

## Avaliação da cobertura vegetal da microrregião da Chapada Dos Veadeiros (Goiás), em relação a sazonalidade das chuvas, por meio de índices de vegetação

### Evaluation of vegetable cover in the microregion of Chapada Dos Veadeiros (Goiás), in relation to the seasonality of the rains, using vegetation index

Yunara da Silva Santos<sup>1</sup>

Junner Cesar Matos Filho<sup>2</sup>

Elfany Reis do Nascimento Lopes<sup>3</sup>

José Carlos de Souza<sup>4</sup>

#### Resumo

Na microrregião da Chapada dos Veadeiros ocorrem as mais extensas áreas de vegetação de Cerrado preservadas no estado de Goiás. Assim, este estudo objetivou avaliar o comportamento espectral da cobertura vegetal da microrregião da Chapada dos Veadeiros, frente à influência da sazonalidade climática, por meio de índices de vegetação. Foram utilizadas imagens do sensor OLI/Landsat 8 para o cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), o Fluxo de Carbono (CO<sub>2</sub>flux) e o Índice de Área Foliar (LAI). Foram usadas cenas dos meses de dezembro de 2016 e julho de 2017, que correspondem aos períodos úmido e seco. Os índices aplicados apresentaram padrão espacial com forte relação com a sazonalidade climática, com ênfase ao regime de chuvas, indicando importante redução do vigor, da área foliar e do fluxo de carbono do período úmido para o seco. A redução da biomassa e do vigor vegetativo também variou de acordo com as distintas coberturas de Cerrado encontradas na microrregião. Estudos como este podem contribuir para o monitoramento e avaliação das áreas de Cerrado, podendo ser utilizado como instrumento de gestão de áreas prioritárias para conservação da biodiversidade, especialmente em regiões onde ocorrem áreas contínuas desse bioma ainda preservadas.

**Palavras-chave:** Fluxo de CO<sub>2</sub>; NDVI; LAI; Cerrado.

#### Abstract

In the Chapada dos Veadeiros microregion, there are the largest areas of preserved Cerrado vegetation in the Goiás state. Therefore, this study aimed to evaluate the spectral behavior of the vegetation coverage of the Chapada dos Veadeiros microregion, under the influence of climatic seasonality, through vegetation indexes. Were used Landsat 8 sensor images to calculate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Carbon Flow (CO<sub>2</sub>flux) and Leaf Area Index (LAI). Were used scenes from December 2016 and July 2017, that correspond to the wet and dry periods.

<sup>1</sup>Graduada em Geografia, Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitária de Minaçu. [yunaraslv.ys@gmail.com](mailto:yunaraslv.ys@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7841-5378>.

<sup>2</sup> Graduado em Geografia, Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitária de Minaçu. [jcesarmatosfilho@gmail.com](mailto:jcesarmatosfilho@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1733-0658>.

<sup>3</sup> Professor Adjunto da Universidade Federal do Sul da Bahia, Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. [elfany@csc.ufsb.edu.br](mailto:elfany@csc.ufsb.edu.br). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1269-3986>.

<sup>4</sup> Professor do Departamento de Geografia da Universidade Estadual de Goiás, Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. [jose.souza@ueg.br](mailto:jose.souza@ueg.br). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9760-6559>.

The applied indices presented spatial pattern with strong relation with the climatic seasonality with emphasis on the rainfall regime, indicating significant reduction in vigor, leaf area and carbon flow from wet to dry period. The reduction in phytomass and vegetative vigor also varied according to the distinct Cerrado phytophysionomies, found in the microregion. Studies like this can contribute to the monitoring and evaluation of Cerrado areas, can be used as a management tool for priority areas for biodiversity conservation, especially in regions where continuous areas of this still preserved biome occur.

**Keywords:** CO<sub>2</sub>flux; NDVI; LAI; Cerrado; Climatic Seasonality.

## Introdução

As tecnologias de sensoriamento remoto têm contribuído para os estudos ambientais aplicados ao monitoramento das mudanças da superfície terrestre, apoiando metodologias de análise e mapeamento da paisagem, colaborando na compreensão das mudanças de uso da terra; suas consequências no comportamento sistêmico superfície-atmosfera e gerando produtos que tem auxiliado nos processos de gestão e planejamento de áreas. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o padrão espectral da cobertura vegetal da microrregião da Chapada dos Veadeiros, frente à influência da sazonalidade climática, por meio de índices de vegetação.

Dentre as inúmeras aplicações do sensoriamento remoto estão a estimativa de índices de vegetação, que é resultado do padrão antagônico da refletância da vegetação nas regiões espectrais do visível e do infravermelho (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012; ALI et al., 2019). Os índices de vegetação podem ser utilizados para diagnosticar vários parâmetros biofísicos, como o índice de área foliar, biomassa, densidade, estresse hídrico, fluxo de carbono, atividade fotossintética e fotoquímica, dentre outros. Tais parâmetros podem ser utilizados para monitorar a dinâmica da cobertura vegetal, bem como a influência da sazonalidade climática na resposta espectral da vegetação (SOUZA; LOPES; LOURENÇO, 2016; SOUZA, 2017; ZHANG; DONG; JIANG, et al., 2019).

A densidade de uma vegetação, sua área total e seu potencial de fluxo de carbono são analisados pelo Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Área Foliar (LAI) e Índice de Fluxo de Carbono (CO<sub>2</sub>flux), respectivamente. O NDVI estima o vigor da vegetação pela relação entre a radiação absorvida (intervalo do vermelho) no processo fotossintético e a radiação refletida (intervalo do infravermelho próximo) (GAO, 1996; JENSEN, 2009).

O LAI mensura a influência da absorção e interceptação da radiação entre a superfície e a atmosfera, estimando a área total da vegetação em relação à superfície terrestre (ISHIHARA;

HIURA, 2011; LIU et al., 2012; HUANG et al., 2014). O CO<sub>2</sub>flux mensura a eficiência do processo de sequestro de carbono pela vegetação, a partir do NDVI e PRI (*Photochemical Reflectance Index*) (BAPTISTA, 2003).

O Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (*Soil-Adjusted Vegetation Index* - SAVI) foi desenvolvido por Huete (1988) e envolve a razão entre duas combinações lineares de bandas nas regiões espectrais do vermelho e do infravermelho próximo e assume uma constante de ajuste de solo no denominador da equação, no intuito de minimizar os efeitos do solo, otimizando a resposta espectral da vegetação. Seus valores variam entre -1,5 a 1,5, sendo que os valores negativos e próximos de zero indicam nuvens, corpos hídricos e solo sem vegetação. Quanto mais próximo de 1,5, maior a produção fotossinteticamente ativa da cobertura vegetal (BARET; GUYOT, 1991).

Na perspectiva de análise espectral da vegetação de Cerrado, suas características ecológicas e fisionômicas são influenciadas pela sazonalidade climática, que apresentam verão chuvoso e inverno seco. Estas características são típicas das regiões tropicais, estabelecendo períodos de elevada umidade, com altos volumes de precipitação e períodos de estiagem bem definidos, que influenciam as diversas fitofisionomias, produzindo condições de adaptabilidade que podem ser identificadas remotamente (SILVA; ASSAD; EVANGELISTA, 2008; RIBEIRO; WALTER, 2008; NEVES; MUCIDA, 2020).

O Cerrado abrange 23% do território brasileiro, e é um dos biomas classificados como *hotspots* de biodiversidade, configurando-o como área prioritária para conservação da diversidade biológica em função das perdas da cobertura vegetal pelo avanço da agropecuária. Sua contribuição se amplia ao considerar as relações ecossistêmicas e climáticas para o abastecimento das principais bacias hidrográficas brasileiras e ser um ecótono, interligando os demais domínios fitogeográficos do Brasil (AB'SABER, 2003; FERREIRA, 2009; ZARDINI; SOUZA; MARTINS, 2016).

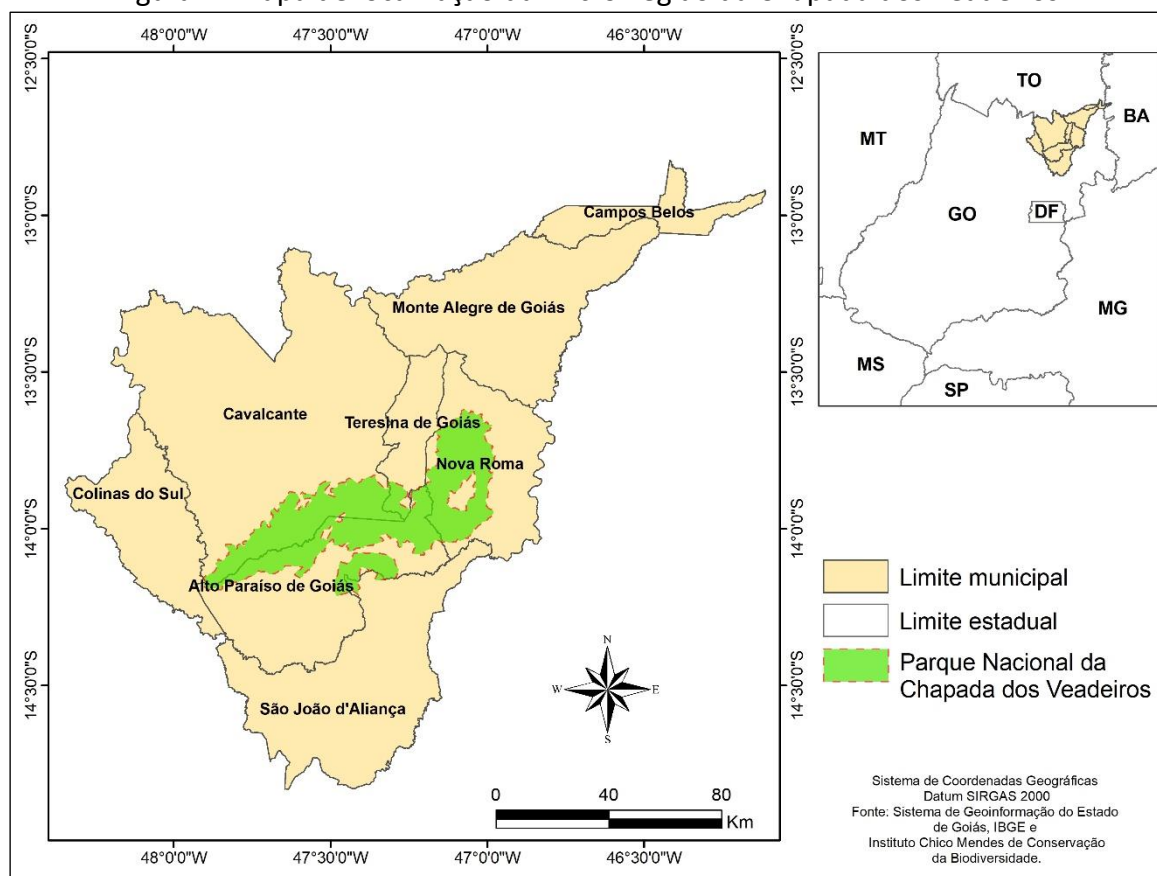
As maiores áreas contínuas de remanescentes do Cerrado no Estado de Goiás encontram-se ao norte e nordeste, onde está a microrregião da Chapada dos Veadeiros, com 15% de cobertura vegetal nativa (OLIVEIRA, 2007; FERREIRA, 2009). A intensa conversão dessas áreas, associada à biodiversidade do bioma e suas características físico-climáticas devem ser investigadas, a fim de viabilizar o conhecimento dos atributos da cobertura vegetal nesta região, culminando na produção de informações que contribuam para a conservação das áreas naturais e do bioma.

## Metodologia

### Área de Estudo

A microrregião da Chapada dos Veadeiros se localiza entre as coordenadas geográficas  $14^{\circ}50'00''\text{S}/12^{\circ}50'00''\text{S}$  e  $48^{\circ}20'00''\text{W}/46^{\circ}10'00''\text{W}$ , possui uma área aproximada de 21.333 km<sup>2</sup> (Figura 1). O clima da microrregião é do tipo Aw, definido como Tropical Úmido com verão chuvoso e inverno seco (CARDOSO; MARCUZZO; BARROS, 2014). O período de estiagem ocorre entre os meses de maio a setembro e os demais meses compreendem o período chuvoso, com destaque para os meses de dezembro e janeiro que registram os maiores totais de chuva (FELFILI; REZENDE; SILVA, 2007).

Figura 1- Mapa de localização da Microrregião da Chapada dos Veadeiros.

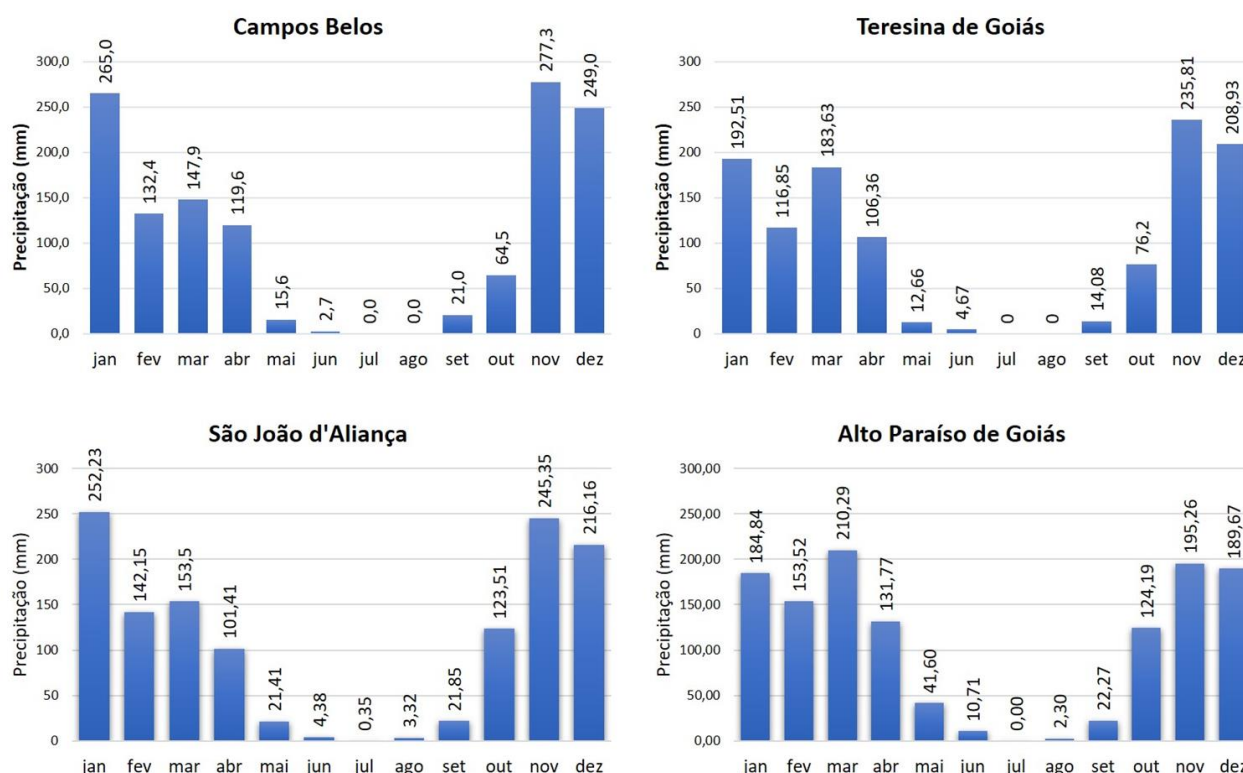


Fonte: Sistema de Geoinformação do Estado de Goiás (SIEG-GO).

**Materiais**

Foram escolhidos os meses de dezembro e julho para aquisição das imagens e cálculo dos índices. As escolhas se justificam pela necessidade de termos imagens de um período úmido e de um período seco, pois dezembro está entre os meses mais chuvosos e julho que registrou as menores médias de precipitação. Foram levantadas as médias de totais de chuva dos últimos 10 anos (2008-2017), de quatro estações pluviométricas monitoradas pela Agência Nacional de Águas (ANA), instaladas nos municípios de Campos Belos, Teresina de Goiás, São João d’Aliança e Alto Paraíso de Goiás (ANA, 2018). Na Figura 2 são apresentados os gráficos de médias de precipitação dos municípios citados e que se localizam na microrregião da Chapada dos Veadeiros.

Figura 2 – Médias mensais de precipitação do Período de 2008 a 2017.



Fonte: Agência Nacional de Águas (2018).

Foram utilizadas duas cenas das imagens do satélite LANDSAT 8, sensor OLI, órbita/ponto 221/70 e 221/69, datadas de 10/12/2016 e 24/07/2017. As bandas espectrais, com resolução espacial de 30 metros, encontram-se descritas na Tabela 1 e foram adquiridas no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (Earth Explorer USGS).

Tabela 1: Características técnicas das bandas espectrais do satélite Landsat8.

Bandas	Comprimento de ondas (micrômetros)	Resolução (metros)
Band 2 – Azul	0,45 – 0,51	30
Band 3 – Verde	0,53 – 0,59	30
Band 4 – vermelho	0,64 – 0,67	30
Band 5 – Infravermelho próximo (NIR)	0,85 – 0,88	30

Fonte: USGS 2019.

## Métodos

O processamento das imagens foi realizado com a reprojeção das bandas para o hemisfério Sul e elaborados mosaicos das cenas que incluem a região, com posterior conversão de números digitais (ND) para refletância, segundo a Equação:

$$\rho\lambda' = Mp * Qcal + Ap$$

Em que: *Qcal* = produto quantizado e calibrado pelo pixel em níveis de cinza em valores de pixel (ND);  $\rho\lambda'$  = Refletância planetária no topo da atmosfera sem correção do ângulo solar; *Mp* = Fator multiplicativo reescalonado da refletância da banda; *Ap* = Fator aditivo reescalonado da refletância da banda.

Para o cálculo dos índices SAVI e LAI foram utilizadas as seguintes equações:

$$SAVI = [(NIR - R) / (NIR + R + L)] * (1 + L)$$

$$LAI = \ln(0,69 - SAVI/0,59) / 0,91$$

Em que: *NIR* = refletância na faixa do infravermelho próximo; *R* = refletância na faixa do vermelho; *SWIR* = refletância na faixa do infravermelho de ondas curtas; *L* = fator de ajuste do solo, valor 0,5.

A refletância fotoquímica da vegetação foi estimada com base no índice PRI, por meio da relação entre a feição de absorção da radiação na região do azul e o pico de refletância da vegetação na região do verde (PEDROZA DA SILVA; BAPTISTA, 2015), segundo equação proposta por Gamon (1992):

$$PRI = B - G / B + G$$

Em que: *PRI* é o índice de refletância fotoquímica; *B* = refletância na faixa do azul; e *G* = refletância na faixa do verde.

Os valores do *PRI* foram reescalados para valores positivos, para que os valores se posicionem entre 0 e 1, conforme equação abaixo:

$$sPRI = PRI + 1 / 2$$

O cálculo do fluxo de dióxido de carbono foi realizado a partir do cruzamento dos índices *NDVI* e *sPRI*, gerando o índice *CO<sub>2</sub>Flux*, conforme equação proposta por Rahman et al. (2000):

$$CO_2Flux = NDVI * sPRI$$

O *NDVI* foi obtido pela razão entre as bandas espectrais das regiões do vermelho e do infravermelho próximo. Os valores variam de -1 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, maior vigor e produção fotossintética da vegetação. O índice é gerado a partir da equação proposta por Rouse et al. (1974):

$$NDVI = NIR - R / NIR + R.$$

Em que: *NDVI* é o índice de vegetação por diferença normalizada; *NIR* = refletância na faixa do infravermelho próximo; e *R* = refletância na faixa do vermelho.

Os índices foram gerados no software ArcGis<sup>5</sup>, por procedimento de manipulação das bandas espectrais nas respectivas equações com utilização da calculadora raster. Foram extraídas as estatísticas descritivas como valores mínimos, máximos, média, moda e desvio padrão das imagens índices.

## Resultados e discussões

A abordagem da discriminação espectral da vegetação fundamenta-se na ideia da relação quantitativa entre as bandas espectrais que mais absorve e as bandas espectrais que mais refletem energia eletromagnética.

A distribuição espacial dos valores de *NDVI*, *LAI* e *CO<sub>2</sub>Flux* obtidos para os períodos seco e chuvoso, na microrregião da Chapada dos Veadeiros são apresentados na Figura 3. De forma geral, os valores próximos à zero ou negativos se referem à superfície terrestre não vegetada e valores

---

<sup>5</sup> Dados da licença: ID da assinatura: 2080087111 - Número do cliente: 587160 - Nome do site do ArcGIS Online: UFSB – CFCAM - URL do ArcGIS Online: UFSB-CFCAM.



próximos ou superiores a 1 referem-se às características da vegetação natural do Cerrado ou a áreas agrícolas e de silvicultura. Os parâmetros estatísticos descritivos das imagens índice são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros estatísticos dos índices de vegetação na microrregião da Chapada dos Veadeiros.

Parâmetros	NDVI (Chuvoso)	NDVI (Seco)	LAI (Chuvoso)	LAI (Seco)	CO <sub>2</sub> Flux (Chuvoso)	CO <sub>2</sub> Flux (Seco)
Mínimo	- 0,33	-0,57	-1,69	-1,61	-0,33	-0,26
Média	0,34	0,22	0,20	-0,10	0,34	0,12
Moda	0,36	0,26	-0,05	0,13	0,12	0,51
Máximo	0,68	0,63	1,16	0,87	0,69	0,34
Desvio Padrão	0,07	0,09	0,25	0,18	0,09	0,03

Fonte: Imagens Índices geradas a partir das imagens OLI/Landsat 8. Elaborado pelos autores.

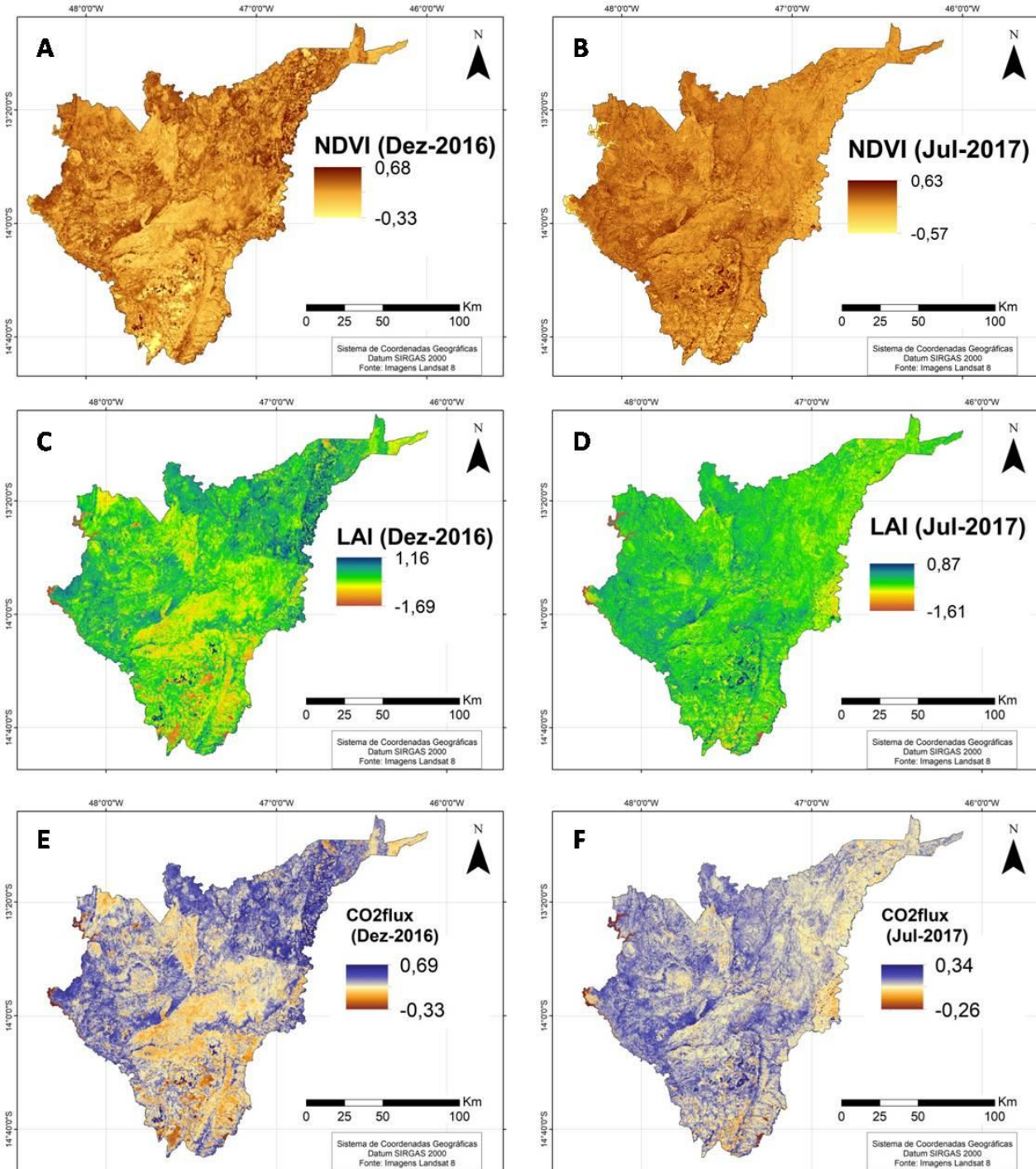
O NDVI consiste em uma observação espectral para o vigor e densidade vegetal, do qual, valores próximos a 1 indicam a presença de vegetação florestal densa e desenvolvida. Estudo similar no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, que se localiza na porção central da microrregião, identificou Cerrado Denso com valores médios de 0,80 no período chuvoso e 0,62 no período seco. Enquanto áreas de campo apresentam uma alta oscilação dos valores de NDVI, sendo de 0,60 nas épocas de chuva e 0,35 nas épocas de seca. O Cerrado Ralo e Rupestre apresentaram valores de NDVI oscilando entre 0,60 na época da chuva e 0,40 na época seca (CARVALHO JUNIOR et al., 2008).

As formações florestais do Cerrado contribuem com a grande parcela de elevação dos valores dos índices de vegetação (GAMARRA et al., 2016). Os valores máximos observados no período chuvoso e seco na região referem-se a fragmentos florestais como Cerradão e Mata Seca e formações savânicas como Cerrado Denso. Estas áreas de Cerrado apresentam elevada biodiversidade e apresentam maior fitomassa e desenvolvimento do estrato vegetativo (SAVERAID et al., 2001; DE MAS et al., 2009).

No período chuvoso predominaram valores de NDVI entre 0,3 e 0,4 e, no período seco valores entre 0,2 a 0,3. Estas condições refletem a queda do vigor vegetativo entre os períodos e podem se referir a áreas de campestres e Cerrado Ralo.



Figura 3. Distribuição espacial do NDVI no período úmido (A) e seco (B), do LAI no período úmido (C) e seco (D) e do CO2Flux no período úmido (E) e seco (F).



Fonte: Imagens OLI/Landsat 8.

O estudo apresentado por Carvalho Júnior et al. (2008) pode indicar, juntamente a esse estudo, uma mudança na estrutura da vegetação ao longo dos anos, com influência do aumento das

atividades antrópicas e climatológicas nas áreas de Cerrado, com redução do vigor e densidade vegetativa. Os valores negativos até zero referem-se a solos expostos, áreas urbanas e ao reservatório da Serra da Mesa, concentrados ao sul e extremo oeste da microrregião.

O LAI compreende uma variável biofísica que define a densidade de área foliar por superfície, que evidenciou uma variação espacial da vegetação em razão das formas de relevo, dos aspectos hipsométricos e das formas de uso do solo. O índice seguiu uma tendência de classificação espectral similar ao NDVI, pois seus parâmetros espectrais resultam do mesmo espectro eletromagnético da radiação com a superfície. Na Figura 3, no resultado do LAI, as áreas de maior densidade encontram-se com tons de verde de médio a escuro, indicando fitofisionomias de Cerrado que variam de formações savânicas a florestais e, os tons amarelados, indicam formações campestres e pastagens. Os tons de laranja a marrom indicam área urbana e solos sendo preparados para o cultivo agrícola.

Em ambos os períodos, o LAI registrou valores positivos para áreas agrícolas, que se referem à produção de soja na porção sul da microrregião. Estes cultivos estavam em estágio avançado de desenvolvimento fisiológico e apresentavam áreas geometricamente definidas em formatos quadrados, retangulares, circulares ou uma variação dessas formas que indicam áreas agrícolas irrigadas.

Os valores de CO<sub>2</sub>flux do período seco foram inferiores ao do período úmido, pois na microrregião estas condições se justificam principalmente pela predominância de campos e pastagens plantadas, com vegetação de gramíneas que dessecam durante a estiagem e contribuem para a queda dos escores do índice. Os valores acima de 0,30 referem-se a áreas com eficiência do sequestro de carbono pela vegetação associado ao aumento da umidade na atmosfera, acréscimo do vigor e da densidade da vegetação e conseqüentemente no conteúdo de água presente nas estruturas foliares.

Estas condições potencializam a atividade fotossintética, aumentando o fluxo e armazenamento de CO<sub>2</sub> pela vegetação. No processo fotossintético, ocorre uma troca gasosa entre a planta e a atmosfera através dos estômatos, células reguladas em uma dinâmica diária para absorção de radiação e água, considerando a sazonalidade climática local (DUARTE, 2003; CERQUEIRA; FRANCA-ROCHA, 2007). Logo, em períodos úmidos e maior precipitação a vegetação está condicionada a uma maior produção fotossintética, com um fluxo de carbono entre planta,

atmosfera e solo facilitado, o que não ocorre com período de alta exposição à radiação solar e baixa precipitação.

O CO<sub>2</sub>Flux apresenta uma tendência espacial similar ao LAI e NDVI, onde áreas ao sul possuem valores negativos ou próximos a zero, caracterizados pela presença de áreas urbanizadas ou solo exposto em preparo para o cultivo agrícola. Assim como o LAI, o CO<sub>2</sub>Flux tende a apresentar uma resposta geral para todos os tipos de cobertura vegetal da microrregião, mas áreas com maior fluxo e estoque de carbono podem ser associados a vegetação natural e fotossinteticamente ativa.

Considerando os escores apresentados, observa-se que o desvio padrão apresentou menor variabilidade nos períodos analisados para o NDVI e CO<sub>2</sub>Flux e maior para o LAI, e a moda registrou valores próximos a médias para o NDVI, diferente dos demais índices em que os valores apresentaram considerável distância em relação a média. Esses valores reforçam que a região apresenta uma ocorrência distinta entre as diferentes fisionomias de Cerrado, bem como a ocorrência de atividades antrópicas diversas (agricultura, urbanização, irrigação, solo exposto). Esta variação de coberturas superficiais interfere na distribuição espectral diferenciada e amplia a distribuição dos escores nos índices.

O estudo de Bezerra et al. (2013) indicou que o NDVI poderia ser considerado como parâmetro indicador da dinâmica espaço-temporal de superfícies heterogêneas, devido a característica homogênea dos escores apresentados para a área estudada, fato inverso ao encontrado neste estudo. A heterogeneidade do dado pode ser justificada, além das diversas atividades na superfície, ao fato destas atividades se distribuírem em pequenos agrupamentos na área que induzem a uma amplitude de escores dos índices. Além disso, a resolução espacial das imagens pode induzir a classificação dos índices com limiares próximos, visto a ocorrência de usos e coberturas distintos em um mesmo pixel.

Os escores obtidos nos índices também foram superiores no período chuvoso, indicando uma relação direta do desenvolvimento da cobertura vegetal com a precipitação da área. Nos dois períodos, o comportamento espectral dos alvos encontra-se com flutuações diretas quando comparadas as oscilações da precipitação.

A dispersão dos valores espectrais se torna mais heterogênea com a queda da precipitação, de forma que muitos fatores se tornam preponderantes para essa ocorrência e que também já foram citados. Muitas estratégias naturais e antrópicas são evidenciadas para a garantia da água para

manutenção do processo fisiológico da vegetação. De um lado, a cobertura vegetal investe em processos de fotoproteção com a redução de seu processo fisiológico e adaptação e, conseqüentemente, perde área foliar, vigor e densidade, desregulando os níveis espectrais e a reflectância nos pixels das imagens.

Segundo Huete et al. (2006) as espécies do Cerrado corroboram para um desempenho particular aos índices de vegetação. No Cerrado é encontrada vegetação lenhosa decidual, semidecidual e sempre-verde que durante a estação seca reduzem sua área foliar com conseqüente diminuição na taxa fotossintética. A vegetação herbácea possui mecanismos fisiológicos para redução do estresse hídrico, por meio da dessecação da parte aérea e da redução das trocas gasosas, evitando o excesso de evapotranspiração no período de estiagem (SACK; FROLE et al., 2006; SCHOLZ et al., 2007).

A sazonalidade climática interfere na produção e nos fluxos de Carbono e Nitrogênio nas formações herbáceas de Cerrado, ocorrendo também perda de biomassa com acúmulo de massa morta na estação seca que potencializam a ocorrência de queimadas (NARDOTO; BUSTAMANTE, 2003).

Nas formações florestais de mata ciliar, mata de galeria e Cerradão ocorre uma redução menor da fitomassa foliar em função da disponibilidade hídrica atingida pelas raízes e/ou pela proximidade de drenagens (BECERRA; SHIMABUKURO; ALVALÁ, 2009). As espécies florestais conseguem ter acesso à água em maior profundidade, devido aos sistemas radiculares dimórficos, diferindo das herbáceas que possuem sistema radicular superficial (SCHOLZ et al., 2007).

Além disso, as espécies vegetais capturam o carbono em maior quantidade durante o dia, em função da incidência de raios solares, isso condicionando também a umidade presente na sua estrutura. Então, áreas com uma vegetação mais densa apresentam altos valores equivalentes à eficiência do sequestro. Já em áreas com a vegetação mais seca e menos densa, o que equivale ao período representado pelo mês de julho, ocorre o oposto (CERQUEIRA; FRANCA-ROCHA, 2007).

No que corresponde a fotoproteção, Naves-Barbiero (2000) defende que os estômatos das plantas lenhosas, em períodos úmidos, ficam abertos durante o dia desenvolvendo o processo de transpiração regulada pela umidade do ar, no período de estiagem e em condições de estresse hídrico os estômatos fecham parcialmente no período diurno para manter o equilíbrio hídrico.

Por outro lado, a cobertura vegetal agrícola possui incentivos de irrigação, inclusive grandes pivôs de irrigação são evidenciados para a região, garantindo a manutenção do processo produtivo agrícola. Essa também é uma justificativa para evidenciar uma distorção na discriminação espectral da cobertura vegetal, já que não segue uma tendência natural climática e são usados mecanismos de irrigação.

Vale frisar que nem toda a vegetação assegura seus mecanismos de defesa e nesse período pode reduzir drasticamente seus mecanismos de sobrevivência ou até morrerem por deficiência hídrica, nutricional e contaminação dos vetores e pragas. De igual forma, a produção agrícola pode ser planejada para baixar produtividade em períodos de menor condição climatológica. Becerra et al. (2006) ao analisar a sazonalidade da precipitação em áreas de cerrado, evidenciou que áreas naturais, de agricultura e pastagem respondem melhor em período chuvoso e possui quedas no período seco. Destas, apenas as formações florestais possuem menores flutuações nas respostas espectrais do NDVI.

A relação espectral deste estudo com o comportamento climatológico também se assemelha aos achados de Souza et al. (2016) para o Distrito Federal, quando observaram padrões de aumento dos índices de vegetação com aumento da atividade fotossintética e biomassa de Cerrado e formações campestres em relação ao aumento da precipitação (dezembro), enquanto o decréscimo dos índices pela redução das taxas fotossintéticas e da fitomassa foliar se deu com a diminuição da precipitação pluvial (julho).

Uma análise conjunta dos dados reflete a indicação de que os baixos fragmentos florestais de Cerrado tendem a garantir os valores de NDVI, IAF e CO<sub>2</sub>Flux positivos, contudo poderiam ser ainda mais representativos se pensado o modelo de desenvolvimento econômico atual, sobretudo da expansão da área agrícola no domínio do Cerrado. A cobertura vegetal não densa mantém os índices em valores médios satisfatórios para compreender a estrutura da vegetação, mas destaca-se que o desenvolvimento fisiológico das culturas agrícolas, contribuem para IAF e CO<sub>2</sub>Flux mais elevados e não refletem fluxo de carbono somente para áreas naturais.

Conforme Lobato (2010) e Braz et al. (2015), os índices de vegetação não devem figurar como o único parâmetro sobre as alterações ocorridas na dinâmica da cobertura vegetal, mas como indicador dessas alterações, incluindo a construção de um Sistema de Informações Geográficas para análises mais específicas de monitoramento a curto, médio e longo prazo a respeito da dinâmica da

paisagem na microrregião da Chapada dos Veadeiros. Além disso, o efeito da análise sazonal dos índices permite monitorar de forma ágil a redução e conversão das áreas, especificamente a natural.

### **Considerações finais**

A variação obtida entre os escores dos índices indica que a distinta ocorrência de atividades e de forma aglomeradas em pequenos núcleos, associadas à resolução espacial das imagens, na microrregião da Chapada dos Veadeiros, dificulta a utilização dos índices como parâmetros quantitativos de monitoramento. De forma contrária, a distribuição espacial dos índices permite verificar a ocorrência das atividades antrópicas e da vegetação natural, podendo ser um parâmetro de monitoramento sazonal e temporal.

A relação entre os índices e a precipitação evidenciou uma variação significativa do período seco (julho) para o chuvoso (dezembro), em função da sazonalidade climática que corresponde a alta resposta e sensibilidade do índice a variabilidade hídrica no sistema. Os dados de precipitação mostram que a área de estudo apresentou uma alta sazonalidade e reflexo nos escores espectrais dos índices de vegetação.

O NDVI, LAI e CO<sub>2</sub>Flux estimaram satisfatoriamente os escores do vigor, densidade, área foliar e fluxo de carbono para a microrregião e domínio Cerrado, estando consistentes com observações da literatura quanto a classificação e segmentação dos escores.

A variação espacial e temporal da fitomassa e do vigor vegetativo também sofre influência das distintas fitofisionomias encontradas nesse domínio do Cerrado e das formas de uso do solo, em especial áreas agrícolas que se utilizam de técnicas de irrigação no período seco. Cada tipo de cobertura do solo tem comportamento distinto em relação à redução de umidade, sendo que as formações florestais, em função de terem raízes mais profundas ou por estarem próximas às drenagens sofrem menor impacto em relação à ausência de chuvas.

### **Agradecimentos**

À Universidade Estadual de Goiás pela concessão de Bolsa de Iniciação Científica (PBIC-UEG) ao primeiro autor.



## Referências

- AB'SÁBER, Aziz. **Os domínios da natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- ALI, A.; MARTELLI, R.; LUPIA, F.; BARBANTI, L. Assessing Multiple Years' Spatial Variability of Crop Yields Using Satellite Vegetation Indices. **Remote Sensing**, v. 11, n. 20, p. 2384 - 2406, 15 out. 2019.
- BARET, F.; GUYOT, G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. **Remote Sensing Of Environmental**, New York, v. 3, n. 2, p.161-173, 1991.
- BECERRA, J. A. B.; SHIMABUKURO, Y. E.; ALVALÁ, R. C. S. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região de Cerrado da Amazônia Legal, usando índices espectrais de vegetação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, P. 125-134, 2009.
- BEZERRA, J. M.; MOURA, G. B. A.; SILVA, B. B.; LOPES, P. M. O.; SILVA, E. F. F. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p.73–84, 2014.
- BAPTISTA, G. M. M. Validação da modelagem de sequestro de carbono para ambientes tropicais de cerrado, por meio de dados AVIRIS e HYPERION. In: XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05-10 abril 2003. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 1037-1044, 2003.
- BRAZ, A. M.; ÁGUAS, T. A.; GARCIA, P. H. M. Análise de índices de vegetação NDVI e SAVI e índice de área foliar (IAF) para a comparação da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do córrego Ribeirãozinho, município de Selvíria – MS. **Revista Percorso – NEMO**, v. 7, n. 2 , p. 05- 22, 2015.
- CANAVESI, V.; PONZONI, F. J.; VALERIANO, M. M. Estimativa de Volume de madeira em plantios de Eucalyptus spp. utilizando dados hiperespectrais e dados topográficos. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.34, n.3, p.539-549. 2010.
- CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação climática de Köppen-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v.8, n.16, p. 40-55, jan./mar. 2014.
- CARVALHO JUNIOR, O. A.; SAMPAIO, C. S.; SILVA, N. C.; COUTO JÚNIOR, A. F.; GOMES, R.A. T.; CARVALHO, A. P. F.; SHIMABUKURO, Y. E. Classificação de padrões de savana usando assinaturas temporais NDVI do sensor MODIS no Parque Nacional Chapada dos Veadeiros. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 505-517, 2008.
- CERQUEIRA, D. B. de; FRANCA-ROCHA, W. Relação entre tipos de vegetação e fluxo de CO2 no bioma Caatinga: Estudo de caso em Rio de Contas - BA. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, v. 2419, n. 2413, p.2413-2419, abr. 2007.
- COLTRI, P. P. et al. Utilização de índices de vegetação para estimativas não-destrutivas da biomassa, estoque e sequestro de carbono do cafeeiro arábica. **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, p. 121 – 128, 2009.
- DE MAS, E.; CHUST, G.; PRETUS, J.L.; RIBERA, C. Spatial modelling of spider biodiversity: matters of scale. **Biodiversity and Conservation**, v. 18, p. 1945- 1962, 2009.



DUARTE, H.D. Detecção óptica da eficiência quântica da fotossíntese. 2003 p. Dissertação (mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em engenharia elétrica, Universidade Federal de Pernambuco.

FELFILI, J. M., REZENDE, A. V., SILVA, M. C. **Biogeografia do Bioma Cerrado: Vegetação e solos da Chapada dos Veadeiros**. Editora UnB: Brasília, 2007.

FERREIRA, M. E. Modelagem da dinâmica da paisagem do Cerrado. 2009. 116 p. Tese (doutorado em Ciências Ambientais) – Programa Multidisciplinar de Doutorado em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

GAMARRA, R. M.; TEIXEIRA-GAMARRA, M. C.; CARRIJO, M. G. G.; PARANHOS FILHO, A. C. Uso do NDVI na análise da estrutura da vegetação e efetividade da proteção de unidade de conservação no Cerrado. **Revista Ra'eGa**, v. 37, p 307 - 332, 2016.

GAMON, J. A; PENUELAS, J.; FIELD, C. B. A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in protosynthetic efficiency. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.41, p. 35-44, 1992.

GAO, B.C. NDWI – a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v.58, n.3, p. 255-266,1996.

HUETE, A. R. et al. Amazon rainforests green-up with sunlight in dry season. **Geophysical Research Letters**, VOL. 33, L06405, 2006.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução da 2ª ed. por (pesquisadores do INPE): José Carlos N. Epiphanyo (coord) [et al.]; São José dos Campos: Parêntese. 2009. 672 p.

LOBATO, R. B. et al. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada para Análise da Redução da Mata Atlântica na Região Costeira do Distrito de Tamoios Cabo Frio/RJ. **Caderno de Estudos Geoambientais**, v. 1, p. 14-23, 2010.

NAVES-BARBIERO, C.C.; FRANCO, A.C.; BUCCI, S.J.; GOLDSTEIN, G. Fluxo de seiva e condutância estomática de duas espécies Lenhosas sempre-verdes no campo sujo e cerradão. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Lavras, v.12, n.2, p.119- 134, 2000.

NARDOTO, g. b.; BUSTAMANTE, M. M. Effects of fire on soil nitrene dynamics and microbial biomass in savanas of Central Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 955-962, 2003.

NEVES, L. Z.; MUCIDA, D. P. Comparação de índices de vegetação entre imagens CBERS, Landsat e Rapideye para área do Cerrado Brasileiro. **Revista Espinhaço**, v. 9, n. 1. P. 43-51, 2020.

OLIVEIRA, I. J. Cartografia turística para a fruição do patrimônio natural da Chapada dos Veadeiros (GO). 2007. 201 p. Tese (doutorado em Geografia Humana) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

ACK, L.; FROLE, K. Leaf structural diversity is related to hydraulic capacity in Tropical Rain Forest trees. **Ecology**, v. 87, n. 2, p. 483-491, fev. 2006.

SCHOLZ, F. G.; et al. Biophysical properties and functional significance of stem water storage tissues in Neotropical savanna trees. **Plant, Cell & Environment**, v. 30, n. 2, p. 236-248, fev. 2007.

SOUZA, G. M.; GURGEL, H. C.; CIAMP, P. M. Análise sazonal da vegetação do Cerrado por meio de dados do sensor MODIS no Distrito Federal (Brasil). **Boletim Goiano de Geografia**, v. 36, n. 3, p. 502-520, 2016.

ZHANG, J.; L. S.; DONG, R.; JIANG, C. N. M. Influences of land use metrics at multi-spatial scales on seasonal water quality: A case study of river systems in the Three Gorges Reservoir Area, China. **Journal of Cleaner Production**, v.206, n.1, p.76 – 85, Jan 2019.