

O uso de feições de textura em imagens RapidEye para estimativas da idade e de parâmetros estruturais da vegetação do cerrado

Marília Ferreira Gomes¹
Philippe Maillard¹

¹ Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG
Av. Antônio Carlos, 6.627 - Pampulha - Belo Horizonte - MG, Brasil
mariliafgomes@yahoo.com, philippermaillard@yahoo.com.br

Abstract. Cerrado is a savanna biome covering about 60% of Minas Gerais but with a rate of conversion that surpasses that of all other biomes in Brazil. Remote sensing is probably the only practical means to monitor the conversion and regeneration of this vegetation formation. The objective of this article is to model the process of regeneration of cerrado vegetation after being a eucalyptus plantation for two decades and to estimate its age using a RapidEye image mosaic and derived texture features from the grey level co-occurrence matrix. The study area is a State Park in Minas Gerais (*Parque Estadual Veredas do Peruaçu*) that was a eucalyptus plantation until 1994 with a broad range of regeneration ages between 15 and 38 years. A total of 47 plots were surveyed for which the exact age of regeneration are known and other structural variables were measured. Multiple regression and stepwise feature selection were used to define a model that explains over 80% of the age of regeneration. The canopy density and height were also modeled but with a somewhat lesser degree of success. Texture proved valuable in order to capture the patterns of light and shadow generated by the trees of variable width and height.

Keywords: textural features, cerrado, regeneration, feições de textura, cerrado, regeneração

1. Introdução

O bioma cerrado reveste significativa porção do território brasileiro, sendo o segundo maior bioma do país, mas é também o mais ameaçado dos biomas brasileiros, com uma alta taxa de desmatamento anual. Só no Estado de Minas Gerais, o cerrado foi reduzido para quase metade do seu tamanho original (SANO et al., 2007). Pesquisas sobre a regeneração do cerrado são fundamentais no entendimento da dinâmica da vegetação e nos estudos de conservação. O sensoriamento remoto é uma ferramenta que tem mais contribuído para entender os efeitos das perturbações no ambiente do cerrado e suas consequências para todo o ecossistema.

Uma das técnicas de sensoriamento remoto utilizadas na tentativa de compreender essas perturbações é o incremento de feições de textura nas análises, sendo uma das maneiras de levar em conta o contexto no qual cada pixel está inserido. As feições texturais contêm informação sobre a distribuição espacial (estatística) das variações dos tons de cinza dentro de uma banda (HARALICK; SHANMUGAM; DINSTEIN, 1973). Aliar imagens de alta resolução e informações de textura provou ser útil para estimativas de parâmetros estruturais das florestas (WULDER, 1998; JOHANSEN; PHINN, 2006).

A matriz de coocorrência dos níveis de cinza (GLCM) é um dos métodos de extração dos elementos de análise de textura mais usado e que se mostrou eficiente para um grande leque de aplicações (JENSEN, 2005; MAILLARD, 2003). Haralick, Shanmugam e Dinstein (1973) propuseram esse método e demonstraram que cada elemento da matriz de coocorrência é uma medida de probabilidade de uma ocorrência de dois valores de níveis de cinza separados por uma distância em um dado sentido.

Pereira (2009) e Maillard e Pereira (2010) conseguiram criar um modelo que estimou a idade da regeneração do cerrado com um certo grau de sucesso. O modelo explicou 61% da variância usando apenas as bandas 1 (azul), 4 (infravermelho próximo) e 5 (infravermelho médio) de uma

imagem Landsat ETM+. O objetivo deste trabalho é avaliar o potencial das imagens RapidEye (5 metros de resolução espacial) e o incremento de feições de textura para estimativa da idade e de medidas estruturais da vegetação do cerrado em diferentes subformações e estágios sucessionais. É esperado que a combinação desse dois fatores (melhor resolução e textura) possa melhorar os resultados obtidos por esses autores.

2. Metodologia

2.1. Área de estudo

O Parque Estadual Veredas do Peruaçu (PEVP) está localizado no norte do Estado de Minas Gerais, inserido em parte dos municípios de Cônego Marinho, Januária e Bonito de Minas. É uma unidade de conservação de proteção integral criada em 1994 com o objetivo de proteger as nascentes do rio Peruaçu, afluente da margem esquerda do Rio São Francisco. O PEVP é recoberto por vegetação de cerrado, nas fitofisionomias cerrado senso restrito, cerradão e veredas. O clima na região é semiárido e os solos são predominantemente arenosos.

Antes se tornar um parque, parte da área foi explorada por empresas de silvicultura para o plantio de eucaliptos, o que implicou em processos de degradação incluindo o corte raso, queimadas e até criação extensiva de bovinos (MAILLARD; PEREIRA, 2010). A Figura 1 mostra duas vistas aéreas da vegetação de cerrado do PEVP onde podem ser vistos os limites dos antigos talhões. Pereira (2009) analisou uma sequência de 18 imagens dos satélites Landsat-5/TM e Landsat-7/ETM+ e através da técnica de subtração de imagens de NDVI, em pares, no período compreendido entre 1984 e 2007, estimou a idade de cada um dos antigos talhões de eucalipto existentes na área do parque, encontrando idades entre de 16 e 34 anos em 2007. Portanto, existem registros confiáveis das atividades desenvolvidas e sobre os diversos estágios da vegetação preservada ou em processo de regeneração, com idade e interferência humana conhecidos.

2.2. Dados de Sensoriamento Remoto

Duas cenas da constelação de satélites RapidEye (ID 2332116 de 05/07/2010, e ID 2332216 de 13/07/2010) foram utilizadas neste estudo (Figura 2). As imagens foram adquiridas pelo Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais (IEF/MG), já corrigidas radiometricamente e geometricamente alinhadas para a projeção UTM (RAPIDEYE AG, 2012, nível de correção 3A). As imagens Rapideye possuem 5 metros de resolução espacial, têm uma resolução radiométrica



Figura 1: Fotografias aéreas do cerrado perto de uma torre de observação (a) e na configuração dos antigos talhões de eucaliptos (b).

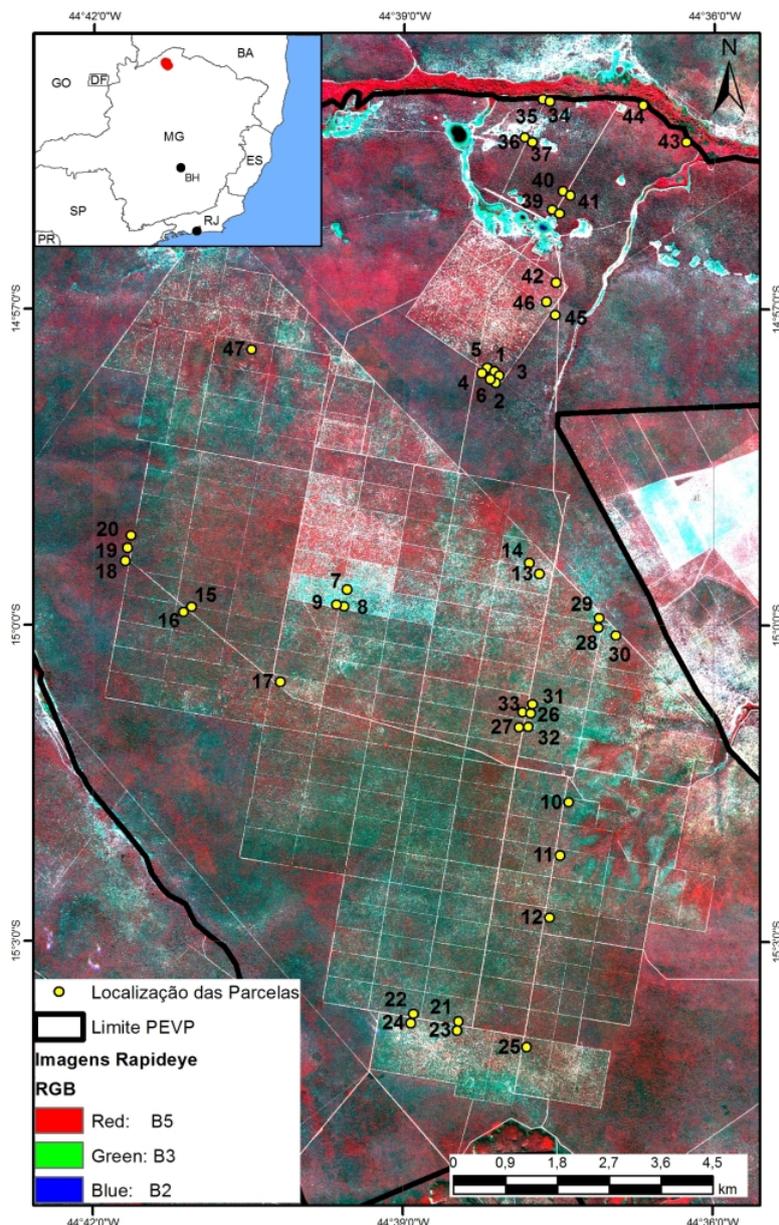


Figura 2: Localização da área de estudo e das parcelas amostradas em campo.

de 16 bits e cinco bandas espectrais: azul ($440 - 510\mu m$), verde ($520 - 590\mu m$), vermelho ($630 - 685\mu m$), red-edge ($690 - 730\mu m$) e infravermelho próximo ($760 - 850\mu m$). As duas cenas foram unidas e, em virtude da diferença de oito dias existente entre sua aquisição, os histogramas das bandas foram harmonizados para compatibilizar o contraste e brilho das duas imagens. Todas as bandas foram utilizadas no estudo, além da geração de uma imagem do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI).

2.3. Feições de textura

Cinco medidas de textura da matriz de coocorrência dos níveis de cinza foram utilizadas: o segundo momento angular (ASM), o contraste (CON), o momento da diferença inversa (IDM), a correlação (COR) e a entropia (ENT). Essas medidas de textura foram escolhidas baseado na experiência de outros autores (CONNERS; HARLOW, 1980; CLAUSI, 2000; MAILLARD, 2003). Como muitas destas medidas são correlacionadas entre si, este procedimento é considerado

normal. A análise de textura através da matriz de coocorrência requer que sejam escolhidas as medidas de textura, o tamanho da janela, a banda a ser utilizada, o nível de quantização e o componente espacial, que é a distância entre os pixels e o ângulo (HARALICK; SHANMUGAM; DINSTEIN, 1973).

O programa MACOOC (Matriz de Coocorrência dos Níveis de Cinza - ©Philippe Maillard, 2010) foi utilizado para calcular as feições de textura das imagens. A banda 3 (vermelho) da imagem Rapideye foi escolhida para calcular as medidas de textura, sua resolução radiométrica foi reduzida para 8 bits e um realce de histograma foi aplicado com o objetivo de aumentar as distâncias entre os elementos da matriz de coocorrência (MAILLARD, 2003). As imagens de textura foram geradas para os seguintes tamanhos de janela e distância, em todas as quatro direções (0°, 45°, 90° e 135°): janela de 11 x 11 e distância de 5 pixels, e janela de 9 x 9 e distância de 3 pixels. Os tamanhos de janela e distância foram escolhidas com base na variação dos diferentes estágios sucessionais identificados na área de estudo.

No total foram geradas 40 feições: 20 feições para janela de 11 x 11 e distância de 5 pixels, uma para cada direção para cada medida de textura; e 20 feições para janela de 9 x 9 e distância de 3 pixels. Em seguida foi calculada a média e o desvio padrão entre as quatro direções de cada medida de textura seguindo o procedimento proposto por Haralick, Shanmugam e Dinstein (1973). Esta metodologia assegura que a anisotropia seja considerada (desvio padrão), mas sem limitar o resultado a direções específicas.

2.4. Dados de campo e seleção dos polígonos amostrais

Pereira (2009) realizou o levantamento de 47 parcelas de 10 x 20 m no PEVP, aleatoriamente distribuídas, totalizando $9.400m^2$ de área amostrada, tanto nos antigos talhões de eucalipto, quanto nas áreas de vegetação que não sofreram interferência humana nos últimos 38 anos (Figura 2). Foram coletados nas parcelas dados de DAP (diâmetro à altura do peito), cobertura foliar, altura, área basal (m^2/ha), volume (m^3/ha) e a densidade absoluta (n/ha), e como resultado final foi calculada a média de cada uma das medidas para cada parcela levantada. A coleta dos dados de campo foi realizada nos períodos de 28 de maio a 06 de abril de 2007, 29 de setembro a 07 de outubro de 2007, 26 de abril a 04 de maio de 2008 e 27 de setembro a 04 de outubro de 2008 (PEREIRA, 2009). A autora também determinou a idade da vegetação na área de cada antigo talhão de eucalipto com base na técnica de subtração de imagens de NDVI, estabelecendo o período de plantio e corte de cada talhão e, conseqüentemente, o início do período de regeneração e a idade.

De posse da localização geográfica do ponto central de cada parcela, foi realizada amostragem, com polígonos de 20 x 40 m e 40 x 80 m, a fim de testar se o tamanho da parcela poderia influenciar nos resultados, além de garantir que as parcelas amostradas em campo de fato estivessem incluídas dentro dos polígonos selecionados. Em seguida foi realizada a extração das médias para cada um dos 47 polígonos em cada uma das 6 feições espectrais e 20 texturais utilizadas.

Para a variável idade, 3 parcelas foram excluídas (*outliers*) devido à ocorrência de dois incêndios que geraram grande degradação. E para a variável cobertura foliar 6 parcelas foram excluídas, haja vista que a informação não foi levantada em campo.

2.5. Modelagem Estatística

Foram geradas duas tabelas, uma para os dados com os polígonos de 20 x 40 m e outra para os de 40 x 80 m, cada uma com dados de medidas estruturais da vegetação, a idade e os valores médios das parcelas para cada uma das 26 feições espectrais (5 bandas e o NDVI) e texturais (10 feições de média e 10 de desvio padrão) utilizadas. O método de análise de regressão

múltipla foi utilizado para analisar conjuntamente a relação existente entre as variáveis. O método *Stepwise* serviu para selecionar o melhor conjunto de variáveis para explicar a idade da vegetação e suas características estruturais e gerar modelos de inversão matemática. Esse método seleciona variáveis para inclusão no modelo de regressão à medida que seus coeficientes de correlação parcial são estatisticamente significantes, podendo também eliminar variáveis independentes, se seu poder preditivo cair para um nível não significativo quando outra variável independente for acrescentada ao modelo (HAIR et al., 2005). Para que as variáveis fizessem parte da equação, a significância da correlação deveria ser maior que 95%.

3. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos na análise estatística dos polígonos de 20 x 40 m foram todos inferiores aos de 40 x 80 m, portanto apenas estes últimos são apresentados. Os polígonos de 40 x 80 m incluíram um total 128 pixels para cada uma das parcelas medidas em campo (ou 8 x 16 pixels), sendo configurados como um tamanho de amostra mais adequado.

Os modelos estatísticos gerados através do método *Stepwise* indicam quais feições espectrais e de textura melhor explicam a idade e as características estruturais da vegetação do cerrado na área do PEVP (Tabela 1). O modelo gerado para prever a variável idade da vegetação é apresentado na Equação 1.

$$\begin{aligned} Idade = & 156.219 + 0.06b_2 - 288.01ndvi - 0.141b_3 + 0.041b_4 \\ & + 0.032\mu_{con_w11_d5} - 0.025\mu_{con_w9_d3} - 0.023\sigma_{con_w11_d5} \\ & - 0.014\sigma_{asm_w9_d3} - 0.011\sigma_{idm_w9_d3} \end{aligned} \quad (1)$$

A união de feições espectrais e de textura gerou um modelo de estimativa da idade da vegetação do cerrado com coeficiente de determinação de 80,05% e coeficiente de determinação ajustado de 75,3%. Todas as bandas da imagem RapidEye foram introduzidas no modelo, à exceção da banda 5, introduzida indiretamente através do NDVI, além das medidas de textura: contraste, segundo momento angular e momento inverso da diferença. A análise de regressão múltipla realizada por Pereira (2009), utilizando os mesmos dados de campo e dados do Landsat 7 / ETM+, encontrou a melhor equação para estimativa da idade da vegetação utilizando as bandas 1, 4 e 5 do Landsat 7 / ETM+, com $R_a^2 = 0,608$. Portanto, para estimativa da idade da vegetação do cerrado, a união de feições espectrais e de textura dos dados RapidEye

Tabela 1: Resultados das regressões e feições espectrais e texturais incluídas nos modelos.

Variável	R_a^2	Feições
Idade*	0,753	b1, b2, b3, b4, ndvi, $\mu_{con_w11_d5}$, $\mu_{con_w9_d3}$, $\sigma_{con_w11_d5}$, $\sigma_{asm_w9_d3}$, $\sigma_{idm_w9_d3}$
Cobertura foliar**	0,485	b1, b3, ndvi, $\mu_{asm_w9_d3}$, $\mu_{cor_w9_d3}$, $\sigma_{asm_w9_d3}$, $\sigma_{ent_w9_d3}$
Altura	0,429	b4, $\mu_{cor_w11_d5}$, $\mu_{idm_w9_d3}$, $\sigma_{con_w11_d5}$
DAP	0,321	b1, ndvi, $\mu_{con_w11_d5}$, $\mu_{asm_w11_d5}$, $\mu_{asm_w9_d3}$, $\sigma_{con_w11_d5}$, $\sigma_{ent_w9_d3}$, $\sigma_{idm_w9_d3}$
Volume	0,259	b3, b4, $\sigma_{con_w11_d5}$, $\sigma_{con_w9_d3}$
Densidade	0,114	b1, $\sigma_{con_w11_d5}$
Área basal	0,094	$\sigma_{con_w11_d5}$, $\sigma_{con_w9_d3}$

Número de amostras N= 47. * N = 44. ** N = 41. Coeficientes de determinação ajustado (R_a^2) com teste $p < 0,05$. Onde: μ = média, σ = desvio padrão, w = janela, d = distância, asm = segundo momento angular, con = contraste, cor = correlação, ent = entropia, idm = momento da diferença inversa.

trouxe um incremento de mais de 15% no poder preditivo do modelo. Este aprimoramento se explica principalmente pela resolução mais fina das imagens RapidEye que permite uma melhor separação das copas de árvores e, conseqüentemente, permite que as sombras que as árvores projetam umas sobre as outras tenham uma influência suficiente sobre os pixels de 5 m para gerar um padrão de textura visual identificável. Com a idade maior de regeneração (até que um certo clímax seja atingido) a diferença de taxa de crescimento das diversas espécies de árvores causa diferenças também na altura e tamanho das copas das árvores. Essas diferenças resultam em uma textura mais grosseira e com mais contraste que se reflete na heterogeneidade maior dentro das janelas de análise e, conseqüentemente, na matriz de coocorrência.

Essa combinação também trouxe resultados moderados para estimativa da cobertura foliar e da altura da vegetação do cerrado, com $R_a^2 = 0,485$ e $R_a^2 = 0,429$, respectivamente. É notável que todas estas variáveis são interligadas, mas não necessariamente fortemente correlacionadas. No estudo de Pereira (2009) nenhum modelo gerado foi capaz de explicar completa ou parcialmente as variáveis estruturais da vegetação do cerrado. Isso demonstra a utilidade que dados com maior resolução espacial e a utilização de feições de textura podem trazer para melhoria das estimativas de características biofísicas da vegetação.

Não foi observada nenhuma tendência para medidas de textura, pois todas as 5 medidas foram incluídas nos três melhores modelos (idade, cobertura foliar e altura). Em particular, é também a distância entre os pares de pixel que permite a identificação dos padrões de textura. Distâncias maiores são recomendadas para objetos maiores. Como o tamanho das copas das árvores de cerrado é bastante variável (entre 1 e 5 m aproximadamente) o uso das distâncias de 3 e 5 pixels (*pixel lag*) garante uma melhor abrangência de texturas.

As demais medidas estruturais da vegetação (DAP, volume, densidade e área basal) não apresentaram altos coeficientes de determinação devido à fraca relação entre as variáveis. Esses resultados são compatíveis com os encontrados por Pereira (2009).

De todas as bandas espectrais, apenas a banda 5 não foi incluída diretamente em nenhum modelo, apenas indiretamente através do NDVI. Comparando os resultados com os obtidos por Pereira (2009), a faixa do IVP teve grande influência no modelo preditivo para a variável idade. A diferença na faixa do IVP imageada pelos satélites RapidEye (760 – 850 μm) pode ter influência nesse comportamento, deixando de incorporar informações importantes quando comparada à faixa do IVP imageada pelo Landsat 7 / ETM+ (760 – 900 μm).

O modelo de idade da regeneração da vegetação apresentado na Equação 1 foi invertido, com intuito de gerar um mapa da idade da regeneração na região do PEVP. A fim de suavizar a imagem resultante, um filtro de mediana 11 x 11 foi aplicado (Figura 3).

Na Figura 3 é possível observar que dentro dos antigos talhões a idade da vegetação é mais jovem, em volta deles, aonde a vegetação é mais antiga, a idade é maior que 35 anos, apresentando, portanto, um resultado condizente com o conhecimento de campo. O modelo gerado é válido apenas para áreas classificadas como cerrado senso restrito e cerradão, uma vez que o modelo foi construído para essas duas fitofisionomias, sendo necessário excluir da análise as áreas que não são cerrado ou da subformação veredas, devendo as áreas úmidas serem tratadas de forma diferenciada.

4. Conclusões

Este estudo demonstrou que a utilização de dados de sensoriamento remoto com maior resolução espacial e o incremento de feições de textura foram capazes de melhorar significativamente as estimativas para idade encontradas nos estudos conduzidos por Pereira (2009), e ainda gerar modelos significativos para estimativa da cobertura foliar e da altura da vegetação do cerrado nas subformações cerrado senso restrito e cerradão, em diferentes estágios

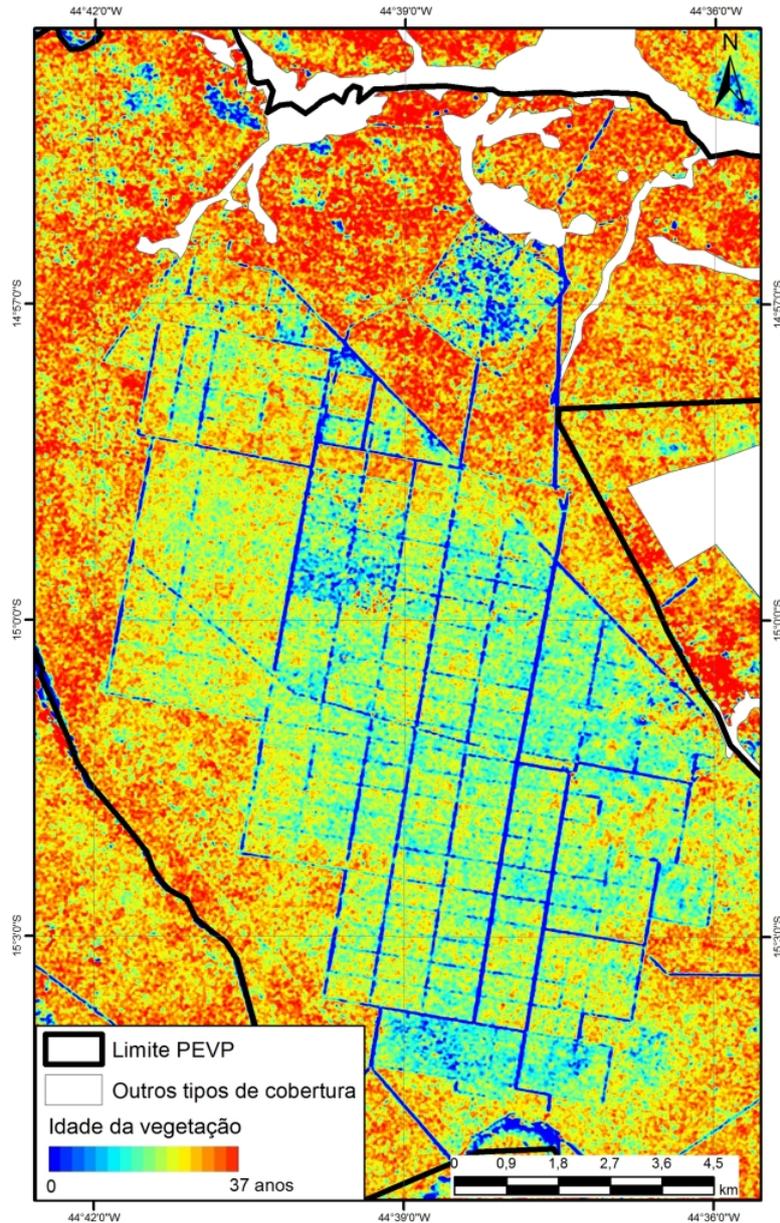


Figura 3: Mapa de idade da vegetação do PEVP e do seu entorno. As áreas de veredas, lâminas d'água e outros tipos de cobertura do solo foram excluídos do mapa.

sucessionais.

A utilização de dados com datas compatíveis tenderia a melhorar ainda mais os resultados, tendo em vista a defasagem temporal de dois a três anos entre a coleta dos dados de campo e as imagens RapidEye. A maior parte da área estudada é formada por fragmentos vegetacionais em regeneração, logo, essa diferença temporal pode ser suficiente para que processos naturais de desenvolvimento das plantas ou até mesmo aspectos fenológicos influenciassem nos modelos (SILVA, 2011).

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais (IEF-MG) pela cessão das imagens RapidEye e à Priscilla de Souza Costa da Costa Pereira pela cessão dos dados levantados em campo.

Referências

- CLAUSI, D. A. Comparison and fusion of co-occurrence, Gabor and MRF texture features for classification of SAR sea-ice imagery. *Atmosphere-Ocean*, v. 39, n. 3, p. 183–194, 2000.
- CONNERS, R. W.; HARLOW, C. A. A theoretical comparison of texture algorithms. *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, v. 2, n. 5, p. 204–221, 1980.
- HAIR, J. F. et al. *Análise Multivariada de Dados*. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- HARALICK, R. M.; SHANMUGAM, K.; DINSTEN, I. Textural features for image classification. *IEEE Trans. Sys. Man Cybern.*, v. 3, p. 610–621, 1973.
- JENSEN, J. R. *Introductory Digital Image Processing*. 3rd. ed. [S.l.]: Pearson Prentice Hall, New Jersey. 526 p., 2005.
- JOHANSEN, K.; PHINN, S. Mapping structural parameters and species composition of riparian using IKONOS and Landsat ETM+ data in Australian tropical savannahs. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 72, n. 1, p. 71–80, 2006.
- MAILLARD, P. Comparing texture analysis methods through classification. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 69, n. 4, p. 357–367, 2003.
- MAILLARD, P.; PEREIRA, P. S. C. Estimating the age of cerrado regeneration using Landsat TM data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, v. 36, n. S2, p. 243–256, 2010.
- PEREIRA, P. S. C. *Análise Multitemporal do Comportamento Estrutura e Espectral da Regeneração do Cerrado sensu-stricto*. [S.l.]: Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 74 p., 2009.
- RAPIDEYE AG. *Satellite Imagery Product Specifications*. [S.l.]: Disponível em: <<http://www.rapideye.com>>. Acesso em: 20.jun, 2012.
- SANO, E. E. et al. *Mapeamento de cobertura vegetal do bioma Cerrado: estratégias e resultados*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007.
- SILVA, T. A. *Proposta metodológica para delimitação e estimativa da estrutura da mata ribeirinha a partir de imagens de alta resolução*. [S.l.]: Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 236 p., 2011.
- WULDER, M. Optical remote-sensing techniques for the assessment of forest inventory and biophysical parameters. *Progress in Physical Geography*, v. 22, n. 4, p. 449–476, 1998.