



Uso de NDVI e SAVI para Caracterização da Cobertura da Terra e Análise Temporal em Imagens RapidEye

Use of NDVI and SAVI for Characterization of the Earth's Coverage and Temporal Analysis in Images RapidEye

Diego Ricardo Medeiros de LIMA [1](#); Fernando Luís DLUGOSZ [2](#); Mariângela Ceschim IURK [3](#); Vagner Alex PESCK [4](#)

Recibido: 22/02/2017 • Aprobado: 15/03/2017

Conteúdo

- [1. Introdução](#)
 - [2. Materiais e métodos](#)
 - [3. Resultados e discussão](#)
 - [4. Conclusões](#)
- [Referências bibliográficas](#)

RESUMO:

A pesquisa analisou a aplicação de índices de vegetação aplicados em imagens RapidEye, para caracterização da cobertura florestal e estudo multitemporal da dinâmica de uso a terra, na região de Fernandes Pinheiro – PR, entre 2011 e 2014. Utilizaram-se os índices Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) e Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI). A utilização do produto RapidEye para elaborar os Índices de Vegetação são instrumentos eficazes no monitoramento das áreas cobertas com cobertura vegetal natural, sendo possível separá-las em tipologias distintas.

Palavras-chave: RapidEye, Índice de Vegetação, NDVI, SAVI.

ABSTRACT:

The research analyzed the application of vegetation indices applied to RapidEye images, to characterize the forest cover and multitemporal study of land use dynamics, in the region of Fernandes Pinheiro - PR, between 2011 and 2014. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI). The use of the RapidEye product to elaborate the Vegetation Indices are effective instruments in the monitoring of the areas covered with natural vegetation cover, being possible to separate them in different typologies.

Keywords: RapidEye, Vegetation Index, NDVI, SAVI.

1. Introdução

Com as técnicas de sensoriamento remoto, tornam-se possíveis a quantificação e qualificação de vários parâmetros biofísicos da vegetação, como o índice de área foliar, biomassa e sua produtividade, porcentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética e a caracterização e

monitoramento de áreas com vegetação.

Normalmente, estas estimativas são efetuadas com a utilização dos chamados Índices de Vegetação (IVs) e outras variáveis extraídas de imagens de sensoriamento remoto, apresentando a grande vantagem de proporcionar a acessibilidade de informações em locais remotos e de difícil acesso, além de menos onerosos, em termos de trabalhos de campo, quando comparados aos métodos tradicionais (Ferraz, A. S.; Soares, V. P.; Soares. C. P. B.; Ribeiro, C. A. S. A; Gleriani, J. M., 2013).

O monitoramento da cobertura da terra pode ser realizado por meio de índices de como o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) (Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A. y Deering, D.W. 1973). O NDVI é o índice mais comumente utilizado para vários fins, dentre eles, o cálculo de índice de área foliar (Almeida, A. Q.; Ribeiro, A. Delgado, R. C.; Rody, Y. P.; Oliveira, A. S.; Leite, F. P.; 2015) e biomassa aérea (Ferraz, A. S.; Soares, V. P.; Soares. C. P. B.; Ribeiro, C. A. S. A; Gleriani, J. M., 2013).

Na tentativa de minimizar a influência da reflectância do solo sobre o NDVI, Huete (1988) incorporou o fator L, dando origem ao índice *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI). Esse fator promove um ajuste conforme a cobertura do solo, buscando minimizar os efeitos da cor do solo nos resultados do índice. De acordo com as características dos solos e o tipo de cobertura, este fator pode variar entre 0 (vegetação densa) e 1 (vegetação mais rala). O valor de L igual a 0,5 vem sendo utilizado na maioria dos casos, independente do tipo de solo e considerar uma cobertura vegetal de densidade intermediária (Washington-Allen R.A.W, Ramsey R.D, West N.E., 2004). Em áreas mais densas, adota-se a constante L= 0.25. Quando o L é igual a 0, o SAVI é análogo ao NDVI (Huete, 1988; Meneses e Almeida, 2012).

Utiliza-se o NDVI para estimar o Índice de Área Foliar (IAF) em diferentes tipos de formações florestais (Fassnacht, K.S., Gower, S.T., Mackenzie, M.D., Nordheim, E.V., Lillesand, T.M. 1997; Turner, D.P., Cohen, W.B., Kennedy, R.E., Fassnacht, K.S., Briggs, J.M. 1999; Xavier, A.C., Vettorazzi, C.A., 2003). Entretanto, em alguns casos, esse índice tem se mostrado mais sensível às variações do solo, não representando as características e as mudanças ocorridas na arquitetura do dossel vegetal, além do problema da saturação, para elevados valores de IAF.

A estimativa de biomassa com NDVI pode não ser efetiva, devido a imagem ser obtida em épocas em que a maioria das espécies a serem estimadas encontram-se desprovida de folhas, especialmente as leguminosas (Ferraz, A. S.; Soares, V. P.; Soares. C. P. B.; Ribeiro, C. A. S. A; Gleriani, J. M., 2013). Cabe ressaltar, que o índice está totalmente relacionado com a cobertura vegetal, especialmente no estado de senescência da vegetação.

Com o exposto, esta pesquisa visou analisar o potencial dos índices de vegetação NDVI e SAVI aplicados em imagens RapidEye, para fins de caracterização da cobertura e uso da terra, associada a análise temporal.

2. Materiais e métodos

2.1. Área de estudo

A área de estudo engloba as propriedades rurais e fragmentos de florestas naturais que fazem parte do projeto de pesquisa e extensão denominado "Estratégias para o manejo florestal sustentável em pequenas propriedades rurais no Centro-Sul do Paraná", popularmente chamado de "Projeto Imbituvão", que envolve 36 propriedades rurais localizadas na sub-bacia do rio Imbituvão, no Município de Fernandes Pinheiro, estado do Paraná (Figura 1).

Para tanto, o presente estudo, desenvolvido em paralelo e sem vínculo ao projeto supracitado, fez uso de dados referentes à delimitação das propriedades envolvidas no projeto Imbituvão. Segundo Naujack (2015) estas propriedades são bastante distintas entre si, em diversos aspectos como: tamanho, fonte de renda, condições do remanescente florestal, produto principal gerador de renda, entre outros.

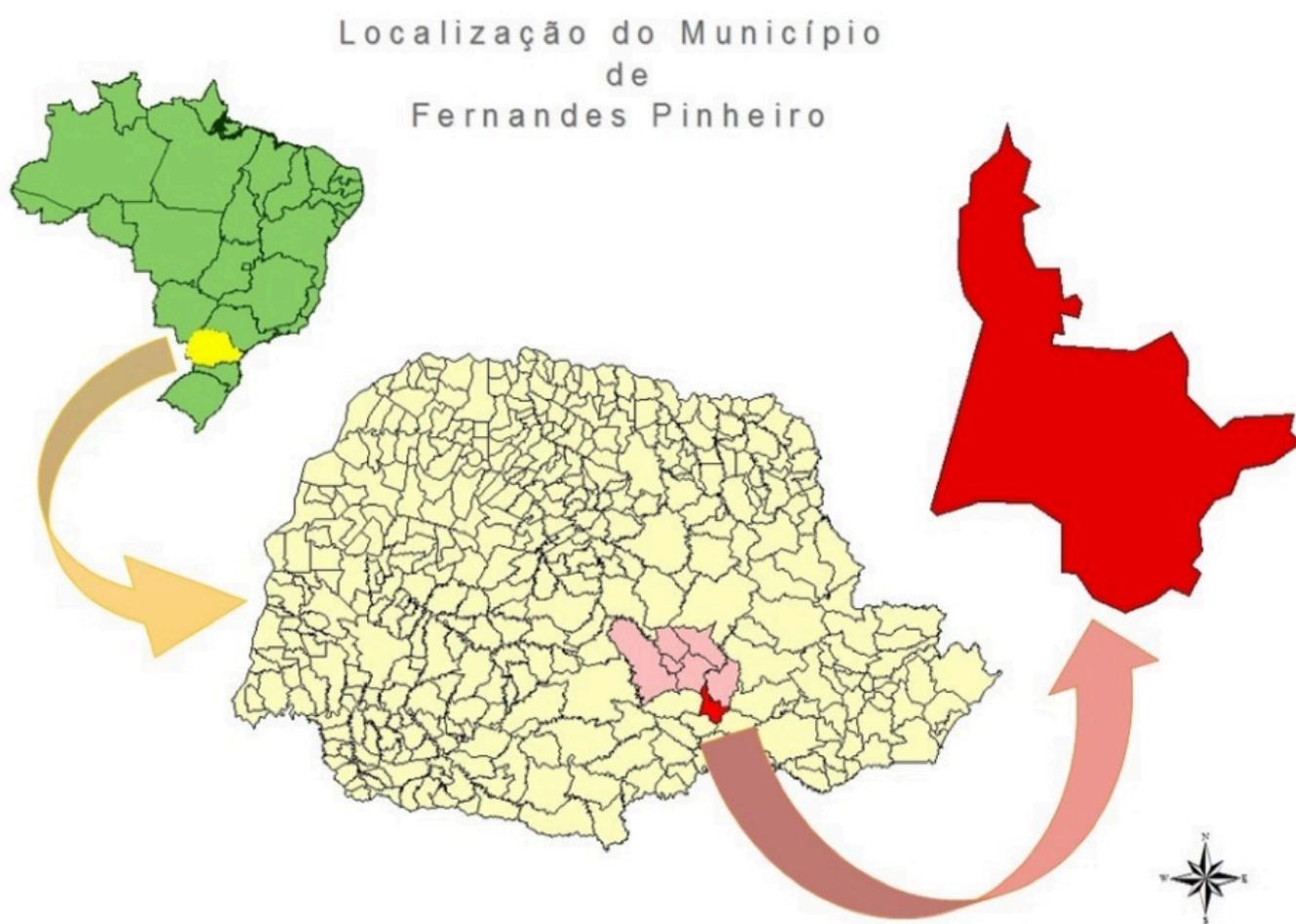


Figura 1 – Localização geográfica do município de Fernandes Pinheiro

As propriedades rurais estão localizadas de forma distanciada, ou seja, não apresentando, na maioria, contato entre suas delimitações. Para definir uma área contígua, realizou-se a seleção das extremidades dos polígonos referentes às delimitações de propriedades mais afastadas, em sequência as propriedades selecionadas foram interligadas, formando, assim, um polígono da área de interesse (Figura 2).

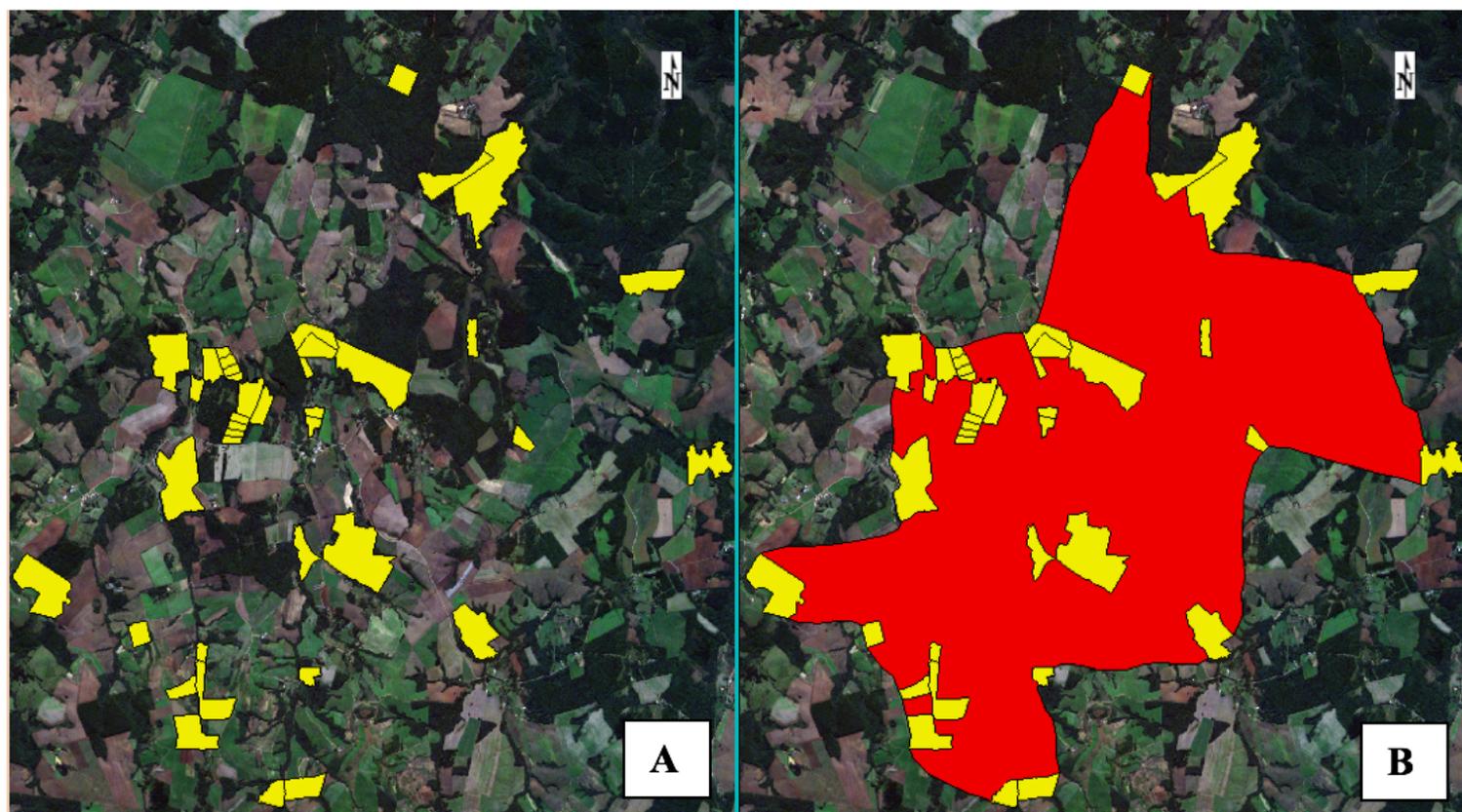


Figura 2 – (A) Propriedades envolvidas no projeto. (B) Delimitação da área de estudo.

Após a confecção do polígono da área de estudo, foram elaborados os mosaicos das cenas e realizados os recortes desses de acordo com a área de interesse (Figura 3).



Figura 3 – Recorte dos mosaicos das imagens conforme área de interesse.

Pré-Processamento

As imagens RapidEye ortorretificadas utilizadas, foram disponibilizadas pelo Ministério do Meio Ambiente, por meio de um convênio com a Universidade Estadual do Centro-Oeste. Para tanto, foram utilizadas quatro cenas orbitais, sendo: duas referentes ao início do mês de julho de 2011 (2227316_2011-07 e 2227317_2011-07) e as outras duas imagens pertencem a segunda quinzena de junho de 2014 (2227316_2014-06 e 2227317_2014-06).

Para permitir a comparação das imagens em diferentes datas ou épocas do ano, efetuou-se a transformação da imagem, apresentada em números digitais (DN), para valores de reflectância na superfície, sendo este processo realizado em duas etapas:

a) Conversão dos valores de DN para radiância espectral.

$$L_{\lambda} = \left(\frac{L_{MAX\lambda} - L_{MIN\lambda}}{Q_{cal\max} - Q_{cal\min}} \right) \times (Q_{cal} - Q_{cal\min}) + L_{MIN\lambda} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

L_{λ} = é a radiância espectral registrada no sensor [$W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$];

Q_{cal} = valor do pixel calibrado [DN];

$Q_{cal\min}$ = valor de DN mínimo correspondente à $L_{MIN\lambda}$ [DN];

$Q_{cal\max}$ = valor de DN máximo correspondente à $L_{MAX\lambda}$ [DN];

$L_{MIN\lambda}$ = radiância espectral registrada no sensor que é escalonada em função ao $Q_{cal\min}$ [$W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$];

$L_{MAX\lambda}$ = radiância espectral registrada no sensor que é escalonada em relação ao $Q_{cal\max}$ [$W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$];

b) Em seguida, com os valores da radiância espectral, foi possível a transformação para a reflectância na superfície.

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos(\theta)}, \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

ρ_{λ} = reflectância aparente ou de topo da atmosfera (adimensional);

L_{λ} = radiância bidirecional aparente ($W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$);

d = distância Sol-Terra em unidades astronômicas;

$ESUN_{\lambda}$ = irradiância solar exoatmosférica média no topo da atmosfera ($W/(m^2 \cdot \mu m)$);

θ = ângulo zenital solar (graus).

Aplicação dos índices de vegetação

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) é a razão entre a diferença das reflectividades das bandas no infravermelho próximo e no vermelho e pela soma dessas mesmas reflectividades (Equação 3) (Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W., 1973).

O NDVI é um indicador sensível a quantidade e condição da vegetação, cujos valores variam no intervalo de -1 a 1. Nas superfícies que contêm água ou nuvens, esta variação é sempre menor do que 0. Este índice é aplicado às imagens da faixa de espectro eletromagnético do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (R), sendo no satélite RapidEye correspondentes a banda 5 e a banda 3, respectivamente.

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

ρ_4 = reflectividades da banda no infravermelho;

ρ_3 = reflectividades da banda no vermelho.

O Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) é um índice que pondera efeitos do solo exposto em imagens de sensores remotos, para ajuste do NDVI quando da não ocorrência de

completa cobertura da superfície pela vegetação (Equação 4). Para a álgebra do SAVI aplicou-se o valor 0,5 para a constante "L", visando adequar a área de estudo com densidades médias de vegetação.

$$SAVI = \frac{(1+L_s)(\rho_4 - \rho_3)}{(L_s + \rho_4 + \rho_3)} \quad \text{(Equação 4)}$$

Onde:

L_s é uma constante denominada de fator de ajuste do índice SAVI, podendo assumir valores de 0,25 a 1 dependendo da cobertura do solo.

Segundo Ponzoni e Shimabukuro (2010), em geral o fator $L = 0,5$ é mais utilizado, uma vez que agrupa maior variação de vegetação. Contudo, o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) limita-se em função dos diferentes biomas e situações de uso e ocupação, uma vez que os valores da constante são generalizados, não considerando as características dos ambientes analisados, mas apenas a densidade vegetal.

Validação dos índices de vegetação

A validação dos índices de vegetação foi realizada a partir de polígonos georreferenciados e subdivididos às classes de usos da terra, referenciando as seguintes tipologias: Floresta Natural (F.N.); Floresta Plantada (F.P.); Agricultura/Campo/Solo (A.C.S.); Corpos d'água/Várzeas (C.V.). Ao todo foram avaliados 93 polígonos, que retratam as quatro classes temáticas.

Em segundo passo definiu-se a posição de centróide para cada polígono (Figura 4), que foram utilizados como pontos amostrais das tipologias em estudo, sendo apresentado na Tabela 1 o respectivo número de pontos avaliados por classe.

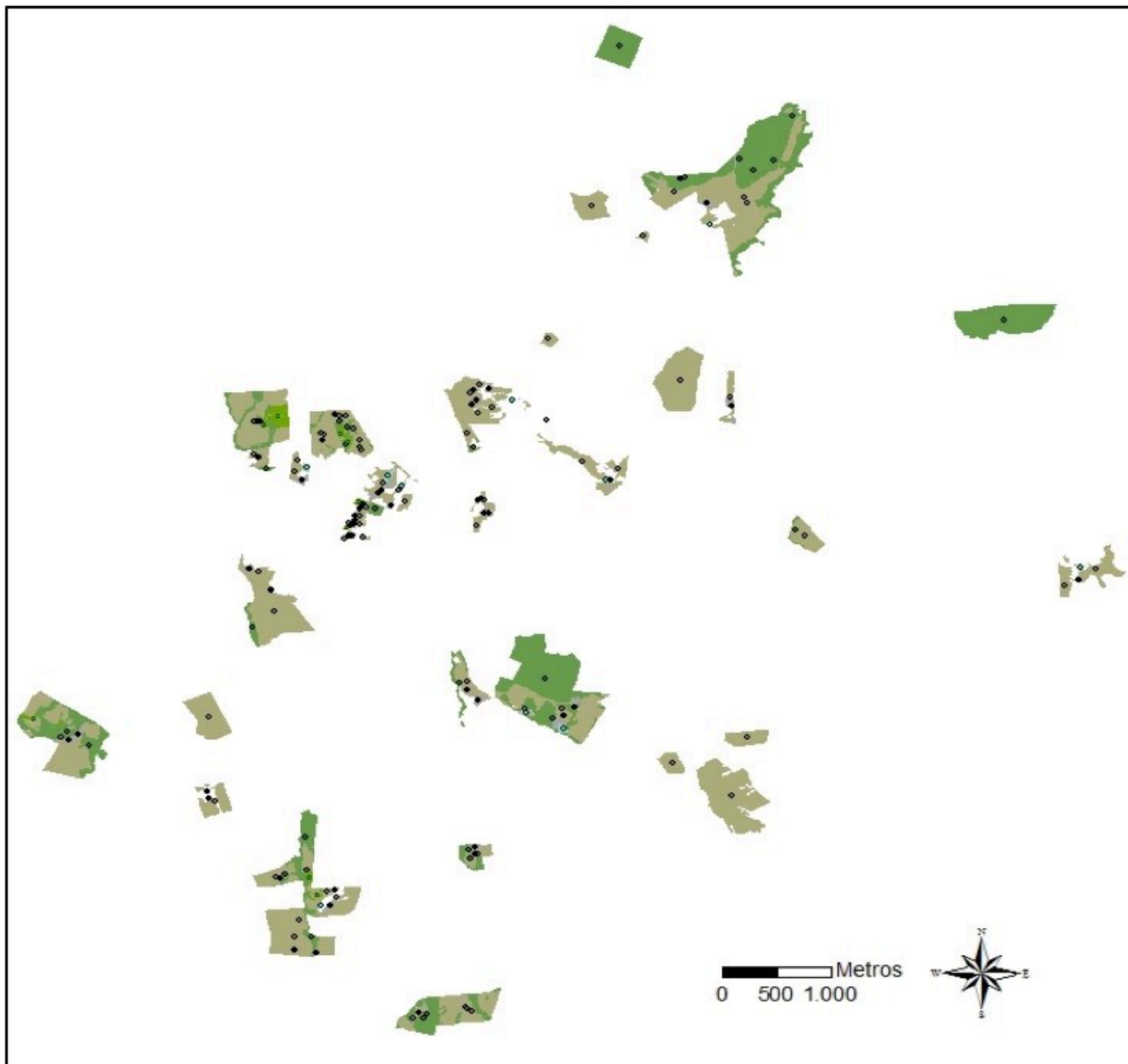


Figura 4 – Distribuição dos polígonos e seus respectivos centróides.

Tabela 1 - Amostragem aplicada por classe temática avaliada.

Classes	Centróides	Área Total (ha)
Floresta Natural	31	0,6975
Floresta Plantada	9	0,2025
Agricultura / Campo / Solo	48	1,08
Corpos d'água / Várzeas	5	0,1125

Para definir cada unidade amostral, utilizou-se a posição dos centróides de cada polígono para estabelecer o *pixel* central da unidade amostral, agregando-se a este mais um *pixel* nos sentidos norte, sul, leste e oeste. Desta forma, selecionaram-se as unidades amostrais (matriz 3 x 3 *pixels*) que contemplam nove *pixels* cada (Figura 5).

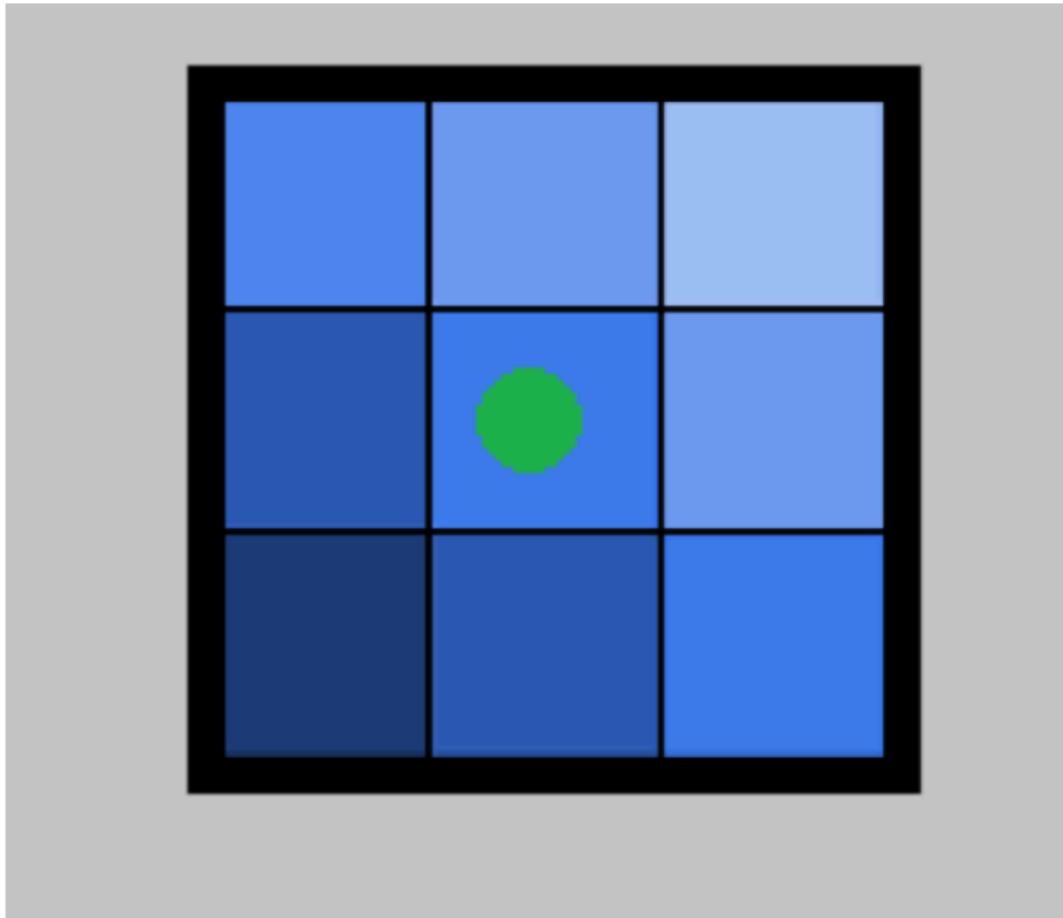


Figura 5 – Exemplo das unidades amostrais estabelecidas.

Os resultados dos índices de vegetações obtidos foram submetidos à análise de acuracidade através dos indicadores na matriz de erros e coeficiente *kappa*, que permitiram avaliar a acuracidade geral de mapeamento, assim como a específica para cada classe de tipologia.

Como mapa-referência (“verdade de campo”), utilizou-se dados coletados “*in loco*” com *Global Navigation Satellite System* (GNSS), sendo avaliado, por meio de cruzamento de dados, os resultados da tabulação feita entre valor de cada *pixel* destas unidades amostrais, com os resultados dos índices para cada *pixel* amostrado.

Aplicação do método de detecção de mudanças Imagem Diferença

Com o objetivo de analisar as mudanças de ocupação do uso da terra entre os anos de 2011 e 2014, foi utilizado o método de Imagem Diferença. A detecção de mudanças é visualizada a partir da subtração da imagem dos Índices de Vegetação (NDVI e SAVI) referente ao mês de junho de 2014 (t1) da imagem Índice de Vegetação referente ao mês de julho de 2011 (t2).

3. Resultados e discussão

3.1. Índice de Vegetação NDVI e SAVI

A aplicação do NDVI permitiu melhor visualização do comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e a outros alvos. Por meio da comparação visual realizada entre o NDVI e o Mapa de Referência foi possível verificar uma boa representatividade da vegetação na cobertura do solo, a tipologia Floresta Natural.

Segundo Gomes, H. B.; Junior, R. S. da S.; Paci, F. T.; Lima, D. K. C.; Castro, P. H. P.; Santos, F. B.; Cabral, S. L.; Ferreira, R. A., 2012, o NDVI apresentou valor máximo de 0,803 e o mínimo de -0,999 com uma média de 0,266, evidenciando uma grande cobertura vegetal na área em estudo, estando em conformidade com o intervalo de valores esperados.

Por meio da matriz de erros (Tabela 2) foi possível avaliar a acuracidade do mapeamento,

através dos índices de acurácia do produtor e do usuário (Tabela 3) e do coeficiente *Kappa* (k). Além de fornecer valores para o cálculo dos parâmetros de exatidão, a matriz de erros permitiu, ainda, identificar erros específicos que afetaram cada classe mapeada.

Tabela 2 - Matriz de Erro do NDVI valores em *pixels*

Classes	F.N.	F.P.	A.C.S.	C.V.	Total das Linhas	<i>Kappa</i> 0,4604
F.N.	231	69	83	0	383	
F.P.	17	4	43	0	64	
A.C.S.	31	8	303	23	365	
C.V.	0	0	3	22	25	
Total das Colunas	279	81	432	45	560	

*Codificação: F.N. – Floresta Natural; F.P. – Floresta Plantada; A.C.S. - Agricultura / Campo / Solo; C.V. - Corpos d'água / Várzeas

A classificação apresentou 66,9% de acurácia global e coeficiente *Kappa* (0,4604), sendo possível concluir que a classificação digital pelo NDVI, gerou resultado 46,04% melhores do que aqueles que seriam obtidos com uma classificação aleatória, sendo este valor definido como bom, pela tabela de classificação do índice de *Kappa*.

Campbell (1996) comenta que uma classificação pode apresentar elevados valores de acuracidade quando a definição das classes ocorre de uma maneira mais generalizada, mas, à medida que aumenta o nível de detalhamento, a acuracidade de mapeamento pode ser reduzida, vindo a apresentar valores mais baixos nos coeficientes de avaliação de exatidão.

Outro fator para a baixa correlação entre o NDVI e SAVI para caracterização da cobertura florestal, pode ser explicado pela época aquisição das imagens, que se referem ao período de inverno, onde há queda de folhas e perda da atividade fotossintética da vegetação. Ferraz, A. S.; Soares, V. P.; Soares. C. P. B.; Ribeiro, C. A. S. A; Gleriani, J. M., 2013, em estudo realizado em Viçosa (MG), numa área de floresta estacional semidecidual, que utilizou a técnica de redes neurais e índices de vegetação NDVI e SAVI, também obteve baixa acurácia na estimativa de biomassa aérea devido a este fator.

A melhor época para a detecção de deficiências de nutrientes ou comportamento da vegetação usando o NDVI estaria na fase vegetativa (Wang, Y., Dunn, B. L., Jiang, L., Arnall, D. B., 2014), porque considerando qualquer cor que não seja verde irá causar valores baixos de NDVI, afetando a confiabilidade dos resultados e gerando confusão entre as classes de estudo.

Lillessand e Kiefer (1994) descrevem que a acuracidade do produtor é uma medida indicativa de quão bem os *pixels* pertencentes a uma categoria conhecida no terreno foram classificados (reflete erros de omissão), enquanto que a acuracidade do usuário indica a probabilidade de que um *pixel* classificado em uma dada categoria realmente represente aquela categoria no terreno (reflete erros de comissão).

Tabela 3 - Acurácia do Produtor e do Usuário por classe, Erros de Omissão e Comissão

Classes	Acurácia do Produtor	Erro de Omissão	Acurácia do Usuário	Erro de Comissão

	(%)	(%)	(%)	(%)
F. N.	$231/279*100 =$ 82,79	17,20	$231/383 =$ 60,31	39,69
F.P.	$4/81*100 =$ 4,94	95,06	$4/64*100 =$ 6,25	93,75
A.C.S.	$303/432*100 =$ 70,14	29,86	$303/365*100 =$ 83,01	16,99
C.V.	$22/45*100$ =48,89	51,11	$22/25*100 =$ 88	12,00

*Codificação: F.N. – Floresta Natural; F.P. – Floresta Plantada; A.C.S. - Agricultura / Campo / Solo; C.V. - Corpos d'água / Várzeas.

Das classes de mapeamento referentes às tipologias apresentadas e submetidas à análise de acuracidade, a classe "Floresta Natural" foi a que apresentou maior acurácia do produtor (82,79%). Analisando-se a acurácia do usuário verifica-se que, 60,31% dos pontos que aparecem no mapa como "Floresta Natural" correspondem, realmente, a esta classe no terreno, sendo que 39,69% desses pontos correspondem a outras classes.

A tipologia "Agricultura / Campo / Solo" teve 70,14% de acurácia do produtor, e igualmente interessante foi que 83,01% desta tipologia encontrada pelo NDVI correspondem ao terreno. A tipologia "Corpos d'água/Várzeas" que demonstrou 48,89% de acurácia do produtor e a acurácia do usuário apresenta-se 88%.

Na classe "Floresta Plantada", verificou-se o maior erro de omissão (95,06%) na classificação do NDVI, constatando-se a confusão existente nesta tipologia, em que 69 *pixels* desta tipologia foram classificados como pertencentes a classe "Floresta Natural" e apenas quatro *pixels* combinando com a verdade de campo.

Esta confusão ocorreu, devido as espécies comumente utilizadas em plantios florestais, pertencerem em grande maioria aos gêneros de *Pinus* (conífera) ou *Eucaliptus* (folhosa) de características muito distintas em estrutura das folhas, clorofila, espessura da parede foliar, que estão diretamente ligadas a respostas espectrais destas espécies, fator que é fundamental na obtenção dos índices de vegetação.

Estas características favoreceram o NDVI identificar as Florestas Plantadas do gênero *Pinus* com valores da classe Floresta Natural, e classificar Florestas Plantadas do gênero *Eucaliptus* com valores da tipologia "A.C.S."

Já Almeida, A. Q.; Mello, A. A.; Dória Neto, A. L.; Ferraz, R. C., 2014 aplicando os índices NDVI, SAVI e RS (razão simples) em imagens do satélite LANDSAT TM5, obtiveram bons ajustes, sendo que o melhor modelo ajustado foi a partir do NDVI, com coeficiente de determinação de 0,73 e para SAVI de 0,68.

O SAVI faz parte de um grupo de índices considerados híbridos por utilizarem a razão de bandas com parâmetros de ajuste para minimizar o efeito da presença de solo em meio à vegetação. Na comparação visual realizada entre o SAVI e o Mapa de Referência, foi possível constatar uma boa representatividade e correta classificação das tipologias "Floresta Natural" e "Agricultura / Campo / Solo", onde a minimização do efeito do solo ficou mais evidenciada.

Com os resultados obtidos pelo SAVI construiu-se à matriz de erros (Tabela 4) para avaliar a acuracidade do mapeamento, por meio do cálculo das acurácias das classes, do produtor e do usuário (TABELA 5) e do coeficiente *Kappa* (k).

Tabela 4 – Matriz de Erro para o resultado do SAVI, com valores em *pixels*.

Classes	F.N.	F.P.	A.C.S.	C.V.	Total das Linhas	Kappa 0,4911
F.N.	212	62	48	0	322	
F.P.	42	10	49	0	101	
A.C.S.	25	9	332	25	391	
C.V.	0	0	3	20	25	
Total das Colunas	279	81	432	45	574	

*Codificação: F.N. – Floresta Natural; F.P. – Floresta Plantada; A.C.S. - Agricultura / Campo / Solo; C.V. - Corpos d'água / Várzeas

A classificação digital pelo SAVI apresentou acurácia geral de 68,58% e coeficiente *Kappa* de 0,4911, onde conclui-se que o resultado obtido é 49,11% melhores do que aqueles que seriam obtidos com uma classificação aleatória, sendo este valor definido como bom pela tabela de classificação do índice de *Kappa*.

Tabela 5 - Acurácias do Produtor e do Usuário por Classe, Erros de Omissão e Comissão.

Classes	Acurácia do Produtor	Erro de Omissão	Acurácia do Usuário	Erro de Comissão
	(%)	(%)	(%)	(%)
F.N.	$212/279*100 =$ 75,99	24,01	$212/322*100 =$ 65,84	34,16
F.P.	$10/81*100 =$ 12,35	87,65	$10/101*100 =$ 9,9	90,10
A.C.S.	$332/432*100 =$ 76,85	23,15	$332/391*100 =$ 84,91	15,09
C.V.	$20/45*100 =$ 44,44	55,56	$20/23*100 =$ 86,96	13,04

*Codificação: F.N. – Floresta Natural; F.P. – Floresta Plantada; A.C.S. - Agricultura / Campo / Solo; C.V. - Corpos d'água / Várzeas.

Na classificação gerada por meio do cálculo do SAVI, diferentemente do NDVI onde a classe "Floresta Natural" foi a que apresentou maior acurácia do produtor (82,79%), o SAVI apresentou para a classe "A.C.S." maior acurácia do produtor (76,85%), salientando que a constante usada L (variável de ajuste do solo) foi 0,5 para médias densidades de vegetação. Analisando-se na tabela 5 que a acurácia do usuário obtida foi de 84,11% dos pontos que aparecem no mapa como "Floresta Natural" correspondem, realmente, a esta classe no terreno,

sendo que 39,69% desses pontos correspondem a outras classes.

A tipologia "Floresta Natural" obteve como acurácia do produtor 75,99%, e 83,01% dos polígonos desta tipologia definida pelo SAVI corresponde a realidade do terreno. Para a classe "Floresta Natural" os valores de acurácia recomendaram o uso do NDVI. Quanto à classe "Corpos d'água / Várzeas" a avaliação apresentou 44,44% de acurácia do produtor, e 86,96% para a acurácia do usuário.

Na classe "Floresta Plantada" verificou-se no cálculo do SAVI um comportamento similar ao descrito no NDVI. No SAVI a classe "Floresta Plantada" forneceu maior erro de omissão (95,06%) e uma acurácia do produtor de somente (12,35%).

Para possibilitar a análise temporal entre os índices de vegetação aplicados a uma determinada classe de uso da terra, utilizou-se a subtração de imagem de 2014 (t1) da referente ao ano de 2011 (t2).

Ao observar nas imagens NDVI de 2011 e 2014 (Figura 6), ocorreu uma variação considerável na cobertura vegetal. Porém, para retirarem-se efeitos da subjetividade na interpretação entre as duas imagens aplicou-se a subtração de imagem.

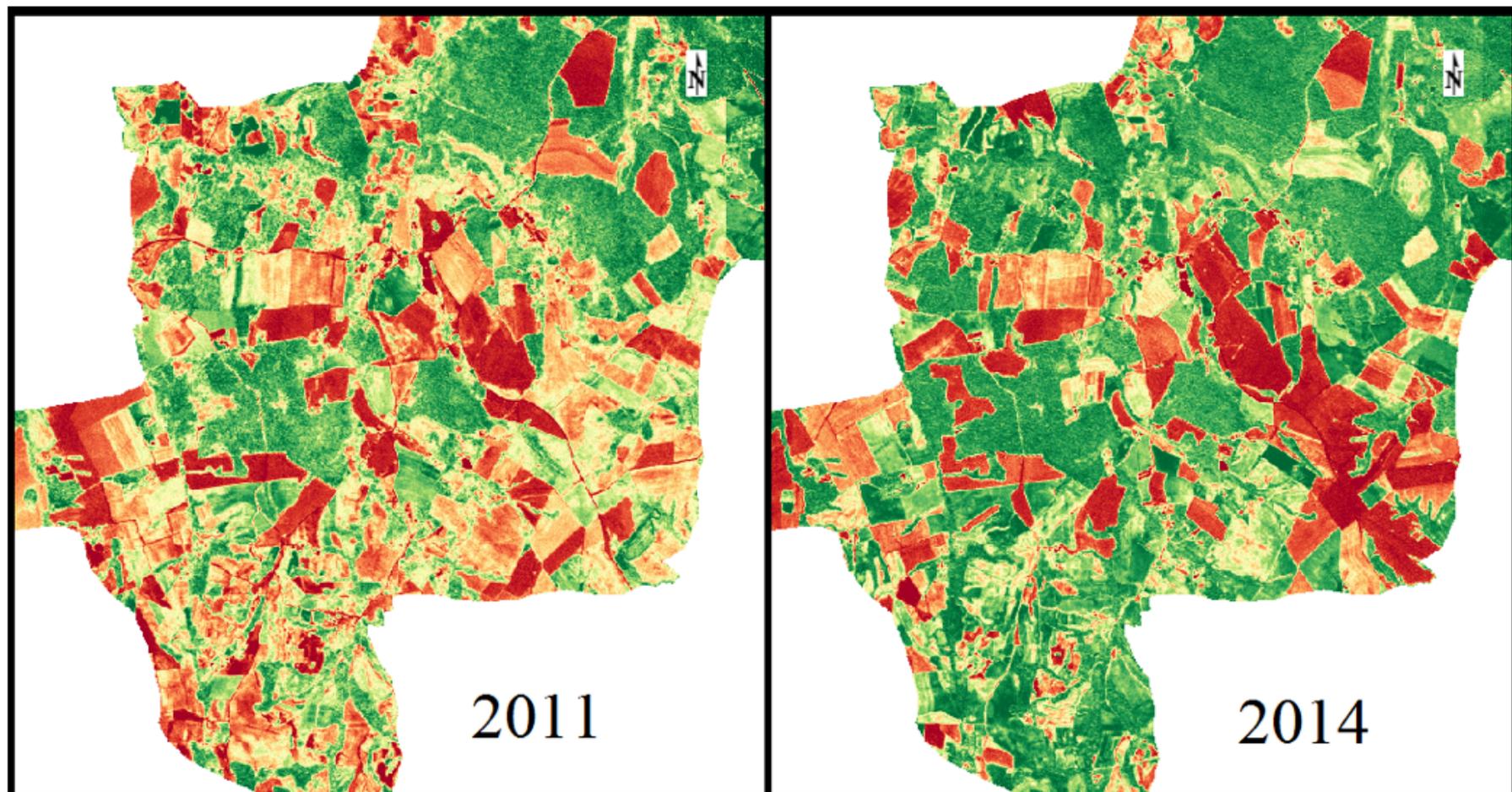


Figura 6 – Resultados da aplicação do NDVI para os anos de 2014 e 2011.

A subtração do NDVI forneceu resultados satisfatórios e promissores para a área florestal, apresentando-se na Figura 7 duas interações realizadas nas imagens de 2014 e 2011.

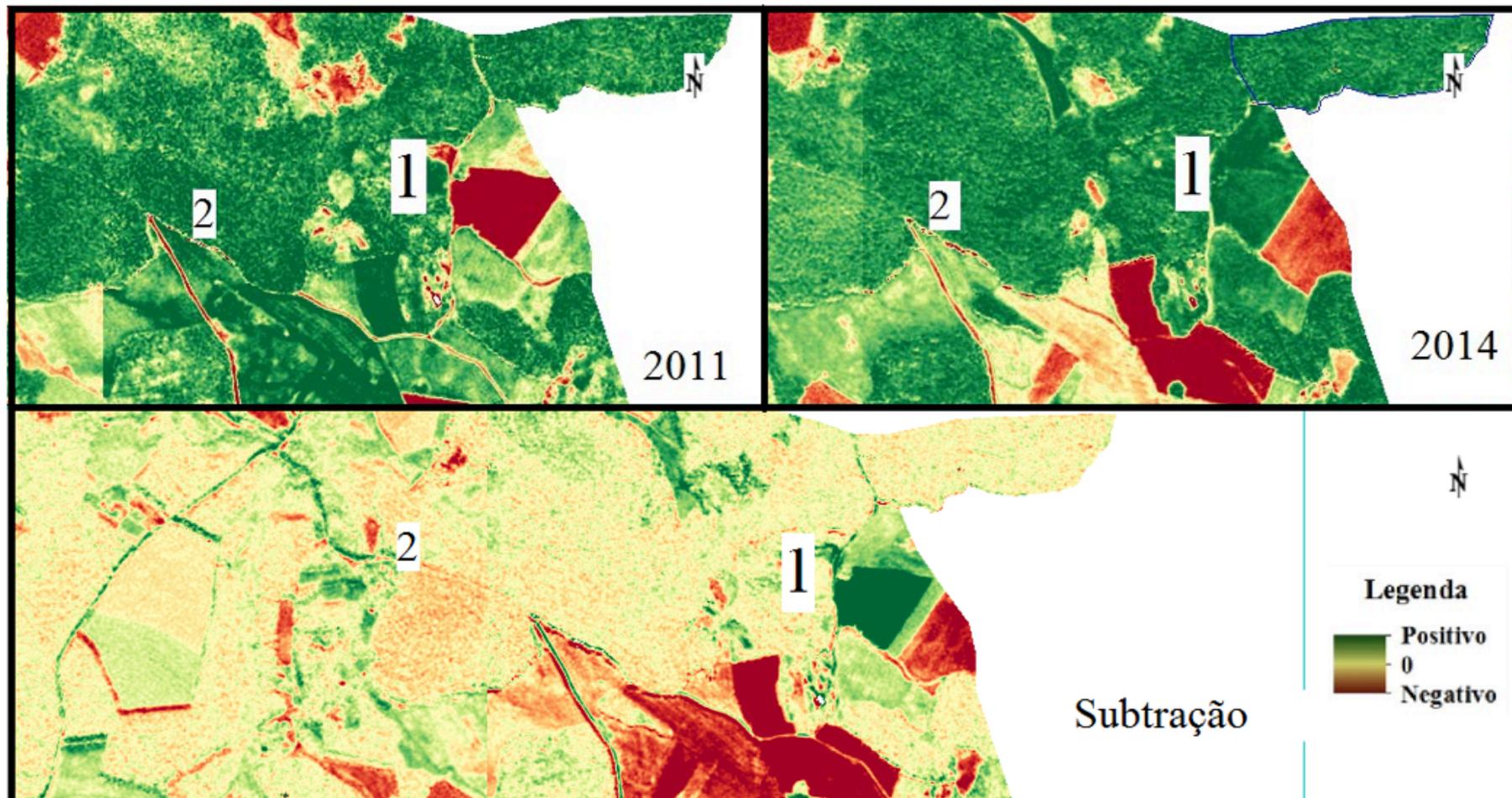


Figura 7 – Resultados do NDVI nos anos de 2014, 2011 e Imagem Subtração.

Na primeira verifica-se uma região no ano de 2011 com uma ocupação vegetal de baixa densidade e ao seu lado direito e arredores uma ocupação de média densidade. Ao verificar a mesma área no ano de 2014 a região com uma ocupação vegetal de baixa densidade, teve um ganho expressivo de ocupação e densidade vegetal.

Na segunda interação, é possível visualizar ao lado direito das imagens 2011 e 2014 áreas com densidades elevadas de ocupação vegetal e densidades aparentemente similares, dificultando estabelecer a ocorrência de ganho ou perda desta cobertura. Quando se observa na imagem de subtração utilizando o gradiente exemplificado na legenda, têm-se uma forma muito mais nítida de visualização destes ganhos e perdas de cobertura e densidade vegetal na tipologia “Floresta Natural”.

Diante dos resultados apresentados, pode-se concluir que a utilização do produto RapidEye para elaborar os Índices de Vegetação gerados pelas bandas individuais do vermelho e infravermelho próximo são instrumentos eficazes no monitoramento das áreas cobertas com cobertura vegetal natural, sendo possível separá-las em tipologias distintas.

Vale salientar que as imagens de 2011 e 2014, abrangem um período de pré e pós iniciação do projeto de pesquisa e extensão, que começou suas atividades em 2012. Este pode ser um fator que tende a explicar parte do ganho de cobertura e densidade vegetal na área deste projeto, pois este trata o incentivo ao manejo sustentável e valoração de remanescentes de floresta natural em propriedades rurais.

A aplicação das técnicas de Manejo Florestal Sustentável, juntamente com orientação por meio de extensão aos proprietários desta região demonstra que não somente as propriedades rurais envolvidas no projeto tiveram ganhos de cobertura e densidade vegetal, mas outras também que rodeiam estas.

4. Conclusões

A utilização de diferentes índices de vegetação em imagens RapidEye para caracterização da cobertura da terra e análise temporal é viável.

Os mapas temáticos de diferentes índices de vegetação nos anos de 2011 e 2014 possibilitaram a caracterização de diferentes tipologias de cobertura da terra, tendo os resultados dos índices de vegetação (NDVI e SAVI) demonstrando uma boa acurácia temática da cobertura vegetal.

Não ocorreu boa representatividade na acurácia temática dos corpos hídricos nos mapas temáticos, demonstrando que a maioria dos corpos hídricos, estavam sobre Áreas de Proteção Permanente com dossel bem estruturado ou, então, estes corpos hídricos não tinham espessura representativa na resolução espacial das imagens RapidEye.

Os índices NDVI e SAVI apresentaram desempenho satisfatório de utilização em aplicações de monitoramento de diferentes tipologias, porém, com limitações.

Diante das conclusões obtidas, recomenda-se:

- o estudo de mais metodologias e aplicações de índices de vegetação, devido a ampla variabilidade de cobertura da terra e comportamento vegetal. A inter-relação da fotossíntese vegetal com os índices de vegetação pode gerar estimativas mais detalhadas como estimativa de biomassa, por meio de índices de vegetação mais complexos como o Índice de Área Foliar (IAF);
- uma análise mais detalhada das imagens de subtração, pois elas podem fornecer, além de comparações, mais opções de aplicação na área Florestal, seja ela, com o valor da variação de índice em cada *pixel*, objeto ou polígono.

Referências bibliográficas

Almeida, A. Q.; Mello, A. A.; Dória Neto, A. L.; Ferraz, R. C. Relações empíricas entre características dendrométricas da caatinga brasileira e dados TM Landsat 5. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.49, n.4, p.306-315, abr. 2014.

Almeida, A. Q.; Ribeiro, A. Delgado, R. C.; Rody, Y. P.; Oliveira, A. S.; Leite, F. P. Índice de área foliar de *Eucalyptus* estimado por índices de vegetação utilizando imagens TM – Landsat 5. *Floresta e Ambiente* 2015; 22(3): 368-376

Campbell, J. B. *Introduction to Remote Sensing*. 2nd. Ed. New York: The Guilford Press, 1996. 622 p.

Fassnacht, K.S., Gower, S.T., Mackenzie, M.D., Nordheim, E.V., Lillesand, T.M. *Estimating the leaf area index of north central Wisconsin forests using the Landsat thematic mapper*. *Remote Sensing of Environment* 1997; 61(2): 229-245. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257\(97\)00005-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00005-9)>.

Ferraz, A. S.; Soares, V. P.; Soares, C. P. B.; Ribeiro, C. A. S. A; Gleriani, J. M. Uso de imagens do satélite IKONOS II para estimar biomassa aérea de um fragmento de floresta estacional semidecidual. *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Foz do Iguacu, PR, Brasil, 2013, INPE. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0302.pdf>>.

Gomes, H. B.; Junior, R. S. da S.; Paci, F. T.; Lima, D. K. C.; Castro, P. H. P.; Santos, F. B.; Cabral, S. L.; Ferreira, R. A. Mapeamento temático da cobertura vegetal na microrregião do Sertão do São Francisco Alagoano, utilizando imagens TM LANDAST 5. *Revista Brasileira de Geografia Física* 05 (2012) 1121-1132.

Huete, A. R. *Adjusting Vegetation Indices for Soilin fluencies*. *International Agrophysics*, vol.4, no. 4, 1988. pp.367-376.

Meneses, P. R; Almeida, T. D. *Introdução ao Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Brasília: Universidade de Brasília, 2012. 266 p.

Lillesand, T. M.; Kiefer, R. W. *Remote sensing and image interpretation*. 3. ed. Crawfordsville: J. Wiley and Sons, 1994. 750 p.

Naujack, C. H.; Regimes de manejo para *Hovenia dulcis* Thunb. em Floresta Ombrófila Mista como alternativa de controle e geração de rendas. 2015. 193f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, PR.

Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E. *Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação*. 2010. ed.

São José dos Campos: Parêntese, 2010. 128 p.

Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. *Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS*. In Earth Resources Technology Satellite- 1 Symposium, 3, 1973. Proceedings. Washington, 1973, v.1, Sec. A, p. 309-317.

Turner, D.P., Cohen, W.B., Kennedy, R.E., Fassnacht, K.S., Briggs, J.M. Relationships *between leaf area index and Landsat TM Spectral Vegetation Indices across three temperate zone sites*. Remote Sensing of Environment 1999; 70(1): 52-68. Disponível em <[http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257\(99\)00057-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257(99)00057-7)>.

Wang, Y., Dunn, B. L., Jiang, L., Arnall, D. B. Characterization of normalized difference vegetation index of eight poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* L.) cultivars during bract color development. Journal of Applied Horticulture, 16(3): 205-209, 2014.

Washington-Allen R.A.W, Ramsey R.D, West N.E. Spatiotemporal mapping of the dry season vegetation response of sagebrush steppe. Community Ecology 2004; 5(1): 69-79. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1556/ComEc.5.2004.1.7>>.

Xavier, A.C., Vettorazzi, C.A. *Leaf area index of ground covers in a subtropical watershed*. Scientia Agricola 2003; 60(3): 425-431. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162003000300002>>.

1. Acadêmico – curso de Engenharia Florestal – Universidade Estadual do Centro-Oeste (Unicentro), Irati PR, dhyegoricardo@gmail.com

2. Professor Doutor em Manejo Florestal, curso de Engenharia Florestal - Universidade Estadual do Centro-Oeste (Unicentro), Irati PR, f.dlugosz@gmail.com

3. Doutoranda em Conservação da Natureza, curso de Engenharia Florestal – Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba PR, mciurk@yahoo.com.br

4. Professor Doutor em Manejo Florestal, curso de Engenharia Florestal – Universidade Estadual do Centro-Oeste (Unicentro), Irati PR, vagneralex@yahoo.com.br

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015
Vol. 38 (Nº 36) Año 2017

[Índice]

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a webmaster]

©2017. revistaESPACIOS.com • Derechos Reservados