

Comportamento do NDVI em Savanas Considerando os Aspectos do Ambiente – APA do Rio Pandeiros – MG

NDVI Behavior in Savannas According to Environmental Aspects: The Pandeiros River APA Conservation Unit – MG

Lucas Augusto Pereira da Silvaⁱ
Universidade Estadual de Montes Claros
Montes Claros, Brasil

Maria Ivete Soares de Almeidaⁱⁱ
Universidade Estadual de Montes Claros
Montes Claros, Brasil

Marcos Esdras Leiteⁱⁱⁱ
Universidade Estadual de Montes Claros
Montes Claros, Brasil

Resumo: No devir histórico as pressões antrópicas vêm ocasionando mudanças sistemáticas no uso e cobertura do solo no Cerrado Brasileiro. Diante dessa premissa, o sensoriamento remoto orbital tem sido fundamental, sobretudo com os índices espectrais, que são essenciais para entender a dinâmica da vegetação que é fortemente influenciada por fatores intrínsecos, do ambiente. O objetivo deste artigo foi entender o comportamento do NDVI em Savanas na APA-RP considerando o meio físico. Foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto, sobretudo a combinação de intervalos espectrais. Observou-se que os aspectos do ambiente influenciam no comportamento do NDVI, com decréscimo em áreas de savanas sob influência de sedimentos oriundos de solos quartzarênicos e acréscimo em áreas com disponibilidade hídrica em abundância, no caso das veredas. Pode-se concluir que as técnicas de sensoriamento remoto associadas à análise integrada do ambiente possuem potencial para auxiliar em análises mais precisas para as Savanas na APA-RP.

Palavras-Chave: Sensoriamento Remoto; Cerrado; Análise Integrada.

Abstract: In the historical development of the Brazilian Cerrado anthropic pressures caused systematic changes in land use and soil cover. Orbital remote sensing has become an important instrument for detecting this process, especially with the use of spectral indices, which permit understanding the dynamics of vegetation strongly influenced by in-

ⁱ Mestrando em Geografia – PPGEO. lucaskaio1605@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-5504-9029>.

ⁱⁱ Doutora em Geografia – PPGEO. ivete@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-3257-7109>.

ⁱⁱⁱ Doutor em Geografia – PPGEO. marcosleite@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-9020-6445>.

trinsic environmental factors. The objective of this article is to understand NDVI behavior in savanna lands located in the Pandeiros River APA conservation unit. Remote sensing techniques were used, especially the combination of spectral intervals. It was observed that environmental aspects influence NDVI behavior, with a decrease in savanna lands where sediments of quartzarenic soils are present and an increase in *vereda* areas where water is abundant. We conclude that remote sensing techniques associated with the integrated analysis of the environment produce more accurate analyses of the savanna present in the PR APA.

Keywords: Remote Sensing; Cerrado; Integrated Analysis.

Introdução

Frente às alterações no uso e cobertura do solo no Bioma Cerrado, ações governamentais têm fomentado o monitoramento destas. Considerando a área que este Bioma ocupa (mais de 2 milhões de km²), o monitoramento integrado obteve sucesso, sobretudo, a partir de técnicas de sensoriamento remoto orbital. Dentre os programas de monitoramento que podem ser citados, menciona-se: TerraClass, MapBiomas, PROBIO, PRODES, dentre outros. Diante disso, entende-se que essas técnicas são elementares para compreender a dinâmica de conversão do uso da terra. No entanto, observa-se com veemência o aumento do uso de índices espectrais para o monitoramento da cobertura vegetal.

Nessa perspectiva, Liesenberg et al. (2007) aplicaram índices espectrais do satélite MODIS (*Moderate resolution Imaging Spectroradiometer*) em áreas de Cerrado, entre o Estado de Minas Gerais e Bahia, encontrando-se numa área de domínios morfoclimáticos sob transição (Ab'Saber, 1977). Os autores mostraram que as fitofisionomias analisadas (Florestas Pluviais, Decíduas, Semi-decíduas e Savanas Arbóreas e de Parque) apresentaram relação intrínseca com a sazonalidade climática quanto ao comportamento dos índices de vegetação.

Pereira et al. (2016) utilizaram índices espectrais em áreas de Cerrado, sobretudo em ambientes sob proteção jurídica, buscando identificar queimadas considerando diferentes temporalidades e, a partir disso, os autores concluíram que essas análises são essenciais para a gestão ambiental. Carvalho et al. (2008) analisaram os padrões de autocorrelação espacial entre índices de vegetação no Cerrado, observando dependência espacial dos índices em relação aos *inputs* pluviométricos, com maiores valores na estação úmida e menores na estação seca.

No geral, os estudos apresentam potencial no entendimento e discriminação espectral na resposta do dossel em relação à reflectância. No entanto, análises com maior detalhamento das disposições físicas do ambiente podem auxiliar no monitoramento das nuances vegetacionais, sobretudo no que tange à fenologia, visto que entender este aspecto (fenológico) é essencial para nortear adequadamente os serviços ecossistêmicos.

Face ao exposto, o objetivo do trabalho é entender o comportamento do NDVI (Índice de Vegetação pela Diferença Normalizada) em Savanas na APA-RP (Área de Pro-

teção Ambiental Rio Pandeiros) considerando os aspectos do ambiente, sobretudo as disposições físicas da área. É oportuno mencionar que, mesmo apresentando saturação, como aponta Myneni et al. (1997) e Gitelson et al. (2002), o NDVI foi útil nas análises do presente estudo, onde buscou-se compreender linhas de comportamentos e distribuição de valores. Salienta-se que essa saturação se dá devido ao aumento dos padrões de biomassa da estrutura do dossel.

Este estudo possui relevância principalmente por considerar a relação entre as características do ambiente e o comportamento espectral, realizando uma leitura integrada e sistêmica do contexto paisagístico. A análise torna-se essencial para gestão no contexto ecológico e ambiental das áreas analisadas, principalmente tratando-se de uma Área de Proteção Ambiental.

Materiais e Métodos

Caracterização da Área

A área de estudo localiza-se (em maior parte) na APA-RP, Norte de Minas Gerais, entre as coordenadas 8.288.000 e 8.312.000 N e entre 480000 e 525000 L. A APA é a maior do Estado de Minas Gerais, e abrange os municípios de Januária, Bonito de Minas e Cônego Marinho (Figura 1). A área de estudo (em vermelho) possui 1.700,79 km², e a sua escolha se deu principalmente por abranger um contexto paisagístico diversificado, o qual foi imprescindível na variação espacial do NDVI.

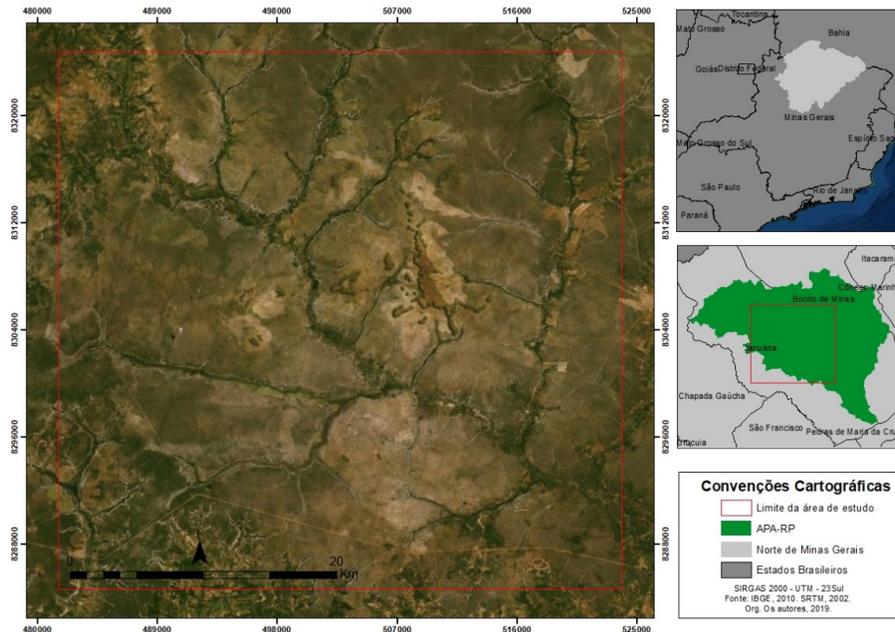


Figura 1 – Localização da Área de Estudo.

Do ponto de vista climático, a área de estudo se insere em clima Tropical Semiúmido-Úmido, possuindo proximidade com o Semiúmido-Seco (LEITE et al., 2018). No contexto geológico, a área possui predominância do Grupo Urucuia, do Cretáceo Superior (SILVA, 2018). Quanto ao relevo, apresenta superfícies que variam de planas a montanhosas. Os solos da região são marcados por Latossolos Vermelhos-Amarelos Distróficos, Gleissolos Melânicos e Neossolos Flúvicos. Quanto à vegetação na área, a predominância são Savanas (Cerrado Ralo e Veredas), com traços florestais, sobretudo para as matas ciliares (BORGES, 2018). Com relação aos usos antrópicos, menciona-se a presença de áreas de pastagens às margens dos cursos hídricos.

Procedimentos Técnicos e Operacionais

Para o presente estudo, foram seguidas as etapas apresentadas na Figura 2.

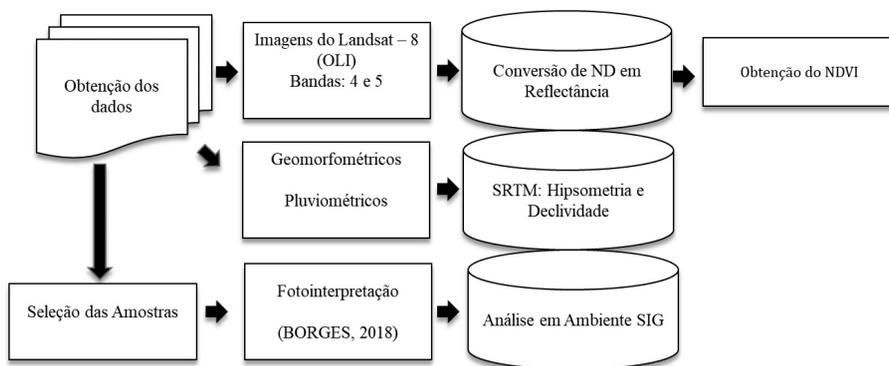


Figura 2 – Etapas Operacionais.

Para execução desse trabalho, inicialmente foram obtidos dados orbitais, oriundos do satélite Landsat – 8, sensor OLI (*Operational Terra Imager*), referentes à órbita 219 e ponto 071. Os períodos analisados compreendem a 21/01, 22/02, 13/05, 14/06 e 30/06 do ano de 2019. Os produtos utilizados foram disponibilizados gratuitamente pelo Serviço Geológico dos EUA (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Utilizou-se especificamente os canais espectrais do vermelho visível (0,64 a 0,67 μm) e infravermelho próximo (0,85 a 0,88 μm), que representam as bandas 4 e 5, respectivamente. Salienta-se que a resolução espacial para esses produtos é de 30 metros (900² de área por célula), e a resolução radiométrica é de 12 bits (*Binary Digits*). Já do ponto de vista temporal, a resolução compreende a 12 dias (USGS, 2019). Os parâmetros mais específicos das imagens estão dispostos na Tabela 1:

Tabela 1 – Parâmetros de calibração. (E: Ângulo de Elevação do Sol*; CosZ: Cosseno do E**; dr: Distância Terra/Sol***)

Data	Horário	E*	CosZ**	dr***
21/01/2019	10:02:40	59.26	0.8595	0.984031
22/02/2019	10:02:04	57.70	0.8457	0.989144
13/05/2019	10:01:55	45.71	0.7159	1.010394
14/06/2019	10:02:11	41.44	0.6618	1.01565
30/06/2019	10:02:15	41.03	0.6565	1.016694

Fonte: USGS (2019). Org.: Os autores (2019).

As imagens de satélite são obtidas em Números Digitais (ND), que não são valores físicos. Para análise do NDVI, é preciso a conversão dos ND em valores físicos (Equação 01), nesse caso, a reflectância.

$$\rho_{\lambda}, \mathbf{b} = \frac{(H_{\rho}QCAL + A_{\rho})}{ESUN(\lambda)\cos(\theta SE)} \quad (01)$$

Essa conversão se dá a partir do uso de coeficientes de reescalonamento. Esses coeficientes são fatores de cálculo, conhecidos como fator aditivo (Offset, o A_{ρ}) e multiplicativo (Gain, representado pelo H_{ρ}). O fator de ganho representa a ascendência proporcional na reta de regressão (Figura 3), indicando que, quanto maiores os valores de níveis digitais maior é a radiância detectada para o pixel. O fator compensatório compreende os valores iguais a zero de níveis digitais e menores serão os registros de radiância.

Os valores de H_{ρ} e A_{ρ} foram obtidos a partir das Equações 02 e 03:

$$H_{\rho} = \left(\frac{Lcalmax(\lambda) - Lcalmin(\lambda)}{Qclamax - Qclamin(\lambda)} \right) \quad (02)$$

$$A_{\rho} = Lcalmin(\lambda) \left(\frac{Lcalmax(\lambda) - Lcalmin(\lambda)}{Qclamax - Qclamin(\lambda)} \right) Qcalmin(\lambda) \quad (03)$$

Em que $Lcalmax$ e $Lcalmin$, representam as radiâncias máximas e mínimas, e $Qcalmax$ e $Qcalmin$ são os valores máximos e mínimos da escala radiométrica. Nota-se que H_{ρ} , $Qcal$ (pixels quantizados) e A_{ρ} , possuem relação linear (Figura 3):

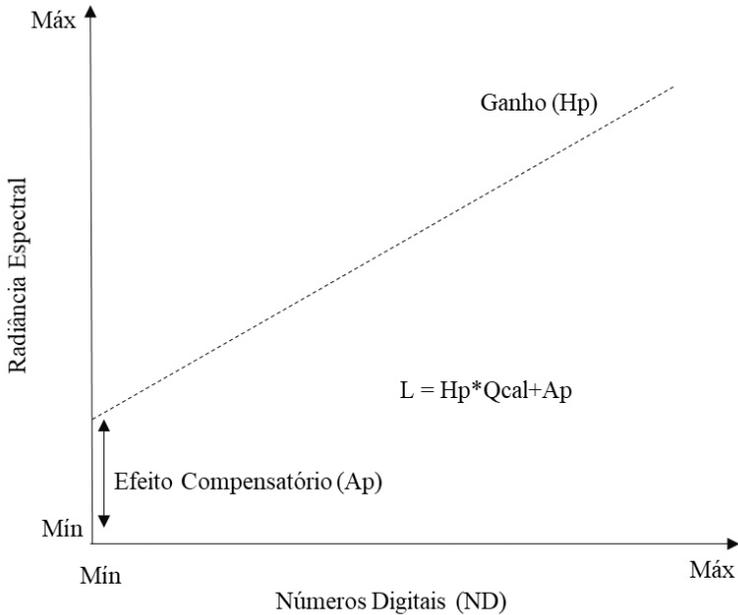


Figura 3: Relação Linear entre Hp, Qcal e Ap.
 Fonte: USGS (2019).

Ainda sobre a equação 01, a $ESUN(\lambda)$ representa a irradiância no topo da atmosfera para cada banda do espectro solar (visível). Menciona-se a necessidade de se obter os padrões do status angular do sol em relação à superfície (plano horizontal), o qual é representado por $\cos(\theta_{SE})$ na Equação 01, pois a tangência dos raios solares inferem na reflectância.

Em sequência, foi realizada a combinação entre o vermelho visível (*red*) e infravermelho próximo (*nir*) a fim de obter NDVI:

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \tag{04}$$

O NDVI varia de -1 a 1, em que os menores valores representam ambientes com menores porções de biomassa, já os maiores são destinados a áreas com biomassa acentuada.

Em seguida, com os dados geomorfométricos, foram obtidas a hipsometria e declividade da área de estudo, utilizadas na caracterização física das áreas amostradas. Esses parâmetros são oriundos do MDE – Modelo Digital de Elevação, com resolução de 90 metros (amostrados para 30 metros) (SRTM, 2002). Já os dados pluviométricos, foram disponibilizados pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), o uso desse parâmetro se deu sobretudo para entender a relação entre índice de vegetação e *input* de água no sistema.

Dando sequência, iniciou-se a seleção das amostras. Foram analisados os usos e coberturas da terra, considerando os aspectos do ambiente em que se inserem (sobretudo

relevo representado pela hipsometria e declividade). Foram coletados 48 pontos amostrais, distribuídos nas seguintes classes: Cerrado em Chapada, Cerrado em Encosta, Cerrado Sob Influência de Sedimentos, Cerrado Sentido Restrito e os Estratos Arbóreo e Arbustivo da Vereda Almescla (Figura 4).

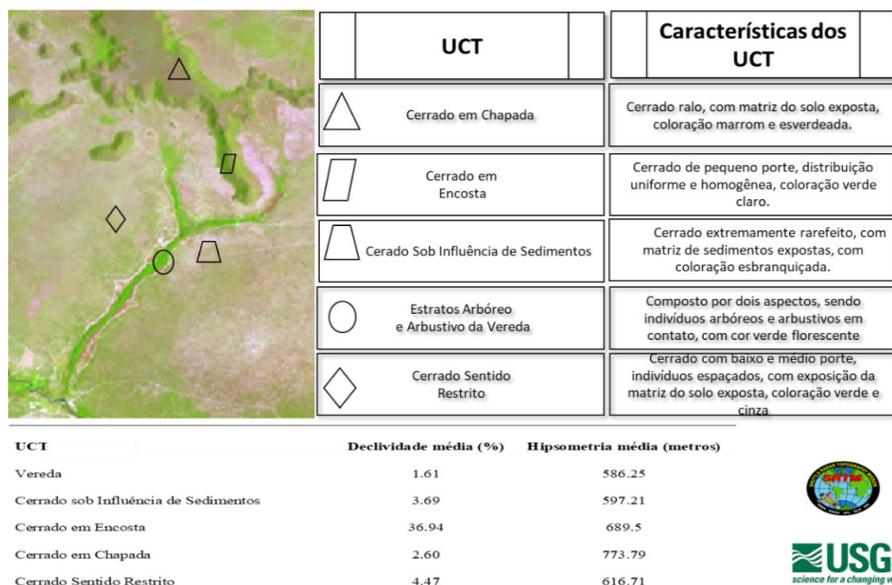


Figura 4 – Características das amostras.
Elaborado pelos autores.

Nota-se que o estrato de vereda possui menor declividade dentre as demais classes analisadas, seguida do Cerrado influenciado por sedimentos, Chapada e Cerrado sentido restrito. As amostras com declividades mais acentuadas se localizaram em áreas de Cerrado em Encosta, com 36,94% de inclinação em relação ao solo. Quanto à hipsometria, observou-se que as áreas em altitudes mais elevadas foram de Cerrado em Chapada, e em menores elevações estão as amostras de vereda.

Observa-se que as amostras estão próximas, isso é essencial para análise, haja visto que a taxa de iluminação e radiação incidente tendem a ser homogêneas. Mesmo obtendo variação de relevo para amostra de Cerrado em Encosta, menciona-se que não se amostrou áreas em relevo muito movimentado, visto que isso poderia inferir nos padrões de radiação espectral, sobretudo considerando a inclinação do terreno, ângulo zenital (ângulo entre formado pelo zênite e os raios solares no plano horizontal) e azimute do sol (ângulo formado entre os raios solares e o plano horizontal na direção norte-sul) (Valeriano et al., 2016). Com os pontos extraídos, inseriu-se os valores (para os parâmetros analisados) em planilhas do Excel, para as análises de distribuição estatística e posterior representação gráfica.

Resultados

Padrões de Distribuição Espacial do NDVI

Inicialmente, serão apresentados os padrões de distribuição desses índices de vegetação para toda área de estudo e, na sequência, serão abordados os padrões para as veredas, os usos e cobertura da terra identificados no entorno das veredas escolhidas para análise. Na Figura 4 está representado o NDVI para os cinco períodos analisados.

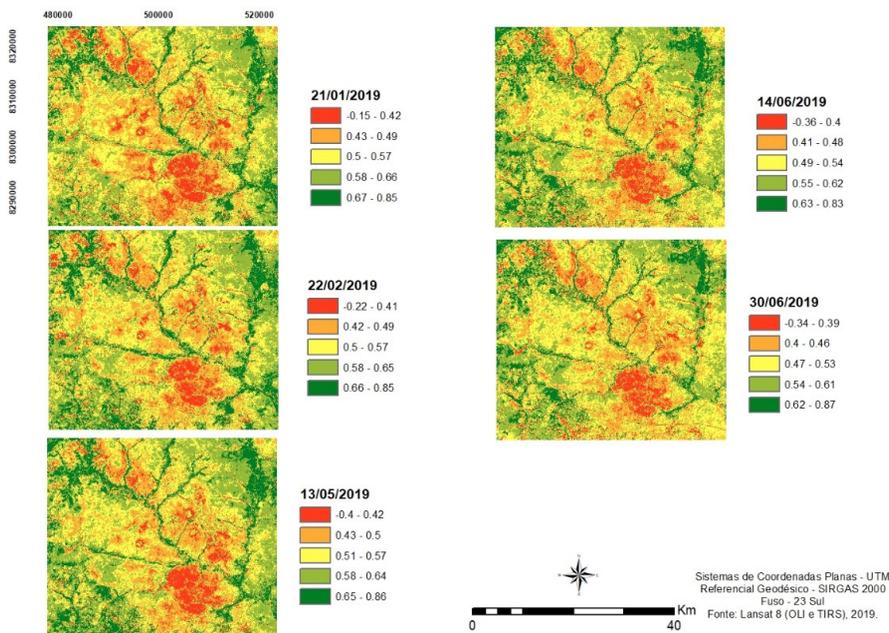


Figura 5 – Distribuição espacial do NDVI para os períodos analisados.

Observou-se os padrões de distribuição do NDVI em todos os períodos, sobretudo concernente aos maiores valores, delineados no formato de drenagens, sendo representados por matas ciliares e veredas. Os valores inseridos nas penúltimas classes (em ordem decrescente na legenda) associam-se a ambientes de Cerrado Denso na área de estudo. Os menores valores representados pelas cores laranja e vermelho concentraram-se a sudoeste e na parte central da área de estudo. Nota-se em todos os períodos que há predomínio dos valores que estão na classe intermediária (representada em amarelo).

Distribuição Mensal da Pluviosidade

Durante os dias analisados não houve registros pluviométricos, dessa forma, foram plotados graficamente os dados para o primeiro semestre de 2019, em escala mensal (Figura 6).

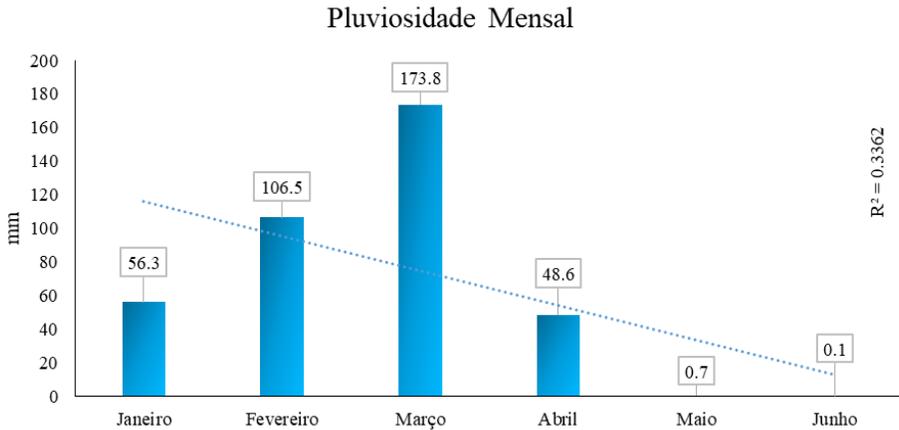


Figura 6 – Pluviosidade Mensal (primeiro semestre de 2019).

Fonte: INMET (2019).

Nota-se que há um aumento de 47,17% na pluviosidade de janeiro a fevereiro, e 38,72% de fevereiro a março. Iniciando um declínio sistemático entre março e abril, representando decréscimo de 72,04% da pluviosidade. Os meses de maio e junho possuíam os menores índices pluviométricos para o semestre, em relação a abril, o decréscimo é de 98,56% e 99,79%, respectivamente. Quanto ao *R-Squared*, o valor de 0,3362 (ou 33,62%) mostrou-se correlação fraca.

Distribuição do NDVI por Uso e Cobertura da Terra

Nos estratos arbóreos-arbustivos da vereda Almescla, notou-se que a variância dos valores foi próxima a 0%, mostrando homogeneidade do NDVI para esta fitofisionomia, isso sendo corroborado com os valores de desvio padrão, sendo: 0,5 (para 21/01, 13/05 e 14/06), 0,4 (22/02) e 0,6 (30/06) (Figura 7). Ainda é possível observar essa homogeneidade analisando a distribuição dos valores por período, que em 21/01 os valores concentraram entre 0,70 e 0,77. Em 22/02 a concentração se deu entre 0,70 e 0,76, já em 13/05, foi entre 0,69 e 0,76. E entre 0,68 e 0,76 em 14/06 e 30/06.

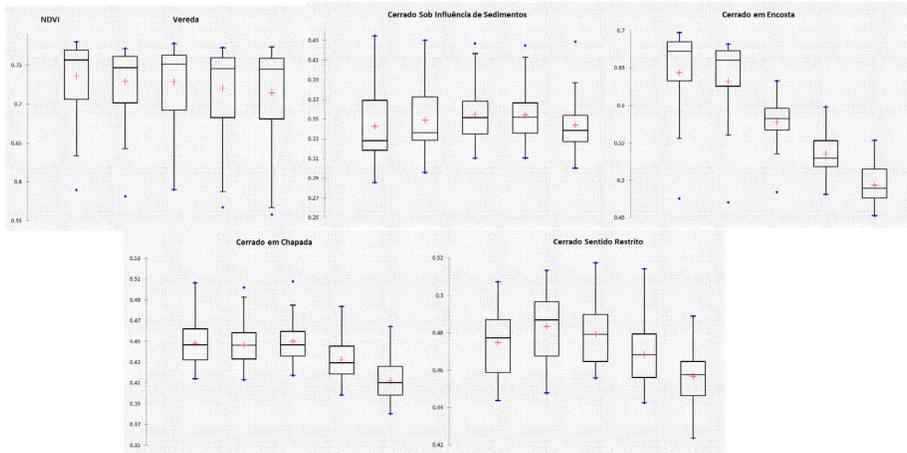


Figura 7 – Distribuição Estatística do NDVI (21/01, 22/02, 13/05, 14/06 e 30/06) nos usos do ambiente Almescla.

Analisando a distribuição dos valores em áreas de Cerrado sob Influência de Sedimentos, em 21/01 observou-se que houve concentração de valores entre 0,32 e 0,37. Em 22/02 e 13/05 concentrou-se entre 0,33 e 0,37 (ambos os períodos). Para 30/06, a concentração se deu entre 0,33 e 0,36. Nas áreas de Cerrado em Encosta, em 21/01, a concentração dos valores esteve entre 0,63 e 0,68, para 22/02, entre 0,62 e 0,67. Em 13/05, a distribuição do NDVI foi entre 0,57 e 0,60, para 14/06, concentrou-se entre 0,52 e 0,55, e entre 0,48 e 0,51 para 30/06. No Cerrado em Chapada valores de NDVI concentram-se entre 0,43 e 0,46. Em 14/06, a distribuição se concentrou entre 0,42 e 0,44, e 0,40 a 0,43 para 30/06.

Discussão

Análise da Distribuição Espacial do NDVI e Interação com a Pluviosidade

Nos padrões de distribuição, os maiores valores de NDVI foram para áreas de matas ciliares, veredas e Cerrado Denso, esse fato está relacionado à estrutura vegetacional, sobretudo maiores concentrações de biomassa. Os menores valores (os negativos) não ficaram nítidos, entretanto, associa-os a corpos hídricos (Bilar et al., 2018). Este comportamento é esperado, sobretudo considerando a estrutura matemática de obtenção deste índice, na qual utiliza-se comprimentos de onda do infravermelho próximo (*NIR*) e vermelho visível (*Red*) e a água absorve praticamente toda radiação incidente do *NIR* e reflete em pequenas porções radiação do *Red*, haja vista que esta é a porção radiométrica destinada aos processos fotossintéticos. Estritamente do ponto de vista matemático, se *NIR* é menor que *Red*, a tendência é obter valores negativos de NDVI, visto que a estrutura de cálculo apresenta numerador de $NIR - Red$. É salutar mencionar que em ambientes aquáticos a reflexão de radiação é muito variável, principalmente a depender

da composição inorgânica e orgânica suspensa nesses ambientes, bem como padrões de profundidade.

Já os menores valores positivos (inseridos nas cores vermelho e laranja), podem ser associados a solo exposto e sedimentos na área de estudo, com intensificação na região central. Isso ocorre porque há elevada reflexão no infravermelho próximo e no vermelho visível (nesse caso, devido à escassez de vegetação para absorção da radiação nessa faixa).

Diante dos dados expostos, ficou perceptível que houve aumento gradual dos valores de NDVI de 21/01 para 22/02/2019, este fato pode ser explicado ao observar que os índices pluviométricos foram superiores em fevereiro (ao comparar com janeiro), e, com a maior disponibilidade hídrica, há o aumento do vigor vegetativo, sobretudo em função da atividade fotossintética, em que o verdor da vegetação é mais acentuado. Esse comportamento é observado em diferentes ambientes, desde áreas semiáridas a florestas úmidas (Amazônia) (ALAVALÁ et al., 2009; BARBOSA et al., 2017).

A partir desse período (22/02) há decréscimos sistemáticos de NDVI, possivelmente em função da diminuição dos *inputs* pluviométricos. Para explicar isso de maneira matemática, foram correlacionados os valores médios de NDVI para os períodos e a pluviosidade mensal (Figura 8).

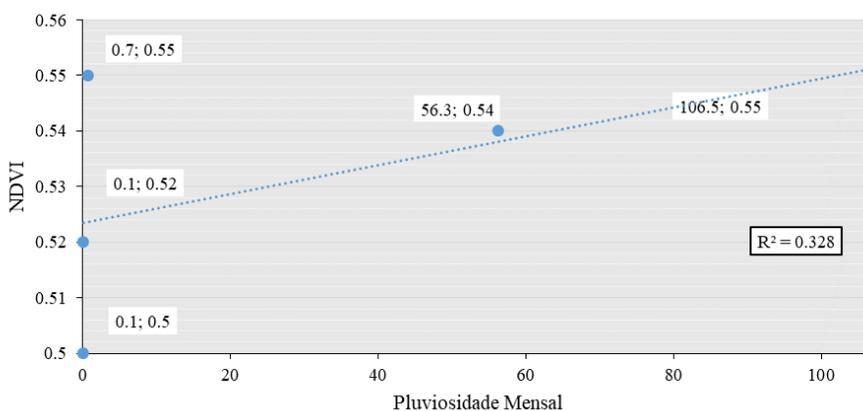


Figura 8 – Correlação entre NDVI e pluviosidade.

Fonte: INMET e USGS (2019).

É importante salientar que embora tenha-se observado correlação moderada entre NDVI e pluviosidade, menciona-se que este parâmetro (NDVI) é controlado pela umidade do solo no mês seguinte ao período de incidência pluviométrica (FARRAR et al., 1994; WANG et al., 2003). Este fato é corroborado ao observarmos que o Cerrado é conhecido como floresta invertida, sobretudo em função do seu sistema radicular (FURQUIM et al., 2018) que favorece a retirada de água em profundidades consideráveis, inferindo nos índices de vegetação (CARVALHO et al., 2008). Assim, pode-se explicar os elevados valores de NDVI em 13/05/2019, pois nos 2 meses anteriores teve-se registros

de índices pluviométricos elevados (Figura 5). Certamente, isso decresceu o *R-Squared*, pois o comportamento entre NDVI e pluviosidade em 13/05 foi destoante (inversamente proporcional).

Análise do NDVI por Uso e Cobertura da Terra

No estrato arbóreo-arbustivo da vereda, os valores mantiveram-se elevados em todos os períodos analisados, isso estando relacionado com a disponibilidade hídrica propiciada pela ascensão da superfície freática (BACCARO, 1994). Os solos hidromórficos nas veredas favorecem a relação intrínseca entre a estrutura vegetacional e os padrões de NDVI. Como a água reduz a atividade microbiana nesses ambientes, em função da baixa drenagem, o acúmulo de matéria orgânica tende a se estabelecer, pois a decomposição do material (resíduos vegetais) é reduzida, favorecendo o desenvolvimento das estruturas vegetacionais. Considerando os maiores valores para esta classe dentro dos períodos analisados, em que se manteve comportamento padrão, menciona-se que esses ambientes são essenciais para a absorção de carbono atmosférico, pois, na estimativa deste, insere-se o NDVI.

Para as áreas de Cerrado sob Influência de Sedimentos, observou-se comportamento reverso ao dos estratos arbóreo-arbustivo, principalmente devido à diferença dos ambientes, enquanto um (estrato arbóreo-arbustivo) possui abundância de água, o outro (cerrado sob influência de sedimentos) está inserido em aspectos com escassez hídrica.

O Cerrado dessa área possui baixa densidade, apresentando configuração rarefeita. Acredita-se que este status rarefeito seja pela influência dos sedimentos (areia), pois possui uma composição química pobre em bases trocáveis e textura arenosa, sobretudo inferindo que possui como material de origem os arenitos do Grupo Urucuaia.

Lima e Santos (2011) mencionam que solos originados por esta formação possuem limitações químicas para o desenvolvimento de estratos vegetacionais. Em análise da APA do Rio Pandeiros, Oliveira (2013) analisou a relação solo-vegetação em áreas desenvolvidas sob arenitos do Grupo Urucuaia. Observou que em ambientes com Neossolos Quartzarênico, concentrou-se presença de Cerrado Ralo, com baixas densidade relativa e área basal.

Esses aspectos, sobretudo a matriz de sedimentos, influenciaram sistematicamente nos valores de NDVI, haja vista que o comportamento espectral é semelhante às áreas de solo exposto, com elevada reflectância no infravermelho próximo e no vermelho visível, dessa forma, Ephifanio et al. (1996) constataram que menores valores de NDVI tendem a ocorrer em solos mais claros (areia). Este comportamento parte do princípio da lei de corpo negro de Planck, pois os aspectos esbranquiçados da matriz dos sedimentos correspondem à reflexão elevada.

Assim como nas demais amostras, para o Cerrado em Encosta os valores de NDVI decresceram em escala temporal, do verão para o inverno, o que era esperado, tanto pela disponibilidade hídrica, quanto por decréscimo de incidência de radiação e variações de iluminação. No entanto, elementos do ambiente auxiliam a compreender os valores relativamente baixos de NDVI para essa classe, principalmente relevo e solo.

Em áreas de Encosta, alguns fatores tendem a limitar o desenvolvimento de estruturas vegetacionais, principalmente a declividade da área, com solo litólico com baixa profundidade. Essas características favorecem a estabilidade de indivíduos com menor porte e densidade (LENH et al., 2008). Essa condição física tende a apresentar menor disponibilidade hídrica à vegetação, sobretudo devido ao tipo de solo e a litologia, visto que se tem pouco desenvolvimento pedológico, com o material de origem predominando.

As amostras de Cerrado em áreas de Chapada apresentaram baixos valores de NDVI em função de sua baixa densidade vegetal, com status de Cerrado Ralo. Esses ambientes são conhecidos como superfícies tabulares reelaboradas, com depósitos de sedimentos arenosos, e essas formações possuem ocorrência em altitudes entre 550 e 850 metros, sob estruturas geológicas do Cretáceo (arenitos da formação Urucua), em que a pedologia é marcada por Latossolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Quartzarênicos, (JACOMINE, 1979; OLIVEIRA, 2013). Acredita-se que tais condições propiciaram o desenvolvimento de Cerrado Ralo, o que reflete sistematicamente nos padrões de radiação espectral, conforme observado.

No Cerrado Sentido Restrito, observou-se valores de NDVI maiores no verão e menores no inverno, representando relação com incidência de radiação e pluviosidade, e consequentemente padrões de biomassa, que se mantêm elevados no verão e decrescem no inverno, comportamento observado por Rosa e Sano (2012) em áreas do Bioma Cerrado. Observou-se que, em relação aos demais tipos de Cerrado analisados (Cerrado em Encosta, Cerrado Ralo em Chapada e Cerrado sob Influência de Sedimentos), Sentido Restrito apresentou maior variabilidade na distribuição dos valores e apresentou padrões lineares estritamente com a sazonalidade climática (Figura 6).

É salutar observar que os valores para esta classe são relativamente inferiores em relação ao Cerrado de Encosta, isso está relacionado ao espaçamento entre os indivíduos da classe Sentido Restrito, que favorece adição da refletância registrada pelo sensor em função de sedimentos e solo exposto, o que não ocorre no Cerrado de Encosta, haja vista que a condição física explicitada propicia homogeneidade de indivíduos distribuídos na Encosta.

Considerações Finais

As técnicas de sensoriamento remoto orbital aplicadas, sobretudo a combinação dos canais espectrais (NIR e RED), que originaram o NDVI, apresentaram bom desempenho, principalmente ao observar que os comportamentos foram bem justificados com a literatura científica.

Notou-se que as condições do ambiente influenciaram no comportamento do NDVI. A exemplo das disposições pedológicas (aspectos litólicos) nas áreas íngremes, que favoreceram a presença de Cerrado de baixa estatura, o que refletiu nos valores de NDVI. Outro fato a destacar são os comportamentos para o Cerrado Sentido Restrito e Cerrado Sob influência de Sedimentos (areias oriundas dos solos Quartzarênicos), que favorecem aspectos vegetacionais ralos, inferindo em menores valores de NDVI. O ambiente de Vereda chama atenção pelos elevados valores de NDVI, que mantém relação intrínseca com as disposições pedológicas, hídricas e sobretudo fitofisionômico.

Observou-se, ainda, a influência de fatores externos na dinâmica da vegetação, representada pela pluviosidade, em que, com maiores *inputs* de água obteve-se maiores valores de NDVI, dando destaque para 22/02.

Dessa forma, pode-se observar que a leitura integrada do ambiente em conjunto com as técnicas de sensoriamento remoto, tende a auxiliar de maneira ímpar o monitoramento ambiental, visto que integra os detalhes do meio físico ao comportamento espectral, sendo uma forma atrativa de análise da cobertura vegetal em Savanas.

Referências Bibliográficas

AB'SABER, A. N. Os domínios morfoclimáticos na América do Sul. *Geomorfologia*, n. 52, p. 1-22, 1977.

BACCARO, C. A. D. As unidades geomorfológicas e a erosão nos chapadões do município de Uberlândia. *Sociedade & Natureza*, v. 6, n. 11/12, p. 19-33, 1994.

BILAR, A. B. C.; MENDONÇA PIMENTEL, R. M.; CERQUEIRA, M. A. Monitoramento da cobertura vegetal através de índices biofísicos e gestão de áreas protegidas. *Geosul*, v. 33, n. 68, p. 236-259, 2018.

CARVALHO, F. M. V. D.; FERREIRA, L. G.; LOBO, F. C.; DINIZ-FILHO, J. A. F.; BINI, L. M. Padrões de autocorrelação espacial de índices de vegetação MODIS no bioma cerrado. *Revista Árvore*, v. 32, n. 2, p. 279-290, 2008.

FARRAR, T. J.; NICHOLSON, S. E.; LARE, A. R. The influence of soil type on the relationships between NDVI, rainfall, and soil moisture in semiarid Botswana. II. NDVI response to soil moisture. *Remote sensing of Environment*, v. 50, n. 2, p. 121-133, 1994.

FURQUIM, L. C.; DOS SANTOS, M. P.; DE ANDRADE, C. A. O.; DE OLIVEIRA, L. A.; EVANGELISTA, A. W. P. Relação entre plantas nativas do Cerrado e água. *Cientific@-Multidisciplinary Journal*, v. 5, n. 2, p. 146-156, 2018.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; STARK, R.; RUNDQUIST, D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote sensing of Environment*, v. 80, n. 1, p. 76-87, 2002.

LEHN, C. R.; ALVES, F. M.; DAMASCENO JUNIOR, G. A. Florística e fitossociologia de uma área de cerrado sensu stricto na região da borda oeste do Pantanal, Corumbá, MS, Brasil. *Pesquisas Botânicas, São Leopoldo: Instituto Anchieta de Pesquisas*, n. 59, p. 129-142, 2008.

LEITE, M. E.; FONSECA, G. S.; SILVA, L. A.; LEITE, M. R. Geotecnologias aplicadas a estimativa da temperatura de superfície em diferentes usos e ocupações do solo na Área

de Proteção Ambiental do Rio Pandeiros–Minas Gerais. *Caderno de Geografia*, v. 28, n. 53, p. 490-509, 2018.

LIESENBERG, V.; PONZONI, F. J.; GALVÃO, L. S. Análise da dinâmica sazonal e separabilidade espectral de algumas fitofisionomias do Cerrado com índices de vegetação dos sensores MODIS/TERRA e AQUA. *Revista Árvore*, v. 31, n. 2, p. 295-305, 2007.

MYNENI, R. B.; RAMAKRISHNA, R.; NEMANI, R.; RUNNING, S. W. Estimation of global leaf area index and absorbed PAR using radiative transfer models. *IEEE Transactions on Geoscience and remote sensing*, v. 35, n. 6, p. 1380-1393, 1997.

PEREIRA, A. A.; FABRÍCIO RODRIGUES TEIXEIRA, R. L.; MELCHIORI, E. A.; CARVALHO, L. M. T. Avaliação de índices espectrais para identificação de áreas queimadas no cerrado utilizando dados LandSat TM. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 8, n. 68, p. 1665-1680, 2016.

ROSA, R.; SANO, E. E. Determinação da produtividade primária líquida (NPP) de pastagens na bacia do rio Paranaíba, usando imagens MODIS. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, n. 13-1, p. 367-395, 2013.

SILVA BARBOSA, A. H.; CARVALHO, R. G.; CAMACHO, R. G. V. Aplicação do NDVI para a análise da distribuição espacial da cobertura vegetal na Região Serrana de Martins e Portalegre–Estado do Rio Grande do Norte. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 33, p. 128-143, 2017.

VALERIANO, M. D. M.; SANCHES, I. D. A.; FORMAGGIO, A. R. Topographic effect on spectral vegetation indices from Landsat TM data: is topographic correction necessary?. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 22, n. 1, p. 95-107, 2016.

WANG, J; RICH, P. M; PRICE, K. P. Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA. *International Journal of Remote Sensing*, v. 24, n. 11, p. 2345-2364, 2003.

Recebido em: 04/02/2020

Aceito em: 24/05/2020