



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA FLORESTAL

ADRIANA ARAÚJO FERREIRA

**PADRÕES DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE *Cedrela odorata* EM ÁREAS DE  
OCORRÊNCIA DAS ÁRVORES GIGANTES**

**LARANJAL DO JARI**

**2026**

ADRIANA ARAÚJO FERREIRA

**PADRÕES DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE *Cedrela odorata* EM ÁREAS A DE  
OCORRÊNCIA DA ÁRVORES GIGANTES DA AMAZÔNIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
coordenação do curso Bacharelado em Engenharia  
Florestal como requisito avaliativo para obtenção  
do título de Bacharel em Engenharia Florestal.  
Orientador: Dr. Prof. Diego Armando Silva da  
Silva

**LARANJAL DO JARI**

**2026**

Biblioteca Institucional - IFAP  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

- F383p     Ferreira, Adriana Araújo  
            Padrões de distribuição espacial de *Cedrela odorata* em áreas de  
            ocorrências de árvores gigantes  
            / Adriana Araújo Ferreira - Laranjal do Jari, 2026.  
            29 f.: il.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Instituto Federal de  
            Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Campus Laranjal do Jari,  
            Bacharelado em Engenharia Florestal, 2026.
- Orientador: Dr. Diego Armando Silva da Silva.
1. Análise espacial. 2. Árvores Gigantes. 3. Função K de Ripley. I. Silva,  
            Dr. Diego Armando Silva da, orient. II. Título.

ADRIANA ARAÚJO FERREIRA

**PADRÕES DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE *Cedrela odorata* EM ÁREAS A DE OCORRÊNCIA DA ÁRVORES GIGANTES DA AMAZÔNIA**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado no Curso de Bacharelado em Engenharia Florestal do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá.

BANCA EXAMINADORA

Diego Armando Silva da Silva  
Prof. do Ensino Básico,  
Técnico e Tecnológico  
Mat. Sipe 424702

Orientador(a) – Dr. Diego Armando Silva da Silva

*Carla Samara Campelo de Sousa*

Membro 1- Ma. Carla Samara Campelo de Sousa

*Jorge Luis Reategui Betancourt*

Membro 2- Dr. Jorge Luis Reategui Betancourt

*Anderson Pedro Bernadina Batista*

Membro 3- Anderson Pedro Bernadina Batista

Data de aprovação: 30 / 01 / 2026

Conceito: 8,66

Aos meus avós, Dona Preta e Seu Timon,  
primeiros a cultivar as sementes na terra e na área  
que hoje escolhi como caminho.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Antônia e Aldo, minha eterna gratidão por todo amor, cuidado e incentivo. Vocês sempre acreditaram em mim, mesmo quando eu mesma duvidei, e foram minha base em todos os momentos. À minha tia Lena, pelo carinho, apoio e palavras de incentivo que me fortaleceram ao longo dessa jornada, me acompanhando e apoiando em cada passo, enfim, a todos os meus familiares que fizeram parte de todo isso, aos meus irmãos, Adriano e Alcione, pelo companheirismo, apoio e por sempre estarem ao meu lado, tornando essa caminhada mais leve e cheia de amor.

Ao grupo de pesquisa CEEMA, pela oportunidade de aprendizado, pelas trocas de conhecimento e pelo crescimento acadêmico e pessoal proporcionado ao longo desse trabalho, especialmente a meus colegas Elisama, Manuela e Jussian. Aos meus companheiros de turma, pela amizade, parceria e por compartilharem comigo cada desafio e conquista durante o curso. Aos comunitários da Comunidade do Iratapuru, por toda inspiração e compartilhamento de conhecimentos, confirmando definitivamente a área que escolhi.

Aos meus amigos, Isabela, Moisés, Nadiane, Patrick, Rangel, Raylsson, Vitor pela amizade sincera, conselhos, apoio e incentivo nos momentos mais difíceis. Ao meu namorado Clélio, pela compreensão e motivação constante, sempre me encorajando a seguir em frente.

Ao meu orientador, Diego Armando, minha profunda admiração e gratidão. Sua dedicação, profissionalismo e paixão pela pesquisa foram uma grande inspiração para mim. Obrigada pela paciência, orientação, confiança e por acreditar no meu potencial, muitas vezes mais do que eu mesmo. Aos meus professores, que sempre viram potencial em mim, e nos momentos mais difíceis que pensei em desistir, me deram força e inspiração para prosseguir no caminho, em especial a Prof.<sup>a</sup> Jamily e Prof.<sup>o</sup> Nicácio que juntamente com o Prof.<sup>o</sup> Diego me acompanharam desde o meu Ensino Médio e técnico e aos Professores Anderson Pedro, Bruna, Sidney, Juliana, Fábio e tantos outros, todos foram essenciais na profissional que estou me formando. À instituição IFAP, Campus Laranjal do Jari, pela formação acadêmica, estrutura e oportunidades que possibilitaram a realização deste trabalho. Ao CNPq, pela concessão da bolsa de Iniciação Científica, que foi fundamental para o desenvolvimento da pesquisa e para minha formação como pesquisadora.

“Até a maior árvore da Amazônia um dia já foi uma  
pequena semente”

Diego Silva, 2024

## RESUMO

A Floresta Amazônica abriga uma das maiores biodiversidades do planeta, exercendo papel fundamental no equilíbrio climático global e na conservação de recursos genéticos. Entre as espécies arbóreas de importância ecológica e econômica destaca-se *Cedrela odorata* L., cuja dinâmica populacional e padrões espaciais ainda são pouco compreendidos em áreas de florestas maduras associadas à ocorrência de árvores de grande porte. Este trabalho teve como objetivo avaliar os padrões de distribuição espacial de *Cedrela odorata* em áreas da Amazônia conhecidas pela ocorrência de árvores gigantes, especificamente na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Rio Iratapuru, no estado do Amapá, e no Parque Estadual de Proteção Ambiental das Árvores Gigantes da Amazônia, no estado do Pará, por meio de inventário florestal, georreferenciamento dos indivíduos com GPS de alta precisão e análises espaciais utilizando a Função K de Ripley, com envelopes de confiança construídos a partir de simulações de Monte Carlo. Nas áreas de estudo, foram registrados 34 indivíduos na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Iratapuru e 24 no Parque das Árvores Gigantes da Amazônia, e os resultados indicaram um padrão espacial agregado, com desvios significativos em relação à Completa Aleatoriedade Espacial, o que evidencia a formação de agrupamentos em diferentes escalas de distância. Em contraste, a análise da correlação de marcas, considerando as variáveis de DAP, altura e área basal, não revelou autocorrelação espacial significativa, indicando que, apesar da agregação na ocorrência dos indivíduos, suas relações estruturais não dependem diretamente da proximidade espacial. Esses resultados sugerem que a distribuição espacial do cedro-vermelho está associada a fatores ambientais e ecológicos, enquanto a variabilidade estrutural reflete a influência de condições locais e do histórico de perturbações naturais, contribuindo para o entendimento da ecologia da espécie e fornecendo subsídios relevantes para estratégias de manejo e conservação na Amazônia. O estudo contribui para o entendimento da ecologia espacial de espécies arbóreas de interesse na Amazônia e amplia o conhecimento sobre a organização espacial da floresta em áreas com árvores gigantes.

Palavras-chave: ecologia espacial; função k de Ripley; árvores gigantes; conservação florestal.

## ABSTRACT

The Amazon Forest harbors one of the highest levels of biodiversity on the planet and plays a fundamental role in global climate regulation and the conservation of genetic resources. Among tree species of ecological and economic importance, *Cedrela odorata* L. stands out, whose population dynamics and spatial patterns remain poorly understood in mature forest areas associated with the occurrence of large trees. This study aimed to evaluate the spatial distribution patterns of *Cedrela odorata* in Amazonian areas known for the occurrence of giant trees, specifically in the Rio Iratapuru Sustainable Development Reserve, in the state of Amapá, and in the Amazon Giant Trees State Environmental Protection Park, in the state of Pará, Brazil. The study was conducted through forest inventory, georeferencing of individuals using high-precision GPS, and spatial analyses employing Ripley's K function, with confidence envelopes generated from Monte Carlo simulations. A total of 34 individuals were recorded in the Rio Iratapuru Sustainable Development Reserve and 24 in the Amazon Giant Trees Park. The results indicated an aggregated spatial pattern, with significant deviations from Complete Spatial Randomness, evidencing the formation of clusters at different distance scales. In contrast, the mark correlation analysis, considering diameter at breast height (DBH), height, and basal area, revealed no significant spatial autocorrelation, indicating that despite the aggregated occurrence of individuals, their structural relationships do not directly depend on spatial proximity. These findings suggest that the spatial distribution of *Cedrela odorata* is associated with environmental and ecological factors, whereas structural variability reflects the influence of local conditions and the history of natural disturbances. The study contributes to a better understanding of the spatial ecology of tree species of interest in the Amazon and expands knowledge on forest spatial organization in areas characterized by the presence of giant trees.

Keywords: spatial ecology; Ripley's k function; giant trees; forest conservation.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>Revisão de literatura .....</b>	<b>13</b>
2.1.1	Floresta Amazônica e ocorrência de árvores gigantes .....	13
2.1.2	<i>Cedrela odorata</i> : ecologia, exploração e lacunas de conhecimento.....	14
2.1.3	Distribuição espacial de espécies arbóreas na Amazônia: avanços e limitações.....	15
<b>2.2</b>	<b>Materiais e métodos .....</b>	<b>17</b>
2.2.1	Área de estudo .....	17
2.2.2	Coleta de Dados.....	17
2.2.3	Análise espacial pontual do Cedro-vermelho .....	18
2.2.4	Estrutura da vegetação × distribuição espacial das espécies .....	20
<b>2.3</b>	<b>Resultado e discussão.....</b>	<b>20</b>
2.3.1	Padrão de distribuição espacial de <i>Cedrela odorata</i> .....	20
2.3.2	Estrutura populacional e correlação espacial das marcas .....	22
2.3.3	Implicações ecológicas e para a conservação .....	25
	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>27</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>28</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A Floresta Amazônica constitui o maior bioma tropical contínuo do planeta, sendo o Brasil responsável por cerca de 60% dessa área (INPE, 2022). Reconhecida como um dos ecossistemas mais biodiversos do mundo, a Amazônia abriga mais de 16 mil espécies arbóreas e exerce funções ecológicas essenciais, como a regulação do clima global, a manutenção do ciclo hidrológico e o armazenamento de grandes estoques de carbono.

Apesar de sua importância ecológica e social, a Amazônia vem sofrendo intensas pressões antrópicas, como desmatamento, exploração madeireira ilegal, expansão agropecuária e mineração ilegal. Esses processos comprometem a integridade dos ecossistemas florestais e ameaçam a sobrevivência de espécies arbóreas de elevado valor ecológico e econômico. Entre essas espécies destaca-se o cedro-vermelho (*Cedrela odorata* L.), pertencente à família Meliaceae, amplamente distribuído nas florestas tropicais das Américas e historicamente valorizado por sua madeira leve, durável e de alta qualidade. Na Amazônia, a exploração predatória e a perda de habitat resultaram em forte declínio populacional da espécie, que atualmente é classificada como vulnerável pela União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) e listada na Convenção sobre o Comércio Internacional de Espécies Ameaçadas de Fauna e Flora Silvestres (CITES) (Grogan *et al.*, 2010; Pennington & Muellner, 2010).

Nas últimas décadas, avanços tecnológicos, especialmente o uso do sensoriamento remoto, têm revelado novas dimensões da estrutura florestal amazônica. Pesquisas recentes identificaram a presença de árvores gigantes na Amazônia, com alturas superiores a 80 metros, localizadas principalmente em áreas remotas de floresta primária ainda pouco impactadas por atividades humanas (Gorgens *et al.*, 2021; Carvalho *et al.*, 2023). Essas árvores, como por exemplo a *Dinizia excelsa*, ocorrem em ambientes caracterizados por condições edafoclimáticas específicas, como solos argilosos, baixa incidência de descargas elétricas atmosféricas e relativa estabilidade climática. Esses ambientes excepcionais levantam a hipótese de que influenciem a distribuição espacial de outras espécies arbóreas associadas, como por exemplo da *Cedrela odorata*, favorecendo o crescimento extremo e a longevidade das árvores.

Além de sua relevância econômica, *Cedrela odorata* apresenta elevado interesse científico por formar anéis de crescimento anuais bem definidos em regiões tropicais, inclusive na Amazônia. Dessa forma, o cedro-vermelho constitui uma espécie-chave para pesquisas em dendroecologia e a compreensão dos impactos das mudanças ambientais sobre a dinâmica das florestas amazônicas. A conservação da espécie, portanto, depende do aprofundamento do conhecimento sobre sua ecologia, estrutura populacional e padrões de distribuição espacial.

Apesar do avanço das tecnologias de sensoriamento remoto e do crescente número de estudos sobre a biodiversidade amazônica, ainda são escassas as pesquisas que analisam a distribuição espacial de espécies arbóreas economicamente valiosas, como *Cedrela odorata*, em áreas ambientalmente singulares, como aquelas onde ocorrem árvores gigantes. Considerando que o cedro-vermelho apresenta elevado potencial para estudos dendroclimáticos e que essas áreas representam ambientes edafoclimáticos diferenciados, surge a necessidade de investigar como a espécie se distribui espacialmente nesses contextos e quais fatores ambientais influenciam tal distribuição.

Entretanto, estudos recentes apontam para significativas lacunas no conhecimento científico sobre a Amazônia. Carvalho *et al.* (2023) destacam que cerca de 40% da área do bioma apresenta baixíssima probabilidade de investigação científica, enquanto aproximadamente 15% dessas áreas pouco estudadas estão sob risco de sofrer severas alterações até 2050 em decorrência das mudanças climáticas e de pressões antrópicas, esse cenário evidencia a urgência de pesquisas que integrem dados ecológicos, espaciais e tecnológicos, subsidiando políticas públicas e estratégias de conservação voltadas ao desenvolvimento florestal sustentável da Amazônia. A relevância ecológica das árvores de grande porte está associada a múltiplas funções ecossistêmicas, incluindo o armazenamento de biomassa, a produtividade primária, a ciclagem de nutrientes, a produção de serrapilheira, o acúmulo de carbono orgânico no solo e a estabilidade estrutural da floresta. Nesse contexto, áreas com ocorrência de árvores gigantes podem ser consideradas refúgios ecológicos de alta produtividade e estabilidade ambiental, desempenhando papel estratégico na conservação da biodiversidade amazônica (Lindenmayer *et al.*, 2014; Condé *et al.*, 2019).

O conhecimento da distribuição espacial dos indivíduos de uma espécie constitui um dos primeiros e mais importantes passos para a compreensão da dinâmica das populações vegetais (Silva *et al.*, 2012). Os indivíduos podem apresentar padrões de distribuição aleatória, agregada ou

uniforme, os quais refletem a interação entre fatores bióticos e abióticos (Dale *et al.*, 2002; Townsend *et al.*, 2010). Diversos fatores influenciam os padrões espaciais das espécies arbóreas, incluindo variáveis abióticas, como tipo de solo, disponibilidade hídrica, altitude e intensidade luminosa, e fatores bióticos, como polinizadores, dispersores de sementes e competição interespecífica (Legendre & Fortin, 1989; Leite, 2001; Budke *et al.*, 2004; Silva *et al.*, 2013). Na Amazônia, compreender esses padrões é fundamental para o entendimento da estrutura e do funcionamento dos ecossistemas florestais, além de subsidiar práticas de manejo florestal sustentável, exploração seletiva, restauração ecológica e monitoramento da biodiversidade (Pereira *et al.*, 2006).

Diante desse cenário, este trabalho teve como objetivo analisar o padrão de distribuição espacial de *Cedrela odorata* em áreas de ocorrência de árvores gigantes na Amazônia Oriental, buscando mapear os indivíduos da espécie, identificar seu padrão espacial por meio da Função K de Ripley e avaliar a relação entre a estrutura populacional considerando diâmetro à altura do peito (DAP), altura e área basal e a organização espacial dos indivíduos. Ao integrar informações ecológicas, espaciais e tecnológicas, o estudo pretende contribuir de forma significativa para o entendimento da ecologia do cedro-vermelho, ampliando o conhecimento sobre seus padrões de ocorrência, regeneração e estrutura populacional em ambientes florestais diferenciados.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 Revisão de literatura**

#### **2.1.1 Floresta Amazônica e ocorrência de árvores gigantes**

A Floresta Amazônica é amplamente reconhecida como o maior bioma tropical contínuo do planeta e um dos sistemas ecológicos mais complexos da Terra, desempenhando papel central na regulação climática global e nos ciclos hidrológicos e biogeoquímicos (Davidson *et al.*, 2012). Além de sua importância como reservatório de biodiversidade, a Amazônia atua como um dos principais sumidouros de carbono atmosférico, influenciando diretamente o balanço energético da Terra e os padrões climáticos regionais e globais (Pan *et al.*, 2011; Malhi *et al.*, 2015).

Tradicionalmente, grande parte das pesquisas na região concentrou-se na caracterização de padrões médios de estrutura florestal, diversidade e biomassa, o que contribuiu para a construção

de modelos generalistas sobre o funcionamento da floresta amazônica. No entanto, essa abordagem tende a obscurecer a existência de ambientes extremos ou incomuns que coexistem no interior do bioma e que podem exercer papel desproporcional na dinâmica ecológica e no armazenamento de carbono.

Nesse contexto, estudos recentes vêm revelando a ocorrência de árvores gigantes na Amazônia, com indivíduos ultrapassando 70–80 metros de altura, particularmente em áreas pouco perturbadas e associadas a condições edafoclimáticas específicas, como solos profundos e argilosos, elevada disponibilidade hídrica, baixa incidência de descargas elétricas e maior estabilidade climática ao longo do tempo (Gorgens *et al.*, 2021; Feldpausch *et al.*, 2012). A presença desses indivíduos desafia paradigmas clássicos que limitavam o crescimento arbóreo máximo na Amazônia e evidencia a heterogeneidade estrutural do bioma.

Além de representarem estoques excepcionais de biomassa e carbono, as árvores gigantes exercem forte influência sobre a estrutura vertical da floresta, a disponibilidade de luz no sub-bosque, os padrões de deposição de serapilheira e a dinâmica microclimática local (Lutz *et al.*, 2018). Esses efeitos podem repercutir diretamente na regeneração, na composição florística e na organização espacial das espécies arbóreas associadas, configurando ambientes potencialmente mais estáveis e produtivos.

Apesar desses avanços, a maioria dos estudos ainda se concentra na descrição da altura, biomassa e distribuição geográfica dessas árvores, com pouca atenção às interações ecológicas e aos efeitos indiretos desses ambientes excepcionais sobre a estrutura populacional e a organização espacial das comunidades arbóreas. Assim, permanece limitada a compreensão do papel dessas áreas como possíveis refúgios ecológicos, zonas de alta resiliência ou hotspots de espécies de elevado valor ecológico e econômico.

### 2.1.2 *Cedrela odorata*: ecologia, exploração e lacunas de conhecimento

O cedro-vermelho (*Cedrela odorata* L.) é uma espécie amplamente distribuída nas florestas tropicais da América Latina e reconhecida por seu elevado valor econômico, em função das propriedades físicas, mecânicas e tecnológicas de sua madeira, amplamente utilizada na indústria moveleira e naval (Pennington & Muellner, 2010). Na Amazônia brasileira, a espécie

figura historicamente entre as mais exploradas comercialmente, o que contribuiu para a redução de suas populações naturais.

Do ponto de vista ecológico, *C. odorata* é classificada como espécie heliófila e semidecídua, com regeneração favorecida em clareiras naturais, áreas perturbadas e ambientes com maior disponibilidade de luz (Mayhew & Newton, 1998; Grogan *et al.*, 2010). Seu crescimento relativamente rápido, aliado à formação de anéis de crescimento anuais bem definidos, confere à espécie elevado potencial para estudos dendroecológicos e dendroclimatológicos, especialmente em regiões tropicais onde a sazonalidade climática é marcada. Apesar do conhecimento consolidado sobre aspectos silviculturais, crescimento e respostas a distúrbios, a literatura sobre *C. odorata* apresenta forte viés voltado aos impactos da exploração madeireira e à regeneração pós-distúrbio. Em contrapartida, há escassez de estudos que abordem a organização espacial de suas populações naturais, particularmente em florestas primárias e em contextos ambientais diferenciados.

A classificação da espécie como vulnerável pela IUCN, bem como sua inclusão no Apêndice III da CITES, evidencia o risco de declínio populacional e reforça a necessidade de abordagens que ultrapassem análises pontuais de crescimento e regeneração. A compreensão dos padrões espaciais, da estrutura populacional e da relação da espécie com variáveis ambientais é fundamental para avaliar sua resiliência, capacidade de persistência em longo prazo e potencial de manejo sustentável. Adicionalmente, poucos estudos integram informações dendroecológicas com análises espacialmente explícitas em escala de paisagem, o que limita a compreensão integrada entre crescimento, estrutura populacional e organização espacial da espécie. Essa lacuna é particularmente relevante em áreas amazônicas pouco investigadas e ambientalmente singulares, como aquelas associadas à ocorrência de árvores gigantes.

### 2.1.3 Distribuição espacial de espécies arbóreas na Amazônia: avanços e limitações

A distribuição espacial das espécies arbóreas é resultado da interação entre processos ecológicos, como dispersão de sementes, recrutamento, competição intra e interespecífica, mortalidade e distúrbios naturais, além de condicionantes ambientais como clima, solo e topografia (Condit *et al.*, 2002; Seidler & Plotkin, 2006). Em florestas tropicais, esses processos atuam de forma não linear e em múltiplas escalas espaciais, resultando em padrões complexos de agregação,

aleatoriedade ou regularidade. Estudos conduzidos na Amazônia indicam que padrões espaciais agregados são frequentes em escalas locais, frequentemente associados à dispersão limitada de sementes, à regeneração próxima às árvores-matrizes e à heterogeneidade ambiental (Hubbell, 2001). Ferramentas da estatística espacial, como a Função K de Ripley e suas variações, têm sido amplamente utilizadas para identificar e quantificar esses padrões, permitindo inferências sobre os processos ecológicos subjacentes.

Trabalhos como o de Silva *et al.* (2014) representam avanços metodológicos ao empregar análises espacialmente explícitas para múltiplas espécies, demonstrando a influência de fatores edáficos e topográficos na organização espacial das populações. De forma semelhante, Batista *et al.* (2019) evidenciaram que os padrões espaciais variam conforme o contexto ambiental, revelando comportamentos distintos entre florestas de terra-firme, áreas alagáveis e zonas de transição Amazônia-Cerrado.

Entretanto, apesar desses avanços, a literatura ainda apresenta limitações importantes. Muitos estudos analisam padrões espaciais de forma dissociada de atributos estruturais das populações, como classes diamétricas, estágios ontogenéticos e relações com o dossel. Além disso, ambientes excepcionais, como áreas associadas à ocorrência de árvores gigantes, raramente são considerados como unidades analíticas distintas, o que restringe a compreensão dos processos ecológicos que operam nesses contextos. Espécies de elevado valor econômico e conservacionista, como *Cedrela odorata*, permanecem sub-representadas em análises espacialmente explícitas na Amazônia, especialmente em estudos que integrem estrutura populacional, variáveis ambientais e contexto paisagístico. Dessa forma, evidencia-se a necessidade de abordagens integradas que considerem simultaneamente a organização espacial, os atributos estruturais das populações e as particularidades ambientais.

A investigação da distribuição espacial de *C. odorata* em áreas associadas à ocorrência de árvores gigantes contribui para preencher lacunas relevantes da literatura, oferecendo uma abordagem inovadora para compreender como ambientes de elevada estabilidade e produtividade ecológica influenciam a organização, a resiliência e a persistência das populações arbóreas na Floresta Amazônica.

## 2.2 *Materiais e métodos*

### 2.2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado em duas unidades de conservação localizadas na Amazônia Oriental, reconhecidas pela ocorrência de árvores de grande porte: a Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS) do Rio Iratapuru, no estado do Amapá, e o Parque Estadual de Proteção Ambiental das Árvores Gigantes da Amazônia (PAGAM), no estado do Pará.

A RDS do Rio Iratapuru possui aproximadamente 806.000 ha e está situada na região sul do estado do Amapá, abrangendo áreas dos municípios de Laranjal do Jari, Mazagão e Pedra Branca do Amapari. A unidade integra o Corredor de Biodiversidade do Amapá, compondo um mosaico contínuo de áreas protegidas. A região apresenta relevo ondulado a suavemente ondulado, com predomínio de solos argilosos bem drenados e altitudes variando entre 50 e 200 m. O clima é equatorial úmido, com precipitação anual superior a 2.500 mm, concentrada entre janeiro e junho, e temperaturas médias elevadas ao longo do ano, resultando em baixa amplitude térmica e elevada estabilidade climática (INMET, 2023).

O PAGAM localiza-se no município de Almeirim, estado do Pará, e possui cerca de 560.000 ha. A unidade foi criada com o objetivo de preservar ecossistemas florestais de elevada relevância ecológica, com destaque para a proteção de árvores de grande porte, incluindo indivíduos com alturas superiores a 70 m. Assim como a RDS do Rio Iratapuru, a área caracteriza-se por extensos trechos de floresta primária bem conservada, com baixa interferência antrópica.

Em ambas as áreas de estudo, a vegetação predominante é a floresta ombrófila densa, marcada por elevada diversidade florística e estrutura vertical complexa. A presença de árvores gigantes sugere a ocorrência de microambientes associados a solos profundos, boa disponibilidade hídrica e condições climáticas relativamente estáveis. Esses fatores ambientais podem favorecer não apenas o crescimento extremo de algumas espécies arbóreas, mas também a ocorrência e manutenção de populações de espécies de alto valor ecológico e econômico, como *Cedrela odorata*, registrada nas áreas por meio de inventários florestais e observações de campo.

### 2.2.2 Coleta de Dados

Os dados foram obtidos durante expedições científicas realizadas no âmbito do monitoramento das árvores gigantes da Amazônia, coordenadas pelo grupo de pesquisa CEEMA (Centro de Estudos em Ecologia e Manejo na Amazônia). Nas áreas de estudo, encontram-se

instaladas parcelas permanentes seguindo o protocolo RAINFOR, adaptado por Joly *et al.* (2012), em formato de conglomerados compostos por quatro subparcelas, utilizados como base para o monitoramento florestal da região.

Adicionalmente, foi realizado um inventário censitário de *Cedrela odorata* no entorno dos sítios de ocorrência das árvores gigantes, todos os indivíduos identificados foram georreferenciados, mensurados quanto ao DAP e à altura total, e marcados com plaquetas numeradas para fins de identificação e monitoramento futuro, seguindo protocolos técnicos de inventário florestal (Silva *et al.*, 2016).

A determinação do tamanho da área amostrada foi definida a partir do polígono convexo mínimo (*convex hull*) que envolve todos os indivíduos amostrados, procedimento amplamente utilizado em análises de padrões pontuais para delimitar a região efetivamente ocupada pelos pontos de ocorrência. Essa abordagem permite uma representação objetiva da área de estudo, reduzindo a inclusão de áreas não amostradas e minimizando efeitos de borda nos cálculos espaciais. Para garantir coerência métrica na estimativa de distâncias, áreas e funções espaciais, as coordenadas geográficas foram previamente projetadas para o sistema UTM, no qual as unidades são expressas em metros. A utilização do *convex hull* associado a coordenadas projetadas assegura maior robustez e precisão na aplicação de métodos de análise espacial, como as Funções K e L de Ripley (Diggle, 2003; Baddeley; Rubak; Turner, 2015).

A identificação botânica foi realizada em campo com o auxílio de guias florísticos e, quando necessário, confirmada por especialistas a partir da coleta de material botânico.

### 2.2.3 Análise espacial pontual do Cedro-vermelho

Para verificar o padrão de distribuição espacial de *Cedrela odorata*, foi aplicada a Função K de Ripley (Ripley, 1977), amplamente utilizada em estudos de ecologia espacial para a análise de padrões pontuais. A análise da Completa Aleatoriedade Espacial (CAE) constitui o primeiro passo na investigação de padrões espaciais, uma vez que, se a hipótese de aleatoriedade for aceita, não há necessidade de se considerar modelos espaciais mais complexos, como aqueles que incorporam processos de interação entre os indivíduos (Diggle, 2003). Nesse caso, o padrão observado pode ser adequadamente descrito por um modelo de Poisson homogêneo, não sendo possível identificar indicadores relevantes de atração ou repulsão espacial entre os pontos.

Entretanto, como a interpretação direta da Função K pode ser dificultada pelo caráter cumulativo da função à medida que a distância aumenta, adotou-se, de forma complementar, um

estimador linear centrado em zero, denominado Função L. Essa transformação da Função K permite uma interpretação mais direta dos desvios em relação à hipótese de CAE, uma vez que valores positivos de  $L(r) - r$  indicam padrão agregado, valores próximos de zero indicam aleatoriedade espacial e valores negativos indicam padrão regular ou de repulsão entre os indivíduos (Ripley, 1977; Wiegand; Moloney, 2014). Sendo os resultados apresentados na forma  $L(r) - r$ , de modo a facilitar a visualização gráfica e a interpretação da intensidade e da escala dos padrões espaciais observados. Dessa forma, a utilização conjunta das Funções K e L possibilitou uma avaliação robusta do padrão de distribuição espacial de *Cedrela odorata* nas áreas de estudo, permitindo identificar desvios significativos da aleatoriedade espacial completa.

As análises foram realizadas a partir de 34 indivíduos na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Iratapuru e 24 no Parque das Árvores Gigantes da Amazônia de *Cedrela odorata*, georreferenciados por meio de coordenadas planas no sistema de referência UTM, obtidas pela projeção das coordenadas geográficas originais (WGS84), de modo a garantir unidades métricas adequadas para o cálculo das distâncias espaciais. A área amostrada foi definida com base na janela espacial (*window*) utilizada nas análises de padrão pontual, construída a partir do polígono convexo mínimo que engloba todos os indivíduos amostrados. A área dessa janela foi calculada em metros quadrados e posteriormente convertida para hectares, totalizando 263,06ha para o PAGAM e 330ha na RDSI, valor considerado como a área amostrada efetiva do estudo.

O raio máximo de análise ( $h$ ), correspondente à distância máxima considerada na Função K, foi definido com base nas dimensões da janela espacial, adotando-se aproximadamente um quarto da menor dimensão da área amostrada, conforme recomendações de Ripley (1977) e Diggle (2003), com o objetivo de minimizar os efeitos de borda. Esse procedimento resultou em um raio máximo de aproximadamente 500 m para área do PAGAM e 400 m para a RDSI, considerado adequado para a escala espacial do estudo.

A hipótese de CAE foi testada por meio de envelopes de confiança construídos a partir de simulações de Monte Carlo para a Função K. Foram realizadas 499 simulações, gerando envelopes a partir dos valores máximos e mínimos da estimativa da função sob a hipótese nula. O nível de significância adotado foi  $\alpha = 1/(s + 1)$ , em que  $s$  corresponde ao número de simulações (Diggle, 2003). A avaliação dos resultados foi realizada de forma gráfica, permitindo a visualização dos desvios da curva observada em relação aos envelopes de confiança e, conseqüentemente, a identificação de padrões agregados, regulares ou aleatórios em diferentes escalas espaciais.

#### 2.2.4 Estrutura da vegetação × distribuição espacial das espécies

A dependência espacial entre as características estruturais das árvores foi avaliada por meio da função de correlação de marcas (*mark correlation function*), aplicada ao padrão pontual de *Cedrela odorata*, considerando os 24 indivíduos do PAGAM e 34 da RDSI. Nessa abordagem, cada indivíduo foi tratado como um ponto marcado, sendo as variáveis diâmetro à altura do peito (DAP), altura total e área basal consideradas separadamente como marcas contínuas. Essa função permite avaliar se indivíduos espacialmente próximos apresentam valores de marcas mais semelhantes ou mais distintos do que o esperado sob um modelo nulo de independência entre as marcas e suas posições no espaço.

Para cada variável estrutural, a curva observada da função de correlação de marcas,  $k(r)$ , foi comparada a envelopes de confiança gerados por simulações de rotulagem aleatória (*random labeling*), nas quais os valores das marcas são permutados entre as posições espaciais dos pontos, mantendo-se a configuração espacial fixa. Valores de  $k(r)$  superiores a 1 indicam correlação positiva (semelhança entre indivíduos próximos), valores inferiores a 1 indicam correlação negativa (divergência), enquanto valores próximos de 1 indicam independência entre as marcas e o padrão espacial. Essa abordagem possibilitou verificar, de forma robusta, se o tamanho e o vigor das árvores apresentam algum grau de organização espacial em diferentes escalas de distância.

A análise da relação entre a estrutura da vegetação e os padrões de distribuição espacial é fundamental para a compreensão dos processos ecológicos que moldam a organização das comunidades florestais. Variáveis estruturais como DAP, altura e área basal refletem processos de crescimento, competição, regeneração e heterogeneidade ambiental, podendo influenciar e ser influenciadas pelos padrões espaciais observados (Condit *et al.*, 2000; Wiegand *et al.*, 2017). Dessa forma, a aplicação da correlação de marcas permitiu integrar a dimensão estrutural da vegetação à análise espacial, contribuindo para uma interpretação mais abrangente da ecologia espacial do cedro-vermelho na área de estudo.

### 2.3 Resultado e discussão

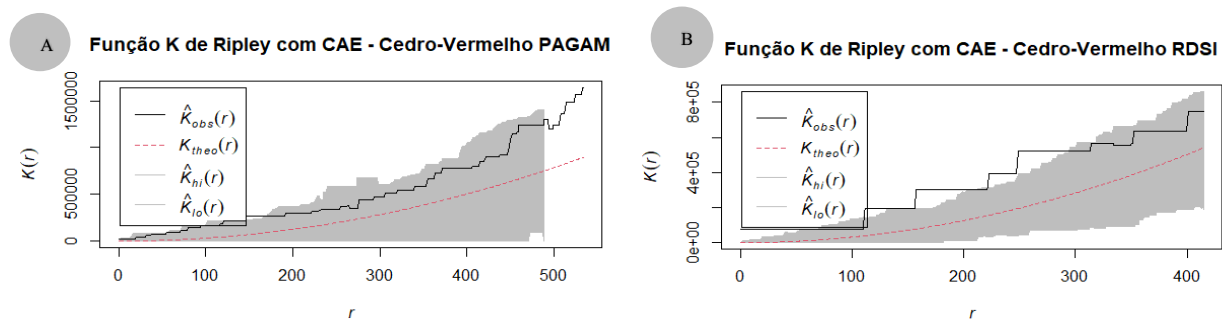
#### 2.3.1 Padrão de distribuição espacial de *Cedrela odorata*

A análise da Função K de Ripley indicou que os indivíduos de *Cedrela odorata* não apresentam distribuição espacial aleatória nas áreas de estudo, exibindo um padrão claramente agregado (Figura 1). Tanto na área do Parque Estadual de Proteção Ambiental das Árvores

Gigantes da Amazônia (PAGAM) quanto na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Rio Iratapuru (RDSI), a curva da Função K manteve-se consistentemente acima da curva teórica de Completa Aleatoriedade Espacial (CAE) ao longo das distâncias analisadas, evidenciando a formação de agrupamentos em múltiplas escalas espaciais.

Os envelopes de confiança obtidos por simulações de Monte Carlo confirmaram a significância estatística desse padrão, uma vez que, em ambas as áreas, a curva observada ultrapassou o limite superior do envelope em grande parte do intervalo de distâncias. Entretanto, observam-se diferenças na intensidade e na escala da agregação entre as áreas, no PAGAM, a agregação mostrou-se mais pronunciada e persistente em escalas espaciais maiores, enquanto na RDSI o padrão agregado foi mais evidente em escalas curtas e intermediárias, sugerindo influência diferenciada de fatores ambientais e históricos de uso do território sobre a organização espacial da espécie.

Figura 1- (A) Função K de Ripley aplicada no Parque das Árvores Gigantes da Amazônia, (B) função aplicada na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Rio Iratapuru.

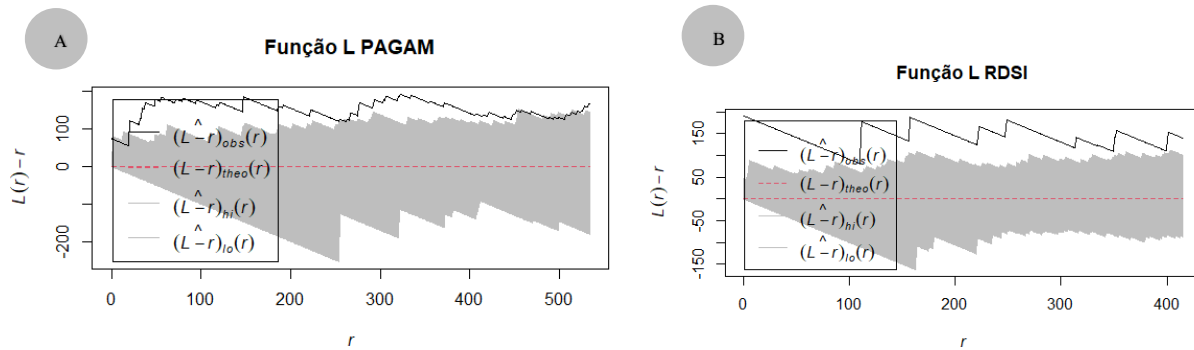


Fonte: Autores, 2025.

A análise complementar por meio da Função L ( $L(r) - r$ ) (Figura 2), complementou os resultados obtidos pela Função K e permitiu uma interpretação mais direta do padrão espacial. Em ambas as áreas, a curva observada da Função L permaneceu predominantemente acima da linha de referência teórica, indicando agregação significativa dos indivíduos. Na PAGAM, valores positivos mais elevados de  $L(r) - r$  em escalas médias e longas reforçam a existência de agrupamentos mais extensos e estruturados, compatíveis com ambientes florestais maduros e com maior heterogeneidade ambiental. Na RDSI, embora a agregação também seja evidente, a aproximação gradual da curva em relação à linha teórica em maiores distâncias sugere uma redução da

intensidade do padrão agregado, possivelmente associada a processos de regeneração mais localizados.

Figura 2 - (A) Função L aplicada à análise do padrão espacial de *Cedrela odorata* no Parque das Árvores Gigantes, (B) Função L na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Rio Iratapuru.



Fonte: Autores, 2025.

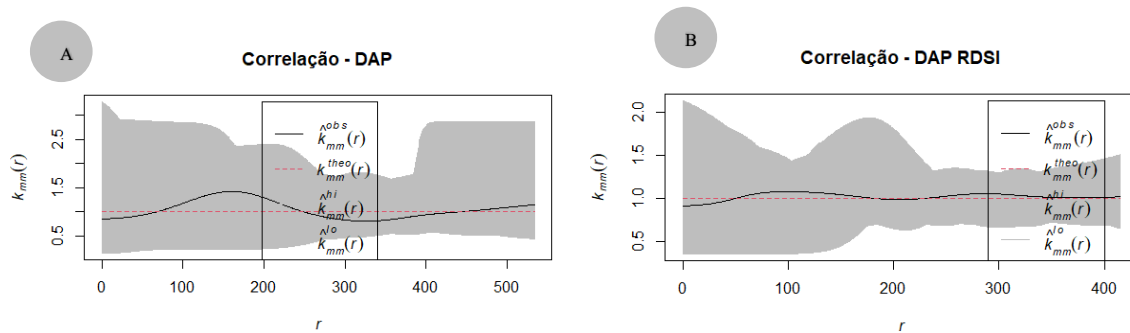
Padrões agregados são amplamente registrados em populações arbóreas tropicais e geralmente estão associados a mecanismos ecológicos como dispersão limitada de sementes, estabelecimento preferencial em microambientes favoráveis e regeneração concentrada em clareiras naturais (Condit *et al.*, 2000; Wiegand & Moloney, 2014). No caso de *C. odorata*, espécie de dispersão predominantemente anemocórica, a ocorrência de agrupamentos pode estar relacionada tanto ao alcance espacial restrito da dispersão quanto à heterogeneidade edáfica e microclimática característica das áreas com ocorrência de árvores gigantes. Assim, a integração das análises das Funções K e L evidencia que, embora ambas as áreas apresentem padrão agregado, a intensidade e a escala da agregação diferem entre PAGAM e RDSI, refletindo a influência de fatores ambientais e estruturais específicos de cada área sobre a dinâmica espacial da espécie.

### 2.3.2 Estrutura populacional e correlação espacial das marcas

A análise da função de correlação de marcas baseada no diâmetro à altura do peito (DAP) revelou variações sutis ao longo do gradiente de distâncias espaciais em ambas as áreas de estudo (Figura 3). Na área do PAGAM, observou-se que, em escalas curtas de distância (até aproximadamente 150 m), a curva apresentou valores ligeiramente superiores a 1, sugerindo uma tendência a maior similaridade nos DAPs entre indivíduos espacialmente próximos. Contudo, essa

variação permaneceu próxima ou integralmente contida no envelope de simulação, não configurando autocorrelação espacial estatisticamente significativa. Em distâncias intermediárias, entre cerca de 150 m e 300 m, a função situou-se discretamente abaixo do valor de referência, indicando uma fraca tendência à divergência nos tamanhos dos indivíduos, ainda compatível com o modelo nulo de independência espacial. Na RDSI, o comportamento da função foi semelhante, com a curva observada oscilando em torno do valor esperado e permanecendo dentro do envelope de confiança ao longo de praticamente todas as escalas analisadas, indicando ausência de dependência espacial significativa do DAP. Esses resultados indicam que, apesar do padrão agregado de ocorrência da espécie nas duas áreas, o diâmetro dos indivíduos não apresenta associação consistente com a proximidade espacial.

Figura 3 - (A) Correlação Dap do Parque Ambiental da Árvores Gigantes da Amazônia, (B) Correlação Dap da Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Rio Iratapuru.

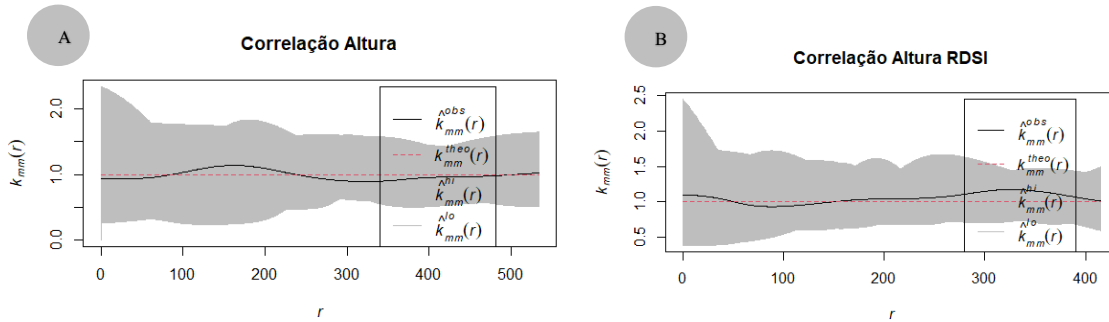


Fonte: Autores, 2025.

Resultado semelhante foi observado na análise da função de correlação de marcas considerando a altura como variável estrutural (Figura 4). Tanto no PAGAM quanto na RDSI, a curva observada manteve-se próxima ao valor esperado sob ausência de correlação espacial e contida no envelope de confiança em todas as escalas analisadas. No PAGAM, pequenas oscilações em escalas curtas sugerem variação local na altura dos indivíduos, porém sem significância estatística. Na RDSI, a função apresentou comportamento ainda mais próximo da neutralidade, reforçando a inexistência de autocorrelação espacial significativa para esse atributo. Esses resultados sugerem que a variação na altura das árvores de *Cedrela odorata* é predominantemente influenciada por fatores locais e históricos, como disponibilidade de luz, competição

interespecífica e eventos de perturbação, atuando de forma independente da organização espacial dos indivíduos.

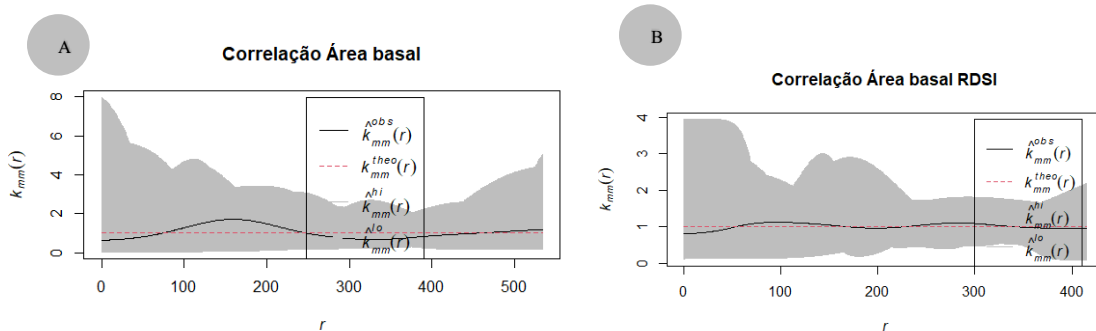
Figura 4 - (A) Correlação de altura do PAGAM, (B) Correlação de altura da RDSI.



Fonte: Autores, 2025.

Quando avaliada a área basal como marca (Figura 5), a função de correlação de marcas também indicou ausência de autocorrelação espacial significativa em ambas as áreas. No PAGAM, embora pequenas oscilações tenham sido observadas em escalas curtas de distância, esses desvios permaneceram integralmente contidos no envelope de simulação, sendo estatisticamente compatíveis com o modelo nulo. Na RDSI, o padrão foi semelhante, com a curva observada oscilando em torno do valor de referência e sem ultrapassar os limites do envelope em nenhuma das escalas analisadas. Em distâncias intermediárias e maiores, a função estabilizou-se em torno do valor neutro, reforçando a independência espacial dos valores de área basal entre os indivíduos.

Figura 5- (A) Correlação de área basal do PAGAM, (B) Correlação de área basal da RDSI.



F

Fonte: Autores, 2025.

De forma integrada, a ausência de autocorrelação espacial significativa para DAP, altura e área basal, tanto no PAGAM quanto na RDSI, indica que, apesar do padrão agregado de ocorrência de *Cedrela odorata* evidenciado pelas Funções K e L, os atributos estruturais dos indivíduos apresentam elevada variabilidade e não estão condicionados à vizinhança espacial imediata. Esse resultado sugere que o desempenho estrutural das árvores é influenciado predominantemente por fatores que atuam em escalas locais ou temporais, como gradientes ambientais, competição assimétrica por recursos e o tempo decorrido desde eventos de perturbação, mais do que pela posição espacial relativa entre os indivíduos (Legendre & Legendre, 2012; Wiegand *et al.*, 2011).

### 2.3.3 Implicações ecológicas e para a conservação

Do ponto de vista da conservação, o padrão agregado identificado para *Cedrela odorata* apresenta implicações ecológicas relevantes. Espécies cuja regeneração ocorre de forma concentrada em microsítios favoráveis tendem a ser mais suscetíveis à perda localizada de habitat, especialmente sob cenários de exploração madeireira seletiva e aumento da frequência de eventos climáticos extremos. Considerando que *C. odorata* é classificada como vulnerável pela União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN, 2023), a manutenção desses ambientes favoráveis torna-se um fator essencial para a persistência e a viabilidade de suas populações naturais.

A ausência de autocorrelação espacial significativa nos atributos estruturais sugere que práticas de manejo florestal sustentável, como a abertura controlada do dossel, a proteção de árvores matrizes e a redução de impactos associados às atividades de exploração, podem contribuir para a manutenção da variabilidade estrutural da população. Essas estratégias tendem a favorecer o recrutamento e o crescimento de indivíduos ao longo do tempo, atuando de forma independente da proximidade espacial entre as árvores (Mayhew & Newton, 1998; Seidler & Plotkin, 2006).

Por fim, o emprego de métodos espacialmente explícitos, como a Função K de Ripley e a análise de correlação de marcas, mostrou-se eficaz para a detecção de padrões que dificilmente seriam identificados por abordagens convencionais de inventário florestal. Essas ferramentas fornecem subsídios robustos para interpretações ecológicas mais precisas e para o planejamento de estratégias de manejo e conservação de espécies arbóreas de elevado valor ecológico e econômico

na Amazônia, tanto em escala local quanto regional (Wiegand & Moloney, 2014; Oksanen *et al.*, 2020).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise espacial de *Cedrela odorata* nas áreas de estudo da Amazônia revelou um padrão de distribuição espacial agregado, indicando que a ocorrência da espécie está associada à heterogeneidade ambiental e a processos ecológicos relacionados ao estabelecimento e à regeneração. Apesar da agregação espacial, os atributos estruturais avaliados (diâmetro à altura do peito, altura e área basal) não apresentaram autocorrelação espacial significativa, evidenciando que o desempenho estrutural dos indivíduos é espacialmente independente.

## REFERÊNCIAS

- BADDELEY, A.; RUBAK, E.; TURNER, R. **Spatial point patterns**: methodology and applications with R. Boca Raton: CRC Press, 2015.
- BATISTA, A. P. B. *et al.* Spatial association of fruit yield of *Bertholletia excelsa* Bonpl. trees in eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 441, p. 99–105, 2019. DOI:10.1016/j.foreco.2019.03.043. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1114430/1/CPAFAP2019SpatialassociationoffruityieldofBertholletia.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2025.
- BATISTA, J. L. F. *et al.* Padrões espaciais de espécies arbóreas em florestas da Amazônia e em áreas de transição Amazônia–Cerrado. **Floresta**, Curitiba, v. 49, n. 2, p. 215–228, 2019. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta>. Acesso em: 03 set. 2025.
- CONDÉ, T. M. *et al.* Environmental factors and forest structure determine the occurrence of large trees in Amazonian forests. **Forest Ecology and Management**, v. 453, p. 117573, 2019. DOI: 10.1016/j.foreco.2019.117573. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037811271930573X>. Acesso em: 22 ago. 2025.
- CONDIT, R. *et al.* Dynamics of the forest communities at Barro Colorado Island, Panama. **Ecological Monographs**, v. 70, n. 3, p. 453–479, 2000. DOI:10.1890/0012-9615(2000)070[0453:DOTFCA]2.0.CO;2. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com>. Acesso em: 11 jun. 2025.
- CONDIT, R. *et al.* Spatial patterns in the distribution of tropical tree species. **Science**, v. 288, n. 5470, p. 1414–1418, 2000. DOI: 10.1126/science.288.5470.1414. Disponível em: <https://www.science.org>. Acesso em: 05 out. 2025.
- CONDIT, R. *et al.* Beta-diversity in tropical forest trees. **Science**, v. 295, n. 5555, p. 666–669, 2002. DOI: 10.1126/science.1066854. Disponível em: <https://www.science.org>. Acesso em: 18 maio 2025.
- DAVIDSON, E. A. *et al.* The Amazon basin in transition. **Nature**, v. 481, n. 7381, p. 321–328, 2012. DOI: 10.1038/nature10717. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature10717>. Acesso em: 29 jun. 2025.
- DIGGLE, P. J. **Statistical analysis of spatial point patterns**. 2nd. London: Arnold, 2003. Disponível em: <https://www.routledge.com>. Acesso em: 07 set. 2025.
- FELDPAUSCH, T. R. *et al.* Tree height integrated into pantropical forest biomass estimates. **Biogeosciences**, v. 9, n. 8, p. 3381–3403, 2012. DOI: 10.5194/bg-9-3381-2012. Disponível em: <https://bg.copernicus.org/articles/9/3381/2012/>. Acesso em: 12 ago. 2025.

- GETZIN, S.; WIEGAND, T.; SCHÖNING, I. Assessing biodiversity in forests using very high-resolution images and spatial pattern analysis. **Ecology and Society**, v. 13, n. 1, p. 9, 2008. Disponível em: <https://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss1/art9/>. Acesso em: 20 maio 2025.
- GORGENS, E. B. *et al.* The tallest trees in the Amazon. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 19, n. 5, p. 279–285, 2021. DOI: 10.1002/fee.2337. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com>. Acesso em: 02 jul. 2025.
- GORGENS, E. B. *et al.* The giant trees of the Amazon basin. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 19, n. 9, p. 512–518, 2021. DOI: 10.1002/fee.2388. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com>. Acesso em: 17 set. 2025.
- GROGAN, J. *et al.* Big-leaf mahogany and its sustainable management in the Brazilian Amazon. **Oryx**, v. 44, n. 2, p. 172–180, 2010. DOI: 10.1017/S0030605309990906. Disponível em: <https://www.cambridge.org>. Acesso em: 09 jun. 2025.
- GROGAN, J. *et al.* Big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) population dynamics and implications for sustainable management. **Journal of Applied Ecology**, v. 47, n. 3, p. 720–730, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01823.x>. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com>. Acesso em: 25 out. 2025.
- HARMS, K. E. *et al.* Habitat associations of trees and shrubs in a 50-ha neotropical forest plot. **Journal of Ecology**, v. 89, n. 6, p. 947–959, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.0022-0477.2001.00615.x>. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com>. Acesso em: 16 ago. 2025.
- INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite – PRODES. São José dos Campos, 2022. Disponível em: <https://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>. Acesso em: 06 jun. 2025.
- IUCN – INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE. ***Cedrela odorata***. Red List Assessment, 2023. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org/species/33928>. Acesso em: 19 jul. 2025.
- LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. **Numerical ecology**. 3. ed. Amsterdam: Elsevier, 2012. Disponível em: <https://www.elsevier.com>. Acesso em: 28 set. 2025.
- LINDENMAYER, D. B. *et al.* Large old trees: important keystone structures in terrestrial ecosystems. **Biological Reviews**, v. 89, n. 1, p. 1–27, 2014. DOI: 10.1111/brv.12033. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com>. Acesso em: 04 jun. 2025.
- LU, D. *et al.* Change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 12, p. 2365–2401, 2004. DOI: 10.1080/0143116031000139863. Disponível em: <https://www.tandfonline.com>. Acesso em: 21 ago. 2025.

MALHI, Y. *et al.* Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. **Science**, v. 319, n. 5860, p. 169–172, 2008. DOI: 10.1126/science.1146961. Disponível em: <https://www.science.org>. Acesso em: 13 maio 2025.

MALHI, Y.; WRIGHT, J. Tropical forests in the Anthropocene. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 40, p. 125–159, 2015. DOI: 10.1146/annurev-environ-102014-021217. Disponível em: <https://www.annualreviews.org>. Acesso em: 30 set. 2025.

OKSANEN, J. *et al.* **Vegan**: Community Ecology Package. R package version 2.5-7, 2020. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>. Acesso em: 08 jul. 2025.  
 PAN, Y. *et al.* A large and persistent carbon sink in the world's forests. **Science**, v. 333, n. 6045, p. 988–993, 2011. DOI: [10.1126/science.1201609](https://doi.org/10.1126/science.1201609). Disponível em: <https://www.science.org>. Acesso em: 27 jun. 2025.

PENNINGTON, T. D.; MUELLNER, A. N. **A monograph of Cedrela (Meliaceae)**. London: Royal Botanic Gardens, Kew, 2010. Disponível em: <https://www.kew.org>. Acesso em: 15 out. 2025.

RIPLEY, B. D. Modelling spatial patterns. **Journal of the Royal Statistical Society: Series B**, v. 39, n. 2, p. 172–212, 1977. Disponível em: <https://rss.onlinelibrary.wiley.com>. Acesso em: 02 jun. 2025.

ROCKWELL, C. A. *et al.* Spatial distribution of *Bertholletia excelsa* in selectively logged forests of the Peruvian Amazon. **Journal of Tropical Ecology**, v. 33, n. 2, p. 114–127, 2017. DOI: 10.1017/S0266467416000614. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-tropical-ecology/article/spatial-distribution-of-bertholletia-excelsa-in-selectively-logged-forests-of-the-peruvian-amazon/7B6A4A6E8A5F8E5C9F8B6C4E6E3E8F1A>. Acesso em: 18 jun. 2025.

SEIDLER, T. G.; PLOTKIN, J. B. Seed dispersal and spatial pattern in tropical trees. **PLOS Biology**, v. 4, n. 11, e344, 2006. DOI: 10.1371/journal.pbio.0040344. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.0040344>. Acesso em: 09 ago. 2025.

SILVA, K. E. *et al.* Tree species community spatial structure in a terra firme Amazon forest, Brazil. **Bosque**, v. 35, n. 3, p. 347–355, 2014. Disponível em: <https://revistas.uach.cl/index.php/bosque/article/view/453>. Acesso em: 27 mai. 2025.

SILVA, K. E. *et al.* Spatial distribution patterns of tree species in a terra firme tropical forest in Central Amazonia. **Acta Amazonica**, v. 47, n. 2, p. 123–132, 2017. DOI: 10.1590/1809-4392201601232. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/3sWZpLkq9kZ7YxwY7m5nPf/>. Acesso em: 14 set. 2025.

TER STEEGE, H. *et al.* Continental-scale patterns of canopy tree composition and function across Amazonia. **Nature**, v. 443, p. 444–447, 2006. DOI: 10.1038/nature05134. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature05134>. Acesso em: 06 jun. 2025.

TER STEEGE, H. *et al.* Hyperdominance in the Amazonian tree flora. **Science**, v. 342, n. 6156, p. 1243092, 2013. DOI: 10.1126/science.1243092. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1243092>. Acesso em: 02 out. 2025.

WIEGAND, T. *et al.* Spatially explicit analyses of forest dynamics: what do we stand to gain? **Ecology Letters**, v. 14, p. 1–15, 2011. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2011.01585.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1461-0248.2011.01585.x>. Acesso em: 21 jul. 2025.

WIEGAND, T.; MOLONEY, K. A. **Handbook of spatial point-pattern analysis in ecology**. Boca Raton: CRC Press, 2014. Disponível em: <https://www.routledge.com/Handbook-of-Spatial-Point-Pattern-Analysis-in-Ecology/Wiegand-Moloney/p/book/9781420082548>. Acesso em: 11 out. 2025.