



ÍNDICES DE VEGETAÇÃO APLICADOS NA DISCRIMINAÇÃO DE CLASSES DE IDADE E MANEJO DE *PINUS*

Isabella Denardi **Carmello**¹; Édson Luis **Bolfe**²; Priscila Brochado **Gomes**³; Osvaldo Tadatomo **Oshiro**⁴; Denise Jeton **Cardoso**⁵.

Nº 15503

RESUMO – O objetivo do estudo foi discriminar classes de idade e manejo de áreas de plantio de *Pinus* localizadas no planalto norte catarinense, por meio da avaliação dos índices de vegetação (IV). Para a geração dos índices NDVI (índice de vegetação por diferença normalizada), NDVI-RE (índice de vegetação por diferença normalizada na borda vermelha), EVI (índice de vegetação realçado) e ARI (índice de reflectância da antocianina), foram utilizadas duas cenas do satélite RapidEye de novembro de 2013. Foram selecionadas parcelas plantadas nos anos 1999, 2003 e 2007, em situações com e sem desbaste. Entre as parcelas com essas características, foram sorteadas ao acaso seis repetições para cada tratamento. Após a extração dos valores dos IV de cada parcela, foram feitas as seguintes análises: (1) comparação dos valores médios de IV das parcelas de 1999, 2003 e 2007, sem desbaste, pelos testes Anova e Tukey; (2) comparação dos valores médios de IV considerando os fatores ano (1999 e 2003) e manejo (sem e com desbaste), pelos testes Anova dois fatores e Tukey. Para todos os testes foi considerado o nível de significância de 5%. Os resultados permitem concluir que os IVs estudados foram adequados para a separação das classes de idade de *Pinus*, com especial destaque para o NDVI-RE, que diferenciou as três classes de idade. Já para as imagens que não têm banda borda do vermelho, a separação pode ser feita pela combinação do ARI com o NDVI ou o EVI. Não foi possível fazer a discriminação das classes de manejo.

Palavras-chaves: Índice de Vegetação, *Pinus*, RapidEye, Sensoriamento Remoto.

1 Autor, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, PUCC, Campinas-SP; isabella.carmello@colaborador.embrapa.br.

2 Orientador: Pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP; edson.bolfe@embrapa.br.

3 Analista da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas; priscila.brochado@embrapa.br.

4 Analista da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas; osvaldo.oshiro@embrapa.br.

5 Pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo-PR; denise.cardoso@embrapa.br.



ABSTRACT – *This study aimed to distinguish age and management classes in Pinus crops located at the north plateaux of the state of Santa Catarina by means of evaluating vegetation indexes (IVs). To produce the NDVI (normalized difference vegetation index), NDVI-RE (normalized difference vegetation index – red edge), EVI (enhanced vegetation index), and ARI (anthocyanin reflectance index) indexes we used two scenes of the RapidEye satellite from November 2013. We selected thinned and non-thinned plots planted in 1999, 2003 and 2007, from which we then randomly chose six repetitions for each treatment. After extracting the IV values for each plot we performed the following analyses: (1) comparison of average IV values of non-thinned plots planted in 1999, 2003 and 2007 using the Anova and Tukey tests; (2) comparison of average IV values considering the year (1999 and 2003) and management (thinned and non-thinned) factors using the two-way Anova and Tukey tests. We considered a 5% significance level for all tests. The results show that the IVs studied are suitable for distinguishing Pinus' age classes, especially NDVI-RE, which distinguished all three age classes. For the images with no red edge information, the combination of ARI and NDVI or EVI enabled the distinction. Distinguishing management classes was not possible.*

Key-words: Vegetation Index, *Pinus*, RapidEye, Remote Sensing.

1 INTRODUÇÃO

As estimativas do fluxo de emissões de gases de efeito estufa e o carbono estocado nas florestas são informações importantes no amparo a políticas públicas de desenvolvimento e sustentabilidade (EMBRAPA, 2015). Neste contexto está inserido o projeto GeoSaltus, que tem como objetivo classificar e estimar o estoque de carbono de áreas de referência de florestas naturais e plantadas por meio de sensoriamento remoto (EMBRAPA, 2015). Um dos sistemas estudados pelo GeoSaltus é o plantio de *Pinus* na região do planalto norte de Santa Catarina. O gênero foi escolhido por sua importância na silvicultura brasileira, pois é o segundo mais plantado no Brasil (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2013). *Pinus taeda* é a espécie mais plantada, especialmente no sul do país (AGUIAR et al., 2011). Na área estudada, é comum o manejo dos plantios usando a técnica de desbaste, para remover determinadas árvores para favorecer o crescimento de outras e diminuir, assim, a competição entre elas e promover maior abundância de recursos naturais, como água e luz, e conseqüentemente, uma melhoria no desenvolvimento (SIXEL, 2008).

Este trabalho avaliou o potencial de uso de diferentes índices de vegetação (IVs) na discriminação de variadas situações de plantios de *Pinus taeda*. Os IVs são modelos matemáticos desenvolvidos para avaliar a cobertura vegetal e diagnosticar o índice de área foliar, a biomassa,



9º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2015 10 a 12 de agosto de 2015 – Campinas, São Paulo

porcentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética e produtividade (MARCUSI et al., 2010), e consideram principalmente o contraste da resposta da vegetação nos comprimentos de onda do vermelho e do infravermelho próximo, que realça a vegetação em relação aos demais alvos da superfície terrestre (JENSEN, 2009). Foram usados os índices: NDVI (índice de vegetação por diferença normalizada), que sofre saturação em áreas densamente florestadas e é sensível às mudanças na reflectância do fundo do dossel e do solo Huete et al. (1997); NDVI-RE (índice de vegetação da diferença normalizada na borda vermelha), um índice com potencial para substituir o NDVI, já que a borda do vermelho é fortemente correlacionada ao conteúdo de clorofila da vegetação Schuster et al. (2012); EVI (índice de vegetação realçado), escolhido por otimizar o sinal da vegetação em condições de elevada biomassa, o que reduz as influências do sinal de fundo do dossel e da atmosfera Risso et al. (2012); e ARI (índice de reflectância da antocianina), que está relacionado à antocianina presente na folhagem e é responsável por sua coloração avermelhada Gitelson et al. (2001).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial desses IVs para discriminar classes de idade e manejo de plantios da espécie *Pinus taeda*. O presente estudo serve como base para pesquisas mais aprofundadas sobre o uso de sensoriamento remoto em florestas plantadas no âmbito do projeto GeoSaltus.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se no planalto norte catarinense e abrange os municípios de Rio Negrinho, Doutor Pedrinho e Rio dos Cedros (entre as coordenadas 49°32'2"O 26°30'7"S e 49°28'5"O e 26°32'3"S). O clima da região é o Cfb segundo a classificação de Köppen – mesotérmico, subtropical úmido, com verão fresco, sem estação seca e com geadas severas frequentes (SETTE JUNIOR et al., 2006). O solo é do tipo Cambissolo, com maior capacidade de retenção de umidade e nutrientes em decorrência do alto valor de silte e da alta capacidade de troca de cátions (SETTE JUNIOR et al., 2006). As áreas amostradas têm altitudes que variam entre 971 e 1.026 m segundo o modelo digital de elevação de 30 m de resolução gerado usando dados do SRTM.

Os povoamentos de *Pinus taeda* foram inventariados em 2013 pela empresa proprietária da área na época. Foram selecionadas parcelas plantadas em 1999, 2003 e 2007, ou seja, com idades de 14, 10 e 6 anos, e em duas situações de desbaste (tratamento), não desbastado e com um desbaste. Entre as parcelas com essas características, foram sorteadas ao acaso seis repetições para cada um dos tratamentos. A partir da coordenada geográfica central de cada repetição foi gerado um

buffer de 25 m de raio, e a área desse círculo foi considerada a unidade amostral. Para a extração dos IVs foram utilizadas imagens do satélite RapidEye, com resolução espacial de 5 m, compostas por cinco bandas: azul (440 a 510 nm), verde (520 a 590 nm), vermelho (630 a 685 nm), borda do vermelho (690 a 730 nm) e NIR (760 a 850 nm) (BLACKBRIDGE, 2015). Para abranger as áreas amostradas foram necessárias duas cenas de 13 de novembro de 2013.

O primeiro processamento feito com as imagens foi a correção atmosférica usando a ferramenta FLAASH do software ENVI. Em seguida foram calculados os IVs NDVI, NDVI-RE, ARI e EVI com suas respectivas equações (Tabela 1) usando software Erdas Imagine e ENVI. O resultado da aplicação dos índices é ilustrado na Figura 1, que representa as parcelas amostradas em uma das duas cenas utilizadas neste estudo.

Tabela 1. Índices de vegetação, equações para cálculo e fonte.

IV	Equação	Fonte
NDVI	$\frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$	Rouse et al. (1973)
NDVI-RE	$\frac{(R750 - R705)}{(R750 + R705)}$	Schuster et al. (2012)
ARI	$\frac{1}{R550} - \frac{1}{R700}$	Gitelson et al. (2001)
EVI	$G \cdot \frac{(NIR + C1 * RED - C2 * BLUE + L)}{(NIR + RED)}$	Justice et al. (1998)

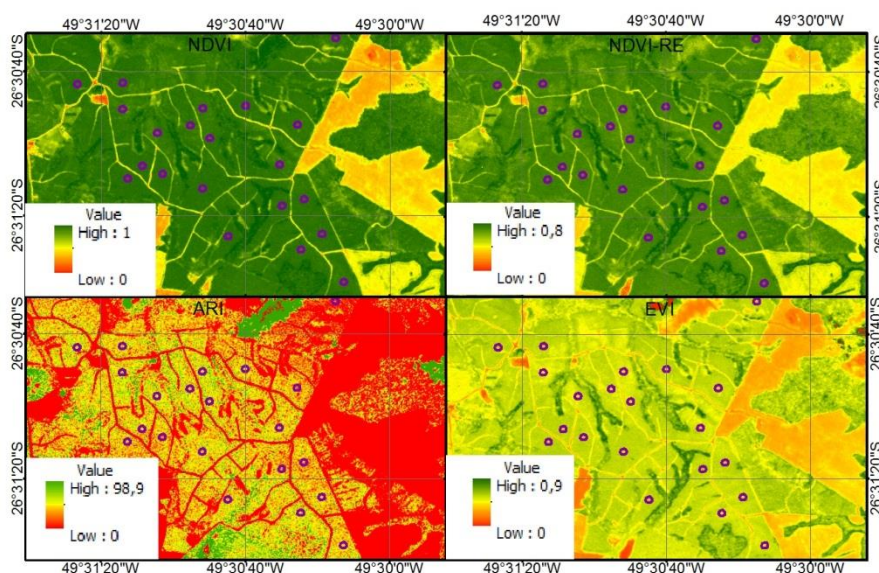


Figura 1. Aplicação dos índices de vegetação em uma das cenas escolhidas para este trabalho e com as respectivas parcelas amostradas.

Posteriormente foi feita a extração dos dados de IV obtidos por parcela usando o software ArcGis. Com esses dados foram feitas as seguintes análises: (1) comparação dos valores médios de IV das parcelas de 1999, 2003 e 2007, todas sem desbaste, pelos testes Anova e Tukey (caso houvesse diferença significativa pelo teste Anova), considerando 5% de significância; (2) comparação dos valores médios de IV das parcelas considerando os fatores ano (1999 e 2003) e manejo (sem desbaste e com um desbaste), pelo teste Anova dois fatores e Tukey (caso houvesse diferença significativa pelo teste Anova).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias dos valores de IV para cada ano plantado apresentaram diferença entre os anos de plantio analisados pelo teste Anova, considerando-se 5% de significância. Pelo teste Tukey, os anos que diferiram entre si variaram de acordo com o IV utilizado. O NDVI e EVI foram capazes de separar o plantio de 1999 dos demais, porém, o plantio de 2003 não apresentou valores diferentes do de 2007 para esses índices (Figura 2 A e D). O NDVI-RE obteve o melhor resultado entre os índices analisados, pois foi o único que conseguiu diferenciar os três anos de plantio pelo teste Tukey (Figura 2 B). O ARI não foi capaz de diferenciar o plantio de 1999 do de 2003, mas diferenciou muito bem o plantio de 2007 dos demais (Figura 2 C).

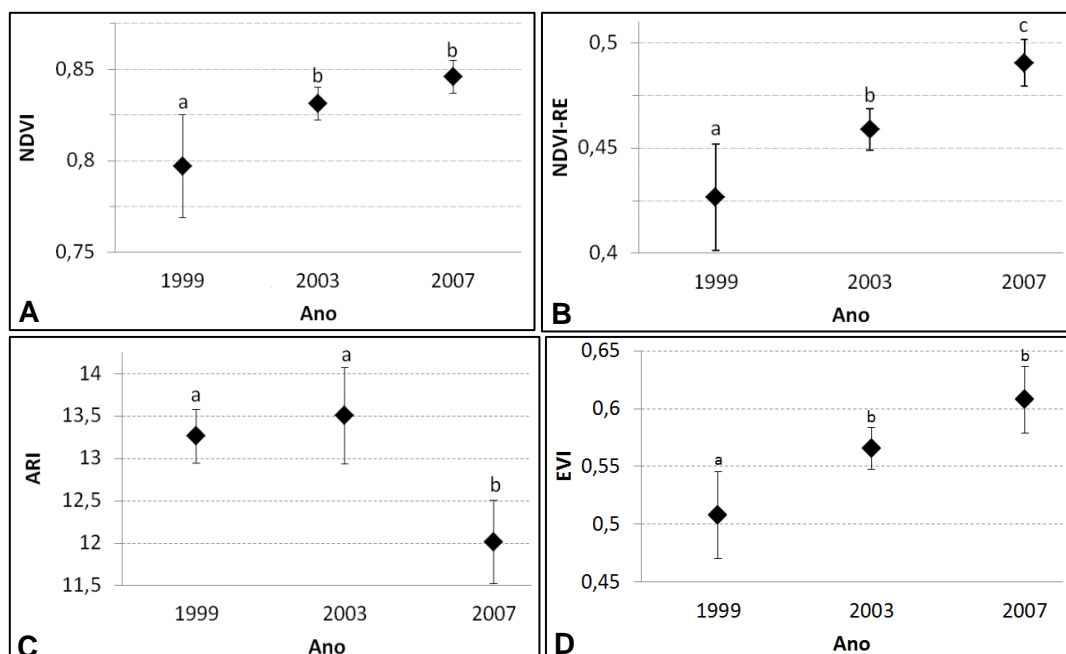


Figura 2. Média e desvio padrão dos valores de NDVI (A); NDVI-RE (B), ARI (C) e EVI (D) por ano de plantio. Letras diferentes acima dos pontos indicam que as médias dos tratamentos diferem entre si no nível de significância de 5% pelo teste Tukey.



9º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2015 10 a 12 de agosto de 2015 – Campinas, São Paulo

Alvarez et al. (2013), ao caracterizar a dinâmica de NDVI e EVI de plantios de *Pinus* usando séries temporais de índices de vegetação Modis, encontraram padrão parecido de decréscimo nos valores desses IVs com a idade do plantio. Segundo o estudo, os valores de NDVI e EVI atingiram os maiores patamares entre 5 e 10 anos e após 11 e 12 anos os valores começam a decrescer. O mesmo padrão foi detectado neste estudo, com os valores desses índices mais altos nos plantios com 6 e 10 anos (2007 e 2003) e valores menores no plantio de 14 anos (1999).

Apesar de muitos autores terem demonstrado correlação positiva entre biomassa da vegetação e NDVI, Huete et al. (1997) indicaram que o NDVI sofre saturação em áreas densamente florestadas e que é sensível às mudanças na reflectância do fundo do dossel e do solo. Por isso foi testado também o EVI, que otimiza o sinal da vegetação em condições de elevada biomassa, o que reduz as influências do sinal de fundo do dossel e da atmosfera (RISSO et al., 2012). Porém, o comportamento dos valores de NDVI e EVI para os tempos de plantio apresentaram comportamento semelhante.

O surgimento do sensor RapidEye trouxe a inovação da borda do vermelho (Red Edge) para as imagens de satélite multiespectrais de alta resolução espacial (BLACKBRIDGE, 2015), a qual permitiu calcular outro índice denominado por Schuster et al. (2012) como NDVI-RE, com potencial para substituir o NDVI, já que a borda do vermelho é fortemente correlacionada ao conteúdo de clorofila da vegetação. Para testar esta hipótese, Schuster et al. (2012) compararam o NDVI com o NDVI-RE para separar 11 classes de uso do solo, entre elas duas florestais, e obtiveram valores ligeiramente melhores quando utilizaram o NDVI-RE. Porém, a diferença foi muito pequena e os autores sugeriram a necessidade de mais estudos para comprovar a eficácia do novo índice em relação ao tradicional. No presente estudo, o potencial do NDVI-RE para estudo de floresta foi comprovado, pois este índice foi o único que conseguiu separar as três classes de idade de *Pinus*.

O ARI apresentou comportamento peculiar em relação aos demais, e foi o único em que o plantio mais recente (2007) apresentou menor valor. Segundo Gitelson et al. (2001), o ARI está relacionado à antocianina presente na folhagem, responsável por sua coloração avermelhada. Aumentos no valor de ARI indicam mudanças na folhagem do dossel, seja por crescimento da planta ou por morte. Os valores são altos em plantas jovens ou senescentes. A antocianina serve também como um indicador de estresse para algumas espécies de plantas (GITELSON et al., 2001). Assim, os valores mais altos de ARI para os plantios mais antigos podem ser um indicativo de envelhecimento da folhagem ou de maior estresse, ao qual esses plantios mais velhos são submetidos quando não são desbastados.



9º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2015 10 a 12 de agosto de 2015 – Campinas, São Paulo

A diferenciação das áreas com e sem desbaste usando os índices de vegetação não atendeu a hipótese de que haveria diferenças entre os valores dos índices de vegetação para os tratamentos. Como o desbaste elimina algumas linhas de plantio dos talhões, diminuindo assim a biomassa por área, era esperado encontrar valores de IV mais baixos nas áreas desbastadas. Porém, não foi encontrada diferença significativa entre os tratamentos para nenhum dos índices testados ao utilizar o teste Anova dois fatores (manejo e ano, **Tabela 2**). Uma possível explicação é que a parcela testada pode ter sido pequena, com 25 m de raio, para possibilitar a detecção da diferença provocada pelos vazios das linhas desbastadas.

Tabela 2. Média e desvio padrão dos valores dos índices de vegetação por ano e classe de manejo e resultado (P-valor) do teste Anova dois fatores.

Índice de vegetação	Manejo	Ano de plantio	
		1999	2003
NDVI	Sem desbaste	0,80±0,03	0,83±0,01
	Um desbaste	0,80±0,03	0,82±0,05
P-valor	ano = 0,07	manejo = 0,94	manejo/ano = 0,56
NDVI-RE	Sem desbaste	0,43±0,02	0,46±0,01
	Um desbaste	0,45±0,02	0,45±0,03
P-valor	ano = 0,05	manejo = 0,49	manejo/ano = 0,26
ARI	Sem desbaste	13,26±0,32	13,51±0,57
	Um desbaste	13,42±0,61	13,80±0,68
P-valor	ano = 0,19	manejo = 0,34	manejo/ano = 0,76
EVI	Sem desbaste	0,51±0,04	0,57±0,02
	Um desbaste	0,54±0,06	0,56±0,06
P-valor	ano = 0,05	manejo = 0,52	manejo/ano = 0,38

4 CONCLUSÃO

Os IVs estudados foram adequados para separar as classes de idade de *Pinus*, com destaque para o NDVI-RE, que foi o único a diferenciar as três classes de idade. Para as imagens que não têm o canal da borda do vermelho, a separação entre as classes pode ser bem feita usando a combinação do ARI com NDVI ou EVI. A metodologia estudada não foi capaz de distinguir as classes de manejo “com desbaste” e “sem desbaste”. Os resultados obtidos a partir dos testes de variância entre índices de vegetação de plantios com idades diferentes utilizando imagens RapidEye demonstram que a discriminação é possível. Assim, a possibilidade de identificar as parcelas de plantio de *Pinus* por idade pode ser útil na tomada de decisão sobre o manejo dessas áreas.

5 AGRADECIMENTOS

A primeira autora agradece ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pela bolsa concedida. Os autores agradecem ao projeto GeoSaltus, pela oportunidade e pelas condições de realização do trabalho.



6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, A. V.; SOUSA, V. A.; FRITZSONS, E.; JUNIOR, E. P. J. **Programa de melhoramento de *Pinus* da Embrapa Florestas**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 83 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 233). Disponível em: <<http://www.cnpf.embrapa.br/publica/seriedoc/edicoes/doc233.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2015.
- ALVAREZ, C. A.; MUNHOZ, J. S. B.; STAPE, J. L.; STAHL, J.; ANDRADE, L.; SANTOS, G.; LIMA, R.; COUTINHO, R. T.; HOINACKI, R.; FOX, T. Caracterização da dinâmica dos índices de vegetação NDVI e EVI em plantações de *Pinus* do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013.
- BLACKBRIDGE. **The RapidEye Red Edge Band 2015**. Disponível em: <http://www.blackbridge.com/rapideye/upload/Red_Edge_White_Paper.pdf>. Acesso em 16 jun. 2015.
- EMBRAPA. **Classificação e Espacialização do Estoque de Carbono de Florestas Naturais e Plantadas por meio de Sensoriamento Remoto (GeoSaltus)**, 2015. Disponível em: <<http://www.cnpm.embrapa.br/projetos/geosaltus/>>. Acesso em: 12 jun. 2015.
- GITELSON, A. A.; MERZLYAK, M. N.; CHIVKUNOVA, O. B. Optical properties and nondestructive estimation of anthocyanin content in plant leaves. **Photochemistry and Photobiology**, v. 71, n. 1, p. 38-45, 2001.
- HUETE, A. R.; LIU, H.Q.; BATCHILY, K.; VAN LEEUWEN, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, p. 440–451, 1997.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p.
- JUSTICE, C. O.; VERMOTE, E.; TOWNSHEND, J. R. G.; DEFRIES, R.; ROY, P. D.; HALL, D. K.; SALOMONSON, V.; PRIVETTE, J. L.; RIGGS, G.; STRAHLER, A.; LUCHT, W.; MYNENI, R. B.; KNYAZIKHIN, Y.; RUNNING, S. W.; NEMANI, R. R.; WAN, Z.; HUETE, A. R.; LEEUWEN, W. V.; WOLFE, R. E.; GIGLIO, L.; MULLER, J. P.; LEWIS, P.; BARNESLEY, M. The Moderate Resolution Spectroradiometer (MODIS). **IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing**, v. 36, n. 4, p. 1228-1249, 1998.
- MARCUSSI, A. B.; BUENO, C. R. P.; MIQUELONI, D. P.; ARRAES, C. L. Utilização de índices de vegetação para os sistemas de informação geográfica. **Caminhos da geografia**, Jaboticabal, v. 11, n. 35, p. 41-53, 2010.
- RISSO, J.; RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T.; ADAMI, M.; SHIMABUKURO, Y. E.; FORMAGGIO, A. R.; EPIPHANIO, R. D. V. Índices de vegetação Modis aplicados na discriminação de áreas de soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 47, n. 9, p. 1317-1326, 2012.
- 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: ERTSS, 1973. v. 1. p. 309-317.
- SCHUSTER, C.; FÖRSTER, M.; KLEINSCHMIT, B. Testing the red edge channel for improving land-use classifications based on high-resolution multi-spectral satellite data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 33, n. 17, p. 5583–5599, 2012.
- SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Florestas do Brasil em resumo - 2013: dados de 2007-2012**. Brasília, DF: SFB, 2013. 188 p.
- SETTE JUNIOR, C. R.; NAKAJIMA, N. Y.; GEROMINI, M. P. Captura de carbono orgânico em povoamentos de *Pinus taeda* L. na região de Rio Negrinho, SC. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 36, n. 1, p. 33-44, 2006.
- SIXEL, R. M. M. **Silvicultura e Manejo**. Instituto de pesquisas e estudos florestais, 2008. Disponível em: <<http://www.ipef.br/silvicultura/manejo.asp>>. Acesso em: 08 jun. 2015.