

## ANÁLISE DE PERSISTÊNCIA DE VALORES NDVI USANDO IMAGENS MODIS NA BACIA DO ITAPEMIRIM/ES

*Fernanda França Ferreira<sup>1\*</sup> & Vitor Paiva Alcoforado Rebello<sup>2</sup> & Otto Corrêa Rotunno Filho<sup>3</sup>*

**Resumo** – A delimitação de padrões de evolução da paisagem de uma dada bacia hidrográfica é de grande importância como subsídio ao estudo do seu comportamento hidrológico e correspondentes vulnerabilidades em termos de qualidade e quantidade de água. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é analisar a persistência dos valores de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para a bacia do Rio Itapemirim. Foram usados dados do satélite MODIS/NASA (MOD13A2 e MOD13Q1) com série temporal de 2000 a 2016. Um algoritmo foi implementado, em que, primeiramente, há a análise de tendência do NDVI, inferindo se ele está aumentando ou diminuindo através de regressão linear dos dados ao longo do período definido como período inicial. Ao longo da série temporal, as tendências são recalculadas com incremento do dado do ano subsequente. São considerados persistentes locais onde os incrementos na série não alteram a tendência inicial. A análise foi realizada em duas resoluções espaciais diferentes (250 m e 1 km). A maior parcela da área analisada demonstrou persistência positiva, indicando tendência de aumento dos valores de NDVI. Áreas de persistência negativa são encontrados em maior frequência em regiões próximas às calhas dos rios, indicando que essas possam ser áreas com menores capacidades de resiliência da vegetação.

**Palavras-Chave** – **Modelagem da cobertura e uso do solo, NDVI, Análise de persistência.**

## PERSISTENCE ANALYSIS OF NDVI VALUES FROM MODIS IMAGES AT ITAPEMIRIM BASIN

**Abstract** – A delimitation of patterns of landscape evolution of a given river basin is of great importance as a subsidy to the study of its hydrological behavior and corresponding vulnerabilities in terms of water quality and quantity. In this sense, the objective of this work is to analyze the persistence of normalized difference vegetation index values (NDVI) for the Itapemirim river basin. We worked with MODIS / NASA satellite data (MOD13A2 and MOD13Q1) with time series from 2000 to 2016. An algorithm was implemented, where, firstly, a NDVI trend analysis was made, inferring whether it is increasing or decreasing through linear regression of the data over the period defined as the initial period. Throughout the time series, tendencies were recalculated with increase of the data of the subsequent year. A local is considered persistent if increments in the series do not change the initial trend. The study has considered two different spatial resolutions (250 m and 1 km). A greater portion of the analyzed area showed positive persistence, indicating a trend of increasing NDVI values. Negative areas of persistence are found more frequently in regions close to river channels, indicating that these are areas prone to lower vegetation resilience capacity.

**Keywords** – Land cover and land use modeling. NDVI, Persistence analysis

### INTRODUÇÃO

<sup>1</sup> Mestranda do Programa de Engenharia Civil, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, fernanda.f@poli.ufrj.br.

<sup>2</sup> Doutorando do Programa de Engenharia Civil, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. vitoralcoforado@gmail.com

<sup>3</sup> Professor Programa de Engenharia Civil, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. otto@coc.ufrj.br

\* Autor Correspondente

A dinâmica de mudança de uso e cobertura do solo possui impacto sistemático sobre o balanço de energia e o balanço hídrico de uma bacia, principalmente quando se trata de mudanças da cobertura vegetal (LANFREDI *et al.*, 2004).

No sentido de melhor entender as dinâmicas de mudança na cobertura vegetal, o sensoriamento remoto mostra-se ferramenta interessante para essa tarefa, proporcionando medidas consistentes e recorrentes em um conjunto de escalas espaciais. A detecção e a caracterização de mudanças é, muitas vezes, o primeiro passo na compreensão dos mecanismos e de identificação dos fatores que os causam (VERBESSELT *et al.*, 2010).

A alta resolução temporal do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) permite acompanhar as alterações da cobertura da Terra de forma quase contínua, além de ser imprescindível para a geração de imagens compostas temporais com menor interferência de nuvens, sombras e efeitos de aerossóis (VICTORIA *et al.*, 2009).

A relação entre índices de vegetação como o NDVI e biomassa está bem estabelecida; portanto, os índices são comumente usados para examinar mudanças inter e intraanuais na quantidade e na distribuição de biomassa verde (WAYLEN *et al.*, 2014).

Usando o NDVI como base para sua análise, LANFREDI *et al.* (2004) desenvolveram um algoritmo para analisar as persistências desses dados através da detecção de mudança de tendência nos valores de NDVI para cada píxel.

A análise de persistência é uma ferramenta que possibilita estudar a estabilidade da dinâmica de uma vegetação. Nesse trabalho, busca-se avaliar a persistência dos dados de NDVI obtidos através do satélite MODIS, com resolução espacial de 250m e 1 km na bacia do rio Itapemirim. Santo.

## ÁREA DE ESTUDO

A bacia do Itapemirim, representada na Figura 1, está localizada no sul do estado do Espírito Santo, e sua área de contribuição é de aproximadamente 5.919,5 km<sup>2</sup>. Abrange totalmente dez municípios (Alegre, Atílio Vivácqua, Cachoeiro de Itapemirim, Castelo, Conceição do Castelo, Ibitirama, Jerônimo Monteiro, Marataízes, Muniz Freire e Venda Nova do Imigrante) e parcialmente outros nove (Ibatiba, Iúna, Irupi, Muqui, Itapemirim, Marataízes, Presidente Kennedy, Vargem Alta e Laginha, sendo este último no estado de Minas Gerais).

A bacia hidrográfica do Itapemirim tem topografia acidentada. Mas as altitudes das serras só se acentuam quando se aproximam do contorno da bacia, especialmente ao longo dos divisores de oeste, onde se situa a serra do Caparaó. Nessa região, localiza-se o pico da Bandeira, que atinge a altitude de 2.890 m, e o pico do Norte, que é circundado por um conjunto de montanhas onde a altitude, frequentemente, ultrapassa a 1.000 m (IEMA, 2017).

Os solos dessa bacia oferecem diversas restrições de uso, uma vez que impedem a mecanização, são susceptíveis à erosão e têm baixa fertilidade natural. Percentualmente, duas formas de uso, totalizando 76%, predominam na região: a pastagem, que ocupa 48% da bacia, e o cultivo de café, com 28%. A cultura de café, no Espírito Santo, foi parcialmente tecnificada, com os agricultores adotando práticas de controle de erosão e fazendo uso de corretivos e fertilizantes (ANA, 2016).

Segundo (ANA, 2016), a exaustão dos recursos florestais que cobriam essa bacia é atribuída a três formas de uso, que se sucederam através dos tempos: a monocultura da cana-de-açúcar, o

cultivo do café e a atividade agropastoril. Agravando o problema da degradação ambiental, constata-se que essas atividades rurais foram desenvolvidas sem prévio estudo das aptidões agrícolas dos solos. Essa situação facilita sobremaneira o carreamento de solo para os cursos de água, que, aliado aos rejeitos das indústrias de mármore e granito da região, causam assoreamento e grande turbidez das águas do Itapemirim nas épocas de chuvas.

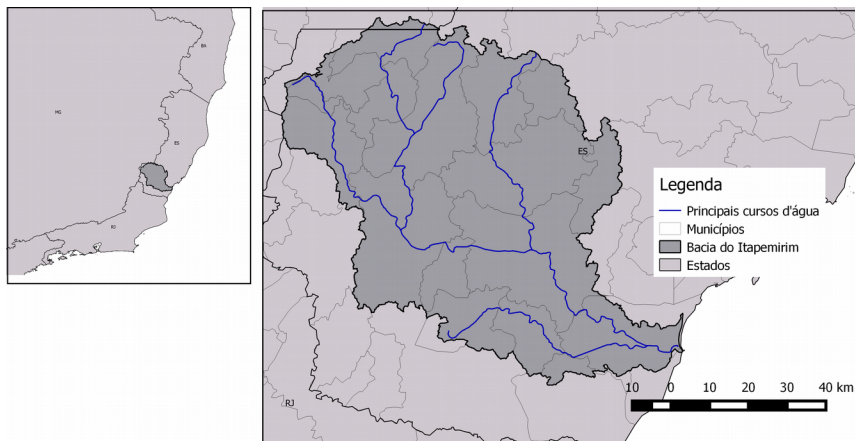


Figura 1: Localização da bacia do Itapemirim e seus principais cursos de água (Fonte de dados: IBGE, 2016)

As precipitações na bacia são variáveis ao longo de seu curso, sendo menores na faixa litorânea, entre 1.020 e 1.240 mm anuais, ocasionando déficit hídrico na região. Na região da serra do Caparaó, a precipitação aumenta, atingindo 1.570 mm anuais (JÚNIOR, 2014).

A Figura 2 mostra o mapa de relevo da bacia elaborado a partir de imagem SRTM 30 m, obtida pelo *EarthExplorer* da agência espacial americana NASA.

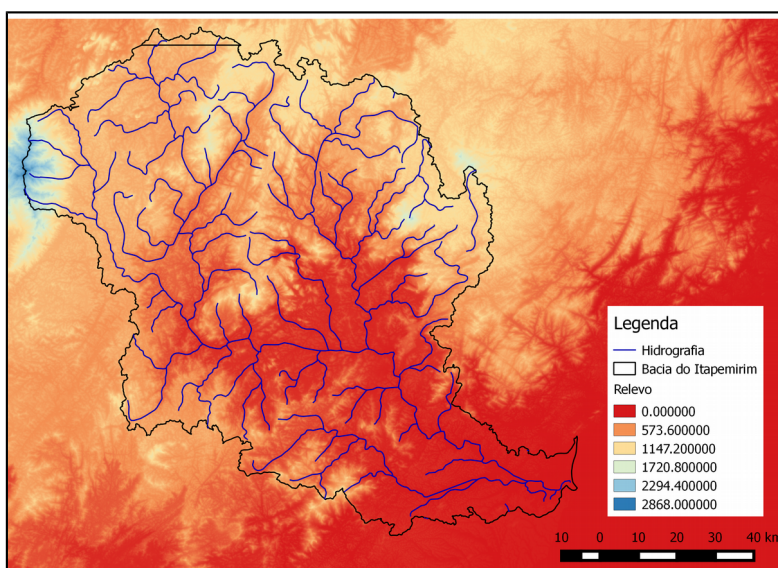


Figura 2: Mapa de relevo da bacia (Fonte de dados: SRTM/NASA)

## DADOS UTILIZADOS

Fora utilizados, neste trabalho, dados de sensoriamento remoto obtidos pelo sensor TERRA do satélite MODIS – produto MOD13A2, com resolução espacial de 1 km, e produto MOD13Q1, com resolução espacial de 250 m.

Os produtos MOD13A2 e MOD13Q1 (versão 6) fornecem o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em uma base discriminada por píxel. O algoritmo para esses produtos escolhe o melhor valor de píxel disponível de todas as aquisições realizadas ao longo do período de 16 dias. O critério utilizado é quantidade de nuvens baixa, baixo ângulo de visão e valor de NDVI mais alto, formando uma composição máxima de 16 dias (DIDAN *et al.*, 2015).

O NDVI é um índice de vegetação que resulta da combinação dos valores de refletância em dois intervalos de comprimento de onda, estando intimamente relacionado com a quantidade e o estado da vegetação em uma dada área da superfície terrestre. Com sensores como os do MODIS, é possível medir a intensidade da luz solar que incide na Terra, ao longo da faixa de comprimentos de onda que abrange o visível e o infravermelho próximo e a parcela dessa radiação que é refletida (DIDAN *et al.*, 2015).

As plantas verdes absorvem a maior parte da radiação incidente no comprimento do visível e refletem uma porção significativa no infravermelho próximo. Por outro lado, se a diferença entre a radiação refletida no infravermelho próximo e no visível for pequena, a vegetação é provavelmente esparsa, seca ou inexistente.

Os valores de NDVI de uma imagem variam de -1 a 1. Materiais que refletem mais intensamente na porção do vermelho em comparação com o infravermelho próximo (nuvens, água e neve) apresentam NDVI negativo. Solos descobertos e rochas refletem o vermelho e o infravermelho próximo quase na mesma intensidade, conseqüentemente, seu NDVI aproxima-se de zero. A vegetação está associada aos valores positivos de NDVI.

## **METODOLOGIA**

### **Preparação dos dados**

As séries de dados MODIS utilizadas foram de 2000 a 2016. Após, por meio do EarthExplorer/NASA, as imagens foram transformadas em formato Geotiff e recortadas para a área de estudo.

A fim de eliminar da análise de tendência as variações decorrentes da sazonalidade da vegetação que ocorrem dentro do ciclo anual, foram feitas composição de valores máximos anuais, resultando em uma imagem por ano. Vale ressaltar que as imagens do produto MODIS não necessitam de qualquer tipo de correção, pois já passaram previamente por correções atmosférica, geométrica e radiométrica (SOARES *et al.*, 2007) *apud* (BISPO, 2013).

### **Análise de Persistência**

A análise de persistência foi realizada, píxel a píxel, levando em consideração as mudanças nos valores de NDVI, ano a ano, mediante adaptação da metodologia proposta por LANFREDI *et al.* (2004).

Seja NDVI (x, y, t) o valor do índice em um dado ponto da área de estudo no tempo t. Valores diferentes de NDVI no mesmo tempo t existirão em função das diferenças de morfologia da superfície. Porém, ao longo da série temporal, os valores de NDVI (x, y) podem variar ao longo da série temporal. A análise de persistência pode mostrar a probabilidade de certo ponto continuar tendo suas características de valores de NDVI.

A primeira etapa na construção da análise de persistência foi a criação de um mapa de referência inicial – NDVI ( $x, y, 0$ ). A seguir, a série de valores de  $t$  é acrescentada. Para cada píxel da imagem ( $x, y$ ), foi feita uma regressão linear com os valores de NDVI em um intervalo de tempo, definido como período inicial  $[0, t_i]$ . A seguir, para cada ano posterior ao período inicial, o valor do NDVI é adicionado à série, e a regressão linear é novamente calculada. Se os dados inseridos não forem suficientes para alterar a tendência do período inicial, o píxel é classificado como persistente.

Esse tipo de análise não leva em consideração o quantitativo das mudanças no índice. Trata-se de uma ferramenta para apontar tendências negativas e positivas, e o tempo que essas tendências persistem. Apenas os sinais das tendências são analisados para o cálculo da persistência.

Chama-se aqui de  $s(x, y, t)$  a superfície de tendência. Ela é composta pelos sinais de tendência em um período  $[0, t]$  e é definida atribuindo o valor 1 aos píxeis ( $x, y$ ), onde uma tendência positiva é detectada no período, caso contrário o valor atribuído é de -1. Dessa forma, a superfície de tendência  $s(x, y, t)$  é uma matriz de dados de onde os valores são 1 e -1, dependendo se a tendência do NDVI é positiva ou negativa na série temporal.

No tempo inicial  $t = t_i$ , a superfície  $s(x, y, t_i)$  é construída. Progressivamente, os dados dos anos seguintes são adicionados, e a persistência é registrada no mapa de persistência  $P(x, y, t)$  que, por sua vez, é construído de acordo com a regra.

$$P(x, y, t_i) = s(x, y, t_i)$$

$$P(x, y, t) = \begin{cases} 0 & \text{if } s(x, y, t) \neq P(x, y, t-1) \\ P(x, y, t-1) & \text{if } s(x, y, t) = P(x, y, t-1) \end{cases}$$

$$t > t_i$$
(1)

Para a análise, faz-se a persistência acumulada no tempo de  $t_i$  a  $T$ .

$$P_{t_i}^T = \sum_{t=t_i}^T \square P(x, y, t)$$
(2)

Para cada píxel ( $x, y$ ), seu valor de  $P$  acumulado será uma indicação do número de anos durante os quais as flutuações interanuais não conseguiram alterar a tendência inicial, e seu sinal indica se a tendência era de aumentar ou diminuir o valor do NDVI. Dessa forma, uma tendência é considerada persistente se permanece com mesmo sinal do período inicial.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram produzidos em duas resoluções espaciais diferentes. A resolução com píxel de 1 km mostra uma visão mais geral da bacia. Nela, é possível reconhecer mais facilmente aglomerados de persistências positivas e negativas. Já o mapa de persistência com resolução de 250m apresenta valores mais dispersos, no entanto possibilita a análise de fenômenos mais locais.

A maior parte dos píxeis apresenta persistência longa e positiva. Uma comparação com o mapa de relevo permite observar que os valores de persistência positivas estão associadas às regiões mais altas da bacia. Análise de persistência de valores de NDVI realizada por (ARAUJO, 2016) na bacia do Piabanha (RJ), por exemplo, apontaram para uma relação de maiores persistências em áreas de maior altitude.

Os valores negativos de persistência representam áreas com vegetação mais instáveis que apresentam baixa capacidade de se reabilitar. As Figuras 3 e 4 mostram o mapa de persistência conjuntamente com o mapa hidrográfico da bacia. É possível relacionar os pontos de maior persistência negativa com áreas próximas às calhas dos rios. Essas áreas estão normalmente mais suscetíveis à erosão e a mudanças antrópicas por serem naturalmente mais planas e baixas.

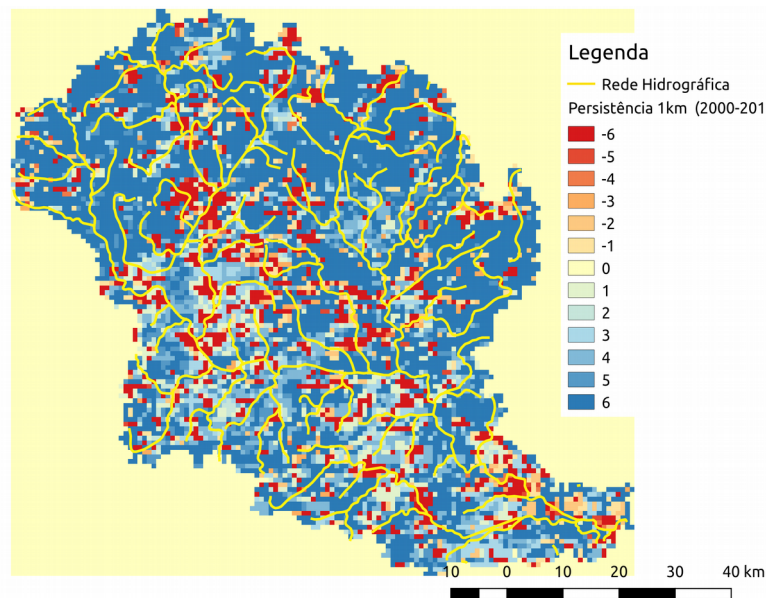


Figura 3: Análise de persistência para resolução espacial de 1 km e rede hidrográfica

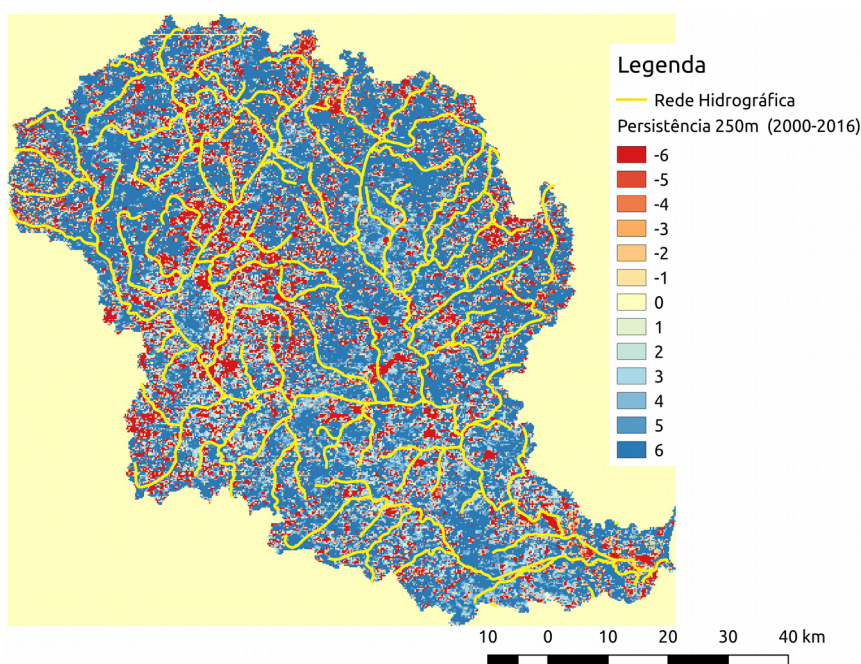


Figura 4: Análise de persistência para resolução espacial de 250m e rede hidrográfica

## CONCLUSÃO

O algoritmo aplicado possibilitou a avaliação das tendências do NDVI em aumentar ou diminuir a partir de condições de referência selecionadas por meio de ajustes lineares que cobrem períodos de tempo aumentado a uma taxa de 1 ano para a bacia do Itapemirim.

Foram encontrados valores de persistências negativas associadas as áreas próximas a calhas dos rios. Esses valores de persistência negativa podem estar ligados à baixa capacidade de resiliência da vegetação nesses locais. Por outro lado, maior parte da bacia possui persistência positiva, o que indica tendência positiva do NDVI, indicativo de regeneração da vegetação.

Considerando suas aplicabilidades, análise de persistência do NDVI pode fornecer informações importantes no apoio a órgãos locais de proteção ambiental no que diz respeito à identificação de áreas de risco assim como para avaliar a eficiência das estratégias de proteção.

## AGRADECIMENTOS

Inicialmente, os autores agradecem as bolsas de estudos de mestrado e de doutorado concedidas aos primeiros dois autores, respectivamente, ambas fornecidas pelo CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Agradecimentos são estendidos à FAPERJ, por meio dos projetos FAPERJ – Pensa Rio – Edital 34/2014 (2014-2017) – E-26/010.002980/2014 e FAPERJ No. E\_12/2015, bem como ao suporte oferecido pelo CNPq por meio do projeto Edital No. 12/2016 – Processo 306944/2016-2 e projeto Edital Universal No. 14/2013 – Processo 485136/2013-9.

## REFERÊNCIAS

ANA. Bacias Hidrográficas do Espírito Santo. Disponível em: [hidroweb.ana.gov.br/cd4/es.doc](http://hidroweb.ana.gov.br/cd4/es.doc). Acessado em: 18 de novembro de 2016.

ARAUJO, L. M. N. DE. IDENTIFICAÇÃO DE PADRÕES HIDROLÓGICOS DE PRECIPITAÇÃO E DE UMIDADE DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIABANHA. 2016.

DIDAN, K., MUNOZ, A. B., SOLANO, R., HUETE, A. MODIS Vegetation Index User's Guide (MOD13 Series). v. 2015, n. June, 2015.

GASPARINI, K. A. C. Regionalização de vazões para a bacia do rio Itapemirim. p. 78 f., 2014.

IBGE. Malha municipal 2015. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais.html>. Acessados em: 04 de dezembro de 2016.

IEMA Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://www.meioambiente.es.gov.br/default.asp>> Acesso em 20 de março de 2017

JÚNIOR, C. A. D. S. ANÁLISE REGIONAL DE FUNÇÕES HIDROLÓGICAS APLICÁVEIS À AVALIAÇÃO DE VAZÕES MÍNIMAS NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS ITAPEMIRIM E ITABAPOANA (ES). 2014.

LANFREDI, M.; SIMONIELLO, T.; MACCHIATO, M. Temporal persistence in vegetation cover changes observed from satellite: Development of an estimation procedure in the test site of the Mediterranean Italy. *Remote Sensing of Environment*, v. 93, n. 4, p. 565–576, 2004.

VERBESSELT, J. HYNDMAN, B., NEWNHAM G., CULVENOR, D.. Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. *Remote Sensing of Environment*, v. 114, n. 1, p. 106–115, 2010.

VICTORIA, C. FORTES, A., GREGO, R., Análise harmônica de séries temporais de imagens NDVI/MODIS para discriminação de coberturas vegetais. p. 1589–1596, 2009.

WAYLEN, P., SOUTHWORTH, J., GIBBES, C., TSAI, H., Time series analysis of land cover change: Developing statistical tools to determine significance of land cover changes in persistence analyses. *Remote Sensing*, v. 6, n. 5, p. 4473–4497, 2014.