



Análise do Comportamento Espectral da Floresta Estacional Decidual no Parque Estadual Lapa Grande

César Vinícius Mendes Nery¹, Adriana Aparecida Moreira², Fernando Hiago Souza Fernandes³

¹Engenheiro Agrônomo, Professor *M.Sc.* das Faculdades Santo Agostinho, Doutorando em Geografia, PUC-Minas, cvmn@hotmail.com; Autor para correspondência. ²Engenheira Ambiental – Mestranda em Sensoriamento Remoto - UFRGS, moreiradriana00@gmail.com; ³Engenheiro Ambiental – Instituto Biotrópicos - Bolsista CNPq, hiagosf@hotmail.com.

Artigo recebido em 09/01/2014 e aceito em 04/08/2014.

RESUMO

O bioma cerrado é a segunda maior formação vegetal brasileira, ocupando uma área de aproximadamente dois milhões de km², carrega o título de patrimônio natural do estado de Minas Gerais devido à grande biodiversidade endêmica, possui várias fitofisionomias, uma delas é a Floresta Estacional Decidual também denominada de Mata Seca. Encontrada em uma região vulnerável do norte de Minas, a mata seca representa um refúgio para a biodiversidade local, além de manter a preservação do solo e recursos hídricos existentes numa região de clima árido. Diante da importância da preservação e manutenção da mata seca o objetivo desse trabalho é analisar o comportamento espectral da floresta estacional decidual na Unidade de Conservação e Proteção Integral do parque estadual Lapa Grande localizado no município de Montes Claros/MG, utilizando-se os índices de vegetação, NDVI e EVI, derivados do produto MOD13Q1 do sensor MODIS e análise por componentes principais (PCA), durante o período de seis anos. Diante dos resultados apresentados foi possível verificar por meio da PC2, as variabilidades médias da fitofisionomia Floresta Estacional Decidual e por meio dos índices de vegetação NDVI e EVI, o comportamento espectral da vegetação, com valores mais altos correspondentes a períodos chuvosos e comportamento antagônico em períodos de seca, sendo apenas o ano de 2011 a apresentar comportamento diferente devido a um veranico no mês de fevereiro. Assim, verificou-se que o comportamento da vegetação pode ser estudado pelos índices NDVI e EVI e que o uso da ACP permitiu avaliar a variabilidade da fitofisionomia da Mata Seca.

Palavras-chave: Mata Seca, Fenologia, MODIS.

Behavior Analysis of Spectral Deciduous Forest in Lapa Grande State Park

ABSTRACT

The Cerrado bioma, the second largest Brazilian plant formation, occupying an area of approximately two million square kilometers, carries the title of natural heritage of the state of Minas Gerais due to its large endemic biodiversity. The Cerrado has several vegetation types; one is the seasonal deciduous forest, also called Mata Seca. Found in a vulnerable region of the north of Minas, the dry forest is a refuge for local biodiversity while maintaining the preservation of existing soil and water resources in a region of arid climate. Given the importance of the preservation and maintenance of the dry forest, the purpose of this paper is to analyze the spectral behavior of the seasonal deciduous forest in the Conservation and Full Protection Unit of Lapa Grande State Park in the municipality of Montes Claros/MG, using vegetation indexes, NDVI and EVI, MOD13Q1 product derived from MODIS and principal component analysis (PCA), during the period of six years. Considering the presented results, it was verified, through PC2, the average variability of the vegetation type Seasonal Deciduous Forest, and through NDVI and EVI vegetation indices, the spectral behavior of vegetation, with higher values corresponding to rainy periods and antagonistic behavior in dry periods, with only the year 2011 presenting different behavior due to an Indian summer in the month of February. So, it was found that the behavior of vegetation can be studied by NDVI and EVI indexes and the use of ACP allowed evaluating the variability of the dry forest vegetation type.

Keywords: dry forest, phenology, MODIS.

INTRODUÇÃO

O Cerrado é responsável por 5% da biodiversidade do planeta é uma das savanas mais ricas do mundo, ocupando uma área de aproximadamente dois milhões de km² no território brasileiro, carrega o título de patrimônio natural do Estado de Minas Gerais devido à grande biodiversidade endêmica em seu ecossistema, caracterizado pela presença de invernos secos e verões chuvosos (WWF, 2012).

Entre as formações florestais do Cerrado encontra-se a Floresta Estacional Decidual, também denominada de Mata Seca, esta floresta é predominante nos Estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Bahia, sendo caracterizada por apresentar duas estações climáticas bem definidas, uma chuvosa seguida de longo período de seca, ocorrendo na forma de disjunções florestais e apresentando estrato dominante predominantemente caducifólio, com mais de 50% dos indivíduos despidos de folhagem no período desfavorável (VELOSO *et al.*, 1991).

Esta fitofisionomia geralmente ocorre sobre solos de origem calcária, às vezes com afloramentos rochosos típicos, mas também pode ocorrer em solos de outras origens (RIBEIRO e WALTER, 1998). É considerada de relevante importância, em termos botânicos, por apresentar fisionomia e florística próprias (RODRIGUES, 1999; IVANAUSKAS e RODRIGUES, 2000).

O decreto do Estado de Minas Gerais nº 44.204 de 10 de Janeiro de 2006, criou o

Parque Estadual da Lapa Grande, no Município de Montes Claros Minas Gerais, com área aproximada de 9.600 hectares, destinada à Unidade de Conservação e Proteção Integral.

Os Parques correspondem a um dos grupos da modalidade de Unidade de Conservação e tem como objetivo a preservação de ecossistemas naturais, proteger e conservar o complexo de grutas e abrigos (VELOSO e NERY, 2011).

O estudo do comportamento fenológico sazonal dessa fitofisionomia se faz importante, uma vez que através desse conhecimento é possível propor ações que visem a sua conservação.

Atualmente, tem-se comumente utilizado de técnicas de sensoriamento remoto para a análise ambiental de mudanças fenológicas quantitativas do dossel da vegetação, mostra-se em diversos estudos uma tecnologia viável no monitoramento da resposta fenológica da vegetação, auxiliando na compreensão de fenômenos ecológicos, além de contribuir para prognósticos sobre o crescimento e produtividade florestal, facilitando a compreensão dos resultados.

Dentre as técnicas de sensoriamento remoto utilizadas para caracterização do comportamento fenológico das formações florestais, se destacam o emprego de índices de vegetação e análise por componentes principais (PCA).

O sensor MODIS a bordo do satélite TERRA-1, possui entre seus produtos, os

índices de vegetação EVI e NDVI, que permitem comparações de dados temporais e espaciais das condições da vegetação, esses dados são empregados para análise dos ciclos anuais da vegetação em virtude do realce do comportamento espectral da vegetação, além da elevada acuidade dos índices, continuamente calibrados pelo programa “*Earth Observing System*” (EOS).

Quanto à análise por componentes principais (PCA), esta técnica sumariza os dados que contém muitas variáveis por um conjunto menor de variáveis compostas e derivadas a partir do conjunto original. Provavelmente o método multivariado mais usado e conhecido de redução de dados.

Neste contexto o presente trabalho tem como objetivo analisar o comportamento espectral da Floresta Estacional Decidual do Parque Estadual da Lapa Grande, por meio dos produtos do sensor MODIS, EVI e NDVI, e sua variabilidade de acordo com o PCA.

Revisão Conceitual

A Floresta Estacional Decidual (Mata Seca) se encontra predominantemente em regiões cársticas, ou seja, áreas de rochas carbonáticas composta principalmente por calcário e dolomitos, sendo esta caracterizada por duas condições climáticas bem demarcadas, uma chuvosa seguida de um longo período de estiagem e com predomínio de árvores estrato dominante macro ou mesofanerofítico predominante caducifólio, com mais de cinquenta por cento dos

indivíduos despedidos de folhagem em períodos desfavorável. Normalmente, o tipo de vegetação apresentada em áreas de mata seca se caracteriza por formas de manchas e constituem uma das várias fisionomias florestais ocorrentes entre as disjunções do bioma cerrado e biomas adjacentes (VELOSO *et al.*, 1991).

Abrangidas pela legislação estadual de nº 19.096 de 03 de agosto de 2010 a floresta estacional decidual corresponde à região Norte de Minas Gerais ocupada entre a transição dos biomas da caatinga, do cerrado e da mata atlântica, apresentando desta forma, uma grande biodiversidade existente entre esses biomas, compreendendo formações vegetais típicas que variam de caatinga hiperxerófila e caatinga arbórea a floresta estacional decidual e semidecidual, com intrusões em veredas e vegetação ruderal de calcário (MINAS GERIAS, 2010).

Devido ao acelerado processo de desmatamento que ocorre principalmente no Norte de Minas Gerais para o abastecimento de carvão vegetal das siderurgias dessa região, se torna necessário o estudo da Mata Seca, a exemplo do comportamento fenológico, como subsídio aos programas de conservação da biodiversidade. Nesse contexto, pode-se entender como comportamento fenológico da vegetação, o padrão sazonal de variação na dinâmica vegetativa (WHITE e NEMANI, 2006), descrito a partir das observações dos estágios de desenvolvimento da vegetação que são

externamente visíveis (FONSECA e VARELLA, 2009).

De acordo com Anderson *et al.* (2005), a fenologia sofre influências de variações sazonais devido à precipitação, temperatura, energia incidente, comprimento do dia, cobertura de nuvem e elevação do Sol, visto que a distribuição da vegetação e sua fenologia estão intimamente ligados aos fatores geográficos e interferências antrópicas.

O estudo em escala regional proporciona a obtenção de dados que podem ser usados na realização de predições e na orientação de estratégias que visam a proteção e conservação da vegetação em escala global (DALLA NORA e SANTOS, 2010). Para este estudo, a abordagem por meio de imagens digitais tem sido comumente utilizada, em função das mudanças fenológicas quantitativas do dossel poder ser analisadas, além da obtenção de dados de forma contínua e em alta resolução temporal (PONZONI e SHIMABUKURO, 2007).

Assim, encontra-se disponível uma grande variedade de imagens orbitais para o estudo da dinâmica da superfície terrestre. Um exemplo dessa tecnologia é a realização de análises ambientais é o sensor MODIS acoplado ao satélite TERRA-1 que possui características que possibilita o acompanhamento da dinâmica terrestre e monitoramento da vegetação; entre elas se destaca a ampla cobertura espacial de 250, 500 e 1000 m, resolução espectral de 32

bandas e a alta resolução temporal, permitindo assim, uma melhor acurácia aos estudos ambientais (FREITAS *et al.*, 2011; FRANCISCO *et al.*, 2012).

Dentre os produtos disponibilizados gratuitamente pelo sensor MODIS, os índices de vegetação NDVI e EVI são bastante utilizados para análise dos ciclos anuais da vegetação em virtude de realçarem o comportamento espectral da vegetação (PONZONI *et al.*, 2012) e se relacionarem com a abundância relativa e parâmetros biofísicos da vegetação (KUPLICH, 2013), além da elevada acuidade desses índices, uma vez que, são medidas radiométricas adimensionais continuamente calibrados pelo programa “*Earth Observing System*” (EOS) (ZHANG *et al.*, 2002; ZHANG *et al.*, 2006), e respondem as alterações ocasionadas sobre a fenologia das plantas (ANDERSON *et al.*, 2005), principalmente por biomas que apresentam uma diferença de sazonalidade pronunciada (BECERRA *et al.*, 2009; FRANCISCO *et al.*, 2012; GUIMARÃES *et al.*, 2005; LENZI e KLINK, 2006).

O NDVI é o índice mais comumente empregado pela comunidade científica em estudos locais, regionais e globais (WARDLOW e EGBERT, 2008), proposto por Rouse *et al.* (1973) esse índice permite o monitoramento da densidade e do estado de vigor da vegetação verde sobre a superfície terrestre em estudos sobre vegetação que detém a habilidade para minimizar efeitos

topográficos, proporcionando o estudo do comportamento fenológico da vegetação.

De acordo com Ponzoni e Shimabukuro (2007), o NDVI, possui um intervalo que varia de -1 a +1, sendo que os valores negativos representam corpos d'água e nuvens, aqueles próximos de zero representam solo exposto, valores positivos apresentam presença de vegetação e o limite superior desse índice é de aproximadamente 0,80.

O NDVI é calculado pela diferença de reflectância e pela divisão da soma entre a faixa do infravermelho médio e a faixa do vermelho, pois nesses intervalos espectrais a vegetação corresponde a 90% de sua resposta espectral (ROSA, 2007).

A equação geral do NDVI é representada abaixo, conforme proposto por Rouse *et al.*, (1973).

$$NDVI = \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + \rho_V} \quad (1)$$

onde: ρ_{IVP} = comprimento de onda do infravermelho próximo;

ρ_V = comprimento de onda do vermelho.

No entanto, uma peculiaridade inerente ao NDVI é a saturação assintótica, o que o torna pouco sensível à detecção de variações de uma vegetação com elevada atividade fotossintética em condições com intensidade de área foliar (RISSO *et al.*, 2012).

O Enhanced Vegetation Index (EVI) é outro índice de vegetação que atua como alternativa de melhoramento no

monitoramento da cobertura vegetal da superfície terrestre, vez que foi desenvolvido para aperfeiçoar o sinal espectral da vegetação bem como melhorar a sensibilidade do mesmo em regiões com alta biomassa, e promove a redução das influências atmosféricas (KUPLICH, 2013). O EVI também usa a faixa azul para remover a contaminação residual da atmosfera causada por aerossóis e nuvens (VERSTRAETE E PINTY, 1996).

A expressão que define o EVI é dada pela seguinte equação:

$$EVI = G \frac{r_{p4} - r_{p3}}{r_{p4} + C_1 \times r_{p4} - C_2 \times r_{p1} + L} \quad (2)$$

onde: em que G é o fator de ganho cujo valor utilizado é 2,5; L=1 é o fator de ajuste do background; C1 = 6 e C2 = 7,5 são os coeficientes de correção para atenuar os efeitos dos aerossóis nas faixas do azul e vermelho do espectro eletromagnético.

Para análise do comportamento fenológico pode-se também utilizar da técnica de análise de componentes principais (PCA), sendo esta uma técnica da estatística multivariada que transforma um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de variáveis de mesma dimensão denominadas de componentes principais. A PCA é associada à idéia de redução de massa de dados, com menor perda possível da informação, onde os indivíduos são agrupados segundo suas variâncias, representado pela variação do conjunto de características que o

define. Segundo REGAZZI (2000), as técnicas de análise multivariada são também utilizadas para resolver outros tipos de problemas em diversas áreas do conhecimento. A análise de componentes principais é a técnica mais conhecida, contudo é importante ter uma visão conjunta de todas ou quase todas as técnicas da estatística multivariada para resolver a maioria dos problemas práticos.

Esses índices minimizam a variabilidade causada por fatores externos à vegetação corroborando para análise do crescimento e do vigor vegetativo de uma floresta, mostrando-se adequados para o monitoramento de mudanças fenológicas nas diferentes formas e estados vegetacionais (FONTANA *et al.*, 2007).

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

A área de estudo compreende o Parque Estadual Lapa Grande (Figura 1), localizado integralmente dentro do perímetro do município de Montes Claros entre as coordenadas geográficas 16° 43' 00' de latitude e 43° 57' 00'' de longitude. O Parque Lapa Grande está situado a cerca de 8 quilômetros do perímetro urbano de Montes Claros, com uma área de aproximadamente de 9.600 ha destinada à Unidade de Conservação de Proteção integral, possui manchas de cerrado e mata seca como formas vegetacionais (VELOSO e NERY, 2011).

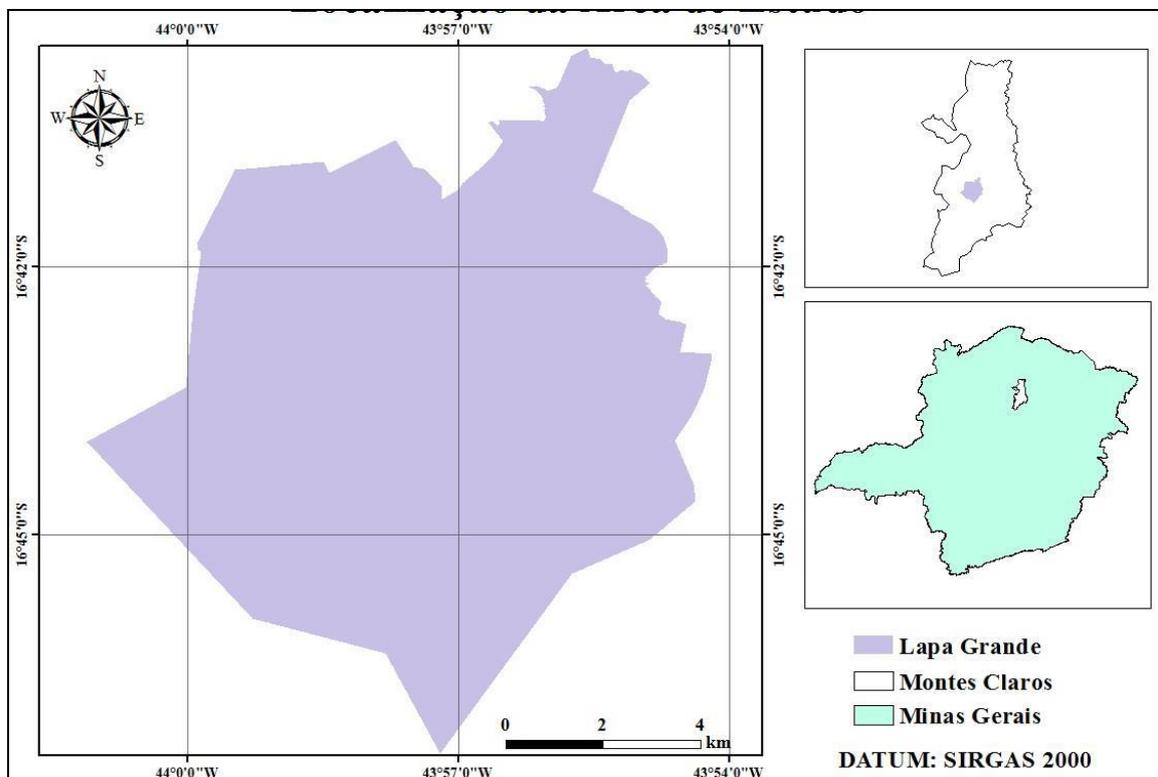


Figura 1: Localização da área de estudo.
Fonte: MOREIRA *et al.* (2013).

Processamento dos Dados

Para processamento dos dados foram adquiridas gratuitamente doze cenas anuais do produto MOD13Q1 com resolução espacial de 250 m, referente aos índices, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e EVI (*Enhanced Vegetation Index*), do sensor MODIS acoplado a plataforma TERRA, referentes ao período de janeiro de 2007 a dezembro de 2012.

Foi utilizado o *software Modis Reprojection Tool* (MRT) para conversão das cenas adquiridas em formato HDF para o formato GeoTiff. Utilizando o *software* livre SPRING 5.2.3 (CÂMERA *et al.*, 1996) foi criado um banco de dados com sistema de referência, latitude e longitude e modelo de

terra, SIRGAS 2000, onde as cenas NDVI e EVI foram importadas e convertidas para o modelo numérico de terreno (MNT), utilizando a Linguagem Espacial Geoprocessamento Algebrico (LEGAL).

Para delimitação da fitofisionomia de estudo (Floresta Estacional Decidual), foram utilizadas as informações provenientes do Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) do Estado de Minas Gerais (Figura 2). Posteriormente foi realizada a leitura dos valores reflectância dos índices de vegetação da fitofisionomia, durante o período de estudo.

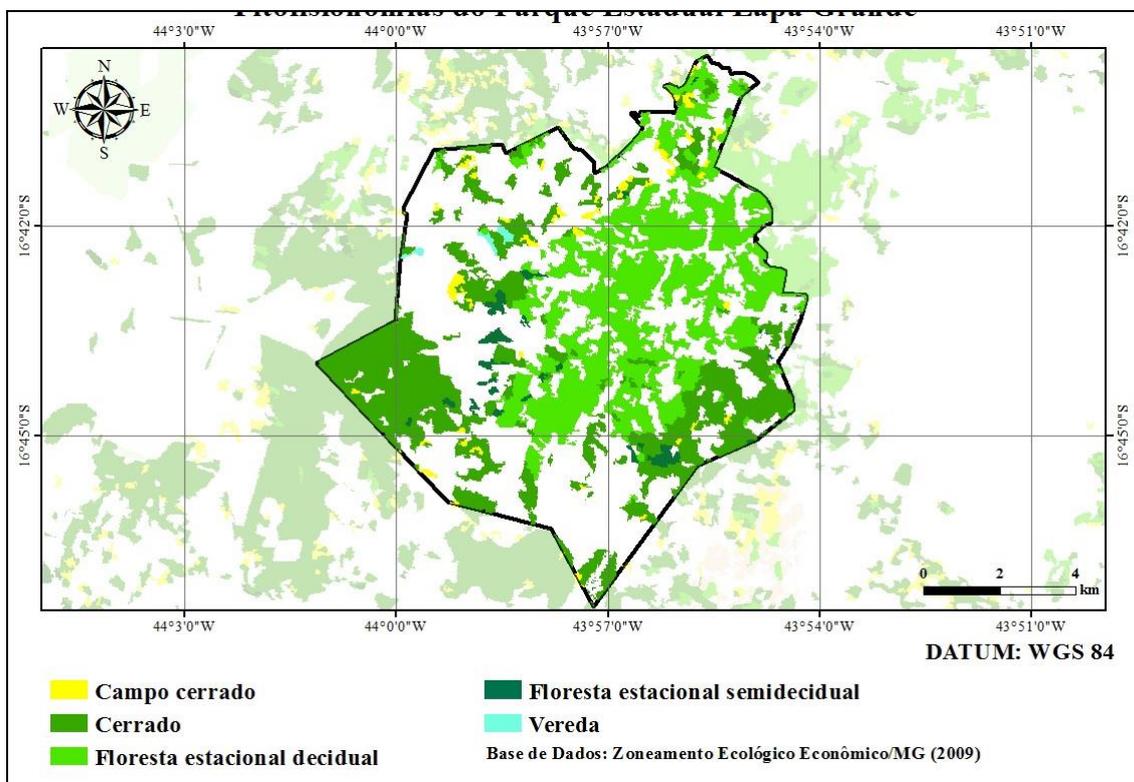


Figura 2: Fitofisionomias do Parque Estadual Lapa Grande.
Fonte: MOREIRA *et al.* (2013).

Foi utilizado o *software* ENVI 5.0 sob licença do Laboratório de Topografia, Nery, C. V. M.; Moreira, A. A.; Fernandes, F. H. S.

Cartografia e Geoprocessamento (LABGEO), das Faculdades Santo Agostinho, para 423

realização da análise por componentes Principais (PCA) considerando apenas os dados do índice de vegetação EVI, uma vez que os dados do NDVI não apresentam um bom desempenho na realização desta análise, devido à saturação de *pixels* com nuvens, utilizados para fazer as composições (PARDI LACRUZ *et al.*, 2004; 2005). Dessa forma foi realizada a análise por PCA do produto EVI durante o período de 2007 a 2012, para avaliação da variabilidade espectral temporal de cada pixel na área do Parque Estadual Lapa Grande.

Para melhor análise do comportamento espectral da Florestal

Estacional Decidual, foram adquiridos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) dados pluviométricos mensais durante o período de 2007 a 2012 referentes a estação meteorológica da cidade de Montes Claros-MG.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos gráficos a seguir (Figura 3) são apresentados os valores de precipitação total mensal do município de Montes Claros-MG, onde se encontra o Parque Estadual Lapa Grande para o período de 2007 a 2012.

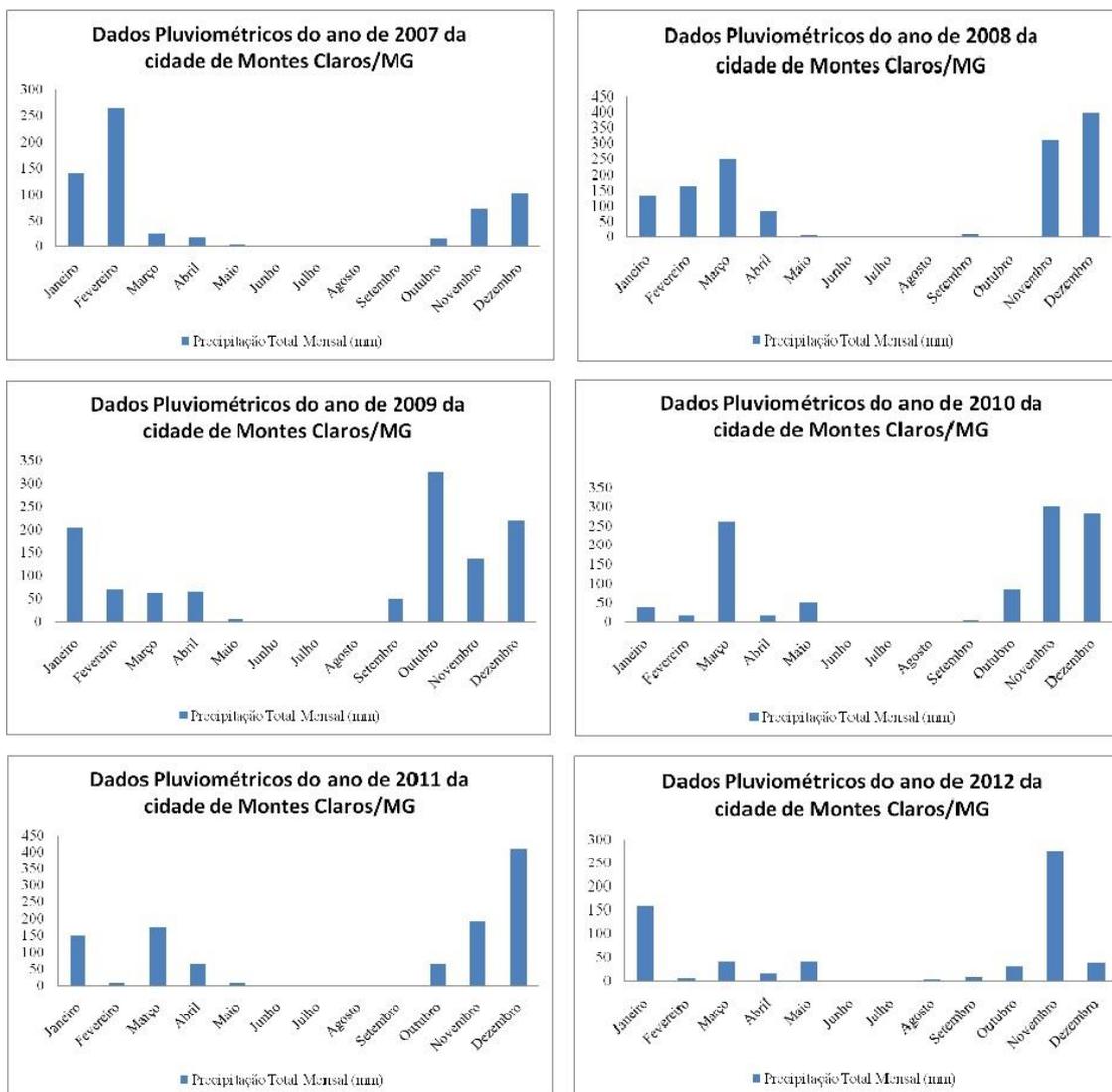


Figura 3: Precipitação Total Mensal para a cidade de Montes Claros – MG entre os anos de 2007 a 2012. Fonte: INMET (2013).

Na Figura 3 observa-se um comportamento da precipitação na região de estudo, durante o período analisado, essa região possui estação de seca prolongada entre os meses de março a outubro e as maiores intensidades de precipitação nos meses de dezembro a fevereiro. Este indicador pluviométrico é de fundamental importância, já que o vigor vegetativo está amplamente associado à variação hídrica (MOURA *et al.*, 2010). Observa-se ainda um decaimento da precipitação total mensal no

município de Montes Claros entre os anos de 2010 a 2012, apesar da alta irregularidade pluviométrica observada normalmente entre os anos analisados.

A variação sazonal dos valores médios de EVI e NDVI, para a fitofisionomia Floresta Estacional Decidual, no período de 2007 a 2012, está apresentada na Figura 4. As curvas apresentadas representam os valores médios de reflectância de EVI e NDVI durante os meses de cada ano analisado.

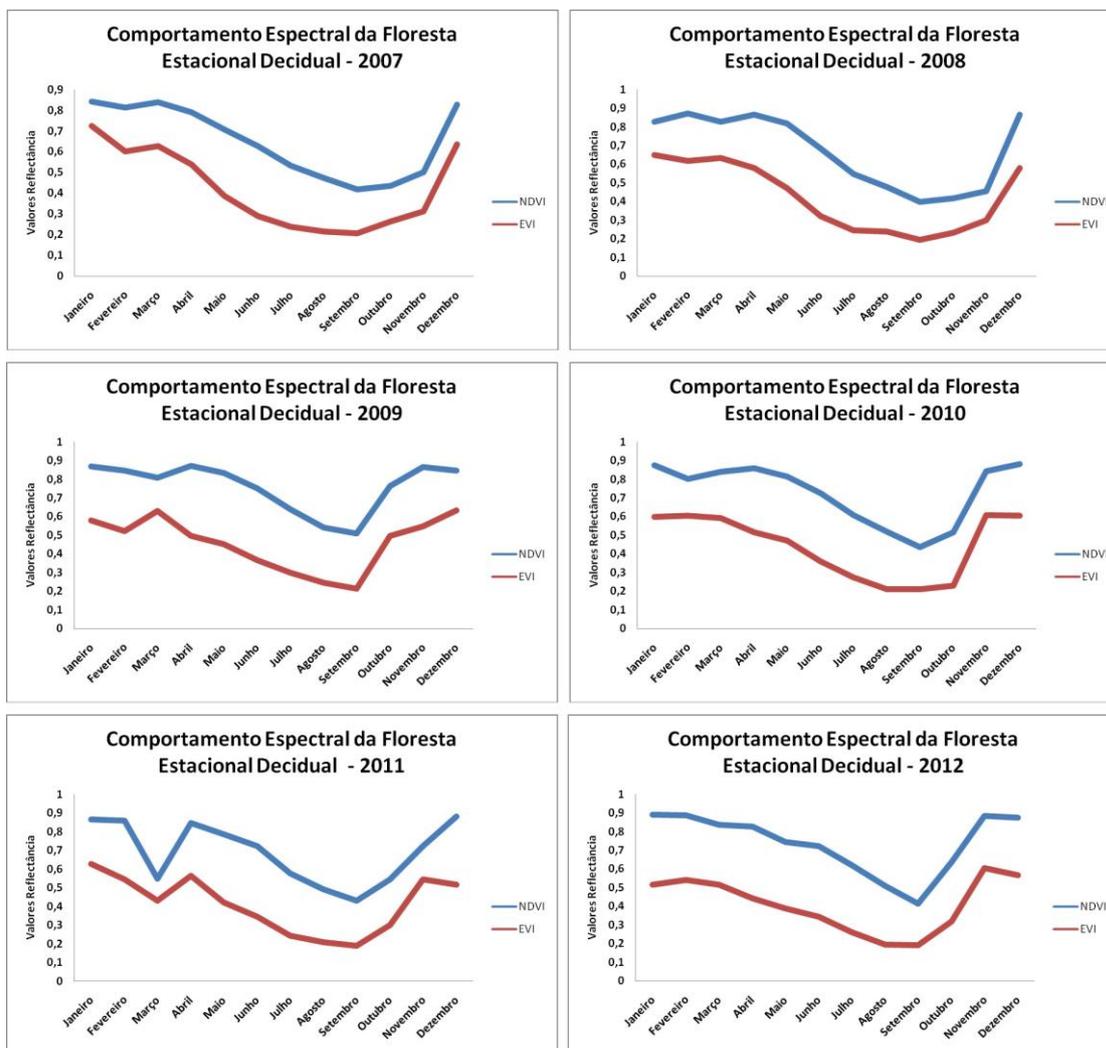


Figura 4: Valores médios anuais de EVI e NDVI para a fitofisionomia Floresta Estacional Decidual no período de 2007 a 2012.

Fonte: Próprio Autor.

Conforme resultados da análise realizada, pode-se observar que o NDVI, de forma geral, apresenta valores de reflectância superiores aos exibidos pelo EVI. De acordo com Dalla Nora e Santos (2010) e Rosembach *et al.* (2010), os valores de EVI se apresentam menores que os de NDVI, por ser menos sensível às contaminações do substrato e da atmosfera possuindo melhor resposta às variações fisionômicas e estruturais no dossel da vegetação. Ainda pode-se observar que os valores dos índices analisados (EVI e NDVI) se comportam de forma similar, estando correlacionados.

Nery, C. V. M.; Moreira, A. A.; Fernandes, F. H. S.

Na Figura 4 apresentada, os valores de EVI e NDVI para o período analisado normalmente começam a se elevar no mês de novembro mantendo se com valores mais altos durante os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março. Esses valores reflectância se apresentam altos nesses meses, possivelmente por estar associado à maior oferta de água, uma vez que na região de estudo o verão se caracteriza por ser chuvoso, aumentando dessa forma o vigor vegetativo das fitofisionomias.

No entanto, na análise sazonal da Mata Seca no ano de 2011, verifica-se um

acentuado decaimento dos valores de reflectância dos índices EVI e NDVI, durante o mês de Fevereiro e aumento dos mesmos no mês de Março, esse fato pode ser explicado pelo baixo índice pluviométrico apresentado nesse mês (Figura 3).

Os menores valores de EVI e NDVI são observados entre os meses de junho a

outubro em todos os anos analisados, que caracteriza o período de seca da região.

A Figura 5 apresenta a comparação dos valores reflectância NDVI para o período de estudo.

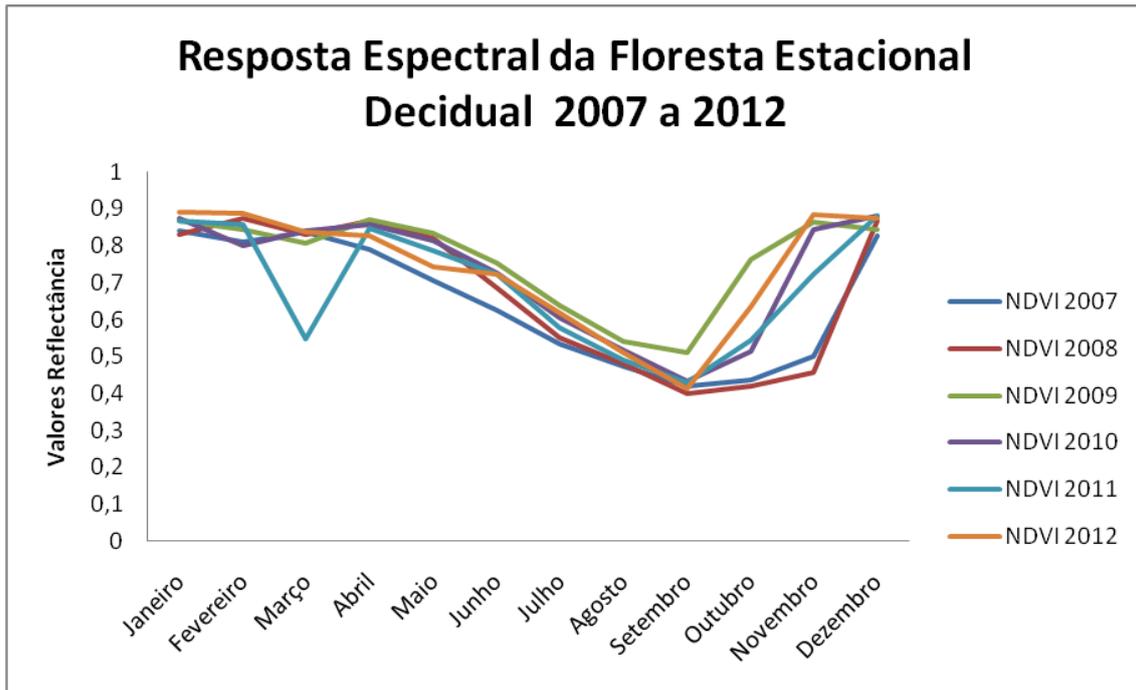


Figura 5: Valores Reflectância NDVI para o período de 2007 a 2012.
Fonte: Próprio Autor.

Por meio da análise da Figura 5, verifica-se que os valores de NDVI comportam-se com valores acentuadamente mais altos nos primeiros três meses do ano, com a ressalva que no ano de 2011, houve uma queda abrupta desses valores no mês de fevereiro que corrobora com dados de precipitação de mesma época (Figura 3). A partir do mês de abril observa-se uma queda desses valores, corroborando mais uma vez

com os dados pluviométricos, sendo que nesta época ocorre pouca ou nenhuma precipitação.

Os menores valores de NDVI para cada período se concentram entre os meses de agosto e setembro, sendo estes os meses de maior intensidade de seca de acordo com os dados de precipitação.

A figura 6 a seguir apresenta os valores médios de EVI para o período de estudo.

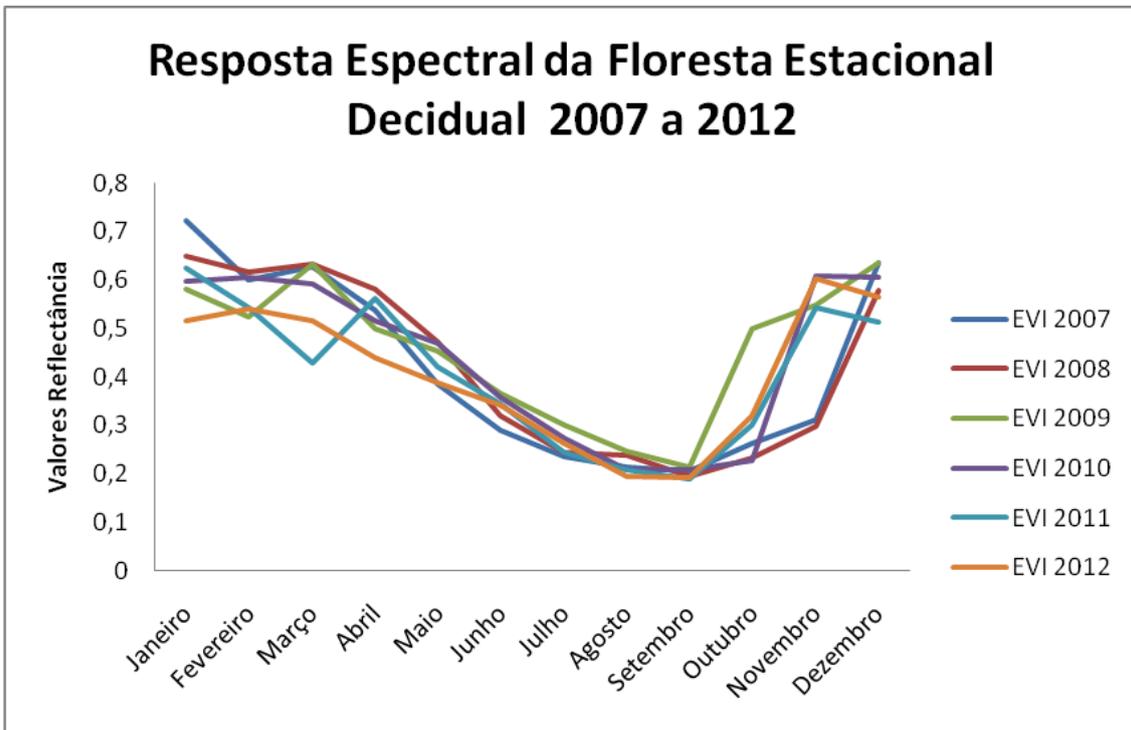


Figura 6: Valores Reflectância EVI para o período de 2007 a 2012.
Fonte: Próprio Autor.

Na análise da variabilidade sazonal da fitofisionomia Mata Seca de acordo com o EVI é possível verificar que os valores reflectância corroboram com aqueles de NDVI, havendo a mesma situação de queda acentuada dos valores no mês de fevereiro de 2011.

O EVI durante os meses de abril a agosto para todos os períodos analisados apresentaram valores muito próximos entre si, a partir do mês de setembro há uma maior variação desses valores para cada ano analisado, sendo que nos anos de 2007 e 2008 a curva alcança os menores valores para a época de chuva comparativamente aos outros anos e, o ano de 2009 apresenta-se entre todos, o que obteve valores relativamente maiores.

Observa-se também que a resposta espectral da Floresta Estacional Decidual

apresenta um comportamento característico, possuindo os maiores valores de índices de vegetação (NDVI e EVI) na estação chuvosa e os menores e na estação seca. O índice pluviométrico apresenta grande variação ao longo do ano na área de ocorrência dessa fitofisionomia, promovendo assim, uma variação local dos índices de vegetação analisados, além da variação ocorrida relacionada a característica de deciduidade da própria Mata.

A Figura 7 apresenta uma composição colorida das imagens das componentes principais geradas a partir dos dados EVI no período de 2007 e 2012.

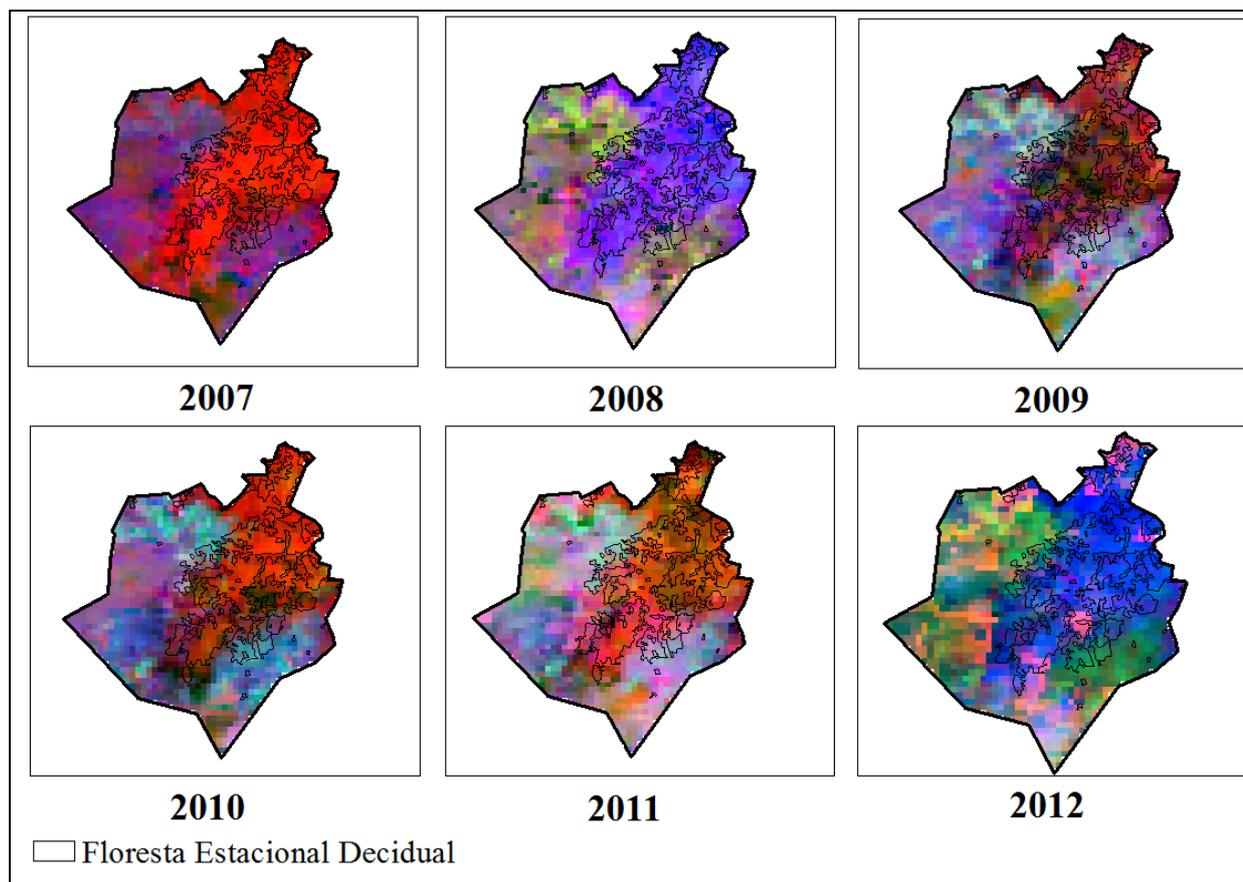


Figura 7: Composição colorida da análise por principais componentes dos dados EVI (CP1 - G, CP2- B, CP3 - R) do Parque Estadual Lapa Grande para o período de 2007 a 2012.

Fonte: Próprio Autor.

De acordo com Moura *et al.* (2010), a primeira componente (CP1) refere-se aos valores que são comuns a todo o conjunto original dos dados EVI, sendo esta associada nesse estudo a cor verde no sistema RGB (Red, Green e Blue). A segunda componente (CP2) contém as feições espectrais mais significativas do conjunto estando relacionada à variabilidade média do conjunto de dados, sendo associada a cor azul, as demais componentes se comporta similarmente a segunda (CP2) diminuindo as informações relacionadas às variações conforme aumenta o número de componentes geradas, nesse estudo utilizou-se a terceira componente (CP3) associando-a a cor vermelha.

Na análise da composição colorida das imagens PCA (Figura 7) verifica-se por meio da PC2 composta na cor azul, a variabilidade média ocorrida em cada *pixel* que compõem a imagem referente a área de estudo, sendo apresentada em tons de azul as regiões com maiores variações médias dos *pixels* em cada período analisado.

De acordo com as delimitações das fitofisionomias do Parque Estadual Lapa Grande elaborada pelo ZEE/MG (Figura 2), pode-se verificar que a Floresta Estacional Decidual apresentou uma expressiva variação no ano de 2008 e 2012. Esta variação apresentada pela mata seca responde de forma similar aos dados pluviométricos anuais do

município, onde se percebe um aumento significativo dos milímetros de chuva caído entre os anos de 2007 e 2008, da mesma

forma uma redução acentuada entre os anos de 2011 para 2012 (Figura 8).

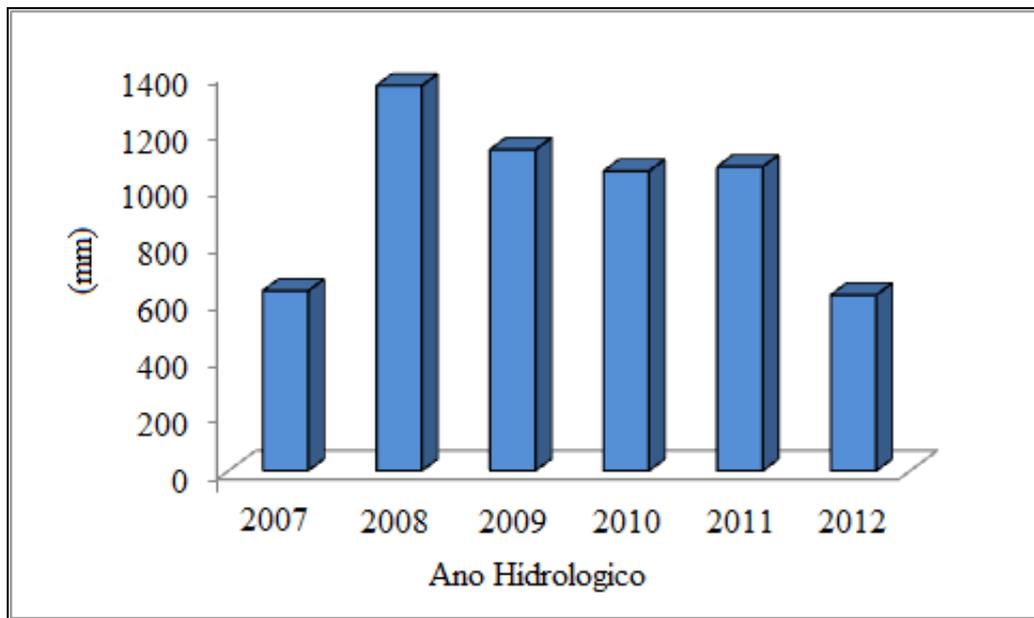


Figura 8. Precipitação total anual para a cidade de Montes Claros – MG entre os anos de 2007 a 2012. Fonte: INMET (2013).

De acordo com Moraes *et al.* (2009), a PC3 representa a variabilidade influenciada no tempo, ou seja, através desta é possível identificar as regiões que sofreram variações bruscas no tempo, sendo esta composta no sistema RGB na cor vermelha, pode-se observar o predomínio de tons vermelhos na faixa de Mata Seca nos anos de 2007, 2009, 2010 e 2011, essa situação corrobora com a variação sazonal ocorrida na região verificada pela curva proveniente dos dados dos índices de vegetação (EVI e NDVI) e pela característica de deciduidade da própria fitofisionomia.

espectral do EVI e NDVI multitemporal típico dessa fitofisionomia, apresentando valores mais altos na época de chuva e mais baixos na época de seca, sendo apenas o ano de 2011 a apresentar comportamento diferente dos demais anos no início do ano, tendo então, a resposta espectral dos índices de vegetação pela baixa precipitação no mês de fevereiro.

O emprego de análise por componentes principais permitiu avaliar os períodos em que essa fitofisionomia apresentou variabilidade média e no decorrer do tempo, possibilitando assim a caracterização das áreas que passaram por variabilidades bruscas.

CONCLUSÃO

Por meio da metodologia empregada foi possível verificar que a Floresta Estacional Decidual apresenta um comportamento

Nery, C. V. M.; Moreira, A. A.; Fernandes, F. H. S.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação Santo Agostinho, à CAPES e ao CNPq pelo apoio e incentivo à Pesquisa Científica.

REFERÊNCIAS

- Anderson, L. O.; Latorre, M. L.; Shimabukuro, Y. E.; Arai, E.; Carvalho Junior, O. A. (2003). Sensor Modis: Uma abordagem Geral. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos – SP.
- Anderson, L. O.; Shimabukuro, Y. E.; Aragão, L. E. O. C.; Valerino, D. M. (2005). Variações sazonais na precipitação, temperatura, energia incidente, comprimento do dia cobertura de nuvem, e elevação do Sol têm mostrado influencias nos padrões fenológicos dos diversos tipos de formações vegetais. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - INPE, Goiânia - GO p. 2811-2818.
- Becerra, J. A. B.; Shimabukuro, Y. E.; Alvalá, R. C. S. (2009). 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, 125-134.
- Câmara, G.; Souza, R.C.M.; Freitas, U. M.; Garrido, J. C. P. (1996). SPRING: Integrating Remote Sensing and GIS with Object-Oriented Data Modelling. Computers and Graphics, v.15, n.6, p.13-22.
- Cardoso, J. M. A. (2000). A região Norte de Minas Gerais: um estudo da dinâmica de suas transformações espaciais. In: OLIVEIRA, M. F. M. et al. Formação social e econômica do Norte de Minas. Montes Claros: Editora Unimontes.
- Dalla Nora, E. L.; Santos, J. E. (2010). Análise da Dinâmica Sazonal de duas Formações Florestais do Bioma Mata Atlântica com base em Índices de Vegetação. PERSPECTIVA, Erechim/RS. v.34, n.125, p. 41-51.
- Ferreira, L. G.; Ferreira, N. C.; Ferreira, M. E. (2008). Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. Acta Sci. Biol. Sci. Maringá/PR, v. 30, n. 4, p. 379-390.
- Fonseca, E. L.; Varella, A. C. (2009). Análise dos padrões de resposta espectral multitemporal de cereais de estação fria cultivados para a produção de grãos e para produção de forragem em imagens de média resolução espacial. Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - INPE, Natal – RN. p. 191-197.
- Fontana, D. C.; Almeida, T. S.; Jacóbsen, L. O. (2007). Caracterização da dinâmica temporal dos Campos do Rio Grande do Sul por meio de imagens AVHRR/NOAA. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.15, p.69-83.
- Francisco, P. R. M.; Chaves, I. B.; Chaves, L. H. G.; Lima, E. R. V. (2012). Detecção de Mudança da Vegetação de Caatinga. Revista Brasileira de Geografia Física, n. 06, p. 1473-1487.
- Freitas, R.M.; Arai, E.; Adami, M.; Ferreira, A.S.; Sato, F.Y.; Shimabukuro, Y.E.; Rosa, R.R.; Anderson, L.O.; Rudorff, B.F. T. (2011). Virtual laboratory of remote sensing time series: visualization of MODIS EVI2 data set over South America. Journal of Computational Interdisciplinary Sciences, v. 2, p.57-68.
- Guimarães, R. J. P. S.; Freitas, C. C.; Dutra, L. V.; Shimabukuro, Y. E.; Carvalho, O. S.; Moura, A. C. M.; Amaral, R. S.; Drummond, S. C.; Scholte, R. G. C.; Freitas, C. R.; Melo, G. R. (2005). Comparação do modelo de mistura com os índices de vegetação NDVI e EVI oriundos das imagens MODIS para o Estado de Minas Gerais. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - INPE, Goiânia - GO, p. 2665-2672.
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em:

<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acessado em: 18/09/2013.

Kuplich, T. M.; Moreira, A.; Fontana, D. (2013). Série temporal de índice de vegetação sobre diferentes tipologias vegetais no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.17, n.10, p.1116–1123.

Lenza, E.; Klink, C. A. (2006). Comportamento Fenológico de Espécies lenhosas em um cerrado sentido restrito de Brasília, DF. *Revista Brasil. Bot.*, v 29, nº 4, p. 627-638.

Liu, W. T. H. (2006). Aplicações de Sensoriamento Remoto. Campo Grande-MS: Ed. UNIDERP, 908p.

Minas Gerais. (2010). Lei Estadual 19.096 de 03 de agosto de 2010. Altera a Lei nº 17.353, de 17 de janeiro de 2008, que dispõe sobre a alteração do uso do solo nas áreas de ocorrência de Mata Seca. Belo Horizonte: Assembléia Legislativa do Estado de Minas Gerais.

MMA – Ministério de Meio Ambiente. (2010). Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado. Brasília-DF.

Moraes, E. C.; Pereira, G.; Arai, E. (2009). Uso dos produtos EVI do sensor MODIS para estimativa de áreas de alta variabilidade intra e interanual no bioma Pantanal. *Anais do 2º Simpósio de Geotecnologias do Pantanal*. Corumbá - MS, p. 496-504.

Moreira, A. A.; Fernandes, F. H. S.; Almeida, R. P.; Nery, C. V. M. (2013). Análise do Comportamento Espectral de Fitofisionomias no Parque Estadual Lapa Grande por meio de dados MODIS. *Revista Brasileira de Geografia Física*. v.6, n.6, p. 1705-1718.

Moura, Y. M.; Galvão, L. S.; Arai, E.; Pereira, G.; Cardozo, F. S. (2010). Índices de Vegetação e Análise por Componentes Principais no Estudo da Variabilidade Sazonal de Fitofisionomias do Bioma Pantanal. *Anais*

do 3º Simpósio de Geotecnologias do Pantanal. Cáceres - MT, p. 424-433.

Pardi Lacruz, M.S.; Santos, J.R.; Conforte, J.C. (2004). Aplicabilidade de imagens MODIS/TERRA e análise harmônica com vistas ao monitoramento ambiental. In: *Aplicações de geotecnologias na Engenharia florestal*, pp.150 – 159. Eds. A.A. Disperati e J.R. Santos. Copiadora Gabardo Ltda., Curitiba, Paraná. 298 p.

Pardi Lacruz, M.S.; Santos, J.R.; Conforte, J.C. (2005). Utilização de séries temporais de imagens MODIS/Terra e análise harmônica para o monitoramento de corredores ecológicos. *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - INPE, Goiânia - GO*, p. 3223-3228.

Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E.; Kuplich, T. M. (2012). Sensoriamento remoto da vegetação. 2ª edição atualizada e ampliada. 2ª ed. São Paulo: Oficina de textos, 159 p.

Ponzoni, F.J.; Shimabukuro, Y.E. (2007). Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação. São José dos Campos-SP: Parêntese.

Regazzi, A.J. (2000). Análise multivariada, notas de aula INF 766, Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa, v.2.

Ribeiro, J. F. & Walter, B. M. T. (1998). Fitofisionomias do bioma cerrado. pp. 85-166. In: *Cerrado: ambiente e flora*. EMBRAPA-CPAC, Planaltina.

Risso, J.; Rizzi, R.; Rudorff, B. F. T.; Adami, M.; Shimabukuro, Y. E.; Formaggio, A. R.; Epiphanyo, R. D. V. (2012). Índices de vegetação Modis aplicados na discriminação de áreas de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v.47, n.9, p.1317-1326.

Rodrigues, R. R. (1999). A vegetação de Piracicaba e municípios do entorno. IPEF, Circular Técnica, n.189.

Rosa, R. (2007). *Introdução ao Sensoriamento Remoto*, Uberlândia: Edufu.

Rosembach, R.; Ferreira, N. J.; Shimabukuro, Y. E.; Conforte, J. C. (2010). Análise da dinâmica cobertura vegetal na região sul do Brasil a partir de dados MODIS/TERRA. *Revista Brasileira de Cartografia* nº62. Edição Especial 2. p. 401-416.

Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. (1973). Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: *Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*, 3. Proceedings. Washington, 1973, v.1, Sec.A, p. 309-317.

Sato, Y. L.; Shimabukuro, Y. E.; Kuplich, T. M. (2011). Uso da análise por componentes principais na avaliação da mudança da cobertura florestal da Floresta Nacional do Tapajós. *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - INPE*, Curitiba - PR, p. 6696-6702.

Silva, A. A. (2004). *Uso de dados MODIS para o monitoramento ambiental nos cerrados: Um estudo a partir de dados MOD13Q1 realçados através de um modelo de mistura espectral*. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Goiás - UFG. Goiânia - GO.

Veloso, A. R.; Nery, C. V. M. (2011). Geoprocessamento aplicado à caracterização do Parque da Lapa Grande em Montes Claros/MG. 2011. *XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Curitiba - PR, Brasil, INPE p.3711.

Veloso, H. P.; Rangel Filho, A. L. R. & Lima, J. C. A. (1991). *Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal*. IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro.

Verstraete, M.M., Pinty, B., (1996). Designing optimal spectral indexes for remote sensing applications. *IEEE Transact. Geosci. Remote Sens.* 34, 1254–1265.

Wardlow, B.D.; Egbert, S.L. (2008). Large-area crop mapping using time-series MODIS 250 m NDVI data: an assessment for the U.S. Central Great Plains. *Remote Sensing of Environment*, v.112, p.1096-1116.

White, M. A.; Nemani, R. R. (2006). Real-time Monitoring and Short-Term Forecasting of Land Surface Phenology. *Remote Sensing of Environment*, nº. 104, p. 43-49.

WWF, *Fundo Mundial Para a Natureza. Cerrado Berço das Águas*. 2012. Brasília – DF. Disponível em: http://www.wwf.org.br/informacoes/biblioteca/publicacoes_cerrado/?31283/cerrado---berodas-guas#. Acessado em: 06/05/2014.

Zhang, X.; Friedl, M. A.; Schaaf, C. B.; Strahler, A. H.; Hodges, J. C. F.; Gao, F.; Reed, B. C.; Huete, A. (2002). Monitoring Vegetation Phenology Using MODIS. *Remote Sensing of Environment*, nº 84, p. 471 – 475.

Zhang, X.; Friedl, M. A.; Schaaf, C. B. (2006). Global Vegetation Phenology from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Evolution of Global patterns and Comparison with in situ Measurements. *Journal of Geophysical Research*, v. 111, G04017, doi: 10.1029/2006jg000217.