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms26073450>. Acesso em: 05 abr. 2026.

BEZERRA, M. A. F.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; DIAS, A. S.; SOARES, L. A. A. Calcium in the mineral nutrition of yellow passion fruit irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, p. 1-8, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n4p256-263>. Acesso em: 05 abr. 2026.

BOARETTO, R. M.; HIPPLER, F. W. R.; FERREIRA, G. A.; AZEVEDO, R. A.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS, D. J. The possible role of extra magnesium and nitrogen supply to alleviate stress caused by high irradiation and temperature in lemon trees. **Plant and Soil**, v. 457, n. 1–2, p. 57–70, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04597-y>. Acesso em: 10 abr. 2026.

CAKMAK, I. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 168, p. 521–530, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jpln.200420485>. Acesso em: 17 abr. 2026.

CHATZISSAVVIDIS, C. Fruit Crops Physiology and Nutrition. **Applied Sciences**, v. 14, n. 7, e 2789, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app14072789>. Acesso em: 10 abr. 2026.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress. **Annals of Botany**, v. 103, p. 551–560, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/aob/mcn125>. Acesso em: 17 abr. 2026.

CHOAT, B.; et al. Triggers of tree mortality under drought. **Nature**, v. 558, p. 531–539, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0240-x>. Acesso em: 18 abr. 2026.

DUSENGE, M. E.; DUARTE, A. G.; WAY, D. A. Plant carbon metabolism and climate change. **Journal of Experimental Botany**, v. 70, p. 2839–2851, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/nph.15283>. Acesso em: 10 abr. 2026.

FERERES, E.; SORIANO, M. A. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, p. 147–159, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jxb/erl165>. Acesso em: 02 abr. 2026.

FLEXAS, J.; MEDRANO, H. Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants. **Plant Biology**, v. 6, p. 269–279, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/aob/mcf027>. Acesso em: 10 abr. 2026.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The future of food and agriculture – Trends and challenges**. Rome: FAO, 2017. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglefindmkaj/https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/2e90c833-8e84-46f2-a675-ea2d7afa4e24/content>. Acesso em: 30 abr. 2026.

FU, X.; XING, F.; CAO, L.; CHUN, C.; LING, L.; JIANG, C.; PENG, L. Effects of Foliar Application of Various Zinc Fertilizers with Organosilicone on Correcting Citrus Zinc Deficiency. **HortScience**, v. 51, n. 4, p. 422–426, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.51.4.422>. Acesso em: 02 abr. 2026.

GANINO, T.; BARTOLINI, S.; FABBRI, A. Micronutrient applications to enhance olive fruit growth and extra virgin olive oil quality. **Scientia Horticulturae**, v. 356, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2025.114131>. Acesso em: 05 abr. 2026.

GONÇALVES, A., SILVA, E., BRITO, C., MARTINS, S., PINTO, L., DINIS, L.-T., LUZIO, A.; MARTINS-GOMES, C.; FERNANDES-SILVA, A.; RIBEIRO, C.; RODRIGUES, M. A.; MOUTINHO-PEREIRA, J.; NUNES, F. M.; CORREIA, C. M. Olive tree physiology and chemical composition of fruits are modulated by different deficit irrigation strategies. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 100, n. 2, p. 682–694, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jsfa.10064>. Acesso em: 10 abr. 2026.

GREER, D. H.; WEEDON, M. M. Modelling photosynthetic responses to temperature of grapevine (*Vitis vinifera* cv. *Sauvignon blanc*) leaves on vines grown in a hot climate.

Plant, Cell & Environment, v. 36, p. 1053–1064, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2011.02471.x>. Acesso em: 17 abr. 2026.

GROSSIORD, C.; BUCKLEY, T. N.; CERNUSAK, L. A.; NOVICK, K. A.; POULTER, B.; SIEGWOLF, R.; SPERRY, J. S.; MCDOWELL, N. G. Plant responses to rising vapor pressure deficit. **Nature Climate Change**, v. 10, p. 986–996, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/nph.16485>. Acesso em: 15 abr. 2026.

GUIRAO, A.; VALERO, D.; SERRANO, M.; MARTÍNEZ-ROMERO, D. Enhancing calcium transport and fruit quality in table grapes. **Horticulturae**, v. 11, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/horticulturae11111320>. Acesso em: 10 abr. 2026.

HABERMANN, E.; DIAS DE OLIVEIRA, E. A.; CONTIN, D. R.; DELVECCHIO, G.; VICIEDO, D. O.; MORAES, M. A.; COSTA, J. H.; STAPE, J. L.; MARTINEZ, C. A. Increasing atmospheric CO₂ and canopy temperature induces anatomical and physiological changes in citrus plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 158, p. 46–57, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212506>. Acesso em: 15 abr. 2026.

HASANUZZAMAN, M.; BHUYAN, M.; ZULFIQAR, F.; RAZA, A.; MOHSIN, S.; MAHMUD, J.; FUJITA, M.; Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress. **Antioxidants**, v. 9, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/antiox9080681>. Acesso em: 17 abr. 2026.

HEIDARPOUR, S.; ABBASPOUR, N.; MOHAMMADKHANI, N.; RAHMANI, F. Understanding the role of silicon in alleviating salinity stress in grapevine: Insights into physiological and molecular mechanisms. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 44, n. 6, p. 3093–3109, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00344-024-11601-7>. Acesso em: 02 abr. 2026.

HELALY, M. N.; EL-HOSEINY, H.; EL-SHEERY, N. I.; RASTOGI, A.; KALAJI, H. M. Regulation and physiological role of silicon in alleviating drought stress of mango. **Plant physiology and biochemistry**, v. 118, p. 31–44, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.05.021>. Acesso em: 15 abr. 2026.

HERNÁNDEZ-MUÑOZ, P.; ALMENAR, E.; OCIO, M. J.; GAVARA, R. Effect of calcium dips and chitosan coatings on postharvest life of strawberries (*Fragaria x ananassa*). **Postharvest Biology and Technology**, v. 39, n. 3, p. 247–253, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.11.006>. Acesso em: 17 abr. 2026.

HSAIO, T. C.; XU, L. K. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, p. 1595–1606, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jexbot/51.350.1595>. Acesso em: 10 abr. 2026.

HU, Y.; SCHMIDHALTER, U. Drought and salinity: a comparison of their effects on mineral nutrition of plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 168, p. 541–549, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jpln.200420516>. Acesso em: 02 abr. 2026.

HUANG, S.; ZHANG, M.; CHEN, J.; LI, X. Interactive effects between zinc and selenium on mineral accumulation and fruit quality of strawberry. **Agronomy**, v. 13, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy13102453>. Acesso em: 15 abr. 2026.

IPCC. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>. Acesso em: 15 abr. 2026.

ISAYENKOV, S. V.; MAATHUIS, F. J. M. Plant salinity stress: many unanswered questions. **Journal of Experimental Botany**, v. 70, p. 133–139, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00080>. Acesso em: 17 abr. 2026.

KELLER, M. **The Science of Grapevines: Anatomy and Physiology**. 2 ed. London: Academic Press, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/283800966_The_Science_of_Grapevines_Anatomy_and_Physiology_Second_Edition. Acesso em: 02 abr. 2026.

KUMAR, P.; SHARMA, A.; KUMAR, V. Heat stress effects on growth and physiology of strawberry. **Scientia Horticulturae**, v. 293, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/387410644_Heat_Stress_in_Strawberry_Production_Effects_Cultivar_Variability_and_Solutions. Acesso em: 15 abr. 2026.

LAL, R. Soil organic matter and climate change. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 75, p. 123-134, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/339654175_Soil_organic_matter_content_and_crop_yield. Acesso em: 17 abr. 2026.

LAWLOR, D. W.; TEZARA, W. Causes of decreased photosynthetic rate under water deficit. **Annals of Botany**, v. 103, p. 561–579, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/aob/mcn244>. Acesso em: 18 abr. 2026.

LI, Y.; WANG, J.; ZHANG, X. Evaluation of soil nutrients and berry quality characteristics in vineyards. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1418197>. Acesso em: 02 abr. 2026.

LISEK, J.; LISEK, A.; WÓJCIK, P. Macronutrient status in grapevine leaves and soil in warming viticulture regions. **Agriculture**, v. 15, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture15222333>. Acesso em: 17 abr. 2026.

MARSCHNER, P. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3 ed. London: Academic Press, 2012. Disponível em: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://home.czu.cz/storage/737/65060_Mineral-Nutrition-of-higher-plants-Marschner-2012.pdf](https://home.czu.cz/storage/737/65060_Mineral-Nutrition-of-higher-plants-Marschner-2012.pdf). Acesso em: 17 abr. 2026.

MEDRANO, H.; TOMÁS, M.; MARTORELL, S.; FLEXAS, J.; HERNÁNDEZ, E.; ROSSELLÓ, J.; POU, A.; ESCALONA, J. M.; BOTA, J. Improving water use efficiency of vineyards in semi-arid regions. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, p. 499–517, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0280-z>. Acesso em: 20 abr. 2026.

MITTLER, R. ROS are good. **Trends in Plant Science**, v. 22, p. 11–19, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.08.002>. Acesso em: 20 abr. 2026.

MOSTOFA, M. G.; RAHMAN, M. M.; ANSARY, M. M. U.; KEYA, S. S.; ABDELRAHMAN, M.; MIAH, M. G.; PHAN TRAN, L.-S. Silicon in mitigation of abiotic stress-induced oxidative damage in plants. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 41, n. 6, p. 918–934, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1892582>. Acesso em: 05 abr. 2026.

MOTA, T. A. L.; ALMEIDA, C. S.; SOUZA, G. A.; TEIXEIRA, L. S.; ARAÚJO, W. L.; NUNES-NESI, A.; ZSÖGÖN, A.; RIBEIRO, D. M. Selenium mitigates the loss of nutritional quality in rice grown at an elevated concentration of carbon dioxide. **Chemosphere**, v. 362, n. 142692, p. 142692, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142692>. Acesso em: 17 abr. 2026.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 651–681, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>. Acesso em: 10 abr. 2026.

MURTAZA, G.; AHMED, Z.; RIZWAN, M.; USMAN, M. Selenium biofortification in horticultural crops. In SHAH, A. N.; FAIZ, S.; ASLAM, M.; IQBAL, J.; QAYYUM, A. **Crop biofortification: Biotechnological approaches for achieving nutritional security under changing climate**. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9781394273270.ch13>. Acesso em: 05 abr. 2026.

MYERS, S. S.; ZANOBBETTI, A.; KLOOG, I.; HUYBERS, P.; LEAKEY, A. D. B.; BLOOM, A. J.; CARLISLE, E.; DIETTERICH, L. H.; FITZGERALD, G.; HASEGAWA, T. Increasing CO₂ threatens human nutrition. **Nature**, v. 510, p. 139–142, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature13179>. Acesso em: 02 abr. 2026.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Objetivo 13: ação contra a mudança global do clima. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/13>. Acesso em: 25 abr. 2026.

PAUL, M. J.; FOYER, C. H. Sink regulation of photosynthesis. **Journal of Experimental Botany**, v. 52, p. 1383–1400, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jexbot/52.360.1383>. Acesso em: 10 abr. 2026.

PIAO, S.; LIU, Q.; CHEN, A.; JANSSENS, I. A.; FU, Y.; DAI, J.; LIU, L.; LIAN, X.; SHEN, M.; ZHU, X. Plant phenology and global climate change. **Nature Climate Change**, v. 9, p. 253–260, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.14619>. Acesso em: 06 abr. 2026.

RIPOLL, J.; et al. Water stress effects on tomato fruit quality. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, p. 311–326, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.10.006>. Acesso em: 20 abr. 2026.

RODRIGUES, L. S.; SOUTO, A. G.; CAVALCANTE, Í. H. L.; GHEYI, H. R. Combined effects of calcium sources and water restriction on mango fruit yield and quality.

Frontiers in Plant Science, v. 16, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1622533>. Acesso em: 17 abr. 2026.

ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. Biostimulants in agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>. Acesso em: 06 abr. 2026.

RUAN, Y.-L. Sucrose metabolism: gateway to diverse carbon use and sugar signaling. *Annual Review of Plant Biology*, Palo Alto, v. 65, p. 33–67, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050213-040251>. Acesso em: 25 abr. 2026.

SAURE, M. C. Calcium translocation to fleshy fruit. **Journal of Plant Nutrition**, v. 28, p. 1387–1400, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.10.003>. Acesso em: 20 abr. 2026.

SAURE, M. C. Why calcium deficiency is not the cause of blossom-end rot in tomato and pepper fruit – a reappraisal. **Scientia horticulturae**, v. 174, p. 151–154, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.05.020>. Acesso em: 02 abr. 2026.

SAVVAS, D.; NTATSI, G. Biostimulant activity of silicon in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 66–81, 2015. Disponível em: Acesso em: 02 abr. 2026.

SILVA, A. C. Z.; PEREIRA, R. F.; CAVALCANTE, Í. H. L. Silicon and potassium synergistically alleviate salt stress in passion fruit seedlings. **Frontiers in Plant Science**, v. 16, 2025. Disponível em: [10.1016/j.scienta.2015.09.010](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.010). Acesso em: 02 abr. 2026.

SOUTO, A. G.; GHEYI, H. R.; CAVALCANTE, Í. H. L. Salinity and mulching effects on nutrition and production of sour passion fruit. **Plants**, v. 12, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants12051035>. Acesso em: 17 abr. 2026.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. *Plant Physiology and Development*. 7. ed. Oxford: Oxford University Press, 2022.

TEIXEIRA, L. S.; PIMENTA, T. M.; BRITO, F. A. L.; MALHEIROS, R. S. P.; ARRUDA, R. S.; ARAÚJO, W. L.; RIBEIRO, D. M. Selenium uptake and grain nutritional quality are affected by nitrogen fertilization in rice (*Oryza sativa* L.). **Plant Cell Reports**, v. 40, n. 5, p. 871–880, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00299-021-02685-6>. Acesso em: 06 abr. 2026.

TUBEROSA, R. Phenotyping for drought tolerance. **Functional Plant Biology**, v. 39, p. 851–859, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00347>. Acesso em: 10 abr. 2026.

URBAN, O.; HLA VÁČOVÁ, M.; KLEM, K.; NOVOTNÁ, K.; RAPANTOVÁ, B.; SMUTNÁ, P.; HORÁKOVÁ, V.; HLA VINKA, P.; ŠKARPA, P. Combined effects of drought and high temperature. **Photosynthesis Research**, v. 131, p. 1–17, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.02.029>. Acesso em: 06 abr. 2026.

VENIOS, X.; KORKAS, E.; NISIOTOU, A.; BANILAS, G. Grapevine responses to heat stress and global warming. **Agronomy**, v. 10, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants9121754>. Acesso em: 17 abr. 2026.

VILLETTE, J.; CUÉLLAR, T.; VERDEIL, J.-L.; DELROT, S.; GAILLARD, I. Grapevine potassium nutrition and fruit quality in the context of climate change. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 123, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00123>. Acesso em: 02 abr. 2026.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Calcium in plants. **Annals of Botany**, v. 92, p. 487–511, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/aob/mcg164>. Acesso em: 17 abr. 2026.

ZANDALINAS, S. I.; SALES, C.; BELTRÁN, J.; GÓMEZ-CADENAS, A.; ARBONA, V. Activation of secondary metabolism in citrus plants is associated to sensitivity to combined drought and high temperatures. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 1954, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01954>. Acesso em: 17 abr. 2026.

ZEKRI, M.; OBREZA, T. **Potassium for citrus trees: importance and management**. Gainesville: University of Florida, 2009.

Capítulo 07

APLICAÇÃO DE GEOTECNOLOGIA COMO FERRAMENTA PARA O DIAGNÓSTICO DE ÁREAS VERDES URBANAS EM SANTA MARIA DO PARÁ – PA

Nathaly de Sousa Botelho, Gabriel Sousa Cabral, Luiz Felipe Silva Barbosa, Madson Alan Rocha de Sousa, Raphael Lobato Prado Neves

Resumo: O processo de urbanização tem provocado alterações na cobertura vegetal, impactando a qualidade ambiental urbana. Este trabalho teve como objetivo analisar as áreas verdes no espaço urbano de Santa Maria do Pará - PA, identificando, mapeando e quantificando-as nos bairros Centro, Marambaia, Barrolândia, Magnífico, Estrela, Mutirão e Marilândia, além de calcular o NDVI, o PAV e o IAVHab para os anos de 2017 e 2023. A metodologia baseou-se na elaboração de banco de dados com arquivos *shapefile*, seleção das áreas segundo critérios de Bargas (2010) e análise por NDVI com imagens *Landsat-8*. Os resultados indicaram ausência de áreas verdes conforme os critérios adotados e redução da vegetação de 114,66 ha em 2017 para 19,08 ha em 2023. Essa redução está associada à expansão urbana e pode intensificar problemas ambientais, como ilhas de calor, inundações e poluição. Conclui-se que há necessidade de planejamento urbano para ampliação ambiental do município.

Palavras-chave: Arborização urbana. Sensoriamento remoto. Expansão urbana. Planejamento urbano. Qualidade ambiental urbana.

N. S. Botelho . Universidade do Estado do Pará. Paragominas, PA, Brasil. e-mail: nathalybotelho55@gmail.com. ORCID: 0009-0007-1117-6342.

G. S. Cabral . Universidade do Estado do Pará. Paragominas, PA, Brasil. e-mail: gabrielsousagsc18@gmail.com. ORCID: 0009-0002-2376-2174.

L. F. S. Barbosa . Universidade do Estado do Pará. Paragominas, PA, Brasil. e-mail: felipeslv1212@gmail.com. ORCID: 0009-0005-0772-4874.

M. A. R. Sousa . Universidade do Estado do Pará. Paragominas, PA, Brasil. e-mail: madsonalan@uepa.br. ORCID: 0000-0002-7560-3274.

R. L. P. Neves . Universidade do Estado do Pará. Paragominas, PA, Brasil. e-mail: prado.neves@uepa.br. ORCID: 0000-0002-0997-4851.

© Este trabalho integra a obra: “Avanços e Desafios nas Ciências Ambientais (vol. 02)”, publicado pela Reconnecta Soluções em 2026, disponível para acesso gratuito em: www.reconnectasolucoes.com.br/editora

INTRODUÇÃO

O ambiente urbano é caracterizado pelo crescimento das cidades, marcado pela alta densidade populacional e pela expansão das infraestruturas. Esse processo tem levado à substituição da cobertura vegetal por áreas construídas, comprometendo o equilíbrio ambiental urbano (Ribeiro; Pinheiro, 2022). Nesse contexto, o desmatamento decorrente da transição de áreas rurais para urbanas representa um desafio significativo ao planejamento das cidades. Tornando-se, portanto, necessário adotar estratégias eficientes para revitalizar e preservar a cobertura arbórea nas cidades, garantindo a continuidade dos aspectos econômicos, sociais, culturais e ambientais para a sociedade (Cheng *et al.*, 2024).

O planejamento urbano enfrenta um grande desafio ao tentar conciliar os elementos do espaço urbano com os interesses ambientais. Há uma pressão para acomodar o crescimento populacional, resultando em expansão urbana e ameaças à biodiversidade. Além disso, a preservação de áreas verdes muitas vezes entra em conflito com o desenvolvimento econômico e a necessidade de infraestrutura (Silva *et al.*, 2020). Essas áreas são, então, reduzidas ou negligenciadas, especialmente em cidades de menor porte ou com crescimento desordenado, intensificando os impactos ambientais nas cidades (Klompmaaker *et al.*, 2023). Esse cenário também evidencia desigualdades na distribuição dessas áreas, uma vez que a disponibilidade de infraestrutura verde tende a ser maior em cidades com melhor condição socioeconômica e maior extensão territorial (Li *et al.*, 2024).

Contudo, os espaços verdes urbanos conferem uma série de benefícios cruciais no perímetro da cidade, como melhoria na qualidade do ar, auxílio na sobrevivência da fauna, oferta de sombra, redução do calor e da poluição sonora, além de contribuírem para a valorização imobiliária e proporcionarem ambientes para atividades recreativas, melhorando o bem-estar mental e físico (O'Brien; Urbanek; Gregory, 2022; Bille; Jensen; Buitenwerf, 2023; Hassall *et al.*, 2024). A presença dessa vegetação também contribui para a retenção de sedimentos e favorece a infiltração da água no solo, reduzindo o escoamento superficial e minimizando os riscos de inundações urbanas, evidenciando que as áreas verdes constituem uma infraestrutura essencial para a qualidade ambiental e o funcionamento das cidades (Khodadad; Aguilar-Barajas; Khan, 2023; Addo-Bankas *et al.*, 2024).

Apesar da importância descrita das áreas verdes, muitas cidades ainda crescem sem o planejamento adequado, carecendo de diagnósticos precisos que ajudem a compreender e quantificar os padrões urbanos e a diversidade da paisagem entre os bairros (Miroshnyk *et al.*, 2022). Em muitos casos, a ausência de informações sobre a variação da cobertura vegetal ao longo do tempo e sua distribuição entre diferentes bairros limita a compreensão da dinâmica urbana e compromete a identificação de áreas mais vulneráveis à escassez de vegetação (Chen *et al.*, 2023). A falta desse diagnóstico dificulta a identificação dos locais carentes de vegetação e interfere diretamente na conservação e no funcionamento sustentável dessas áreas (Mallick; Rudra; Maity, 2023).

No planejamento urbano, o uso de ferramentas ligadas a geotecnologias e sensoriamento remoto, como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), é essencial, visto que elas são bastante eficazes na realização de atividades relacionadas ao levantamento e mapeamento dos elementos que estão no espaço geográfico (Boori *et al.*, 2021; Moreno *et al.*, 2020). Nesse sentido, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI permite avaliar a cobertura vegetal e suas variações ao longo do tempo, enquanto indicadores como o Percentual de Áreas Verdes - PAV e o Índice de Área Verde urbana por Habitante - IAVHab possibilitam analisar a distribuição e a

disponibilidade dessas áreas para a população (Martínez; Labib, 2023; Azagoun *et al.*, 2026; Almeida, 2021). Nesta pesquisa, buscou-se entender a distribuição das áreas verdes entre os anos de 2017 e 2023, e entre diferentes bairros, adotando uma abordagem quali-quantitativa que combina análise visual, processamento digital de imagens e análise estatística, permitindo uma compreensão mais detalhada das mudanças na vegetação e de sua distribuição entre as áreas estudadas (Silva; Córdova, 2009), com o intuito de subsidiar a formulação de políticas públicas voltadas à ampliação e ao adequado arranjo das áreas verdes (Dias *et al.*, 2025).

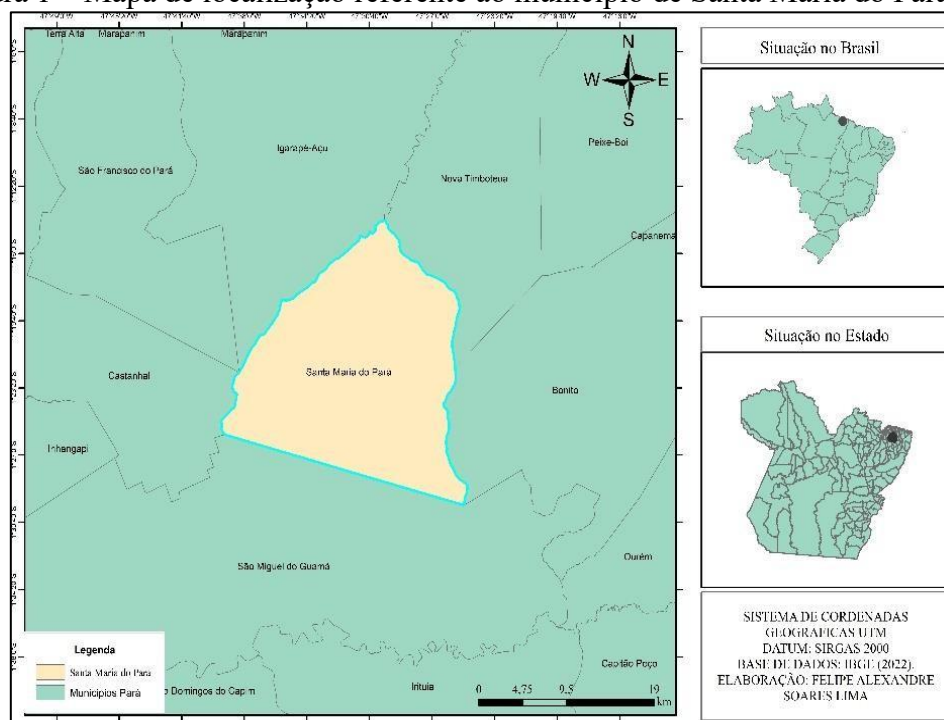
Assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar as áreas verdes no município de Santa Maria do Pará - PA, por meio do uso de geotecnologias, avaliando a dinâmica temporal da cobertura vegetal e sua distribuição espacial. Dessa forma, busca-se colaborar com o conhecimento relacionado ao planejamento urbano para possíveis tomadas de decisão em relação a políticas públicas para um ambiente urbano mais equilibrado, contribuindo para a compreensão dos impactos da urbanização sobre a vegetação em cidades de pequeno porte na Amazônia.

DESENVOLVIMENTO

Área do estudo

A pesquisa foi realizada no município de Santa Maria do Pará – PA, que está situado na mesorregião do Nordeste Paraense e na microrregião Bragantina, a 115 quilômetros da capital metropolitana de Belém-PA (Figura 1). O município ocupa uma extensão territorial de 457,724 quilômetros quadrados (km²). A área urbana possui 7,033 km², já a área urbanizada engloba apenas 6,52 km², com população de 24.624 (IBGE, 2022). O município é considerado um dos principais entroncamentos rodoviários do Estado, haja vista que, compreende o ponto de encontro entre duas importantes rodovias, sendo elas, BR-010 e a BR-316/BR-308 (IBGE, 2022).

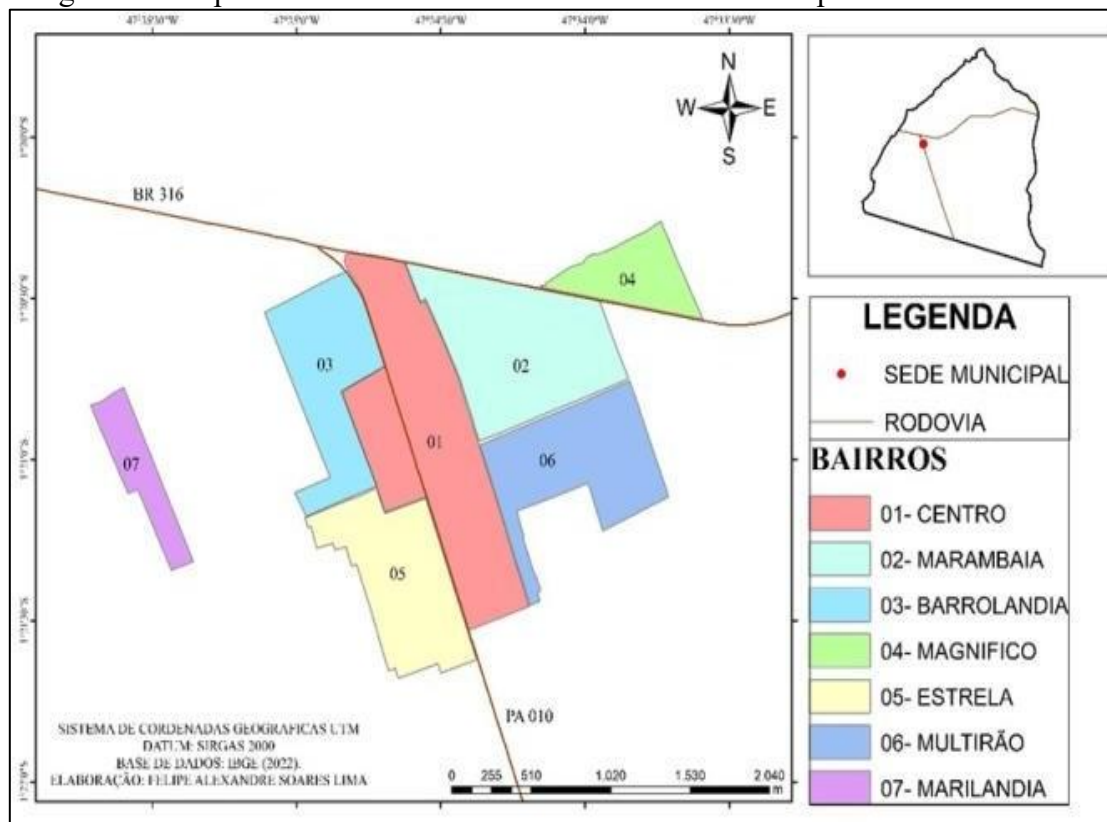
Figura 1 – Mapa de localização referente ao município de Santa Maria do Pará - PA.



Fonte: Autores (2023).

As áreas analisadas dentro do perímetro urbano de Santa Maria do Pará foram compreendidas por sete bairros, sendo eles: Centro, Marambaia, Barrolândia, Magnífico, Estrela, Mutirão e Marilândia (Figura 2). A planta da divisão foi cedida pela Prefeitura Municipal.

Figura 2 – Mapa da área de estudo: Núcleo urbano do município Santa Maria - PA.



Fonte: Autores (2023).

Método de pesquisa

O presente estudo foi realizado com base no método de análise de áreas verdes desenvolvido por Bargos (2010), que estabelece que essas áreas estejam no perímetro urbano, tendo predomínio de vegetação arbórea e arbustiva, estes exercendo funções ecológicas, de lazer e estética, com no mínimo, 70% da área livre de edificações ou alguma cobertura que impermeabilize o solo.

Foi utilizado o mapa de uso da terra do município para a seleção das áreas, as imagens foram obtidas pelo satélite *Landsat 8*, frequentemente utilizado em estudos ambientais (Nasiri *et al.*, 2022). A escolha desse satélite se deve à sua disponibilidade gratuita, ampla série histórica de dados e resolução espacial adequada para análises urbanas, além de sua eficiência na aplicação de índices espectrais, como o NDVI (Šamanović *et al.*, 2025).

Análise das áreas verdes urbanas

O estudo foi organizado em 4 etapas metodológicas. A 1ª corresponde à elaboração do banco de dados, a 2ª à seleção das áreas verdes urbanas, a 3ª à seleção de área verde urbana por NDVI e a 4ª etapa aos cálculos de Percentual de Áreas Verdes -

PAV e o Índice de Área Verde urbana por Habitante - IAVHab (Tabela 1).

Tabela 1 - Sistematização das etapas de práticas metodológicas para caracterização de áreas verdes urbanas.

Etapas	Ações
1 ^a	Elaboração do banco de dados
2 ^a	Seleção das áreas verdes urbanas
3 ^a	Área verde urbana por NDVI
4 ^a	Percentual de Áreas VerdesA – PAV e Índice de Área Verde urbana por Habitante - IVHab

Fonte: Elaborada pelos autores.

Na primeira etapa, foi realizada a montagem da base de dados com o limite municipal em formato vetorial (*shapefile*), obtido junto a base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Também foi necessária a planta cadastral do município, contendo a malha do núcleo urbano, divisão dos bairros e o limite da zona urbana, que por sua vez foi disponibilizada pela Prefeitura Municipal de Santa Maria do Pará.

Com os arquivos vetoriais de cada bairro, foi possível realizar o *download* das imagens, a partir do satélite *Landsat 8*, dessa forma, ocorreu a análise e identificação da cobertura vegetal dos locais estudados. Foi utilizado o *software Quantum Gis* (QGIS), que por meio das ferramentas de processamento de raster e vetorial permite a visualização, a edição e análise de dados geoespacializados das áreas.

A segunda etapa consistiu na seleção das áreas verdes, conforme os critérios de Bargas (2010). Nessa fase, foram definidas as áreas que atendiam aos parâmetros estabelecidos, considerando sua localização no perímetro urbano e suas características estruturais. Para fins de classificação, este trabalho considerou que a área verde deveria apresentar, no mínimo, duas das funções definidas pelo autor.

Desse modo, as áreas verdes urbanas consideradas foram: bosques, canteiros, praças e trevos. Os canteiros foram considerados apenas quando se encaixavam nos parâmetros citados acima, e quando apresentavam largura e comprimento superior a 2 metros, com presença de vegetação arbórea ou arbustiva, podendo possuir estruturas como, assentos e calçadas que não possibilitem a total impermeabilização do solo.

Na terceira etapa, priorizou-se a análise das áreas verdes urbanas por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI. Para isso, foram construídos, através do *software* QGIS, os *shapefiles* dos bairros do município. Os arquivos vetoriais da área de interesse foram compostos pelos núcleos Centro, Marambaia, Barrolândia, Magnífico, Estrela, Mutirão e Marilândia, os quais foram transformados em formato *Keyhole Markup Language* (KML), para poderem ser inseridos nos serviços de análise de imagem de satélite da plataforma *LandViewer* pertencente à EOS (*Earth Observing System*) (disponível em: <<https://eos.com/landviewer/>>).

Em seguida, formou-se o banco de dados das áreas, utilizando imagens do satélite *Landsat-8* 223/06, do dia 25 de setembro de 2023 para todos os núcleos, já para o ano de 2017 foi utilizado o satélite *Landsat-8* 223/61, do dia 06 de julho para todos os bairros. A escolha desses períodos fundamentou-se na disponibilidade de imagens com melhor qualidade e menor interferência de nuvens, além de permitir a comparação temporal entre dois momentos distintos, evidenciando as mudanças na cobertura vegetal do município.

Dentro da própria plataforma ocorreu manipulação de bandas, na qual o NDVI mede o verde e a densidade da vegetação capturada em uma imagem de satélite. A vegetação saudável tem uma curva de reflexão espectral muito característica, a qual podemos nos beneficiar calculando a diferença entre duas faixas, vermelho visível e infravermelho próximo, que forneceu classificação dos valores do índice para a área de cada arquivo KML selecionado.

O NDVI foi calculado pela diferença de reflectância entre a faixa do infravermelho próximo e a de reflectância da faixa do visível (banda do vermelho).

$$NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R} \quad (1)$$

Onde:

NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

NIR = Reflectância da faixa do infravermelho próximo;

R = Reflectância da faixa do visível (banda do vermelho).

A variação do índice por NDVI é de -1 a 1, conforme o exemplo de interpretação da própria plataforma:

- Vegetação densa, acima de 0,6;
- Vegetação moderada, entre 0,4 e 0,6;
- Vegetação escassa, intervalo entre 0,2 e 0,4;
- Solo nu, intervalo entre 0,1 e 0,2;
- Superfície com água ou construções -1 e 0.

Para a pesquisa, utilizaram-se apenas os valores de NDVI entre 0,6 e 1, por corresponderem à vegetação densa e mais saudável, desconsiderando elementos vegetativos isolados presentes na arborização de rua. A adoção desse intervalo buscou aumentar a precisão da identificação de áreas verdes urbanas, tornando os resultados mais compatíveis com a perspectiva conceitual de Bargas (2010), que prioriza espaços com predominância de vegetação arbórea e arbustiva.

Além disso, essa delimitação evitou a inclusão de superfícies com vegetação esparsa, solo exposto ou áreas parcialmente urbanizadas, reduzindo possíveis distorções na análise. Dessa forma, buscou-se enfatizar fragmentos vegetados mais estruturados, capazes de fornecer serviços ecossistêmicos, como sombreamento, infiltração da água no solo e suporte à biodiversidade.

Na quarta etapa, foi prevista a determinação do Percentual de Áreas Verdes - PAV e o Índice de Área Verde urbana por Habitante - IAVHab, classificados da seguinte forma: a primeira constitui a relação entre áreas verdes e a área urbanizada da cidade, e a segunda entre as áreas verdes e o número de habitantes da área urbanizada. Para ambas as relações foi aderida a metodologia complementar de Silva (2018).

Para obter a primeira relação, considerou-se o cálculo do percentual de áreas verdes - PAV, que utiliza a soma do total das áreas verdes urbanas dividido pela área urbanizada total (m²).

$$PAV = \frac{\sum AV}{T} \quad (2)$$

Onde:

PAV= Percentual de Áreas Verdes (%);

$\sum AV$ = soma do total de Áreas Verdes urbanas (m²);

AT= total da área urbanizada (m²).

É primordial salientar que, para se obter o total da área urbanizada, foi efetuada a soma das áreas dos sete bairros que fazem parte da área urbana de Santa Maria do Pará. Neste procedimento, se fez uso do programa QGIS.

Para a segunda relação, foi previsto o Índice de Área Verde urbana por Habitante - IAVHab, que utiliza o somatório das áreas urbanas dividido pelo número de habitantes. Para esse procedimento, a unidade de medida adotada é o metro quadrado (m²).

$$IAVHAB = \frac{\sum AV}{H} \quad (3)$$

Onde:

IAVHab = Índice de Área Verde urbana por Habitante (m²/hab);

$\sum AV$ = Somatório do total das Áreas Verdes (m²);

H = N° de habitantes da área urbanizada.

RESULTADOS

Áreas verdes urbanas em Santa Maria do Pará segundo adaptação de Bargos (2010)

Constatou-se a inexistência de áreas classificadas como áreas verdes urbanas que atendessem aos parâmetros e critérios estabelecidos por Bargos (2010), uma vez que não foram identificadas áreas com, no mínimo, 70% da área livre de edificações ou cobertura impermeabilizante. Isso indica que a maior parte do perímetro urbano analisado apresenta elevado grau de ocupação e impermeabilização do solo, dificultando a identificação de espaços compatíveis com os parâmetros adotados na pesquisa.

Em relação às funções, nenhuma área atendeu às delimitações metodológicas estabelecidas para exercer, simultaneamente, duas das três funções supracitadas, sendo elas ecológica, de lazer e estética, o que reforça a limitação funcional desses espaços dentro do município de Santa Maria do Pará.

A inexistência de áreas classificadas como áreas verdes urbanas, segundo os critérios adaptados de Bargos (2010), impossibilitou a aplicação do Percentual de Áreas Verdes (PAV) e do Índice de Área Verde urbana por Habitante (IAVHab), uma vez que nenhuma área atendeu aos requisitos mínimos estabelecidos para essa classificação.

Análise urbana por NDVI

Ao analisar os resultados do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada dos anos de 2017 e 2023, observa-se que o bairro Centro apresentou o maior índice de vegetação, enquanto o bairro Marilândia registrou o menor índice em 2017. Já em 2023, a tendência persistiu, com o bairro Centro mantendo o índice mais elevado, e o bairro Barrolândia passou a apresentar o menor índice (Tabela 2).

Em 2017, o NDVI classificou 114,66 hectares, um valor significativamente elevado se comparado ao ano de 2023. Ainda assim, no contexto urbano, é considerado um nível moderado, pois ao relacionar esse número com a área total urbanizada dos sete bairros, que corresponde a 652 hectares, ele representa aproximadamente 17,58%. No entanto, a distribuição da vegetação não é uniforme em todos os núcleos analisados. O núcleo com a maior cobertura vegetal no mesmo ano foi o Centro, totalizando 29,07 hectares, enquanto o núcleo com a menor cobertura foi Marilândia, com 6,48 hectares.

Já no ano de 2023, o NDVI indicou 19,08 hectares, esse valor representa apenas 2,93% da área total, ou seja, o ano de 2023 revela uma redução expressiva da cobertura

vegetal em relação a 2017. Nesse período, o Centro manteve sua posição como o núcleo com a maior cobertura vegetal, totalizando 5,04 ha, enquanto Barrolândia registrou uma extensão menor, com 0,72 ha.

Tabela 2 – Análise de NDVI dos sete bairros em relação aos anos de 2017 e 2023.

Bairros	Índice de Vegetação (hectares) por ano	
	2017	2023
Centro	29,07 ha	5,04 ha
Estrela	14,58 ha	3,33 ha
Marambaia	18,90 ha	2,34 ha
Mutirão	21,87 ha	2,61 ha
Magnífico	15,57 ha	3,60 ha
Marilândia	6,48 ha	1,44 ha
Barrolândia	8,19 ha	0,72 ha
Total	114,66 ha	19,08 ha

Fonte: Elaborada pelos autores.

Entre 2017 e 2023, observou-se redução da cobertura vegetal em todos os bairros analisados. O núcleo Centro registrou perda de aproximadamente 82,67%, seguido por Estrela com 77,12%, Marambaia com 87,62%, Mutirão com 88,1%, Magnífico com 76,92%, Marilândia com 77,78% e Barrolândia com 93,33%. O índice total de perda de vegetação foi de cerca de 83,3% no período analisado. Barrolândia apresentou o maior percentual de redução, enquanto Estrela registrou a menor perda.

DISCUSSÃO

A ausência de áreas classificadas como áreas verdes urbanas em Santa Maria do Pará mostra que o crescimento urbano do município ocorreu sem um planejamento integrado à preservação ambiental, resultando na ausência de espaços capazes de desempenhar, ao mesmo tempo, funções ecológicas, estéticas e de lazer, conforme os critérios estabelecidos por Bargas (2010). Esse cenário evidencia um elevado grau de ocupação e impermeabilização do solo, com pouca presença de vegetação arbórea e arbustiva no perímetro urbano. Estudos indicam que municípios de pequeno porte e com menor desenvolvimento socioeconômico tendem a apresentar menor disponibilidade de áreas verdes, já que o planejamento urbano e a destinação de espaços para preservação ambiental muitas vezes não recebem a devida prioridade (Li *et al.*, 2024).

Diante disso, observa-se que a presença de áreas verdes não depende apenas da disponibilidade física de espaço, mas principalmente da forma como esses espaços são planejados e incorporados ao desenvolvimento da cidade, o que revela fragilidades na gestão ambiental nas cidades. A infraestrutura verde precisa ser pensada de forma integrada, considerando benefícios ambientais, sociais e econômicos, e não apenas como ações pontuais. Quando essas intervenções ocorrem de forma isolada e sem planejamento de longo prazo, elas tendem a reduzir a efetividade dessas áreas e comprometem a sustentabilidade urbana (Di Cristofaro *et al.*, 2025).

É válido destacar que os critérios adotados por Bargas (2010) podem não conseguir refletir a organização do espaço verde nas cidades pequenas, pois mesmo sem alcançarem 70% de espaço permeável, essas áreas ainda podem desempenhar funções ecológicas ou sociais importantes, não podendo ser ignoradas, uma vez que também são fundamentais para essa qualidade ambiental e para uso social, não sendo o não

cumprimento desse percentual suficiente para desconsiderar seus benefícios de manutenção do equilíbrio ambiental e vivência dos espaços urbanos.

Entre 2017 e 2023, por meio da análise do NDVI, observou-se uma redução expressiva da cobertura vegetal em todos os bairros analisados, com perda total aproximada de 83,3%, evidenciando um processo generalizado de supressão vegetal no perímetro urbano. Essa redução pode estar associada a um avanço acelerado da ocupação urbana sobre áreas anteriormente vegetadas, indicando que o crescimento urbano local ocorre de forma pouco integrada à preservação ambiental. Em cidades com transformação do uso do solo desordenada, isso é comum, pois a ausência de planejamento territorial contribui diretamente para a fragmentação da vegetação ao longo dos anos (Rahaman *et al.*, 2022). Além disso, alterações na vegetação estão relacionadas tanto a fatores climáticos quanto às intervenções antrópicas, evidenciando que a dinâmica da vegetação ocorre em resposta às pressões exercidas pelo processo de ocupação territorial (Larbi; Derridj; Zanndouche, 2024).

Ao detalhar essa dinâmica em nível de bairros, observa-se que, apesar da redução da cobertura vegetal ter ocorrido em todos os bairros, essa perda não aconteceu da mesma forma em cada núcleo, mostrando diferenças no processo de ocupação urbana entre eles. Barrolândia apresentou o maior percentual de perda no índice de vegetação, com 93,33%, enquanto Estrela registrou a menor redução, com 77,12%. Essa diferença pode estar relacionada ao avanço das construções, à expansão urbana e à substituição de áreas vegetadas por superfícies construídas e impermeabilizadas. Bairros com maior adensamento urbano tendem a apresentar maior supressão de vegetação ao longo do tempo, enquanto aqueles que ainda mantêm áreas com vegetação remanescente apresentam reduções menos intensas. Esses resultados mostram que a distribuição da vegetação urbana acontece de forma desigual e reflete diretamente a maneira como o crescimento da cidade ocorre em cada bairro.

Diferentes intensidades de perda de vegetação entre áreas de uma mesma cidade estão diretamente relacionadas ao nível de ocupação urbana e às transformações no uso do solo (Barman *et al.*, 2024). Dessa forma, os resultados encontrados em Santa Maria do Pará seguem uma tendência já descrita em outros contextos urbanos, onde o crescimento da cidade não ocorre de maneira uniforme, mas com impactos ambientais distintos entre suas áreas. Essa variação reforça a importância de analisar o espaço urbano de forma integrada, considerando as diferentes formas de ocupação e seus efeitos no ambiente.

A redução da cobertura vegetal e o aumento das superfícies impermeáveis intensificam problemas ambientais já comuns no espaço urbano, como o aumento da temperatura, a formação de ilhas de calor e a maior dificuldade de drenagem das águas pluviais. Com isso, a ampliação da vegetação urbana é fundamental para amenizar esses impactos, especialmente em cidades com crescimento desordenado, pois contribui para a regulação térmica, redução dos efeitos das ilhas de calor e maior equilíbrio ambiental (Cheng *et al.*, 2024). No caso de Santa Maria do Pará, investir em vegetação em praças, canteiros e outros espaços públicos configura uma alternativa viável para ampliar a cobertura vegetal e reduzir a fragilidade ambiental observada nesse município.

A literatura aponta que a gestão das áreas verdes urbanas não depende apenas de intervenções técnicas ou do poder público, mas envolve um processo de governança compartilhada entre diferentes atores sociais, incluindo instituições públicas, setor privado, comunidade e organizações educacionais. Essa abordagem reforça que a efetividade das estratégias de vegetação urbana está ligada ao envolvimento coletivo e à responsabilidade compartilhada na manutenção e valorização desses espaços, especialmente quando se trata de políticas voltadas para a construção de cidades mais sustentáveis (Bush, 2020).

Apesar dessa tendência de redução da cobertura vegetal observada entre os períodos analisados, é importante considerar também que os valores de NDVI podem variar por outras razões além da retirada física da vegetação, como condições ambientais presentes no momento de aquisição das imagens, especialmente em função da sazonalidade e das condições climáticas, como a pluviosidade (Paes; Garcia, 2022). Isso ocorre porque o indicador mede o vigor e a resposta espectral da vegetação no momento do registro da imagem, de modo que a vegetação mais saudável tende a absorver maior quantidade de luz visível e refletir mais intensamente a radiação no infravermelho próximo (Zhang *et al.*, 2021).

No cenário de 2017, com as imagens sendo obtidas no mês de julho, o município encontrava-se em condições climáticas associadas ao período com maior disponibilidade hídrica, no qual a vegetação ainda mantinha umidade residual no solo, preservando elevado vigor vegetativo (Souza *et al.*, 2019). Esse fator pode justificar os valores mais elevados de NDVI em comparação ao ano de 2023, cujas imagens foram coletadas no mês de setembro, período de menor disponibilidade hídrica na região. Esse cenário de estresse hídrico pode induzir respostas fenológicas na vegetação urbana, como a perda foliar parcial e total em determinadas espécies caducifólias presentes na arborização urbana, reduzindo significativamente os valores espectrais identificados pelo NDVI (Leisenheimer *et al.*, 2024; Mehmood *et al.*, 2024).

Embora o NDVI seja uma ferramenta eficiente para avaliar a densidade vegetativa, ele não constitui o único indicador da qualidade da vegetação, sendo recomendável o emprego de outros indicadores, como características da paisagem, para investigar diferenças e semelhanças distintas entre as tipologias de áreas verdes urbanas. Além disso, estudos futuros devem abordar não apenas a qualidade dos lotes em diferentes tipologias, mas também analisar a sua distribuição e o acesso aos benefícios proporcionados por essas áreas às pessoas (Viezzer *et al.*, 2022).

Com base nos resultados obtidos, observa-se que o município apresenta uma problemática significativa na gestão do espaço verde urbano, contrariando tendências globais que têm buscado a expansão das cidades de forma mais humanizada e ambientalmente adequada. A integração de biodiversidade na infraestrutura, a criação de corredores ecológicos, tecnologias para gestão e manejo e a participação social são medidas que ajudam a incorporar a natureza no tecido urbano e, conseqüentemente, direcionam o planejamento para um “pensar nas cidades como sistemas socioecológicos”, onde a natureza representa também qualidade de vida e justiça socioambiental.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O município não possui áreas consideradas como verdes, conforme os critérios adaptados de Bargos (2010). Em relação à análise do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI, indicou uma diminuição expressiva de vegetação nos locais ao longo do tempo. Dessa forma, embora os resultados indiquem tendência de redução da cobertura vegetal urbana, parte da variação observada nos valores de NDVI também pode estar associada às diferenças sazonais e climáticas entre os períodos analisados.

A partir desses resultados, é urgente que a gestão municipal, universidades, setor privado, órgãos de fiscalização e controle e sociedade civil organizada inicie uma agenda de discussão, elaboração e implementação de políticas públicas para expansão e gestão de áreas verdes urbanas em Santa Maria do Pará, reforçando a necessidade de uma gestão integrada do território urbano.

Por fim, recomenda-se que estudos futuros considerem outros indicadores ambientais e análises espaciais complementares, a fim de aprofundar a compreensão sobre

a dinâmica da vegetação urbana, contribuindo para o desenvolvimento de ações mais eficazes na melhoria da qualidade ambiental e na promoção da equidade no acesso às áreas verdes no município, reconhecendo as áreas verdes como um benefício coletivo.

REFERÊNCIAS

ADDO-BANKAS, O; WEI, T.; ZHAO, Y.; BAI, X.; NÚÑEZ, A. E.; STEFANAKIS, A. Revisiting the concept, urban practices, current advances, and future prospects of green infrastructure. **Science of the Total Environment**, v. 954, p. 176473, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176473>

ALMEIDA, J. R. de. Gestão de áreas verdes e sustentabilidade: estudo de caso a partir dos indicadores de qualidade ambiental urbana. **Paisagem e Ambiente**, [S. l.], v. 32, n. 48, p. e183164, 2021. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2359-5361.paam.2021.183164>

AZAGOUN, V. V. A.; KOMI, K.; BADO, D. F.; VISSIN, E. W.; KLASSOU, K. S. Spatio-temporal dynamics of urban vegetation and climate impacts on market gardening systems: insights from NDVI and participatory data in Grand Nokoué, Benin. **Urban Science**, v. 10, n. 1, p. 31, 2026. DOI: <https://doi.org/10.3390/urbansci10010031>

BARGOS, D. C. **Mapeamento e análise das áreas verdes urbanas como indicador da qualidade ambiental urbana: estudo de caso de Paulínia – SP**. 2010. 139 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, São Paulo, 2010.

BARMAN, S; ROY, D.; SARKAR, B. C.; ALMOHAMAD, H. Assessment of urban growth in relation to urban sprawl using landscape metrics and Shannon's entropy model in Jalpaiguri urban agglomeration, West Bengal, India. **Geocarto International**, v. 39, n. 1, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1080/10106049.2024.2306258>

BILLE, R. A.; JENSEN, K. E.; BUITENWERF, R. Global patterns in urban green space are strongly linked to human development and population density. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 86, p. 127980, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127980>

BOORI, M. S.; CHOUDHARY, K.; PARINGER, R.; KUPRIYANOV, A. Eco-environmental quality assessment based on pressure-state-response framework by remote sensing and GIS. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 23, p. 100530, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100530>

BRASIL. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/santa-maria-do-para/panorama>. Acesso em: 24 de abr. 2023.

BRASIL. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico**. 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/santa-maria-do-para/panorama>. Acesso em: 24 de abr. 2023.

BUSH, J. The role of local government greening policies in the transition towards nature-based cities. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 35, p. 35–44, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eist.2020.01.015>

CHEN, J.; YU, Z.; LI, M.; HUANG, X. Assessing the spatiotemporal dynamics of vegetation coverage in urban built-up areas. **Land**, v. 12, n. 1, p. 235, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12010235>

CHENG, Z.; NESBITT, L.; GIRLING, C.; SHEPPARD, S.; KONIJNENDIJK, C.; NITOSLAWSKI, S. Urban density and the urban forest: How well are cities balancing them in the context of climate change? **Cities**, v. 149, p. 104962, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.104962>

DI CRISTOFARO, M.; MORESI, F. V.; MAESANO, M.; LASSERRE, B.; SCARASCIA-MUGNOZZA, G. Urban Greenprint: A Decision Support Tool for Optimizing Urban Forest Strategies in Sustainable Cities. **Urban Science**, v. 9, p. 216, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/urbansci9060216>

DIAS, G. L.; CARVALHO, V. S.; BARBOSA, I. M. B. R.; FERREIRA, A. A.; SALES, A. M.; GENUINO, L. P. Índice de área verde como indicador de qualidade ambiental urbana em bairros de Recife-PE. **Revista DCS**, [S. l.], v. 22, n. 83, p. e3392, 2025. DOI: <https://doi.org/10.54899/dcs.v22i83.3392>

HASSALL, C.; NISBET, M.; NORCLIFFE, E.; WANG, H. The potential health benefits of urban tree planting suggested through immersive environments. **Land**, v. 13, n. 3, p. 290, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/land13030290>

KHODADAD, M.; AGUILAR-BARAJAS, I.; KHAN, A. Z. Green infrastructure for urban flood resilience: a review of recent literature on bibliometrics, methodologies, and typologies. **Water**, v. 15, n. 3, p. 523, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15030523>

KLOMPMAKER, J. O.; HART, J. E.; BAILEY, C. R.; BROWNING, M. H. E. M. Racial, ethnic, and socioeconomic disparities in multiple measures of blue and green spaces in the United States. **Environmental Health Perspectives**, v. 131, n. 1, p. 017007, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1289/EHP11164>

LARBI, M. Y.; DERRIDJ, A.; ZANNDUCHE, O. Using a GIS for mapping land use, floral richness, and urbanization in the peri-urban forest of Harouza (Tizi Ouzou, Algeria). **Ekológia (Bratislava)**, v. 43, p. 214–218, 2024. DOI: <https://doi.org/10.2478/eko-2024-0022>

LEISENHEIMER, L.; WELLMANN, T.; JÄNICKE, C.; HAASE, D. Monitoring drought impacts on street trees using remote sensing - disentangling temporal and species-specific response patterns with Sentinel-2 imagery. **Ecological Informatics**, v. 82, p. 102659, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102659>

LI, Y.; SVENNING, J.-C.; ZHOU, W.; ZHU, K.; ABRAMS, J. F.; LENTON, T. M.; RIPPLE, W. J.; YU, Z.; TENG, S. N.; DUNN, R. R.; XU, C. Green spaces provide substantial but unequal urban cooling globally. **Nature Communications**, v. 15, p. 7108, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-51355-0>

MALLICK, S. K.; RUDRA, S.; MAITY, B. Unplanned urban built-up growth creates problem in human adaptability: Evidence from a growing up city in eastern Himalayan foothills. **Applied Geography**, v. 150, p. 102842, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102842>

MARTÍNEZ, A. de la. I.; LABIB, S. M. Demystifying normalized difference vegetation index (NDVI) for greenness exposure assessments and policy interventions in urban greening. **Environmental Research**, v. 220, p. 115155, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.115155>

MEHMOOD, K; ANEES, S. A.; MUHAMMAD, S.; HUSSAIN, K. Analyzing vegetation health dynamics across seasons and regions through NDVI and climatic variables. **Scientific Reports**, v. 14, p. 11775, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-62464-7>

MIROSHNYK, N. V; LIKHANOV, A.; GRABOVSKA, T.; TESLENKO, I. Green infrastructure and relationship with urbanization: importance and necessity of integrated governance. **Land Use Policy**, v. 114, p. 105941, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105941>

MORENO, R; OJEDA, N.; AZOCAR, J.; VENEGAS, C. Application of NDVI for identify potentiality of the urban forest for the design of a green corridors system in intermediary cities of Latin America: Case study, Temuco, Chile. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 55, p. 126821, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126821>

NASIRI, V; DELJOUEI, A.; MORADI, F.; SADEGHI, S. M. M.; BORZ, S. A. Land use and land cover mapping using Sentinel-2, Landsat-8 satellite images, and Google Earth Engine: a comparison of two composition methods. **Remote Sensing**, v. 14, p. 1977, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14091977>

O'BRIEN, L. E.; URBANEK, R. E.; GREGORY, J. D. Ecological functions and human benefits of urban forests. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 75, p. 127707, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127707>

PAES, B. R. S.; GARCIA, R. A. Dinâmica temporal da vegetação urbana com aplicação de NDVI no município de Belo Horizonte - Minas Gerais. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 20, n. 3, p. 387–409, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5016/estgeo.v20i3.16922>

RAHAMAN, Z. A; AL KAFY, A.; SAHA, M.; ABDUL RAHIM, A. Assessing the impacts of vegetation cover loss on surface temperature, urban heat island and carbon emission in Penang city, Malaysia. **Building and Environment**, v. 222, p. 109335, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109335>

RIBEIRO, N. G. R.; PINHEIRO, R. T. Análise multitemporal da cobertura vegetal no plano diretor urbano de Palmas, Tocantins. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 32, n. 2, p. 1024–1046, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509843524>

ŠAMANOVIĆ, S.; ORŠULIĆ, O. B.; KRAJINA, T.; MARKOVINOVIĆ, D. Tracking urban heat island dynamics using open source tools and free data. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. XLVIII-4/W13-2025, p. 217–224, 2025. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W13-2025-217-2025>

SILVA, H. C. M.; FERREIRA, F. P.; MENDES, L. O.; IARED, V. G. Percepção e valoração ambiental em áreas verdes no município de Palotina, Estado do Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 7, n. 16, p. 771–788, 2020. DOI: [https://doi.org/10.21438/rbgas\(2020\)071622](https://doi.org/10.21438/rbgas(2020)071622)

SILVA, L. C. **O mapeamento das áreas verdes urbanas de Uberlândia (MG): análise da concentração de investimentos públicos**. 2018. 124 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Regional Catalão, 2018.

SILVEIRA, D. T.; CÓRDOVA, T. E. A pesquisa científica. In: GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. (org.). **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. p. 31–42.

SOUZA, J. C. de. LOPES, E. R. do N.; SOUSA, J. A. P. de.; PADOVANNI, N. G.; LOURENÇO, R. W. Dinâmica espacial e sazonal da temperatura, umidade e estresse hídrico em diferentes tipos de cobertura vegetal. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 37, 2019. DOI: <https://doi.org/10.11606/rdg.v37i0.144716>

VIEZZER, J.; BIONDI, D.; MARTINI, A.; SCARANO, F. R. Área verde é tudo igual? A importância de se considerar tipologias de áreas verdes urbanas para avaliar seus benefícios em Curitiba. **Paisagem e Ambiente**, v. 33, n. 49, p. e192983, 2022. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2359-5361.paam.2022.192983>

ZHANG, H.; LI, J.; LIU, Q.; DONG, Y.; LI, S.; ZHANG, Z.; ZHU, X.; LIU, L.; ZHAO, J. Estimating leaf area index with dynamic leaf optical properties. **Remote Sensing**, v. 13, p. 4898, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13234898>

Capítulo 08

ANÁLISE DA VEGETAÇÃO URBANA DE PARAGOMINAS-PA

Gabriel Sousa Cabral, Lucas Gabriel Gomes Menezes, Natalia do Nascimento Matos, Madson Alan Rocha de Sousa, Raphael Lobato Prado Neves

Resumo: O objetivo deste estudo foi avaliar a distribuição de áreas verdes urbanas no município de Paragominas-PA, considerando sua quantidade, acessibilidade e desigualdade espacial. A metodologia constitui-se em analisar as áreas verdes urbanas com base em geoprocessamento, permitindo identificar, classificar e quantificar essas áreas nos bairros, considerando sua disponibilidade e proporção na cidade. Por diante, buscou-se identificar desigualdades na cobertura vegetal e áreas com potencial para ampliação das áreas verdes urbanas. Os resultados revelaram um total de 59 áreas verdes urbanas, com a predominância de vegetação escassa, totalizando 266.449,76 m²; o Índice de Áreas Verdes (IAV) resultou em 2,77 m²/hab. Há distribuição desigual das AVUs e baixa cobertura vegetal na cidade de Paragominas-PA, porém, com possibilidade de aumento para 3,9 m²/hab, caso sejam aproveitadas as áreas potenciais.

Palavras-chave: Floresta Urbana. Infraestrutura Verde. Planejamento Urbano.

G. S. Cabral  Universidade do Estado do Pará, PA, Brasil. e-mail: gabrielsousagsc18@gmail.com. ORCID: 0009-0002-2376-2174.

L. G. G. M.  Universidade do Estado do Pará, PA, Brasil. e-mail: lucas.g.g.menezes@aluno.uepa.br ORCID 0009-0002-3740-3009.

N. N. Matos   Universidade do Estado do Pará, PA, Brasil. e-mail: natalia.matos055@gmail.com. ORCID: 0009-0006-4406-3742.

M. A. R. Sousa  Universidade do Estado do Pará, PA, Brasil. e-mail: madsonalan@uepa.br. ORCID: 0000-0002-7560-3274.

R. L. P. Neves  Universidade do Estado do Pará, PA, Brasil. e-mail: prado.neves@uepa.br. ORCID: 0000-0002-0997-4851.

© Este trabalho integra a obra: “Avanços e Desafios nas Ciências Ambientais (vol. 02)”, publicado pela Reconnecta Soluções em 2026, disponível para acesso gratuito em: www.reconnectasolucoes.com.br/editora

INTRODUÇÃO

A intensificação das mudanças climáticas relacionadas a eventos extremos como por exemplo as ilhas de calor urbano, tornou-se mais frequente, afetando a resiliência urbana e a qualidade de vida de seus habitantes (Shen *et al.*, 2025). Com o crescimento da urbanização tornam-se mais intensos os efeitos das mudanças climáticas na Amazônia Oriental, sendo ampliados pelo uso do solo, o que pode ocasionar o aumento da temperatura da superfície em até 1,5°C (Souza *et al.*, 2025).

A presença de áreas arborizadas é uma estratégia de mitigação desses efeitos, além de favorecer a biodiversidade de fauna e flora, melhora o microclima e o conforto térmico das cidades. Ademais, contribui para a valorização estética, criando ambientes urbanos mais verdes (Jeong; Park, 2024). Manter essa presença dentro de um planejamento potencializa os benefícios ambientais promovido pelas árvores, fomentando a saúde dos ecossistemas urbanos (Safo *et al.*, 2024).

As áreas verdes urbanas (AVUs) desempenham um papel importante em fornecer serviços ecossistêmicos fundamentais à sociedade, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida da população por meio de lazer e da saúde humana (Campos, 2025; Martínez-Rodríguez; Cervantes-Nájera, 2023). A quantificação e distribuição dessas áreas podem ser avaliadas por meio do Índice de Áreas Verdes (IAV), que permite medir a disponibilidade e equidade do acesso a espaços verdes urbanos (Dias *et al.*, 2025; Viezzer *et al.*, 2022).

As geotecnologias são amplamente utilizadas em análises de vegetação nas áreas urbanas, permitindo a qualificação, quantificação e à espacialização da cobertura vegetal. Dentre essas ferramentas destaca-se a o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), que é usado para identificação e classificação de diferentes índices de vegetação a partir das imagens de satélite (Cardoso *et al.*, 2025; Moro, Brinco, 2025). Nesse contexto, a aplicação dessas ferramentas torna-se especialmente relevante em cidades que apresentam rápidas transformações no uso e ocupação do solo, como Paragominas-PA.

O crescimento socioeconômico do município de Paragominas nas três últimas décadas resultou em modificações no uso da terra, impulsionadas por meio da agropecuária, impactando diretamente em áreas que deveriam ter a presença da cobertura vegetal (Cruz *et al.*, 2022). Nesse cenário, observa-se a necessidade em compreender a dinâmica da vegetação urbana no município, considerando seu arranjo como fundamental para o planejamento ambiental. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a distribuição e a disponibilidade de áreas verdes urbanas em Paragominas-PA

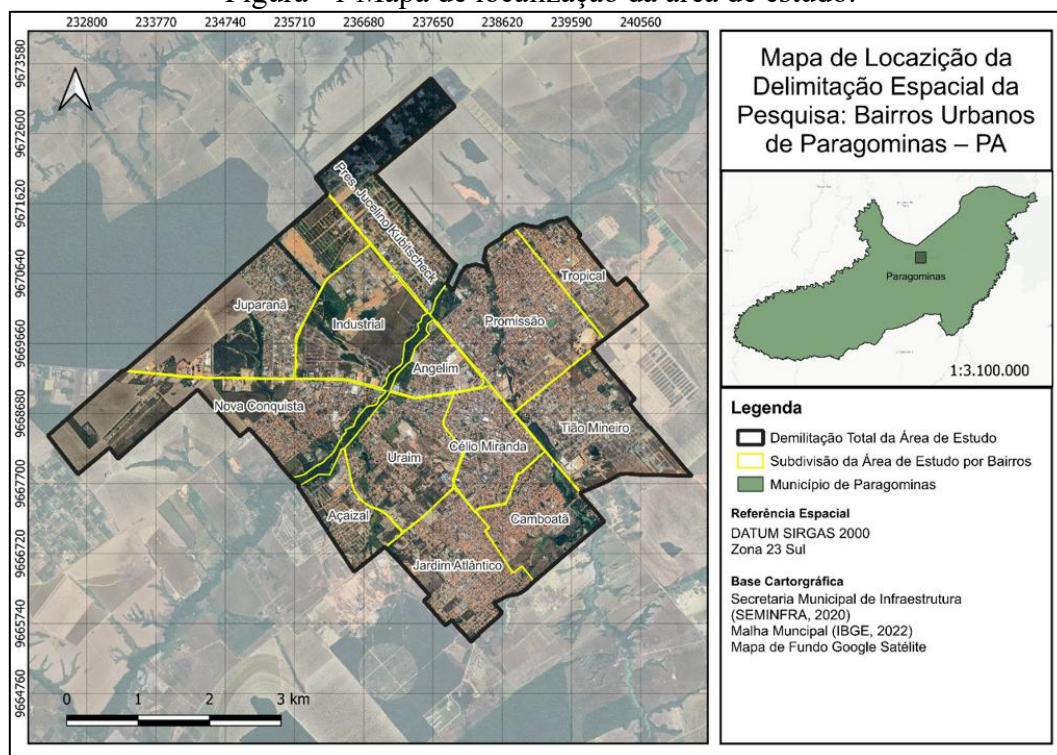
METODOLOGIA

Área de estudo

A área de estudo está localizada na zona urbana de Paragominas-PA, com extensão total de 2.869,39 hectares (ha), abrangendo os bairros: Célio Miranda (147,09 ha), Promissão (324,72 ha), Uraim (215,49 ha), Jardim Atlântico (212,03 ha), Angelim (74,59 ha), Nova Conquista (358,56 ha), Camboatã (165,44 ha), Presidente Juscelino Kubitschek (238,64 ha), Tião Mineiro (242,85 ha), Tropical (121,35 ha), Açaizal (102,18 ha), Juparanã (365,84 ha) e industrial (231,98 ha).

Ao subdividir a área urbana por bairros, a soma total de 2.800,76 hectares apresenta uma diferença em relação à área urbana completa. Essa divergência ocorre porque elementos como áreas de preservação permanente de corpos hídricos e avenidas, embora estejam no perímetro urbano, não foram incluídos nas delimitações específicas de nenhum bairro (FIGURA 1).

Figura –1 Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Autores (2026).

Processamento das informações da vegetação urbana de Paragominas-PA

Os dados da pesquisa foram derivados por meio do NDVI, da classificação das áreas verdes urbanas (AVUs), do Índice de Áreas Verdes por Habitante (IAV) e de sua distribuição proporcional entre os bairros. As informações da vegetação urbana de Paragominas procederam através de imagens de satélite *Landsat 8*, datadas em 20 de setembro de 2024 com resolução de 30m, da plataforma de *LandViewer* (EOS Data Analytics, 2024), as classificações de AVU por bairros e IAV por meio da plataforma *planet* e *Google Earth* com a sobreposição de camadas de arquivos *shapefiles* (SHP) e *Keyhole Markup Language* (KML). O software QGIS v. 3.34.8 foi utilizado para os tratamentos de dados do objeto de estudo.

Análise de dados da vegetação urbana

Foram obtidos os índices do NDVI, que varia de -1 a 1 , com caracterização de: Sem vegetação (-1 a $0,1$); solo aberto ($0,1$ a $0,2$); vegetação escassa ($0,2$ a $0,4$); vegetação moderada ($0,4$ a $0,6$); vegetação densa ($0,6$ a 1). A classificação AVUs definiu-se por estar localizada em zona urbana e ter acesso livre ao público. Além da localização, são consideradas AVU aquelas áreas livres de edificações, com predominância de vegetação arbórea e, no mínimo, 70% de sua superfície desprovida de pavimentação. Para tanto, essas áreas devem desempenhar funções sociais, ecológicas, estéticas e/ou de lazer (Bargos; Matias, 2012).

Observou-se perímetros que estavam em divisas ou fora dos limites oficiais dos bairros, como rotatórias e canteiros; nesses casos, foram classificados conforme as avenidas às quais estavam associados. Ademais, quando os dados incluíam apenas os perímetros dos lagos, foi necessário gerar novos *shapefiles* (SHP) e *Keyhole Markup Language* (KML) para incluir apenas suas margens que são áreas verdes com base na análise visual. A utilização do sensoriamento remoto permitiu identificar quais áreas se

enquadravam como AVU, quais não atendiam aos critérios do estudo e quais apresentavam potencial para serem consideradas como tal.

O cálculo do IAV realizou-se através de informações dos SHP bairros disponibilizados pela Secretaria Municipal de Infraestrutura, das áreas verdes urbanas, obtidas junto à Prefeitura Municipal e à Secretaria Municipal de Urbanismo (SEMUR). Essas informações foram disponibilizadas em planilhas eletrônicas e arquivos KML, classificando-se como: áreas verdes plantadas, bosques, triângulos, rotatórias, parques, praças, lagos e canteiros (Paragominas, 2020). O município de Paragominas-PA possui um total de 96.150 pessoas em áreas urbanas (IBGE, 2022). Por diante, procedeu-se ao IAV (EQUAÇÃO 1).

Equação 1: IAV é o índice de área verde urbana (m²/hab); IAV corresponde à área total de áreas verdes urbanas (m²); Hab representa o número de habitantes do município de Paragominas, Pará.

$$IAV = \frac{AVU (m^2)}{Hab.}$$

A avaliação da proporção das AVUs e das áreas com potenciais foi realizada por meio da análise proporcional por bairro. A identificação ocorreu através de quais unidades territoriais apresentavam maior ou menor cobertura verde em relação à sua área total. As “Avenidas” foram analisadas, mas não foram incluídas na representação gráfica por não estarem vinculadas a um bairro delimitado. O cálculo da proporção foi realizado separadamente para as AVUs e para as áreas potenciais (EQUAÇÃO 2).

Equação 2: P representa a proporção da área (%); AV ou AP corresponde à área de vegetação de áreas verdes urbanas ou áreas potenciais (m²); e AT representa a área total do bairro, também em metros quadrados (m²).

$$P = \left(\frac{AV \text{ ou } AP}{AT} \right) \times 100$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

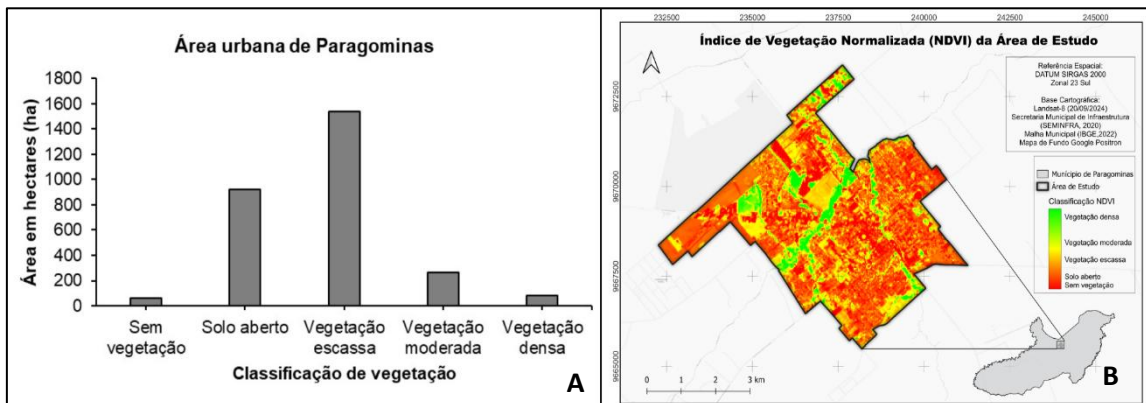
Análises da vegetação urbana de Paragominas

O centro urbano de Paragominas apresentou a predominância de vegetação escassa, totalizando uma extensão de 1.540,23 ha. Em contrapartida, a vegetação densa apresentou ser inferior com apenas 84,90 ha, o que representa 3,03% da área total (FIGURA 2). A vegetação densa está proporcionalmente 94,49% menor que a vegetação escassa.

Essa heterogeneidade evidencia a baixa cobertura vegetal no ambiente urbano, o que mostra a possível associação ao processo de expansão urbana, que limita a presença de vegetação, concentrando os remanescentes mais densos principalmente no entorno dos cursos d'água que atravessam a cidade. À medida que a urbanização avança, observa-se a tendência de redução contínua da vegetação. Esse processo influencia diretamente o microclima local e compromete o equilíbrio ambiental das áreas urbanas (Zhang *et al.*, 2025).

A distribuição espacial da vegetação entre os bairros evidencia forte variação na cobertura vegetal. Analisando a cidade entre bairros, nota-se que o bairro Promissão tem a maior área de vegetação escassa (179,61 ha), enquanto a menor extensão é apresentada pelo bairro Angelim (32,31 ha).

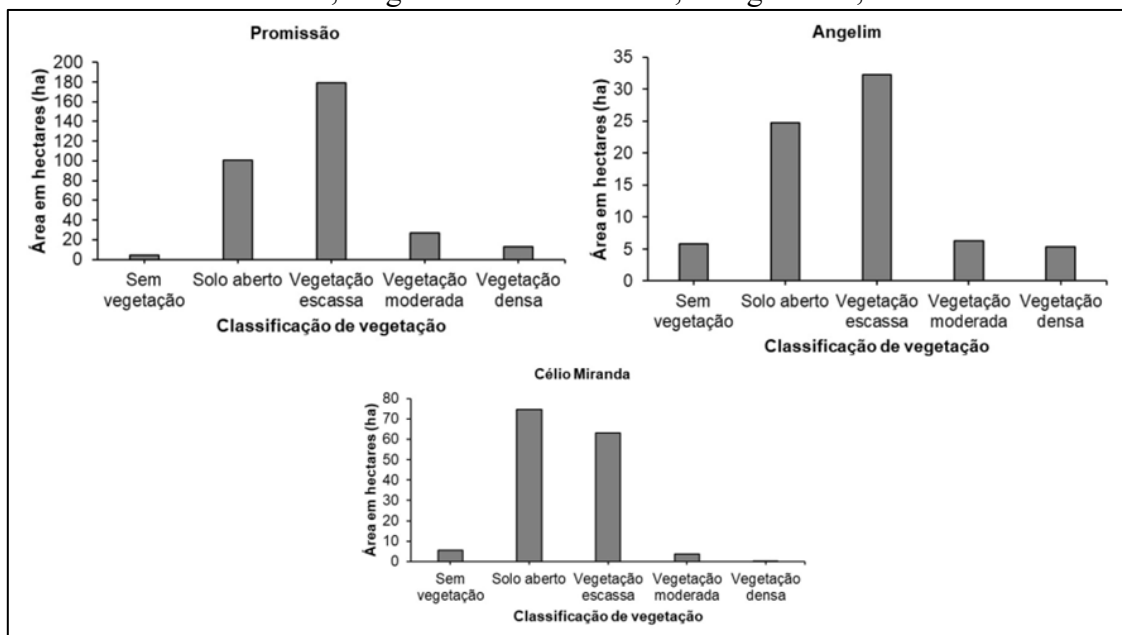
Figura - 2 Representação gráfica e espacial da tipologia de vegetação no perímetro urbano de Paragominas, Pará. A - Tipologia de vegetação urbana; B - Mapa de índice de vegetação normalizado.



Fonte: Autores (2026).

Em relação à vegetação densa, o maior valor foi observado no bairro Presidente Juscelino Kubitschek (13,72 ha), contrastando com Célio Miranda, que apresenta apenas 0,25 ha (Figura 3).

Figura 3 - Padrão de distribuição das classes de cobertura vegetal nos bairros Promissão, Angelim e Célio Miranda, Paragominas, Pará.



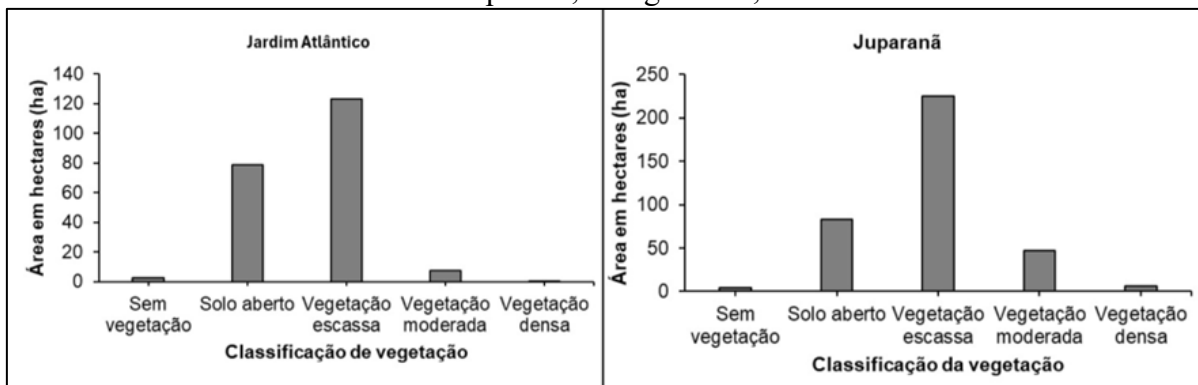
Fonte: Autores (2026).

Esse padrão realça a desigualdade da vegetação urbana no município, indicando que a cobertura vegetal mais estruturada se encontra concentrada em áreas específicas do município. Essa convergência pode estar associado com as diferentes formas do uso e ocupação do solo junto com a presença de superfícies impermeáveis, como é o caso do bairro Célio Miranda por exemplo, que tende apresentar menor cobertura vegetal por ser uma área de grande fluxo comercial, marcada por diversas estruturas urbanas (Tang *et al.*, 2024).

O bairro Jardim Atlântico apresenta baixa presença de vegetação densa (0,42 ha), enquanto bairro Juparanã apresenta a maior cobertura de vegetação densa,

aproximadamente 15 vezes superior (6,13 ha). Esse padrão sugere influência do estágio de ocupação urbana, com bairros mais recentes apresentando menor grau de impermeabilização e maior manutenção da cobertura vegetal (FIGURA 4).

Figura 4 – Distribuição das classes de cobertura vegetal em área (ha) nos bairros Jardim Atlântico e Juparanã, Paragominas, Pará.



Fonte: Autores (2026).

Os ambientes urbanos desempenham um papel central nas transformações ambientais, especialmente nas áreas afetadas pela intensificação da urbanização, onde a formação das ilhas de calor urbanas (ICU) é exacerbada pela expansão de pavimentos e construções (Zhang *et al.*, 2022). A migração populacional para os centros urbanos tem impulsionado o crescimento acelerado e desordenado das cidades, o que resulta na perda da vegetação nesses ambientes (Kafy *et al.*, 2022). A vegetação urbana, por sua vez, reage a essas alterações, refletindo como o crescimento vegetal é influenciado por mudanças nas condições do ambiente ao longo do espaço-tempo. Em Paragominas, isso se reflete na maior proporção de áreas densas em bairros mais planejados, a exemplo do Juparanã, que já cumpre legislações mais atuais, as quais preveem a incorporação de áreas verdes na organização do espaço urbano (Paragominas, 2023).

Políticas de planejamento urbano também influenciam a distribuição espacial da vegetação, podendo intensificar os impactos ambientais quando não são adequadamente gerenciados. Essas variáveis, por sua vez interferem nas mudanças climáticas locais, evidenciando a complexa interação entre o uso do solo e a dinâmica da vegetação (Talukdar *et al.*, 2024). Esse conjunto de fatores ajuda a explicar a distribuição heterogênea da cobertura vegetal observada em Paragominas.

Classificação das Categorias de Áreas Verdes Urbanas

Foram identificadas 59 áreas verdes urbanas consolidadas, totalizando 266.449,76 m² na área de estudo. Observou-se a maior frequência de AVUs nas categorias de canteiros e bosques, enquanto parques e lagos ocupam maiores extensões em m² de AVUs (TABELA 1). Esse padrão indica que, embora sejam mais numerosas, as áreas verdes de bosques e canteiros estão majoritariamente distribuídas em unidades de pequena dimensão, com menor contribuição individual em termos de área.

Tabela – 1 Quantidades de áreas verdes urbanas identificadas por sensoriamento remoto na área de estudo e classificadas por tipologia.

Áreas Vedes Urbanas	Quantidade de Áreas Verdes Urbanas	Área (m ²)
Canteiros	17	4.400,88
Bosques	13	19.060,10
Praças	11	12.777,32
Lagos	7	50.022,18
Áreas Verdes Plantadas	5	63.849,94
Triângulos	5	2.188,22
Parques	1	114.151,14
Rotatórias	0	0
Total	59	266.449,76

Fonte: Elaborada pelos autores.

Para a categoria de áreas verdes urbanas potenciais, identificou-se um total de 128 AVUs potenciais (108.989,34 m²), sendo que, destas, canteiros e praças apresentaram maior quantidade (TABELA 2). É evidente, da forma que há diversas oportunidades em transformar essas áreas em AVUs, que é necessário priorizar aqueles que tem maior quantidade como os canteiros e praças, ambos podem causar um impacto positivo na cidade. Quanto maior a quantidade de AVUs, maior é sua contribuição para a mitigação dos impactos decorrentes da escassez de espaços vegetados, ressaltando a relevância da incorporação de áreas subutilizadas, como lotes baldios e espaços abandonados, ao planejamento urbano sustentável (Wang; Guan, 2025).

Tabela – 2 Identificação e quantificação das áreas verdes urbanas potenciais por sensoriamento remoto na área de estudo.

Áreas Vedes Urbanas Potenciais	Quantidade de Áreas Verdes Urbanas Potenciais	Área (m ²)
Canteiros	74	32.081,73
Praças	24	46.207,69
Rotatórias	17	6.407,87
Áreas Verdes Plantadas	7	18.805,27
Triângulos	6	5.486,78
Bosques	0	0
Lagos	0	0
Parques	0	0
Total	128	108.989,34

Fonte: Elaborada pelos autores.

Por outro lado, não se encontrou AVUs potenciais nos polígonos de lagos, parques e bosques. À medida que a urbanização se intensifica, torna-se imprescindível a implementação e a integração de novas áreas verdes urbanas, uma vez que esse processo tende a comprometer a conservação das áreas já consolidadas e a possibilidade de sua ampliação, reduzindo então a eficácia socioambiental desses espaços (Derdouri *et al.*, 2025).

Índice de Áreas Verdes

O Índice de Áreas Verdes (IAV) de Paragominas é de 2,77 m²/hab, valor consideravelmente inferior à recomendação mínima de 15 m²/habitante proposta pela

Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (SBAU, 1996). Apesar da baixa cobertura, o município possui um IAV potencial de 1,13 m²/hab, correspondente a 40,79% do valor consolidado, indicando expressiva oportunidade de expansão. A inclusão dessas áreas potenciais elevaria o IAV total para 3,9 m²/hab, embora este valor ainda permaneça abaixo do ideal, representa um passo importante na melhoria da gestão ambiental do território urbano.

Ao transformar as áreas potenciais em AVUs consolidadas, a arborização urbana atua como uma ferramenta para a mitigação das injustiças ambientais e promove o bem-estar da população (Bressane; Pinto; Medeiros, 2024). A criação e a adequação desses espaços também são fundamentais para o desenvolvimento urbano sustentável e a adaptação a cenários de urbanização acelerada (Cordeiro; Magalhães; Sabbi, 2024).

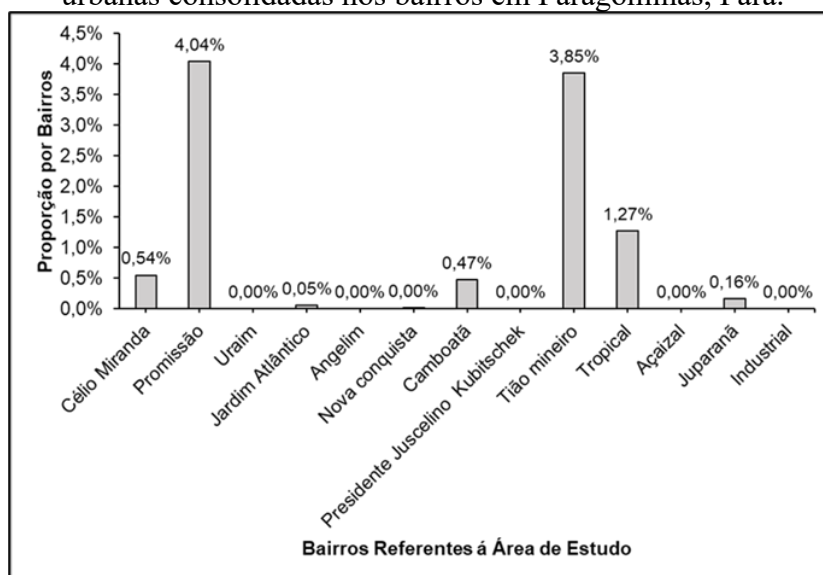
Para tanto, a implementação de políticas públicas e leis municipais é crucial na proteção e no planejamento dessas áreas (Nascimento; Brito; Chaves, 2021; Souza *et al.*, 2021; Trindade *et al.*, 2021), incentivando ainda a permeabilidade do solo e a integração de infraestruturas verdes, como corredores ecológicos (Zhang; Zeng, 2024). Promovendo, assim, medidas de adaptação com meio ambiente e favorecendo grupos socialmente vulneráveis (Kato-Huerta; Geneletti, 2023).

Paragominas ainda é carente de instrumentos normativos que direcionem e regulem de forma mais adequada a gestão das áreas verdes urbanas municipais. É importante que a proposição de novas políticas públicas considere a multifuncionalidade das áreas verdes, para que a natureza seja integrada ao tecido urbano de forma estratégica frente aos desafios contemporâneos de mudança climática e justiça socioambiental.

Distribuição de Áreas Verdes Urbanas por Bairros

A análise da distribuição espacial das AVUs consolidadas revelou uma notável desigualdade entre os bairros, com a maior proporção de cobertura vegetal no bairro Promissão (4,04%; 131.259,53 m²), seguido por Tião Mineiro (3,85%; 93.470,60 m²) (FIGURA 7). Em contraste, os bairros Industrial, Açaizal, Presidente Juscelino Kubitschek, Angelim e Uraim não apresentaram nenhuma ocorrência de AVUs (FIGURA 5).

Figura 5 – Gráfico para a representativo para a proporção e distribuição das áreas verdes urbanas consolidadas nos bairros em Paragominas, Pará.

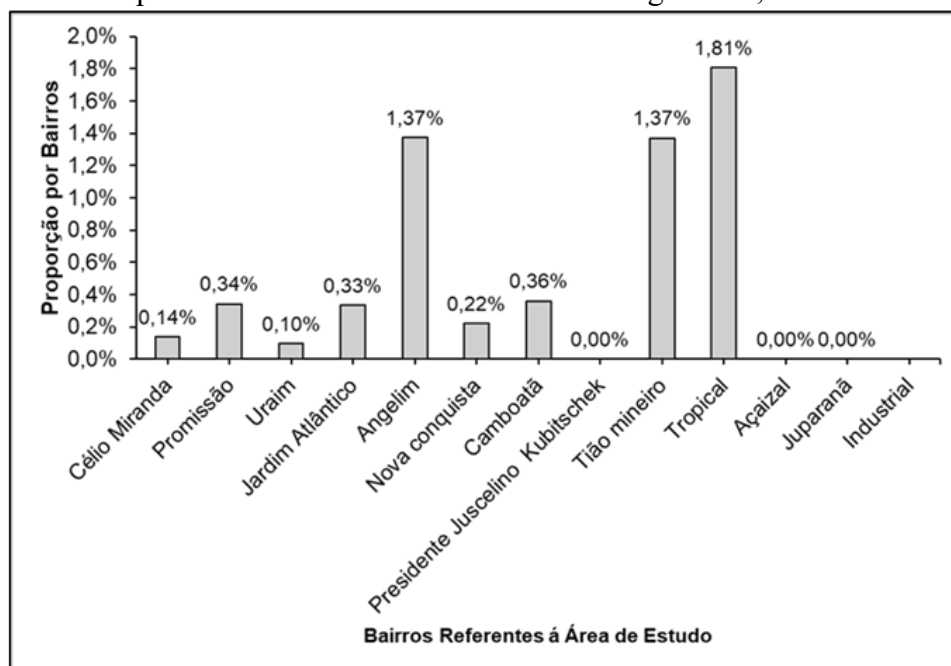


Fonte: Autores (2026).

Ressalta-se que a metodologia proposta por Bargas e Matias (2012) pode apresentar limitações ao ser aplicada em cidades de médio e pequeno porte. Nesses contextos, áreas que não atingem o índice de 70% de permeabilidade ainda assim desempenham papéis cruciais na acessibilidade social e no equilíbrio ecológico local, não devendo ser desconsideradas. Como é o caso de praças com presença de árvores e gramíneas nos bairros Angelim, Uraim e Juscelino Kubitschek em Paragominas. O uso da classificação de áreas verdes urbanas recomendado pode subjugar a importância social e ecológica de territórios urbanos que, embora em menores magnitudes, também ofertam benesses para a sociedade.

Para as áreas verdes potenciais, o bairro Tropical se destaca com a maior representatividade (1,81%), seguido por Angelim e Presidente Juscelino Kubitschek, ambos com 1,37%. Por outro lado, os bairros Industrial, Juparanã e Açaizal apresentaram valores nulos de áreas potenciais (FIGURA 6). A maior proporção de áreas potenciais não se concentra nos bairros, mas sim nas avenidas, que representam 30,43% do total identificado. Apesar de Paragominas não atingir a o IAV ideal, esses três bairros têm potenciais em contribuir para o crescimento de AVUs na cidade.

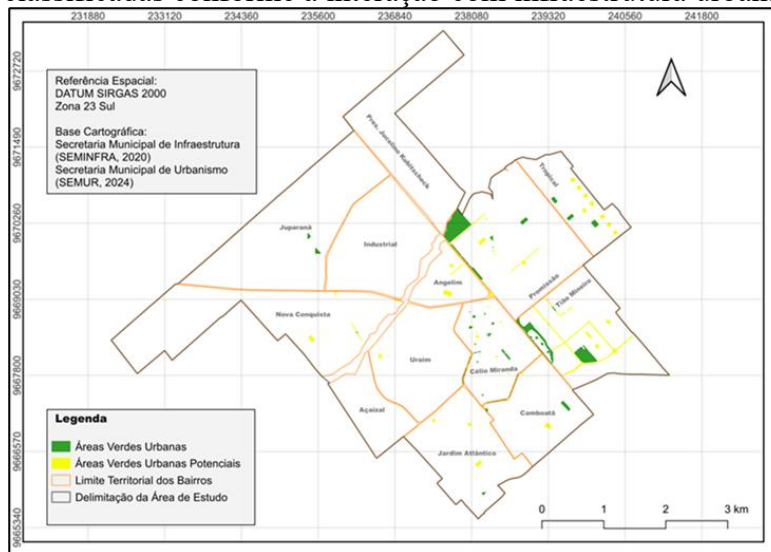
Figura - 6 Gráfico representativo da proporção e distribuição áreas verdes urbanas potenciais nos bairros da cidade de Paragominas, Pará.



Fonte: Autores (2026).

Em termos de área, os bairros Tião Mineiro (93.470,60 m²) e Promissão (43.279,16 m²) lideram em AVUs consolidadas, enquanto a ausência de cobertura é notável em Nova Conquista (104,22 m²), Açaizal e Industrial (FIGURA 7). No entanto, o potencial para novas áreas é expressivo em Nova Conquista (32.732,59 m²) e Industrial (26.557,84 m²), seguidos por Angelim (12.712,16 m²) e Jardim Atlântico (10.451,26 m²). A ausência de AVUs nos bairros Açaizal e Industrial reforça a desigualdade na distribuição de infraestrutura verde, visto que são bairros mais periféricos no espaço urbano. Essa carência acentua as vulnerabilidades sociais e ambientais, impactando diretamente o bem-estar e a saúde dos moradores (Facundes; Chuma; Mustin, 2024).

Figura 7 – Distribuição espacial das AVUs e das áreas potenciais, divididas e classificadas conforme a interação com infraestrutura urbana.



Fonte: Autores (2026).

A consolidação das áreas potenciais, que representam 29,03% dos espaços livres, oferece uma oportunidade estratégica para fortalecer a infraestrutura verde urbana, especialmente ao priorizar a implementação de vegetação em bairros mais carentes. Desse modo, ao incorporar áreas verdes em espaços potenciais pode gerar benefícios ambientais e de saúde da sociedade (Martins *et al.*, 2024), além de desempenhar um papel relevante no sequestro e armazenamento de carbono (Viana *et al.*, 2023) e ampliar a conectividade social (Clarke *et al.*, 2023). Portanto, a promoção de um ambiente urbano mais equilibrado, com foco na conscientização e no planejamento adequado da infraestrutura verde é fundamental para garantir a regulação ecológica e a qualidade de vida da população em Paragominas (Zhang; Qian, 2024).

CONSIDERAÇÕES FINAIS.

O estudo revelou que o IAV está abaixo do recomendado pela SBAU e a distribuição das AVUs consolidadas é desigual, com uma concentração nos bairros mais centrais (Promissão e Tião Mineiro). Embora haja uma acentuada desigualdade na distribuição de AVUs consolidadas, este estudo identificou um potencial para a sua expansão. O bairro Tropical, por exemplo, destaca-se com a maior proporção de áreas para futura conversão. A inclusão desses espaços potenciais é crucial para a recuperação de áreas degradadas e para promover um ambiente urbano mais equitativo. A arborização urbana de Paragominas requer intervenções estratégicas e urgentes para superar os desafios de escassez e má distribuição. A implementação de políticas públicas e instrumentos normativos municipais é fundamental para viabilizar o planejamento e o monitoramento contínuo da infraestrutura verde.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade do Estado do Pará (UEPA) pelo apoio institucional e operacional, bem como à Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA) pela concessão de duas bolsas vinculadas ao Edital 059/2024 PIBIC/PIBIT, suportes essenciais que viabilizaram a execução desta pesquisa.

Agradecemos também aos estudantes envolvidos no desenvolvimento do trabalho e à Prefeitura de Paragominas-PA, por meio da Secretaria Municipal do Verde e Meio Ambiente (SEMMA), da Secretaria Municipal de Urbanismo (SEMUR) e da Secretaria Municipal de Infraestrutura (SEMINFRA), pela disponibilização de dados e informações para a elaboração do estudo e pela parceria nas melhorias propostas.

REFERÊNCIAS

BARGOS, D. C.; MATIAS, L. F. Mapeamento e análise de áreas verdes urbanas em Paulínia (SP): estudo com a aplicação de geotecnologias. **Sociedade & Natureza**, v. 24, p. 143-156, 2012.

BRESSANE, A.; PINTO, J. P. D. C.; MEDEIROS, L. C. D. C. Urban green space disparities: Implications of environmental injustice for public health. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 99, p. 128441, 2024.

CARDOSO, M. C. *et al.* Uso de Geotecnologias na Análise Quantitativa da Arborização Urbana em Princesa Isabel–PB. **AGROPECUÁRIA CIENTÍFICA NO SEMIÁRIDO**, v. 21, n. 1, p. 36-40, 2025.

CAMPOS, R. J. A IMPORTÂNCIA DAS ÁREAS VERDES NO ESPAÇO URBANO CONTEMPORÂNEO. **Revista Thêma et Scientia**, v. 15, n. 1E, p. 101-117, 2025.

CRUZ, D. C. *et al.* Priority areas for restoration in permanent preservation areas of rural properties in the Brazilian Amazon. **Land Use Policy**, v. 115, p. 106030, 2022.

CLARKE, M. *et al.* Factors that enhance or hinder social cohesion in urban greenspaces: a literature review. **Urban forestry & urban greening**, V. 84, P. 127936, 2023.

CORDEIRO, D.; MAGALHÃES, V. L.; SABBI, L. B. C. Geoprocessamento aplicado na avaliação das áreas verdes urbanas de Medianeira–PR. **Tempo da Ciência**, v. 31, n. 61, p. 26-26, 2024.

DERDOURI, A. *et al.* Urban green space in transition: A cross-continental perspective from eight Global North and South cities. **Landscape and Urban Planning**, v. 253, p. 105220, 2025.

DIAS, G. L. *et al.* ÍNDICE DE ÁREA VERDE COMO INDICADOR DE QUALIDADE AMBIENTAL URBANA EM BAIRROS DE RECIFE-PE. **Revista DCS**, v. 22, n. 83, p. e3392-e3392, 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. Tabela 52: dados conforme acervo nível 6, unidade territorial 1505502. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/9923#resultado>. Acesso em: 10 jul. 2025.

EOS, Earth Observing System. Landviewer. 2024. Disponível em: <https://eos.com/landviewer/>. Acesso em: 18/03/2025.

FACUNDES, A. S.; CHUMA, V. J. U. R.; MUSTIN, K. Urban green space exposure is low and unequally distributed in an Amazonian metropolis. **Environmental Conservation**, v. 51, n. 3, p. 168-178, 2024.

JEONG, J.; PARK, C.-R. Urban Forest indicator assessment for nature-based solutions to connect biodiversity and people. **Ecological Indicators**, v. 169, p. 112843, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112843>

KAFY, A.-A. *et al.* Impact of vegetation cover loss on surface temperature and carbon emission in a fastest-growing city, Cumilla, Bangladesh. **Building and Environment**, v. 208, p. 108573, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108573>

KATO-HUERTA, J.; GENELETTI, D. A distributive environmental justice index to support green space planning in cities. **Landscape and Urban Planning**, v. 229, p. 104592, 2023.

MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, M. C.; CERVANTES-NÁJERA, A. L. La conexión de las personas con las áreas verdes urbanas. Una revisión de la literatura. **Revista Investigium IRE Ciencias Sociales y Humanas**, v. 14, n. 1, p. 52-62, 2023.

MARTINS, L. F. V. *et al.* Urban parks: protection and recovery of fragile areas in the landscape-case study in the city of são paulo, brazil. **Revista Políticas Públicas & Cidades**, v. 13, n. 1, p. e743-e743, 2024.

MORO, C.; SILVA BRINCO, L. A. Relação entre Temperatura de Superfície Terrestre (TST) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em dois bairros de Santa Maria, RS. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 23, n. 1, p. 144-166, 2025.

NASCIMENTO, M. C. D.; BRITO, J. S.; CHAVES, S.V. V. Índice de área verde em parques ambientais da zona centro/norte de Teresina, Piauí. **Revista da Academia de Ciências do Piauí**, v. 2, n. 2, 2021.

PARAGOMINAS. **Secretaria Municipal de Infraestrutura. Mapa dos bairros de Paragominas**. Paragominas: Secretaria Municipal de Infraestrutura, 2020.

PARAGOMINAS. **LEI Nº.123/2023, de 25 de julho de 2023**. Institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Municipal de Paragominas - PDDMP, para o período de 2023-2033 e dá outras providências. Paragominas: Prefeitura Municipal de Paragominas, 2023. Disponível em: <https://paragominas.pa.gov.br/plano-diretor-municipal/>

SAFO, Lukman Kura Abraham *et al.* Green spaces in Ghana's built environment: Analyzing perceptions and urban planning perspectives through the lens of the New Environmental Paradigm. **City and Environment Interactions**, v. 24, p. 100168, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2024.100168>

SBAU—SOCIEDADE BRASILEIRA DE ARBORIZAÇÃO URBANA. Carta a Londrina e Ibiporã. **Boletim Informativo**, v. 3, n. 5, p. 3-3, 1996.

SHEN, P. *et al.* Combined impact of climate change and heat island on building energy use in three megacities in China. **Energy and Buildings**, p. 115386, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.115386>

SOUZA, E. B. *et al.* Observational evidence of intensified extreme seasonal climate events in a conurbation area within the eastern Amazon. **Earth**, v. 6, n. 4, p. 112, 2025.

SOUZA, L. *et al.* Caracterização de áreas verdes urbanas no município de Goianorte/TO. **Revista Novos Desafios**, v. 1, n. 1, p. 71-82, 2021.

TALUKDAR, S. *et al.* Urban expansion and vegetation dynamics: The role of protected areas in preventing vegetation loss in a growing mega city. **Habitat International**, v. 150, p. 103129, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2024.103129>

TANG, J. *et al.* Impacts of land use change on surface infiltration capacity and urban flood risk in a representative karst mountain city over the last two decades. **Journal of Cleaner Production**, v. 454, p. 142196, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142196>

TRINDADE, A. R. *et al.* Mapeamento de remanescentes florestais em áreas urbanas: uso de dados espaciais para estimativa de índice de áreas verdes e de sequestro de carbono: mapping of a forest remnant in urban area: use of spatial data to estimate green area index and carbon sequestration. **Revista GeoNordeste**, n. 1, p. 77-93, 2021.

VIANA, C.R. S. *et al.* Praças urbanas como potenciais ferramentas na neutralização de carbono. **Peer Review**, v. 5, n. 18, p. 394-409, 2023.

VIEZZER, J. *et al.* Áreas verdes, população e renda em Curitiba, PR, Brasil. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 17, n. 2, p. 37-49, 2022.

WANG, X.; GUAN, C. Assessing green space exposure in high density urban areas: A deficiency-sufficiency framework for Shanghai. **Ecological Indicators**, v. 175, p. 113494, 2025.

ZHANG, L. *et al.* Direct and indirect impacts of urbanization on vegetation growth across the world's cities. **Science advances**, v. 8, n. 27, p. eabo0095, 2022. DOI: [10.1126/sciadv.abo0095](https://doi.org/10.1126/sciadv.abo0095)

ZHANG, F.; QIAN, H. A comprehensive review of the environmental benefits of urban green spaces. **Environmental research**, v. 252, p. 118837, 2024.

ZHANG, S. *et al.* From city to countryside: Unraveling the long-term complex effects of urbanization on vegetation growth in China. **Journal of Environmental Management**, v. 380, p. 124975, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.124975>

ZHANG, W.; ZENG, H. Spatial differentiation characteristics and influencing factors of the green view index in urban areas based on street view images: A case study of Futian District, Shenzhen, China. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 93, p. 128219, 2024.

Capítulo 09

ANÁLISE DE ÁREAS VERDES ATRAVÉS DE GEORREFERENCIAMENTO EM MUNICÍPIO AMAZÔNICO

Lucas Gabriel Gomes Menezes, Jeyce Aimeé De Amorim Albuquerque, Jhêmilly da Silva dos Santos, Madson Alan Rocha de Sousa, Raphael Lobato Prado Neves.

Resumo: A expansão urbana tem resultado na remoção da cobertura vegetal, alterando o meio natural e gerando impactos negativos ao homem e meio-ambiente. Este trabalho teve como objetivo quantificar as áreas verdes urbanas de Marabá, analisando a cobertura vegetal da malha urbana. Realizou-se um estudo baseado em análises de imageamento de satélite através de ferramentas de georreferenciamento, possibilitando a quantificação das áreas verdes urbanas no município e a qualidade de sua distribuição por toda área de estudo. São Félix foi avaliado como possuindo a maior área verde, enquanto Marabá Pioneira apresentou a menor. O índice verde nos bairros foi de 204,95 m²/hab, acima do recomendado pela SBAU. No entanto, o difícil acesso às áreas verdes destaca a necessidade de políticas públicas para melhorar distribuição delas nos polos urbanos.

Palavras-chave: Índice Verde. Vegetação Urbana. Cobertura Vegetal.

L. G. G. Menezes  Universidade do Estado do Pará. Paragominas, Pará, Brasil. e-mail: lucas.gg.menezes@aluno.uepa.br . ORCID: 0009-0002-3740-3009.

J. A. A. Albuquerque  Universidade do Estado do Pará. Paragominas, Pará, Brasil. e-mail: Jeyce.ada.albuquerque@aluno.uepa.br . ORCID: 0009-0005-2153-1614.

J. S. Santos  Universidade do Estado do Pará. Paragominas, Pará, Brasil. e-mail: jhemilly0909ss@gmail.com . ORCID: 0009-0008-7329-8174.

M. A. R. Sousa  Universidade do Estado do Pará. Paragominas, Pará, Brasil. e-mail: madsonalan@uepa.br . ORCID: 0000-0002-7560-3274.

R. L. P. Neves  Universidade do Estado do Pará. Paragominas, Pará, Brasil. e-mail: prado.neves@uepa.br . ORCID: 0000-0002-0997-4851.

© Este trabalho integra a obra: “Avanços e Desafios nas Ciências Ambientais (vol. 02)”, publicado pela Reconnecta Soluções em 2026, disponível para acesso gratuito em: www.reconnectasolucoes.com.br/editora

INTRODUÇÃO

A construção e expansão das cidades alteram o meio natural ao remover a vegetação para construir estradas, casas e equipamentos públicos, gerando fragmentações desta vegetação (Liu *et al.*, 2025). Problemas recorrentes no contexto urbano como enchentes, adensamento, verticalização, superfícies impermeáveis e a desigualdade no acesso às áreas verdes urbanas (AVUs) afetam a qualidade de vida nas cidades (Öztürk *et al.*, 2024; Wu *et al.*, 2023). Atualmente, as cidades concentram a maior parte da população humana (Flégeau *et al.*, 2021), abrigando serviços públicos e atendendo necessidades da natureza (Wang *et al.*, 2024). Em 2015, de acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), 84,72% da população brasileira vivia em áreas urbanas (PNAD, 2015).

Em contraponto a esses problemas, a arborização urbana oferece benefícios, como melhoria da qualidade do ar, conforto ambiental, controle da umidade, valor estético e recreação (O'Brien; Urbanek; Gregory, 2022; Mundher *et al.*, 2022). Esses aspectos são fundamentais para o equilíbrio do ecossistema urbano e para a qualidade de vida da população, proporcionando justiça ambiental à comunidade (Oliveira *et al.*, 2026). Sendo assim, compreender a ocorrência da cobertura vegetal e como ela muda espacialmente é fundamental, tanto quantitativamente quanto em outros aspectos, para avaliar a qualidade destas áreas verdes dentro das cidades (Ju *et al.*, 2024). Essas informações são essenciais para o desenvolvimento de projetos futuros que visem melhorar o ambiente urbano.

Com a necessidade de estudos que utilizem ferramentas de tecnologia de georreferenciamento, a ciência tem apontado o *Normalised Difference Vegetation Index* (NDVI) como um método eficaz para avaliar a presença e distribuição da cobertura vegetal por imagens de satélite (Davis *et al.*, 2023). O estudo de NDVI analisa a diferença que há entre a luz infravermelho próxima, que é altamente refletida pela vegetação, os espaços verdes e a luz vermelha, a qual é fortemente absorvida pela vegetação (Lee *et al.*, 2022), possibilitando análises precisas dos efeitos de resfriamento que estas coberturas proporcionam ao meio urbano (Huang *et al.*, 2025). No meio científico, técnicas de avaliação de padrões visuais em mapas de NDVI têm se tornado mais frequentes e relevantes para a interpretação da qualidade da fragmentação de áreas verdes no meio urbano (Shahtahmassebi *et al.*, 2021).

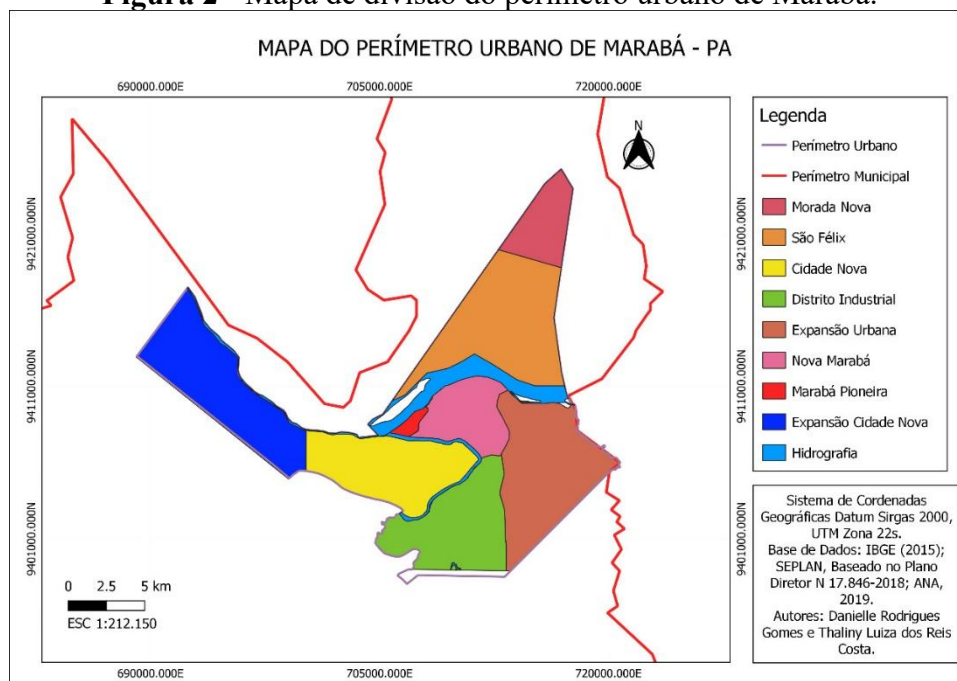
Assim, esta pesquisa busca avaliar a distribuição espacial da cobertura vegetal urbana de Marabá por meio de NDVI, comparar o índice de área verde por habitante considerando diferentes critérios de definição de áreas verdes e discutir o acesso populacional à essas áreas na cidade.

DESENVOLVIMENTO

Metodologia

O estudo foi realizado na área urbana de Marabá-PA, que abrange 15.128,058 km² e tem cerca de 287.664 habitantes (IBGE, 2021), com densidade demográfica de 15,45 hab/km² (IBGE, 2010). A pesquisa abrangeu os cinco núcleos principais de Marabá, Marabá Pioneira, Cidade Nova, Nova Marabá, São Félix e Morada Nova, que somam cerca de 211.482 habitantes (IBGE, 2010).

Figura 2 - Mapa de divisão do perímetro urbano de Marabá.



Fonte: Autores (2022).

A primeira etapa consistiu no *download* dos arquivos *shapefiles* com os dados vetoriais do perímetro urbano, obtidos do Plano Diretor de Marabá (2018). Em seguida, utilizando o QGIS, foram recortadas as áreas de interesse, correspondentes aos cinco núcleos selecionados. Obtiveram-se cinco novos arquivos correspondentes, que foram convertidos para o formato desejado *Keyhole Markup Language* (KML). Os arquivos KML foram carregados como área de interesse (AOI) para a análise de imagens de satélite na plataforma *LandViewer* pertencente à EOS (*Earth Observing System*).

A plataforma permite manipular bandas diretamente no sistema, utilizando diversos índices. Dentre as opções, destaca-se o NDVI, que classificou os valores do índice para a área de cada arquivo KML selecionado. Na análise da cobertura vegetal da zona urbana de Marabá, utilizou-se a interpretação da plataforma, considerando que os valores do NDVI variam entre -1 e 1: A vegetação densa é classificada como acima de 0,6, a vegetação moderada varia entre 0,4 e 0,6, enquanto a vegetação escassa está entre 0,2 e 0,4; o solo exposto, por sua vez, apresenta valores entre 0,1 e 0,2. Os valores negativos indicam áreas com superfícies de água, construções, rochas, entre outros.

Para os cálculos, foram considerados os índices de vegetação densa (acima de 0,6), permitindo o cálculo do Índice de Área Verde por Habitante (IAVHab) com uso da fórmula 1:

$$IAVHab = \Sigma AV / H \quad (1)$$

Onde:

- **IAVHab** = Índice de Área Verde urbana por Habitante (em m²)
- **ΣAV** = Somatória total das Áreas Verdes em hectares, convertidos para metros quadrados
- **H** = Número de habitantes da área urbanizada

A equação proposta por Silva (2018) foi aplicada com base nos dados do IBGE de 2010, que indicam aproximadamente 211.482 habitantes nos cinco núcleos de estudo.

As áreas verdes urbanas foram selecionadas segundo o método de Bargos (2010), que requer mais de 70% do solo livre de edificações e funções ecológicas, de lazer e estéticas. Dentro deste escopo, somente a Fundação Zoobotânica de Marabá (Parque Zoobotânico) se enquadrou como área verde, pois nenhuma outra área atendia aos critérios.

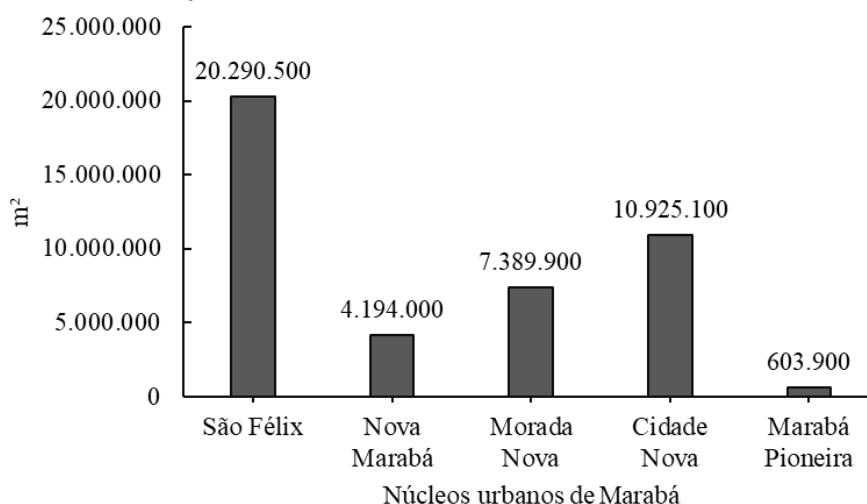
O perímetro do Parque Zoobotânico foi delimitado em *shapefile* no *Quantum GIS* (QGIS) 3.22 e convertido para KML, carregando-o na plataforma *Landviewer*. Os valores do NDVI para vegetação densa foram organizados e o índice de vegetação por habitante calculado com a fórmula de Silva (2018), realizando dois cálculos: um com a população total de Marabá (IBGE, 2021) e outro com a dos cinco núcleos de estudo (IBGE, 2010), para avaliar a importância do parque como única área verde conforme os critérios de (Bargos, 2010).

Por fim, os mapas NDVI foram elaborados no *software* QGIS 3.22, utilizando duas imagens Landsat 8 (bandas 4 e 5) obtidas na plataforma *Landviewer*. O NDVI foi calculado com a fórmula $NDVI = (NIR - Vermelho) / (NIR + Vermelho)$ e os mapas foram confeccionados a partir dessa combinação de imagens.

Resultados e discussões

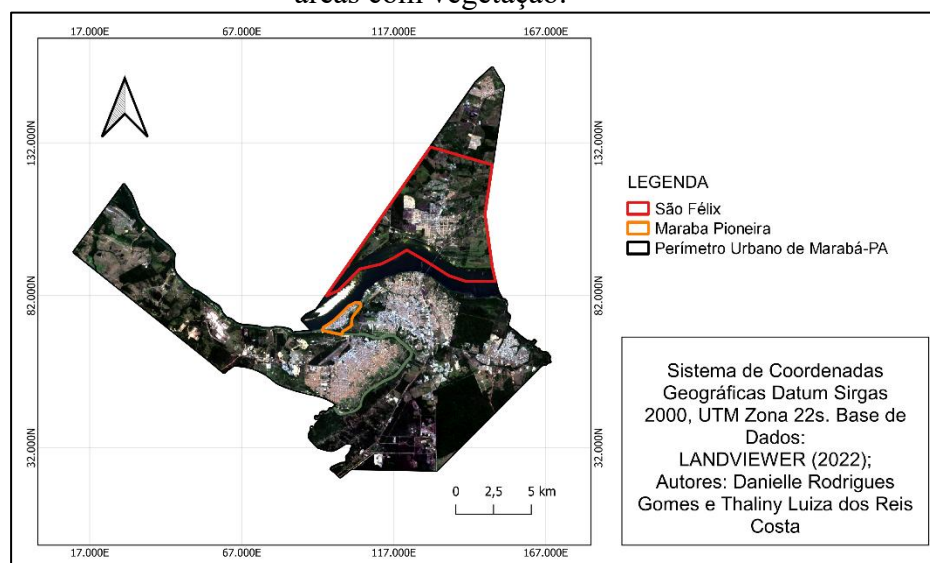
Para caracterizar as áreas de vegetação foi considerado todo o perímetro de cada núcleo, sendo possível verificar que quando se leva em consideração a vegetação do entorno, vegetação de áreas inacessíveis e/ou áreas de expansão urbana, aumenta-se o índice de área de vegetação urbana. O núcleo com maior área vegetada foi São Félix com 20.290.500 m² e o núcleo com a menor foi Marabá Pioneira com 603.900 m², enquanto Nova Marabá, Morada Nova e Cidade Nova apresentaram respectivamente 4.194.000 m², 7.389.900 m² e 10.925.100 m², somando um total de 43.403.400 m².

Figura 1 – Quantificação de áreas verdes em cinco núcleos urbanos de Marabá-PA.



Fonte: Autores (2022).

Figura 2 - Núcleo com maior (São Félix) e menor (Marabá Pioneira) quantidade de áreas com vegetação.



Fonte: Autores, 2022.

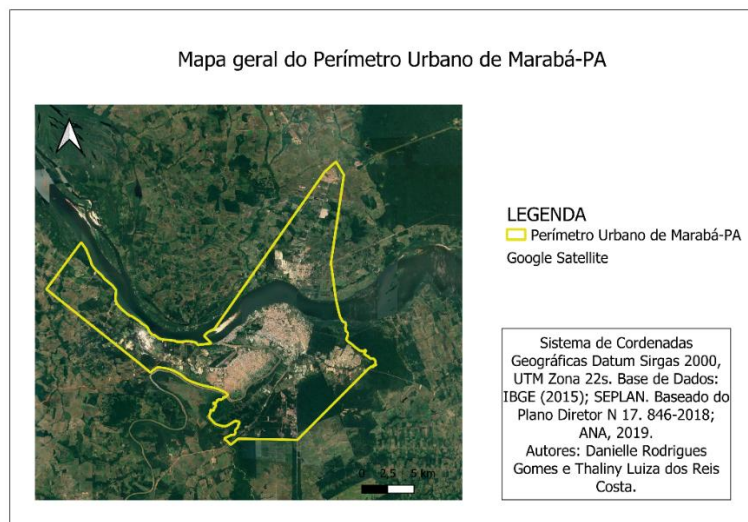
O resultado do índice de áreas verdes para os cinco núcleos de interesse foi de 205,23 m²/hab, considerando a população destes núcleos para o ano de 2010. O índice gerou um valor alto devido as vegetações no entorno da área urbanizada, áreas de vegetação onde há alagamentos, áreas de expansão urbana, além de áreas de difícil e/ou privativo acesso ao público, demonstrando que este valor, apesar de alto, não representa a realidade da qualidade destas segundo os princípios de acesso livre à população.

Estudos de IAV aplicados em municípios da região apresentaram valores de IAV menores, como Ananindeua que foi apontado com 37,27m²/hab, Castanhal avaliada com 32,58m²/hab, Santarém com 90,09m²/hab, e Marabá com 106,14 m²/hab (Trindade *et al.*, 2021), sendo feitos com a população e área total dos municípios. Estes dados demonstram que os valores encontrados de Marabá, ainda quando feitos com a área e a população total e metodologias diferentes, apresentam de forma quantitativa que o município dispõe de uma maior cobertura vegetal em relação a outros municípios da região amazônica.

A notável diferença entre os valores do IAV de diferentes cidades se deve não somente aos critérios de definição de AVUs, mas também pelo resultado desta primeira metodologia dizer respeito somente às áreas verdes no município, com cobertura vegetal densa, sem critérios qualiquantitativos. Alguns trabalhos mapeiam áreas verdes sem critérios de classificação ou categorização, apresentando apenas áreas públicas e/ou privadas, enquanto outros se preocupam com a classificação mais adequada da área estudada, bem como com as diferenças de definição de áreas verdes (Guinaudeau *et al.*, 2023).

Nesse cenário, a única área verde urbana existente no município segundo os critérios de Bargas 2010 é o Parque Zoobotânico, assumindo uma função de preservação e conservação ambiental no território de Marabá, o qual fica distante cerca de 12 km da área com maior densidade demográfica, além de não estar em sua totalidade dentro do perímetro urbano do município (Figura 4).

Figura 3 - Mapa geral do perímetro urbano de Marabá. Imagens: base de dados do IBGE de 2015.

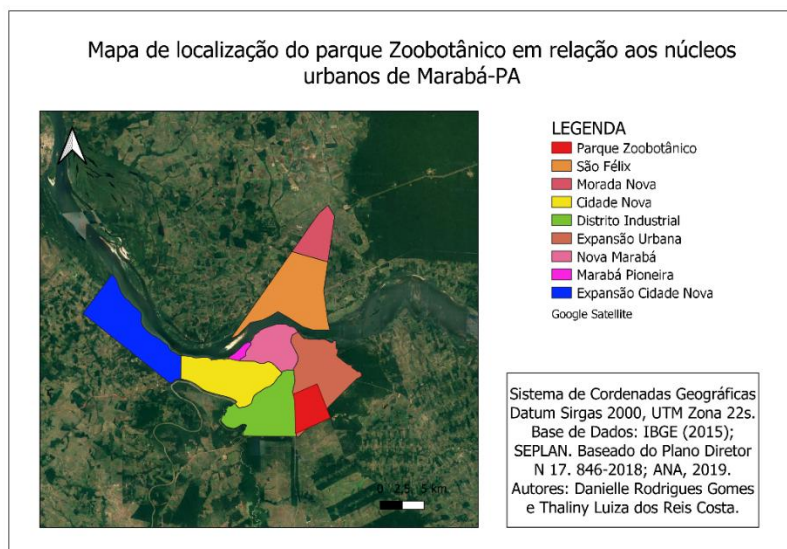


Fonte: Autores (2022).

O NDVI do Parque Zoobotânico é de 15.038.100 m² de áreas verdes para vegetação densa (Figura 5), sendo assim, o IAV/hab do parque é de 52,28 m²/hab quando se adota para o cálculo a população total do município e esse índice sobe para 71,11 m²/hab quando se considera apenas a população dos 5 núcleos de estudo.

Entretanto, o Parque Zoobotânico não está próximo da área com maiores números de habitantes para que tenha as devidas influências de uma área verde urbana para a população, além de só poder ser visitado com agendamento de segunda à sexta das 08:00 às 15:30, com uma taxa colaborativa de 5,00 reais para adultos e 3,00 reais para crianças, ou seja, não atende toda a população de forma igualitária.

Figura 5 - Mapa de localização do perímetro do parque em relação aos 5 núcleos de estudo



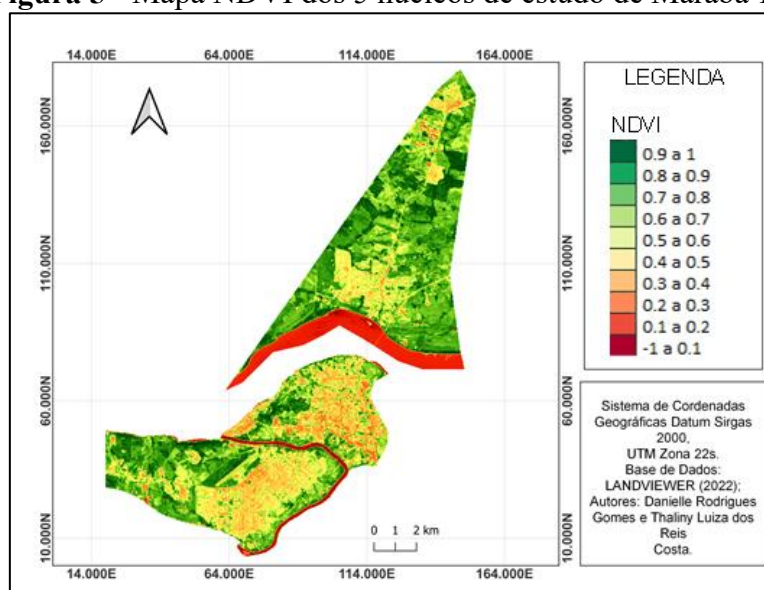
Fonte: Autores (2022).

Os resultados indicam que o IAVhab calculado, quando se considera todo o perímetro de cada núcleo, encontra-se acima do recomendado comparados com a recomendação da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (SBAU). A vegetação se concentra ao redor das áreas urbanizadas, sugerindo aptidão para projetos de arborização. Métodos têm sido desenvolvidos pela ciência, buscando desenvolver planos de arborização em áreas subutilizadas (Munoz; Duarte, 2025), indicando a importância de agregar essas áreas de potencial utilização para a arborização urbana da cidade, promovendo o desenvolvimento das áreas verdes urbanas nos núcleos urbanos do município.

Quando se considera apenas o Parque Zoobotânico dentro dos critérios recomendados por Bargas (2010), o índice de área verde por habitante continua alto, devido ao tamanho do parque, entretanto, mais baixo que o índice anterior que considera todo o perímetro de cada núcleo. Por esta razão é importante se utilizar de categorias adequadas para a análise do IAV de municípios, considerando áreas funcionais que proporcionam os benefícios de um ambiente verde, permitindo uma análise da realidade destas áreas.

A baixa disponibilidade de áreas verdes urbanas nos principais núcleos, onde se concentra a população, reforça a necessidade de vegetação, especialmente no núcleo Cidade Nova, que tem potencial para novos parques ou praças. A gestão e planejamento a longo prazo destas áreas, somados à equidade social quanto ao acesso à cobertura vegetal devem ser princípios a serem seguidos para que a arborização possa atingir os benefícios desejados e garantir que a população tenha acesso à estas áreas verdes (Souza-Silva *et al.*, 2023).

Figura 5 - Mapa NDVI dos 5 núcleos de estudo de Marabá-PA



Fonte: Autores (2022).

A existência de áreas vegetadas não sugere qualidade, mas é necessário entender que fatores, como qualidade estética e manutenção dos espaços verdes, podem facilitar ou dificultar o acesso populacional a estes ambientes (Alene; Hou, 2024). A distribuição espacial do imageamento por NDVI (Figura 5) sugere um padrão de fragmentação das áreas verdes nos núcleos urbanos do município que estão distantes do centro da área estudada, o que representa a necessidade de melhor distribuição destes ambientes de lazer e de conforto ambiental. Apesar da verificação de cobertura vegetal através do estudo de

NDVI, as áreas verdes urbanas são conceituadas como áreas que estejam vegetadas e com 70% do seu solo permeável (Júnior *et al.*, 2021), implicando que valores de áreas cobertas por vegetação não estão diretamente ligados ao índice de áreas verde urbanas funcionais que proporcionem as devidas benesses ambientais para a população que possui acesso a estes ambientes no âmbito urbano.

CONCLUSÃO

As duas metodologias utilizadas neste trabalho mostraram-se eficientes para a identificação, mapeamento e quantificação das áreas verdes urbanas de Marabá, podendo concluir que não tem áreas verdes públicas urbanas suficientes dentro da cidade, tendo apenas o Parque Zoobotânico configurado como área verde urbana, porém sem acesso livre à população. Apesar do alto valor de IAV/hab, Marabá atualmente não possui um planejamento urbano que agregue áreas verdes urbanas em seus núcleos urbanos, o que leva o município a enfrentar uma escassez no que diz respeito ao acesso da população a estes ambientes de benesses socioambientais. Este cenário torna urgente o desenvolvimento de um planejamento urbano agregado com estas áreas de vegetação densa presentes no município que, com as devidas alterações na atual infraestrutura, possuem o potencial de se tornarem áreas verdes urbanas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARGOS, D. C. Mapeamento e análise das áreas verdes urbanas como indicador da qualidade ambiental urbana: estudo de caso de Paulínia-SP. 2010. Dissertação de Mestrado. **Instituto de Geociências/UNICAMP**, Campinas-SP, 2010.

BRASIL. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e Estados**. Marabá: IBGE, 2021.

BRASIL. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sinopse por setores**. Marabá, 2010.

PNAD, IBGE. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

LIU, M. *et al.* Dynamic impacts of urban expansion on vegetation growth in urban environments: A sustainable land management framework. **Land use policy**, v. 153, p. 107541, 2025.

WANG, X. *et al.* Evolution pattern and mechanism of rural areal functions in Xi'an metropolitan area, China. **Habitat International**, v. 148, p. 103088, 2024.

PNAD, IBGE. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

O'BRIEN, L. E.; URBANEK, R. E.; GREGORY, J. D. Ecological functions and human benefits of urban forests. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 75, p. 127707, 2022.

MARABÁ. **Lei nº 17.846, 29 de março de 2018. Dispõe sobre a revisão do Plano Diretor Participativo do município de Marabá**. Marabá, 2018.

MUNDHER, R. *et al.* Aesthetic quality assessment of landscapes as a model for urban forest areas: A systematic literature review. **Forests**, v. 13, n. 7, p. 991, 2022.

OLIVEIRA, W. *et al.* Benefits of urban trees to people and their potential contribution to all the 17 Sustainable Development Goals. **Trees, Forests and People**, p. 101198, 2026.

JU, Y. *et al.* Assessing normalized difference vegetation index as a proxy of urban greenspace exposure. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 99, p. 128454, 2024.

DAVIS, Z. *et al.* Assessing changes in urban vegetation using Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) for epidemiological studies. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 88, p. 128080, 2023.

HUANG, Ziteng *et al.* Exploring the influence of urban green space and urban morphology on urban heat Islands using street view and satellite imagery. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 23759, 2025.

SILVA, L. C. O mapeamento das áreas verdes urbanas de Uberlândia (MG): análise da concentração de investimentos públicos. 2018. 124 p. **Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Goiás**, Regional Catalão, 2018.

ÖZTÜRK, Ş. *et al.* Effect of urbanization on surface runoff and performance of green roofs and permeable pavement for mitigating urban floods. **Natural Hazards**, v. 120, n. 13, p. 12375-12399, 2024.

WU, W. *et al.* From quantity to quality: Effects of urban greenness on life satisfaction and social inequality. **Landscape and Urban Planning**, v. 238, p. 104843, 2023.

FLÉGEAU, M. *et al.* What evidence exists on the possible effects of urban forms on terrestrial biodiversity in western cities? A systematic map protocol. **Environmental Evidence**, v. 10, n. 1, p. 28, 2021.

GUINAUDEAU, B. *et al.* A methodology for quantifying the spatial distribution and social equity of urban green and blue spaces. **Sustainability**, v. 15, n. 24, p. 16886, 2023.

SOUSA-SILVA, Rita *et al.* Keys to better planning and integrating urban tree planting initiatives. **Landscape and Urban Planning**, v. 231, p. 104649, 2023.

MUNOZ, L. S.; DUARTE, D. H. S. Green infrastructure as a planning tool: A comprehensive systematization of urban redesign strategies to increase vegetation within public places. **Cities**, v. 156, p. 105551, 2025

TRINDADE, A. R. *et al.* Mapeamento de remanescentes florestais em áreas urbanas: uso de dados espaciais para estimativa de índice de áreas verdes e de sequestro de carbono. **Revista GeoNordeste**, n. 1, p. 77-93, 2021.

PEREIRA, Fernanda Alves Cangerana *et al.* Revitalização de área verde urbana. **Simpósio de Iniciação Científica e Tecnológica**, v. 6, n. 1, p. 159-161, 2024.

JÚNIOR, A. C. O. M. *et al.* Análise da distribuição da cobertura vegetal de Áreas Verdes Públicas em Governador Valadares, Minas Gerais, Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 33, p. e57464, 2021.

SHAHTAHMASSEBI, A. R. *et al.* Remote sensing of urban green spaces: A review. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 57, p. 126946, 2021.

WEN, C.; ALBERT, C.; HAAREN, C. V. Equality in access to urban green spaces: A case study in Hannover, Germany, with a focus on the elderly population. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 55, p. 126820, 2020.

ALENE, E. T.; HOU, Y. Determinants influencing the accessibility and use of urban green spaces: A review of empirical evidence. **City and environment interactions**, v. 24, p. 100159, 2024.

Capítulo 10

ENTRE CIDADES SUSTENTÁVEIS E VIDA TERRESTRE: CONTRADIÇÕES DOS ODS 8, 11, 13 E 15 NO BAIXO SUL, BAHIA, BRASIL

Tayná de Oliveira Vitória

Resumo: O debate sobre sustentabilidade e desenvolvimento sustentável ganhou relevância internacional diante da intensificação das problemáticas socioambientais e da consolidação da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo analisar os níveis de desenvolvimento dos ODS 8, 11, 13 e 15 nos municípios do Território de Identidade Baixo Sul da Bahia. A escolha desses objetivos fundamenta-se na necessidade de compreender o tripé da sustentabilidade em uma região marcada pelo potencial turístico e pela relevância ecológica. A pesquisa caracteriza-se como de abordagem mista, natureza aplicada e objetivo descritivo, sendo desenvolvida por meio de procedimentos bibliográficos, documentais e estudo de caso. Foram utilizados dados do Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades – Brasil (IDSC-BR). Os resultados evidenciaram melhor desempenho do ODS 11, enquanto os ODS 8 e 15 apresentaram maiores fragilidades, revelando desequilíbrios entre desenvolvimento econômico, sustentabilidade urbana e proteção ambiental no território.

Palavras-chave: Agenda 2030. ODS. Turismo. Sustentabilidade urbana.

Tayná de Oliveira Vitória  Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, BA, Brasil.
e-mail: tayyvitoria@outlook.com. ORCID: 0000-0002-1234-4279.

© Este trabalho integra a obra: “Avanços e Desafios nas Ciências Ambientais (vol. 02)”, publicado pela Reconnecta Soluções em 2026, disponível para acesso gratuito em: www.reconnectasolucoes.com.br/editora

INTRODUÇÃO

O debate acerca da sustentabilidade possui raízes históricas anteriores à consolidação contemporânea do conceito. Um dos primeiros registros relacionados à ideia de uso racional dos recursos naturais remonta ao início do século XVIII, quando o administrador florestal alemão Hans Carl von Carlowitz utilizou o termo *Nachhaltigkeit* em sua obra *Sylvicultura Oeconomica* (1713). Nesse contexto, a noção de sustentabilidade estava associada à gestão racional das florestas, defendendo que a exploração dos recursos madeireiros deveria ocorrer de forma equilibrada, garantindo sua reposição e evitando o esgotamento ambiental. Tal princípio tornou-se um marco importante para o desenvolvimento da silvicultura moderna e para a formulação inicial das concepções de sustentabilidade ambiental (Grober, 2007).

Ao longo do século XX, sobretudo a partir da intensificação da industrialização e da expansão dos modelos econômicos baseados no consumo de recursos naturais, os problemas socioambientais passaram a ganhar maior visibilidade em escala global. Nesse contexto, um marco importante para o fortalecimento do movimento ambientalista contemporâneo foi a publicação do livro *Silent Spring* (Primavera Silenciosa), da bióloga norte-americana Rachel Carson, em 1962. A obra denunciou os impactos ambientais causados pelo uso indiscriminado de pesticidas químicos, especialmente o DDT, evidenciando seus efeitos sobre os ecossistemas e a saúde humana. O livro provocou ampla repercussão internacional, contribuindo significativamente para a ampliação da consciência ambiental e para o fortalecimento do ambientalismo moderno (Oliveira, 2022).

A intensificação das problemáticas socioambientais impulsionou, então, o surgimento e a consolidação do movimento ambientalista em diferentes partes do mundo. Inicialmente fortalecido nos Estados Unidos durante a década de 1960, esse movimento expandiu-se posteriormente para países como Canadá, Japão, Austrália, Nova Zelândia e diversas nações da Europa Ocidental. Em seguida, alcançou regiões da América Latina, do Sul e do Leste Asiático, além da Europa Oriental e da então União Soviética (Franco, 2001).

Na década de 1970, as discussões ambientais adquiriram maior dimensão internacional. Nesse período, destaca-se a atuação do Clube de Roma, organização composta por pesquisadores, cientistas e economistas preocupados com os limites do crescimento econômico diante da finitude dos recursos naturais. Em 1972, o Clube de Roma divulgou o relatório *The Limits to Growth* (Os Limites do Crescimento), elaborado por pesquisadores do Massachusetts Institute of Technology (MIT), no qual se discutiam os impactos do crescimento econômico e populacional sobre os recursos naturais do planeta (Meadows et al., 1972). O relatório tornou-se referência para os debates sobre sustentabilidade e para a crítica aos modelos tradicionais de desenvolvimento

Outrossim, em 1972, em Estocolmo, Suécia, ocorreu a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, considerada um marco histórico para a consolidação das discussões ambientais em escala global. Reuniu representantes de diversos países com o objetivo de discutir os impactos das atividades humanas sobre o meio ambiente e a necessidade de construção de estratégias internacionais voltadas à proteção ambiental. O evento contribuiu significativamente para inserir a temática ambiental na agenda política mundial, além de reforçar a compreensão de que o crescimento econômico e o desenvolvimento industrial deveriam considerar os limites ecológicos e os impactos socioambientais decorrentes da exploração intensiva dos recursos naturais (Oliveira, 2022).

Em 1987, a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da Organização das Nações Unidas (ONU), presidida pela então primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, publicou o relatório *Our Common Future* (Nosso Futuro Comum), conhecido internacionalmente como Relatório Brundtland. O documento consolidou o conceito de desenvolvimento sustentável, definindo-o como aquele capaz de atender às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as futuras gerações atenderem às suas próprias necessidades. Além disso, o relatório ressaltou a necessidade de conciliar crescimento econômico, justiça social e conservação ambiental, reconhecendo os limites ecológicos impostos pelos padrões de produção e consumo vigentes (Braga et.al, 2004; Gomes; Zambam, 2011; Fernandez, 2014).

A partir da ampla difusão do conceito de desenvolvimento sustentável, os debates sobre sustentabilidade passaram a integrar diferentes áreas do conhecimento e agendas políticas em escala global. Na década de 1990, essas discussões passaram também a incorporar de maneira mais significativa a dimensão urbana, contribuindo para a consolidação do conceito de cidades sustentáveis. Nesse processo, destacam-se as conferências Habitat promovidas pela Organização das Nações Unidas, especialmente Habitat I (Vancouver, 1976), Habitat II (Istambul, 1996) e Istambul+5 (Nova Iorque, 2001), que desempenharam papel relevante na formulação de políticas e estratégias voltadas ao planejamento urbano sustentável (Gomes; Zambam, 2011).

No Brasil, as discussões relacionadas à sustentabilidade começaram a ganhar maior visibilidade a partir da década de 1960, intensificando-se progressivamente nas décadas seguintes. Contudo, foi principalmente nos anos 1990 que o tema passou a ocupar posição de maior destaque no meio acadêmico, político e institucional brasileiro. Esse processo foi fortemente impulsionado pela realização da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida como Rio-92 ou Eco-92, sediada no Rio de Janeiro em 1992 (Barbieri, 1997).

A Rio-92 constituiu um marco para os debates ambientais em escala global ao reunir chefes de Estado, pesquisadores, organizações não governamentais e representantes da sociedade civil em torno das discussões sobre desenvolvimento sustentável (Barbieri, 1997). Paralelamente ao evento oficial, foi elaborada a Carta da Terra, documento que propunha princípios éticos voltados à construção de uma sociedade global sustentável, baseada na justiça social, na proteção ambiental e na cultura da paz.

Como desdobramento da Eco-92, ocorreram posteriormente a Rio+10, realizada em Joanesburgo em 2002, denominada Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, e a Rio+20, promovida em 2012 no Rio de Janeiro, intitulada Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável. Ambos os eventos buscaram avaliar os avanços alcançados desde a Rio-92 e reafirmar os compromissos internacionais relacionados à sustentabilidade, à redução das desigualdades sociais e à conservação ambiental.

No contexto brasileiro, a noção de cidade sustentável foi institucionalizada por meio da Lei nº 10.257/2001, conhecida como Estatuto da Cidade. O documento estabelece, em seu artigo 2º, inciso II, o direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infraestrutura urbana, ao transporte, aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 2001). Entretanto, embora represente um importante avanço para a política urbana nacional, essa definição não explicita diretamente a conservação dos recursos naturais como elemento estruturante da sustentabilidade urbana.

Dessa forma, adota-se neste trabalho a concepção proposta por Velásquez Muñoz (2012), segundo a qual a cidade sustentável deve buscar equilíbrio entre desenvolvimento econômico e conservação ambiental, respeitando a capacidade de suporte dos

ecossistemas urbanos, promovendo o uso racional dos recursos naturais, reduzindo impactos ambientais e incentivando formas adequadas de ordenamento territorial.

A relevância da promoção de cidades sustentáveis também é reafirmada pela Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas, considerada um plano global voltado à promoção da prosperidade, da justiça social e da proteção ambiental. Firmada por 193 países, incluindo o Brasil, a Agenda estabelece os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) como estratégias integradas para enfrentar desafios econômicos, sociais e ambientais em escala global.

Entre os ODS propostos, destaca-se o ODS 11, voltado à promoção de cidades e comunidades sustentáveis, resilientes e inclusivas. No Brasil, o acompanhamento desses objetivos ocorre, entre outros instrumentos, por meio do Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades – Brasil (IDSC-BR), desenvolvido pelo Instituto Cidades Sustentáveis em parceria com o *Sustainable Development Solutions Network* (SDSN) e o Centro Brasileiro de Análise e Planejamento (Cebap).

O IDSC-BR utiliza diferentes indicadores para avaliar o desempenho municipal em relação aos ODS. No caso do ODS 11, são considerados os seguintes indicadores: percentual da população de baixa renda com tempo de deslocamento superior a uma hora; mortes no trânsito; população residente em favelas e comunidades urbanas; domicílios em favelas e comunidades urbanas; equipamentos esportivos municipais; e percentual da população preta e parda em favelas e comunidades urbanas. Embora tais indicadores contemplem importantes dimensões da sustentabilidade urbana, a proteção dos recursos naturais nem sequer aparece nesse processo avaliativo.

Nesse sentido, o ODS 15 — Vida Terrestre — torna-se igualmente relevante para a análise da sustentabilidade municipal, uma vez que incorpora indicadores associados à proteção dos recursos naturais, a saber: hectares de áreas florestadas e naturais por habitante, unidades de conservação de proteção integral e uso sustentável, e grau de maturidade dos instrumentos de financiamento da proteção ambiental. Dessa maneira, a articulação entre os ODS 11 e 15 possibilita uma compreensão mais ampla da sustentabilidade, integrando dimensões urbanas, territoriais e ambientais.

Considerando a importância das discussões sobre sustentabilidade urbana e conservação ambiental no contexto da Agenda 2030, torna-se relevante compreender como os municípios brasileiros têm se posicionado em relação aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo analisar os níveis de desenvolvimento dos ODS 8 (Trabalho decente e crescimento econômico), ODS 11 (Cidades e comunidades sustentáveis), ODS 13 (Ação contra a mudança global do clima) e ODS 15 (Vida terrestre) nos municípios do Território de Identidade Baixo Sul da Bahia. A escolha desses objetivos fundamenta-se na necessidade de compreender o tripé da sustentabilidade em uma região marcada pelo potencial turístico e pela relevância ecológica.

O ODS 8 — Trabalho decente e crescimento econômico — foi selecionado por estar relacionado às atividades econômicas desenvolvidas no território, especialmente aquelas associadas ao turismo, ao comércio e aos serviços. No contexto do Baixo Sul, o turismo constitui uma importante estratégia de dinamização econômica e geração de renda para diversos municípios, tornando relevante analisar como os indicadores desse objetivo refletem as condições de desenvolvimento econômico regional e suas possíveis relações com a sustentabilidade.

O ODS 11 — Cidades e comunidades sustentáveis — foi incluído na pesquisa devido à sua relação com as condições urbanas, infraestrutura, mobilidade, qualidade de vida e organização territorial dos municípios. Considerando que o crescimento urbano e

a expansão das atividades econômicas podem produzir impactos sobre o espaço urbano e os recursos ambientais, a análise desse objetivo possibilita compreender como os municípios do Baixo Sul têm avançado em relação à sustentabilidade urbana e ao planejamento territorial.

Já o ODS 13 — Ação contra a mudança global do clima — torna-se relevante em razão da crescente necessidade de fortalecimento das políticas de adaptação e mitigação dos impactos ambientais, especialmente em regiões ambientalmente sensíveis. O Território de Identidade Baixo Sul apresenta ecossistemas importantes, como remanescentes de Mata Atlântica, áreas costeiras, manguezais e zonas estuarinas, que podem ser diretamente afetados pelas mudanças climáticas e pelas transformações ambientais decorrentes das atividades humanas.

Por fim, o ODS 15 — Vida terrestre — foi selecionado por sua relação direta com a proteção dos recursos naturais e a proteção dos ecossistemas terrestres. Esse objetivo contempla indicadores associados à preservação da biodiversidade, áreas naturais e instrumentos de proteção ambiental, aspectos particularmente relevantes para o Baixo Sul da Bahia, região que possui significativa importância ecológica e cuja dinâmica territorial envolve constantes interações entre desenvolvimento econômico e proteção dos recursos naturais.

Dessa forma, a articulação entre os ODS 8, 11, 13 e 15 permite uma análise integrada das dimensões econômica, urbana e ambiental do desenvolvimento sustentável, possibilitando compreender os desafios e potencialidades dos municípios do Território de Identidade Baixo Sul da Bahia no contexto da Agenda 2030.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A presente pesquisa caracteriza-se como de abordagem mista, natureza aplicada e objetivo descritivo. Quanto aos procedimentos metodológicos, trata-se de uma pesquisa bibliográfica, documental e de estudo de caso, tendo como recorte espacial os municípios do Território de Identidade Baixo Sul da Bahia, a saber: Aratuípe, Cairu, Camamu, Gandu, Ibirapitanga, Igrapiúna, Ituberá, Jaguaripe, Nilo Peçanha, Pirai do Norte, Presidente Tancredo Neves, Taperoá, Teolândia, Valença e Wenceslau Guimarães. O Baixo Sul se destaca pela relevância ambiental, pela presença de atividades econômicas associadas ao turismo e pela diversidade de dinâmicas territoriais.

Para a realização da pesquisa, foram utilizados dados do Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades – Brasil (IDSC-BR), plataforma desenvolvida pelo Instituto Cidades Sustentáveis em parceria com o Sustainable Development Solutions Network (SDSN) e o Centro Brasileiro de Análise e Planejamento (Cebrap). Foram selecionados os indicadores relacionados aos ODS 8 (Trabalho decente e crescimento econômico), 11 (Cidades e comunidades sustentáveis), 13 (Ação contra a mudança global do clima) e 15 (Vida terrestre), considerando sua o tripé da sustentabilidade: ambiente, economia e sociedade.

Os dados foram organizados em gráficos para cada município do Território de Identidade Baixo Sul, possibilitando a visualização comparativa dos níveis de desenvolvimento sustentável. A análise dos resultados ocorreu a partir da classificação estabelecida pelo próprio IDSC-BR, que divide os níveis de desenvolvimento em muito alto, alto, médio, baixo e muito baixo.

Ulteriormente, os dados foram interpretados de forma integrada, buscando compreender as relações entre os diferentes ODS e as dinâmicas territoriais do Baixo Sul da Bahia. A análise fundamentou-se, especialmente, na articulação entre os ODS 11 e 15 e na concepção de cidade sustentável proposta por Velásquez Muñoz (2012), segundo a

qual a sustentabilidade urbana deve ocorrer em equilíbrio com a proteção ambiental e o uso racional dos recursos naturais.

RESULTADOS

Com vistas à compreender os níveis de desenvolvimento sustentável dos municípios do Território de Identidade Baixo Sul da Bahia, foram elaborados gráficos referentes aos ODS 8 (Trabalho decente e crescimento econômico), 11 (Cidades e comunidades sustentáveis), 13 (Ação contra a mudança global do clima) e 15 (Vida terrestre), utilizando dados do Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades – Brasil (IDSC-BR). Os gráficos permitem visualizar comparativamente o desempenho dos municípios em relação aos objetivos selecionados, possibilitando identificar padrões territoriais, desigualdades socioambientais e diferentes níveis de sustentabilidade nas dimensões econômica, urbana, climática e ambiental.

O ODS 8 é avaliado no IDSC-BR por meio de indicadores relacionados às condições de emprego, renda e inserção produtiva da população. Os indicadores analisados são: população ocupada entre 10 e 17 anos, PIB per capita, desemprego, desemprego de jovens, jovens de 15 a 24 anos de idade que não estudam nem trabalham e ocupação formal das pessoas com 16 anos ou mais de idade.

O ODS 11 é composto por indicadores relacionados às condições urbanas, infraestrutura, mobilidade e desigualdades socioespaciais. No IDSC-BR, são avaliados os seguintes indicadores: percentual da população de baixa renda com tempo de deslocamento ao trabalho superior a uma hora, mortes no trânsito, população residente em favelas e comunidades urbanas, domicílios em favelas e comunidades urbanas, equipamentos esportivos municipais e percentual da população preta e parda residente em favelas e comunidades urbanas.

O ODS 13 é analisado a partir de indicadores relacionados aos impactos ambientais, vulnerabilidade climática e capacidade de gestão ambiental dos municípios. Os indicadores utilizados pelo IDSC-BR são: emissões de CO₂e per capita, concentração de focos de queimadas, estratégias para gestão de riscos e prevenção de desastres ambientais, proporção de domicílios em áreas de risco e percentual do município desflorestado.

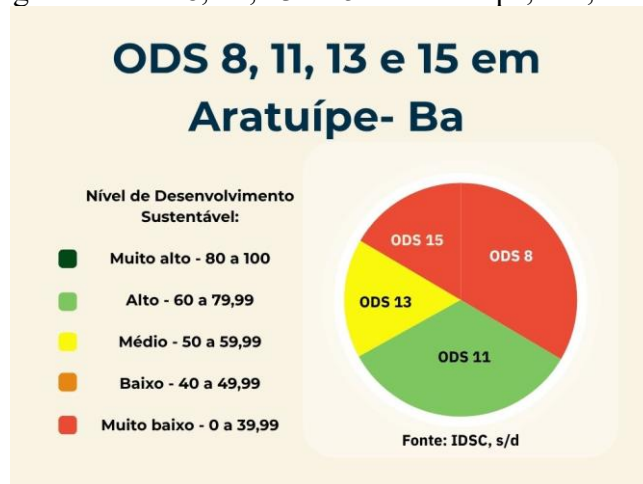
O ODS 15 é avaliado por meio de indicadores voltados à conservação ambiental e à proteção dos ecossistemas naturais. Os indicadores analisados pelo IDSC-BR são: hectare de áreas florestadas e naturais por habitante, unidades de conservação de proteção integral e uso sustentável e grau de maturidade dos instrumentos de financiamento da proteção ambiental.

O primeiro município analisado é Aratuípe (Figura 1), o qual apresenta desempenho elevado no ODS 11, relacionado às cidades e comunidades sustentáveis, enquanto o ODS 15 – relacionado à proteção dos recursos naturais terrestres - possui classificação muito baixa. Essa discrepância evidencia uma contradição importante entre os indicadores urbanos e os indicadores ambientais. Embora o município apresente avanços em aspectos ligados à infraestrutura e organização urbana, os baixos resultados do ODS 15 demonstram fragilidades na proteção da vida terrestre e na conservação dos recursos naturais. Tal cenário distancia-se da concepção de cidade sustentável proposta por Velásquez Muñoz, segundo a qual a sustentabilidade urbana deve ocorrer em equilíbrio com a proteção ambiental e o uso racional dos recursos naturais.

O desempenho muito baixo do ODS 8 evidencia fragilidades relacionadas à geração de emprego, dinamização econômica e fortalecimento de atividades sustentáveis capazes de impulsionar o desenvolvimento local. Considerando o potencial turístico do

Território de Identidade Baixo Sul, esse resultado sugere limitações na consolidação do turismo como vetor de desenvolvimento econômico sustentável no município. Ademais, o desempenho apenas médio do ODS 13 e muito baixo do ODS 15 demonstra que as questões climáticas e ambientais ainda representam desafios importantes, principalmente no que tange às emissões de CO², gestão de riscos ambientais, desflorestamento, áreas naturais por habitante e unidades de conservação. A baixa classificação do ODS 15 indica fragilidades na proteção dos recursos naturais, aspecto particularmente relevante para territórios turísticos, uma vez que a atratividade econômica da região depende diretamente da preservação de seus ecossistemas naturais e paisagens ambientais.

Figura 1- ODS 8, 11, 13 e 15 em Aratuípe, BA, Brasil

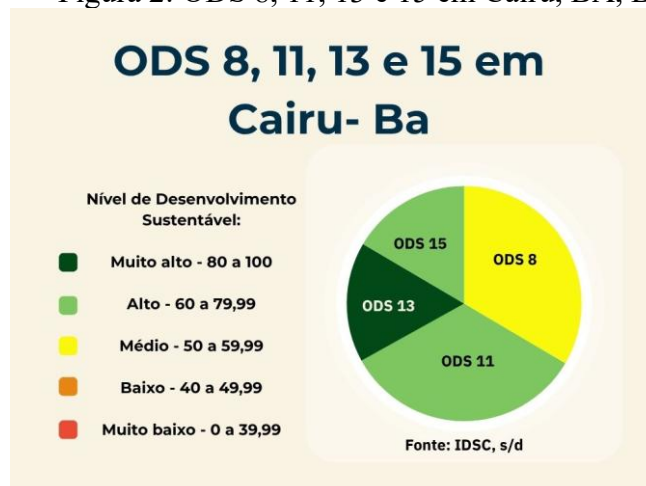


Fonte: Tayná Vitória (2026)

Há críticas relacionadas à prática social do turismo e de que ela é uma verdadeira destruidora de ambientes naturais. Não obstante, Cruz (2001) considera que: a) não há atividade humana que não interfira nos ambientes, mesmo que minimamente; b) nem todo impacto sobre ambientes naturais é negativo; se levarmos em conta áreas naturais degradadas por outras práticas humanas, e que o turismo se apropria promovendo sua revitalização, então estamos falando de um caso com impacto positivo; c) é preciso reconhecer que de modo geral, a degradação dos ambientes não interessa ao turismo porque este tem o espaço como principal objeto de consumo; d) nos casos em que há degradação dos ambientes naturais provocada pelo turismo, há algum erro estratégico de planejamento subjacente ao processo de apropriação dos lugares pela atividade, ou simplesmente, o planejamento do turismo nunca existiu.

Cairu (Figura 2) destaca-se por apresentar resultados positivos tanto no ODS 11 quanto no ODS 15, ambos classificados em nível alto. Esse desempenho sugere maior equilíbrio entre sustentabilidade urbana e conservação ambiental, aproximando-se da perspectiva de cidade sustentável defendida por Velásquez Muñoz. O desempenho médio do ODS 8 indica melhores condições econômicas em comparação ao restante do território, possivelmente influenciado pela forte atividade turística desenvolvida no município, especialmente em áreas como Morro de São Paulo e Boipeba. O resultado muito alto do ODS 13 sugere maior capacidade de enfrentamento das questões climáticas e ambientais, enquanto o ODS 15 apresenta nível alto, demonstrando avanços na proteção dos recursos naturais. Nesse contexto, percebe-se uma articulação mais equilibrada entre desenvolvimento econômico, conservação ambiental e sustentabilidade territorial, aproximando o município de uma lógica de desenvolvimento turístico mais sustentável.

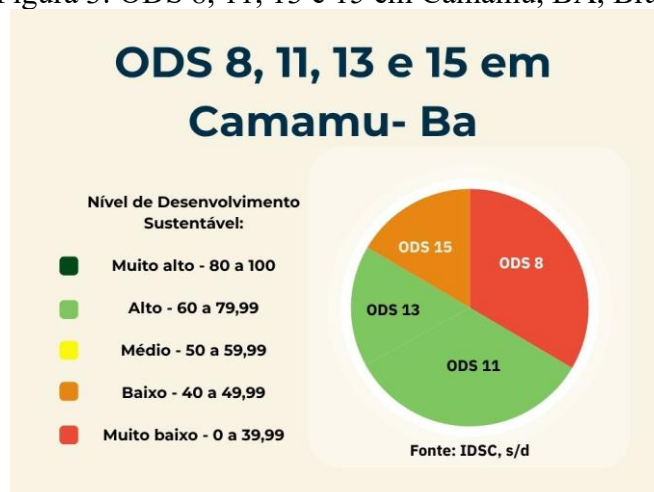
Figura 2: ODS 8, 11, 13 e 15 em Cairu, BA, Brasil



Fonte: Tayná Vitória (2026)

Camamu (Figura 3) apresenta desempenho elevado no ODS 11, mas o ODS 15 aparece apenas em nível baixo. Essa diferença evidencia que os avanços urbanos observados no município não são acompanhados por resultados equivalentes na conservação ambiental. Sob a perspectiva de Velásquez Muñoz, a sustentabilidade urbana não pode ser compreendida apenas pela melhoria das condições urbanas, sendo necessário considerar também a proteção ambiental e o ordenamento adequado do território. Além disso, o município apresenta desempenho muito baixo no ODS 8, indicando que o potencial turístico e ambiental do município ainda não se converte plenamente em crescimento econômico sustentável e melhoria das condições socioeconômicas locais. O resultado alto do ODS 13 evidencia avanços relacionados às questões climáticas, entretanto o baixo desempenho do ODS 15 revela fragilidades na proteção dos ecossistemas terrestres. Esse cenário sugere que, embora existam avanços pontuais na dimensão climática, ainda persistem desafios relacionados à conservação ambiental, fator essencial para a manutenção das atividades turísticas na região.

Figura 3: ODS 8, 11, 13 e 15 em Camamu, BA, Brasil

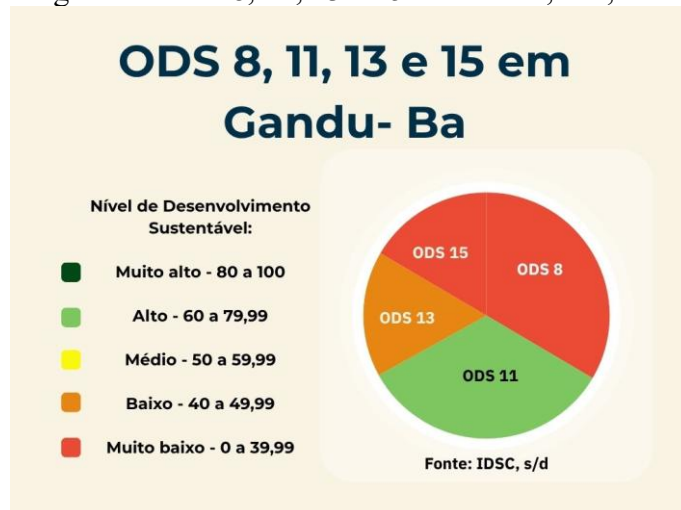


Fonte: Tayná Vitória (2026)

O município de Gandu (Figura 4) apresenta um dos cenários mais frágeis em relação ao desenvolvimento sustentável integrado. O desempenho muito baixo do ODS 8 demonstra dificuldades relacionadas à geração de trabalho e crescimento econômico

sustentável. Paralelamente, os baixos resultados nos ODS 13 e 15 indicam limitações tanto na dimensão climática quanto ambiental. Embora Gandu apresente melhor desempenho no ODS 11, os dados revelam que os avanços urbanos não são acompanhados pela consolidação de estratégias econômicas e ambientais sustentáveis, o que pode comprometer o potencial turístico e territorial da região no longo prazo.

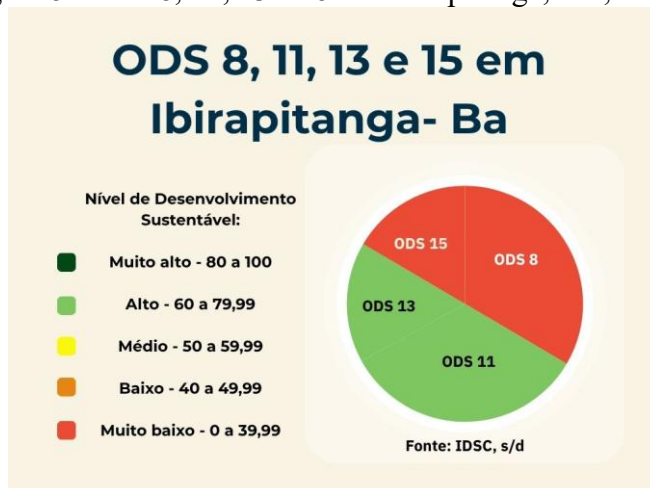
Figura 4: ODS 8, 11, 13 e 15 em Gandu, BA, Brasil



Fonte: Tayná Vitória (2026)

Ibirapitanga (Figura 5) apresenta desempenho elevado no ODS 11, contudo o ODS 15 possui classificação muito baixa. Esse contraste sugere que os avanços urbanos observados no município não estão associados ao fortalecimento da conservação ambiental.

Figura 5- ODS 8, 11, 13 e 15 em Ibirapitanga, BA, Brasil



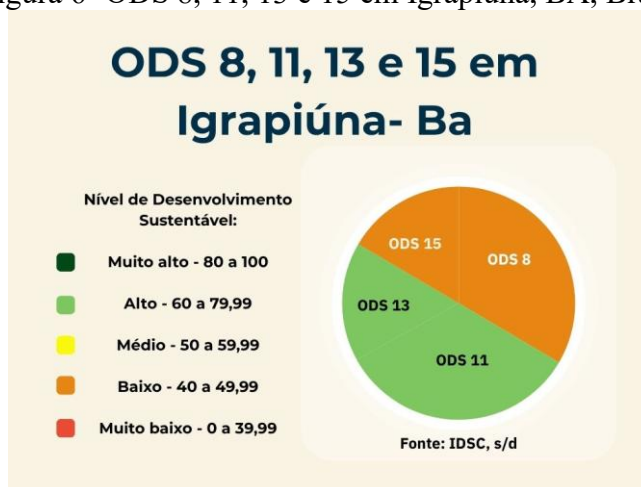
Fonte: Tayná Vitória (2026)

Tal realidade evidencia limitações para a construção de uma cidade sustentável nos termos propostos por Velásquez Muñoz, uma vez que o equilíbrio entre desenvolvimento urbano e proteção ambiental não se mostra consolidado. O desempenho muito baixo no ODS 8, indica fragilidades econômicas importantes, especialmente no que se refere à capacidade de transformar os recursos territoriais e ambientais em desenvolvimento sustentável. Apesar do resultado elevado no ODS 13, o município

apresenta classificação muito baixa no ODS 15, revelando limitações relacionadas à proteção ambiental. Esse contraste sugere que as ações voltadas à dimensão climática não necessariamente se refletem em avanços concretos na proteção da vida terrestre e dos recursos naturais, fundamentais para o fortalecimento do turismo sustentável no território.

No município de Igrapiúna (Figura 6), o ODS 11 apresenta nível alto, enquanto o ODS 15 possui classificação baixa. Apesar dos avanços relacionados à dimensão urbana e ao ODS 13, os resultados ambientais demonstram que ainda existem desafios ligados à conservação dos recursos naturais e à proteção da vida terrestre. Dessa forma, o município apresenta limitações para alcançar o equilíbrio entre desenvolvimento territorial e proteção ambiental defendido por Velásquez Muñoz. O baixo desempenho do ODS 8 evidencia limitações na geração de emprego e renda, indicando que as potencialidades ambientais e turísticas do município ainda não são plenamente convertidas em desenvolvimento econômico sustentável.

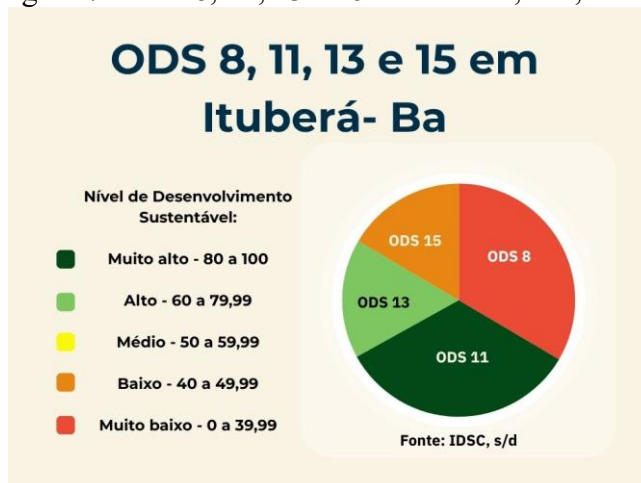
Figura 6- ODS 8, 11, 13 e 15 em Igrapiúna, BA, Brasil



Fonte: Tayná Vitória (2026)

Ituberá (Figura 7) destaca-se por apresentar nível muito alto no ODS 11, evidenciando desempenho expressivo nos indicadores relacionados às cidades e comunidades sustentáveis.

Figura 7- ODS 8, 11, 13 e 15 em Ituberá, BA, Brasil



Fonte: Tayná Vitória (2026)

Entretanto, o ODS 15 apresenta apenas classificação baixa, revelando fragilidades ambientais importantes. Esse cenário demonstra que os avanços urbanos observados no município não são acompanhados de maneira proporcional pela conservação ambiental. Segundo a perspectiva de Velásquez Muñoz, a cidade sustentável exige articulação entre planejamento urbano, proteção ambiental e uso racional dos recursos naturais, aspecto que ainda se mostra limitado no município.

Outrossim, Ituberá apresenta desempenho muito baixo no ODS 8, demonstrando limitações econômicas relevantes mesmo diante das potencialidades territoriais e turísticas do município. O resultado elevado no ODS 13 indica avanços na dimensão climática, porém o ODS 15 aparece em nível baixo, sugerindo fragilidades relacionadas à proteção ambiental. Esse contraste evidencia que o desenvolvimento sustentável no município ainda ocorre de forma desequilibrada, sem plena integração entre crescimento econômico, proteção ambiental e valorização sustentável do território.

Jaguaripe (Figura 8), da mesma forma que em outros municípios do Território de Identidade Baixo Sul, apresenta desempenho elevado no ODS 11, não obstante o ODS 15 possui classificação muito baixa. Essa discrepância revela um desequilíbrio entre sustentabilidade urbana e conservação ambiental. Embora existam avanços associados à dimensão urbana, os indicadores ambientais apontam limitações relacionadas à proteção dos recursos naturais e ao ordenamento territorial sustentável. O município também apresenta desempenho muito baixo no ODS 8 e resultado médio no ODS 13. O desempenho muito baixo do ODS 8 evidencia fragilidades relacionadas à dinamização econômica e à geração de oportunidades sustentáveis de trabalho e renda. O resultado médio do ODS 13, aliado ao nível muito baixo do ODS 15, demonstra limitações importantes tanto na dimensão climática quanto ambiental. Em um território marcado pelo potencial turístico e pela presença de ecossistemas naturais relevantes, esses resultados indicam dificuldades na consolidação de um modelo de desenvolvimento baseado na sustentabilidade ambiental e econômica.

Figura 8- ODS 8, 11, 13 e 15 em Jaguaripe, BA, Brasil



Fonte: Tayná Vitória (2026)

O município de Nilo Peçanha (Figura 9) apresenta desempenho alto nos ODS 11 e 13, evidenciando avanços nas dimensões urbana e climática. Os ODS 8 e 15 aparecem em nível baixo, demonstrando que o município ainda enfrenta desafios relacionados ao crescimento econômico sustentável e à proteção dos recursos naturais.

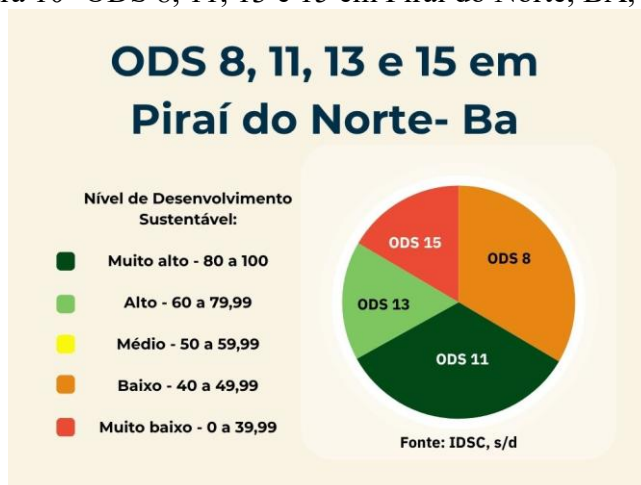
Figura 9- ODS 8, 11, 13 e 15 em Nilo Peçanha, BA, Brasil



Fonte: Tayná Vitória (2026)

Piraí do Norte (Figura 10) apresenta um dos melhores desempenhos do território no ODS 11, classificado como muito alto. O ODS 13 aparece em nível alto. Entretanto, o ODS 8 apresenta classificação baixa e o ODS 15 nível muito baixo. Esse resultado evidencia a existência de avanços urbanos importantes, mas também aponta fragilidades ambientais significativas.

Figura 10- ODS 8, 11, 13 e 15 em Piraí do Norte, BA, Brasil



Fonte: Tayná Vitória (2026)

O município de Presidente Tancredo Neves (Figura 11) apresenta desempenho alto no ODS 11, enquanto o ODS 13 aparece em nível médio. O ODS 8 possui classificação baixa e o ODS 15 nível muito baixo. Esse cenário demonstra que os avanços urbanos observados no município não são acompanhados por resultados equivalentes nas dimensões econômica e ambiental.

Figura 11- ODS 8, 11, 13 e 15 em Presidente Tancredo Neves, BA, Brasil



Fonte: Tayná Vitória (2026)

Taperoá (Figura 12) destaca-se por apresentar desempenho elevado tanto no ODS 11 quanto no ODS 15, ambos classificados em nível alto. Esse resultado demonstra maior equilíbrio entre sustentabilidade urbana e proteção ambiental, aproximando-se da perspectiva de cidade sustentável defendida por Velásquez Muñoz. Apesar disso, os ODS 8 e 13 apresentam desempenho baixo, evidenciando limitações econômicas e climáticas que ainda precisam ser enfrentadas pelo município.

Figura 12- ODS 8, 11, 13 e 15 em Taperoá, BA, Brasil



Fonte: Tayná Vitória (2026)

Em Teolândia (Figura 13), o desempenho muito baixo do ODS 8 evidencia fragilidades econômicas expressivas. O baixo resultado do ODS 13 e a classificação muito baixa do ODS 15 demonstram limitações relacionadas tanto à ação climática quanto à conservação ambiental. Esse conjunto de indicadores revela dificuldades para consolidar estratégias de desenvolvimento sustentável capazes de integrar crescimento econômico, preservação ambiental e valorização territorial.

Figura 13- ODS 8, 11, 13 e 15 em Teolândia, BA, Brasil



Fonte: Tayná Vitória (2026)

Valença (Figura 14) apresenta um dos cenários mais críticos do território. O desempenho muito baixo do ODS 8 demonstra limitações importantes na dimensão econômica, enquanto os baixos resultados dos ODS 13 e 15 evidenciam fragilidades climáticas e ambientais. Considerando a relevância regional do município e seu potencial turístico, os resultados sugerem desafios significativos relacionados à sustentabilidade territorial e à necessidade de fortalecimento de políticas públicas voltadas à conservação ambiental e ao desenvolvimento econômico sustentável.

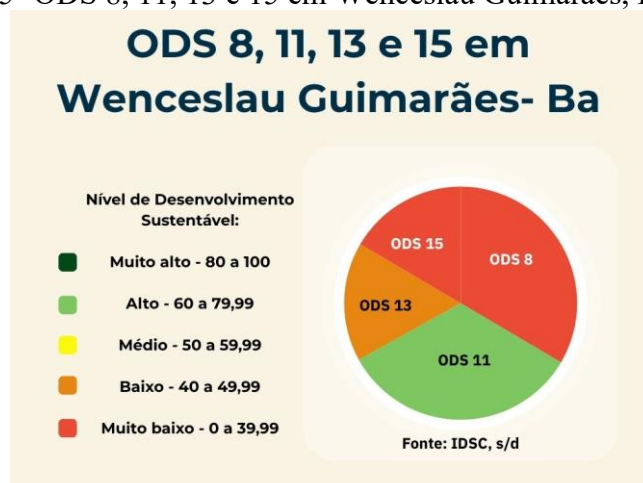
Figura 14- ODS 8, 11, 13 e 15 em Valença, BA, Brasil



Fonte: Tayná Vitória (2026)

O município de Wenceslau Guimarães (Figura 15) apresenta desempenho muito baixo no ODS 8, demonstrando fragilidades econômicas importantes. Paralelamente, os baixos resultados nos ODS 13 e 15 indicam limitações relacionadas às ações climáticas e à proteção ambiental. Esse cenário evidencia dificuldades para integrar desenvolvimento econômico, conservação dos recursos naturais e valorização sustentável do território, aspectos fundamentais para regiões com potencial turístico e importância ecológica como o Baixo Sul da Bahia.

Figura 15- ODS 8, 11, 13 e 15 em Wenceslau Guimarães, BA, Brasil



Fonte: Tayná Vitória (2026)

Os resultados evidenciam um quadro desigual no desempenho dos municípios do Território de Identidade Baixo Sul da Bahia em relação aos ODS 8, 11, 13 e 15. De modo geral, observa-se melhor desempenho no ODS 11, associado às cidades e comunidades sustentáveis, enquanto os ODS 8 e 15 apresentam maior fragilidade na maioria dos municípios analisados. Esse resultado sugere que, embora parte dos municípios apresente avanços em indicadores urbanos e comunitários, ainda persistem desafios relacionados ao desenvolvimento econômico sustentável e à conservação ambiental.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável nos municípios do Território de Identidade Baixo Sul da Bahia permitiu compreender diferentes dimensões do desenvolvimento sustentável regional, evidenciando avanços, limitações e desigualdades territoriais entre os municípios analisados. De modo geral, os resultados demonstraram melhor desempenho do ODS 11, relacionado às cidades e comunidades sustentáveis, enquanto os ODS 8 e 15 apresentaram os níveis mais críticos em grande parte do território.

Os resultados revelam que, embora alguns municípios apresentem avanços em indicadores urbanos e comunitários, persistem fragilidades importantes relacionadas ao crescimento econômico sustentável, à geração de trabalho e renda e, sobretudo, à proteção ambiental. Tal cenário evidencia que a sustentabilidade territorial não pode ser compreendida apenas a partir de indicadores urbanos, sendo necessário considerar também a proteção dos recursos naturais e dos ecossistemas terrestres.

A articulação entre os ODS 11 e 15 mostrou-se particularmente relevante para a compreensão da sustentabilidade no Baixo Sul. Em diversos municípios, observou-se desempenho elevado no ODS 11 acompanhado de baixos níveis no ODS 15, revelando contradições entre sustentabilidade urbana e proteção ambiental. Esse resultado reforça a perspectiva de Velásquez Muñoz (2012), segundo a qual a cidade sustentável deve buscar equilíbrio entre desenvolvimento econômico, ordenamento territorial e equilíbrio ambiental.

Outrossim, os baixos resultados observados no ODS 8 demonstram limitações na consolidação de estratégias de desenvolvimento econômico sustentável, aspecto especialmente relevante em um território marcado pelo potencial turístico e pela importância de seus recursos naturais. Nesse contexto, a proteção ambiental torna-se

elemento fundamental não apenas para a conservação dos ecossistemas, mas também para a manutenção das atividades econômicas associadas ao turismo e à valorização territorial.

Dessa forma, conclui-se que os municípios do Território de Identidade Baixo Sul da Bahia ainda enfrentam desafios significativos para alcançar um modelo de desenvolvimento efetivamente sustentável e integrado. Torna-se necessário fortalecer políticas públicas voltadas à proteção ambiental, ao planejamento territorial, à valorização sustentável do turismo e à promoção do desenvolvimento econômico aliado à proteção dos recursos naturais. Ressalta-se a importância da Agenda 2030 e dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável como instrumentos capazes de orientar análises territoriais e subsidiar estratégias de planejamento regional voltadas à construção de territórios mais sustentáveis, resilientes e socialmente equilibrados.

REFERÊNCIAS

BARBIERI, J. C. **Desenvolvimento e meio ambiente: as estratégias de mudanças da Agenda 21**. Petrópolis: Vozes, 1997.

BRAGA, B; et al. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

BRASIL. LEI Nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília, DF: **Diário Oficial da União**, 2001.

CRUZ, R. C. A. **Introdução à geografia do turismo**. 2. ed. São Paulo: Roca, 2003.

FERNANDEZ, F. N. Planejamento regional e o desafio da sustentabilidade. **Revista Política e Planejamento Regional (PPR)**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 81-102, jan./jun. 2014.

FRANCO, M. de A. R. **Planejamento ambiental para a cidade sustentável**. 2. ed. São Paulo: Annablume: FAPESP, 2001.

MEADOWS, D. H.; MEADOWS, D. L.; RANDERS, J; BEHRENS III, W. W. **Los límites del crecimiento**. México: Fondo de Cultura Económica, 1972.

GOMES, D; ZAMBAM, N. J. O desafio da sustentabilidade urbana. **Revista Brasileira de Direito**, Passo Fundo, v.7, n.1, p. 39-60, jan-jun 2011.

GROBER, U. Deep roots: a conceptual history of “sustainable development” (Nachhaltigkeit). Berlin: Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung, 2007. (WZB Discussion Paper). Disponível em: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/50254/1/535039824.pdf>. Acesso em: 07 de mai. 2026.

OLIVEIRA, L. D. Cinquenta anos das Conferências Ambientais da Organização das Nações Unidas: qual é o legado para as condições de saúde humana? **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 38(12), 4 p, 2022. DOI: 10.1590/0102-311XPT130522. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/Qvsy4fZPPGtxN73S5YfbwVv/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 07 de mai. 2026.