

FITOSSOCIOLOGIA E COBERTURA DE COPA COM USO DE IMAGENS AÉREAS EM CERRADO STRICTO SENSU EM IPAMERI – GO

PHYTOSOCIOLOGY AND CANOPY COVERAGE USING AERIAL IMAGES IN CERRADO STRICTO SENSU IN IPAMERI – GO

FITOSOCIOLOGÍA Y COBERTURA ARBÓREA MEDIANTE IMÁGENES AÉREAS EN UN CERRADO STRICTO SENSU EN IPAMERI – GO

Vagner Santiago do Vale^{1*} ; Lucas Robson de Oliveira² ; João Paulo Costa³ ; Emanuelly Diniz Strutzel de Castro Lázaro⁴ ; Erikson Leonardo Santos de Miranda⁵ ; Fernanda Dias⁶ ; Luis Henrique Mantovani de Farias⁷ ; Lilian Cristina da Silva Santos⁸ ; Vanessa Oliveira⁹ ; João Paulo Cardoso dos Santos de Faria¹⁰ 

¹Doutor em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais – Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Professor da Universidade Estadual de Goiás (UEG), Departamento de Engenharia Florestal, Ipameri-GO, Brasil; ² Mestre em Produção Vegetal, Universidade Estadual de Goiás, (UEG), Ipameri-GO, Brasil, ³Doutor em Ecologia, Conservação e Biodiversidade, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, Brasil; ⁴Estudante e Bolsista CNPQ de Ensino Médio, Universidade Estadual de Goiás-GO, Brasil; ⁵Graduando em Engenharia Florestal, Universidade Estadual de Goiás, Ipameri-GO, Brasil; ⁶Graduada em Engenharia Florestal, Universidade Estadual de Goiás, Ipameri-GO, Brasil; ⁷Mestrado em Botânica, Professor da Universidade Estadual de Goiás, Departamento de Engenharia Florestal, Ipameri-GO, Brasil; ⁸Mestrado em Produção Vegetal pela Universidade Estadual de Goiás, Ipameri-GO, Brasil; ⁹Graduanda em Agronomia pela Universidade Estadual de Goiás, Ipameri-GO, Brasil; ¹⁰Graduando em Agronomia pela Universidade Estadual de Goiás, Ipameri-GO, Brasil.

*Autor correspondente: vsvale@hotmail.com

Recebido: 02/05/2025 | Aprovado: 15/06/2025 | Publicado: 26/06/2025

Resumo: Inventários fitossociológicos de fitofisionomias do Cerrado avaliam parâmetros estruturais como densidade, altura, área basal e cobertura de copa, fundamentais para a classificação e compreensão da vegetação. Embora a cobertura de copa seja relevante na distinção das fitofisionomias, sua mensuração manual apresenta limitações em precisão e eficiência. Métodos modernos, como o uso de drones com sensores RGB, vêm ganhando destaque devido à alta resolução espacial e rapidez na coleta de dados pois possibilitam o cálculo de índices de vegetação que refletem a densidade e o vigor da vegetação. Em estudo realizado no cerrado stricto sensu da Universidade Estadual de Goiás, em Ipameri-GO, utilizou-se inventário fitossociológico aliado à imagens de drone para estimar a cobertura de copa e identificar os melhores índices de vegetação. Foram amostradas 144 árvores distribuídas em 32 espécies, com destaque para *Qualea grandiflora*, *Curatella americana* e *Coccoloba mollis*, indicativas de impactos antrópicos, como queimadas e presença de gado. A biomassa seca estimada foi de 19,657 Mg ha⁻¹, dentro dos padrões do cerrado stricto sensu goiano. A baixa riqueza (32) e moderada diversidade de Shannon (3,02) evidenciaram moderada diversidade, compatível com áreas impactadas. A contagem de cobertura de copa via pixels e índices de vegetação indicam que a cobertura de copa local está entre 35 a 40%. A integração de tecnologias como drones e análises digitais representa um avanço para estudos

Palavras-chave: Biomassa. Drone. Estrutura Horizontal. Sensoriamento remoto.

Abstract: Phytosociological inventories of phytophysognomies of the Cerrado evaluate parameters such as density, height, basal area and canopy coverage, which are fundamental for classifying and understanding vegetation. Although canopy coverage is relevant in distinguishing phytophysognomies, its manual measurement presents limitations in precision and efficiency. Modern methods, such as the use of drones with RGB sensors, have been gaining prominence due to their high spatial resolution and rapid data collection and enable the calculation of vegetation indices that reflect the density and vigor of vegetation, contributing to more accurate analyses. In a study carried out in the cerrado stricto sensu of the State University of Goiás, in Ipameri-GO, a phytosociological inventory was used combined with drone images to estimate

canopy coverage and identify the best vegetation indices. 144 trees distributed across 32 species were sampled, with emphasis on *Qualea grandiflora*, *Curatella americana* and *Coccoloba mollis*, indicative of anthropogenic impacts, such as fires and the presence of cattle. The estimated dry biomass was 19.657 Mg.ha⁻¹, within the standards of the Goiás cerrado stricto sensu. The low richness (32) and moderate Shannon diversity (3.02) showed moderate diversity, compatible with impacted areas. Canopy coverage counts via pixels and vegetation indices indicate that local canopy coverage is between 35 and 40%. The integration of technologies such as drones and digital analysis represents an advance for studies

Keywords: Biomass. Drone. Horizontal Structure. Remote sensing.

Resumen: Los inventarios fitosociológicos de las fitofisionomías del Cerrado evalúan parámetros estructurales como la densidad, la altura, el área basal y la cubierta de copas, que son fundamentales para clasificar y comprender la vegetación. Aunque la cobertura del dosel es importante para distinguir las fitofisionomías, su medición manual tiene limitaciones en términos de precisión y eficiencia. Los métodos modernos, como el uso de drones con sensores RGB, están ganando protagonismo debido a su alta resolución espacial y a la velocidad de recogida de datos, ya que permiten calcular índices de vegetación que reflejan la densidad y el vigor de la vegetación. En un estudio realizado en el cerrado stricto sensu de la Universidad Estatal de Goiás, en Ipameri-GO, se utilizó un inventario fitosociológico junto con imágenes de drones para estimar la cobertura de copas e identificar los mejores índices de vegetación. Se muestrearon 144 árboles distribuidos en 32 especies, destacando *Qualea grandiflora*, *Curatella americana* y *Coccoloba mollis*, indicativas de impactos antropogénicos, como la quema y la presencia de ganado. La biomasa seca estimada fue de 19,657 Mg ha⁻¹, dentro de los estándares del cerrado stricto sensu en Goiás. La baja riqueza (32) y la moderada diversidad de Shannon (3,02) mostraron una diversidad moderada, compatible con áreas impactadas. Los recuentos de la cubierta de copas mediante píxeles y los índices de vegetación indican que la cubierta de copas local se sitúa entre el 35% y el 40%. La integración de tecnologías como drones y análisis digitales representa un gran avance para los estudios

Palabras clave: Biomasa. Drone. Estructura Horizontal. Teledetección.

1 INTRODUÇÃO

O Cerrado e a Mata Atlântica duas das 35 áreas do mundo consideradas críticas para conservação com alta quantidade de espécies endêmicas, logo possuem riqueza biológica singular em contraste com a alta pressão antrópica a qual são submetidos (Sloan *et al.*, 2014). Ocupa cerca de 2 milhões de quilômetros quadrados, pouco mais de 20% do território nacional, porém menos de 50% do Cerrado é composta por cobertura vegetal natural devido as altas taxas de desmatamento, apenas 8% estão em áreas protegidas (Beuchle *et al.*, 2015) e esse percentual diminui para 6,5% quando se considera apenas a fração coberta por vegetação nativa (Françoso *et al.*, 2015). Estas áreas protegidas possuem grande importância pois geralmente apresentam maior riqueza, densidade e porte arbóreo em comparação com áreas não protegidas (Costa *et al.*, 2019; Rios *et al.*, 2020; Vale *et al.*, 2021).

A vegetação do Cerrado é bastante diversificada e pode ser classificada em fitofisionomias (Ribeiro, J. F. & Walter, B. M. T., 2008). Há as formações florestais na qual pertence a mata ciliar, mata de galeria, mata seca e cerradão, as formações savânicas formadas pelo cerrado sentido restrito (strico sensu), parque de cerrado, palmeiral, vereda e as formações campestres formadas pelo campo sujo, campo rupestre e campo limpo. Apesar do cerrado stricto sensu ser o mais comum na paisagem, existe uma série de variações na densidade arbórea, altura das árvores e cobertura vegetal (área de cobertura das copas) que tornam necessário uma subdivisão em cerrado denso, cerrado típico, cerrado ralo e cerrado rupestre (Ribeiro, J. F. & Walter, B. M. T., 2008). Para tal classificação são necessários inventários fitossociológicos que possuem foco nas espécies arbóreas e trazem informações sobre a estrutura e composição de espécies existentes em um local e retratam dados de densidade arbórea, altura das árvores, área basal ocupada pela árvore no solo e cobertura de copa, além de serem utilizados para aferição de biomassa e volume vegetal (Freitas & Magalhães, 2012). Assim os levantamentos fitossociológicos são cruciais no

processo de compreensão e classificação de diferentes áreas, porém existem informações complementares capazes de serem relevantes quanto a compreensão da vegetação.

A cobertura de copa, considerada a proporção do solo ocupada pela projeção vertical da copa das plantas em dada área (Moro & Martins, 2011), pode ser importante na classificação destas diferentes fitofisionomias do Cerrado, porém tem se tornado cada vez menos frequente em estudos científicos e menos utilizada em estudos fitossociológicos. A aferição da cobertura de copa pode ser estimada de diversas formas possíveis como o método da interceptação de linhas ou mensuração da projeção da copa (Costa *et al.*, 2022) ou mesmo pela estimativa visual. Porém estes métodos podem ser imprecisos para árvores de médio e grande porte e/ou com copa irregular, o que é comum de ocorrer no Cerrado e ainda demandam tempo extra em campo. Assim é necessário o desenvolvimento de técnicas mais robustas em termos científicos, rápidas de serem aplicadas e mais precisas. Desta forma, são necessárias outras técnicas para aferição da cobertura de copa como o uso de sensoriamento remoto realizado por drones, que tem sido utilizada devido a praticidade em aferição de grandes áreas com elevada resolução espacial (Cândido *et al.*, 2015).

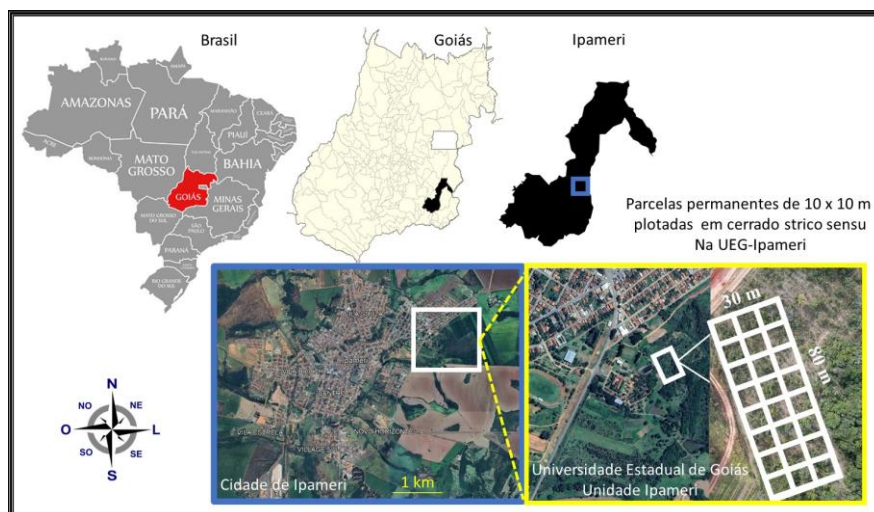
Estudos recentes têm demonstrado que, ao utilizar imagens de drones e delimitar o perímetro da árvore, é possível a aferição com alto grau de precisão em relação a métodos tradicionais de mensuração de copa em campo (De Lima Neto *et al.*, 2012; Qi *et al.*, 2022). Porém raramente este método é comparado com índices de vegetação, que também são capazes de aferir a cobertura de copa. Os índices de vegetação são calculados utilizando imagens obtidas por drones ou satélites com sensores RGB e possibilitam análises precisas da densidade e vigor da vegetação (Freire-Silva *et al.*, 2019) e também podem contribuir para a classificação das fitofisionomias do Cerrado. Assim foi realizado um levantamento fitossociológico em uma área de cerrado *stricto sensu* localizado em uma Reserva Legal no campus da Universidade Estadual de Goiás, em Ipameri – GO e foram realizados voos com drone cujas imagens foram utilizadas para aferição da cobertura de copa da área como informação complementar à fitossociologia. Espera-se identificar os melhores índices de vegetação que refletem a cobertura de copa da área.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado de março a maio de 2023, em uma área de cerrado *stricto sensu* na Universidade Estadual de Goiás, Ipameri-GO (Figura 1) o qual faz parte de uma Reserva Legal localizada próximo ao Viveiro Florestal. O clima da região, segundo a classificação de Köppen é definido como Tropical Úmido (AW), com temperaturas elevadas, chuvas no verão e seca no inverno (Alvares *et al.*, 2013). O solo da área do Cerrado é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (Santos, 2018).

Figura 1 - Imagem de satélite e fotos aéreas retiradas com Drone Air2S com localização das parcelas permanentes plotadas em cerrado *stricto sensu* na Universidade Estadual de Goiás em Ipameri-GO.



Fonte: Autores, 2025.

2.2 Coletas de dados fitossociológicos

O levantamento fitossociológico da área foi realizado através do método de parcelas alocadas sistematicamente na área de cerrado *stricto sensu*. Foram plotadas 24 parcelas permanentes de 10 m x 10 m, com 100 m² cada, totalizando assim 2.400 m² (0,24 ha) de área amostrada. (Figura 1) Foram amostrados apenas indivíduos com circunferência igual ou superior a 0,15 m amostradas a 0,30 m de altura a partir do solo ($C_{0,30} \geq 15$ cm). Os materiais necessários para a inserção das parcelas utilizadas no levantamento fitossociológico, foram: 1 trena de 50 m para mensurar cada parcela a ser amostrada, 4 estacas por parcela, barbante para demarcar a parcela, fita métrica para mensurar a circunferência de cada árvore e placas de latas de alumínio para enumerar cada fuste de árvore para contribuir na identificação da espécie. Para a coleta dos dados em campo foi utilizado uma planilha contendo a numeração da parcela, nome da espécie, circunferência e altura. O podão de coleta de 8 m serviu de referência para a altura e as espécies não identificadas em campo, foram coletadas para posterior identificação por especialistas. Para mensuração de alturas superiores a 8 m foi utilizado um clinômetro Haglof.

Para cada árvore foram calculadas a Biomassa acima do solo pela fórmula alométrica ajustada para cerrados (Rezende *et al.*, 2006): $AGB = 0,49129 + 0,02912 \times Db^2 \times Ht$, onde AGB é a biomassa seca acima do solo, Db é o diâmetro mensurado a 0,30 m de altura a partir do solo e Ht é a altura total da árvore.

Os parâmetros fitossociológicos calculados para se realizar o reconhecimento da área foram: frequência relativa (FR), densidade relativa (DeR), dominância relativa (DoR) e o valor de importância (VI) (Moro & Martins, 2011). Foram calculados o índice de diversidade de Shannon- Weaver (H') e equabilidade de Pielou (J') (Mouillot & Leprêtre, 1999). Para estimar a dimensão florística foi utilizado o método da curva espécie – área (Cayuela *et al.*, 2015). Os cálculos foram realizados utilizando o software Excel. Os dados coletados foram calculados através das seguintes fórmulas:

Frequência Relativa (FR): resulta da frequência absoluta de cada espécie e da soma das frequências absolutas de todas as espécies amostradas, através da fórmula: $(FA/FAT) \times 100$, onde: FA = Frequência absoluta da espécie, FAT = Frequência total (soma das Frequências absolutas); Densidade Relativa (DeR): fração percentual do número de indivíduos de uma determinada espécie, em relação ao número total de indivíduos amostrados, de

todas as espécies, através da fórmula: $DeR = (ni/N) \times 100$, onde: ni = número de indivíduos amostrados da espécie e N = número de indivíduos amostrados no total; Dominância relativa por espécie (DoR): é a relação percentual entre a área basal total de uma espécie e a área total de todas as espécies amostradas, através da formula: $DoR = (\sum ABI / ABT) \times 100$, onde: ABI = Área basal do indivíduo da espécie; ABT = Soma das áreas basais de todas as espécies de amostradas; Para calcular o Índice de Valor de Importância (IVI) que indica o grau em que a espécie se encontra estabelecida na comunidade foi usada a forma: $IVI = DR + FR + DoR$, onde: DR = Densidade Relativa, FR = Frequência Relativa e DoR = Dominância relativa por espécie. Para se calcular o Valor de Importância utilizou o valor de $IVI/3 = VI (\%)$.

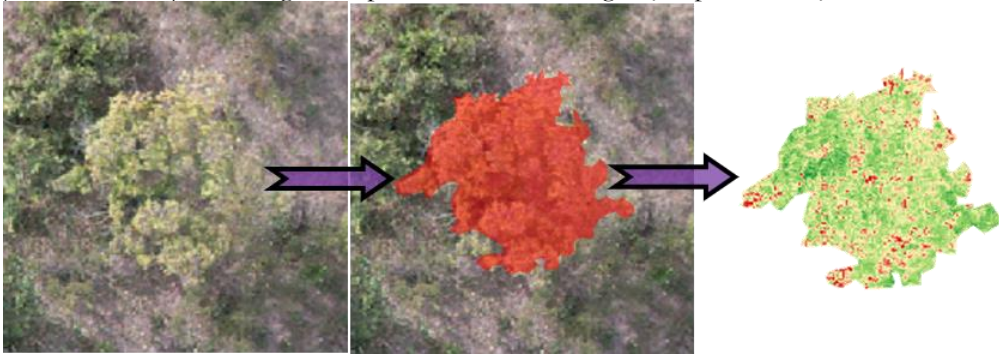
Para realizar a análise da diversidade florística foi utilizado o Índice de Shannon (H') através da fórmula: $H' = - \sum p_i \times \ln(p_i)$, onde: $p_i = ni/N$; ni = número de indivíduos amostrados da espécie i , N = número total de indivíduos amostrados, $\ln$ = logaritmo neperiano. Este índice resulta no grau de incerteza em supor a qual espécie pertenceria um indivíduo escolhido aleatoriamente da população (Mouillot & Leprêtre, 1999). Para se calcular o Índice de Equabilidade de Pielou (J') utilizou-se a formula: $J' = H' / H_{max}$, onde $H_{max} = \ln$ (total de espécies amostradas). Este índice é usado para indicar a uniformidade da distribuição dos indivíduos presentes na área, onde seu valor varia de 0 (uniformidade mínima) a 1 (uniformidade máxima) (Mouillot & Leprêtre, 1999). Para a aferição da suficiência amostral foi confeccionado a Curva Espécie – Área, ou curva do coletor, através da relação do número cumulativo de espécies por área amostrada. A curva de estimativa de espécies foi ajustada por regressão logarítmica, transformando a curva espécies-área em uma regressão (Rios *et al.*, 2023).

2.3 Aferição da cobertura de copa e índices de vegetação

Para a cobertura de copa foram utilizadas imagens obtidas com drone Drone Mavic Air2S do Laboratório de Inventário Florestal e Ecologia da Universidade Estadual de Goiás – Unidade Ipameri. No mês de maio de 2023 entre as 10h e 14h em dia sem nuvens, foram registradas 50 fotos aéreas a uma altitude de 120 m de altura a partir do solo que foram utilizadas para a produção de uma ortofoto com o uso do software Agisoft Metashape Professional (AGISOFT, 2016). Utilizando a ortofoto, o perímetro das copas foi aferido no CorelDraw X9 por meio da delimitação dos pixels que delimitavam tais copas e, em seguida, cada árvore teve sua cobertura de copa (CC) preenchida (Figura 2). Após aferição de todas as copas na área amostral, a cobertura de copa foi aferida no software Image Processing and Analysis in Java (ImageJ) (Rasband, 2012). A cobertura de copa aferida no ImageJ foi utilizada como parâmetro comparativo para os índices de vegetação utilizados.

Figura 2 - Exemplo de quantificação de cobertura de copa arbórea e utilização de índice de vegetação com utilização de imagens aéreas amostradas por drones. O perímetro e cobertura das copas foi primeiramente estabelecido em software e

imagem (CorelDraw X9) e, em seguida, aplicado índices de vegetação para definição da cobertura de copa.



Fonte: Autores, 2025.

Índices de vegetação: A ortofoto possui bandas no espectro Vermelho, Verde e Azul (Red, Green, Blue – RGB) que foram utilizadas no software QGIS para o cálculo dos índices de vegetação. Nas bandas RGB (*red, green, blue*), região visível do espectro, a reflectância da vegetação está relacionada aos pigmentos fotossintéticos, como a quantidade de verde presente na imagem (associada a presença de clorofila, antocianinas e carotenóides) (Hallik et al., 2017). As bandas RGB (*red, green, blue*), se referem as faixas do espectro eletromagnético que podem ser vistas pelo olho humano indicando a quantidade de vermelho, verde, e azul que a imagem possui e através destas quantidades pode-se gerar índices de vegetação com o processamento digital (Hallik et al., 2017). Assim, com o uso da ortofoto da área de estudo, foram processados os índices de vegetação no Qgis utilizando-se a ferramenta Raster: ExG, GCC, GR, MGRVI, MVARI, NORM G, NORM GR, RGRI, TGI, VARI, VDVI cujas fórmulas estão representadas na (Tabela 1). Em seguida, cada imagem gerada foi transformada na simbologia “banda simples falsa cor” do vermelho para o verde, onde as imagens são modificadas para serem representadas de vermelho (o que representa solos e áreas abertas), passando pelo laranja e amarelo (que representa comumente gramíneas (na estação seca) e diferentes tonalidades de verde (do amarelo esverdeado a até o verde escuro) que representam árvores de maior porte, semelhante ao amostrado neste estudo.

Em seguida foi realizada a contagem de pixels com uso da ferramenta “Processing” e “reporta camada raster de valor único,” na qual afere, pixel a pixel, qual é a cor que aquele pixel representa, e varia de vermelho escuro, tonalidades de vermelho até vermelho claro, tonalidades de vermelho-alaranjado, laranja escuro, tonalidades de laranja até o laranja claro, laranja-amarelado, amarelo, tonalidades de amarelo, amarelo-esverdeado, verde claro, tonalidades de verde e verde escuro. Pixels amarelos com tonalidades esverdeadas também em verde foram considerados como “verdes claros” neste estudo pois muitas árvores do cerrado, sobretudo na estação seca pré-decuidade, apresentam folhas amarelo-esverdeadas.

Tabela 1 - Índices de vegetação calculados no software QGis utilizando-se a ferramenta RASTER.

Nome do índice	Sigla	Fórmula
<i>Excess of green</i>	ExG	$2G-R-B$
<i>Green Ratio</i>	GCC	$G/(B+G+R)$
<i>Greenness Index</i>	GR	G/R
<i>Modified Green Red Vegetation Index</i>	MGRVI	$(G^2-R^2)/(G^2+R^2)$
<i>Modified Visible Atmospheric Resistant Index</i>	MVARI	$(G-B)/(G+R-B)$
<i>Normalized Greenness</i>	Norm_G	$G/(G+R+B)$

Normalized Green-Red Ratio	Norm_GR	$(G-R)/(G+R)$
Red Green Ratio Index	RGRI	R-G
Triangular Greenness Index	TGI	$G-(0.39*R)-(0.61*B)$
Visible Atmospherically Resistant Index	VARI	$(G-R)/(G+R-B)$
Visible-band Difference Vegetation Index	VDVI	$(2*G-R-B)/(2*G+R+B)$

Fonte: Próprios autores. Onde G = Verde, R = Vermelho, B = Azul.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Riqueza Florística e a Diversidade

Na área foram amostrados 144 indivíduos (654 indivíduos por hectare), distribuídas em 32 espécies (Tabela 2) dos quais 15,28% foi representada apenas por uma única espécie *Qualea grandiflora*, seguida das espécies *Curatella americana* (10,42%) e *Coccoloba mollis* (14,58 %). *Q. grandiflora* e *C. americana* estão entre as 20 espécies mais comuns em cerrados stricto sensu (Ratter et al., 2003). *C. mollis* é pioneira e comum em cerrados em fase inicial de sucessão e demonstra que o cerrado em questão possui impactos antrópicos. Dos impactos perceptíveis durante o campo realizado, estão a presença de animais domésticos que invadem a área e indícios de queimadas passadas. Cerrados em fases iniciais de regeneração apresentam abundância de espécies pioneiras, principalmente porque estas são as primeiras a predominarem no ambiente, devido ao seu rápido crescimento e acúmulo de biomassa (Bendito et al., 2018). *C. mollis* geralmente possuía copa reduzida e irregular com o tronco geralmente é tortuoso e possui o hábito de rebrotar na base quando queimada ou quando está quebrada (fenômeno visualizado em campo). A área foi avaliada com poucas espécies (32 espécies), pois havia muita degradação de pastagem no local de estudo. Mesmo em áreas protegidas ou em reservas legais os impactos podem ocorrer se não houver um controle a longo prazo, o que pode reduzir a riqueza de espécies

A baixa riqueza encontrada pode ser parcialmente explicada pela existência de indícios de queimadas e gado que ocasionou na perda de árvores por quebras. Ainda assim, o índice de Shannon (3,02) se apresentou dentro dos padrões para o cerrado goiano e da região, que costumeiramente varia entre 3,00 a 3,50 que avaliou 10 cerrados próximos à área de estudo (Lopes et al., 2011) mesmo quando em áreas impactadas pelo fogo e outras ações antrópicas como desbaste e uso contínuo (Costa et al., 2019; Rios et al., 2023). Foi estimado 19,657 Mg.ha-1 (±1,76) de biomassa seca, semelhante a biomassa estimada em cerrados ralos e típicos (stricto sensu) de Goiás (Toneli et al., 2024), porém o coeficiente de variação entre as parcelas foi elevado, de 47,95%, demonstrando alta variabilidade entre os dados. Esta é uma característica comum em cerrado stricto sensu que pode possuir áreas esparsas sem árvores de grande porte (De Queiroz et al., 2023; Rios et al., 2020).

Tabela 2 - Parâmetros fitossociológicos das espécies amostras no cerrado stricto sensu, na UnU Ipameri, da Universidade Estadual de Goiás-GO.

Espécies	Autores	Nº	AB	DeR	DoR	FrR	VI%
<i>Qualea grandiflora</i>	Mart.	22	1408,68	15,28	15,33	11,96	14,19
<i>Curatella americana</i>	L.	15	1128,73	10,42	12,29	10,87	11,19
<i>Coccoloba mollis</i>	Casar.	21	1126,74	14,58	12,27	6,52	11,12
<i>Byrsonima pachyphylla</i>	A. Juss.	10	991,22	6,94	10,79	8,70	8,81
<i>Terminalia argentea</i>	Mart. & Zucc.	6	1105,81	4,17	12,04	6,52	7,58

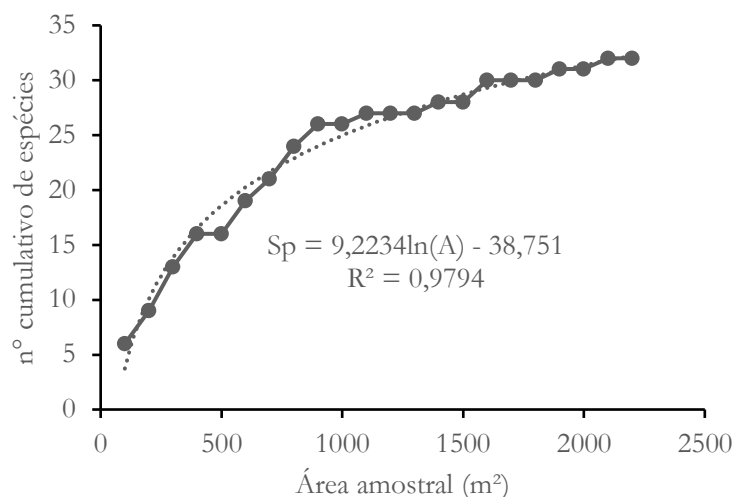
<i>Qualea multiflora</i>	Mart.	9	392,48	6,25	4,27	8,70	6,41
<i>Diospyros lasiocalyx</i>	(Mart.) B. Walln.	10	266,66	6,94	2,90	2,17	4,01
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	M. Allemão	6	132,74	4,17	1,44	5,43	3,68
<i>Cordia trichotoma</i>	(Vell.) Arráb. ex Steud.	4	287,67	2,78	3,13	3,26	3,06
<i>Hymenaea courbaril</i>	L.	5	145,31	3,47	1,58	3,26	2,77
<i>Astronium fraxinifolium</i>	Schott.	4	172,21	2,78	1,87	3,26	2,64
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	R.Br.	3	272,39	2,08	2,97	2,17	2,41
<i>Machaerium aculeatum</i>	Raddi.	1	484,15	0,69	5,27	1,09	2,35
<i>Hymenaea stigonocarpa</i>	L.	3	110,06	2,08	1,20	2,17	1,82
<i>Acosmium subelegans</i>	(Mohlenbr.) Yakovlev	2	142,44	1,39	1,55	2,17	1,70
<i>Machaerium birtum</i>	(Vell.) Stellfeld.	2	99,87	1,39	1,09	2,17	1,55
<i>Heteropterys escalloniifolia</i>	A.juss.	2	80,93	1,39	0,88	2,17	1,48
<i>Anacardium occidentale</i>	L.	2	171,97	1,39	1,87	1,09	1,45
<i>Dalbergia miscolobium</i>	Benth.	2	66,21	1,39	0,72	2,17	1,43
<i>Roupala montana</i>	Aubl.	1	161,14	0,69	1,75	1,09	1,18
<i>Banisteriopsis gardneriana</i>	(Kunt) A. juss.	2	85,55	1,39	0,93	1,09	1,14
<i>Myrtaceae sp.</i>		2	60,88	1,39	0,66	1,09	1,05
<i>Lithrae molleoides</i>	(Vell) Engl	1	80,61	0,69	0,88	1,09	0,89
<i>Cecropia pachystachya</i>	Trécul.	1	45,84	0,69	0,50	1,09	0,76
<i>Bauhinia forficata</i>	Link.	1	23,00	0,69	0,25	1,09	0,68
<i>Casearia sylvestris</i>	Sw.	1	23,00	0,69	0,25	1,09	0,68
<i>Inga laurina</i>	(Sw.) Willd	1	23,00	0,69	0,25	1,09	0,68
<i>Bauhinia brevipes</i>	Vogel.	1	20,37	0,69	0,22	1,09	0,67
<i>Cariocar brasiliensis</i>	Cambess.	1	20,37	0,69	0,22	1,09	0,67
<i>Matayba guianensis</i>	Aubl.	1	20,37	0,69	0,22	1,09	0,67
<i>Dimorphandra mollis</i>	Benth.	1	17,90	0,69	0,19	1,09	0,66
<i>Zanthoxylum riedelianum</i>	Engl.	1	17,90	0,69	0,19	1,09	0,66

Fonte: Próprios autores. Em que: N. ind = número de indivíduos, AB = área basal, DeR = densidade relativa (%), FrR = frequência relativa (%), DoR = dominância relativa (%) e IVI = Índice de Valor de Importância VI% = valor de importância em porcentagem.

3.2 Curva espécie-área

A curva de espécies por área amostrada (curva do coletor, Figura 3) não apresentou estabilização, demonstrando que a vegetação de cerrado stricto sensu localizados nestas condições devem ser mais amostrados no futuro mesmo que haja uma certa tendência a estabilização. Ainda assim é possível verificar que a curva logarítmica possuiu um alto coeficiente de determinação e pode ser utilizada como base para aferir a riqueza deste cerrado.

Figura 3 - Curva de acumulação de espécies para área amostral (B) para cerrado stricto sensu na Universidade Estadual de Goiás, Ipameri-GO. Sp = n° de Espécies, A = área amostral, R² = coeficiente de determinação. Fonte: Própria autora.



Fonte: Autores, 2025.

3.3 Cobertura de Copa

A cobertura de copa (CC) aferida pela contagem de pixels definiu que a área amostrada possuiu 838m² de cobertura de copa de 2318 m² possíveis (a ortofoto final não representou toda a extensão dos 2400 m² de área amostrada), totalizando 36,1% de cobertura (Tabela 3). Para cerrados típicos é considerado, através da utilização de diagramas de perfil, que a cobertura de copa varia de 20 a 50% (Ribeiro, J. F. & Walter, B. M. T., 2008) e a aferição via contagem de pixels esteve dentro do esperado. Houve pequenas falhas na ortofoto no canto esquerdo, meio da foto e região inferior da imagem (em branco na Figura 4A), por esta razão, a área da ortofoto foi inferior a área amostral.

Os índices VDVI, ExG, GR, NORMG, GCC e TGI (Figuras 4 B, C, D, G, J, L) representaram alguns arbustos e pequenas árvores com tonalidades amareladas e, em alguns casos, alaranjadas e coberturas de copa variando de 28,5 a 31,5%, logo inferiores a CC aferida pelo número de pixels. Os índices MGRVI, RGRI, NORM GR, MVARI e VARI apresentaram tonalidades de verde mais representativas da vegetação e foram um pouco superiores e os que mais assemelharam com a CC via número de pixels com valores superiores a 38,0%.

Uma explicação para os valores destes índices serem um pouco superiores a contagem direta de pixels é o fato de haver arbustos e pequenas árvores que aparecem com coloração esverdeada na imagem gerada por estes índices. Diversos estudos apontam a eficácia do uso de ferramentas de processamento de imagens e os resultados aqui aferidos parecem promissores em se avaliar a real cobertura de copa das árvores.

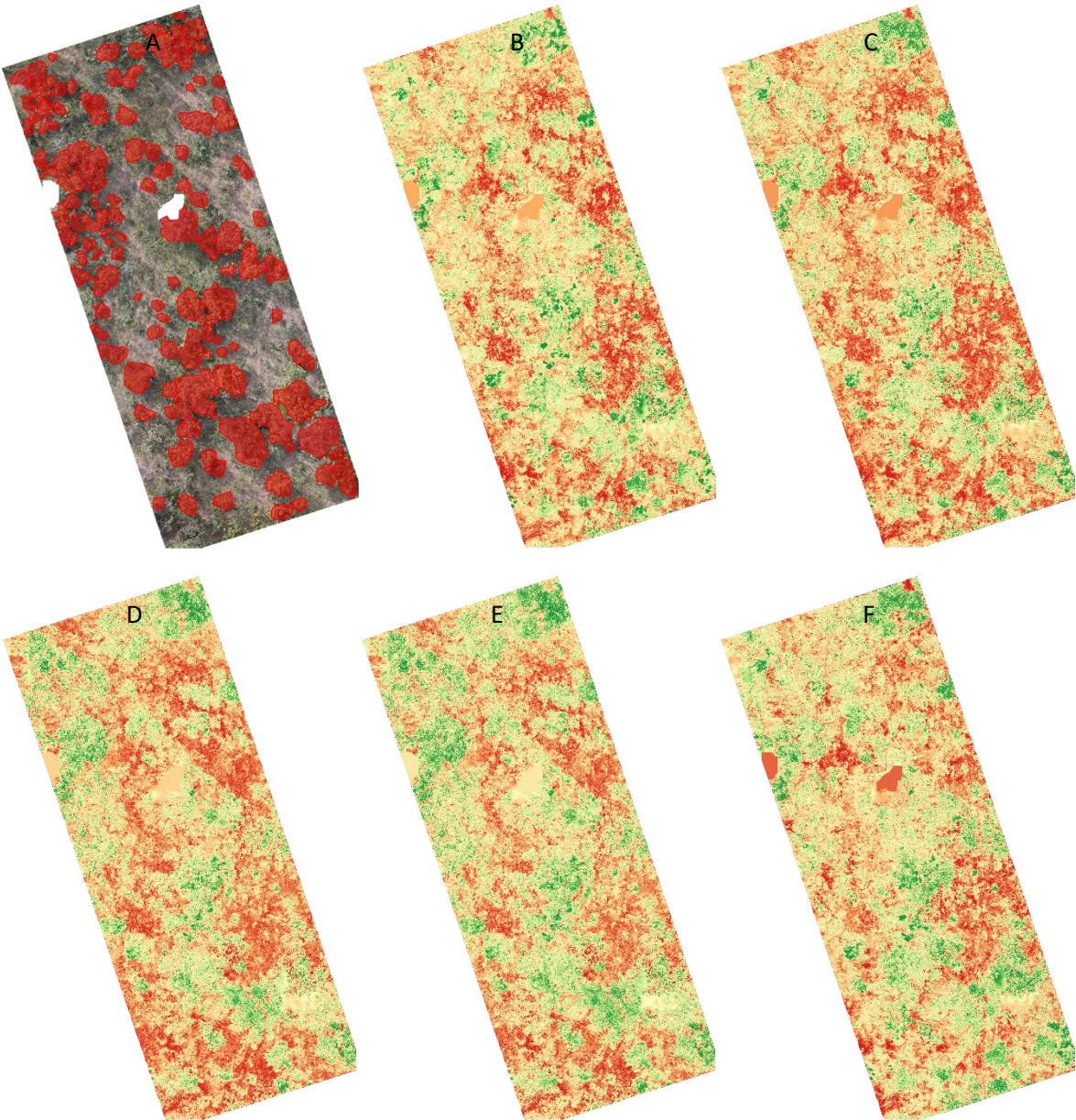
Tabela 3 - Índices de vegetação e aferição da cobertura de copa para cerrado stricto sensu no sudeste de Goiás.

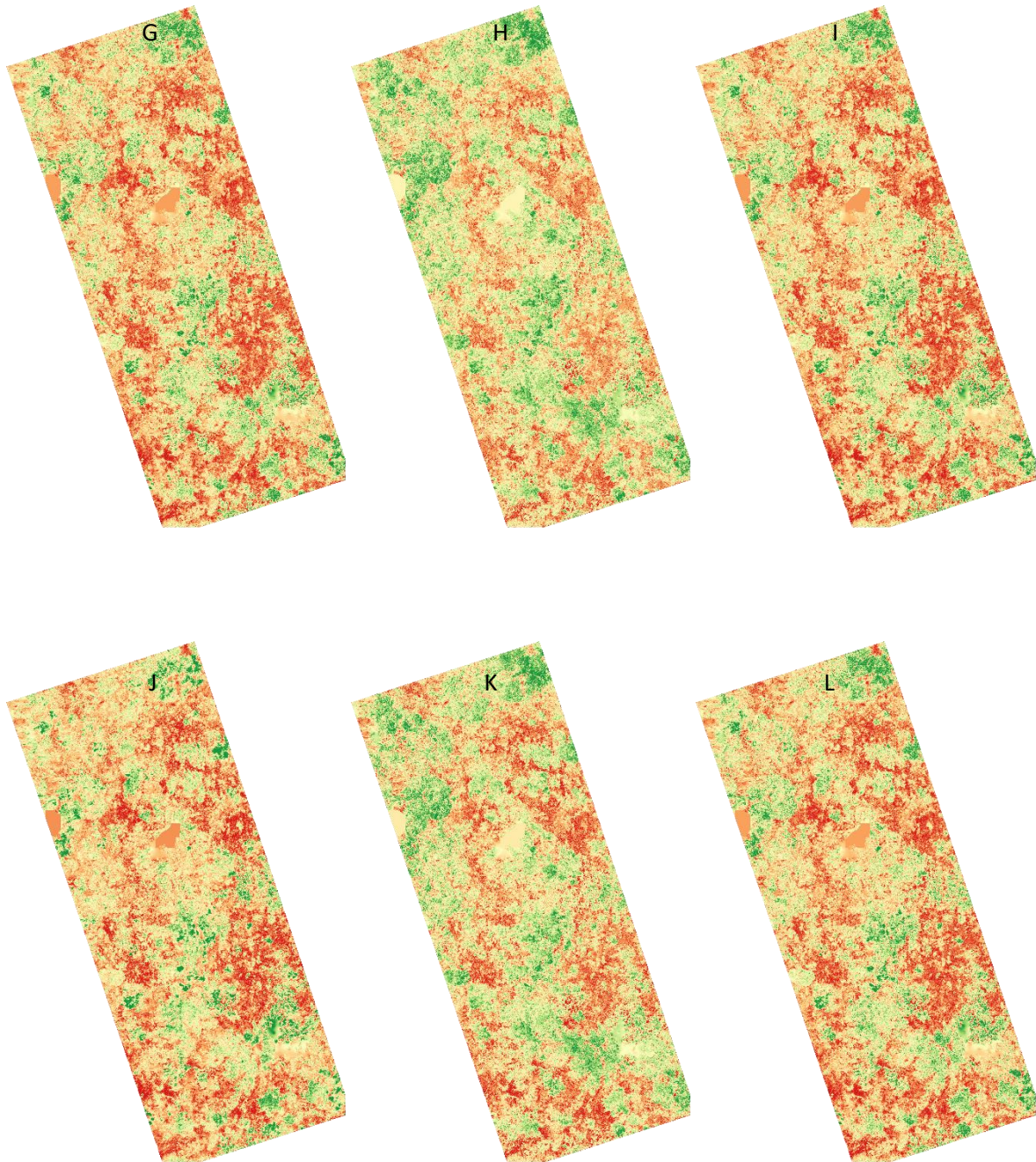
nº	Índices	Área total (m²)	Cobertura (m²)	% Cobertura
1	Copas (Pixels)	2318	838	36,1
2	VARI	2306	936	40,6
3	MGRVI	2303	902	39,2
4	RGRI	2303	890	38,6
5	NORMGR	2303	890	38,6
6	MVARI	2254	858	38,1

7	VDVI	2318	721	31,1
8	ExG	2255	695	30,8
9	GR	2303	683	29,7
10	NORMG	2318	657	28,3
11	GCC	2318	657	28,3
12	TGI	2284	643	28,2

Fonte: Autores, 2025.

Figura 4 - A) Cobertura de copa quantificada por número de pixels, B)ExG, C)GCC, D)GR, E)MGRVI, F)MVARI, G)NORM G, H)NORM GR, I)RGRI, J)TGI, K)VARI, L)VDVI.





Fonte: Autores, 2025.

4 CONCLUSÃO

As análises realizadas permitem concluir que a composição florística e fitossociológica é distinta em relação a cerrados em bom estágio de conservação na região por apresentar baixa riqueza de espécies. É provável que fatores antrópicos como a degradação por impactos negativos como presença de animais, fogo, árvores caídas e quebradas indicam que a área não tem sido devidamente protegida e propomos que a área seja completamente cercada de modo a não permitir a entrada de animais domésticos e que seja realizado um aceiro para prevenir contra futuros incêndios. A cobertura de copa entre 36% (aferida por contagem de pixels de copa e 40% (aferida pelos índices de vegetação) estão dentro dos padrões para cerrados *stricto sensu*.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Recurso financeiro proveniente do Edital/Convocatória Pró-Projetos - Projeto Institucional Estratégico - Nº 20/2023, Fomento sob ID 135 no Sistema Pró-Pesquisa (UEG), SEI: 202300020023365, Ao CNPQ pela bolsa de iniciação científica de Ensino Médio a quarta autora do trabalho.

Conflitos de interesses

Os autores declaram que não há conflitos de interesse. Todos os autores estão cientes da submissão do artigo.

Contribuições dos autores

Vagner Santiago do Vale, Lucas Robson de Oliveira e João Paulo Costa realizaram a análise de dados e escrita do manuscrito. Emanuely Diniz Strutzel de Castro Lázaro, Erikson Leonardo Santos de Miranda e Vanessa Oliveira realizaram os vãos e auxiliaram nas análises de dados das imagens aéreas e participaram das atividades de campo. Fernanda Dias e João Paulo Cardoso dos Santos de Faria participaram das atividades de campo. Lilian Cristina da Silva Santos auxiliou nas atividades de campo e identificação botânica das espécies. Luis Henrique Mantovani de Farias fez a revisão final do manuscrito.

REFERÊNCIAS

AGISOFT. (2016). *AgiSoft PhotoScan Professional (Version 1.2.6)* [Software].

Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., de Moraes Gonçalves, J. L., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

Bendito, B. P. C., Souza, P. A. de, Ferreira, R. Q. de S., Cândido, J. B. e, & Souza, P. B. de. (2018). Espécies do cerrado com potencial para recuperação de áreas degradadas, Gurupi (TO). *Revista Agrogeoambiental*, 10(2), Artigo 2. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v10n220181117>

Beuchle, R., Grecchi, R. C., Shimabukuro, Y. E., Seliger, R., Eva, H. D., Sano, E., & Achard, F. (2015). Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. *Applied Geography*, 58, 116–127. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.01.017>

Cândido, A. K. A. A., Silva, N. M. da, & Filho, A. C. P. (2015). Imagens de Alta Resolução Espacial de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) no Planejamento do Uso e Ocupação do Solo. *Anuário do Instituto de Geociências*, 38(1), Artigo 1. https://doi.org/10.11137/2015_1_147_156

Cayuela, L., Gotelli, N. J., & Colwell, R. K. (2015). Ecological and biogeographic null hypotheses for comparing rarefaction curves. *ECOLOGICAL MONOGRAPHS*, 85(3), 437–455. <https://doi.org/10.1890/14-1261.1>

Costa, J. P., Dias Neto, O. C., Santos, L. C. S., Rodrigues, A. W., Rios, J. M., Prado-Júnior, J. A., & Vale, V. S. D. (2022). Traços funcionais de espécies arbóreas de cerrado *sensu stricto* e sua importância para a manutenção de comunidades nativas. *Ciência Florestal*, 32(4), 1807–1829.

- Costa, J. P., Santos, L. C. da S., Rios, J. M., Rodrigues, A. W., Neto, O. C. D., Júnior, J. A. do P., & Vale, V. S. do. (2019). Estrutura e diversidade de trechos de Cerrado *sensu stricto* às margens de rodovias no estado de Minas Gerais. *Ciência Florestal*, 29(2), Artigo 2. <https://doi.org/10.5902/1980509826869>
- De Lima Neto, E. M., Biondi, D., Araki, H., & Bobrowski, R. (2012). Fotografias aéreas para mensuração da área de copa das árvores de ruas de Curitiba-PR. *Floresta*, 42(3), 577–586.
- De Queiroz, R. F. P., d'Oliveira, M. V. N., Rezende, A. V., & de Alencar, P. A. L. (2023). Estimation of Aboveground Biomass Stock in Tropical Savannas Using Photogrammetric Imaging. *Drones*, 7(8), Artigo 8. <https://doi.org/10.3390/drones7080493>
- Françoso, R. D., Brandão, R., Nogueira, C. C., Salmona, Y. B., Machado, R. B., & Colli, G. R. (2015). Habitat loss and the effectiveness of protected areas in the Cerrado Biodiversity Hotspot. *Natureza & Conservação*, 13(1), 35–40. <https://doi.org/10.1016/j.ncon.2015.04.001>
- Freire-Silva, J., Paz, Y. M., Lima-Silva, P. P., Pereira, J. A. dos S., & Candeias, A. L. B. (2019). Índices de vegetação do Sensoriamento Remoto para processamento de imagens na faixa do visível (RGB). *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 9(4), Artigo 4. <https://doi.org/10.29150/jhrs.v9.4.p228-239>
- Freitas, W. K. D. & Magalhães, L. M. S. (2012). Métodos e Parâmetros para Estudo da Vegetação com Ênfase no Estrato Arbóreo. *Floresta e Ambiente*, 19(4), 520–540. <https://doi.org/10.4322/loram.2012.054>
- Hallik, L., Kazantsev, T., Kuusk, A., Galmés, J., Tomás, M., & Niinemets, Ü. (2017). Generality of relationships between leaf pigment contents and spectral vegetation indices in Mallorca (Spain). *Regional Environmental Change*, 17(7), 2097–2109. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1202-9>
- Lopes, S. de F., Vale, V. S. do, Oliveira, A. P. de, & Schiavini, I. (2011). Análise comparativa da estrutura e composição florística de Cerrado no Brasil central. *Interciência*, 36(1), 8–15.
- Moro, M. F., & Martins, F. de. (2011). Métodos de levantamento do componente arbóreo-arbustivo. In *Fitossociologia no Brasil*. J. M. Felfili, P.V. Eisenlohr, M.M.R.F. Melo, L.A. Andrade. (pp.174–212) Editora. UFV - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Mouillot, D., & Lepître, A. (1999). A comparison of species diversity estimators. *Researches On Population Ecology*, 41(2), 203–215.
- Qi, Y., Coops, N. C., Daniels, L. D., & Butson, C. R. (2022). Comparing tree attributes derived from quantitative structure models based on drone and mobile laser scanning point clouds across varying canopy cover conditions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 192, 49–65. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2022.07.021>
- Rasband, W. S. (2012). ImageJ: Image processing and analysis in Java. *Astrophysics Source Code Library*, ascl:1206.013.
- Ratter, J. A., Bridgewater, S., & Ribeiro, J. F. (2003). Analysis of the floristic composition of the Brazilian Cerrado Vegetation III: Comparison of the woody vegetation Of 376 Areas. *Edinburgh Journal of Botany*, 60(1), 57–109. <https://doi.org/10.1017/S0960428603000064>
- Rezende, A. V., Sanquetta, C. R., Filho, A. F., & Felfili, J. M. (2006). Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado *sensu stricto* em Brasília, DF. *Scientia Forestalis*, 71.

- Ribeiro, J. F., & Walter, B. M. T. (2008). As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. Em *Cerrado: Ecologia e flora: Vol. v. 2* (p. 867). EMBRAPA-CERRADOS.
- Rios, J. M., Mariano, G. V. P., Silva, V. P. G. da, Santos, L. C. da S., Costa, J. P., Zica, L. R. da S., Santos, B. G. dos, Santos, A. F. C., Júnior, J. A. do P., & Vale, V. S. do. (2020). Comparação de análises fitossociológicas e multivariadas na determinação do grau de conservação de áreas nativas de Cerrado. *Ciência Florestal*, 30(3), Artigo 3. <https://doi.org/10.5902/1980509835229>
- Rios, J. M., Santos, L. C. da S., Costa, J. P., Pereira, I. M., Gusson, A. E., & Vale, V. S. do. (2023). Ecologia da comunidade arbórea de Cerrado stricto sensu às margens de rodovias. *Ciência Florestal*, 33, e62683. <https://doi.org/10.5902/1980509862683>
- Santos, H. G. dos (with Embrapa Solos). (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos* (5ª edição revista e ampliada). Embrapa.
- Sloan, S., Jenkins, C. N., Joppa, L. N., Gaveau, D. L. A., & Laurance, W. F. (2014). Remaining natural vegetation in the global biodiversity hotspots. *Biological Conservation*, 177, 12–24. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.05.027>
- Toneli, C. A. Z., Scardua, F. P., Martins, R. de C. C., Matricardi, E. A. T., Ribeiro, A., & Ferraz Filho, A. C. (2024). Aerial Biomass Estimation in the Cerrado Biome Using Canopy Height Data. *Forests*, 15(3), Artigo 3. <https://doi.org/10.3390/f15030507>
- Vale, V. S. do, Veiga, T. A. T. da, Júnior, J. A. do P., Santos, L. C. da S., Rios, J. M., & Costa, J. P. (2021). Functional traits in the arboreal component of the cerrado vegetable community. *Floresta*, 51(2), Artigo 2. <https://doi.org/10.5380/rf.v51i2.64909>