

Padrões temporais da cobertura da terra do alto curso da bacia hidrográfica do Rio Preto (DF/GO)

Renato Ferreira Sousa ¹
Glauber das Neves ¹
Antonio Felipe Couto Junior ¹

¹ Universidade de Brasília campus Planaltina
Caixa Postal 73.345-010 - Planaltina - DF, Brasil
rfs.unb@hotmail.com; glauber.unb@gmail.com; afcj@unb.br.

Abstract. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) provides daily information that allow understanding and model the Earth's dynamics and processes. The spatial and temporal patterns of the land cover distinguish the anthropogenic and natural formations, and subsidize the land planning, especially in the tropical region. In the tropics, the Cerrado biome represents high landscape complexity and also high agricultural use. The objective of this work was to characterize the temporal patterns of natural and anthropogenic covers in the upper course of the Rio Preto basin. We used NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) time series from MOD13 product, between the 2000 and 2010. The noise attenuation procedures followed the steps: (a) applying a filter medium mobile and (b) separation of the fraction of the signal processing Minimum noise fraction (FMR) and (c) restitution of NDVI data using the fraction of signal. In relation to anthropogenic covers the results indicated: (a) the agriculture areas had higher absolute variation (0.562) in its agricultural use; (b) the urban area showed little variation (0.386); (c) pasture presented the slightest change in his NDVI (0.353). We concluded that the MODIS time series provided comprehension about land use patterns and dynamics considering the biophysical information and should be used in future land use planning.

Palavras-chave: cerrado, cobertura da terra, MODIS, NDVI, land cover.

1. Introdução

A caracterização dos padrões sazonais de sua cobertura apresenta-se como importantes subsídios para a análise das modificações ecossistêmicas, especialmente devido à sua complexidade natural (Singh, 1989; Giri et al., 2005). Desta forma, as alternativas para o monitoramento das mudanças de cobertura vêm sendo desenvolvidas para compreender a capacidade de os sistemas biológicos suportarem as necessidades humanas (Vitousek *et. al.*, 1997).

Um dos principais avanços para esta linha de pesquisa foi o desenvolvimento de sensores orbitais com alta resolução temporal, como o sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), que impulsionou a geração de séries temporais contínuas da superfície terrestre (Huete et al., 2002).

Esse sensor proporcionou a geração de medições da variabilidade espacial e temporal da cobertura vegetal devido à sua capacidade de integração do comportamento espectral e a atividade fotossintética, por meio dos índices de vegetação. Com isso, essas séries temporais contínuas permitem uma descrição mais detalhada das variações sazonais da cobertura terrestre e fenologia da vegetação (Kang et al., 2003; Sakamoto et al., 2005; Zhang *et. al.*, 2003).

Contudo, a utilização dessas séries temporais está condicionada ao tratamento de dados contaminados com ruídos atmosféricos e instrumentais. Carvalho Junior et al. (2012) descreveram um procedimento metodológico simples e que proporciona a obtenção de assinaturas temporais da cobertura terrestre com a atenuação dos ruídos presentes nas séries temporais contínuas.

Este estudo foi desenvolvido na região central do Brasil, onde se encontra o domínio do Cerrado brasileiro, que vem sofrendo alterações de forma intensa desde 1970 (Galford et al., 2008). As principais modificações observadas nesse bioma mostram-se atreladas aos usos agropastoris recentes, tornando relevante a descrição de sua dinâmica de ocupação para a gestão de seus recursos naturais (Jenpson, 2005; Brannstrom, 2008).

Por isso, torna-se fundamental a caracterização dos padrões temporais das principais coberturas da terra (Couto Junior et al., 2011; Carvalho Junior et al., 2012). Esses conhecimentos contribuem a geração de mapeamentos de ocupação antrópica da cobertura da terra em função de padrões temporais dos parâmetros biofísicos da vegetação (Couto Junior et al., 2013c).

Considerando o potencial do emprego dos dados do sensor MODIS para a caracterização da cobertura da terra no Cerrado, o presente trabalho tem como objetivo realizar o tratamento de dados formulando uma biblioteca espectral para caracterização das coberturas naturais e antrópicas do alto curso da bacia hidrográfica do Rio Preto.

2. Área de estudo

O alto curso da bacia hidrográfica do Rio Preto está localizado na região central brasileira, localizada entre os paralelos 15° 29' e 16° 18' de latitude sul e os meridianos 47° 00' e 47° e 38' de longitude oeste (Figura 1). Essa bacia possui uma extensão de 2.147 km², sendo caracterizada por uma sazonalidade marcada com invernos secos (maio a setembro) e verões chuvosos (outubro a abril), característicos do bioma cerrado.

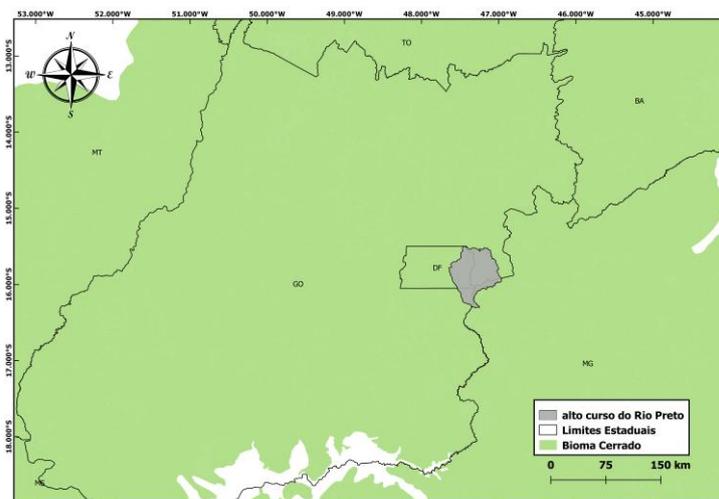


Figura 1 – Localização geral da área de estudo da região do alto curso da bacia hidrográfica do Rio Preto (DF/GO), inserido dentro do bioma cerrado, no planalto central brasileiro.

3. Materiais e Métodos

3.1. Organização dos dados orbitais do Sensor MODIS

Para confecção do trabalho foi usado o produto MOD13, disponibilizados pela *National Aeronautic Space Administration* (NASA), corresponde a uma composição de 16 dias, resolução espacial de 250 metros e intervalo temporal entre os anos 2000 e 2010. A geração de imagens é feita a partir da refletância diária de superfície (MOD09 - nível 2), corrigidos para o espalhamento molecular, absorção de ozônio e aerossóis (Vermote et al., 2002).

Neste trabalho foi utilizado o produto *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), com valores entre -1 a +1, conforme a densidade da vegetação, e possuindo o potencial de monitoramento da vegetação para a compreensão do meio ambiente (Weier e Herring, 2000). Esse índice é composto pela reflectância entre as faixas do visível e infravermelho próximo, de acordo com a seguinte expressão:

$$NDVI = (\mu_{IVP} - \mu_{Ver}) / (\mu_{IVP} + \mu_{Ver})$$

Onde μ_{IVP} são os valores de reflectância no infravermelho próximo e μ_{Ver} são representados pela reflectância na faixa do vermelho (Rouse *et. al.*, 1973).

Considerando que os dados de índices de vegetação são corregistrados, foi gerado um cubo temporal, onde X refere-se à longitude; Y, à latitude; e Z, aos valores do Índice de Vegetação (Carvalho Junior et al. 2012) (Figura 2).

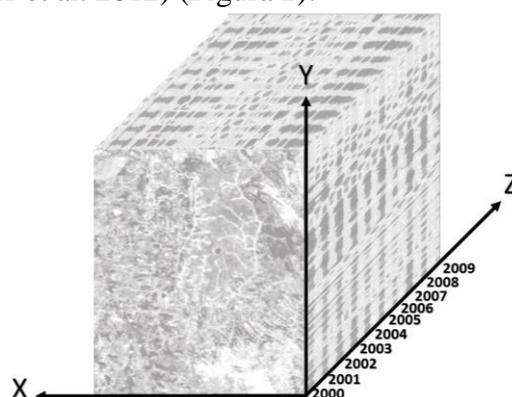


Figura 2 - Série temporal do sensor MODIS com imagens geradas a partir de uma sequência lógica crescente, no intervalo de 2000 a 2010. X representa a longitude; Y à latitude; e Z, os valores do Índice de Vegetação (Carvalho Junior et al., 2012).

3.2. Tratamento de ruídos da série temporal NDVI

Após a organização desses dados foram realizados tratamentos para a atenuação de ruídos, conforme procedimentos apresentados por Carvalho Junior et al. (2012):

- i. **Aplicação de um filtro móvel de mediana:** O filtro de mediana é um caso particular da $i^{\text{ésima}}$ ordem estatística de uma série de números reais, utilizando uma janela móvel sobre a assinatura temporal, organizando as observações em ordem crescente, gerando o valor central da janela por meio de operações não lineares simples.
- ii. **Separação da fração de sinal pela transformação da Fração Mínima de Ruído (FMR):** A Fração Mínima de Ruído (FMR) é uma transformação semelhante à Análise de Componentes Principais (ACP), sendo linear, porém, maximiza a razão sinal/ruído para o ordenamento das imagens, segundo sua qualidade (GREEN et al., 1988).
- iii. **Restituição dos dados para a escala original de NDVI:** Foi utilizada a transformação inversa FMR, que considera o ponto de inflexão dos autovalores e a qualidade das imagens. Essa transformação elimina a presença do ruído branco (não-correlacionados e com baixa variância), pois considera a fração sinal.

3.3. Caracterização temporal da cobertura da terra da base SIEG

O Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás (SIEG: <http://www.sieg.go.gov.br>) instituído pelo Decreto nº 6.019 de 07/10/2004, disponibiliza gratuitamente dados especializados com o intuito de integrar as áreas de produção de geoinformação dos órgãos estaduais, buscando o planejamento das atividades humanas e aprimoramento da gestão dos recursos naturais.

O SIEG realiza a correlação entre BDE-Goiás (Banco de Dados Estatísticos do Estado de Goiás) e o Sistema de Informações Geográficas. Dentre os dados disponibilizados, destaca-se os referentes aos usos e coberturas da terra, gerados por meio de caracterização local e disponibilizado na escala 1:250.000, no formato (shp, dbf e shx) e sistema coordenadas geodésicas SAD69 (*South American Datum 69*).

No presente trabalho, foram estudadas as classes inseridas em duas categorias de usos e cobertura da terra, de acordo com a base geoespacial SIEG:

- 1) Cobertura Natural: subdividida na classe Cerrado
- 2) Cobertura Antrópica: subdividida nas classes Área urbana, Agricultura e Pastagem

Essas classes foram utilizadas como máscara para a caracterização temporal dos valores de NDVI, visando obter o comportamento médio desse índice de vegetação dentro do intervalo de 10 anos, organizados em biblioteca temporal.

3.4. Séries temporais para a subdivisão da cobertura vegetal natural

De acordo com os dados disponibilizados pelo SIEG, a classe de cobertura natural foi classificada apenas como cerrado. Contudo, o emprego de imagens de alta resolução espacial, por meio da base de imagens disponibilizada pelo Google, evidencia a presença de subdivisões de coberturas vegetais naturais. Os comportamentos dessas formações vegetais podem ser caracterizados por meio das séries desenvolvidas neste trabalho.

Para isso, foram coletadas as assinaturas temporais (perfil Z) de trinta pontos referentes a cobertura natural da terra para a classe cerrado. As subdivisões foram feitas depois de análise visual e com base na proposta metodológica de Ribeiro e Walter (1998). Foram utilizadas as terminologias Formações Florestais, Savânicas e Campestre, para a coleta de dez pontos em cada, utilizando base de imagens de alta resolução do Google Earth ® (Figura 3).

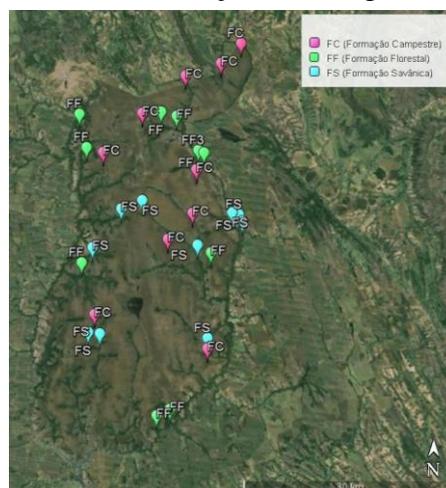


Figura 3. Marcação dos locais das assinaturas temporais (perfil Z) de 30 da cobertura natural da terra em ambiente de cerrado, sendo dez pontos para Formação Florestal, dez pontos para Formação Savânica e dez pontos para Formação Campestre. Imagem *Digital Globe* 2016.

4. Resultados e Discussões

4.1. Resultado do tratamento de ruídos da série temporal NDVI

Os resultados mostraram uma redução na presença de ruídos na comparação entre as séries temporais original e tratada dos grupos analisados no intervalo de 2000 a 2010 (Figura 4). O filtro de mediana reduziu os ruídos, principalmente nas áreas de agricultura e cerrado que possuem maiores variações em seus valores de NDVI.

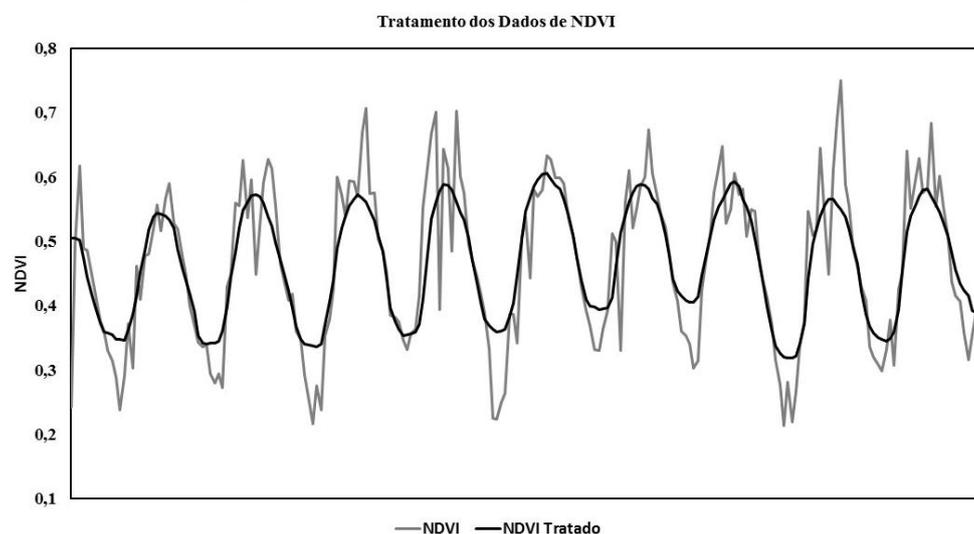


Figura 4. Tratamento dos dados das séries temporais originais (NDVI) e tratadas (NDVI Tratado).

O tratamento permitiu a confecção de uma série temporal tratada com valores suavizados, notados a partir da diferença entre os picos de elevação amostral dos dados originais e os tratados. Foi possível observar que os dados tratados possuem menor variação (0,0073) do que os dados originais (0,1500), evidenciando a eficiência do tratamento dos ruídos. Este processo permitiu uma melhora significativa na qualidade dos dados para melhor caracterização das áreas de uso e cobertura da terra.

4.2. Resultados da caracterização temporal da cobertura da terra da base SIEG

As áreas de agricultura apresentaram uma variação em seu índice de vegetação durante o período analisado de (0,786) a (0,224), os maiores valores de NDVI estão entre (0,759) a (0,786) encontrados nos meses de dezembro a março, nos anos de 2002-2004 e 2007-2009. Os menores valores de NDVI encontrados entre (0,224) a (0,303) foram nos meses junho a setembro entre os anos de 2000-2002 e 2004-2007.

Em áreas de pastagem o NDVI apresentou uma variação semelhante com as áreas de agricultura, com valor máximo (0,640) e valor mínimo (0,287). Os maiores valores de NDVI, entre (0,617) a (0,640) foram encontrados nos meses de janeiro a abril nos anos de 2004-2007 e 2008-2009. Os menores valores do índice de vegetação entre (0,287) a (0,321) foram encontrados nos meses de julho a outubro, nos anos de 2000, 2002-2003 e 2007-2008.

A área urbana apresentou valores de NDVI que variam entre (0,574) a (0,188), sendo que maiores valores de vegetação fotossinteticamente ativa (0,541) a (0,574) foram encontrados nos meses de janeiro a março, nos anos de 2002-2004 e 2008-2009 e os menores de valores (0,188) a (0,215) indicando a vegetação fotossinteticamente não ativa foram encontrados nos meses de julho, agosto e setembro, nos anos de 2001-2000 e 2007.

Para a vegetação de cerrado, os valores de NDVI variam entre (0,878) e (0,256). Os maiores valores de NDVI foram (0,579) a (0,878), esses valores foram encontrados nos meses de janeiro a fevereiro, nos anos de 2003-2004 e 2007-2008. Os menores valores (0,256) a (0,276), encontrados nos meses de agosto a setembro, nos anos de 2002-2003 e 2007.

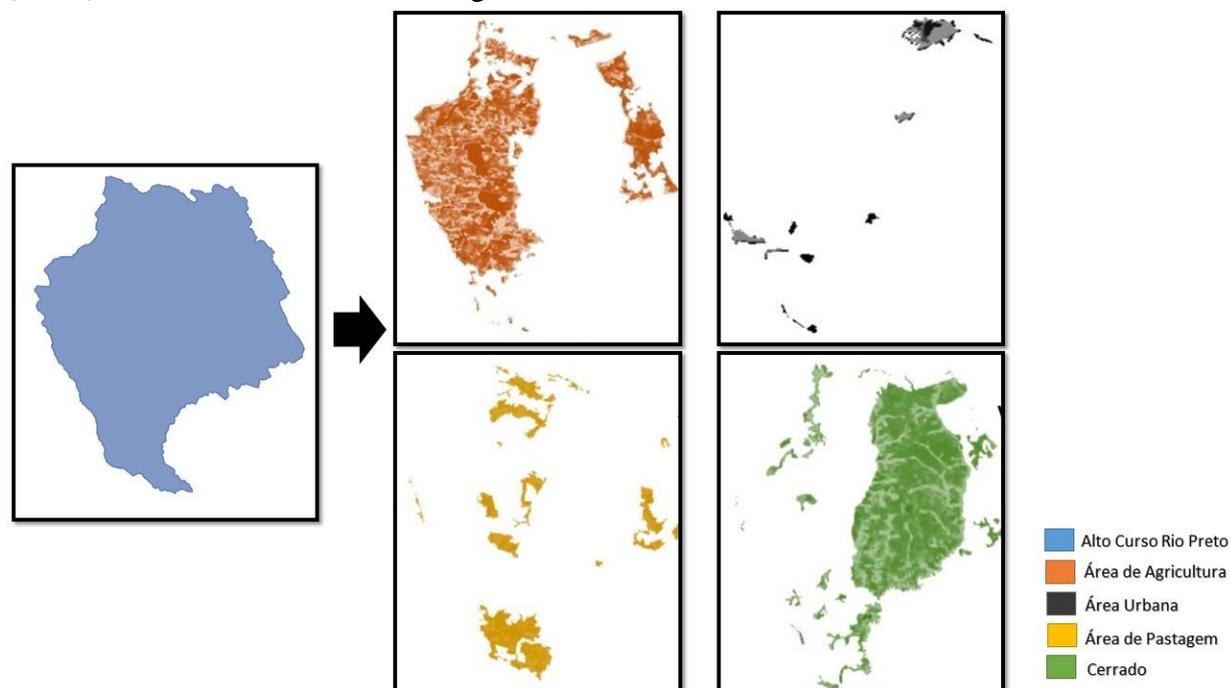


Figura 5. Divisão do alto curso da bacia hidrográfica do Rio Preto em áreas conforme classificação do uso da terra da base SIEG (2000-2010).

As áreas naturais de cerrado apresentaram maior variação absoluta de NDVI (0,622) evidenciado pela diferenciação entre os períodos de seca e chuva e a proporção de vegetação fotossinteticamente ativa e não ativa no alto curso da hidrográfica do Rio Preto. As áreas antrópicas representadas por área de agricultura, urbana e de pastagem apresentaram relativa variação de NDVI evidenciados pelo uso agrícola do alto da bacia, pelo desenvolvimento de sua área urbana consolidada e pela baixa reflectância espectral.

4.3. Resultados das séries temporais para a subdivisão da cobertura vegetal natural

Com base nos dados referentes a coleta dos pontos foi possível o comportamento sazonal das Formações Florestais, Savânicas e Campestres, por meio da subdivisão da cobertura vegetal, tendo como referência o campo de instrução militar da cidade de Formosa-GO.

Em relação as formações naturais com base nos pontos coletados os valores de NDVI variaram conforme cada tipo de fitofisionomia. Para Formação Florestal as maiores classes de valores das séries temporais estavam entre (0,878) e (0,818), evidenciado pela predominância de espécies arbóreas com dossel contínuo com maior reflectância.

Na formação savânica os valores de NDVI entre (0,695) e (0,631), evidenciam a presença vegetação arbórea e arbustiva sem a presença de dossel contínuo, com árvores concentradas em locais específicos. Para a Formação Campestre foi observado os maiores valores de NDVI entre (0,576) e (0,523), evidenciado pela presença de arbustos com espécies menos desenvolvidas (Figura 6).

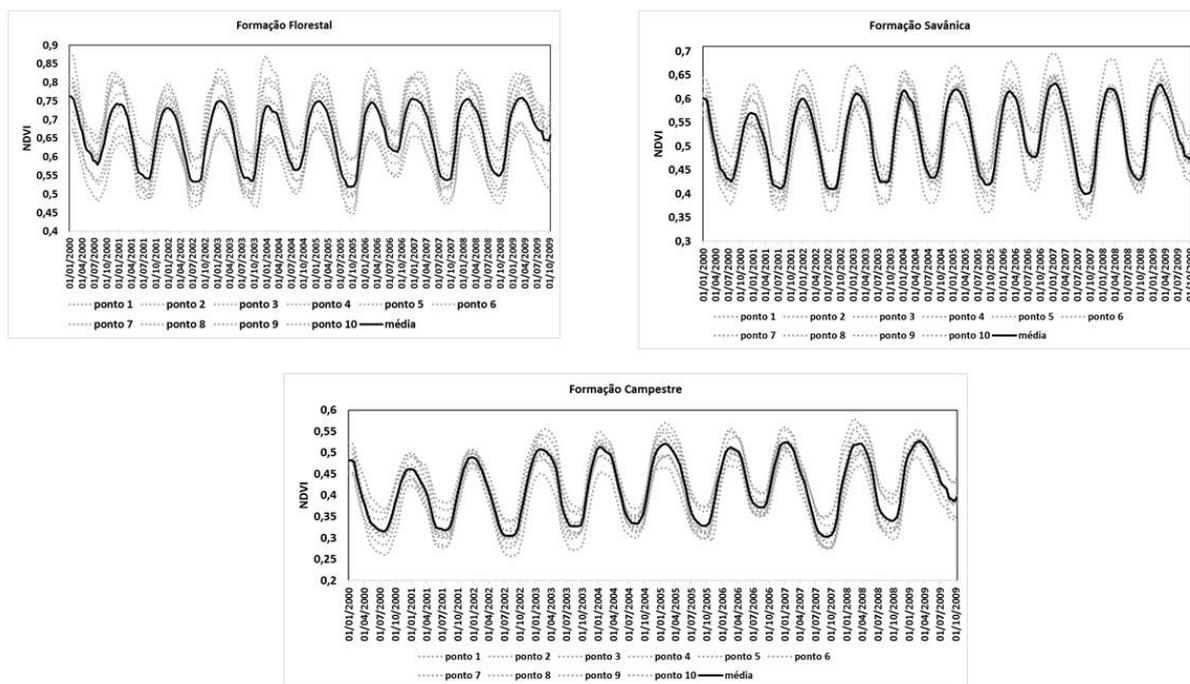


Figura 6. Média do comportamento das assinaturas temporais (perfil Z) das Formações Florestal, Savânica e Campestre coletado no alto curso da bacia hidrográfica do Rio Preto. Foram coletados trinta pontos e usado a ferramenta de aproximação do *software* Google Earth para verificação do tipo de fitofisionomia.

5. Conclusão

Os perfis temporais permitiram evidenciar os comportamentos dos índices de vegetação em relação as áreas estudadas. A aplicação do filtro de mediana e a transformação inversa da fração mínima de ruído (FMR) proporcionou ganhos significativos na determinação do comportamento temporal nas áreas estudadas de forma simples e objetiva. Nas coberturas antrópicas a área de agricultura teve maior variação de seu conteúdo de biomassa. Nas coberturas naturais de cerrado a Formação Florestal apresentou maior índice de vegetação no período analisado. Por meio da abordagem multitemporal com o sensor MODIS foi possível mapear e descrever a dinâmica da vegetação no alto curso do Rio Preto.

Referências Bibliográficas

- Brannstrom, C.; Jenpson, W.; Filippi, A.M.; Redo, D; Xu, Z.; Ganesh, S. Land change in the Brazilian savanna (Cerrado), 1986-2002: comparative analysis and implication for land-use policy. **Land Use Policy**, v.25, p.579-595, 2008.
- Carvalho Junior, O.A.; Hermuche, P.M.; Guimarães, R.F. Identificação regional da floresta estacional decídua na bacia do rio Paraná a partir da análise multitemporal de imagens MODIS. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.24, n.3, p.319-332, 2006.
- Carvalho Junior, O.A. Combining noise-adjusted principal components transform and median filter techniques for denoising MODIS temporal signatures. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.30, n.2, p.147-157, 2012.
- Couto Junior, A.F. et al. Tratamento de ruído e caracterização de fisionomias do Cerrado utilizando séries temporais do sensor MODIS. **Revista Árvore**, v.35, n. 3, p.699-705, 2011.
- Couto Junior, A.F., Carvalho Junior, O.A.; Martins, E.S. Séries temporais MODIS aplicadas em sucessão de culturas de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) e Milho *Zea mays* L.) em sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.64; n.3, p.405-418, 2012.

- Couto Junior, A.F.; Carvalho Junior, O.A.; Martins, E.S. Séries temporais de NDVI, EVI e NDWI do sensor MODIS para a caracterização fenológica do algodão. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.65,n.1, p.199-210, 2013a.
- Couto Junior, A.F.; Carvalho Junior, O.A.; Martins, E.S.; Guerra, A.F. Phenological characterization of coffee crop (*Coffea arabica* L.) from MODIS time series. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.31, n.4, p.569-578, 2013b.
- Couto Junior, A.F.; Carvalho Junior, O.A.; Martins, E.S. Characterization of the agriculture occupation in the Cerrado biome using MODIS time series. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.31,n3, p.393-402, 2013.
- Galford, G. Mustard, J.F.; Melillo, J.; Gendrin, A.; Cerri, C.C.; Cerri, C.E.P. Wavelet analysis of MODIS time series to detect expansion and intensification of row-crop agriculture in Brazil. **Remote Sensing of Environment**, v.112, 576-587, 2008.
- Giri, C.; Zhu, Z.; Reed, B. A comparative analysis of the Global Land Cover 2000 and MODIS land cover data sets. **Remote Sensing of Environment**, v.94, p.123-132, 2005.
- Jenpson, W. A disappearing biome? Reconsidering land-cover change in the Brazilian savanna. **The Geographical Journal**, v.171, n.2, p.99-111, 2005.
- Huete A. Monitoring vegetation phenology using MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v.84, p.471-475, 2003.
- Kang S, Running SW, Lim J, Zhao M, Park C & Loehman R. 2003. A regional phenology model for detecting onset of greenness in temperate mixed forests, Korea: An application of MODIS leaf area index. **Remote Sensing of Environment**, v.86, p.232-242, 2005.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Shell, J. A., & Deering, D. W. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS-1. **Third Earth Resources Technology Satellite Symposium** (pp. 309-317). Washington D.C.: Goddard Space Flight Center.
- Ribeiro J.F.; Walter, B.M.T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S.M. **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. Cap. 6, p.151-212.
- Sakamoto T, Yokozawa M, Toritani H, Shibayama M, Ishitsuka N & Ohno Ha. Crop detection method using time-series MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v.96, p.366-374, 2005.
- Silva, F.; Fariñas, M.R.; Felfili, J.M.; Klink, C.A. Spatial heterogeneity, land use and conservation in the Cerrado region of Brazil. **Journal of Biogeography**, v.33, p.536-548, 2006.
- Singh, A. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. **International Journal of Remote Sensing**, v.10, p. 89-1003, 1989.
- SISTEMA ESTADUAL DE GEOINFORMAÇÃO. Governo do Estado de Goiás, uso do solo. Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br/>. Acessado em: abril. 2016.
- Verbug, P. Landscape level analysis of the spatial and temporal complexity of land-use change. In: Defries, R.; Asner, G.; Houghton, R. **Ecosystems and Land Use Change**. 2004. p. 217-230.
- Vermote E, El Saleous N, & Justice C. Atmospheric correction of the MODIS data in the visible to middle infrared: First results. **Remote Sensing of Environment**, v.83, n.1-2, p.97-111, 2002.
- Vitousek, P.M., Mooney H.; Lubchenco, J.; Melillo, J.M. Human domination of Earth's ecosystems. **Science**, v.277, p.494-499, 1997.
- Zhang X, Friedl Ma, Strahler Ah, Hodges JCF, Gao F, Reed BC & Huete A. Monitoring vegetation phenology using MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v.84, p.471-475, 2003.
- Weier, John; Herring, David. Measuring Vegetation (NDVI & EVI). Earth Observatory. National Aeronautic Space Administration (NASA), 2000. Disponível em: http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_1.php. Acessado em: Abril, 2016.