

**AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO ESPECTRAL DO CERRADO POR SENSOR REMOTO PASSIVO**

Carlos Cesar Silva Jardim<sup>1</sup>, Alessandra Conceição de Oliveira<sup>2</sup>, Anamari Viegas de Araújo Motomiya<sup>3</sup>, Rosilene Oliveira dos Santos<sup>4</sup> & Valéria Lima da Silva<sup>5</sup>

1-Agrônomo, Doutorando em Agronomia UFG, Goiânia – GO, carlosbirosk@hotmail.com;

2-Agrônoma, Professora titular UNEMAT, Nova Xavantina – MT, alessandraoliveira@unemat.br;

3-Agrônoma, Professora da Faculdade de Ciências Agrárias UFGD, Dourados – MS, anamarimotomiya@ufgd.edu.br;

4-Agrônoma, Mestranda em Engenharia Agrícola UFGD, Dourados – MS, rosileneagro@gmail.com;

5-Agrônoma, Mestranda em Desenvolvimento Rural Sustentável UEG, São Luís de Montes Belos – GO, valeria.silva21@hotmail.com.

**Palavras-chave:**

Biomassa  
imagens de satélite  
monitoramento

**RESUMO**

O Cerrado é a segunda maior cobertura vegetal natural do Brasil, perfazendo cerca de 23% da área total, localizado na maioria de sua extensão no Planalto Central brasileiro. Para a análise do Cerrado, é utilizado o sensoriamento remoto, que está amplamente aplicado para o monitoramento de coberturas vegetais e, principalmente, avaliando o desempenho espacial e/ou fisiológico. Os índices de vegetação são técnicas para monitoramento das plantas, sendo os índices utilizados *green* NDVI, *red* NDVI, NPCI, PSRI, SAVI, SR analisados com auxílio das imagens do satélite Landsat 8 e o *software* Arcmap®. O objetivo do trabalho foi analisar imagens do satélite Landsat 8 para a caracterização sazonal da vegetação do Cerrado correlacionando com os elementos climáticos de mesmo período, com intuito de verificar a resposta ambiental aos fatores abióticos. A correlação linear de Pearson demonstrou uma forte correlação entre os índices, e a correlação dos índices de vegetação com os dados climáticos demonstrou uma forte correlação com a umidade relativa do ar e uma fraca influência para o balanço hídrico. Conclui-se que as imagens obtidas gratuitamente são eficientes para caracterização do acúmulo de biomassa em vegetações naturais.

**Keywords:**

biomass  
Satellite imaging  
monitoring

**EVALUATION OF SPECTRAL VARIATION OF THE CERRADO BY PASSIVE REMOTE SENSING****ABSTRACT**

Cerrado is the second largest natural vegetation cover in Brazil, accounting for about 23% of the total area, most of its extension being located in the Brazilian Central Plateau. To analyze the Cerrado, remote sensing is used, which is widely used for monitoring vegetation covers and, mainly, evaluating the spatial and/or physiological performance. Vegetation indices are techniques for plant monitoring, using green NDVI, red NDVI, NPCI, PSRI, SAVI, SR indices, then analyzed using Landsat 8 satellite imagery, and Arcmap® software. The objective of this work was to analyze images from Landsat 8 satellite for the seasonal characterization of Cerrado vegetation, correlating it with climatic elements of the same period, in order to verify the environmental response to abiotic factors. Pearson's linear correlation showed a strong correlation between the indices, and the correlation of vegetation indices with climatic data showed a strong correlation with relative humidity and a weak influence on water balance. It is concluded that the images obtained free of cost are efficient for characterizing the accumulation of biomass in natural vegetation.

## INTRODUÇÃO

O Cerrado é a segunda maior cobertura vegetal natural do Brasil, perfazendo cerca de 23% da área total, e possui uma grande biodiversidade em sua extensão, com cerca de 30% da biodiversidade brasileira (RESENDE, 2012). A grande biodiversidade dos campos naturais é ameaçada por diversas atividades, caracterizando o Cerrado brasileiro como um dos pontos de alta probabilidade de degradação ecológica – “*hotspots*” (ROCHA et al., 2009).

O Cerrado localiza-se, na maioria de sua extensão, no Planalto Central brasileiro. É caracterizado por possuir épocas do ano bem definidas, com chuvas de primavera/verão e período seco no outono/inverno, e o clima na maioria da extensão é tropical de caráter subúmido (BASTOS; FERREIRA, 2010). Naturalmente, o solo apresenta-se com diversas formações, sendo encontrados solos menos intemperizados, como os Neossolos, e solos mais intemperizados, como os Latossolos; porém, como o material de origem é semelhante, possuem a característica de alta acidez e baixa disponibilidade de nutrientes (KLINK; MACHADO, 2005).

O uso do Cerrado é considerado alarmante, pois atingiu a marca de 55% de sua extensão em 2002, de acordo com dados obtidos por sensores MODIS usados no sensoriamento remoto, devido à expansão das atividades antrópicas. Nos demais biomas, não há um avanço agressivo para as áreas naturais devido à diferenciação dos biomas no Código Florestal, que considera o uso de até 80% da área total desse bioma (KLINK; MACHADO, 2005). Atualmente, o sensoriamento remoto está amplamente aplicado para o monitoramento de coberturas vegetais e, principalmente, avaliando o desempenho espacial e/ou fisiológico (ABREU; COUTINHO, 2014).

O sensoriamento remoto é o conjunto de processos que abordam a aquisição de conhecimentos relativos aos recursos naturais da Terra ou seu meio ambiente, por meio de sensores instalados em artificios em altitude

(balões, foguetes, aviões e satélites), coletando a radiação eletromagnética emitida ou refletida por um alvo, transformando em um sinal que em seguida é processado em terra, com fins de geração de imagens temáticas (ALMEIDA, 2010). O início dos programas de obtenção de imagens de sensoriamento remoto, para observação dos recursos sobre todo o globo, deu-se em meados de 1970, com o programa do Estados Unidos da América chamado Landsat. Além dos EUA, outros países vêm se instalando na área espacial para possuírem seus próprios satélites de sensoriamento remoto para observação dos objetos de interesse (SOUZA, 2009).

O Landsat é o programa de satélites de recursos terrestre com maior tempo de operação. Atuando continuamente desde 1972 e disponibilizando imagens gratuitas desde 1973, o programa oferece um importantíssimo acervo histórico de imagens orbitais (NASA, 2016). Em 2013, foi lançada a Missão de Continuidade dos Dados Landsat (LDCM) – denominada de Landsat 8. Esse novo satélite trouxe muitas novidades importantes para usuários que solicitam mapeamentos em mesoescala, como o Brasil. Possui dois sensores novos: o sensor espectral OLI e o sensor termal TIRS. As melhorias na resolução espectral são positivas e foram acrescentadas duas bandas espectrais: a *new coastal* (banda 1), projetada designadamente para os recursos hídricos e verificação da zona costeira, e o canal de infravermelho (banda 9), para a análise de nuvens Cirros (USGS, 2016).

O exemplo mais notório que visivelmente demonstra a divisão de bandas é a criação de índices, sendo mais populares os que apontam o realce das alterações de densidade da cobertura vegetal, aos quais se nomeia de índices de vegetação (MENESES; ALMEIDA, 2012). Segundo Rosa (2009), os índices de vegetação empregam as bandas do vermelho e do infravermelho próximo por conterem mais de 90% da diferença da resposta espectral da vegetação e esses índices destacam o seu desempenho espectral, correlacionando-os com as características biofísicas da vegetação.

O objetivo deste trabalho foi analisar imagens

do satélite Landsat 8 por meio de índices na caracterização sazonal da vegetação do Cerrado, correlacionando com os elementos climáticos de mesmo período, com intuito de verificar a resposta ambiental aos fatores abióticos.

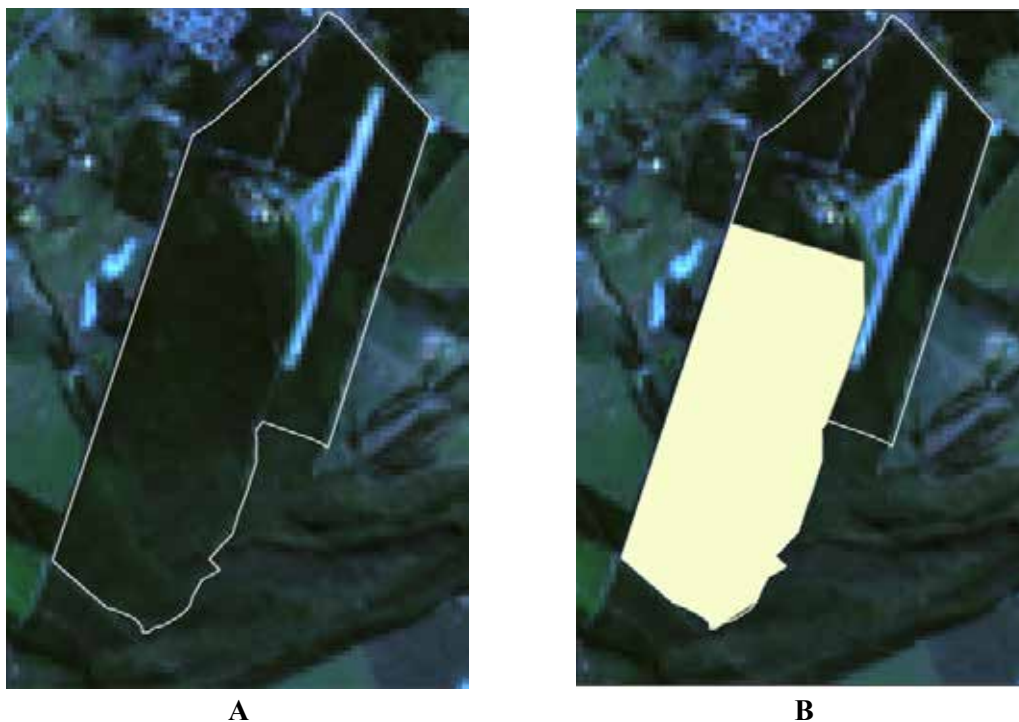
## MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está situada no município de Nova Xavantina-MT, denominada como Parque Municipal Prof. Mario Viana, com referencial geodésico nas coordenadas  $-14.704463^{\circ}$ - $52.353500^{\circ}$ . Com uma área de aproximadamente 490 ha, foi caracterizado previamente por Ribeiro e Walter (2008) como sentido restrito, tendo sido analisado neste trabalho para possibilitar a observação da transição entre fitofisionomias (Figura 1A).

Para determinar os estudos *in loco* prévios, as características das fitofisionomias existentes, foi desconsiderada a área onde há uma intensa ação antrópica (Figura 1B), a fim de avaliar o comportamento natural resiliente do Cerrado. Para a análise da resiliência e resistência do Cerrado ao longo do ano, foram definidos 12 meses de dados, iniciando em junho de 2015 com término em maio de 2016.

A realização do sensoriamento remoto foi por meio da obtenção de mosaico de imagens orbitais capturadas pelo satélite Landsat 8 e disponibilizadas no portal da USGS Explorer, sob responsabilidade do governo norte-americano e da NASA. Para a escolha dos índices, foram consideradas as bandas espectrais correspondentes ao vermelho ( $0,65$  a  $0,72 \mu\text{m}$ ) e ao azul ( $0,45$  a  $0,50 \mu\text{m}$ ), pois são as mais utilizadas pela folha na fotossíntese, sendo que os pigmentos da planta absorvem a radiação de onda  $0,48 \mu\text{m}$  (carotenoides) e  $0,62 \mu\text{m}$  (clorofila), sendo a refletância muito baixa nestas bandas. Já para a banda do infravermelho próximo ( $0,7$  a  $1,3 \mu\text{m}$ ), segundo Moreira (2001), a absorção da radiação eletromagnética é muito baixa (menos de 15%) e a refletância pode chegar a 50%, dependendo da estrutura anatômica das folhas.

Para análise de índices de vegetação, utilizaram-se os que apresentaram um maior acervo de informações para comparação de médias, sendo comuns em outros programas Landsat existentes. Para a determinação dos índices de vegetação sazonais, foram desenvolvidas ferramentas para automatizar o processo de análise das imagens. Com isso, o experimento utilizou os seguintes índices:



**Figura 1.** Contorno do Parque Municipal Prof. Mario Viana (A) e Área de estudo, detalhe em camada (B)

**Tabela 1.** Relação das equações e autores dos índices de vegetação utilizados para a avaliação do Bioma Cerrado

Índice de vegetação	Equação	Autor
green NDVI	$green\ NDVI = \frac{NIR - green}{NIR + green}$	Gitelson (2003).
red NDVI	$red\ NDVI = \frac{NIR - red}{NIR + red}$	Hatfield; Prueger (2010).
NPCI	$NPCI = \frac{red - blue}{red + blue}$	Merzlyak (1999).
PSRI	$PSRI = \frac{red - green}{NIR}$	Lee (2008).
SAVI	$SAVI = (NIR - red) \cdot (1 + L) / (NIR + red + L)$	Huete (1988).
SR	$SR = \frac{NIR}{red}$	Jordan (1969).

NIR = banda correspondente ao Infravermelho; red = banda correspondente ao vermelho; blue = banda correspondente ao azul; green = banda correspondente ao verde; SAVI (L)= 0,5 (vegetação de média densidade).

Após a análise de todas as amostragens, os dados foram tabulados para cálculo dos desvios padrões-existent entre as médias e para determinação da linearidade entre os índices, utilizando a correlação linear de Pearson. Também houve a comparação entre os índices e os elementos climáticos históricos, como Evapotranspiração total, Insolação total, Precipitação total, Umidade relativa do ar e Balanço hídrico, obtidos mediante acesso ao banco de dados disponível no *site* do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Para todos os processos de geoprocessamento, foi utilizado o *software* Arcmap®, com a extensão Spatial Analyst, e para tabulação de dados e plotagem de gráficos, o *software* SigmaPlot®. Para a interpretação dos dados após a correlação linear de Pearson, foi utilizada a escala demonstrada na

Tabela 2, em que os valores são adimensionais, variando de -1 a 1.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados climáticos históricos obtidos por meio de cadastro no banco de dados do INMET possibilitaram a observação de valores relevantes para a caracterização do potencial produtivo de biomassa em uma área. Sendo determinante para zoneamento ecológico, quando em conjunto com as características do solo possibilita a formação de determinadas vegetações.

Na Tabela 3, observa-se que a evapotranspiração real, que é a soma da transpiração das plantas e a evaporação, teve dois maiores picos, sendo estes nos meses de novembro e de março, e os menores

**Tabela 2.** Demonstrativo descritivo de análise de correlação linear de Pearson

Índice	Descrição
>0.7	Positivo ou negativo indica uma correlação forte.
0.4 a 0.69	Positivo ou negativo indica uma correlação moderada.
0.1 a 0.39	Positivo ou negativo indica uma correlação fraca.
0 a 0.1	Não há correlação

Fonte: adaptado de Figueiredo Filho; Silva Jr., 2009.

**Tabela 3.** Médias mensais dos dados climáticos históricos da estação 83319 (Estação meteorológica situada dentro do Parque Municipal Prof. Mario Viana)

Meses	ETR (mm/mês)	n (h/mês)	P.tot (mm/mês)	U.R. (%)	BH (mm/mês)
Junho 2015	33.27	276.90	0.00	78.83	-33.27
Julho 2015	25.97	275.80	16.70	74.50	-9.27
Agosto 2015	11.96	279.30	8.50	67.97	-3.46
Setembro 2015	16.96	247.30	15.40	62.70	-1.56
Outubro 2015	21.97	212.30	20.60	66.53	-1.37
Novembro 2015	150.94	205.10	170.70	76.98	19.76
Dezembro 2015	65.13	214.20	59.10	82.90	-6.03
Janeiro 2016	96.39	99.10	125.60	90.69	29.21
Fevereiro 2016	43.72	211.30	41.50	83.98	-2.22
Março 2016	145.57	192.80	247.60	84.19	102.03
Abril 2016	79.08	274.40	7.00	77.53	-72.08
Mai 2016	27.71	271.30	7.80	74.18	-19.91

ETR = Evapotranspiração Real; n = Insolação total; P.tot = Precipitação Total; U.R. = Umidade Relativa Média; BH = Balanço Hídrico Mensal.

Fonte: INMET.

valores nos meses de agosto e setembro. Para o fator insolação total, que leva em consideração a soma do número de horas por dia durante o período, os maiores índices foram observados durante o mês de agosto e os menores índices durante janeiro, devido à alta intensidade de formação de nuvens, características da época, corroborando a classificação climática de Köppen para a região Aw.

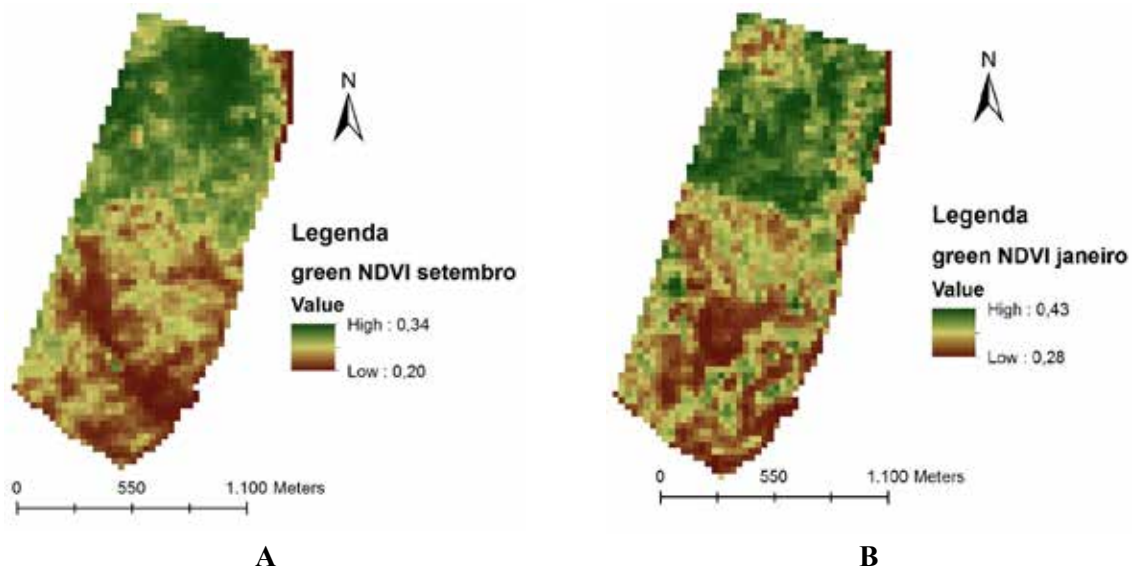
A precipitação média durante o período de avaliação também é característica da região onde se encontram os Cerrados brasileiros, sendo os meses com maior intensidade de chuvas durante o verão e os menores índices para os meses de inverno. A umidade relativa do ar tende a manter-se estável; porém, em épocas de baixa pluviosidade, podem se mensurar índices perto de 60%, que é o limitante para o desenvolvimento de plantas, pois estas dispõem de mecanismos controladores para a perda de água mediante o fechamento de seus estômatos.

O balanço hídrico é a diferença entre o somatório de precipitação pluviométrica e a evapotranspiração total. Com esses dados, permite-se conhecer o saldo de água disponível no sistema solo-planta-atmosfera para o desenvolvimento da

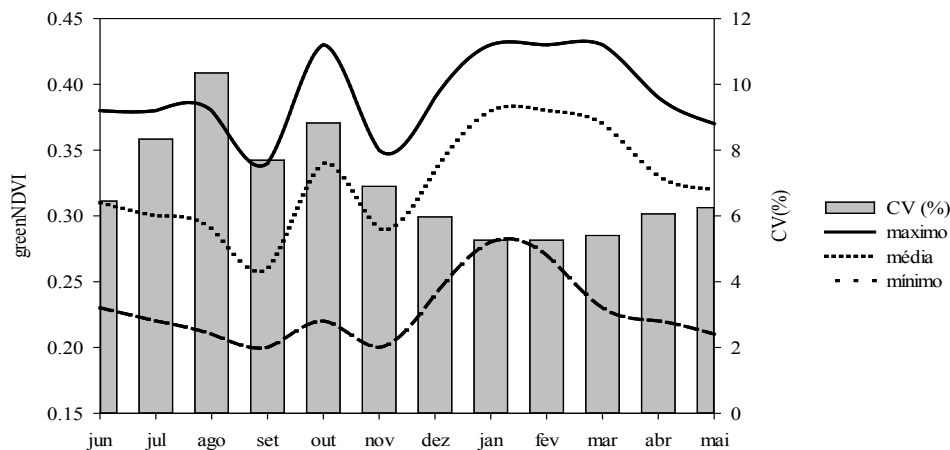
vegetação, sendo ela natural ou cultivada. Visto que a área analisada é um parque de conservação permanente, e não há a remoção da vegetação de cobertura, deve-se atentar para anos em que o balanço hídrico for negativo em altas proporções.

Os mapas gerados pelo *software* Arcmap® demonstraram variáveis sazonais para os índices de vegetação analisados, sendo levados em consideração todos os dados dentro da área de contorno, sem a exclusão de “*out layers*” (dados fora do padrão esperado), pois se trata de uma vegetação natural com pouca influência antropogênica. Os índices de vegetação, no geral, possuíram comportamentos semelhantes, do ponto de vista visual; porém, com auxílio das tabulações de dados, demonstra-se que há variações para cada índice analisado.

Nas Figuras 2 (A e B), podemos observar os dados obtidos depois da geração dos mapas de *green* NDVI com suas características sazonais, onde há uma diferença entre os meses analisados. Destacam-se também os coeficientes de variação (Figura 3) que demonstram que, quando há uma análise conjunta dos dados em uma área de vegetação natural, tende-se a encontrar uma disparidade tendo em vista as diferentes fitofisionomias existentes



**Figura 2.** *Green* NDVI do mês de setembro (A), *Green* NDVI do mês de janeiro (B)



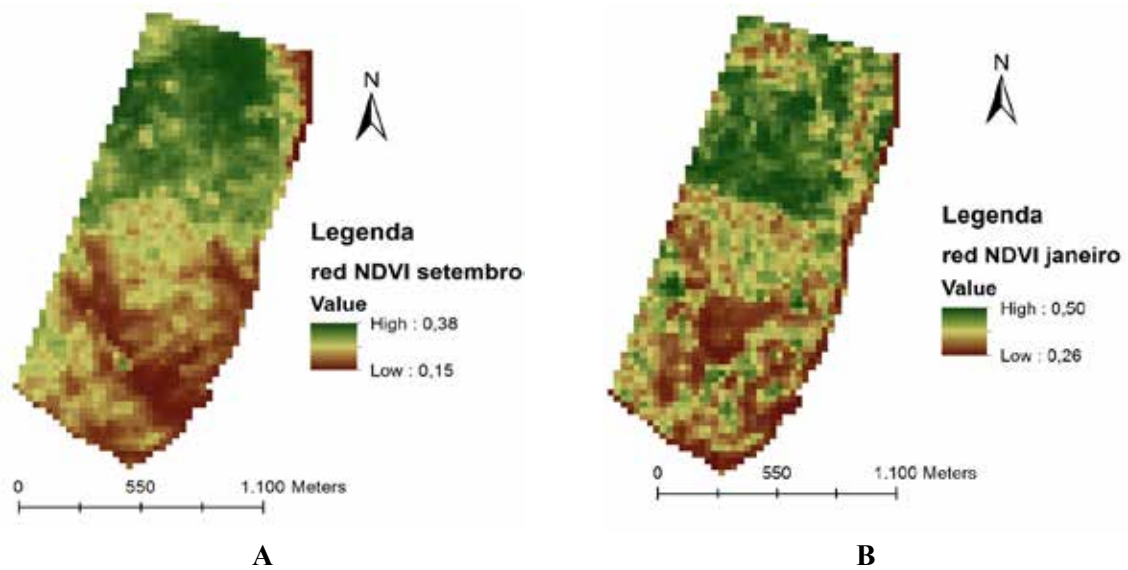
**Figura 3.** Gráfico do comportamento sazonal do índice *green* NDVI

na área. O *Green* NDVI, usado por Navarro et al. (2015), é uma das fórmulas do NDVI utilizada para identificar diferentes concentrações de clorofila na vegetação, sendo a banda *Green* mais sensível para identificar as condições nutricionais da vegetação.

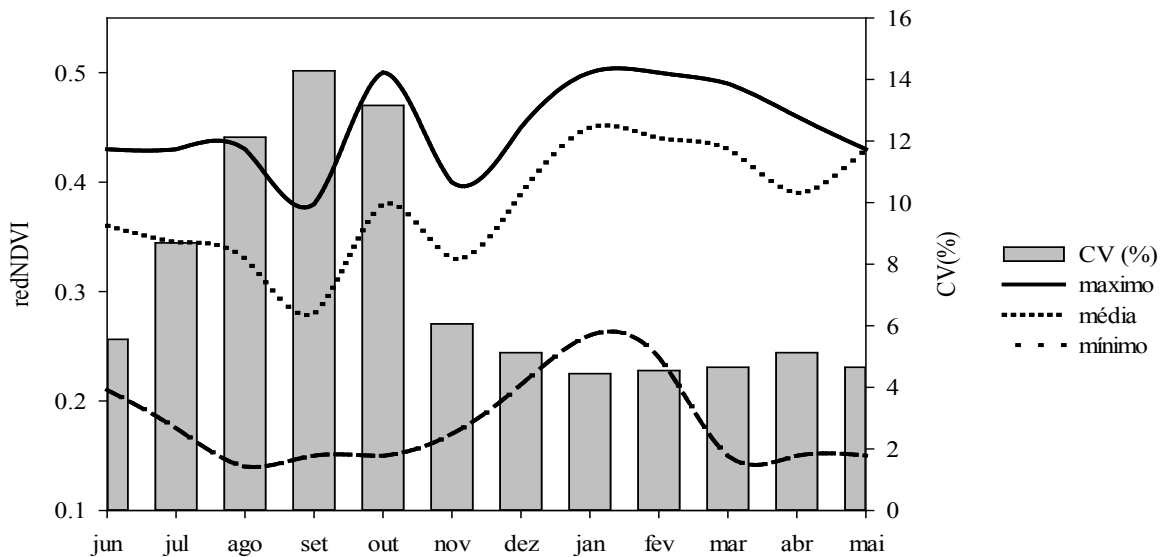
Nas Figuras 4 (A e B), observa-se a variação sazonal do índice *red* NDVI, podendo-se destacar os aspectos fundamentais de caracterização do Cerrado. Há uma regularidade na vegetação após a influência dos elementos climáticos, pois demonstra-se que há uma saturação parcial dos sensores óticos da banda *Red* nos meses de novembro a maio, com coeficiente de variação de aproximadamente 5% em média (Figura 5). A mediana dos dados analisados comportou-se de

forma semelhante e próxima com a máxima do índice em questão.

Segundo Canavesi et al. (2005), os maiores índices para a energia fotossintética são observados com um alto vigor na vegetação. Quando se obtêm altos índices de relação entre as bandas *red* e NIR, demonstra-se que a vegetação possui um alto conteúdo de clorofila nas folhas, interceptando energia luminosa de espectro da região do vermelho. Para o espectro infravermelho, a folha túrgida exibe uma alta taxa de refletância, pois possui um arranjo dos espaços entre as células. Baixos valores de refletância no vermelho e altos no infravermelho próximo resultam em um alto NDVI.



**Figura 4.** *Red NDVI* do mês de setembro (A), *Red NDVI* do mês de janeiro (B)

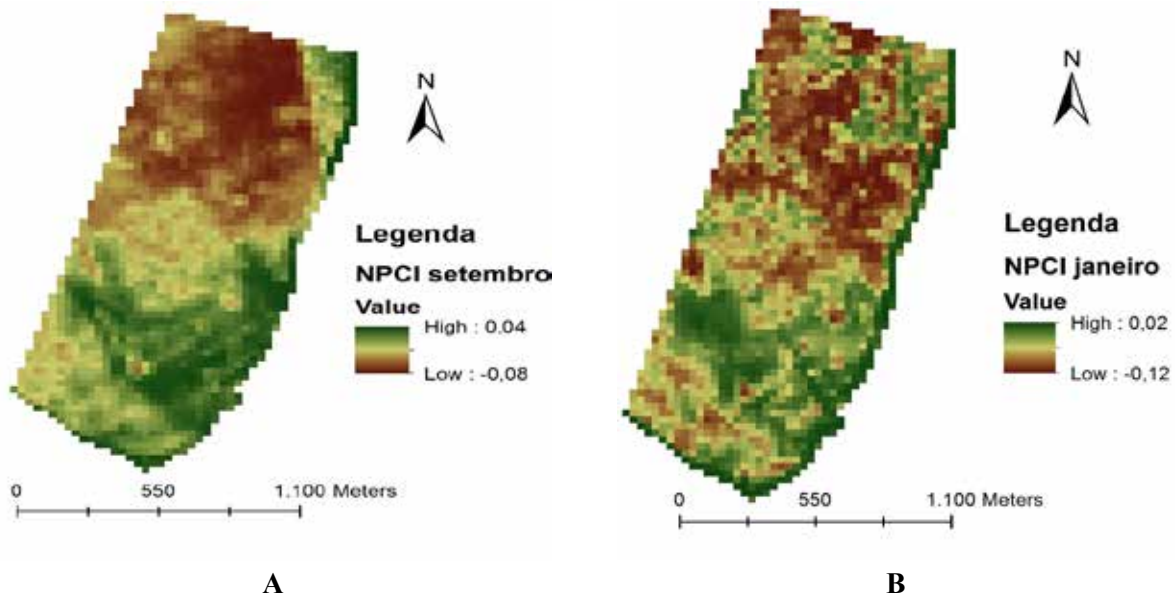


**Figura 5.** gráfico do comportamento sazonal do índice *red NDVI*

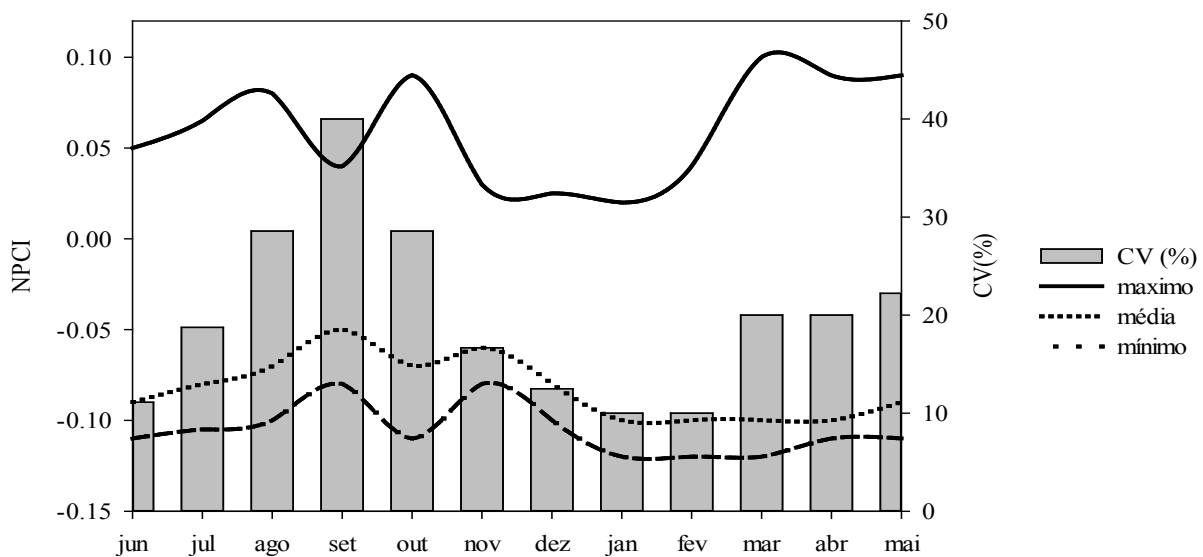
Para os índices de NPCI analisados (Figuras 6 A e B), observa-se que a mediana se encontra semelhante aos mínimos índices de senescência, devido à homogeneidade dos aspectos bióticos dentro do parque de conservação. Os meses em que há as maiores taxas de senescência são de agosto a outubro (Figura 7), e o pico dentro da mediana se encontra no mês de setembro, devido às condições climáticas serem desfavoráveis ao desenvolvimento vegetativo, aumentando assim a taxa de mortalidade de tecidos.

Segundo Peñuelas *et al.* (1993), o NPCI

correlaciona o teor de clorofila A, carotenoides/ clorofila A luteína e neoxantina/clorofila A. Comportando-se como uma estimativa grosseira da relação pigmentos totais/clorofila A, diminuindo em plantas saudáveis e aumentando em plantas senescentes. A relação de clorofila A e pigmentos carotenoides ocorre em maiores concentrações quando as plantas estão sob estresse. Estes pigmentos carotenoides podem servir para proteger a reação fotossintética, excesso de luz ou podem continuar em maior quantidade que a clorofila A em folhas senescentes.



**Figura 6.** NPCI do mês de setembro (A), NPCI do mês de janeiro (B)



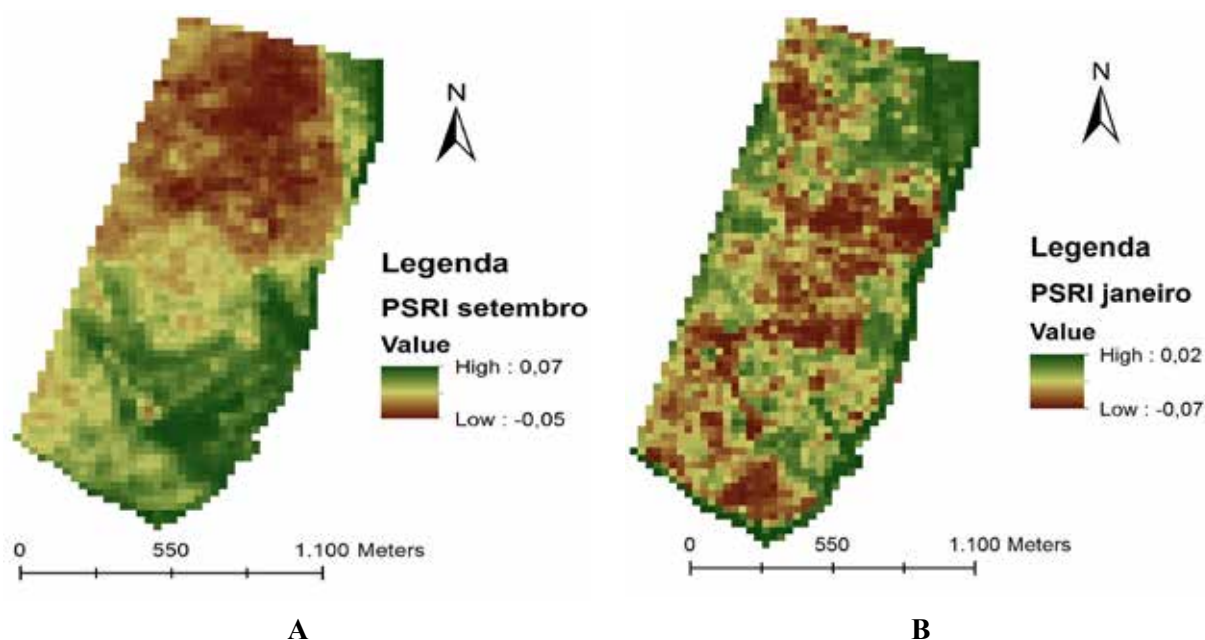
**Figura 7.** Gráfico do comportamento sazonal do índice NPCI

As análises dos mapas de PSRI e os dados tabulados demonstram que há uma tendência mínima de mortalidade de tecidos durante o período de avaliação (Figuras 8 A e B), sendo que a média se comporta fortemente com os dados de menor expressão (Figura 9). Os meses que apresentaram maiores índices de mortalidade de tecido foram agosto e os de março a maio, sendo que na época do verão (dezembro a fevereiro) houve a menor mortalidade de tecidos.

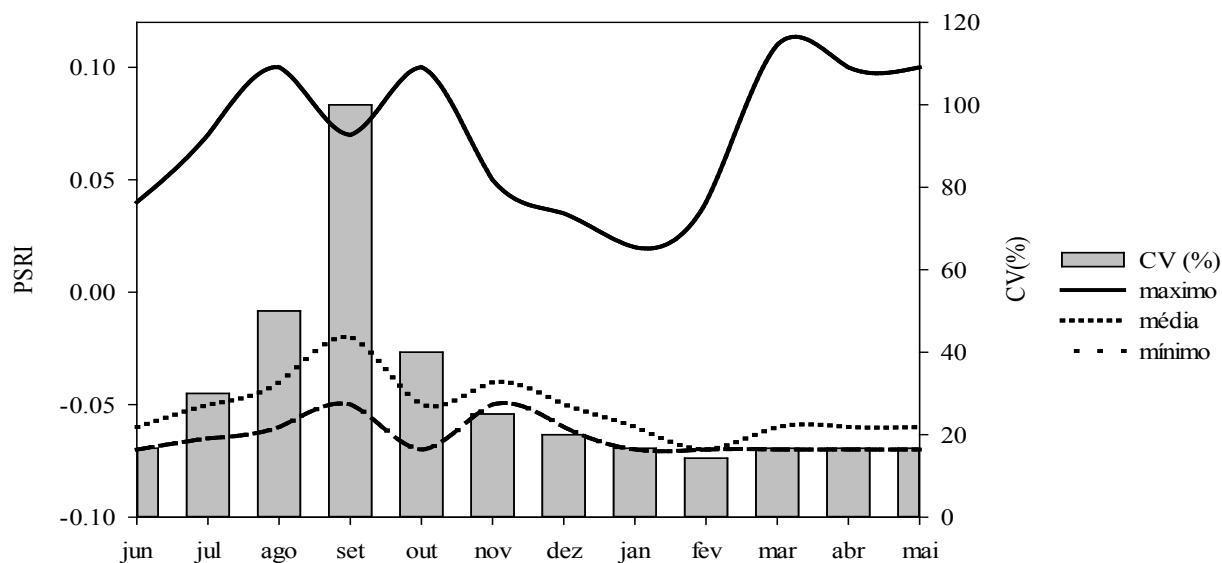
Segundo nota de pesquisa Harris Geospatial

(2013), o PSRI foi desenvolvido para melhorar a sensibilidade do índice para a razão de carotenoides (alfa-caroteno e betacaroteno) da clorofila. O aumento do PSRI indica aumento do estresse vegetativo, o início da senescência de plantas e de maturação de frutos e folhas. As principais aplicações podem incluir monitoramento do vigor da vegetação, detecção de estresse fisiológico das plantas e produção agrícola, sendo que, para este índice, os valores variam de -1 a 1, com a gama comum de valores por ser a vegetação verde entre -0,1 e 0,2.





**Figura 8.** PSRI do mês de setembro (A), PSRI do mês de janeiro (B)



**Figura 9.** Gráfico do comportamento sazonal do índice PSRI

Os índices de SAVI são semelhantes aos índices de *red* e *green* NDVI, porém, quando ajustados à influência do solo na caracterização das imagens espectrais, possibilitam um ajuste mais refinado em cada situação. Observa-se que há uma maior homogeneidade entre os meses de dezembro e fevereiro com altos índices vegetativos (Figuras 10 A e B), para os menores índices, denota-se o mês de setembro. Segundo Demarch *et al.* (2011), os

mapas temáticos de SAVI com fator de ajuste (“L”) para o substrato do dossel 0,5 são indicados para áreas de cobertura vegetal média, pois apresentaram a seguinte característica: concentração dos valores entre -0,1 e 0,8 (Figura 11).

Os mapas analisados por meio do parâmetro SR (“*simple ratio*”) apresentaram um baixo coeficiente de variação durante o ano (Figura 13), sendo possível distinguir dentro do mapa temático

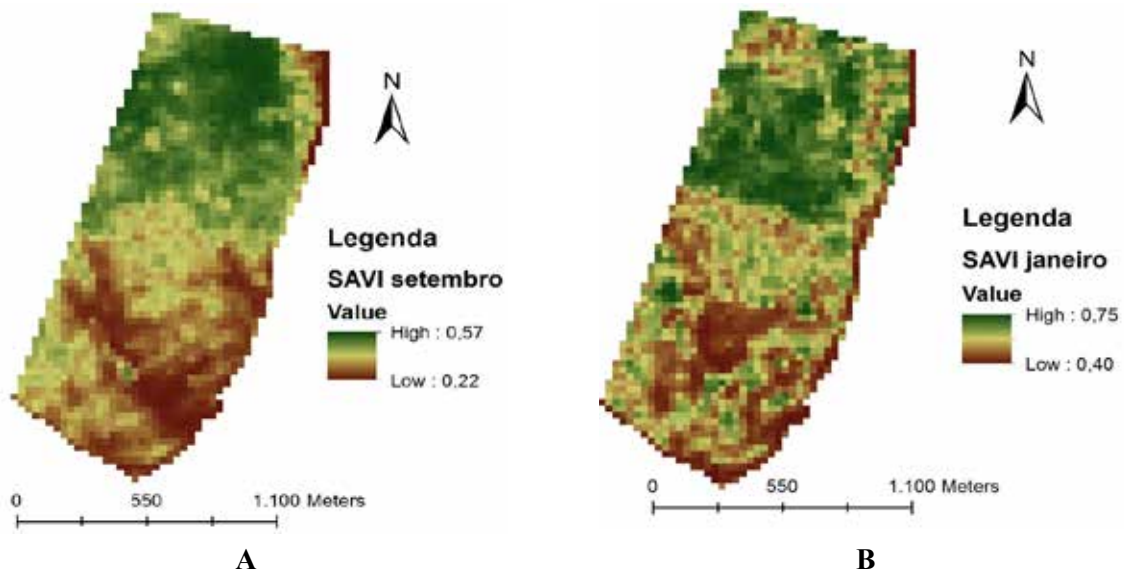


Figura 10. SAVI do mês de setembro (A), SAVI do mês de janeiro (B)

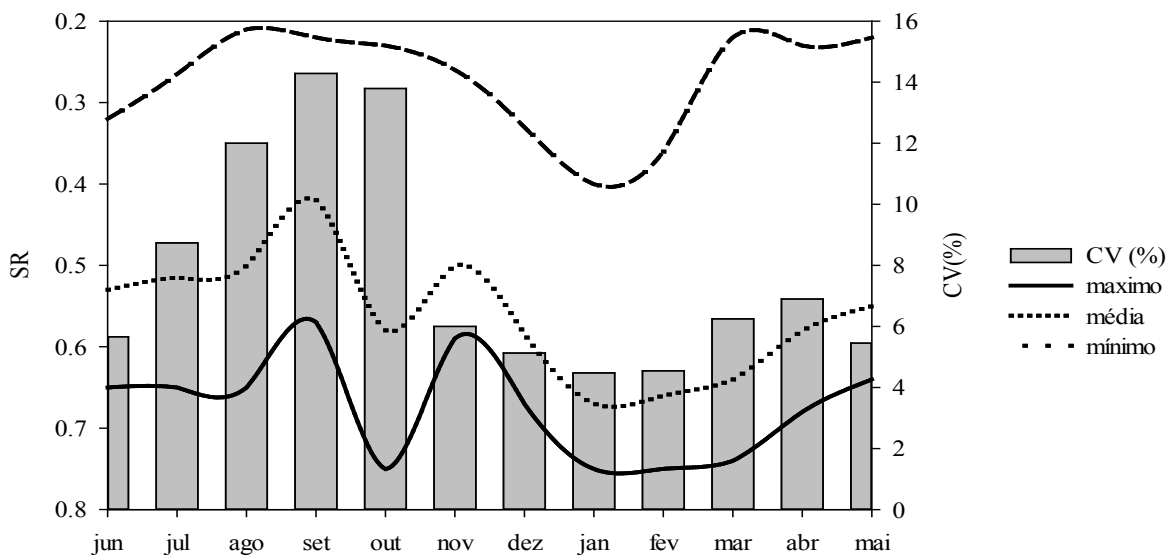
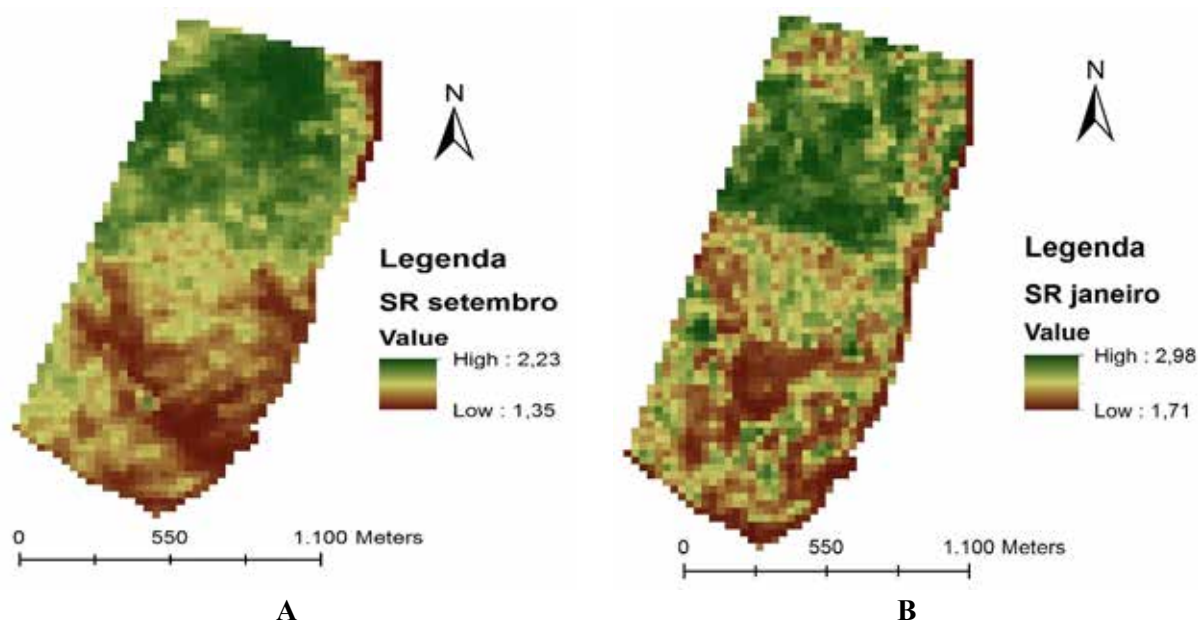


Figura 11. gráfico do comportamento sazonal do índice SAVI

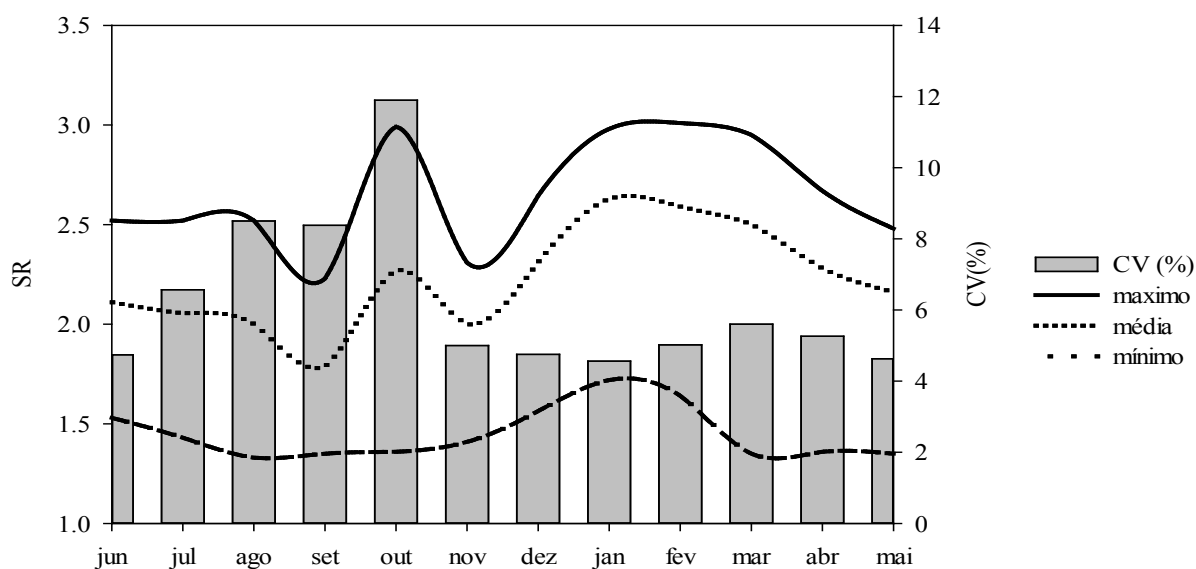
as classes de vegetação (Figuras 12 A e B), porém não é possível observar com uma maior precisão como os demais índices. Os meses que possuíram os maiores índices de vegetação foram os de janeiro a março, e os menores índices em setembro, quando se observam as medianas nos períodos de avaliação.

Rodrigues et al. (2013) observou que o índice de SR, apesar de ser pioneiro dentro do sensoriamento remoto, já está defasado em comparação a outros índices existentes, devido a sua fórmula apresentar

poucas possibilidades de ajuste entre as camadas espectrais. Segundo Harris Geospatial (2013), SR é bastante difundido e frequentemente utilizado. É descrito como a proporção de luz que está espalhada no NIR para o que é absorvido na faixa vermelha. Normalmente, o intervalo de valores é de 0 a mais de 30, sendo a vegetação saudável geralmente nos valores de 2 a 8. Os valores obtidos na área de observação demonstraram valores abaixo da literatura, visto que é um dos primeiros trabalhos disponíveis para a caracterização sazonal do Cerrado em Nova Xavantina-MT.



**Figura 12.** SR do mês de setembro (A), SR do mês de janeiro (B)



**Figura 13.** Gráfico do comportamento sazonal do índice SR

**Tabela 4.** Matriz de correlação linear de Pearson para os índices de vegetação

Índices	Red NDVI	Green NDVI	SR	NPCI	SAVI	PSRI
Red NDVI	1,00	0,93	0,92	-0,87	0,94	-0,88
Green NDVI	-	1,00	0,99	-0,81	0,99	-0,82
SR	-	-	1,00	-0,82	1,00	-0,81
NPCI	-	-	-	1,00	-0,83	0,93
SAVI	-	-	-	-	1,00	-0,84
PSRI	-	-	-	-	-	1,00

|>0.7| correlação forte; |0.4 a 0.69| correlação moderada; |0.1 a 0.39| correlação fraca; |0 a 0.1| não há correlação.

Conforme demonstrado na Tabela 4, os índices de vegetação utilizados demonstraram forte correlação entre si, pois apresentaram valores maiores que 0,7 tanto para influência positiva quanto para negativa. O *red* NDVI apresentou correlação positiva com *green* NDVI, SR e SAVI, sendo que, quando se aumentam as proporções, são linearmente aumentados, e correlação linear negativa para NPCI e PSRI, sendo uma influência contrária: quando se aumenta um fator, diminui-se o outro.

Para o índice *green* NDVI, também houve interações positiva e negativa, sendo que SR e SAVI tiveram correlações positivas de forma que, quando se aumenta um dos fatores, também se eleva o outro; porém, para NPCI e PSRI, houve uma interação linear negativa, em que o aumento de um fator era antagonista do outro índice.

O índice SR, quando correlacionado com os demais, apresenta positividade quando comparado ao índice SAVI; porém, quando se compara com NPCI e PSRI, houve uma interação negativa inversa. O índice NPCI, quando comparado aos demais, apresenta correlação positiva para PSRI e negativa para SAVI. O índice SAVI comporta-se negativamente diante do índice PSRI.

A interpretação desses resultados demonstra que as avaliações dos índices de vegetação são variáveis, sendo que, para que haja um aumento de biomassa e vegetação, são inversamente proporcionais aos índices de senescência. A quantidade de clorofila pode ser variável durante o período de avaliação, sendo que as maiores quantidades de biomassa nem sempre correspondem à maior concentração de pigmentos nas folhas.

A correlação linear de Pearson apresentada na Tabela 5 demonstra que alguns fatores

climáticos são fundamentais para a manutenção da vegetação no período analisado, sendo que, para a evapotranspiração real, apresentou uma fraca correlação nos valores dos índices de vegetação avaliados. Para o fator Insolação total, houve uma relação moderada para os parâmetros de *red* NDVI, *green* NDVI, SR e SAVI e uma fraca relação com os índices que medem a relação entre os pigmentos carotenoides e a clorofila A.

A precipitação total no período de avaliação influenciou de forma moderada os índices de *green* NDVI, SR e SAVI; porém, para os índices de *red* NDVI, NPCI e PSRI, houve uma fraca relação linear de influência. A umidade relativa média do ar foi o fator climático em que houve uma maior uniformidade de correlação, sendo que, para os fatores de mensuração de biomassa, influenciou de forma positiva e, para os fatores de mensuração de pigmentos, de forma negativa, pois as plantas apresentam mecanismos de regulação osmótica para evitar a perda de água para o meio, sendo que umidade relativa do ar em baixos índices ocasiona o fechamento dos estômatos, paralisando assim os processos metabólicos e parte da fotossíntese de plantas de metabolismo C<sub>3</sub>, que são grande parte dos Cerrados mais descampados.

A interpretação dos dados da Tabela 5 demonstra a interação dos fatores climáticos com os índices de vegetação, denotando a relação de diversos fatores que compõem os fatores bióticos (vegetação) e os abióticos (clima). A observação dessas interações permite caracterizar a vegetação de acordo com a variação de um ou mais fatores climáticos, visto que o clima está sofrendo alterações constantes, podendo assim alterar a vegetação.

**Tabela 5.** Matriz de correlação linear de Pearson para os índices de vegetação e os dados climáticos históricos

Elementos climáticos	<i>red</i> NDVI	<i>green</i> NDVI	SR	NPCI	SAVI	PSRI
Evapotranspiração real	0.30	0.35	0.38	-0.24	0.38	-0.19
Insolação total	-0.50	-0.64	-0.66	0.23	-0.63	0.19
Precipitação total	0.30	0.40	0.40	-0.17	0.40	-0.11
Umidade relativa média	0.76	0.78	0.82	-0.77	0.81	-0.72
Balanco hídrico	0.24	0.35	0.33	-0.04 <sup>ns</sup>	0.31	0.02 <sup>ns</sup>

|>0.7| correlação forte; |0.4 a 0.69| correlação moderada; |0.1 a 0.39| correlação fraca; |0 a 0.1| não há correlação.

## CONCLUSÕES

- As diferentes técnicas apresentaram resultados correlacionados positivamente para os índices de vegetação e negativamente para os índices de senescência, a ponto de justificar o uso de diferentes índices de vegetação na análise de vegetação natural do Cerrado.
- O fator climático que possui maior correlação no acúmulo de biomassa é a umidade relativa do ar, que, por sua vez, é dependente da precipitação pluviométrica.
- Os meses que possuem maiores e menores índices de acúmulo são janeiro e setembro, respectivamente.
- As imagens obtidas gratuitamente são eficientes para caracterização do acúmulo de biomassa em vegetações naturais.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul – FUNDECT, pela bolsa concedida para o primeiro autor, possibilitando o desenvolvimento de pesquisas e suporte à publicação destas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, K.M.P.de; COUTINHO, L.M. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação com ênfase em índice de vegetação e métricas da paisagem. **Vértices**, v.16, n. 1, p.173-198, 2014.

ALMEIDA, C.M. **Aplicação dos sistemas de sensoriamento remoto por imagens e o planejamento urbano regional**. Disponível em: <[http://www.usjt.br/arq.urb/numero\\_03/8arqurb3-claudia.pdf](http://www.usjt.br/arq.urb/numero_03/8arqurb3-claudia.pdf)> Acesso em: 22 dez. 2016.

BASTOS, L.A.; FERREIRA, I.M. COMPOSIÇÕES FITOFISIONÔMICAS DO BIOMA CERRADO: estudo sobre o subsistema de Vereda. **Espaço em Revista**, [s.l.], v.12, n.1, 2010. Disponível

em: <<https://www.revistas.ufg.br/espaco/article/view/17656>>. Acesso em: 6 jun. 2019.

CANAVESI, V.; COURA, S. M. C.; FORMAGGIO, A.R.; SHIMABUKURO, Y.E.; QUIRINO, V.F. Dinâmica espectro temporal MODIS em região de Cerrados e intenso uso agropecuário. In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2005, Goiânia. **Anais...Goiânia-GO, INPE, 2005. 1442p. p.16-21.**

DIAS, B.F. **Alternativas de Desenvolvimento dos Cerrados**. Brasília: Ibama, 1992. 97p.

GITELSON, A.A.; GRITZ, U.; MERZLYAK, M.N. Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. **J. Plant Physiol.** 2003, 160, 271-282.

HATFIELD, J.L.; PRUEGER, J.H. Value of Using Different Vegetative Indices to Quantify Agricultural Crop Characteristics at Different Growth Stages under Varying Management Practices. **Remote Sensing**, v.2, p.562-578. Fevereiro, 2010.

HUETE, A.R.A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, [s. l.], v.25, n.3, p.295-309, 1988.

JORDAN, C.F. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. **Ecology** 1969, 50, 663-666.

KLINK, C.A.; MACHADO, R.B.A conservação do Cerrado Brasileiro. **Revista Megadiversidade**, Belo Horizonte, v.1, n.1, Jul-2005, p.148-155

LEE, Y.; YANG, C.; CHANG, K.; SHEN, Y. A simple spectral index using reflectance of 735 nm to assess nitrogen status of rice canopy. **Agron. J.** 2008, 100, 202-212

MAROUELLI, R.P. **O desenvolvimento sustentável da agricultura no cerrado brasileiro**. 2003. 64f. Monografia (Obtenção de título de Pós-Graduação, em nível de Especialização *Lato*

*Sensu*, modalidade MBA, em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada, com área de concentração em Planejamento Estratégico). ISEA-FGV/ ECOBUSINESS SCHOOL, Brasília, Distrito Federal, 2003.

MENESES, P.R.; ALMEIDA, T.D. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Universidade de Brasília, Brasília, 2012, 266p.

MERZLYAK, M.N.; GITELSON, A.A.; CHIVKUNOVA, O.B.; RAKITIN, V.Y. Non-destructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening. **Physiologia Plantarum**, [s.l.], v.106, n.1, p.135-141, 1999.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 1.ed. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. 250p.

National Aeronautics and Space Administration (NASA). Landsat Data Continuity Mission: **Continuously Observing Your World**. 2016. Disponível em: [http://ldcm.gsfc.nasa.gov/mission\\_details.html](http://ldcm.gsfc.nasa.gov/mission_details.html). Acesso em: 20 out. 2016.

NAVARRO, J.D.; GARCIA, A.; RIBEIRO, L.G.; SZEZ JUNIOR, A.; VAZ, M.S.M.G. Índices de Vegetação para Imagens Capturadas por Veículos Aéreos não Tripulados. In: **X Congresso Brasileiro de Agroinformática**: Ponta Grossa – PR, 2010, v.10.

PEÑUELAS, J.; GAMON, J.A.; FREDEEN, A.L.; MERINO, J.; FIELD, C.B. Reflectance indices associated with physiological changes in nitrogen- and water-limited sunflower leaves. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v.48, n.2, p.135-146, 1994.

RESENDE, N.deF. Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Preservação. **Revista Brasileira**

**de Educação e Cultura**, [s.l.], v.0, n.6, p.81–90, 2012.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T.; SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J.F. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: **Ecologia e flora**. Brasília: EMBRAPA, 2008. v.1, p.152-212.

ROCHA, G.F.; FERREIRA, L.G.; FERREIRA, N.C.; FERREIRA, M.E.; SILVA, G.N.F. Distribuição espacial dos dados de alertas de desmatamentos do bioma Cerrado para o período 2003-2007. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 2009. **Anais...** INPE, p.2983-2988

RODRIGUES, E.L.; FERNANDES, D.H.F.; ELMIRO, M.A.T.; FARIA, S.D. Avaliação da cobertura vegetal por meio dos índices de vegetação SR, NDVI, SAVI e EVI na sub-bacia do Vale do Rio Itapeçerica, Alto São Francisco, em Minas Gerais. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, 2013. **Anais...**INPE. p.1472-1479.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 7.ed. Uberlândia: EDUFU, 2009. 264p.

SILVA, D.M.; LAIOLA, P.P.; ROSATTI, N.B.; SILVA, I.A.; CIANCIARUSO, M.V.; BATALHA, M.A. Os Efeitos dos Regimes de Fogo sobre a Vegetação de Cerrado no Parque Nacional das Emas, GO: Considerações para a Conservação da Diversidade. **Revista Biodiversidade Brasileira** n.2. p.26-39, 2011.

SOUSA, M.A.; RIBEIRO, R.J.C.; CARNEIRO, P.J.R. Aplicações do sensoriamento remoto e do geoprocessamento. Estudo de caso: bacia do rio do Sono, TO – Brasil In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, 2009. **Anais...** Natal-RN. INPE, p.2241-2248.

United States Geological Survey (USGS). **Landsat Project Description**. Disponível em: <[http://landsat.usgs.gov/about\\_project\\_descriptions.php](http://landsat.usgs.gov/about_project_descriptions.php)> Acesso em: 20 out. 2016.