



Serviço Público Federal
Ministério da Educação

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



Estrutura arbórea e efeito de borda em três fragmentos de Cerrado

Priscila Kathlleen Pereira Vicente

E-mail: priscila.kathlleen@ufms.br

Título resumido: Efeito de borda no Cerrado



Serviço Público Federal
Ministério da Educação

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



Resumo

A compreensão de como a vegetação arbórea responde à fragmentação é essencial para a avaliação do estado de conservação do Cerrado. Neste estudo, analisamos atributos estruturais de espécies arbóreas em três fragmentos localizados no município de Três Lagoas, Mato Grosso do Sul. Foram amostradas parcelas permanentes na borda e no interior de cada fragmento, onde indivíduos com $DAP \geq 5$ cm tiveram mensurados o diâmetro à altura do peito (DAP), altura total, altura do fuste e raio da copa. As variáveis foram analisadas por meio de ANOVA fatorial, considerando os efeitos de fragmento, posição (borda/interior) e interação. Observou-se que o efeito de borda está presente, porém se manifesta de forma distinta entre os fragmentos, refletindo diferenças ambientais e históricas de uso. Áreas mais preservadas exibiram maior variabilidade estrutural, enquanto fragmentos mais perturbados apresentaram valores inferiores para a maioria dos atributos. Os resultados destacam a natureza heterogênea dos efeitos de borda no Cerrado e reforçam a importância do contexto local na interpretação de padrões estruturais e na formulação de estratégias de conservação.

Palavras-chave:

Cerrado; Diversidade funcional; Efeito de borda; Fragmentação florestal; Estrutura arbórea.



1. Introdução

A conversão de extensas áreas de vegetação natural para agropecuária, silvicultura e expansão urbana tem intensificado a fragmentação dos ecossistemas naturais, resultando na formação de remanescentes isolados em meio a uma matriz antrópica. Esse processo reduz a conectividade entre habitats, compromete a integridade ecológica e altera de forma profunda a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas Haddad et al. (2015). A fragmentação modifica as condições ambientais e a organização das comunidades vegetais, especialmente nas regiões de transição entre ambientes naturais e áreas alteradas, conhecidas como bordas florestais — conceito originalmente descrito por Murcia (1995) e amplamente corroborado por estudos recentes (Pereira et al., 2021).

As áreas de borda são caracterizadas por maior incidência luminosa, aumento de temperatura, redução de umidade e alterações na deposição de serrapilheira, fatores que afetam diretamente a estrutura e a composição das comunidades arbóreas. Os efeitos de borda podem ser classificados como abióticos — relacionados a mudanças microclimáticas — ou bióticos, quando envolvem alterações na abundância, distribuição ou interações entre espécies (Pereira et al., 2021). Essas modificações tornam as bordas ecologicamente distintas do interior dos fragmentos e influenciam processos como regeneração, sucessão e competição vegetal.

Ao longo do gradiente borda–interior, as espécies frequentemente apresentam ajustes estruturais e morfológicos em resposta às alterações microambientais. A estrutura da vegetação expressa pelo porte dos indivíduos, pela arquitetura do dossel e pelo desenvolvimento do tronco e da copa, é amplamente utilizada como indicador do estado de conservação dos fragmentos e da intensidade dos efeitos de borda. Esses atributos fornecem informações essenciais sobre a dinâmica sucessional, a disponibilidade de luz, a competição e o potencial de biomassa, sendo fundamentais para avaliar mudanças estruturais em áreas fragmentadas do Cerrado (Pereira et al., 2021; Lima-Ribeiro (2008)).



Essas características estruturais refletem não apenas o porte das árvores, mas também o grau de conservação e as condições ambientais dos fragmentos. De modo geral, áreas mais preservadas tendem a apresentar indivíduos de maior porte, enquanto regiões mais perturbadas possuem vegetação mais jovem, com árvores menores e copas reduzidas (Díaz et al., 2007).

O Cerrado destaca-se como um dos biomas mais biodiversos, funcionais e ecologicamente estratégicos da América do Sul, desempenhando papel central na manutenção dos recursos hídricos, na estabilidade climática e na provisão de serviços ecossistêmicos essenciais (Colli et al., 2020). No entanto, é também um dos ecossistemas mais ameaçados do país, com grande parte de sua vegetação suprimida ou fragmentada em decorrência da expansão agropecuária, urbanização e mudanças no uso da terra (Colli et al., 2020). Esse panorama compromete a conectividade da paisagem, altera processos ecológicos fundamentais e reduz a resiliência das comunidades vegetais frente a distúrbios (Pivello et al., 2020). Nesse contexto, compreender como a estrutura da vegetação arbórea varia entre bordas e interiores de fragmentos torna-se essencial para avaliar o estado de conservação dos remanescentes e orientar estratégias eficazes de manejo e restauração ecológica no Cerrado. Diante desse cenário, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de borda sobre a estrutura da comunidade arbórea em três fragmentos de Cerrado, considerando as diferenças estruturais entre os ambientes de borda e interior.

2. Material e Métodos

2.1. Área de estudo

O estudo foi conduzido em três fragmentos florestais de Cerrado (Figura 1) situados no município de Três Lagoas, Mato Grosso do Sul: Fazenda Duas Marias, Horto do Matão e fragmento do Rio Verde A, localizados a aproximadamente 10 km entre si. Esses fragmentos apresentam diferentes históricos de uso e graus de conservação, estando inseridos em uma



matriz composta predominantemente por pastagens e áreas urbanas, condição típica de paisagens fragmentadas no bioma Cerrado.

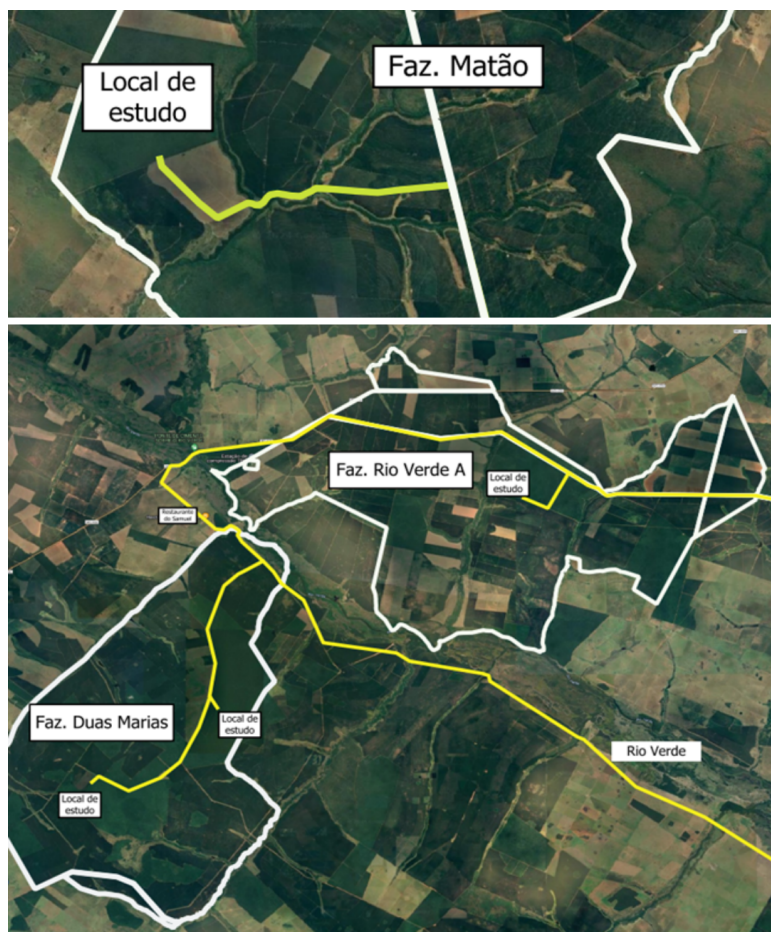


Figura 1: Localização dos fragmentos estudados no município de Três Lagoas, Mato Grosso do Sul. O mapa apresenta a distribuição espacial das áreas amostradas — Fazenda Horto do Matão, Duas Marias, e o fragmento Rio Verde A.

2.2. Delineamento amostral

Em cada fragmento foram estabelecidas duas parcelas permanentes, sendo uma localizada na borda (aproximadamente 20 m do limite externo do fragmento) e outra no interior (a pelo menos 500 m da borda). Cada parcela possui dimensão de 10×10 m (100 m^2), totalizando seis parcelas amostradas (três fragmentos $\times$ dois ambientes).



Foram mensurados todos os indivíduos arbóreos com diâmetro à altura do peito (DAP) ≥ 5 cm. Para cada árvore registrada foram obtidos o DAP (cm), a altura total (m), a altura do fuste (m) e o raio da copa (m), sendo este último calculado pela média de duas medidas ortogonais.

Essas variáveis estruturais foram utilizadas para caracterizar a estrutura vertical e horizontal das comunidades arbóreas e para comparar os padrões observados entre os ambientes de borda e interior em cada fragmento.



Figura 2: Procedimentos de campo realizados para mensuração das variáveis estruturais das árvores nos fragmentos de Cerrado

2.3. Análise dos dados



As análises estatísticas foram realizadas no software R, utilizando os pacotes *vegan* e *ggplot2*. O nível de significância adotado para todas as análises foi de 5% ($p < 0,05$). Para cada variável estrutural (diâmetro à altura do peito – DAP, altura total, altura do fuste e raio da copa), foi aplicada uma ANOVA de dois fatores com interação, considerando como fatores: 1) Fragmento (três níveis: Duas Marias, Horto do Matão e Rio Verde), e 2) Posição (dois níveis: borda e interior). Antes das análises, os dados foram submetidos ao teste de Shapiro–Wilk, a fim de verificar a normalidade dos resíduos e assegurar os pressupostos da ANOVA. Também foi avaliada a homogeneidade das variâncias conforme os diagnósticos padrão do modelo. Os gráficos foram elaborados com o pacote *ggplot2*, por meio de boxplots exibindo a distribuição das variáveis estruturais em cada fragmento e posição, com a representação da média por pontos e outliers identificados automaticamente pelo método do intervalo interquartil. Todas as análises e visualizações foram geradas diretamente no ambiente R.

3. Resultados e Discussão

3.1 Altura do Fuste

A análise de variância indicou que não houve diferença significativa na altura do fuste entre borda e interior ($F = 0,38$; $p = 0,53$). Em contraste, houve diferença significativa entre os fragmentos ($F = 8,27$; $p < 0,001$), com o fragmento Rio Verde apresentando os maiores valores médios e o Horto do Matão os menores. A interação entre fragmento e ambiente também foi significativa ($F = 7,07$; $p = 0,0013$), revelando que o efeito de borda varia conforme as condições locais (Figura 3).

Esse padrão sugere que fatores específicos de cada fragmento, como abertura do dossel, luminosidade e histórico de perturbação, modulam o crescimento vertical das árvores. Estudos recentes indicam que bordas mais abertas podem favorecer o alongamento do fuste em indivíduos jovens devido ao maior aporte de luz, enquanto fragmentos mais fechados



tendem a limitar esse crescimento (Pereira et al., 2021). Assim, a resposta estrutural observada reflete a heterogeneidade ambiental típica de áreas fragmentadas de Cerrado.

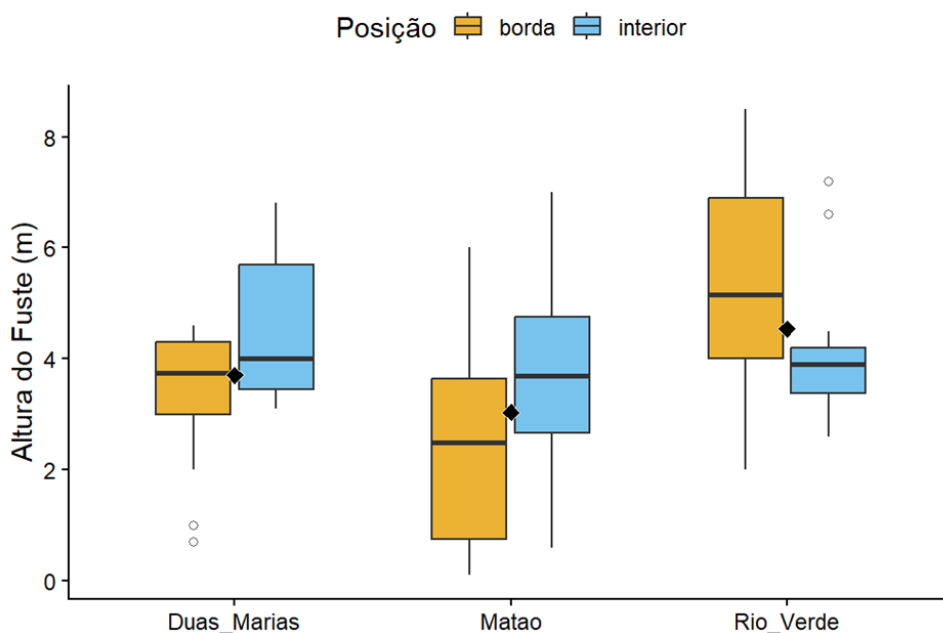


Figura 3: Boxplot da altura do fuste (m) nos três fragmentos analisados (Duas Marias, Matão e Rio Verde), comparando os ambientes de borda e interior. As caixas representam a distribuição dos valores, com mediana indicada pela linha interna e média representada pelo ponto.

3.2 Diâmetro à altura do peito (DAP)

A análise para o DAP revelou diferenças significativas entre os ambientes de borda e interior ($F = 4,76$; $p = 0,0317$), entre os fragmentos ($F = 16,09$; $p < 0,001$) e na interação entre esses fatores ($F = 14,07$; $p < 0,001$). Esses resultados indicam que o efeito de borda influencia o crescimento diamétrico das árvores, mas de maneira distinta em cada fragmento (Figura 4).

De modo geral, fragmentos mais conservados tendem a apresentar indivíduos de maior diâmetro no interior, onde a competição por luz e espaço é mais acentuada, favorecendo a seleção de indivíduos que investem no crescimento em espessura. Em ambientes mais abertos, como bordas expostas ou fragmentos sujeitos a distúrbios, a maior luminosidade e menor competição podem favorecer o desenvolvimento de troncos mais espessos também na



borda (Laurance et al., 2000). No Cerrado, a forte sazonalidade hídrica e o histórico de perturbações influenciam diretamente o padrão diamétrico das árvores, fazendo com que a resposta estrutural varie conforme o microambiente e o nível de conservação de cada fragmento (Durigan & Ratter, 2006)

Assim, a variação detectada no DAP reflete a combinação de fatores microambientais e paisagísticos que modulam o crescimento das árvores em paisagens fragmentadas, reforçando a natureza heterogênea do efeito de borda no Cerrado.

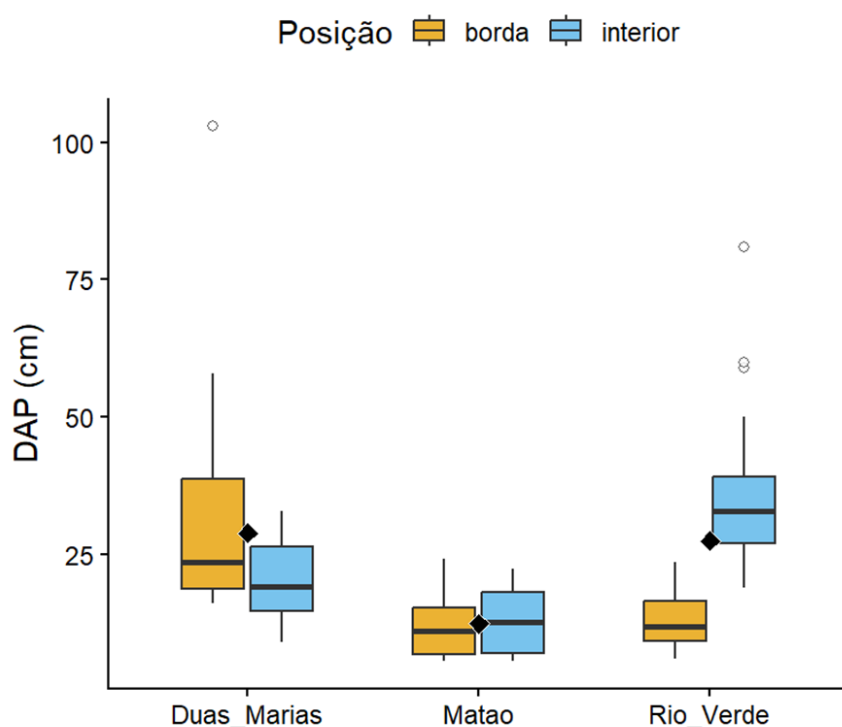


Figura 4: Boxplot do diâmetro à altura do peito (DAP, cm) nos três fragmentos analisados (Duas Marias, Matão e Rio Verde), comparando os ambientes de borda e interior. As caixas representam a distribuição dos valores, com mediana indicada pela linha interna e média representada pelo ponto.

3.3 Altura total

A altura total das árvores não diferiu entre borda e interior ($F = 0,00$; $p = 0,987$) e também não apresentou diferença significativa quando comparados os fragmentos individualmente (F



= 2,64; $p = 0,0763$). No entanto, a interação entre fragmento e ambiente foi significativa ($F = 10,52$; $p < 0,001$), indicando que o padrão de variação na altura total depende do contexto local (Figura 5).

Esse resultado sugere que o efeito de borda não é uniforme e se manifesta de forma distinta em cada fragmento, provavelmente em função de diferenças no grau de perturbação, abertura do dossel e histórico de uso. Fragmentos mais alterados tendem a apresentar árvores mais baixas e maior proporção de espécies pioneiras, enquanto fragmentos mais preservados mantêm uma estrutura vertical mais desenvolvida, com indivíduos de maior porte (Lima-Ribeiro et al., 2008).

Assim, a variação observada na altura total reflete a influência combinada da qualidade ambiental, do nível de isolamento e da dinâmica sucessional de cada fragmento, reforçando o caráter heterogêneo dos efeitos de borda no Cerrado.

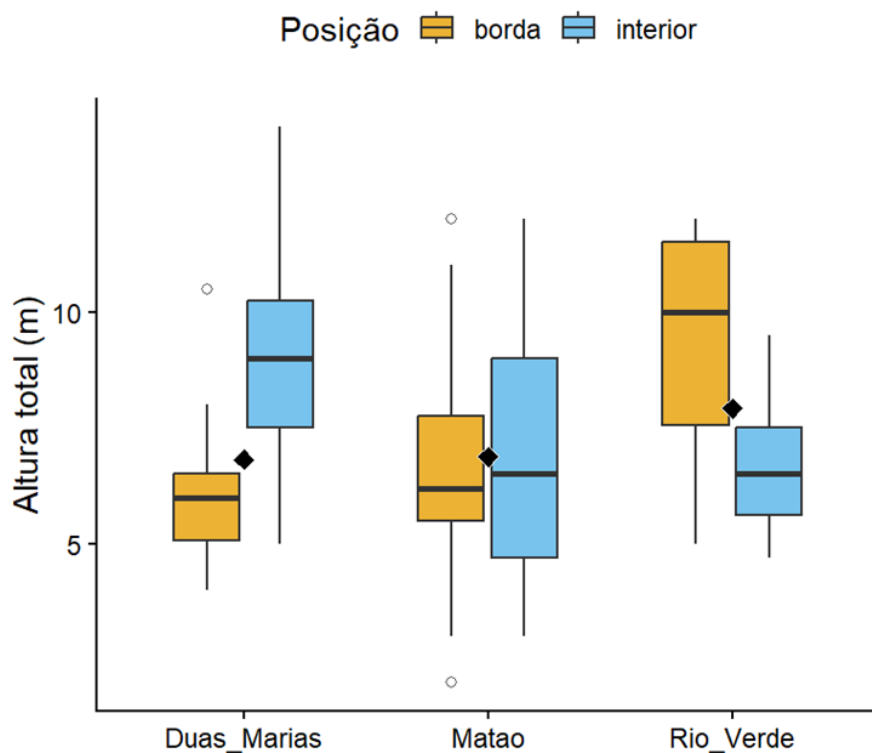




Figura 5: Boxplot da altura total (m) nos três fragmentos analisados (Duas Marias, Matão e Rio Verde), comparando os ambientes de borda e interior. As caixas representam a distribuição dos valores, com mediana indicada pela linha interna e média representada pelo ponto.

3.4 Raio da Copa

Para o raio da copa, não houve diferença significativa entre borda e interior ($F = 1,12$; $p = 0,29$), nem entre fragmentos ($F = 0,73$; $p = 0,48$). Entretanto, a interação entre fragmento e ambiente foi significativa ($F = 4,24$; $p = 0,017$), indicando que o padrão de variação depende das condições específicas de cada área (Figura 6).

No fragmento Duas Marias, por exemplo, os indivíduos do interior apresentaram copas mais amplas que os da borda, possivelmente refletindo menor competição por luz e espaço, além da presença de indivíduos mais maduros. Já no Horto do Matão e no fragmento Rio Verde, o padrão se inverteu parcialmente, sugerindo que a abertura do dossel e o histórico de perturbação modulam o desenvolvimento lateral da copa.

Essa variação reforça que o efeito de borda atua de forma heterogênea sobre a estrutura horizontal das árvores. Estudos com medições tridimensionais indicam que bordas expostas alteram a arquitetura arbórea — incluindo largura e profundidade de copas, simetria e alocação de biomassa — e que essas mudanças ocorrem dentro de algumas dezenas de metros a partir da borda. Fragmentação e bordas também aumentam a mortalidade de grandes árvores e promovem mudanças na estrutura de tamanho da comunidade, o que altera a disponibilidade de luz e pode limitar a expansão lateral da copa em áreas degradadas (Laurance et al., 2000; Haddad et al., 2015).

Assim, o raio da copa se mostra um atributo sensível às condições microambientais e ao contexto de cada fragmento, reforçando a influência local na resposta das árvores ao processo de fragmentação no Cerrado.

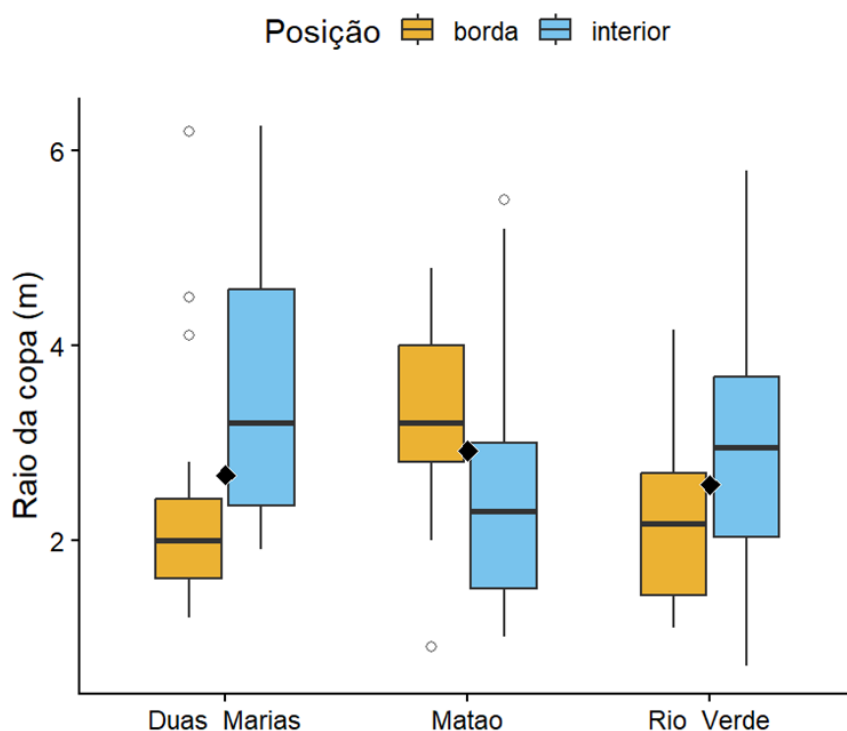


Figura 6: Boxplot do raio da copa (m) nos três fragmentos analisados (Duas Marias, Matão e Rio Verde), comparando os ambientes de borda e interior. As caixas representam a distribuição dos valores, com mediana indicada pela linha interna e média representada pelo ponto.

De modo geral, os resultados indicam que o efeito de borda está presente nos fragmentos analisados, mas se manifesta de forma heterogênea, variando conforme o contexto ambiental e o grau de conservação de cada área. As diferenças estruturais entre borda e interior não seguem um padrão único, refletindo a influência de fatores locais, como abertura do dossel, intensidade de perturbação, disponibilidade de luz e histórico de uso das áreas. Os fragmentos Duas Marias e Rio Verde apresentaram indivíduos de maior porte e maior variabilidade estrutural, sugerindo melhores condições de conservação, enquanto o Horto do Matão apresentou valores consistentemente menores para as variáveis analisadas, indicando maior impacto antrópico e possível estágio sucessional mais inicial.

Essa heterogeneidade é compatível com estudos que demonstram que a resposta das comunidades arbóreas ao efeito de borda depende de múltiplos fatores ambientais e históricos, e não ocorre de forma linear ou previsível. Alterações microclimáticas, diferenças



na entrada de luz e perturbações antrópicas moldam a estrutura da vegetação de maneira distinta em cada fragmento, como observado em levantamentos tridimensionais que evidenciam mudanças na arquitetura das árvores próximas às bordas. Esses padrões também têm sido relatados em sínteses globais sobre fragmentação, que destacam a forte dependência do efeito de borda em relação às características do fragmento e do entorno (Haddad et al., 2015). No Cerrado, processos sucessionais modulados pelo histórico de uso reforçam esse comportamento variável entre áreas, conforme documentado em estudos regionais (Pereira et al., 2021). Assim, análises como esta contribuem para compreender a resiliência estrutural da vegetação e fornecem subsídios importantes para estratégias de conservação e restauração em paisagens fragmentadas.

4. Conclusão

Embora variáveis como altura do fuste, DAP, altura total e raio da copa não apresentem padrões consistentes quando avaliadas de forma isolada, as interações significativas entre fragmento e ambiente demonstram que a resposta estrutural das árvores depende de condições ecológicas particulares de cada área.

No fragmento Rio Verde, por exemplo, observou-se maior altura do fuste na borda, enquanto no fragmento Duas Marias o interior apresentou copas mais amplas. Esses padrões distintos refletem diferenças no grau de perturbação, na abertura do dossel, na disponibilidade de luz e no estágio sucessional, confirmando que fatores microambientais modulam a estrutura arbórea ao longo do gradiente borda–interior. Fragmentos mais conservados tendem a manter maior variabilidade estrutural, enquanto áreas mais perturbadas, como o Horto do Matão, exibem valores inferiores para diversas variáveis, sugerindo menor maturidade estrutural.

De modo geral, fica evidente que os fragmentos não respondem de forma uniforme ao efeito de borda, reforçando que esse fenômeno é complexo e condicionado por múltiplos fatores ecológicos e antrópicos. Assim, compreender essas variações estruturais é fundamental para



avaliar o estado de conservação dos remanescentes de Cerrado e subsidiar ações de manejo e restauração ecológica, especialmente em um bioma que está entre os mais ameaçados do país.

Portanto, este estudo contribui para o entendimento dos impactos da fragmentação sobre a vegetação arbórea e destaca a importância de considerar o contexto local na elaboração de estratégias de conservação em ambientes fragmentados do Cerrado. A identificação de padrões distintos entre borda e interior reforça a necessidade de abordagens de manejo adaptativas, que reconheçam a heterogeneidade e a complexidade ecológica do bioma.

5. Referências

- COLLI, G. R.; VIEIRA, C. R.; DIANESE, J. C. Biodiversity and conservation of the Cerrado: recent advances and old challenges. *Biodiversity & Conservation*, v. 29, n. 5, p. 1465–1475, 2020.
- DÍAZ, S. et al. Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem functioning. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 104, n. 51, p. 20684–20689, 2007.
- DURIGAN, G.; RATTER, J. A. Successional changes in Cerrado woody vegetation in a 24-year interval. *Journal of Tropical Ecology*, v. 22, n. 3, p. 1–10, 2006.
- HADDAD, N. M. et al. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, v. 1, n. 2, e1500052, 2015.
- LAURENCE, W. F. et al. Rainforest fragmentation and the structure of Amazonian tree communities. *Conservation Biology*, v. 14, n. 3, p. 792–804, 2000.
- LIMA-RIBEIRO, M. S. Efeitos de borda sobre a vegetação e estruturação populacional em fragmentos de Cerradão no Sudoeste Goiano, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, v. 22, n. 2, p. 535–545, 2008.
- MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 10, n. 2, p. 58–62, 1995.
- PEREIRA, B. A. S. et al. Efeitos de borda na dinâmica sucessional de fragmentos florestais no Cerrado. *Floresta e Ambiente*, v. 28, n. 3, e20200063, 2021.



Serviço Público Federal
Ministério da Educação

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



PIVELLO, V. R. et al. Understanding Brazil's Cerrado: a tropical savanna biodiversity hotspot under threat. *Biodiversity and Conservation*, v. 29, p. 2767–2791, 2020.