



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Uso do Sensoriamento Remoto na Detecção de Mudança na Microrregião de Montes Claros/MG

César Vinícius Mendes Nery¹, Adriana Aparecida Moreira², Fernando Hiago Souza Fernandes³, Rodrigo Praes de Almeida⁴

¹ Engenheiro Agrônomo, Professor *M.Sc.* das Faculdades Santo Agostinho, Doutorando em Geografia, PUC-Minas, cvmn@hotmail.com; ²Engenheira Ambiental – Mestranda em Sensoriamento Remoto - UFRGS, moreiradriana00@gmail.com; ³Engenheiro Ambiental – Bolsista de Desenvolvimento Tecnológico Industrial do CNPq, hiagosf@hotmail.com; ⁴Engenheiro Ambiental - Mestrando em Produção Vegetal – UFMG, rpsax@hotmail.com.br

Artigo recebido em 24/12/2013 e aceito em 02/04/2014

RESUMO

O monitoramento das mudanças ambientais vem ganhando mais atenção mediante as pressões do desenvolvimento sustentável em bases ecologicamente corretas, visando o manejo dos ecossistemas e o envolvimento das comunidades inseridas. Neste contexto, a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto vem sendo bastante utilizadas para a avaliação das alterações ocorridas sobre a superfície terrestre, em virtude do baixo custo e rapidez dos resultados. O objetivo deste trabalho é a detecção de mudanças na microrregião de Montes Claros entre os anos de 2007 e 2012. A metodologia consistiu na técnica de ACP, utilizando 12 cenas anuais do índice EVI do sensor Modis. Realizou-se o fatiamento da CP2 e a classificação das imagens do ano de 2007 e 2012 por meio do algoritmo SVM. Posteriormente obteve-se uma matriz de tabulação cruzada, onde foi realizada a análise das mudanças ocorridas na área de estudo. Os resultados mostraram que as áreas de degradação 2 apontada pela ACP se concentram principalmente no municípios de Juramento, Francisco Sá, Glaucilândia, Montes Claros e Claro dos Poções. Ainda foi possível verificar que a classe pastagem apresentou um aumento perceptível durante o período analisado e em contrapartida a vegetação apresentou uma redução de área. Quanto aos ganhos e perdas foi possível verificar que a maior perda de área ocorreu na classe correspondente à vegetação com 5.471,85 Km², sendo perdidos 91,87% (5.027,15 Km²) para áreas de pastagens, 5,36% (293,39 Km²). Quanto aos resultados da acurácia dos mapeamentos elaborados, estes se mostraram qualificados para realização de análises ambientais.

Palavras-chave: Análise por Componente Principal, EVI, Matriz de Tabulação Cruzada.

Use of Remote Sensing Change Detection in the Microregion of Montes Claros/MG

ABSTRACT

The monitoring of environmental changes has been gaining more attention by the pressures of sustainable development on ecologically correct bases aiming at the ecosystem management and the involvement of the communities therein. In this context, the application of remote sensing has been widely used for the evaluation of changes on the Earth's surface, due to the low cost and promptness of results. The objective of this work is the detection of modifications occurred in the microregion of Montes Claros between the years 2007 and 2012. The methodology consisted of the ACP technique, by using 12 annual scenes from EVI index of a Modis sensor. Both the slicing of CP2 and the classification of images comprising the years from 2007 through 2012 were held by a SVM algorithm. Subsequently, a matrix of cross-tabulation was obtained, wherein the analysis of the changes in the studied area was performed. The results showed that the degradation of 2 areas pointed by the ACP were mainly concentrated in the municipalities of Juramento, Francisco Sá, Glaucilândia, Montes Claros and Claro dos Poções. In addition, it was possible to verify that pasture class reported a noticeable improvement over the analysis period whereas the vegetation class decreased in size. As for the gains and

losses, it was possible to verify that the largest area of loss occurred in the class vegetation, namely, 5.471,85 Km², of which 91,87% (5.027,15 km²) were lost for pasture areas, that is, 5,36% (293,39 Km²). As for the accuracy of the results of the mappings thereof elaborated, these were proved qualified for environmental analyses.

Keywords: Principal Component Analysis, EVI, Cross Tabulation Matrix.

* E-mail para correspondência:
cvmn@hotmail.com (Nery, C.V. M).

Introdução

Atualmente os produtos e técnicas de sensoriamento remoto empregados para o monitoramento ambiental de biomas, tais como o Cerrado, têm sido instrumentos de grande importância para a avaliação da conservação e degradação dos biomas brasileiros.

Os produtos do sensor MODIS (NDVI, EVI), por apresentar uma alta periodicidade e abrangendo áreas extensas, vem sendo amplamente utilizados pela comunidade científica para monitoramento ambiental. Uma das técnicas empregadas para a análise de mudança na cobertura vegetal é a Análise por Componente Principal (ACP), que consiste em reduzir o número de variáveis observadas em um conjunto de variáveis não correlacionadas, subsidiando informações para o entendimento da variabilidade e a estrutura de correlação dos dados observados com uma menor quantidade de variáveis não correlacionadas chamadas de componentes principais.

Esta técnica é muito utilizada para detecção de mudanças ocorridas na cobertura do solo devido às suas particularidades como técnica poderosa no realce de imagens, no entanto, o método apresenta uma limitação

principal, relacionado com sua capacidade de distinguir entre verdadeira mudança e variabilidade natural. Dessa forma, torna-se necessário o emprego de alguma técnica secundária, como a classificação digital de imagens, que complemente o estudo e forneça os dados necessários para uma análise de mudança na cobertura terrestre de uma dada localidade.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é a análise das mudanças ocorridas na paisagem da microrregião de Montes Claros entre os anos de 2007 e 2012 utilizando técnica de ACP e classificação digital de imagens, por meio do algoritmo Support Vector Machine (SVM), no qual se possa obter uma matriz de tabulação cruzada das mudanças apontadas pela ACP, subsidiando informações sobre as principais mudanças dessa microrregião, que se configura de grande importância para o Norte do Estado de Minas Gerais.

Fundamentação Teórica

Diante da problemática do desmatamento na região do Bioma Cerrado, o monitoramento da perda de cobertura florestal se torna importante no que diz respeito à obtenção de informações que subsidiem as tomadas de decisões que visam à proteção e conservação deste bioma. Uma das

alternativas para se obter tais informações, é o uso de técnicas de sensoriamento remoto que tratam os dados em uma escala espaço-temporal que satisfaz as premissas dos programas que visam a conservação da biodiversidade e proteção da mesma.

Para obter informações do sensoriamento remoto acerca das mudanças ocorridas na superfície terrestre, faz-se necessário a escolha de imagens que melhor atendam aos objetivos do usuário e uma técnica adequada para processá-las, que detectem mudanças na cobertura vegetal em uma escala temporal, viabilizando o monitoramento sistemático (SILVA, 2005).

Os dados provenientes do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), a bordo do satélite TERRA (EOS AM-1), possuem características que contribuem para melhorar a compreensão da dinâmica global e os processos que ocorrem na Terra. Esse sensor realiza observações de toda a superfície da terrestre com resolução temporal de 1 ou 2 dias, possui 36 bandas espectrais que se situam entre 0,4 a 14,4 μm e se distribuem em diferentes grupos de resolução espacial, variando o tamanho do pixel em terra de 250 a 1.000 metros para as várias bandas específicas (LIU, 2006).

O sensor MODIS disponibiliza uma variedade de pacotes de produtos, dentre eles o MOD13Q1 – Produto Índice de Vegetação dispõe de produtos que podem ser utilizados na análise do comportamento da vegetação.

Dentre os produtos disponibilizados gratuitamente por esse sensor, 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 *et al.*, 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).

O Enhanced Vegetation Index (EVI) 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 *et al.*, 2013). O EVI também usa a faixa azul para remover a contaminação atmosférica residual causado pelo fumo e sub-pixel finas nuvens (VERSTRAETE E PINTY, 1996).

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

$$EVI = G \frac{r_{p4} - r_{p3}}{r_{p4} + C_1 \times r_{p4} - C_2 \times r_{p1} + L} \quad (1)$$

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.

Dentre as técnicas utilizadas para o reconhecimento de alterações nos padrões característicos de determinado alvo em imagens multiespectrais e análises multitemporais destaca-se a análise por transformação por principais ou análise de componentes principais (ACP) (SANTOS *et al.*, 2001).

A análise de Componentes Principais é uma técnica estatística multivariada que possibilita uma análise de correlações de um conjunto de dados existentes em um determinado espaço amostral, sendo os dados primários convertidos para variáveis em outro conjunto: os Componentes Principais (CP) de dimensões equivalentes (GOMES e MALDONADO, 1998).

A transformação, em outro conjunto de variáveis, ocorre com a menor perda das características iniciais existentes, sendo que a (ACP), também permite eliminar as variáveis com menor correlação ou maior heterogeneidade, quando os dados apresentam pouca informação, normalmente, essas variáveis são apresentadas nas últimas CP, no entanto, essa redução de variáveis só será possível se as variáveis iniciais não forem independentes e possuírem coeficientes de correlação não-nulos (PRICHOA e RIBEIRO, 2013).

De um modo geral, as novas imagens terão as seguintes características: a primeira delas, chamada de CP1, Principal Componente (PC) irá conter a informação relativa a todas as bandas originais e a CP2 irá

conter a característica espectral mais significativa do conjunto e assim sucessivamente (OLIVEIRA e GAUSSELLI, 2013).

Em meio aos objetivos da análise de componentes principais esta técnica consiste basicamente em reduzir o número de variáveis observadas em um conjunto de variáveis não correlacionadas (WATRIN *et al.*, 1996), fornecendo ao pesquisador subsídios para entender a variabilidade e a estrutura de correlação dos dados observados com uma menor quantidade de variáveis não correlacionadas chamadas de componentes principais (GOMES e MALDONADO, 1998).

Apesar da sua característica principal de reduzir a dimensionalidade dos dados, a ACP tem motivado aplicações na área de recursos naturais e na detecção de mudanças ocorridas na cobertura do solo devido às suas particularidades como técnica poderosa no realce de imagens (WATRIN *et al.*, 1996). No entanto, o método apresenta um problema principal, relacionado com sua capacidade de distinguir entre verdadeira mudança e variabilidade natural (THIAM, 1997).

Para melhor análise das mudanças ocorridas em uma dada localidade, apontadas pela técnica de ACP, pode-se utilizar de classificação digital de imagens, que irá espacializar quais as classes que compõem o cenário dessa localidade nos períodos de estudo, fornecendo informações para a análise ambiental das mudanças.

Dentre as técnicas de classificação, existem aquelas baseadas na área do conhecimento da Inteligência Artificial, como a do classificador Support Vector Machine (SVM), que pode ser empregado na separação de classes espectralmente similares em espaço de alta dimensão e com alto grau de acurácia, sendo esse algoritmo, não paramétrico e utilizando da técnica de aprendizagem automática (ENVI, 2007). Possui a vantagem de redução de erros empíricos da classificação, separando as classes através de uma superfície de decisão que maximiza a margem de separação entre elas, denominado de hiperplano ideal (COSTA *et al.*, 2010 e ENVI, 2007).

De acordo com Nascimento *et al.* (2009), o algoritmo SVM consiste em treinar um classificador de forma que este aprenda um mapeamento por meio de exemplos e seja capaz de classificar um exemplo ainda não visto com mesma distribuição probabilística.

Estudos realizados por Costa *et al.* (2010), Nascimento *et al.* (2009), Pereira e Centeno (2013), Sousa *et al.* (2010), obtiveram resultados satisfatórios ao empregar o algoritmo SVM na discriminação de classes de uso e ocupação do solo, com elevado grau acurácia.

Após a elaboração de uma classificação se faz necessário a utilização de análises probabilísticas de forma a verificar a concordância dos mapas temáticos versus a verdade terrestre. Dentre os índices mais utilizados para a averiguação da verdade

terrestre pode-se citar o índice de Kappa e o da exatidão global, sendo estes calculados por meio da matriz de confusão ou matriz de erro (FIGUEIREDO e VIEIRA, 2007).

A concordância do índice Kappa varia de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, melhor se dar a acurácia do mapa obtido (Tabela 1).

Tabela 1: Valores de Índice Kappa

Índice Kappa	Concordância
< 0	Sem concordância
0.00 a 0.19	Pobre
0.20 a 0.39	Fraca
0.40 a 0.59	Moderada
0.60 a 0.79	Forte
0.80 a 1.00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977).

Para melhor análise quantitativa da diferença entre as mudanças das categorias determinadas no mapeamento obtido por uma classificação em dois períodos distintos, pode-se fazer uso da matriz de tabulação cruzada (Tabela 2), de forma a verificar as alterações das classes expressas ao longo de um espaço-temporal determinado (PONTIUS Jr. *et al.*, 2004).

Tabela 2. Matriz de tabulação cruzada.

Matriz de Tabulação		Momento II			Total Momento I
		Classe X	Classe Y	Classe Z	
Momento I	Classe X	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	$\sum_{j=1}^n C_{1+}$
	Classe Y	A ₂₁	A ₂₂	A ₂₃	$\sum_{j=1}^n C_{2+}$
	Classe Z	A ₃₁	A ₃₂	A ₃₃	$\sum_{j=1}^n C_{3+}$
Total Momento II		$\sum_{i=1}^n A_{+1}$	$\sum_{i=1}^n A_{+2}$	$\sum_{i=1}^n A_{+3}$	$\sum_{j=1}^n C_{j+} = \sum_{i=1}^n A_{+}$

Fonte: Adaptado de Pontius Jr. *et al.* (2004).

A notação A_{ij} apresenta as mudanças do uso e ocupação do solo entre a Classe i para a Classe j , sendo que as classes i , nas linhas, correspondem ao momento I e as classes j , nas colunas, ao momento II (LOUREIRO *et al.* 2011).

Os valores A_{jj} representam às áreas que permaneceram de um momento para o outro, conhecido como persistência da classe e estas são registradas por meio da entrada da diagonal descendente da matriz.

A luz das informações apresentadas pela matriz é possível incluir uma linha da variável “Ganho” e “Perda”, com relação a linha de ganho esta é relacionada com o total de classe na categoria j , A_{+j} , pela diferença da persistência da classe A_{jj} , ou seja, o ganho da cada categoria é realizado pela subtração do total da linha no momento 2 com a persistência de sua classe. Na coluna ‘Perdas’ está é apresentada por meio da subtração entre

o total da linha e a sua persistência (PONTIUS Jr. 2000).

Metodologia

Área de Estudo

A área de estudo compreende a microrregião de Montes Claros/MG (Figura 1) composta por vinte e dois municípios. Os municípios desta microrregião apresentam vegetação similar, sendo de transição cerrado/caatinga. Em relação aos aspectos econômicos estes variam entre os municípios componentes, assim como o número de habitantes. A cidade de Montes Claros, pólo econômico da região, possui população de acordo com Censo 2010 de 361.974 habitantes, sendo município mais populoso da microrregião. O município com menos população (Ponto Chique) possui 3.966 habitantes de acordo com mesma pesquisa, evidenciando dessa forma algumas discrepâncias entre os municípios desta microrregião (IBGE, 2010).

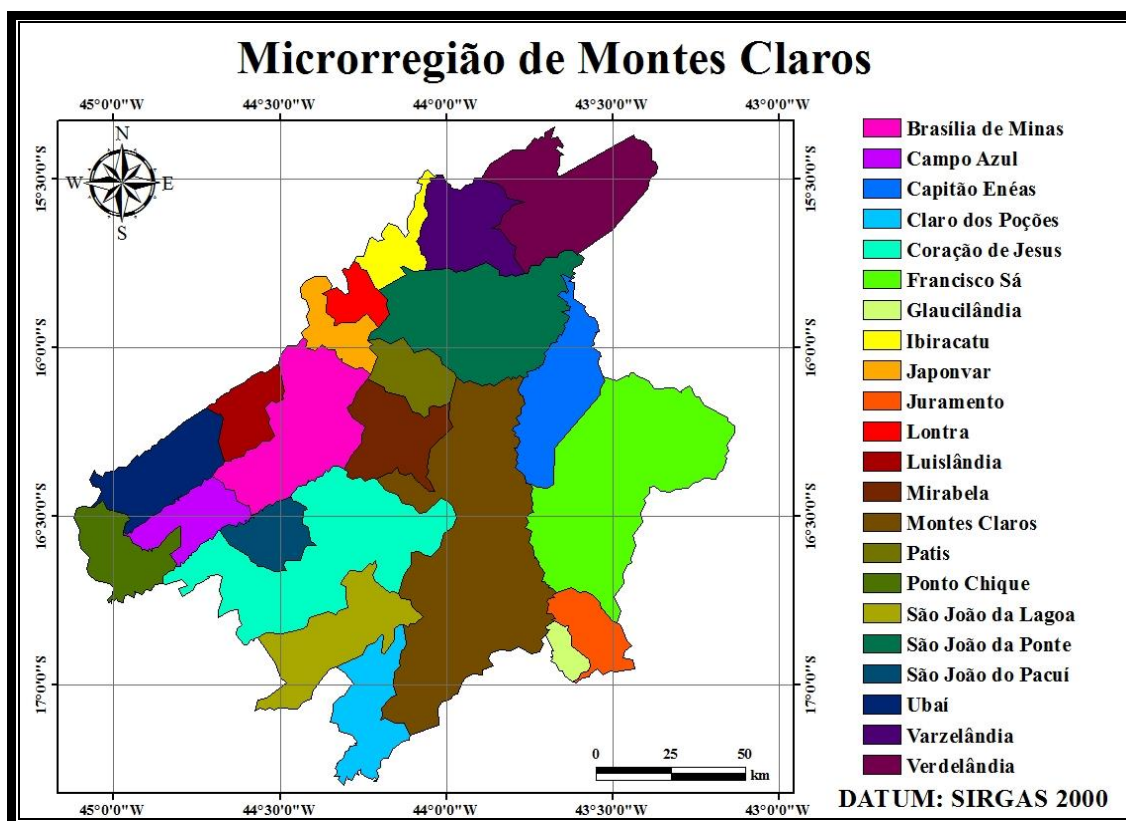


Figura 1: microrregião de Montes Claros.
Fonte: Próprio Autor.

Abordagem Metodológica

O procedimento metodológico iniciou com a aquisição gratuita de doze cenas anuais do produto MOD13Q1, referente ao índice de vegetação, EVI (*Enhanced Vegetation Index*), do sensor MODIS a bordo do satélite TERRA-1, que compreende o período de 2007 e 2012. As imagens adquiridas, originalmente apresentam-se no formato HDF, sendo necessário a sua conversão para o formato GeoTiff, para isto utilizou-se do *software Modis Reprojection Tool* (MRT).

Posteriormente as cenas foram importadas para o banco de dados criado no *software* ENVI 5.0 sob licença do Laboratório de Topografia, Cartografia e Geoprocessamento (LABGEO), das

Faculdades de Ciências Exatas e Tecnológicas Santo Agostinho, com sistema de referência, latitude e longitude e modelo de terra, SIRGAS 2000.

Para a avaliação das mudanças ocorridas na região de estudo foi utilizada a técnica de Análise por Componentes Principais, aplicada as imagens EVI que cobrem o período de estudo, no qual foi gerado um novo conjunto de cenas descorrelacionadas, que apresentam na primeira componente (CP1), as informações que são comuns aos conjuntos de dados de entrada, na segunda Componente Principal (CP2), as feições espectrais mais significantes, diminuindo as informações relacionadas às

variações de acordo com o número de componentes geradas (SATO *et al.*, 2011).

Utilizando a CP2 como a componente mais significativa quanto à variação dos *pixels* do índice de vegetação (EVI), durante o período de estudo; esta foi fatiada e classificada baseada em critério proposto por

Maldonado (1999) e Sato *et al.* (2011), onde é considerado o histograma da segunda componente para delimitação de intervalos de um e dois desvios padrões acima da média e um e dois desvios padrões abaixo da média, conforme Figura 2.

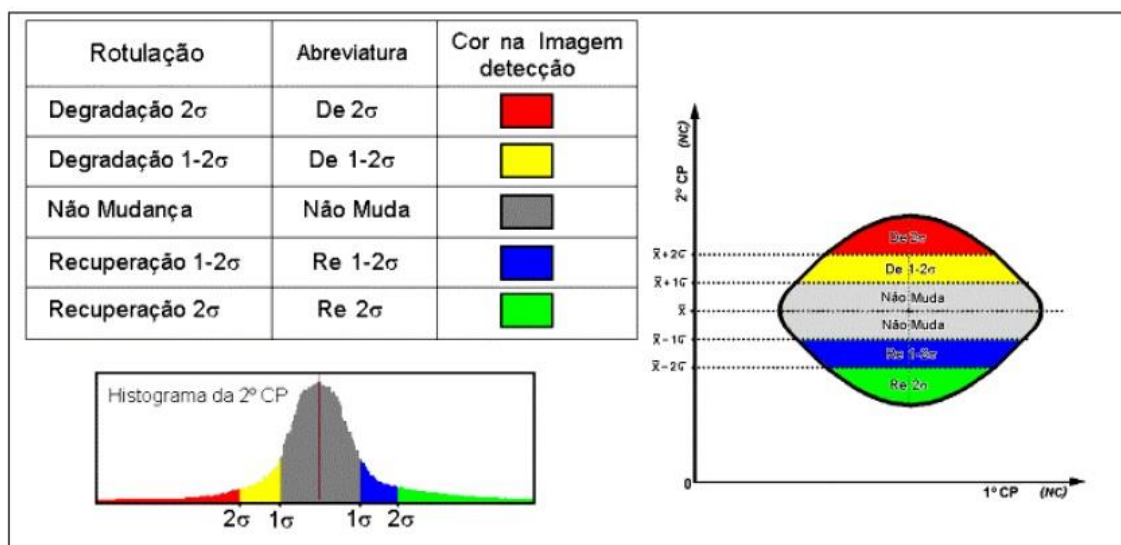


Figura 2: Diagrama de ilustração do fatiamento da segunda componente.
Fonte: Maldonado (1999).

Para uma melhor análise das mudanças apontadas pela técnica de ACP, utilizou-se de metodologia proposta por Costa *et al.* (2010), Nascimento *et al.* (2009), Pereira e Centeno (2013) e Sousa *et al.* (2010) e composição RED, NIR e MIR, respectivamente nas bandas BGR, para realização da classificação dos cenários da microrregião de Montes Claros em 2007 e 2012 por meio do classificador supervisionado SVM, em ambiente do *software* ENVI. Utilizou-se a função kernel de Base Radial, parâmetro de penalidade 100 e *gamma* igual a 0,33.

As duas imagens utilizadas nessa classificação são de datas 05/03/2007 e 06/03/2012, abrangendo o período pós chuvoso da região, permitindo dessa forma, uma melhor discriminação dos alvos terrestres.

As classificações realizadas foram acuradas de acordo com o índice Kappa e Exatidão Global, obtidos por meio da Matriz de Confusão.

Ainda utilizou-se da matriz de tabulação cruzada (Pontius Jr. *et al.* 2000), para melhor compreensão das mudanças ocorridas no período de estudo. Por meio desta técnica, pode-se perceber o quantitativo de

cada categoria entre o período analisado, bem como as áreas de persistência de cada classe determinadas na classificação supervisionada para o uso e ocupação do solo entre os dois momentos. Por meio da derivação dos dados da matriz de tabulação cruzada adicionou-se uma coluna e uma linha na matriz de transição, caracterizadas respectivamente pelas perdas e ganhos obtidos de cada classe entre os dois intervalos verificados.

Resultados e Discussão

Após aplicação da metodologia proposta, obteve-se uma imagem detecção (Figura 4) e os seus respectivos quantitativos de classes analisadas (Tabela 3), sendo na imagem referida apresentadas duas classes de degradação, uma de recuperação e outra de não-mudança.

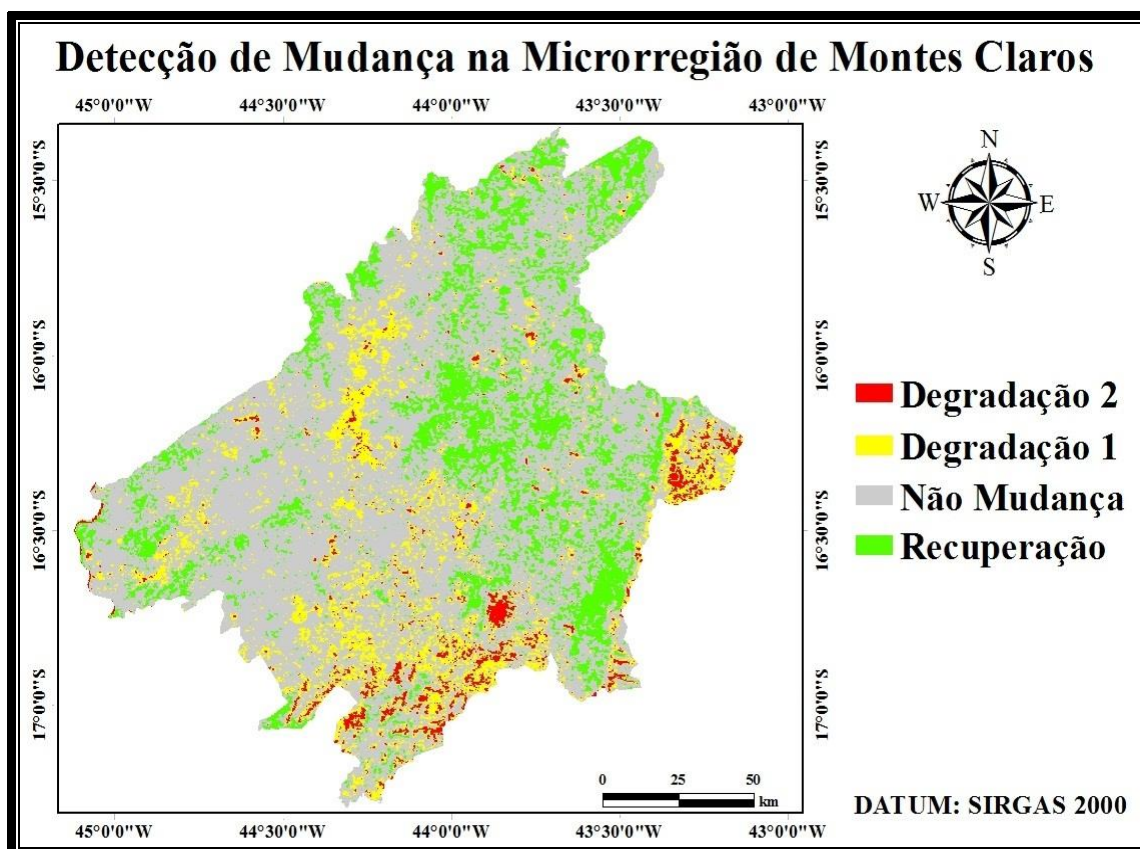


Figura 4: Detecção de Mudanças para a Microrregião de Montes Claros entre 2007 a 2012.
Fonte: Próprio Autor.

Tabela 3: Quantitativos da detecção de mudança entre os anos de 2007 a 2012 das áreas da microrregião de Montes Claros.

	Área (km ²)	Área (%)
Degradação 2	700,13	2,99
Degradação 1	3.014,88	12,90
Não Mudança	15.306,68	65,52
Recuperação 1	4.339,26	18,59

A degradação 2 (dois desvios padrões acima da média) corresponde aquelas áreas que apresentaram entre os anos de 2007 a 2012 um alto nível de degradação, ao passo que degradação 1 (um desvio padrão acima da média), são aquelas áreas que apresentaram uma degradação moderada. A classe regeneração apresentou apenas aquela correspondente a um desvio padrão acima, sendo esta então, correspondente as áreas que apresentaram no período de estudo uma regeneração moderada. A classe definida como não mudança se apresenta na imagem em cor cinza, e abrange uma área considerável da microrregião de Montes Claros, desta forma, pode-se observar que cerca de 65% da área de estudo (Tabela 2), não apresentou mudança entre 2007 a 2012.

As áreas de degradação 2 apontada pela ACP (Figura 2), se concentram principalmente no municípios de Juramento, Francisco Sá, Glaucilância, Montes Claros e Claro dos Poções (Figura 1), ainda é possível observar que a recuperação ao longo dos seis anos de análise se mostrou superior a degradação 1 e 2 somadas, no entanto, esta regeneração pode ser atribuída não somente a revegetação natural, mas também pela implantação de pastagem em áreas de solo exposto.

Os mapeamentos da área em 2007 e 2012 (Figuras 5 e 6) e a Tabela 4, apresentam o uso e ocupação do solo para a Microrregião de Montes Claros e a sua transição de um

período para o outro. É possível verificar por meio das Figuras 5 e 6 que a classe pastagem apresenta um aumento perceptível durante o período analisado. Em contrapartida a categoria vegetação apresenta uma redução de áreas no ano de 2012 quando comparadas ao ano de 2007, a situação apresentada por estas duas classes pode ter ocasionado a degradação com um menor grau de intensidade na região (Figura 4), já que a maior perda expressa para a classe vegetação e verificada para áreas de pastagens (Tabela 4).

Com relação a classe solo exposto pode-se verificar um aumento de suas áreas principalmente nas regiões sul e leste da microrregião de Montes Claros, corroborando com as áreas de degradação com um maior grau de intensidade apresentadas na Figura 4, representando a degradação de segundo nível.

Para a classe cultura é possível observar um leve aumento de suas áreas para o ano de 2012, sendo estas localizadas principalmente no município de Montes Claros, predominantes por plantações de eucaliptos (NERY *et al.*, 2013), vale destacar que a plantação de espécies exóticas é apresentada como áreas de regeneração (Figura 4), assim observa-se essas áreas como uma mudança de caráter positivo para o meio ambiente, no entanto, essas áreas podem apresentar-se como regiões limitantes para o desenvolvimento dos seres vivos que abrigam esta região do ecossistema (VITAL, 2007).

Em se tratando da classe recursos hídricos não se observa nenhuma mudança

significativa, ao menos sobre o aspecto aparência.

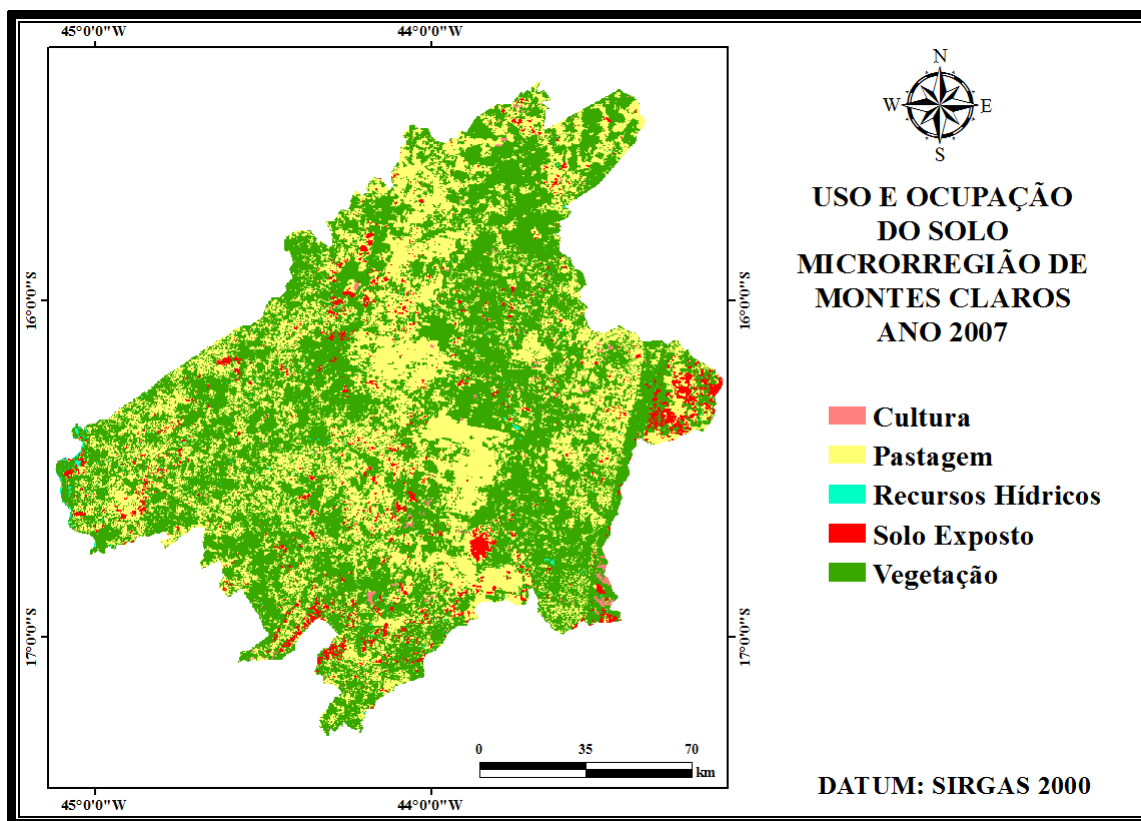


Figura 5: Uso e Ocupação do Solo da Microrregião de Montes Claros para o ano de 2007.

Fonte: Próprio Autor.

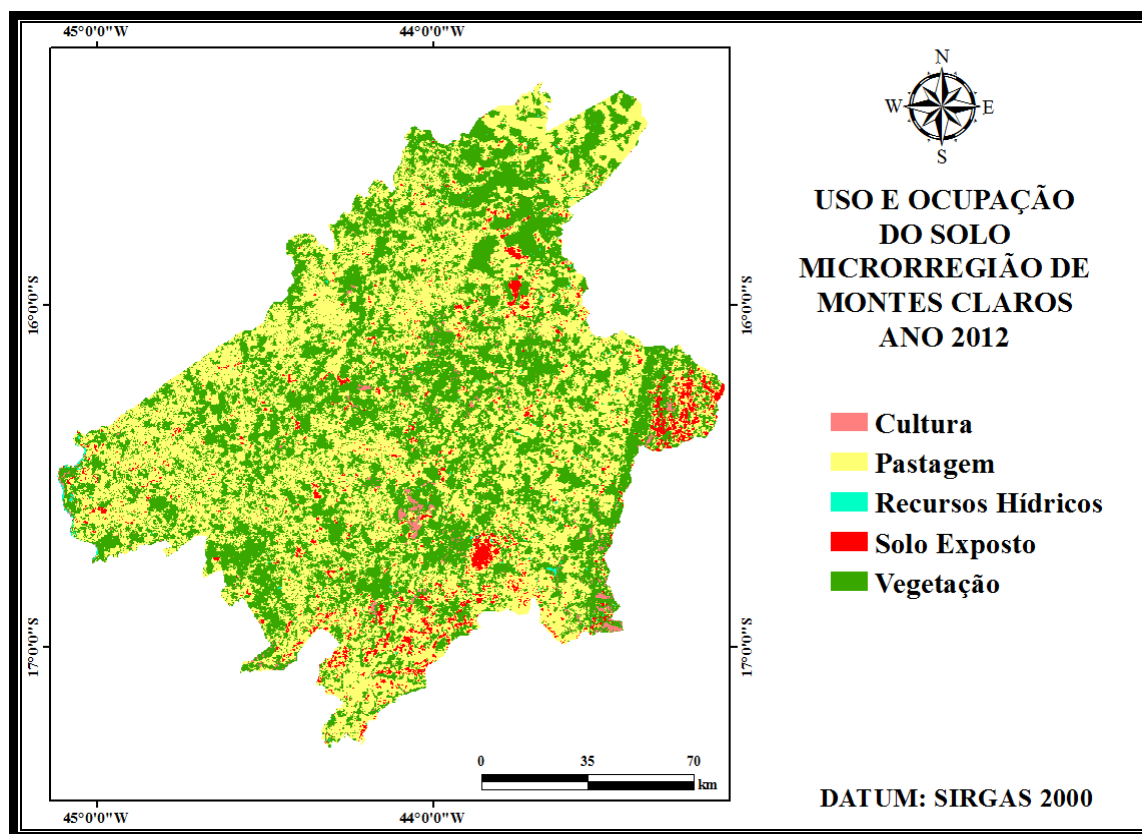


Figura 6: Uso e Ocupação do Solo da Microrregião de Montes Claros para o ano de 2012.
 Fonte: Próprio Autor.

Tabela 4: Matriz de Transição das mudanças da Microrregião de Montes Claros entre 2007 a 2012.

MATRIZ DE TRANSIÇÃO (KM ²)							
	Vegetação	Solo Exposto	Recursos Hídricos	Pastagem	Cultura	Total 2007	Perda
Vegetação	7.682,16	293,39	31,57	5.027,15	119,72	13.154,01	5.471,85
Solo Exposto	81,42	279,80	1,62	425,81	8,29	796,96	517,16
Recursos Hídricos	25,42	3,98	14,10	25,30	0,71	69,53	55,43
Pastagem	2.039,07	252,14	8,91	5.762,91	42,97	8.106,02	2.343,11
Cultura	43,50	2,16	0,40	44,93	15,79	106,80	91,01
Total 2012	9.871,57	831,47	56,6	11.286,10	187,48	22.233,32	8.478,56
Ganho	2.189,41	551,67	42,50	5.523,19	171,69	8.478,46	13.754,76

Por meio dos resultados verificados na matriz de tabulação cruzada pode-se perceber nas linhas as classes que perderam áreas para outras categorias entre os anos de 2007 e 2012, sendo a soma da linha responsável pelo uso agregado em 2007, da mesma forma a adição de cada coluna

representa a total de cada categoria no ano de 2012, observando nas colunas os ganhos correspondentes para cada classe no segundo momento. Quanto aos ganhos e perdas é possível verificar na tabela acima (Tabela 4) que a maior perda de área ocorreu na classe correspondente à vegetação com 5.471,85

km², sendo perdidos 91,87% (5.027,15 Km²) para pastagens, 5,36% (293,39 Km²) para solo exposto, 2,19% (119,72 km²) para cultura e 0,58% (31,57 Km²) para área recursos hídricos, embora esta classe seja a categoria de maior persistência. Em contrapartida a classe vegetação apresentou o segundo maior ganho das classes com 25,82%, perdendo apenas para a classe área pastagem com um ganho de 65,14%.

Quanto à avaliação da acurácia dos mapeamentos, de acordo com o índice de Kappa e a exatidão global, foi observado que ambos obtiveram concordância Kappa excelente e Exatidão global superior a 89%. Neste contexto, os resultados da acurácia dos mapeamentos elaborados se encontram qualificados para realização de análises ambientais, podendo subsidiar informações aos gestores e comunidade científica.

Tabela 5: Acurácia das Classificações.

	Índice Kappa	Concordância Kappa	Exatidão Global (%)
Mapeamento Ano 2007	0,8817	Excelente	93,17
Mapeamento Ano 2012	0,8494	Excelente	89,95

Conclusão

Por meio da aplicação da técnica de Análise por Componente Principal (ACP), puderam-se obter resultados satisfatórios sobre as mudanças ocorridas na superfície terrestre da microrregião de Montes Claros, onde foi observado que os municípios de Juramento, Francisco Sá, Glaucilândia, Montes Claros e Claro dos Poções apresentaram as maiores mudanças da área em estudo, além de apontar os níveis dessas mudanças.

Os resultados se aperfeiçoaram com a utilização de classificação digital de imagens para espacialização e qualificação das mudanças da área de estudo, além destes se corroborarem com aqueles obtidos pela técnica de ACP.

Pode-se delinear por meio da técnica matriz de tabulação cruzada, a transição das classes mapeadas na microrregião de Montes Claros, sendo observado que as maiores mudanças apresentadas se basearam na transição de áreas vegetadas para áreas de pastagens, corroborando o pressuposto que áreas do Cerrado vêm sendo desmatadas, principalmente para a expansão agrícola.

As classificações realizadas neste estudo foram acuradas de acordo com o índice Kappa e Exatidão Global e se mostraram qualificadas para o estudo realizado, uma vez que seus resultados se mostraram excelentes.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação Santo Agostinho, ao Núcleo Interinstitucional

de Estudos Ambientais (NIEA) e ao CNPQ pelo apoio a pesquisa científica.

Referências

- Costa, L. M.; Zeilhofer, P.; Rodrigues, W. S. 2010. Avaliação do classificador SVM (*Support Vector Machine*) no mapeamento de queimadas no Pantanal Mato Grossense. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife - PE, 27-30 de Jul. Disponível em <http://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIII/IIISIMGEO_CD/artigos/FotoeSR/SR_e_PDI/A_79.pdf> Acesso em 15 de Outubro de 2013.
- ENVI. 2007. Guia do Envi em Português. *Visual Information Solutions*: SulSoft Serviços de Processamento de Dados LTDA. Disponível em <http://www.inele.ufro.cl/apuntes/Teledeteccion_Satelital/Tutorial_ENVI/CapituloB.pdf> Acesso em 13 de Outubro de 2013.
- Figueiredo, G. C.; Vieira, C. A. O. 2007. Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XIII., Florianópolis. Anais... Florianópolis: 2007, p.5755-5762. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sb/sr@80/2006/11.13.17.35/doc/5755-5762.pdf>>. Acesso em 06 de Dezembro de 2013.
- Gomes, A. R.; Maldonado, F. D. 1998. Análise de Componentes Principais em Imagens Multitemporais TM/Landsat como Subsídio aos Estudos de Vulnerabilidade à Perda de Solo em Ambiente Semi-Árido. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, IX., Santos. Anais... Santos, p.959-967. Disponível em <http://marte.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/deis/e/1999/02.09.10.05/doc/8_167o.pdf> Acesso em 22 de Setembro de 2013.
- IBGE–Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=314330#>> Acesso em 10 de Outubro de 2013.
- 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, Jul. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v17n10/14.pdf>> Acesso em 24 de Outubro de 2013.
- Landis, J.; Koch, G. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data, Washington, USA. *Biometrics*, v. 33, n. 1, p. 159-174. Disponível em <<http://www.jstor.org/discover/10.2307/25293102529310?uid=2&uid=4&sid=21102991969287>> Acesso em 23 de Novembro de 2013.
- Liu, W. T. H. 2006. Aplicações de Sensoriamento Remoto. Campo Grande-MS: UNIDERP.
- Loureiro, E. V. C.; Siqueira, F. C.; Dias, M. C. S.; Correia, P. R. B. 2011. Detecção de mudanças no uso e cobertura do solo entre os anos de 2004 e 2009 na Cidade do Rio de Janeiro. Coordenadoria Geral de Planejamento Urbano – CGPU. Núcleo de Indicadores Assessoria de Informação Urbanística – AIU. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/2325973/DLFE-237113.pdf/deteccao_mudanca_uso_solo.pdf>. Acesso em 25 de Novembro de 2013.
- Maldonado, F. D. 1999. Análise por componentes principais (ACP) para caracterização da dinâmica de uso da terra em área do semi-árido brasileiro: Quixaba-PE. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. Disponível em <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2001/09.19.08.59/doc/0557.560.058.pdf>> Acesso em 13 de Outubro de 2013.
- Nascimento, R. F. F.; Alcântara, E. H.; Kampel, M. Stech, J. L.; Novo, E. M. L. M.; Fonseca, L. M. G. 2009. O algoritmo *Support Vector Machines(SVM)*:

- Avaliação da separação ótima de classes em imagens CCD-CBERS-2. Anais ..., Natal, Brasil, 2009. p. 079-2086. Disponível em <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/10.20.10.59/doc/2079-2086.pdf>> Acesso em 12 de Dezembro de 2013.
- Nery, C. V. M.; Fernandes, F. H. S.; Moreira, A. A.; Braga, F. L. 2013. Avaliação das Técnicas de Classificação MAXVER, MAXVER – ICM e Distância Mínima Euclidiana de acordo com Índice Kappa. v.06, n. 02, p.320-328. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/view/635/403>>. Acesso em 12 de Dezembro de 2013.
- Oliveira, L. C. B.; Guasselli, L. A. 2013. Variação espaço-temporal de NDVI em remanescentes de fitofisionomias da Mata Atlântica na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos – RS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XVI., Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu, 2013. p.3176-3182. Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1163.pdf>> Acesso em 17 de Outubro de 2013.
- Pereira, G. H. A.; Centeno, J. A. S. 2013. Utilização de *Support Vector Machine* para classificação multiclases de imagens Landsat TM+. Anais..., Foz do Iguaçu – PR, p.2323-2328. Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0597.pdf>> Acesso em 20 de Novembro de 2013.
- 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.
- Pontius Jr. R.; Shusas, E.; Mceachern, M. 2004. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 101, p.251-268. Disponível em: <http://www.clarku.edu/~rpontius/pontius_etal_2004_aee.pdf>. Acesso em 02 de Dezembro de 2013.
- Pontius Jr. R. G. (2000). Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. v.66, n.8, p.1011-1016. Disponível em: <http://www.clarku.edu/~rpontius/pontius_2000_pers.pdf>. Acesso em 02 de Dezembro de 2013.
- Prichoa, C. E.; Ribeiro, S. R. A. 2013. Aplicação da Análise de Componentes Principais e de Agrupamento em dados Extraídos Automaticamente de Imagem de Satélite Landsat 5TM. In: Encuentro de Geógrafos de America Latina, XIV., Perú. Anais... Perú: Reencuentro de Saberes Territoriales Latinoamericanos. Disponível em <http://www.egal2013.pe/wp-content/uploads/2013/07/Tra_Selma-Regina-Aranha-Ribeiro-Carla-Eva-Prichoa.pdf> Acesso em 21 de Novembro de 2013.
- Santos, J.R.; Krug, T.; Araujo, L.S.; Meira Filho, L.G.; Almeida, C.A. 2001. Dados multitemporais TM/Landsat aplicados ao estudo da dinâmica de exploração madeireira na Amazônia. Anais... Foz do Iguaçu-PR, p.1751-1755. Disponível em <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2001/09.24.10.35/doc/1751.1755.264.pdf>> Acesso em 19 de Setembro de 2013.
- Sato, L. Y.; Shimabukuro, Y. E.; Kuplich, T. M. 2011. Uso da análise por componentes principais na avaliação de mudança da cobertura florestal da Floresta Nacional do Tapajós. Anais... Curitiba-PR, p.6696-6702. Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0565.pdf>> Acesso em 19 de Setembro de 2013.
- Silva, A. A. 2005. Uso de Sensoriamento Remoto para o Monitoramento Ambiental dos Cerrados. Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Universidade de São Paulo. Disponível em <http://observatoriogeogoiias.iesa.ufg.br/uploads/215/original_SILVA__Adriana_Aparecida_sensoriamento_remoto.pdf> Acesso em 4 de Outubro de 2013.
- Sousa, B. F. S.; Teixeira, A. S.; Silva, F. A. T. F.; Andrade, E. M.; Braga, A. P. S. 2010. Avaliação de classificadores baseados em aprendizado de máquina para a classificação do uso e cobertura da terra

- no Bioma Caatinga. *Revista Brasileira de Cartografia* Nº 62 EDIÇÃO ESPECIAL 2. (ISSN 0560-4613). Disponível em <http://www.rbc.ufrj.br/_pdf_62_2010/62_ESPECIAL_02_6.pdf> Acesso em 30 de Outubro de 2013.
- Thiam, A.K. 1997. *Geographic Information Systems and Remote Sensing Methods for Assessing and Monitoring Land Degradation in the Sahel Region: The case of South Mauritania*, Department of Geography, Clark University, Worcester, Massachusetts, USA.
- Verstraete, M.M., Pinty, B. 1996. Designing optimal spectral indexes for remote sensing applications. *IEEE Transact. Geosci. Remote Sens.*
- Vital, M. H. F. 2007. Impacto Ambiental de Florestas de Eucalipto, v.14, n.28, p.235-276. Disponível em:<http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/revista/rev2808.pdf>. Acesso em 04 de Dezembro de 2013.
- Watrin, O. S.; Filho, M. V.; Santo, J. R. 1996. Transformação por Componentes Principais e por Decorrelação de Bandas Aplicadas à Caracterização de Feições da Paisagem do Nordeste Paraense. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, VIII., Salvador. Anais...* Salvador, 1996. p.435-441. Disponível em <<http://marte.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/01.28.10.38/doc/T92.pdf>> Acesso em 21 de Novembro de 2013.
- 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. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425702001359>> Acesso em 15 de Setembro de 2013.
- 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. Disponível em <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2006JG000217/abstract>> Acesso em 15 de Setembro de 2013.