


ÍNDICES DE VEGETAÇÃO COMO INSTRUMENTO DE ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO VEGETAL NA PAISAGEM DO PARQUE NATURAL MUNICIPAL DO GERICINÓ, NILÓPOLIS - RJ


VEGETATION INDICES AS AN INSTRUMENT FOR ANALYZING PLANT DISTRIBUTION IN THE LANDSCAPE OF THE GERICINÓ MUNICIPAL NATURAL PARK, NILÓPOLIS - RJ

ÍNDICES DE VEGETACIÓN COMO INSTRUMENTO DE ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN VEGETAL EN EL PAISAJE DEL PARQUE NATURAL MUNICIPAL DO GERICINÓ, NILÓPOLIS - RJ

Ayrton Durães Manso¹

 0000-0002-2002-3328
ayrtongeo@gmail.com

Marco Aurélio Passos Louzada²

 0000-0002-4221-3325
marco.louzada@ifrj.edu.br

1 Doutorando do curso de Geociências da Universidade do Estado do Rio de Janeiro Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2002-3328>. E-mail: ayrtongeo@gmail.com.

2 Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro Nilópolis, Rio de Janeiro, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4221-3325>. E-mail: marco.louzada@ifrj.edu.br.

Artigo recebido em abril de 2024 e aceito para publicação em julho de 2024.



Este artigo está licenciado sob uma Licença
Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional.

RESUMO: No âmbito das geotecnologias, os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) são ferramentas cada vez mais utilizadas para o Sensoriamento Remoto de áreas cultivadas e de vegetação nativa por meio de Índices de Vegetação. Com o processamento de imagens digitais RGB através de operações aritméticas aplicadas às suas bandas espectrais, é possível extrair informações referentes a distribuição e saúde das plantas, bem como à exposição do solo aos processos erosivos, auxiliando na tomada de decisão para gestão ambiental e planejamento do território. O presente estudo teve como objetivo avaliar a distribuição da vegetação a partir de diferentes índices de vegetação em uma Unidade de Conservação de Proteção Integral, utilizando ferramentas de classificação automática. O voo para a tomada das imagens e a obtenção dos pontos de controle ocorreu durante a estação chuvosa em diversas áreas do parque. Os resultados obtidos demonstraram que os índices ExG e GLI foram aqueles com melhor resposta visual à distribuição da vegetação e melhor quantificação automática da sua área de cobertura espacial.

Palavras-chave: Índices RGB. Aerofotografia. Gestão Ambiental.

ABSTRACT: Within the scope of geotechnologies, Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) are tools increasingly used for Remote Sensing of cultivated areas and native vegetation through Vegetation Indices. With the processing of RGB digital images through arithmetic operations applied to their spectral bands, it is possible to extract information regarding the distribution and health of plants, as well as soil exposure to erosive processes, assisting in decision making for environmental management and land planning territory. The present study aimed to evaluate the distribution of vegetation based on different vegetation indices in an Integral Protection Conservation Unit, using automatic classification tools. The flight to take images and obtain control points took place during the rainy season in several areas of the park. The results obtained demonstrated that the ExG and GLI indices were those with the best visual response to the vegetation distribution and the best automatic quantification of their spatial coverage area.

Keywords: RGB Indices. Aerial photography. Environmental management.

RESUMEN: En el ámbito de las geotecnologías, los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs) son herramientas cada vez más utilizadas para para la Teledetección de áreas cultivadas y de vegetación nativa mediante Índices de Vegetación. Con el procesamiento de imágenes digitales RGB a través de operaciones aritméticas aplicadas a sus bandas espectrales, es posible extraer información relacionada con la distribución y salud de las plantas, así como la exposición del suelo a procesos erosivos, lo que ayuda en la toma de decisiones para la gestión ambiental y planificación del territorio. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la distribución de la vegetación utilizando diferentes índices de vegetación en una Unidad de Conservación de Protección Integral, utilizando herramientas de clasificación automática. El vuelo para la toma de imágenes y la obtención de puntos de control se llevó a cabo durante la estación de lluvias en diversas áreas del parque. Los resultados obtenidos demostraron que los índices ExG y GLI fueron los que mejor respondieron visualmente a la distribución de la vegetación y proporcionaron una mejor cuantificación automática de su área de cobertura espacial.

Palabras Clave: Índices RGB. Fotografía aérea. Gestión ambiental.

INTRODUÇÃO

O emprego dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) ou *drones* para aquisição de imagens em trabalhos do segmento agrícola, comercial e industrial, bem como em pesquisas científicas das diferentes áreas do saber tem sido recorrente nos últimos anos (Santos *et al.*, 2020). No entanto, o uso das fotografias aéreas não configura uma inovação recente, desde o século passado se buscou o imageamento da superfície terrestre para interpretação do espaço geográfico, o que foi favorecido devido ao desenvolvimento de aeronaves, câmeras fotográficas, satélites artificiais e sensores (Novo; Ponzoni, 2001).

Parte deste desenvolvimento científico e tecnológico presenciado no século XX, está atrelado ao contexto de conflitos geopolíticos que marcaram esse período, destacando-se as duas Guerras Mundiais e a Guerra Fria (Melo *et al.*, 2021). Com o advento dos satélites e das fotografias orbitais a concepção de Sensoriamento Remoto se aproximou com a atual, na qual de acordo com Novo (2010) se define pela:

Utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações. (Novo, 2010, p. 28).

Os *drones* atuais resultam também dessa evolução tecnológica, os quais hoje em conjunto aos *softwares* de geoprocessamento livre têm corroborado para a difusão das técnicas de fotogrametria de imagens compostas pelo espectro visível RGB, do inglês, *Red-Green-Blue* (Viana *et al.*, 2020). Os sensores de luz visível, ou câmeras RGB, são os dispositivos ópticos mais utilizados juntamente com os *drones* (Pappalardo; Andrade, 2022). A adoção desses sensores em grande parte dos VANTs é o que possibilita sua comercialização em valores mais acessíveis ao mercado civil, uma vez que outros tipos são comumente mais onerosos, como os sensores multiespectrais, hiperespectrais, termais e os sensores LiDAR.

Segundo Prudkin (2019, p. 19), os *drones* têm desempenhado papel importante no desenvolvimento de percepção e narrativa da dinâmica dos fenômenos observados na paisagem, graças a sua perspectiva visual, na qual o autor diz que “deve-se, ao “mostrar”, aos espectadores, lugares e experiências que não poderiam ser acessíveis de outra forma senão através da “visão” desta tecnologia”.

Nesse sentido, como ferramenta de Sensoriamento Remoto, os *drones* tem sido amplamente utilizado em estudos voltados ao monitoramento da distribuição e qualidade da cobertura vegetal, com destaque para a agricultura de precisão. No entanto a vantagem relacionada a rapidez da aquisição de dados, maior resolução espacial e temporal comparada aos satélites, oferece subsídios para o acompanhamento da dinâmica não somente dos agrossistemas e seus ciclos de cultivo, mas dos próprios ecossistemas naturais (Pappalardo; Andrade, 2022). No campo das ciências florestais:

Em geral, os *drones* têm sido mais aplicados em florestas plantadas, cujas imagens são utilizadas para atualização do cadastro florestal, monitoramento de falhas de plantio e de pragas florestais, determinação de linhas de plantio e altura das árvores, contagem de indivíduos, entre outros. Entretanto, pouco é estudado sobre a aplicação dos *drones* em florestas nativas no Brasil, em que é possível o monitoramento de fragmentos, classificação de indivíduos e de empreendimentos de recuperação de áreas degradadas (Neto; Breunig, 2019, p. 69).

A aplicação dos índices de vegetação tem sido adotada para estimar a cobertura vegetal em imagens multiespectrais, sendo possível determinar a quantidade e qualidade das plantas, bem como o solo exposto, caracterizado pela ausência de indivíduos vegetais em uma determinada área representada por um conjunto de *pixels* da imagem (Beniaich *et al.*, 2019). Através de operações algébricas utilizando-se as bandas espectrais de uma imagem, é possível gerar os índices de vegetação, aprimorando a representação dos objetos da superfície terrestre de acordo com seus valores de reflectância específicos (Gameiro *et al.*, 2017; Barros *et al.*, 2020).

Portanto, os índices de vegetação representam uma métrica radiométrica adimensional derivada do comportamento espectral da vegetação, dada pela sensibilidade dos sensores em capturar a radiação refletida por cada tipo de objeto. As particularidades da vegetação irão proporcionar diferentes padrões de respostas, os quais podem variar de acordo com: sua atividade fotossintética, a densidade de cobertura vegetal, o teor de clorofila da planta, o acúmulo de biomassa e o estágio de desenvolvimento da vegetação (Inpe *et al.*, 2011).

Desse modo, objetivou-se analisar a distribuição vegetal do Parque Natural Municipal do Gericinó (PNMG) por meio de imagens RGB obtidas por um VANT a partir da utilização de índices de vegetação e sua classificação supervisionada.

MATERIAL E MÉTODOS

As imagens aéreas utilizadas no trabalho foram obtidas nos dias 21 e 22 de fevereiro de 2024 por meio de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), modelo DJI Mini 2, que sobrevoou diferentes pontos do PNMG.

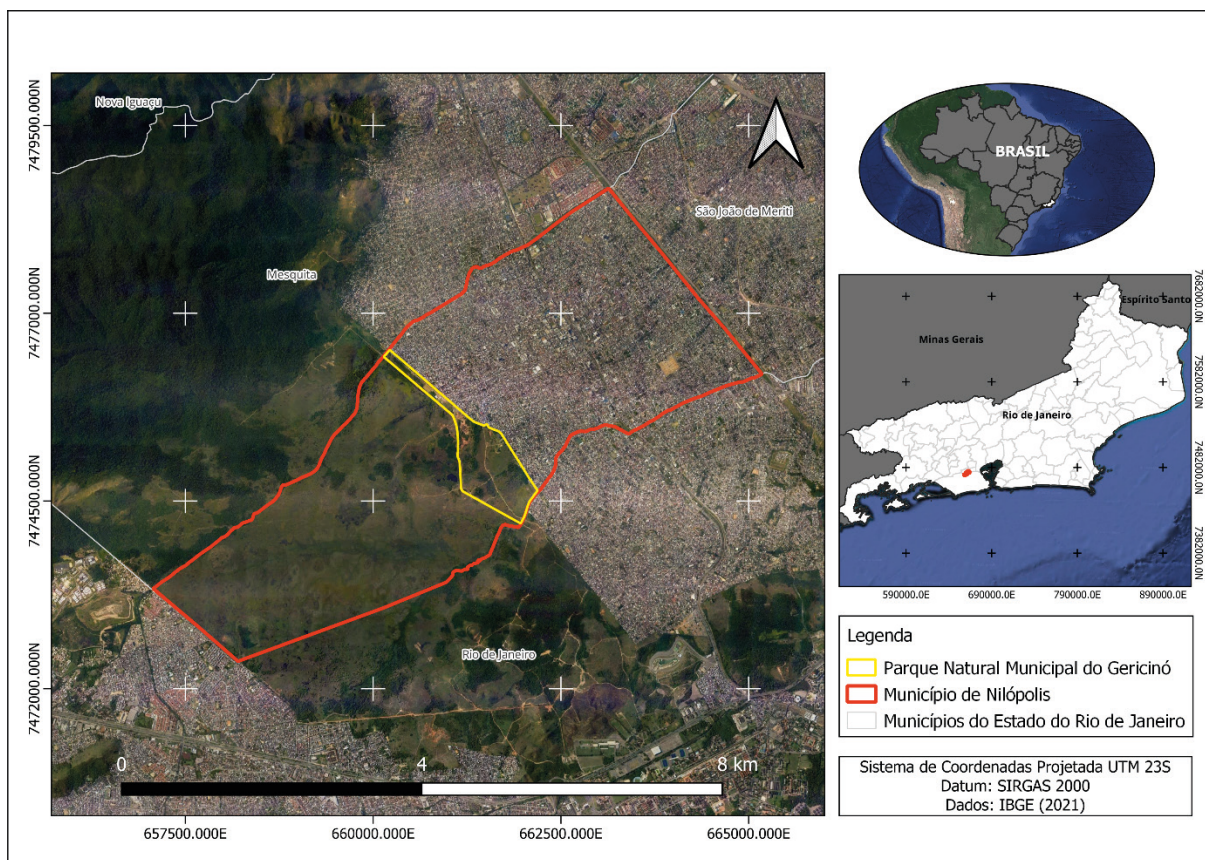
De acordo com a sua fabricante, a câmera embarcada no *drone* possui resolução de 4000 x 2250, sensor CMOS 1/2,3 pol, 12 Megapixel, lente 24mm (equivalente a 35mm), abertura f/2.8, campo de visão (FOV) de 83°.

Área de estudo

A área de estudo corresponde ao Parque Natural Municipal do Gericinó Prefeito Farid Abrão (PNMG), a única Unidade de Conservação (UC) do município de Nilópolis, RJ (Figura 1). É uma UC criada em 2009 e compreende uma área total de 77 hectares que incluem fragmentos degradados de Mata Atlântica, áreas dominadas por pastagens degradadas, brejos e áreas alagadas onde há a presença de *Tabebuia cassinoides* – Família Bignoniaceae, espécie de árvore conhecida como caixeta e que evoluiu em ambientes alagados.

Nas áreas de pasto ou bordeando o fragmento de floresta ombrófila densa podem ser encontrados espécimes de *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth. – Família Fabaceae, jacarandá-da-bahia. Tanto *T. cassinoides* como *D. nigra* são classificadas com status de Vulnerável a extinção. A região onde foi criado o município e posteriormente o

Parque possui um histórico de fazendas que remetem à época da capitania hereditária de São Vicente (1531) e em 1923 foi implantado o Campo de Instrução do Gericinó – CIG, gerido pelo Exército Brasileiro. A topografia do Parque oscila de 13 a até 47 msm, sendo os solos degradadas em função do histórico de uso. O PNMG é ladeado pelo rio Pavuna na divisa com o município do Rio de Janeiro e pelo rio Sarapuí na divisa com o município de Mesquita.



Fonte: Elaborado pelos autores.

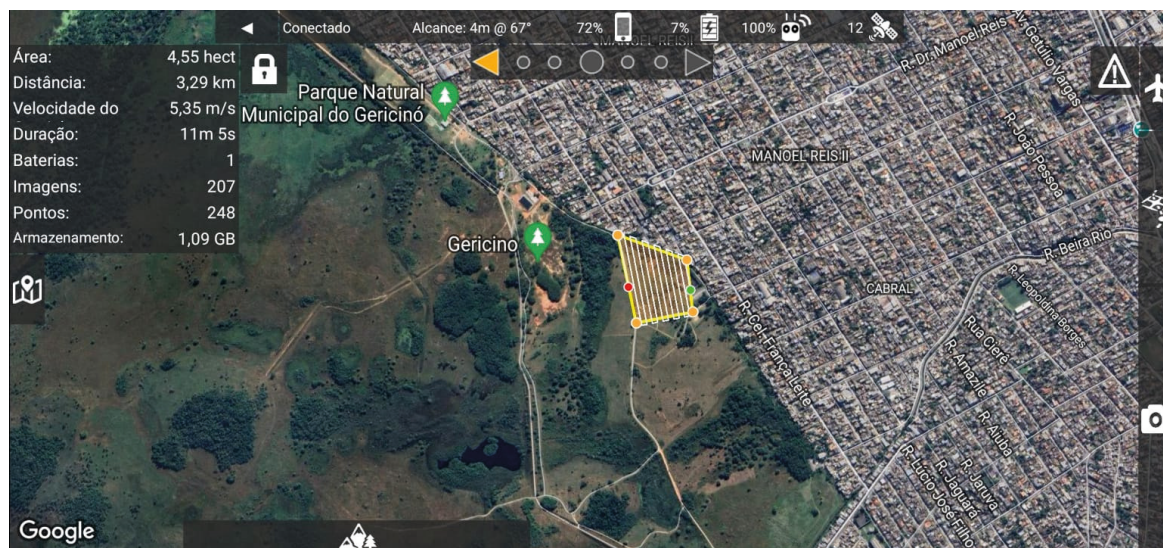
Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

Obtenção das fotografias e ortomosaico

Para obtenção das fotografias foram traçados diferentes planos de voo através do aplicativo de *smartphone* Map Pilot Pro v.1.7 (Figura 2), no qual também se estabeleceu os parâmetros para cada missão. A altitude dos voos foi de 50 m, com velocidade média de 5,3 m/s, taxa de sobreposição vertical e horizontal de 80%, resolução espacial aproximada de 2,2 cm/px.

Ao todo, cinco missões foram conduzidas, gerando um número total de 1571 imagens aéreas em formato JPG com coordenadas geográficas (latitude/ longitude) definidas no SRC WGS 1984, posteriormente convertidas para o SRC SIRGAS 2000 / UTM Zona 23S, através do *software* Agisoft Metashape v. 1.8 (64bits) para confecção dos ortomosaicos.

A área total sobrevoada foi de 27,4 hectares e a distância percorrida pela aeronave de 22,31 km, com o tempo médio das missões em torno de 17:30 minutos. Sendo 31 minutos de voo a duração máxima estimada para cada bateria da aeronave (em condições sem vento), foram necessários dois dias de trabalho de campo para sobrevoos de todos os pontos.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 2. Tela do aplicativo Map Pilot Pro.

A confecção dos ortomosaicos consistiu na etapa de pré-processamento das imagens, a qual seguiu a metodologia proposta por Cambraia Filho *et al.* (2019), e assim como os autores, as imagens obtidas através do VANT não necessitaram de correção atmosférica uma vez que as interferências foram consideradas insignificantes devido à baixa altitude de mapeamento adotada.

Os parâmetros para pré-processamento das imagens no âmbito do *software* Agisoft Metashape seguiram as adaptações indicadas pelos autores citados anteriormente e as recomendações do próprio *software*, apresentados no Quadro 1.

Quadro 1. Parâmetros utilizados para confecção dos ortomosaicos.

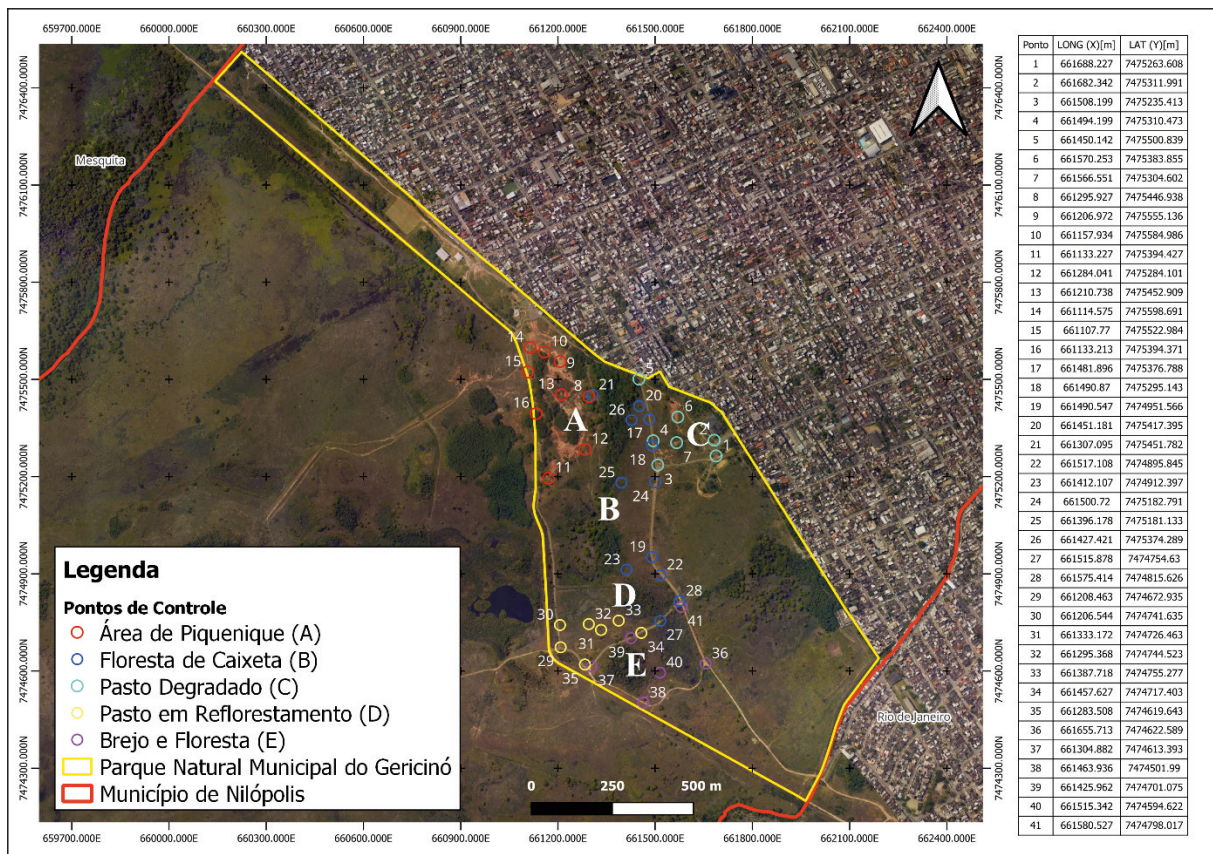
Etapa	Processo	Parâmetros	
		Gerais	Avançados
1	Align Photos	Accuracy: High Generic/Reference preselection: Yes Reset current alignment: No	Key/Tie point limit: 4.000 Apply masks to: None Adaptative camera model fitting: Yes
2	Optimize Alignment	-	Adaptative camera model fitting: Yes
3	Calibrate Colors	Source data: Sparse cloud Calibrate white balance: Yes	-
4	Build Dense Cloud	Quality: High	Depth filtering: Aggressive Reuse depth maps: No Calculate point colors: No
5	Classify Ground Points	From: Any class To: Ground + Low Points	Max angle (°): 15,0 Max distance (m): 5,0 Cell size (m): 100
6	Build Mesh	Surface type: Arbitrary (3D) Source data: Dense cloud Face count: Medium	Interpolation: Enabled (default) Point classes: Ground Calculate vertex colors: No
7	Calibrate Colors	Source data: Model Calibrate white balance: Yes	-
8	Build Texture	Texture type: Diffuse Map* Source data: Images* Mapping mode: Generic Texture from: All cameras Blending mode: Mosaic Texture size: 8192* Texture count: 1	Hole filling: Yes Enable ghosting filter: Yes

continua

Etapa	Processo	Parâmetros	
		Gerais	Avançados
9	Build Tiled Model	Source data: Dense cloud Pixel size (m): 0 Tile size: 2098 Face count per Mpx: Medium*	Enable ghosting filter: Yes Reuse depth maps: No
10	Build DEM	Source data: Dense cloud Interpolation: Enabled (default) Point classes: Ground	Resobtion (m): 0 Total size (pix): Default
11	Calibrate Colors	Source data: DEM Calibrate white balance: Yes	-
12	Build Orthomosaic	Surface: DEM Blending mode: Mosaic (default) Enable holefilltng: Yes Enable back face culling: No Pixel see (°): Default	Total size (pix): Estimate

Fonte: Adaptado de Cambraia Filho *et al.* (2019).

Posteriormente, todas as imagens pré-processadas foram organizadas em um banco de dados e exportadas para o *software* QGIS v.3.28, onde foram georreferenciadas a partir das coordenadas dos pontos de controle coletados em campo através do aplicativo de *smartphone* UTM Geo Map v. 3.9 e plotados na Figura 3, recortadas para eliminação das áreas atingidas pelo efeito de borda e por conseguinte utilizadas na elaboração dos índices de vegetação.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 3. Pontos de controle das áreas sobrevoadas.

As áreas sobrevoadas foram nomeadas de acordo com o seu uso-cobertura, sendo: (A) Área de Piquenique; (B) Floresta de Caixeta; (C) Pasto Degradado; (D) Pasto em Reflorestamento; (E) Brejo e Floresta. Devido ao difícil acesso aos pontos da Floresta de Caixeta (B), as coordenadas desta localidade foram obtidas por aproximação e pela coleta de pontos no pasto adjacente. Através da ferramenta “Georreferenciador” se estabeleceu como critério o parâmetro de

transformação Polinomial 1, exigindo assim um mínimo de 4 pontos de controle para cada área, afim de se obter o Erro Quadrático Médio (RMS), o qual foi de: (A) 1,21 m; (B) 1,51 m; (C) 1,36 m; (D) 2,33 m; (E) 1,72 m para cada área.

Elaboração dos índices de vegetação

A Tabela 1 exibe os índices de vegetação empregados neste estudo, consistindo em equações fundamentalmente na faixa de comprimento de onda visível do espectro eletromagnético. Os índices foram escolhidos por sua recorrente presença em trabalhos científicos (Beniaich *et al.*, 2019; Simas *et al.*, 2023) voltados para a análise da cobertura vegetal por meio de imagens aéreas de *drones*.

Os índices de vegetação foram calculados no QGIS através da ferramenta “calculadora raster”, seguindo as expressões matemáticas apresentadas para cada índice: Índice verde/vermelho por diferença normalizada (NGRDI); Índice de Excesso de Verde (ExG); Índice de Folha Verde (GLI) e Índice de Resistência Atmosférica Visível (VARI).

Tabela 1. Índices de Vegetação utilizados no estudo.

Índices de Vegetação	Equação	Fonte
NGRDI	$(G - R) / (G + R)$	Tucker (1979)
ExG	$2 * G - R - B$	Woebbecke <i>et al.</i> , (1995)
GLI	$(2 * G - R - B) / (2 * G + R + B)$	Louhaichi <i>et al.</i> , (2001)
VARI	$(G - R) / (G + R - B)$	Gitelson <i>et al.</i> , (2001)

Fonte: Elaborado pelos autores.

Classificação e análise estatística

Para classificação dos ortomosaicos gerados, houve a necessidade de se levar em consideração a alta resolução em que estes se encontravam. Devido ao alto número de pixels das imagens raster processadas, complementos de classificação supervisionada não se mostraram uma opção viável para o trabalho, demandando maior desempenho do computador ou melhor treinamento dos algoritmos classificadores.

Optou-se, portanto, em utilizar o *software* SAGA v.7.8.1 para realizar a classificação não supervisionada dos ortomosaicos com índices de vegetação aplicado. Nesse sentido, se estabeleceu como critério a identificação de duas classes pelo processo de classificação “*K-Means cluster analysis for grids*” em sua variante “*hill-climbing*”.

Dessa forma, novas imagens raster foram geradas, as duas classes propostas englobaram as diferentes respostas espectrais indicadas pelos índices de vegetação. A primeira classe denominada “sem vegetação” foi composta por solo exposto, áreas construídas, asfalto, corpos d’água e outros elementos antropizados. A segunda classe “cobertura vegetal”, em geral foi composta por vegetação arbórea, densa ou espaçada, pasto e matéria orgânica.

Para quantificar a extensão física da distribuição vegetal foi utilizada a função GRASS “*r.report*”, contabilizando assim a área em metros quadrados preenchida pelos pixels da classe “cobertura vegetal”. Por fim, realizou-se um teste de acurácia global através do complemento *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP) entre cada uma das representações, o ortomosaico classificado sem índices de vegetação serviu como referência para comparação com os que tiveram índices aplicados.

$$\text{Acurácia Global} = \frac{\sum_{i=1}^n (VP_i + VN_i)}{n}$$

Onde:

- n é o número total de amostras ou observações.
- VP_i é o número de verdadeiros positivos para a i -ésima amostra.
- VN_i é o número de verdadeiros negativos para a i -ésima amostra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da estimativa da cobertura vegetal em metros quadrados detectada por cada um dos índices utilizados na pesquisa, foi possível realizar uma comparação da eficiência de cada índice em identificar a vegetação presente na paisagem através de sua representação cartográfica.

Os resultados expressos na Tabela 2 apontam que os índices ExG e GLI são aqueles com maior capacidade em identificar a vegetação, considerando que a área representada como sendo de cobertura vegetal se aproxima ou superestima os valores indicados pelos ortomosaicos para cada área mapeada.

O índice ExG, somando-se as áreas mapeadas, apontou cobertura vegetal em m² 112.49% maior do que a identificada pela classificação automática aplicada aos ortomosaicos, se mostrando eficaz na distinção de vegetação arbórea densa e da pastagem em diferentes níveis de qualidade presente no parque.

Por utilizar duas bandas verdes, o índice ExG realça o contraste entre vegetação e área construída ou solo exposto. Como também observado por Luna Neto *et al.* (2023), o fato de ser um índice com alta correlação com a banda verde, tende a realçar a quantidade relativa de vegetação idealmente saudável e fotossinteticamente ativa.

Tabela 2. Cobertura vegetal e acurácia global das representações.

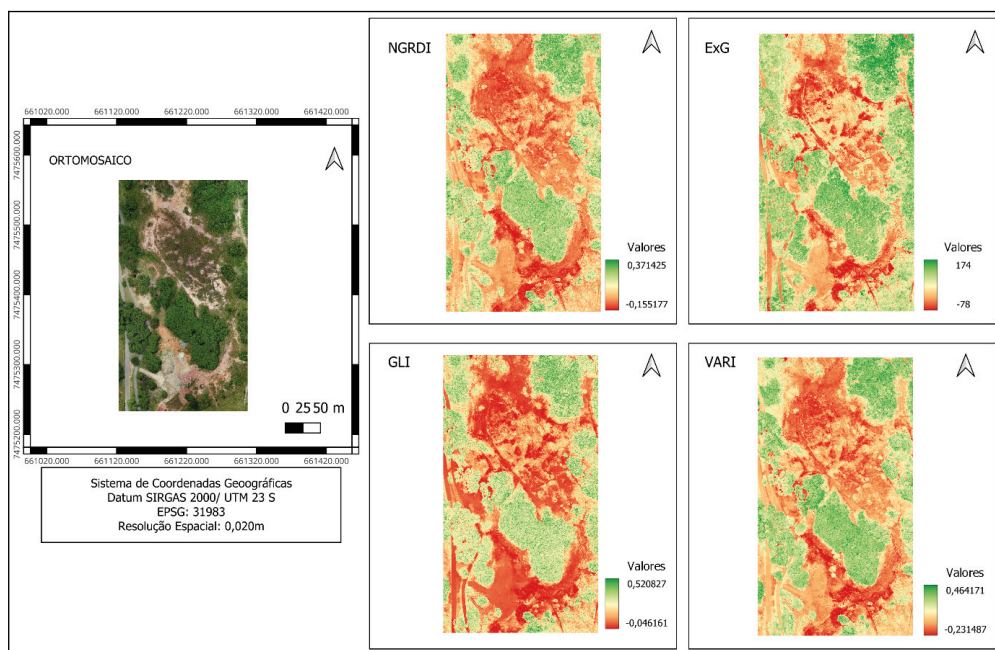
Área	Ortomosaico	NGRDI		ExG		GLI		VARI	
	Cobertura Vegetal (m ²)	Cobertura Vegetal (m ²)	Acurácia Global (%)	Cobertura Vegetal (m ²)	Acurácia Global (%)	Cobertura Vegetal (m ²)	Acurácia Global (%)	Cobertura Vegetal (m ²)	Acurácia Global (%)
A	42,367.139	22,915.456	66.59	29,703.703	73.69	25,989.362	71.71	18,153.946	67.96
B	48,574.650	38,720.220	70.87	78,672.680	53.66	67,520.640	69.60	43,656.150	68.98
C	49,427.952	24,219.710	62.82	55,613.260	75.96	41,323.340	81.33	25,512.890	63.94
D	28,636.253	12,318.032	58.13	30,226.895	64.66	20,492.644	71.51	13,228.641	58.17
E	45,750.691	24,599.291	62.12	47,359.985	65.77	40,142.446	75.58	28,566.378	63.37

Fonte: Elaborado pelos autores.

Comparando os valores resultantes da estimativa de cobertura vegetal, verificou-se que o índice ExG apenas não superestimou a vegetação em ambiente de maior exposição do solo. De acordo com o trabalho de Silva *et al.* (2022), o índice ExG foi aquele que melhor informou com precisão onde havia solo exposto, apontamento que também pode ser observado em comparação aos demais índices na Figura 4 representando a área A.

Diferentemente do índice ExG, o índice GLI apresentou valores maiores do que aqueles apresentados pelo ortomosaico apenas na área B. O índice GLI estimou uma cobertura vegetal de aproximadamente 195.468.432 m², condizendo a 90.99% do total mensurado pela classificação automática dos ortomosaicos.

No que tange a acurácia global, o índice GLI foi o mais acurado em relação a distribuição dos pixels apresentados pelos ortomosaicos em geral, indicando alta correlação à classificação imposta sobre as imagens raster geradas pelo VANT. Dessa forma, pode-se atribuir ao índice GLI melhor assertividade na representação dos elementos observáveis em fotografias aéreas, bem como maior contraste entre as áreas construídas e a vegetação presente na paisagem como pode ser observado nas Figuras 4 e 5.



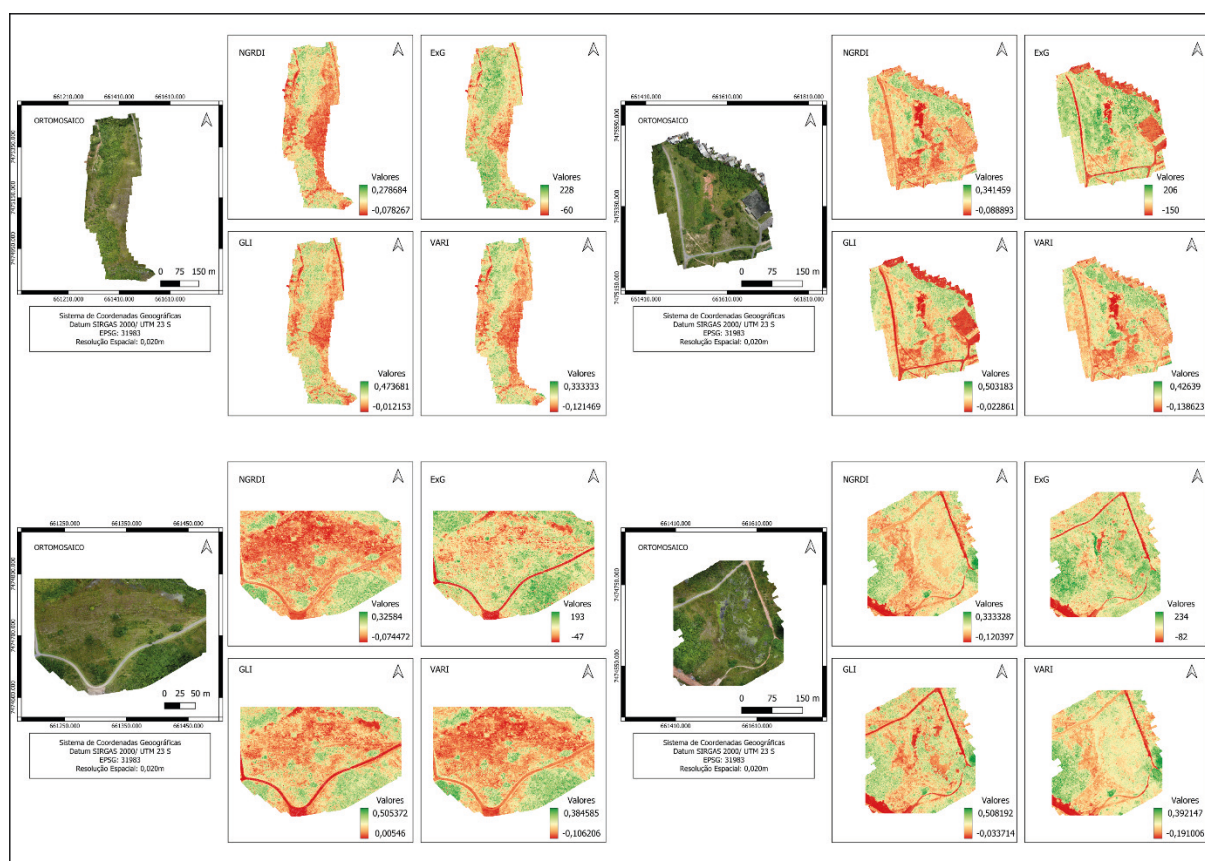
Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 4. Índices de vegetação aplicados a área de piquenique (A).

A classificação dos índices VARI e NGRDI, representaram respectivamente 60.13% e 57.14% da vegetação estimada para os ortomosaicos. Os índices demonstraram desempenho semelhante, fato relatado também no trabalho de Lussem *et al.* (2018), destacando o potencial destes em estimar a biomassa. De acordo com Giltelson *et al.* (2002), a reflectância de superfícies vegetadas muitas vezes é bastante baixa na região do espectro visível, além disso, os autores indicam que o aumento da umidade do solo pode levar a uma diminuição da reflectância.

O relevo da área de estudo favorece acúmulo de água em diferentes pontos de seu território, há também descontinuidade textural entre os horizontes do solo favorecendo condições de má drenagem.

A resposta espectral apresentada pelos índices NGRDI e VARI refletem esta condição, sobretudo na área de Brejo e Floresta (E), sendo talvez a mais heterogênea entre as áreas mapeadas. A área E ofereceu a possibilidade de analisar diferentes respostas espectrais para cada índice, em uma curta distância, há diferentes superfícies espaciais, contando também com a transição do Planossolo para o Gleissolo, a localidade apresenta elevada umidade residual devido ao regime de inundações intermitentes.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 5. Índices de vegetação aplicados as diferentes áreas de estudo do PNMG. Em cima da esquerda para a direita (B) e (C), embaixo da esquerda para direita (D) e (E).

Os valores para a pastagem sobrejacente ao solo hidromórfico tenderam a ser negativos ou próximo de zero para NGRDI e VARI. Os valores para floresta e vegetação arbustiva densa do brejo foram em torno de 0.10 – 0.33 para NGRDI e 0.12 – 0.39 para VARI. Já o índice GLI apresentou resposta espectral para a mesma localidade com valores elevados tanto para pastagem quanto para floresta, sendo valores em torno de 0.20 para o pasto e 0.25 – 0.50 para vegetação densa. O asfalto, solo exposto e água foram responsáveis pelos valores negativos e próximos de 0 neste índice.

Por fim, o índice ExG apresentou para o pasto degradado valores entre 0 e 30, para água, solo exposto e asfalto valores negativos, para o pasto saudável valores superiores a 30 e inferiores a 80 e para vegetação densa valores superiores a este. Portanto, a classificação automática realizada considerou como vegetação os pixels com valores referentes ao pasto saudável para este índice.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Deve se ressaltar que para este estudo não houve uma comparação prévia entre os índices para sua seleção, ou seja, o resultado do trabalho se limitou a compreender o comportamento das respostas espectrais de cada um daqueles aqui utilizados, apenas com o requisito de serem índices aplicados às imagens RGB, preferencialmente obtidas por *drones*.

Os índices que demonstraram melhor aptidão para o objetivo de identificação e análise da distribuição da vegetação do parque foram os índices GLI e ExG. Evidenciou-se que o processamento de imagens RGB obtidas por VANTs podem gerar importantes produtos para a gestão e organização do território, apresentando a distribuição espacial de diferentes elementos espaciais e possibilitando a quantificação de sua cobertura sobre a superfície mapeada.

Observou-se que a umidade do solo pode ser um fator que influencia o resultado da reflectância dos índices NGRDI e VARI, análises sazonais das áreas mapeadas podem contribuir na investigação do comportamento dos índices ao longo de diferentes condições de umidade, além de oferecerem um valioso banco de dados para correlação destes com outros dados a serem coletados, como por exemplo a Matéria Orgânica do Solo (MOS) e o Estoque de Carbono do Solo (ECS).

Portanto, a pesquisa buscou demonstrar o potencial da utilização dos *drones* na velocidade de coleta de dados em campo, bem como na possibilidade de se processar imagens de alta resolução espacial para gerar produtos que auxiliem a tomada de decisão a partir da representação da paisagem e das análises espaciais.

REFERÊNCIAS

- BARROS, A. S.; FARIAS, L. M. de; MARINHO, J. L. A. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Caracterização da Cobertura Vegetativa de Juazeiro Do Norte – CE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 6, p. 2885–2895, 2020.
- BENIAICH, A.; SILVA, M. L. N.; AVALOS, F. A. P.; MENEZES, M. D. de; CÂNDIDO, B. M. Determinação do índice de cobertura vegetal em sistemas de manejo do solo com plantas de cobertura, utilizando veículo aéreo não tripulado com câmera fotográfica digital embarcada. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 49–66, 2019.
- CAMBRAIA FILHO, D. J.; BRITES, R. S.; DE SOUZA BIAS, E. Potencialidades de Aplicação dos Índices de Vegetação Baseados na Porção Visível do Espectro das Radiações Eletromagnéticas. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 4, p. 83-93, 2019.
- GAMEIRO, S.; TEIXEIRA, C. P. B.; SILVA NETO, T. A.; LOPES, M. F. L.; DUARTE, C. R.; SOUTO, M. V. S.; ZIMBACK, C. R. L. Avaliação da cobertura vegetal por meio de índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) na Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, CE. **Terræ**, v. 13, n. 1-2, p. 15-22, 2016.
- GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; STARK, R.; RUNDQUIST, D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote Sens. Environ.** 80, p. 76–87, 2002.
- LOUHAICHI, M.; BORMAN, M. M.; JOHNSON, D. E. Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. **Geocarto Int.** 16, p. 65–70, 2001.
- LUNA NETO, E. V. de; SILVA, A. V. da; BARBOSA DA SILVA, J. H.; SILVA, C. M. da; COSTA, T. R. S.; MIELEZRSKI, F. Índices espectrais de vegetação no monitoramento do milho (*Zea mays* L.) submetidos à bioestimulantes. **Nativa**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. 323–330, 2023.
- LUSSEM, U.; BOLTEN, A.; GNYP, M. L.; JASPER, J.; BARETH, G. evaluation of rgb-based vegetation indices from uav imagery to estimate forage yield in grassland. **ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information**, v. XLII, n. 3, p. 1215–1219, 2018.
- INPE; STEFFEN, C. A. **Introdução ao sensoriamento remoto**. INPE. 2011.
- MELO, D. H. C. T. B.; MENDONÇA, L. F. F. de.; SANTANA, J. O.; RAIMUNDO, R. D. P. Evolução da observação da terra por Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v.2, n.2, 2021.
- NETO, R. P. M.; BREUNIG, F. M. Drones nas ciências florestais. In: PRUDKIN, G.; BREUNIG, F. M. (Org.). **Drones e Ciência: Teoria e aplicações metodológicas**. FACOS-UFSM, Santa Maria, 2019.
- NOVO, E. M. L. de M.; PONZONI, F. J. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001.
- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4ª ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2010.
- PAPPALARDO, S.E.; ANDRADE, D. Drones for good: UAS applications in agroecology and organic farming. In: MARCHI, M. de; DIANTINI, A.; PAPPALARDO, S.E. (Ed.) **Drones and Geographical Information Technologies in Agroecology and Organic Farming: Contributions to Technological Sovereignty**. CRC Press, London, 2022.

- PRUDKIN, G. Drones: su origen y aplicación en el periodismo contemporâneo para generación de contenidos em 3D. In: PRUDKIN, G.; BREUNIG, F. M. (Org.). **Drones e Ciência: Teoria e aplicações metodológicas**. FACOS-UFSM, Santa Maria, 2019.
- SANTOS, B.; LORDSLEEM JR., A. Revisão sistemática da literatura sobre o uso de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) como equipamento de transporte. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 18., 2020. [**Anais...**] Porto Alegre: ANTAC, 2020.
- SILVA, M. H. da; ELIAS, A. R.; ROSÁRIO, L. L. do. Análise da cultura da soja a partir de índices de vegetação (ExG – GLI – TGI – VEG) advindos de imagens RGB obtidas com ARP. **Revista Brasileira de Geomática**, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 140, 2022.
- SIMAS, G. H. N.; FIEDLER, S.; CORTEZ, J. W. Uso de imagens aéreas com drones para identificação de falhas no estabelecimento da soja. In: ZUFFO, A. M.; AGUILERA, J. G. (Org.). **Inovações em pesquisas agrárias e ambientais - Volume I**. Nova Xavantina-MT: Pantanal, 2023.
- TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sens. Environ.** 8, p. 127–150, 1979.
- VIANA, S.; GIRÃO, L.; BENDAHAN, A.; FREITAS, V. D.; BENDAHAN, A. B. Análise visual de índices de vegetação utilizando imagens RGB para classificação de áreas de pastagens com presença de plantas invasoras. In: Semana Nacional de Ciência e Tecnologia, [**Anais...**], Boa Vista, Roraima, 2020.
- WOEBBECKE, D. M.; MEYER, G. E.; VON BARGEN, K.; MORTENSEN, D. A. Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. **Trans. ASAE** 38, p. 259–269, 1995.