

Análise do uso e ocupação do solo nas APP de curso d'água da bacia do córrego Marinheiro por meio de NDVI aplicado em imagens Landsat 8 e Ikonos-II

Hugo Henrique Cardoso de Salis
mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais
Universidade Federal de Minas Gerais

Adriana Monteiro da Costa
Profª Adjunta Departamento de Geografia
Universidade Federal de Minas Gerais

João Herbert Moreira Viana
EMBRAPA Pesquisador

Resumo

As Áreas de Preservação Permanente (APP) são porções territoriais protegidas por Lei federal (Lei 12.651/2012) que apresentam funções ambientais fundamentais para a conservação dos recursos hídricos e para a proteção do solo. O objetivo do presente estudo foi caracterizar e diagnosticar os conflitos de uso e de ocupação do solo nas APP de curso d'água na bacia do córrego Marinheiro, Sete Lagoas - MG, comparando resultados obtidos pelo cálculo de NDVI em imagens dos satélites Landsat 8 e Ikonos-II. O método foi desenvolvido em seis etapas principais, quais sejam: i) Pré-processamento das imagens; ii) Cálculo de NDVI; iii) Obtenção da rede de drenagem; iv) Cálculo das Classes de NDVI das Áreas de Preservação Permanente (APP); e v) Caracterização e análise das APP; e vi) Validação em campo. Os resultados obtidos permitiram identificar a presença de cinco classes de NDVI. Foi possível concluir que: (1) nas APP de curso d'água a vegetação senescente foi a classe de maior predomínio, de acordo com os cálculos realizados com as cenas do Landsat 8 (51,6%), nas cenas do satélite Ikonos-II o predomínio foi da classe Pastagens (51,2%); (2) pela classificação do NDVI das imagens Ikonos-II, observou-se uma boa precisão e melhores resultados, comparando-se com o satélite Landsat 8, principalmente devido à resolução espacial das imagens multiespectrais ser de 4 metros.

Palavras-chave: Bacias hidrográficas, Sistemas de Informação Geográfica, imagens de satélite

Abstract:

The aim of this study was to characterize and to diagnose the conflicts of use and occupation in the stream's border Permanent Preservation Areas (PPA) in the Marinheiro watershed, Sete Lagoas, Minas Gerais, comparing the results obtained by the NDVI calculation from Landsat 8 and Ikonos-II satellite's imagery. The method was developed in six main stages, namely: i) pre-processing of the images; ii) NDVI calculation; iii) drainage network retrieval; iv) Calculation of NDVI classes for the Permanent Preservation Areas (PPA); and v) characterization and analysis of PPA; and vi) Validation in the field. The results show the presence of five classes of NDVI. It was concluded that: (1) the PPA of stream's border senescent vegetation was the predominant class according to the calculations made with the images of the Landsat 8 (51.6%); in the images of Ikonos-II satellite the prevalence was of the "Pastures" class (51.2%); (2) by the NDVI classification of Ikonos-II images, there was a good accuracy and better results, compared to the Landsat 8 satellite, mainly due to the better spatial resolution of multispectral images, 4 meters.

Key-Words: Watersheds, Geographic Information Systems, satellite images

hugohecsalis@gmail.com
drimonteiroc@yahoo.com.br
joao.herbert@embrapa.br

Introdução

As Áreas de Preservação Permanente (APP) são porções territoriais protegidas por Lei federal (Lei 12.651/2012) que apresentam funções ambientais fundamentais para a conservação dos recursos hídricos e para a proteção do solo. Apesar de desempenharem inúmeros serviços aos ecossistemas, essas áreas encontram-se extremamente ameaçadas, principalmente por atividades antrópicas. A correta gestão do uso e ocupação dessas áreas especiais, observando os mecanismos da lei para conservação de florestas, pode evitar consequências indesejáveis a níveis globais (SOARES-FILHO, 2014, p. 363).

A correta gestão das APP em um país com extensão territorial tão grande como o Brasil configura-se uma questão desafiadora que pode comprometer, por esse fato, ações de fiscalização e planejamento. Formas de obtenção de informações e dados precisos da vegetação, em áreas de APP, principalmente na escalas de bacias hidrográficas pequenas, vêm sendo desenvolvidas e o uso do sensoriamento remoto está contribuindo de forma efetiva e apresentando resultados satisfatórios (LUPPI et al., 2015, p. 14).

O sensoriamento remoto envolve um conjunto de técnicas destinadas à obtenção de informação sobre objetos da superfície terrestre sem que haja contato físico com essas feições do ambiente terrestre. No estudo da vegetação, por exemplo, pode-se realizar o cálculo de índices de vegetação para avaliar e monitorar o uso do solo. Dentre os inúmeros índices de vegetação existentes, o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), proposto por Rouse et al. (1974, p. 309), é um dos mais usados na literatura (PONZONI, 2012, p. 142; FERRARI, SANTOS e GARCIA, 2011, p. 04), e consiste de um processamento de sensoriamento remoto que realça os estratos vegetativos, diferenciando-os entre si e dos demais tipos de cobertura do solo.

A bacia do córrego do Marinheiro localizada no município de Sete Lagoas, MG, faz parte da bacia do Ribeirão Jequitibá, que por sua vez é afluente do Rio das Velhas. A região é caracterizada por forte interferência antrópica, apresentando extensas áreas de pastagens e cultivos. Ainda não foram realizados estudos que avaliem o estado de conservação das APP na bacia.

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo lançar mão dos recursos de sensoriamento remoto para caracterizar e diagnosticar os conflitos de uso e ocupação do solo nas APP de curso d'água na bacia do córrego Marinheiro, comparando resultados obtidos pelo cálculo de NDVI em imagens do satélite Landsat 8 e Ikonos-II.

Metodologia

A área de estudo abrange a bacia do Córrego do Marinheiro (Figura 1), localizada no município de Sete Lagoas-MG, entre as coordenadas planas: Leste 581100,3 a 587493,5 e Norte 7841747,5 a 7847420,3, datum geodésico WGS-84 e projeção UTM 23 sul, com área de aproximadamente 14,8 km². Segundo a classificação de Koppen, o clima da região é Cwa, ou seja, clima de savana, com inverno seco e verão úmido com chuva. No ano de 2015 o índice médio pluviométrico chegou a 1.416,3 mm; além de temperatura máxima média (35°C) registrada no mês de outubro e a temperatura mínima média (12,35 °C) registrada no mês de junho (INMET, 2016).

Fisionomicamente, a bacia está inserida no bioma Cerrado, com fragmentos de vegetação nativa predominantemente do tipo floresta semidecidual montana e áreas antropizadas com plantios de culturas anuais e pastagens para criação de gado (SCOLFORO, 2008, p. 255).

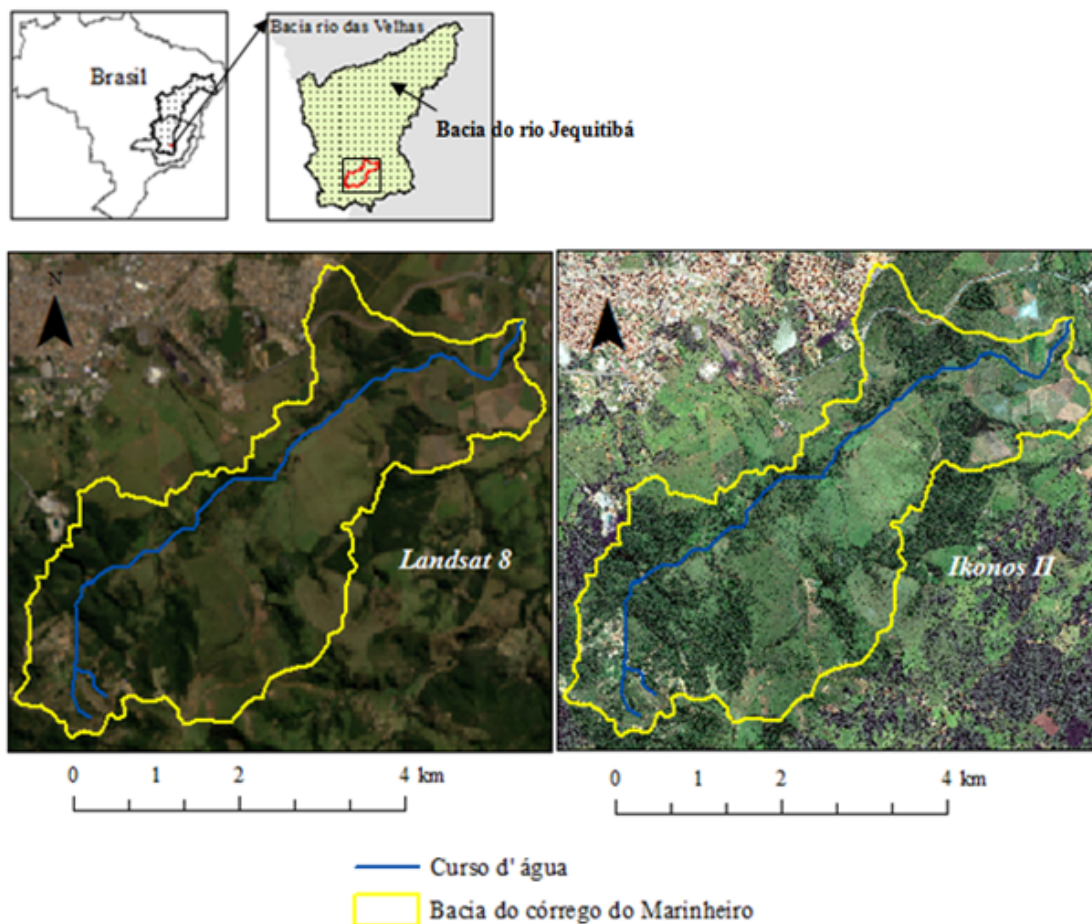


Figura 1 – Localização da área de estudos

A base cartográfica em formato digital foi obtida gratuitamente junto ao banco de dados do Centro de Sensoriamento Remoto da UFMG (CSR/UFMG) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE); dados da missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) e cenas (regiões do vermelho e infravermelho próximo) do satélite Landsat 8 – OLI, ambos disponibilizadas gratuitamente pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS); além de software Arcgis versão 10.3 (ESRI, 2013) e cenas (regiões do vermelho e infravermelho próximo) do satélite Ikonos-II, ambos adquiridos pelo Laboratório de Solos e Meio Ambiente do Instituto de Geociências (IGC)/UFMG.

Os critérios para a seleção das imagens Landsat 8 foram a utilização em grande escala destas, em estudos ambientais e obtenção gratuita. Já o critério para a escolha do satélite Ikonos-II foi a resolução espacial de 4 metros das imagens multiespectrais. A Tabela 1 apresenta as especificações técnicas básicas das imagens de satélites utilizadas no estudo.

Tabela 1 – Especificações técnicas básicas dos satélites Landsat 8 e Ikonos-II

Infravermelho próximo	Vermelho	Resolução espacial	Data da imagem	Satélite
Banda 5 (850-880nm)	Banda 4 (640-690nm)	30 m	27/05/2015	Landsat 8 - OLI
Banda 4 (760-900 nm)	Banda 3(630-690 nm)	4 m	22/05/2015	Ikonos - II

A metodologia foi desenvolvida em seis etapas principais, quais sejam: i) Pré-processamento das imagens; ii) Cálculo de NDVI; iii) Obtenção da rede de drenagem; iv) Cálculo das Classes de NDVI das Áreas de Preservação Permanente (APP); e v) Caracterização e análise das APP; e vi) Validação em campo e, cálculo da matriz de confusão e coeficiente Kappa.

Na etapa de pré-processamento foi realizada a conferência da qualidade geométrica das imagens, o recorte da cena para a área de interesse, a filtragem e o realce de contraste para atenuação dos efeitos de nuvens e sombras no terreno. Em seguida, foi realizada a retificação radiométrica das imagens Ikonos-II a partir da conversão dos números digitais em radiância e posteriormente em reflectância utilizando as Equações 1 e 2, respectivamente, de acordo com Taylor (2009, p. 1):

$$(1) L_{\lambda} = \frac{10^4 \cdot DN_{\lambda}}{CalCoef_{\lambda} \cdot Bandwidth_{\lambda}}$$

$$(2) \rho_{\lambda} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta_s}$$

Na equação 1, DN_{λ} é o número digital da banda, $CalCoef_{\lambda}$ é o coeficiente de calibração radiométrica e o $Bandwidth_{\lambda}$ é a largura da banda espectral a ser calculada.

Na equação 2, L_{λ} é a radiância para a banda espectral na abertura do sensor; d é a distância Terra-Sol em unidades astronômicas; $ESUN_{\lambda}$ é a média das irradiações exoatmosféricas solares; e θ_s é o ângulo solar zenital.

Para a conversão dos números digitais das imagens Landsat 8 em reflectância foi utilizada a equação 3, de acordo com o USGS (2016):

$$(3) \rho_{\lambda'} = M_p QCal + A_p$$

Onde: $\rho_{\lambda'}$ é a reflectância planetária; M_p é o fator multiplicativo da banda específica; $Qcal$ são os Números Digitais da imagem; e A_p é o fator de escalonamento da banda específica.

Na segunda etapa, a partir dos dados de reflectância foi calculado o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) proposto por Rouse et al. (1974, p. 309), conforme Equação 4:

$$(4) NDVI = \frac{\rho_5 - \rho_4}{\rho_5 + \rho_4}$$

Onde ρ_5 e ρ_4 são as reflectâncias planetárias ao nível do satélite Landsat 8 e Ikonos, para as bandas do infravermelho próximo e do vermelho, respectivamente. Após o cálculo do NDVI, foi realizada a reclassificação dos valores de NDVI.

Na terceira etapa, foi realizada a obtenção da rede de drenagem por meio do processamento dos dados do SRTM no módulo Hidrology do software Arcgis 10.3, e em seguida foi realizada a seleção do curso d'água principal baseando-se nos valores da ordem de drenagem obtidos pelo processo

Na quarta etapa, realizou-se a delimitação das Áreas de Preservação Permanente de curso d'água com menos de 10 metros de largura (APP de 30 metros) e de nascentes (APP com raio de 50 metros), de acordo com a Lei nº 12.651, estimadas por meio da ferramenta Buffer no software ArcGIS 10.3; em seguida extraiu-se as classes de NDVI presentes nas APP das bacia do córrego Marinheiro, nas imagens Ikonos-II e Landsat 8, por meio da ferramenta clip no software Arcgis 10.3.

Na quinta etapa, foi realizado o cálculo das áreas para cada intervalo de NDVI proposto para caracterizar, em seguida analisou-se a situação das APP na bacia do córrego Marinheiro, de modo a identificar quais padrões de vigor da vegetação predominam na bacia por meio dos resultados obtidos por imagens do Landsat 8 e imagens do satélite Ikonos-II.

Na sexta etapa, foi realizada uma validação em campo para identificação da vegetação em pontos específicos das APP de nascente, de cursos d'água e fora das APP, na bacia do córrego Marinheiro no mês de setembro do ano de 2016, escolhendo-se aleatoriamente 21 pontos dentro da bacia, em seguida calculou-se a matriz de confusão e o coeficiente Kappa nas reclassificações realizadas no NDVI obtidos pelas cenas dos satélites Landsat 8 e Ikonos-II. A Tabela 2 apresenta as coordenadas e descrição do local dos pontos visitados em campo para a validação do estudo.

Tabela 2 – Coordenadas e descrição dos pontos de validação utilizados no estudo

Descrição	Coordenadas		Ponto
	N	L	
Vegetação senescente	7846035,78	586503,08	01
Formação florestal	7843516,82	581847,07	02
Solo exposto	7841999,72	583299,47	03
Pastagens	7843776,76	583503,73	04
Formação florestal	7843907,94	582405,42	05
Pastagens	7842693,53	584024,74	06
Pastagens	7842149,55	581993,84	07
Vegetação senescente	7846164,40	586762,91	08
Pastagens	7846103,92	585642,43	09
Pastagens	7843522,02	584941,77	10
Solo exposto	7843065,64	584044,40	11
Solo exposto	7843495,44	584022,72	12
Vegetação senescente	7845851,57	586849,55	13
Formação florestal	7843715,49	582091,32	14
Vegetação senescente	7845974,78	585915,91	15
Pastagens	7844243,56	582933,62	16
Vegetação senescente	7845419,73	586920,75	17
Formação florestal	7841730,74	581781,94	18
Formação florestal	7845758,70	584893,93	19
Pastagens	7842980,79	584951,05	20
Solo exposto	7846756,65	584922,98	21

Resultados e Discussão

Os índices de vegetação apresentaram valores variando de -1 a 1. Na bacia do córrego Marinheiro, as áreas com vegetação apresentam valores de NDVI superiores a 0,1, valores diretamente relacionados com a arquitetura, densidade e umidade da cobertura vegetal. Já as áreas de rochas, de solos sem vegetação e de água apresentam valores próximos a zero e valores negativos. As Figuras 2 e 3 apresentam o mapa em tons de cinza do NDVI calculado para a bacia do córrego Marinheiro por meio dos satélites Landsat 8 e Ikonos-II, respectivamente.

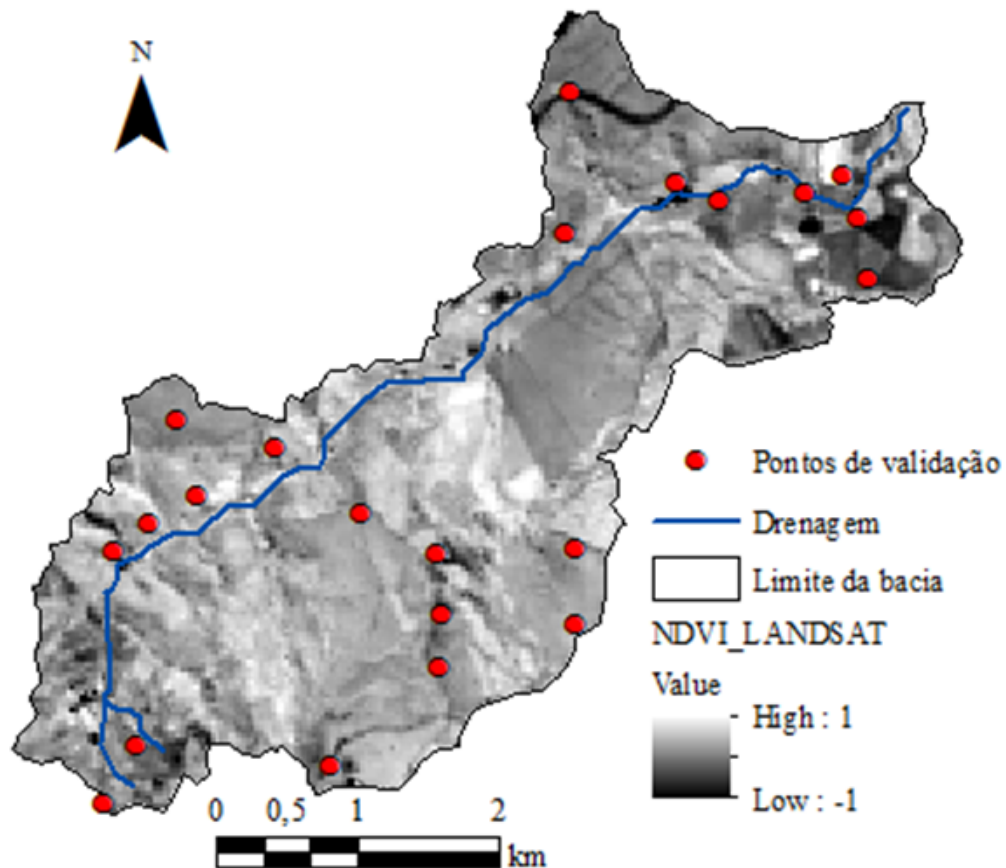


Figura 2 – Índice de Vegetação NDVI da bacia do córrego Marinheiro, Sete lagoas – MG, obtido por meio de imagens do Landsat 8

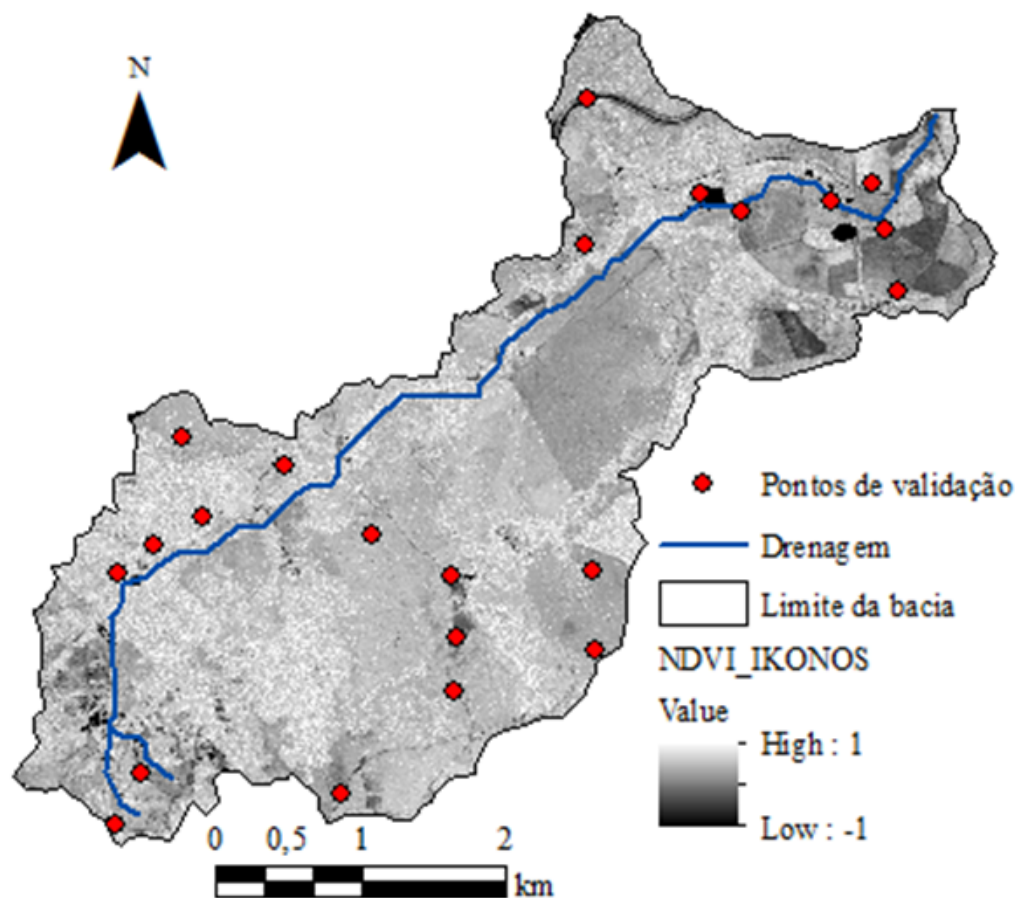


Figura 3 – Índice de Vegetação NDVI da bacia do córrego Marinheiro, Sete Lagoas - MG, obtido por meio de imagens Ikonos-II

Observando as Figuras 2 e 3, pode-se verificar que os tons claros são os maiores valores de NDVIs, correspondentes à vegetação mais vigorosa. Nesse sentido, a porção sudoeste foi a região da bacia com maior predominância de vegetação vigorosa, tanto nos resultados obtidos pelas imagens do Landsat 8 quanto os resultados obtidos pelas imagens do Ikonos-II, indicando ser esta a porção da bacia com maior predominância de vegetação nativa não suprimida ou em estágio mais avançado de regeneração.

Estudos realizados por Ferrari et al., (2011, p. 3) com o objetivo de avaliar as mudanças na cobertura vegetal na sub-bacia hidrográfica do córrego do Horizonte, Alegre – ES, evidenciaram a eficiência do uso de extração do índice de vegetação em imagens de satélites.

As Figuras 4 e 5 apresentam as classes de NDVI obtidas pelas imagens Landsat 8 e Ikonos-II na bacia do córrego Marinheiro.

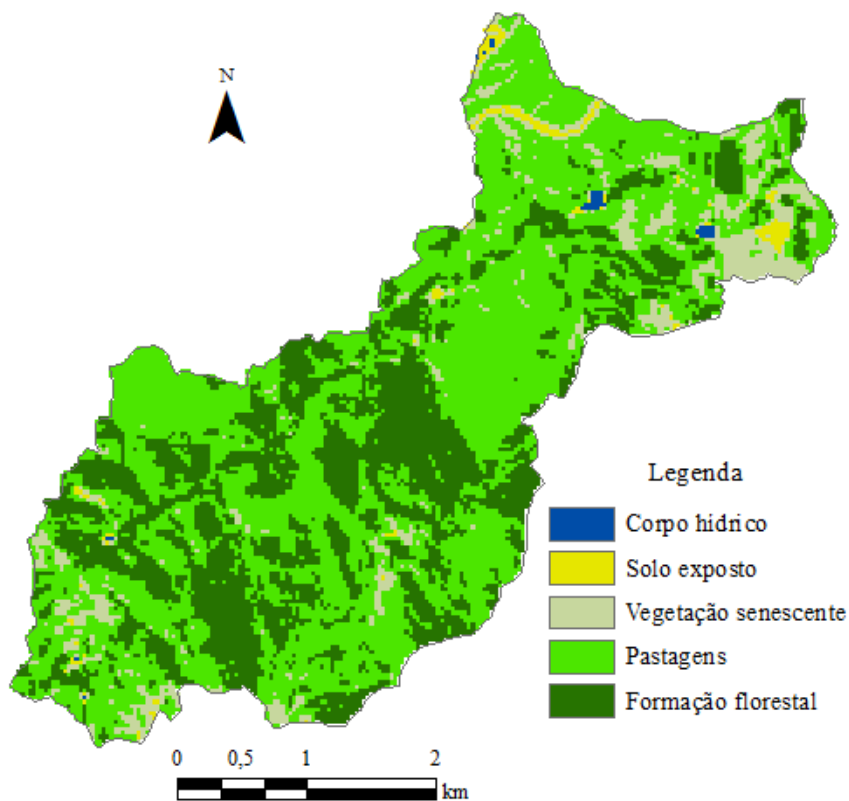


Figura 4 – Mapa de classes de NDVI da bacia do córrego Marinheiro, Sete Lagoas - MG, por meio de imagens do satélite Landsat 8.

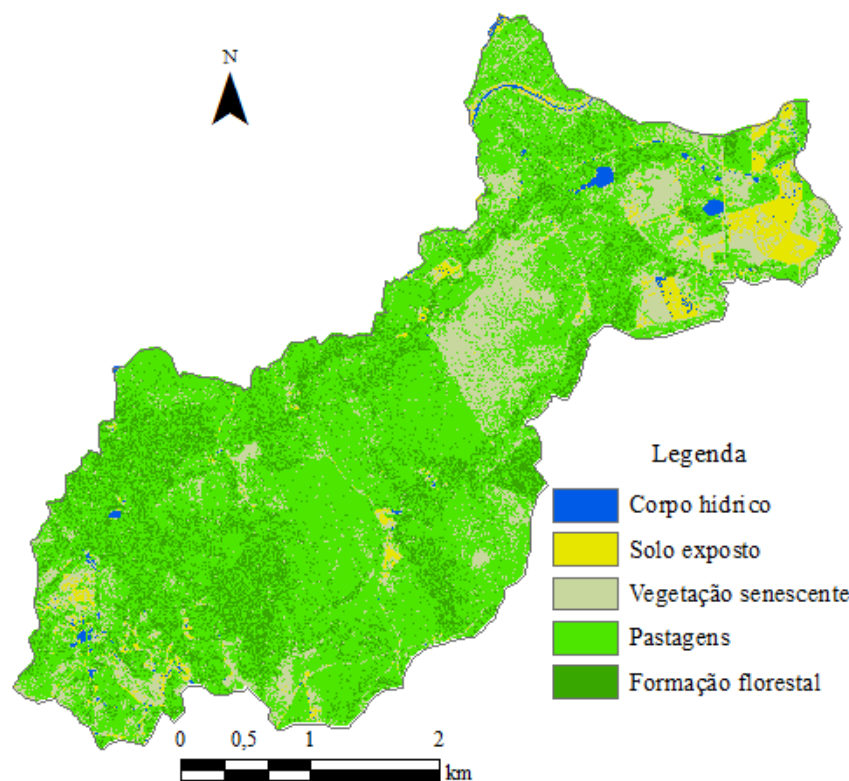


Figura 5 – Mapa de classes de NDVI da bacia do córrego Marinheiro, Sete Lagoas - MG, por meio de imagens do satélite Ikonos-II.

Foi possível identificar a presença de cinco classes de NDVI, quais sejam: i) Corpo hídrico, com intervalo de -1 a 0; ii) Solo exposto, com intervalo de 0 a 0.25; iii) Vegetação senescente, com intervalo de 0.25 a 0.5; iv) Pastagens, com intervalo de 0.5 a 0.75; e v) Formação Florestal, com intervalo de 0.75 a 1. Dentre as classes mapeadas, é importante ressaltar que as áreas de vegetação senescente são aquelas compostas por plantas que passaram por um conjunto natural de processos fisiológicos, chegando ao envelhecimento e à perda de vigor, podendo apresentar indivíduos arbóreos, arbustivos e pastagens dentro dessa classe (KEBAUY, 2004, p.321).

Nas classes de NDVI obtidas pelas imagens do Satélite Landsat8 e Ikonos-II, observa-se uma maior presença de Pastagens, com intervalos variando de 0.5 a 0.75. Na imagem Ikonos-II esta classe representou 62,3% da área total, seguidas pelas classes de Vegetação Senescente (17,93%) Formação Floresta (15,3%), solo exposto (3,6%) e corpo hídrico (0,9%). Na imagem Landsat as pastagens representam 58,15%, seguida pelas classes de Formação Floresta (32,23%), Vegetação senescente (8,27 %), solo exposto (1,10%) e corpo hídrico (0,25%) na imagem Landsat.

Nas duas classificações a tendência geral se mantém, porém em função da diferença do tamanho de pixel, a imagem Ikonos II apresenta maior pulverização das classes, permitindo uma maior distinção destas, como ocorreu nas classes Formação Floresta e Vegetação Senescente. Isso implica que a imagem Landsat pode ser adequada para a classificação da bacia em seu conjunto, com um resultado mais consistente com a observação de campo, porém, sem a resolução suficiente para o caso específico da APP do córrego.

Estudos realizados por Braz et al., (2015, p.5), com o objetivo de fazer uma análise multitemporal da dinâmica da cobertura vegetal na Bacia Hidrográfica do Córrego Ribeirãozinho no município de Selvíria – MS, chegaram a resultados que auxiliaram na identificação de mudanças ocorridas na cobertura vegetal em toda extensão desta bacia hidrográfica, por meio de vários índices, dentre eles o NDVI, o que demonstrou sua influência, importância e eficácia aplicada em análise de bacias hidrográficas.

A Figura 6 apresenta as Áreas de Preservação Permanente da bacia do córrego do Marinheiro, Sete Lagoas – MG, obtidas por meio de SRTM, onde é possível identificar as APP de curso d'água com largura de 30 metros, com área de, aproximadamente, 606 mil metros quadrados e duas APP de nascentes com raio de 50 metros, com suas áreas somadas em, aproximadamente, 16.700 metros quadrados. Esta largura de APP foi estabelecida em função da legislação atual, com base na dimensão do curso d'água. Isso indica que, para este curso d'água, as imagens do satélite Landsat na resolução de 30 metros não seriam as mais adequadas, em função da dimensão ser a mesma da largura desta APP, o que implica em apenas um pixel classificável nesta largura. As dimensões da APP observadas no campo também estão nesta escala de grandeza, acrescidas do fato de haver variação da natureza da vegetação, que passa de mata ripária (preservada ou não) aos campos higrófilos e hidrófilos de várzeas, indistinguíveis das pastagens ao redor. Isto corrobora os resultados apresentados na tabela 3, onde observa-se uma subestimação, na imagem Landsat, na percentagem das classes: corpos hídricos, pastagem e formação florestal na APP de curso d'água e, na APP de nascente as classes corpo hídrico, solo exposto e formação florestal não foram nem sequer distinguidas na imagem, sendo apenas identificadas as classes vegetação senescente e pastagens, correspondendo esta última a 87% do total da APP.

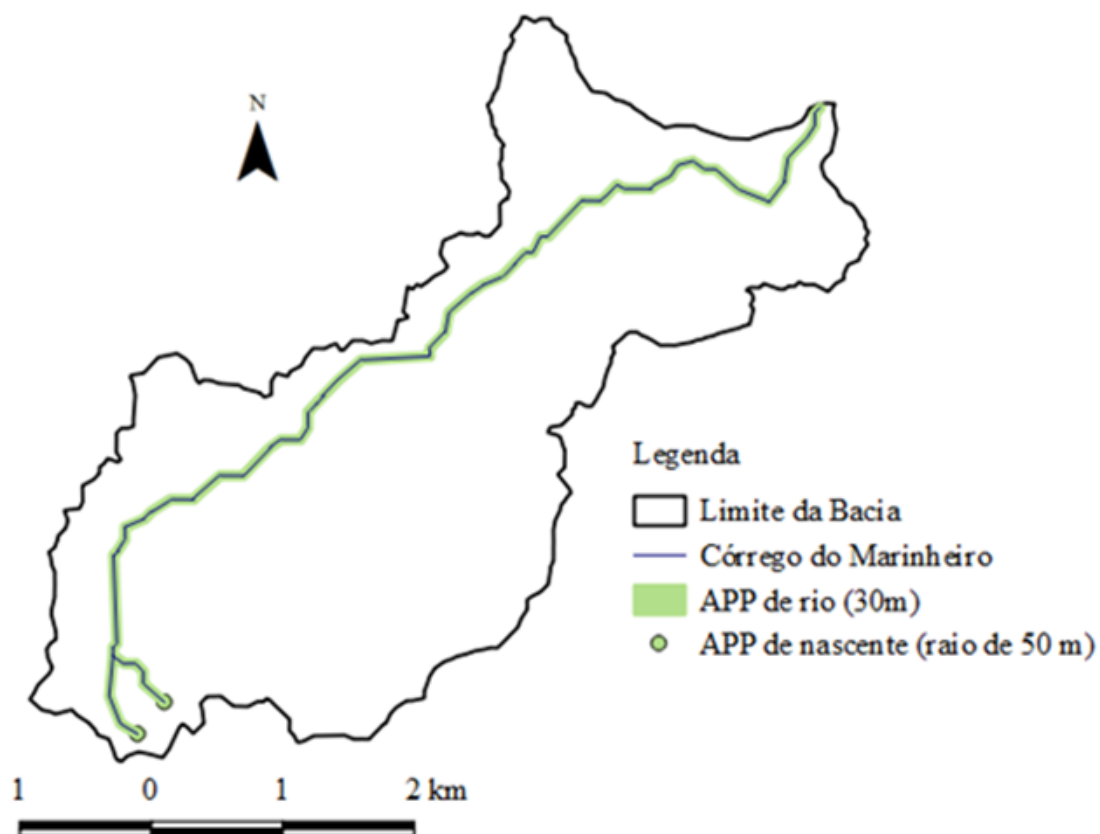


Figura 6 – Áreas de Preservação Permanente de curso d' água e de nascentes na bacia do córrego Marinheiro, Sete Lagoas - MG

A Tabela 3 apresenta as características, dimensões e percentuais das classes de NDVI nas APP na bacia do córrego do Marinheiro, Sete Lagoas – MG, obtidas por meio do satélite Landsat 8 e Ikonos-II

NDVI	Características	APP de Curso d'água				APP de Nascente			
		<i>Landsat 8</i>		<i>Ikonos-II</i>		<i>Landsat-8</i>		<i>Ikonos-II</i>	
		m ²	%	m ²	%	m ²	%	m ²	%
-1 a 0	Corpo hídrico	17.589,37	2,9	27.730,09	4,6	0,00	0,0	0,45	0,0
0.0 a 0.25	Solo exposto	68.947,31	11,4	33.353,30	5,5	0,00	0,0	174,79	1,0
0.25 a 0.50	Vegetação senescente	313.024,54	51,6	131.488,54	21,7	2.088,57	12,5	5.375,38	32,2
0.50 a 0.60	Pastagens	203.554,50	33,6	310.403,58	51,2	14.619,96	87,5	10.571,30	63,3
0.60 a 1	Formação Florestal	2.988,57	0,5	103.128,78	17,0	0,00	0,0	586,62	3,5
Total (m²)		606.104,29				16.708,53			

A imagem Ikonos II por sua vez apresenta uma maior distinção das classes e maior acurácia com as observações de campo. Nela são representadas as classes de NDVI dos corpos hídricos nas APP de Curso d'água (4,6 %) e nas APP de nascentes correspondem a 0,45 m² (0,003%). A diferença observada na classificação dos corpos d'água entre as imagens é devida ao tamanho de pixel, uma vez que os corpos d'água presentes na área são pequenos, geralmente da mesma dimensão do pixel da imagem Landsat (30 metros) ou menores, não sendo portanto, distinguidos nesta imagem. A imagem Ikonos II também permitiu a separação pormenorizada das classes vegetação senescente, pastagem e formação florestal, principalmente nas APP de nascente. Em estudos detalhados, principalmente em pequenas bacias hidrográficas, como a área em estudo, o uso da imagem Landsat promoveria uma generalização das informações. De forma geral, houve uma superestimação da antropização da área pela imagem Landsat, quando esta subestima as formações florestais.

Estudos realizados por Campos & Matias (2012, p.309), nas APP do município de Paulínia – SP, por meio de mapeamento do uso e ocupação da terra, realizado através da interpretação visual de imagens orbitais dos satélites, constataram que 71,55% das APP estavam de acordo com a legislação e 28,45% estavam em desacordo.

As Tabelas 5 e 6 apresentam as matrizes de confusão obtidas para as reclassificações do NDVI em imagens Landsat 8 e Ikonos – II, respectivamente.

Tabela 5 – Matriz de confusão para a reclassificação do NDVI da imagem Landsat 8 para a Bacia do córrego do Marinheiro, Sete Lagoas – MG

Classes	Verdade de Campo				Total
	Solo	Vegetação senescente	Pastagens	Formação Florestal	
Solo	3	0	0	0	3
Vegetação senescente	1	4	0	0	5
Pastagens	0	1	7	0	8
Formação Florestal	0	0	0	5	5
Total	4	5	7	5	21

Analisando a Tabela 5, é possível identificar que 16 dos 21 pontos, correspondem com as informações obtidas pela reclassificação da imagem Landsat 8 e os pontos de validação obtidos em campo, indicando uma precisão geral de, aproximadamente, 76% e um coeficiente Kappa de 0.6739, demonstrando, por sua vez, um acordo substancial entre as classes mapeadas e a verdade de campo.

Tabela 6 – Matriz de confusão para a reclassificação do NDVI da imagem Ikonos-II para a Bacia do córrego do Marinheiro, Sete Lagoas – MG

Classes	Verdade de Campo				Total
	Solo	Vegetação senescente	Pastagens	Formação Florestal	
Solo	3	0	0	0	3
Vegetação senescente	1	4	0	0	5
Pastagens	0	1	7	0	8
Formação Florestal	0	0	0	5	5
Total	4	5	7	5	21

Analisando a Tabela 6, é possível identificar que 19 dos 21 pontos, correspondem com as informações obtidas pela reclassificação da imagem Ikonos-II e os pontos de validação obtidos em campo, indicando uma precisão geral de, aproximadamente, 90% e um coeficiente Kappa de 0.8679, demonstrando, por sua vez, um acordo muito grande entre as classes mapeadas e a verdade de campo (GONG & HOWARTH, 1990, p. 597; LANDIS & KOCH, 1977, p. 159). Há uma inversão relativa entre os valores das classes “Pastagens” e “Vegetação Senescente” entre as duas imagens, tendo a imagem Landsat maior proporção da segunda em relação à imagem Ikonos II, o que implica em maior dificuldade para separar feições de pastagem de áreas de APP em pior estado de conservação ou em regeneração. A imagem Landsat também não conseguiu identificar adequadamente a proporção de Formação Florestal remanescente nestas áreas, provavelmente também em função do tamanho de pixel. Isso reforça a indicação da não adequação destas imagens para análises com este fim.

A Figura 7 apresenta alguns pontos de observação de campo na bacia do Córrego Marinheiro onde é possível identificar: áreas de vegetação senescente (1 e 2), pastagens (5 e 6), espelho d’água (4) e formações florestais (3). Note-se também que a área apresenta diversos tipos fitofisionômicos distintos, do cerrado sensu strictu à vegetação ripária sempre verde, com gradações.

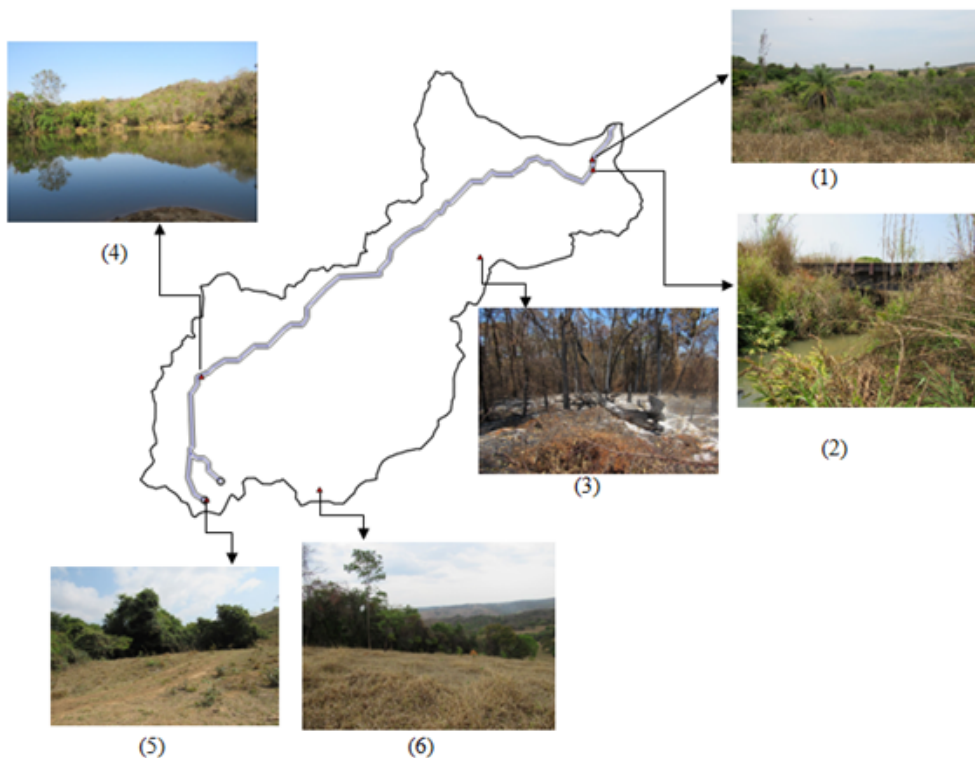


Figura 7 – Registro fotográfico de alguns pontos na Bacia do córrego do Marinheiro, Sete Lagoas MG

Considerações Finais

Baseando-se nos procedimentos metodológicos elaborados e nas análises e discussões efetuadas sobre os resultados obtidos pode-se inferir as seguintes conclusões:

- O cálculo e a reclassificação do NDVI na bacia do córrego Marinheiro em cinco classes de uso do solo permitiram identificar e avaliar a vegetação das APP de curso d'água e de nascentes, obtendo acordo regular nas reclassificações em imagem Landsat 8 e um acordo muito alto nas reclassificações de imagens Ikonos - II, evidenciando o potencial de utilização de ambas as imagens no estudo da distribuição da vegetação na bacia mas mostrando a limitação da imagem Landsat para o estudo de APP desta dimensão.
- A classe do tipo Pastagens predominou nas APP de nascentes tanto nas classificações do satélite Landsat 8 (87,5%), quanto nas classificações do satélite Ikonos-II (63,27%), indicando a necessidade de realização de medidas de proteção de nascentes.
- Os pontos de validação utilizados no estudo demonstraram que as cenas do satélite Landsat 8 permite uma boa avaliação preliminar e estudo da vegetação em bacias pequenas, como é o caso da bacia do córrego Marinheiro, principalmente pela forma de obtenção gratuita. No entanto, recomenda-se a utilização de imagens com melhor precisão espacial para o diagnóstico e para tomadas de ação em APP de cursos d'água de pequena largura, como este.
- Em relação aos resultados obtidos, na bacia do córrego Marinheiro, pela classificação do NDVI das imagens Ikonos-II, observou-se uma boa precisão e melhores resultados, comparando-se com o satélite Landsat 8, principalmente devido à resolução espacial das imagens multiespectrais ser de 4 metros.

Referências Bibliográficas

- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa entre outros. Publicada no Diário Oficial da União em 28 de maio de 2012
- BRAZ, A. M.; DE ANDRADE ÁGUAS, T.; GARCIA, P. H. M. Análise de índices de vegetação NDVI e SAVI e Índice de Área Foliar (IAF) para a comparação da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do córrego ribeirãozinho, município de Selvíria –MS. Revista Percurso, v. 7, n. 2, p. 5-22, 2015.
- CAMPOS, F. F. de; MATIAS, L. F. Mapeamento das Áreas de Preservação Permanente (APP) e sua situação de uso e ocupação no município de Paulínia (SP). Geociências (São Paulo), v. 31, n. 2, p. 309-319, 2012.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). ArcGIS for Desktop. Versão. 10.3. Redlands: ESRI, 2013.
- FERRARI, J. L.; dos SANTOS, A. R.; GARCIA, R. F.. Análise da vegetação por meio da subtração de imagem NDVI na sub-bacia hidrográfica do córrego do Horizonte, Alegre, ES. Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia, v. 8, n. 3, 2011.
- GONG, P.; HOWARTH, P. J. An assessment of some factors influencing multispectral land-cover classification. Photogrametric Engineering and Remote Sensing. v. 56, n. 5, p. 597-603, 1990.
- Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em 25 Out. 2016.
- LANDIS, J.; KOCH, G. G. The measurements of agreement for categorical data. Biometrics, v.33, n.3, p.159-179, 1977.
- LUPPI, A. S. L.; DOS SANTOS, A. R.; EUGENIO, F. C., & FEITOSA, L. S. A. Utilização de Geotecnologia para o Mapeamento de Áreas de Preservação Permanente no Município de João Neiva, ES. Floresta e Ambiente, v. 22, n. 1, p. 13-22, 2015.
- KERBAUY, G. B. Fisiologia vegetal. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. Sensoriamento Remoto da Vegetação. 2ª Edição. Cubatão: Oficina de Textos, 2012. 160 p.
- RAMIREZ, G. M.; ZULLO JUNIOR, J.; ASSAD, E. D.; & PINTO, H. S. Comparação de dados dos satélites Ikonos-II e Landsat/ETM+ no estudo de áreas cafeeiras. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 41, n. 04, p. 661-666, 2006.
- ROUSE, J.W.; HAAS JR., R.H.; DEERING, D.W.; SCHELL, J. A.; HARLAN, J. C. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation, NASA/GSFC type III final report: Greenbelt, Maryland, NASA, 1974, 371p.
- SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M.; SILVA, C. P. de C. (Ed.). Inventário Florestal de Minas Gerais: Floresta Estacional Semidecidual e Ombrófila - Florística, Estrutura, Diversidade, Similaridade, Distribuição Diamétrica e de Altura, Volumetria, Tendências de Crescimento e Áreas aptas para o Manejo Florestal. Lavras: UFLA, 2008. cap. 5, p.255-335.
- SOARES-FILHO, B.; RAJÃO, R.; MACEDO, M.; CARNEIRO, A.; COSTA, W.; COE, M.; RODRIGUES, H.; & ALENCAR, A. Cracking Brazil's forest code. Science, 344(6182), 363-364, 2014.
- TAYLOR, M. IKONOS planetary reflectance and mean solar exoatmospheric irradiance. GeoEye – IKONOS Planetary Reflectance. QSOL Rev. 2, 2009. 3 p.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Using the USGS Landsat 8 Product. Disponível em:<http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php>. Acesso em: 20 out. 2016.