

Uso de métricas fenológicas da vegetação na caracterização de áreas úmidas do Cerrado Brasileiro

Use of vegetation phenological metrics for wetlands characterization in the Brazilian Cerrado

Thaís Fernandes de Oliveira¹

Izaias de Souza Silva²

Eduardo Cesar da Silva³

Yan Breno Azeredo Gomes da Silva⁴

Resumo

As áreas úmidas são ecossistemas únicos e de grande importância ecológica, fornecendo serviços ecossistêmicos essenciais, como regulação do ciclo hidrológico, ciclagem de nutrientes, estoque de carbono (CO_2) e manutenção da biodiversidade. Este estudo analisa como a variabilidade de métricas fenológicas da vegetação, resgatadas de dados de sensoriamento remoto, se relaciona com a ocorrência e distribuição de diferentes coberturas vegetais naturais, em um ecossistema de área úmida ainda preservado, na região *core* do Cerrado brasileiro. A metodologia do estudo consistiu em uma revisão da literatura e aplicação de técnicas de processamento digital de imagens ópticas de sensoriamento remoto orbital. O mapeamento da cobertura vegetal natural (Escala 1:25.000) foi realizado mediante abordagem não supervisionada, considerando uma imagem de alta resolução espacial (8 m) obtida pelo sistema sensor *Multispectral Camera and Panchromatic Wide-Scan (WPM)* abordo do satélite CBERS-4A. A extração e análise das métricas fenológicas da vegetação foram implementadas a partir de uma série temporal de imagens provenientes do sistema sensor *MultiSpectral Instrument (MSI)*, a bordo do satélite Sentinel-2, também com propriedade de alta resolução espacial (10 m). Os resultados destacam a dinâmica sazonal das diferentes fitofisionomias que ocorrem na área em estudo. O estudo enfatiza a importância das métricas fenológicas para a compreensão da sazonalidade da vegetação em áreas úmidas do Cerrado, o que pode contribuir com o mapeamento e monitoramento desses ecossistemas ameaçados.

¹ Doutoranda em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás. thaisfernandesciamb@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1689-5115>.

² Doutorando em Geografia, Instituto de Estudos Socioambientais/Universidade Federal de Goiás. izaias@discente.ufg.br. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0977-2002>.

³ Doutorando em Ecologia e Conservação, Faculdade de Ciências Agrárias, Biológicas e Sociais Aplicadas/Universidade Estadual de Mato Grosso. eduardo.cesar@unemt.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5598-9640>.

⁴ Doutorando em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. yan.silva@inpe.br. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5843-861X>.

Palavras-Chave: Savana Neotropical; Fitofisionomias; Fenologia; Sensoriamento Remoto.

Abstract

This study examines how the variability of vegetation phenological metrics, retrieved from remote sensing data, relates to the occurrence and distribution of different natural vegetation covers in a preserved wetland ecosystem located in the core region of the Brazilian Cerrado. Wetlands are unique ecosystems of great ecological importance, providing essential ecosystem services such as hydrological cycle regulation, nutrient cycling, carbon storage (CO₂), and biodiversity maintenance. The study methodology included a literature review and the application of digital processing techniques to optical remote sensing orbital images. The mapping of natural vegetation cover (1:25,000) was conducted using an unsupervised approach, based on a high spatial resolution image (8 m) obtained from the Multispectral Camera and Panchromatic Wide-Scan (WPM) sensor onboard the CBERS-4A satellite. The extraction and analysis of vegetation phenological metrics were implemented using a time series of images from the MultiSpectral Instrument (MSI) sensor onboard the Sentinel-2 satellite, which also features high spatial resolution (10 m). The results highlight the seasonal dynamics of the different phytophysiognomies present in the study area. The study emphasizes the importance of phenological metrics for understanding vegetation seasonality in Cerrado wetlands, which can contribute to the mapping and monitoring of these threatened ecosystems.

Keywords: Neotropical Savanna; Phytophysiognomies; Phenology; Remote Sensing Data.

Introdução

O Cerrado brasileiro, reconhecido como a savana mais biodiversa do planeta, abrange uma área de aproximadamente 2.036.448 km², o que representa cerca de 22% do território nacional (Klink e Machado, 2005; ICMBIO, 2025). Destacando-se como o segundo maior domínio de natureza da América do Sul (Ab'Saber, 2003), o Cerrado é um dos *hotspots* mundiais de biodiversidade (Myers et al., 2000). Além de abrigar uma elevada diversidade de espécies da fauna e flora com alto grau de endemismo, o que lhe confere um complexo mosaico de diferentes tipos vegetacionais (Ribeiro e Walter, 1998; Sano et al., 2008, 2009), o Cerrado brasileiro detém parte significativa das nascentes de três das maiores bacias hidrográficas do país, contribuindo diretamente com oito das doze principais regiões hidrográficas brasileiras (Lima e Silva, 2007; ANA, 2025).

O Cerrado brasileiro é concebido como sendo “o berço das águas”, haja vista desempenhar um importante papel para a produção hídrica sob o território brasileiro (Nascimento e Gonçalves,

2018). Dentro deste contexto, chama-se a atenção para as áreas úmidas, as quais desempenham papel crucial no fornecimento de diversos serviços ecossistêmicos, incluindo a regulação do ciclo hidrológico (Cavalcanti; Joly, 2002; De Araújo; Silveira, 2024). A Convenção de Ramsar (1971) constitui o principal tratado internacional voltado para a conservação e o uso sustentável das áreas úmidas, e define esses ecossistemas como “pântanos, turfeiras, planícies inundáveis ou águas, naturais ou artificiais, permanentes ou temporárias, com água estagnada ou corrente, doce, salobra ou salgada, incluindo extensões de água marinha”.

A Convenção de Ramsar (1971) enfatiza a importância das áreas úmidas para a biodiversidade global e para o bem-estar humano. Esses ecossistemas desempenham diversas funções, como o controle de inundações e secas, recarga de aquíferos e níveis freáticos, retenção de sedimentos, purificação da água poluída, regulação do microclima, captura de carbono orgânico, preservação de aspectos culturais, entre outros (Paixão et al., 2019). O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007; 2014) destaca a importância das áreas úmidas no contexto da mudança do clima, uma vez que essas áreas são extremamente vulneráveis aos impactos de um clima mais quente e seco. Dependendo do cenário de emissões futuras, podem sofrer com mudanças irreversíveis de estrutura e função, comprometendo assim a manutenção dos seus serviços ecossistêmicos.

As áreas úmidas são concebidas como ecossistemas que carecem de proteção, tendo em vista serem estratégicos para implementação de ações de mitigação e adaptação climática. Atuando como sumidouros de carbono (CO_2), esses ecossistemas armazenam grandes quantidades de carbono orgânico em seus solos, auxiliando a reduzir e mitigar a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera (Junk, 2013; IPCC, 2021). No entanto, além dos desafios associados às mudanças nos padrões climáticos (Hofmann et al., 2021; Silva; Nascimento, 2024), as áreas úmidas do Cerrado — como veredas, campos úmidos, lagoas, áreas de banhado e margens alagáveis de rios e igarapés (Junk; Cunha, 2024) — também enfrentam sérios impactos decorrentes das mudanças na cobertura e uso da terra (Chaves et al., 2023).

Estima-se que, desde 1985, cerca de 61% das perdas dessas áreas tenham ocorrido para uso agropecuário, principalmente pastagem e agricultura (Souza et al., 2020). Sob esta perspectiva, as mudanças na cobertura e uso da terra no Cerrado têm levado à degradação de áreas úmidas a um nível sem precedentes, agravando a vulnerabilidade e comprometendo a capacidade desses ecossistemas de continuarem fornecendo serviços ecossistêmicos essenciais (Latrubesse et al., 2019). O desaparecimento do Cerrado pelo rápido avanço das atividades humanas, associado à existência de poucas áreas integralmente protegidas, persiste como um ponto crítico para a conservação desses ambientes (Barbosa, 2011; Françoso et al., 2015).

Diante de um cenário de transformações aceleradas, o sensoriamento remoto emerge como uma tecnologia indispensável para o mapeamento e monitoramento da vegetação (Jensen, 2007; Ferreira et al., 2020; Shimabukuro e Ponzoni, 2012). As imagens de satélite têm sido o principal conjunto de dados empregado para mapeamento e análise da dinâmica da cobertura e uso da terra do Cerrado brasileiro (Sano et al., 2009; Oliveira et al., 2020; Silva et al., 2024). Esses dados são uma fonte essencial ao estudo da vegetação e sua dinâmica, contribuindo para identificar os padrões sazonais de mudança na cobertura vegetal natural, como fenologia vegetal e respostas a mudanças ambientais diversas.

A fenologia vegetal, que regula os ciclos de brotação, floração e senescência das plantas, desempenha um papel central em termos de fluxos, matéria e energia nos ecossistemas, especialmente nas áreas úmidas (Gouveia e Felfili, 1998). A análise de métricas fenológicas da cobertura vegetal natural pode contribuir com a compreensão de sua estrutura e funcionamento (Araújo, Galvão e Dalagnol, 2023; Fromm, Smith e Kyzivat, 2025). Sob esta perspectiva, podem subsidiar tanto ações de conservação e manejo sustentável, por meio da disponibilização de dados e informações sobre a vegetação, quanto a definição de novas áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade (Maltchik et al., 2017).

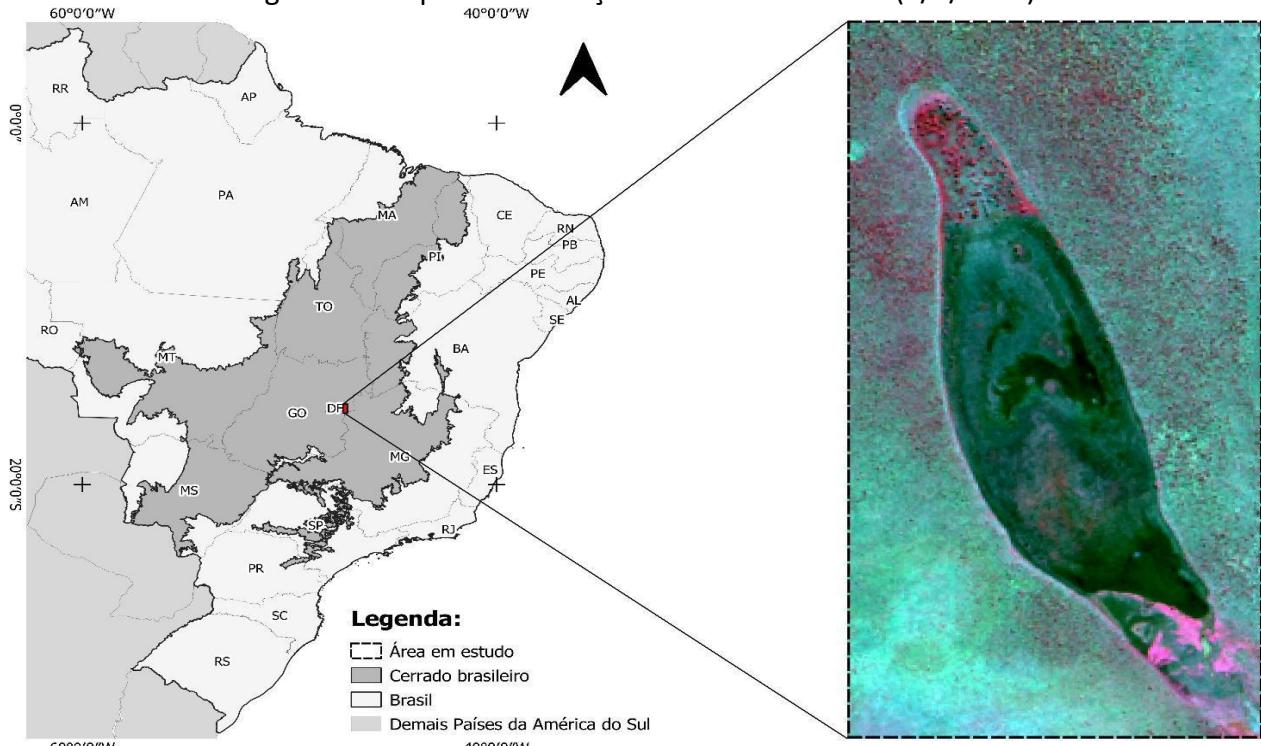
Assim, este estudo teve como objetivo utilizar dados de sensoriamento remoto orbital de alta resolução espacial, para (1) mapear a ocorrência e a distribuição das diferentes coberturas vegetais naturais em um ecossistema de área úmida, localizado na uma região *core* do Cerrado

brasileiro, e (2) avaliar a dinâmica da vegetação, a partir de métricas fenológicas resgatadas entre os anos de 2022 e 2023. O estudo explora a seguinte questão: “Como a variabilidade de métricas fenológicas da vegetação se relaciona à ocorrência e distribuição de diferentes coberturas vegetais naturais em um ecossistema de área úmida localizado em na região *core* do Cerrado brasileiro?”

Caracterização da área em estudo

O presente estudo foi realizado tendo como delineamento espacial um ecossistema de área úmida situado em remanescentes de Cerrado ainda bem preservados, em uma área sob domínio do Exército Brasileiro no município de Formosa, região nordeste do estado de Goiás (Figura 1). Trata-se da região *core* do Cerrado brasileiro, onde predominam diferentes tipos vegetacionais, associados sobretudo às Formações Campestres, Formações Savânicas e Formações Florestais, respectivamente, com ocorrência dominante de Campo Cerrado, Cerrado Sentido Restrito, Matas Secas e de Matas de Galeria (Ribeiro e Walter, 1998).

Figura 1 – Mapa da localização da área em estudo (1/5/2023).



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Considerando a ausência de dados em escala de detalhe para caracterização do clima, do relevo, do solo e da hidrografia local da área em estudo, os dados atualmente disponíveis (escala regional) permitem inferir que a mesma está situada em uma região de contato entre duas Ecorregiões do Cerrado brasileiro. Isto é, a Ecorregião do Planalto Central e de Paracatu, sendo os platôs os compartimentos geomorfológicos dominantes em ambas (Sano et al., 2019). De acordo com o SiBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018), a região se caracteriza pela ocorrência predominante de Latossolos Vermelho-Amarelos e Latossolos Amarelos. Trata-se de solos bem desenvolvidos, variando entre profundos e muito profundos, ligeiramente drenados, permeáveis e porosos; ocorrendo sobre relevo plano à suave ondulado.

De acordo com a Classificação Climática de Novais (2019), a área em estudo está inserida no Domínio Climático Tropical, caracterizado por temperaturas consideravelmente elevadas. A temperatura média no mês mais frio do ano, a saber, junho, oscila entre 18°C e 20°C. Dois sistemas meteorológicos exercem forte influência na dinâmica da precipitação e, consequentemente, na dinâmica hidrológica: a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que atua contribuindo diretamente para um considerável volume de precipitação durante o período úmido (outubro a março), e a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que corrobora para o período de estiagem (maio e setembro).

A precipitação anual oscila entre 1.350 mm e 1.700 mm, com os meses de novembro, dezembro e janeiro concentrando os maiores volumes. A dinâmica do regime pluviométrico resulta em um excedente hídrico anual que varia entre 550 a 600 mm, enquanto o déficit hídrico varia entre 250 e 295 mm. Assim, predominam dois subdomínios típicos do Cerrado brasileiro: Semiúmido (de 4 a 5 meses secos) e Semiseco (de 6 a 7 meses secos), o que demonstra a sazonalidade climática no contexto da região onde a área em estudo está situada.

Metodologia

A metodologia deste estudo consistiu em uma revisão da literatura e aplicação de técnicas de processamento digital de imagens, tendo em vista dados ópticos com propriedade de alta resolução espacial, obtidos por diferentes sistemas sensores. O mapeamento da cobertura vegetal,

na escala de 1:25.000, foi realizado utilizando uma imagem de alta resolução espacial (8 m) obtida pelo sistema sensor WPM (*Multispectral and Panchromatic Wide-Scan Camera*) a bordo do satélite CBERS-4A (*China-Brazil Earth Resources Satellite*). A imagem utilizada é datada de 1 de maio de 2023, correspondendo ao *path/row*: 205/133, sem cobertura de nuvens; sendo adquirida junto à DGI (Divisão de Geração de Imagens) do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

Para realização da classificação das diferentes coberturas vegetais naturais, adotou-se uma abordagem não-supervisionada, a partir do algoritmo de clusterização *K-means*. A implementação do método foi feita no ambiente do *Google Earth Engine*, uma plataforma de processamento digital de dados geoespaciais para processamento de grandes volumes de dados (GORELICK et al., 2017). A despeito da existência de diversos algoritmos de aprendizado não supervisionado, optou-se pelo algoritmo *K-means* pela classificação ser relativamente simples de realizar, assim como, pelos resultados satisfatórios encontrados por outros estudos que o utilizou para classificação da cobertura e uso da terra (Piloyan, 2017; Ouchra et al., 2023; Silva, Silva e Alves, 2024).

Dentre os métodos de cálculo de distâncias para a implementação do *K-means*, neste estudo utilizou-se a configuração padrão, a saber, a distância euclidiana (Piloyan, 2017). A inicialização do algoritmo ocorreu com a amostragem aleatória de 650 pixels, sendo esses utilizados como dados de treinamento, considerando um total de sete (7) grupos. O resultado final foi a obtenção da imagem agrupada em sete (7) *clusters*, os quais mediante análise do mosaico e consulta à literatura sobre a vegetação que ocorre no contexto da área em estudo, foram atribuídos às classes temáticas de mapeamento: Buritizal, Cerrado Típico, Cerrado Ralo, Campo Sujo Seco, Campo Sujo Úmido, Campo Limpo Úmido, Área Sazonalmente Alagada.

A fim de avaliar a assertividade do produto obtido com a classificação, foi gerada uma amostragem aleatória de 250 pontos, os quais foram individualmente avaliados, confrontando os resultados da classificação com o interpretado na imagem. Ao final gerou-se a matriz de confusão, a qual permitiu a obtenção das métricas relacionadas à classificação. Nesse sentido, obteve-se uma acurácia geral de 0,90 e um coeficiente Kappa de 0,89, o que segundo Cohen (1960), significa um resultado aceitável em relação aos dados utilizados. Embora neste estudo não tenha sido realizado

trabalho de campo na área em estudo, o que não compromete os seus resultados, é relevante destacar que a incursão em campo é essencial para consubstanciar a acurácia da representação espacial e temática das feições mapeadas. Isto é, a acurácia do mapeamento.

Para a obtenção das métricas fenológicas da vegetação, utilizou-se um cubo de dados *raster* do atributo NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index* (Rouse et al., 1974), referente aos anos de 2022 e 2023. Trata-se um índice espectral amplamente utilizado em estudos de vegetação, quantificando a atividade fotossintética e o vigor vegetativo com base no contraste da refletância da luz na faixa do Infravermelho Próximo (NearIR) e do Vermelho (Red). Os dados foram adquiridos por meio da plataforma BDC (*Brazil Data Cube*), desenvolvida e operacionalizada pelo INPE.

O BDC oferece uma infraestrutura computacional robusta, composta por aplicativos de software e serviços web, que permitem criar, integrar, acessar, processar e analisar grandes volumes de dados de sensoriamento remoto. Esses dados são modelados como cubos de dados multidimensionais, abrangendo todo o território brasileiro, e são disponibilizados gratuitamente já pré-processados, isto é, prontos para análise (Ferreira et al., 2020).

Neste estudo foram utilizados dados *raster* do NDVI obtido a partir do produto Copernicus Sentinel-2/MSI Nível-2A, com uma propriedade de resolução espacial de 10 m. Tendo em vista duas imagens disponíveis a cada mês, foram selecionadas a primeira imagem de cada mês e, em casos de cobertura de nuvens, a segunda imagem foi utilizada, conforme demonstrado em Silva et al., (2023).

A partir desses dados, os quais compreendem uma série temporal regular que cobre o ano 2022 e 2023, duas métricas foram obtidas a partir da função “*Phenology- Raster*”, do pacote *Greenbrown*, disponível na linguagem de programação R (Forkel et al., 2013). Por fim, implementamos uma Análise de Componentes Principais para identificar os principais padrões de variabilidade sazonal no contexto da área em estudo.

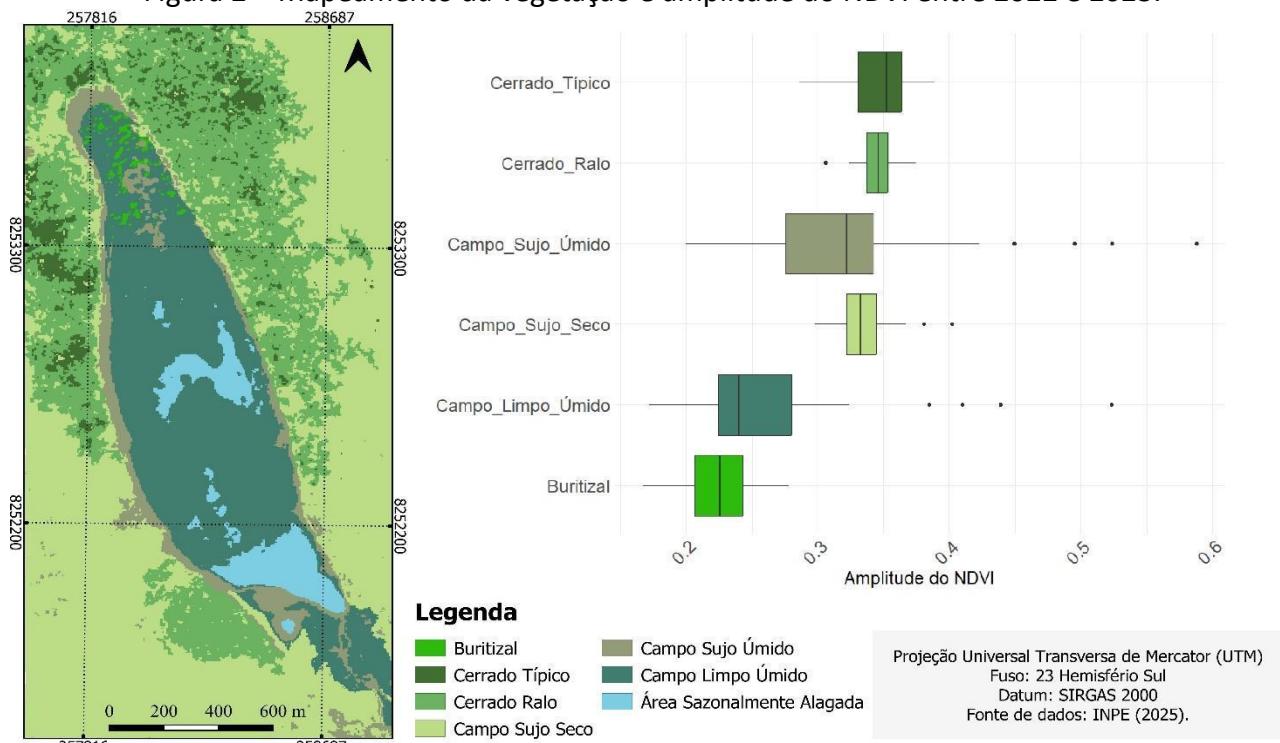
Resultados e discussões

A partir do mapeamento da vegetação e do processamento da série temporal (2022-2023), foram resgatadas duas métricas fenológicas, as quais são analisadas em relação à ocorrência e distribuição das diferentes coberturas vegetais naturais (Figura 2). Para as coberturas vegetais

naturais, observou-se que as áreas de Campo Sujo Seco se destacam como as predominantes na escala da paisagem ($1.698.205,05\text{ m}^2$), seguida pelas áreas de Campo Limpo Úmido ($762.132,78\text{ m}^2$) e pelo Cerrado Ralo ($876.283,3\text{ m}^2$). As áreas mapeadas como Buritzal apresentaram a menor área de cobertura ($17.863,4\text{ m}^2$), enquanto o Cerrado Típico apresentou uma área de $140.758,69\text{ m}^2$. Na escala da paisagem, depois do Buritzal, as classes de Área Sazonalmente Alagada ($135.912,5\text{ m}^2$) e Campo Sujo Úmido ($201.369,91\text{ m}^2$) representam as menores proporções.

Na Figura 2 é apresentado o mapeamento da vegetação e a amplitude do NDVI, esta última (amplitude) refletindo a variabilidade sazonal observada na série temporal analisada (2022-2023). Valores altos na amplitude do NDVI evidenciam áreas com forte resposta à sazonalidade, por exemplo, áreas com ocorrência de vegetação decídua; ao passo que, valores baixos na amplitude do NDVI evidenciam áreas mais estáveis, a exemplo de áreas recobertas por vegetação perene, caracterizada por manter a sua biomassa foliar e atividade fotossintética ao longo de todo o ano.

Figura 2 – Mapeamento da vegetação e amplitude do NDVI entre 2022 e 2023.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

As áreas mapeadas como Buritizal e Campo Limpo Úmido apresentaram amplitude ligeiramente baixa em relação às demais coberturas vegetais naturais, sugerindo uma vegetação com menor variação fenológica ao longo do ano. Se tratando de um ecossistema de área úmida, a ocorrência de ambos os tipos de vegetação tendem a estar fortemente relacionada a solos sazonalmente encharcados, tendo em vista o nível freático superficial (Diegues, 1994). O Cerrado Típico e o Cerrado Ralo apresentaram as maiores amplitudes do NDVI, indicando forte influência da sazonalidade na variação da atividade fotossintética.

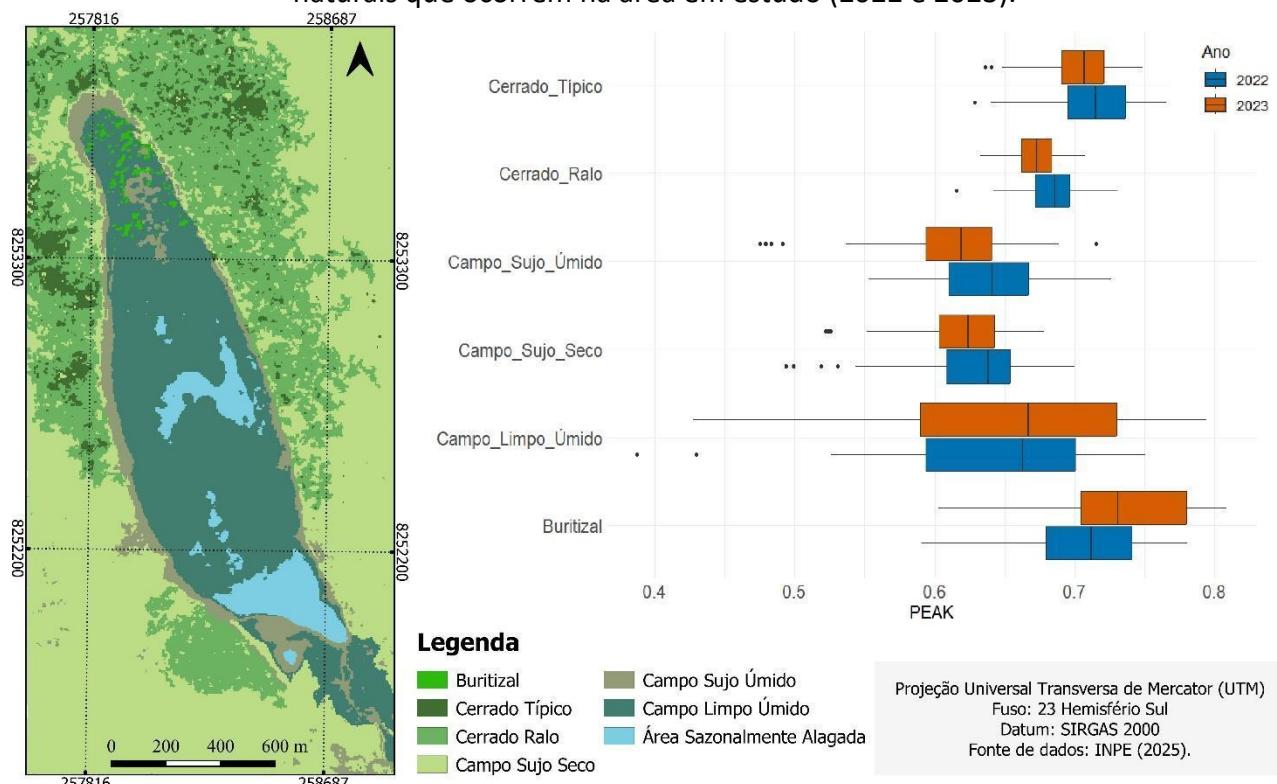
Apesar de apresentarem valores médios semelhantes (0,347 e 0,346, respectivamente), o Cerrado Típico exibiu maior variabilidade interna, evidenciada pelo desvio padrão mais elevado (0,0236 x 0,0121), o que sugere maior heterogeneidade estrutural e composicional. Entende-se que essa diferença pode estar associada à diversidade de estratégias fisiológicas das espécies presentes, à variação na disponibilidade hídrica anual e à estrutura da vegetação, com o Cerrado Típico possuindo maior complexidade vertical (Bijos, 2017). Já as áreas recobertas por Cerrado Ralo, com menor variabilidade, demonstraram uma resposta mais uniforme às mudanças sazonais.

A amplitude do NDVI permite entender que as áreas recobertas por vegetação predominantemente herbácea, apresentaram forte resposta às variações sazonais, sugerindo maior sensibilidade às mudanças nas condições hídricas. O Campo Sujo Seco, apresentou a maior média de amplitude (0,333) e menor o desvio padrão (0,018), evidenciando uma resposta mais homogênea da vegetação, com períodos bem definidos de seca e rebrote. Já o Campo Sujo Úmido (média de 0,320 e desvio padrão de 0,062) apresentou a maior variabilidade intra-classe, possivelmente devido a microvariações no regime hídrico e na composição florística. O Campo Limpo Úmido, por sua vez, apresentou a menor amplitude (0,257), com uma variabilidade intermediária (0,052), indicando uma menor oscilação sazonal no vigor da vegetação, possivelmente pela umidade do solo nessas áreas.

Na Figura 3 são apresentados os valores da métrica fenológica PEAK, observado em relação às diferentes coberturas vegetais naturais da área em estudo. Essa métrica representa o valor máximo observado nos ciclos fenológicos analisados, correspondendo a um indicador da intensidade da atividade fotossintética ao longo dos ciclos fenológicos. Em 2022, os maiores valores

médios de PEAK foram registrados em áreas de Cerrado Típico (0,7129) e Buritizal (0,7095), enquanto o menor ocorreu no Campo Sujo Seco (0,6277). Em 2023, as áreas de ocorrência de Buritizal e Campo Limpo Úmido apresentaram um aumento nos valores de PEAK, enquanto as demais coberturas apresentaram uma diminuição.

Figura 3 – Distribuição dos valores da métrica fenológica PEAK em relação às coberturas vegetais naturais que ocorrem na área em estudo (2022 e 2023).



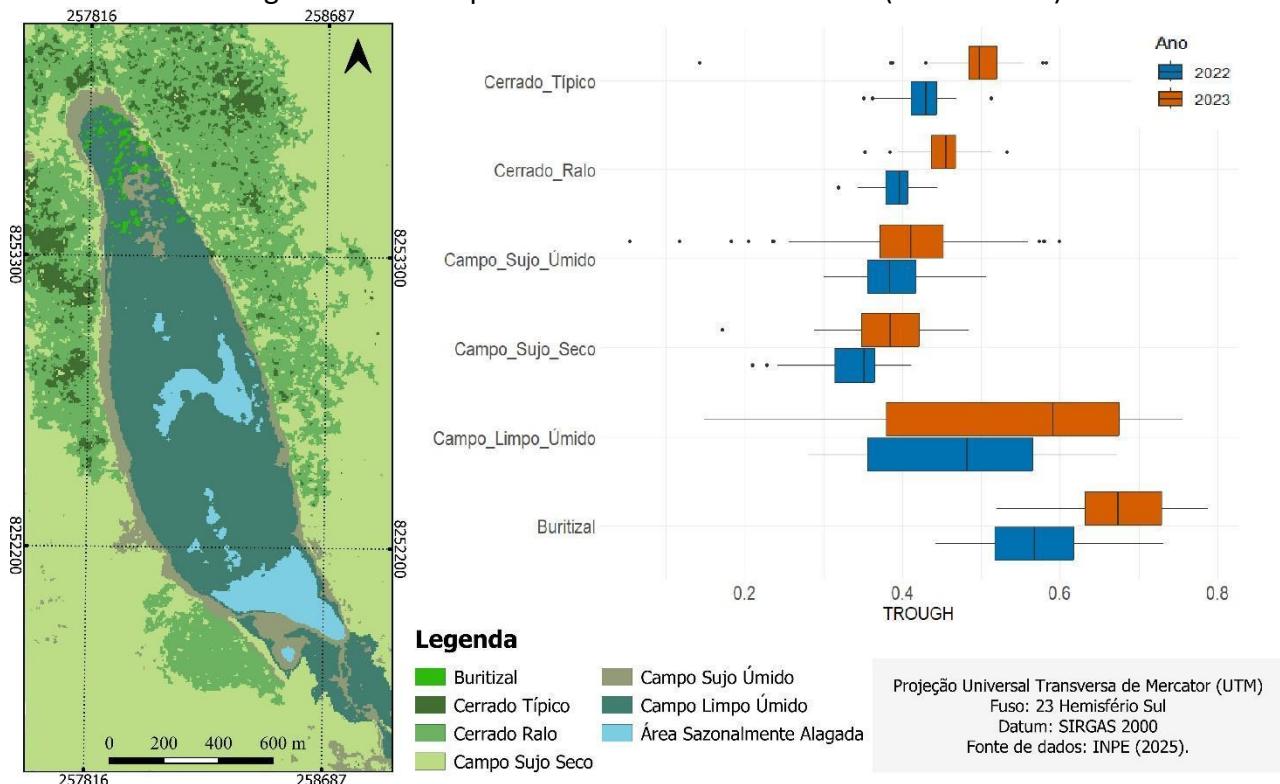
Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Para a métrica PEAK, os dados mostram que o desvio padrão aumentou nas classes Buritizal (0,0420 para 0,0477), Campo Sujo Úmido (0,0389 para 0,0495) e Campo Limpo Úmido (0,0711 para 0,0852), indicando uma maior variabilidade intra-anual nessas coberturas vegetais naturais. O Buritizal, tipicamente associado a áreas alagáveis, apresentou variação mais discreta, possivelmente pela resiliência às flutuações hídricas que ocorrem sazonalmente. Já nas áreas mapeadas como Campo Limpo Úmido, observou-se uma maior amplitude nos dados, o que pode estar relacionado à

maior sensibilidade das gramíneas dominantes às variações sazonais na disponibilidade hídrica do solo da área em estudo.

Na Figura 4 apresenta-se a métrica fenológica TROUGH, ela representa o ponto mais baixo na curva de variação da série temporal do NDVI, estando bem correlacionada ao período de dormência vegetativa ou menor disponibilidade hídrica, isto é, ao período de estiagem. Como pode-se observar (Figura 4), as coberturas vegetais naturais mais distantes do centro do ecossistema de área úmida apresentaram os menores valores na curva de variação da série temporal. Esse padrão demonstra uma resposta pronunciadamente baixa na atividade fotossintética nessas áreas, o que indica maior estresse hídrico nas áreas periféricas em comparação com o núcleo/área central do ecossistema (Figura 4).

Figura 4 – Distribuição dos valores da métrica fenológica TROUGH em relação às coberturas vegetais naturais que ocorrem na área em estudo (2022 e 2023).



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Assim, no contexto da área em estudo, a variação da métrica TROUGH corrobora um gradiente de umidade, decaindo do centro para as bordas, haja vista o nível freático, isto é, a umidade do solo. Esse padrão espacial é relevante, pois demonstra como a dinâmica hidrológica típica das áreas úmidas está correlacionada com a distribuição da vegetação, influenciando a sua resposta sazonal. Observa-se que as áreas mapeadas como Buritizal e Campo Limpo Úmido apresentaram os maiores valores de TROUGH, indicando que nessas coberturas vegetais naturais houve uma menor variação sazonal e maior manutenção da biomassa verde ao longo dos ciclos fenológicos, mesmo no período de menor vigor vegetativo.

Entende-se que, nesses ambientes, a variação sazonal e maior manutenção da biomassa verde ao longo dos ciclos fenológicos, mesmo no período de menor vigor vegetativo, está associada à maior retenção hídrica no solo que ocorre nessas áreas (Matos et al., 2014), que são caracterizadas por solos com alta capacidade de armazenamento de água e, em alguns casos, pela presença do nível freático superficial, haja vista, também, seu contato com outras áreas sazonalmente alagadas. As áreas de Cerrado Típico, Cerrado Ralo, Campo Sujo Úmido e Campo Sujo Seco, respectivamente, apresentaram os menores valores de TROUGH no ciclo fenológico do ano de 2022, além disso, mostraram um aumento considerável entre 2022 e 2023.

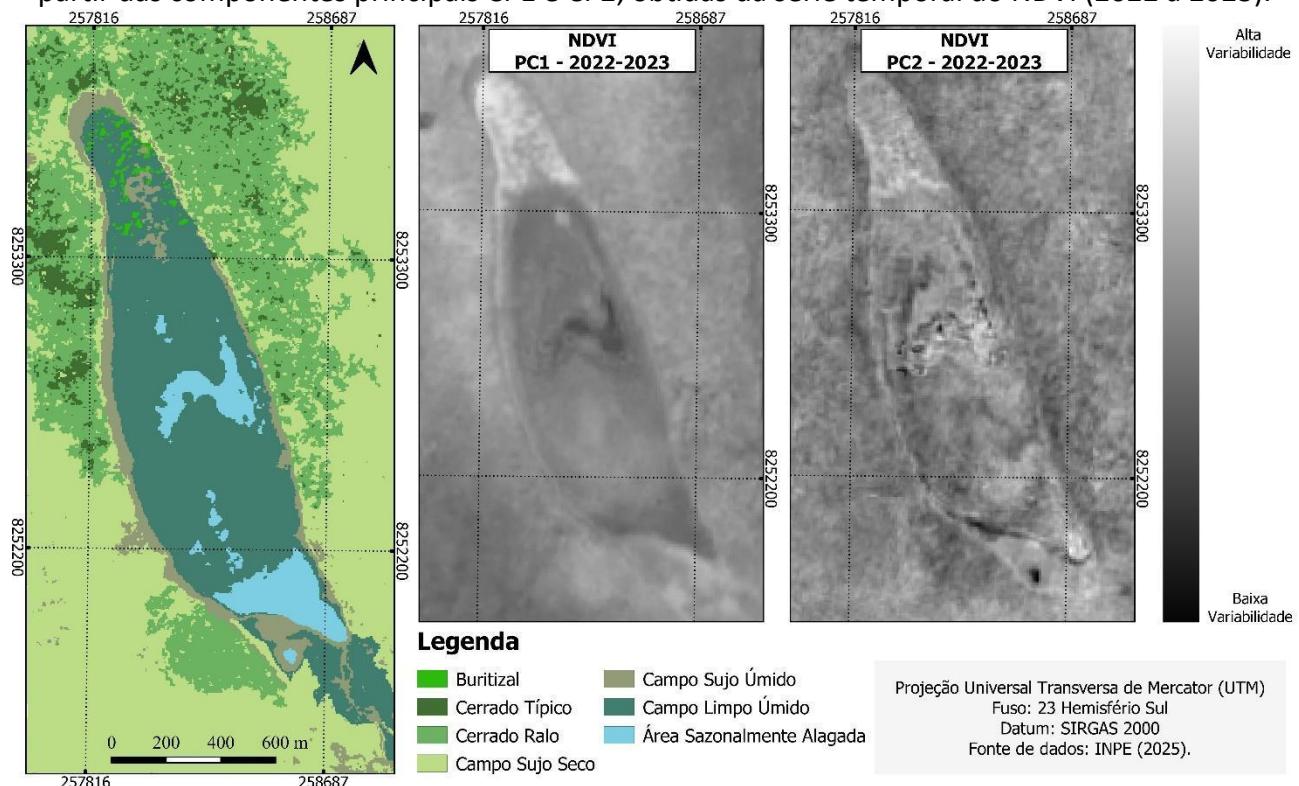
O Cerrado Típico destacou-se com o maior incremento (15,85%, de 0,426716 para 0,494339), seguido pelo Cerrado Ralo (15,03%, de 0,392999 para 0,452076) e pelo Campo Sujo Seco (13,21%, de 0,339067 para 0,383853). Em contraste, o Campo Sujo Úmido apresentou aumento menor (4,03%), refletindo maior estabilidade, o que pode estar associado à retenção hídrica nos solos onde ocorrem. A partir desses dados, depreende-se que essas coberturas vegetais sofreram, sob a perspectiva da sazonalidade, um maior *stress*, por exemplo, no período de estiagem, com uma redução significativa do seu vigor vegetativo.

No Cerrado Ralo, as espécies arbóreas são mais esparsas e compostas, em sua maior parte, por espécies que passam por uma queda acentuada na atividade fotossintética durante a estação seca, apresentando diferentes níveis de caducifolia. Já no Campo Sujo Seco, a predominância de gramíneas e arbustos de pequeno porte, associada a solos menos férteis e com menor capacidade

de armazenamento de água, contribui para uma resposta acentuada no vigor vegetativo, dada uma redução marcante na biomassa verde. Por outro lado, o Campo Limpo Úmido, embora também dominados por gramíneas, mantém maior produtividade mesmo na estação seca devido à presença de solos hidromórficos e maior retenção de água. Essa diversidade de fisionomias reflete a adaptação das espécies às variações edáficas e climáticas típicas do bioma Cerrado, tendo em vista a área em estudo.

Na Figura 5 são apresentadas as coberturas vegetais naturais que ocorrem na área em estudo e variabilidade obtida a partir da implementação da Análise de Componentes Principais, tendo em vista a série temporal do NDVI (2022 a 2023). Especificamente, apresenta-se as imagens atinentes às componentes principais CP1 e CP2, as quais corroboram a forte relação entre a sazonalidade da vegetação e a sazonalidade hidrológica comumente observada em áreas úmidas.

Figura 5 – Coberturas vegetais naturais que ocorrem na área em estudo e variabilidade obtida a partir das componentes principais CP1 e CP2, obtidas da série temporal do NDVI (2022 a 2023).



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A PC1 (Primeira Componente Principal) explica 74% da variância total observada nos dados, capturando a maior parte da variabilidade sazonal do NDVI. A PC2 (Segunda Componente Principal), por sua vez, explica 11.85% da variância. Esta segunda componente (PC2) está associada a padrões secundários de variação, como mudanças locais na vegetação que ocorre em contato com áreas sazonalmente alagadas, indicando que a dinâmica da vegetação é correlacionada à presença de água e as condições edáficas locais. Essa relação é típica em áreas de transição entre fitofisionomias, onde a alternância entre períodos de alagamento e seca promove adaptações específicas na flora (Ribeiro e Walter, 1998).

A partir da PC1, destaca-se a sazonalidade na variação do NDVI. A determinação das variações e amplitude do NDVI nos diferentes tipos fenotípicos do Cerrado é fundamental para monitorar respostas ecológicas a mudanças ambientais (Pettoreli et al., 2005). Nesse mesmo sentido, Pereira et al. (2010) corroboram o uso da metodologia para identificar e delimitar áreas úmidas, destacando a importância da análise de componentes principais (PCA) para capturar padrões espaciais e temporais em ecossistemas sensíveis ao ciclo hidrológico. Os padrões identificados pela PC2 indicam que a vegetação que ocorre em áreas associadas à umidade pronunciada podem apresentar dinâmicas específicas, devido à influência da hidrologia local e disponibilidade hídrica, como inundações periódicas, que afetam a fenologia da vegetação.

Considerações finais

Este estudo analisou como a variabilidade de métricas fenológicas da vegetação, resgatadas de dados de sensoriamento remoto, se relaciona com a ocorrência e distribuição de diferentes coberturas vegetais naturais, em um ecossistema de área úmida ainda preservado, na região *core* do Cerrado brasileiro. Os resultados demonstram e destacam a inequívoca dinâmica sazonal das diferentes coberturas vegetais naturais que ocorrem na área em estudo. Os resultados reforçam a importância das métricas fenológicas para a compreensão da sazonalidade da vegetação em áreas úmidas do Cerrado brasileiro, o que pode contribuir diretamente com o mapeamento e monitoramento desses ecossistemas.

A amplitude do NDVI evidenciou que as áreas recobertas por vegetação predominantemente herbácea apresentam forte resposta às variações sazonais, sugerindo maior sensibilidade às mudanças nas condições hídricas, podendo ainda estar correlacionada ao sistema radicular menos profundo das plantas. A partir da métrica PEAK, observou-se que o Cerrado Típico e o Buritizal apresentaram os maiores picos de atividade fotossintética, enquanto o Campo Limpo Úmido demonstrou maior variabilidade, indicando sensibilidade às flutuações hídricas. No contexto da área em estudo, a variação da métrica TROUGH permitiu identificar um gradiente de umidade que decai do centro para as bordas, corroborando com a divisão em zonas da borda, do meio e do fundo, tradicionalmente empregadas nos estudos dos ecossistemas de Veredas.

A PCA revelou que a maior parte da variabilidade do NDVI é explicada pela primeira componente principal (PC1), que está associada ao padrão sazonal de crescimento vegetativo. A segunda componente (PC2) captura variações secundárias, relacionadas a diferenças locais onde sazonalmente ocorrem inundações. Esses resultados não apenas são úteis para identificar áreas com maior dinâmica sazonal e para monitorar mudanças na vegetação ao longo do tempo, como também para classificação da vegetação. No contexto das tendências de mudanças climáticas e ambientais regionais, é promissor observar como as métricas fenológicas podem ser usadas para prever respostas da vegetação a eventos climáticos extremos, como secas e inundações prolongadas.

Análises complementares para estudos futuros que utilizem séries temporais maiores são necessárias. Uma delas consiste em verificar se as diferenças fenológicas e sazonais observadas entre as coberturas vegetais naturais são estatisticamente significativas (ex.: testes de hipóteses como ANOVA), além de explorar fatores associados ao terreno (altitude, declive, umidade do solo) para entender melhor os padrões observados.

Destaca-se que esse estudo se caracteriza como introdutório. Os autores sugerem que estudos futuros sobre as áreas úmidas do Cerrado brasileiro utilizem os recursos do BDC (Ferreira et al., 2020), da biblioteca SITS (Simões et al., 2021) e do *Web Service* proposto por Sansigolo et al., (2025), pois podem contribuir diretamente com o mapeamentos e análise da vegetação a partir do processamento de séries temporais de dados obtidos pelos satélites de observação da Terra.

Agradecimentos

Este estudo foi desenvolvido com o suporte da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), através do programa de Bolsas de Produtividade em Pesquisa, aos quais expressamos nossos sinceros agradecimentos.

Referências

- AB'SABER, A. N. **Os domínios de Natureza do Brasil: Potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 159p.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **As Regiões Hidrográficas**. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/panorama-das-aguas>. Acesso em: 26 fev. 2025.
- ARAÚJO, J. A.; GALVÃO, L. S.; DALAGNOL, R. Sensitivity of hyperspectral vegetation indices to rainfall seasonality in the Brazilian savannahs: an analysis using PRISMA data. **Remote Sensing Letters**, v.13, n.3, p. 277-287, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/2150704X.2023.2189031>. Acesso em: 6 mai. 2025.
- BARBOSA, A. S. Cerrado: “Dor Fantasma” da biodiversidade brasileira. **Revista do Instituto Humanitas Unisinos**, v.382, n.1, p. 11-15, 2011. Disponível em: <http://www.ihuonline.unisinos.br/artigo/4232-altair-sales-barbosa>. Acesso em: 28 fev. 2025.
- BIJOS C. R. **Fatores modeladores da composição e da diversidade de espécies herbáceo-arbustivas em veredas no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Programa de Pós-Graduação em Botânica, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2017. 94p.
- CAVALCANTI, R.; JOLY, C. The conservation of the Cerrados. In: OLIVIERA, P. S.; MARQUIS, R. J. (1^a ed.) **The Cerrado of Brazil. Ecology and natural history of a notropical savanna**. p. 351-367. Columbia Univ. Press: New York, 2002. 368p.
- CHAVES, E. M.; MATAVELI, G.; ERMIGASSEN, Z. et al. Reverse the Cerrado's neglect. **Nature Sustainability**, v.6, n.9, p.1028-1029, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01182-w>. Acesso em: 1 fev. 2025.
- COHEN, J. A. Coefficient of Agreement for Nominal Scales. **Educational and Psychological Measurement**, v. 20, n. 1, p. 37-46, 1960. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>. Acesso em: 26 jan. 2025.
- CONVENÇÃO SOBRE ZONAS ÚMIDAS DE IMPORTÂNCIA INTERNACIONAL. **Convenção de Ramsar**. Ramsar, 1971. Disponível em: <https://www.ramsar.org>. Acesso em: 26 fev. 2025.

DE ARAÚJO, W. S.; SILVEIRA, L. T. Ecological networks in savannas reflect different levels of hydric stress in adjacent palm swamp forest ecosystems. **Scientific Reports**, v.14, n.2, p.1-14, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-72479-9>. Acesso em: 31 jan. 2025.

DIEGUES, A. C. S. **An Inventory of Brazilian Wetlands**. 1^a ed. IUCN – The World Conservation Union: Gland, Switzerland, 1994. 216p.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5.ed. Brasília: 2018.

FERREIRA, K. R.; QUEIROZ, G. R.; VINHAS, L. et al. Earth Observation Data Cubes for Brazil: Requirements, Methodology and Products. **Remote Sensing**. v.12, n.24, p.1-19, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs12244033>. Acesso em: Acesso em: 11 jan. 2025.

FRANÇOSO, R. D.; BRANDÃO, R.; NOGUEIRA, C. C. et al. Habitat loss and the effectiveness of protected areas in the Cerrado Biodiversity Hotspot. **Natureza & Conservação**, v.13, n.1, p.35-40, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ncon.2015.04.001>. Acesso em: 28 fev. 2025.

FORKEL, M.; CARVALHAIS, N.; VERBESSELT, J. et al. Trend Change Detection in NDVI Time Series: Effects of Inter-Annual Variability and Methodology. **Remote Sensing**, 2013, v.5, n.5, p.2113-2144, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs5052113>. Acesso em: 6 jan. 2025.

FROMM, L. T.; SMITH, L. C.; KYZIVAT, E. D. Wetland vegetation mapping improved by phenological leveraging of multitemporal nanosatellite images. **Geocarto International**, v.40, n.1, p.1-20, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10106049.2025.2452252>. Acesso em: 6 mai. 2025.

GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing for Environment**, v. 202, p. 18-27, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>. Access in: 4 mai. 2025.

GOUVEIA, G. P.; FELFILI, J. M. Fenologia de comunidades de cerrado e de mata de galeria no Brasil Central. **Revista Árvore**, v. 22, n. 4, p. 443-450, 1998.

HOFMANN, G. S.; CARDOSO, M. F.; ALVES, R. J. V.; WEBER, E. J. et al. The Brazilian Cerrado is becoming hotter and drier. **Global Change Biology**, v. 27, n. 17, p. 1-17, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.15712>. Acesso em: 28 fev. 2025.

ICMBIO – INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Cerrado**. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/cerrado>. Acesso em: 26 fev. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cam-bridge, United Kingdom and New York, USA, 2007. 1950p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2014:** Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. R.K. Pachauri & L.A. Meyer (Eds.). IPCC.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2021:** The Physical Science Basis. Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 2021. 2239p.

JENSEN, J. R. **Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective.** 2nd Edition, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, 2007.

JUNK, W.J. Current state of knowledge regarding South America wetlands and their future under global climate change. **Aquatic Sciences**, v.1, n.75, p.113-131, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00027-012-0253-8>. Acesso em: 22 jan. 2025.

JUNK, W. J. CUNHA, C. N. Inventário das Áreas Úmidas Brasileiras. Cuiabá: INAU (**INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM ÁREAS ÚMIDAS**), 2024. E-book. Disponível em: https://inau.org.br/site/images/e-book/c_c_inventario_das_areas_umidas_brasileiras_inau_e-book.pdf. Acesso em: 22 Jan. 2025.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. In: **Megadiversidade**. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade no Brasil. v.1, n.1, p.147-155, 2005. Belo Horizonte: Conservação Internacional.

LATRUBESSE, E. M.; ARIMA, E.; FERREIRA, M. E. et al. Fostering water resource governance and conservation in the Brazilian Cerrado biome. **Conservation Science and Practice**, v.2, n.5, p.77, 2019. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/csp.2.77>. Acesso em: 27 jan. 2025.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M. Estimativa da contribuição hídrica superficial do Cerrado para as grandes regiões hidrográficas brasileiras. In: **Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2007, São Paulo: ABRH, 2007.

MALTCHIK, L.; CALEFFI, V.; STENERT, C. et al. Legislation for wetland conservation in Brazil: Are existing terms and definitions sufficient? **Environmental Conservation**, v.45, n.3, p.301-305, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0376892917000522>. Acesso em: 4 jan. 2025.

NASCIMENTO, D. T. F.; GONÇALVES, R. J. A. F. **Águas do Cerrado:** gestão, usos e conflitos. 1^a ed. Goiânia, GO: Kelps, 2018. 188 p.

NOVAIS, G. T. **Classificação climática aplicada ao Bioma Cerrado.** Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2019. 184p.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G. et al. Biodiversity hotspot for conservation priorities. **Nature**, v. 408, n.1, p.853-858, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/35002501>. Acesso em: 11 fev. 2025.

OUCHRA, H.; BELANGOUR, A.; ERRAISSI, A. Comparing Unsupervised Land Use Classification of Landsat 8 OLI Data Using K-means and LVQ Algorithms in Google Earth Engine: A Case Study of Casablanca. **International Journal of Geoinformatics**, v. 19, n. 12, p. 83-91, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.52939/ijg.v19i12.2981>. Acesso em: 17 jan. 2025.

PILOYAN, A. Semi-Automated Classification of Landform Elements in Armenia Based on SRTM DEM using K-Means Unsupervised Classification. **Quaestiones Geographicae**, v.36, n1, p.93-103, 2017. Disponível em: <https://doi: 10.1515/quageo-2017-0007>. Acesso em: 17 jan. 2025.

OLIVEIRA, M. T.; CASSOL, H. L. G.; GANEM, K. A. et al. Mapeamento da Vegetação do Cerrado – Uma Revisão das iniciativas de Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 72, n. Especial 50 anos, p. 1250-1274, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/rbcv72nespecial50anos-56591>. Acesso em: 18 jan. 2025.

PAIXÃO, E. C.; ARRUDA, E. C.; JUNK, W. J. et al. Buscando soluções sustentáveis para áreas úmidas savânicas florestadas brasileiras via uso múltiplo. **Biodiversidade Brasileira**, n. 2, p. 19-33, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v9i2.775>. Acesso em: 28 fev. 2025.

PEREIRA, L. O.; CARDozo, F. S.; MOURA, Y. M. et al. Delimitação das áreas alagadas do Pantanal a partir da análise por Componentes Principais e Transformada Wavelet. In: **Anais 3º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, Cáceres, MT. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 200 200 - 209. 16-20 de outubro de 2010.

PETTORELLI, N., VIK, J. O., MYSTERUD, A. et al. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. **Trends in ecology & evolution**, v.20, n.9, p.503-510. 2005.

PILOYAN, A. Semi-Automated Classification of Landform Elements in Armenia Based on SRTM DEM using K-Means Unsupervised Classification. **Quaestiones Geographicae**, v.36, n1, p.93-103, 2017. Disponível em: <https://doi: 10.1515/quageo-2017-0007>. Acesso em: 28 jan. 2025.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, p.89-166, 1998.

ROUSE J. R. W.; HASS R. H.; SCHELL, J. A. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **Third ERTS-1 Symposium NASA**, NASA SP-351, Washington DC, p.309-317, 1974.

SANO, S. M., DE ALMEIDA, S. P., RIBEIRO, J. F. et al. (2008). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/479172068.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2025.

SANO, E. E.; ROSA, R. R.; BRITO, J. L. S. et al. Mapeamento da cobertura vegetal natural e antrópica do bioma Cerrado por meio de imagens Landsat ETM+. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*. Anais[...] Natal: INPE, 2009. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/557303/1/Mapeamento-cobertura-vegetal-natural-2009.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2025.

SANO, E. E.; RODRIGUES, A. A.; MARTINS, E. S. et al. Cerrado Ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. *Journal of Environmental Management*, v.232, n.15, p.818-828, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.108>. Acesso em: 27 jan. 2025.

SANSIGOLO, G.; FERREIRA, K. R.; QUEIROZ, G. R. et al. A Web Service for Phenology Metrics Extraction from Big Earth Observation Data. In: ANAIS DO XXI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2025, Salvador. *Anais eletrônicos...*, Galoá, 2025. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr-2025/papers/a-web-service-for-phenology-metrics-extraction-from-big-earth-observation-data?lang=pt-br>>. Acesso em: 05 Maio. 2025.

SHIMABUKURO, Y. E.; PONZONI, F. J. Orbital Sensors data applied to vegetation studies. *Revista Brasileira de Cartografia*, v.6, n.64, p.873-886, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/rbcv64n4-43827>. Acesso em: 6 mai. 2025.

SILVA, G.; NASCIMENTO, D. T. F. Tendências de mudanças climáticas e eventos extremos de temperatura e precipitação em Goiás e no Distrito Federal (1980 a 2020). *Revista Científica ANAP Brasil*, v.17, n.43. p.115-129, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.17271/19843240174320245131>. Acesso em: 12 jan. 2025.

SILVA, I. S.; SILVA, E. C. ; ALVES, F. C. Mapping land use and land cover in the Brazilian Cerrado Domains: an unsupervised approach using high spatial resolution Orbital Remote Sensing data (WPM-CBERS-4A) and clustering algorithm (K-means). *Revista Geoaraguaia*, v. 14, n.2, p. 1-18, 2024. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/geo/issue/archive>. Acesso em: 16 jan. 2025.

SILVA, I. S.; OLIVEIRA, C. M.; NASCIMENTO, D. T. F. Panorama dos sistemas de classificação e mapeamentos de cobertura e uso da terra do Bioma Cerrado. In: NASCIMENTO, D. T. F.; NOVAIS, G. T. (Org.). *Sistemas paisagísticos do Cerrado*. 1^a ed. Anápolis, GO: Editora UEG, 2024. 584 p.

SILVA, Y. B. A. G.; SANTOS, M. C. R.; GALVÃO, L. S. et al. Analysis of Phenological Metrics to Describe the cerrado Phytophysiognomies in the Emas National Park. *In: Proceedings XXIV GEOINFO*. Anais[...] São José dos Campos: INPE, 2023. Disponível em: http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m16c/2023/12.18.12.55/doc/Silva_Analysis.pdf. Acesso em: 7 jan. 2025.

SIMOES, R.; CAMARA, G.; QUEIROZ, G. et al. Satellite Image Time Series Analysis for Big Earth Observation Data. *Remote Sensing*, v.13, n.1, p. 1-20, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs13132428>. Acesso em: 20 fev. 2025.

SOUZA, C.M., JR.; Z. SHIMBO, J.; ROSA, M.R. et al. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v.12, n.2735, p.1-21, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs12172735>. Acesso em: 13 jan. 2025.