

RELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS ESPECTRAIS E BIOFÍSICOS DE PLANTIOS DE *EUCALYPTUS* ssp.

RELATIONSHIP BETWEEN SPECTRAL AND BIOPHYSICAL PARAMETERS OF *EUCALYPTUS* ssp. STANDS

Alana Almeida de Souza, Rodrigo de Campos Macedo, Giovana Mira de Espindola, Flávio Jorge Ponzoni, Vanessa Canavesi

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Av. dos Astronautas, 1758, 12.227-010 - São José dos Campos, SP, Brasil;

e-mail: {alana, macedo, flavio, vanessa}@dsr.inpe.br; giovana@dpi.inpe.br

RESUMO

Este artigo teve como objetivo analisar a relação entre dados radiométricos extraídos da imagem TM/LANDSAT-5 e volume estimado de talhões de *Eucalyptus* ssp. A área de estudo é coberta por plantios da VCP (Votorantim Celulose e Papel) localizados no município de Capão Bonito, Estado de São Paulo. Um modelo de regressão linear foi gerado para estimar volume madeireiro utilizando reflectância de superfície do infravermelho próximo do TM. O erro quadrático médio (RMSE) obtido na validação foi de 55,4 m³/ha.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, gestão de recursos, manejo florestal, biomassa, *Eucalyptus* ssp.

ABSTRACT

This present research has the goal to analyse the relationship between radiometric data extracted from TM/LANDSAT-5 images and volume data estimated from *Eucalyptus* ssp. stands. The study area is covered by stands from VCP (Votorantin Celulose e Papel) company, located in Capão Bonito town, São Paulo state, Brazil. A linear regression model was established to estimate volume data using surface reflectance from near infrared TM band. The root mean squared error (RMSE) found by validation was 55.4 m³/ha.

Key words: remote sensing, resource management, forest management, biomass, *Eucalyptus* ssp.

INTRODUÇÃO

As florestas desempenham significativo papel nos contextos ambientais, sociais e econômicos da sociedade. Seus benefícios têm justificado um esforço global de inventário e monitoramento, visando uma melhor conservação de seus remanescentes e a exploração mais racional de seus recursos.

O inventário florestal de biomassa madeireira é extremamente importante para o gerenciamento adequado de uma população florestal. Em geral, os dados coletados no inventário são utilizados em equações volumétricas ajustadas para características distintas, tais como índices de sítio, materiais genéticos, etc.

O uso sustentável dos recursos florestais tem motivado o uso de dados de sensoriamento remoto não apenas como uma ferramenta de controle e fiscalização, mas também como suporte aos inventários florestais, cujos resultados têm contribuído, por exemplo, em estudos de emissões globais de carbono face às transformações em larga escala do uso e cobertura da terra.

Os sensores que operam nas faixas do óptico, microondas e, mais recentemente, dados LIDAR, têm demonstrado ampla utilidade no acompanhamento das transformações florestais derivadas da ação humana, e a possibilidade de se obter estimativas de biomassa com dados remotos em diferentes níveis de aquisição, é um anseio de muitos profissionais deste setor.

Desta forma, o desenvolvimento contínuo da tecnologia espacial, com a disponibilidade de imagens com distintas características, aliado ao desenvolvimento das técnicas de análise, tem permitido o acompanhamento contínuo das condições dos variados ecossistemas florestais, facilitando seus inventários.

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho é analisar a relação existente entre parâmetros espectrais e biofísicos de plantios de *Eucalyptus* ssp. por meio da utilização de imagens do sensor TM/Landsat 5 e dados inventariados em campo.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no município de Capão Bonito, sudoeste do Estado de São Paulo, na Zona Fisiográfica do Paranapiacaba, Vale do Alto Paranapanema, em altitude média de 705m (CEPAM, 2005). Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Cwa, com média anual de 22,2° C e precipitação anual de 1200 mm (CEPAGRI, 2007).

A região está na borda da Bacia Sedimentar do Paraná e é caracterizada principalmente por rochas graníticas e granitóides, ocorrendo localmente diques de diabásio (SOUZA JÚNIOR e PORSANI, 2003). Predominam os solos do tipo Latossolo Vermelho associado ao Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo (SGARBI, 2002).

A área de plantio de *Eucalyptus* ssp, objeto do presente estudo, pertence à empresa VCP e ocupa uma área de 43.000 hectares (Figura 01) entre as coordenadas 48°30'34.58'' de longitude oeste e 24°10'20.99'' de latitude sul (canto inferior esquerdo) e 48°10'20.65'' de longitude oeste e 23°40'39.35'' de latitude sul (canto superior direito).

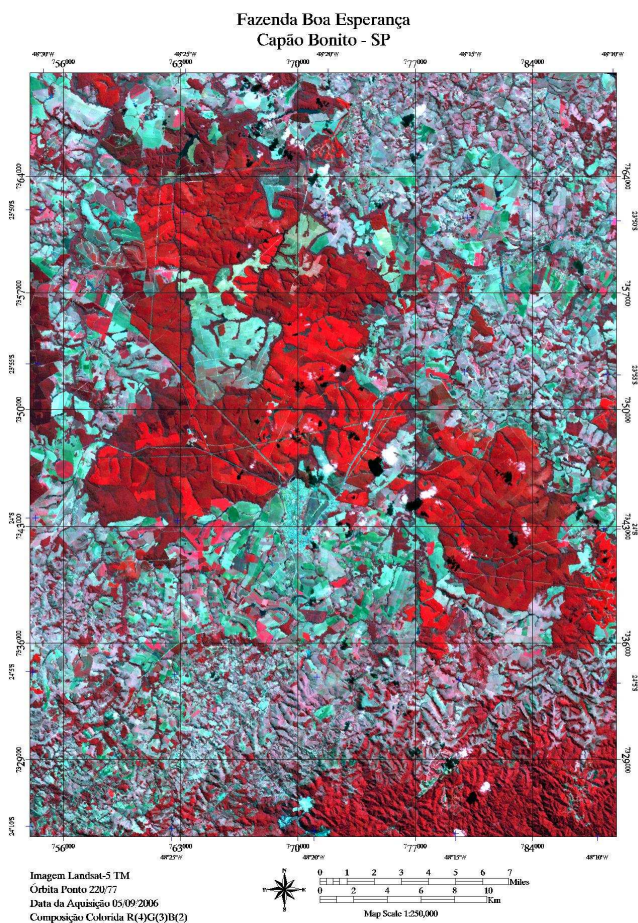


Figura 01 – Área de Estudo: Fazenda Boa Esperança, Capão Bonito – SP.
Figure 01 – Study Area: Boa Esperança Farm, Capão Bonito – SP.

MATERIAIS E MÉTODOS

As imagens utilizadas neste trabalho foram adquiridas em 05/09/2006 pelo sensor TM/LANDSAT-5, órbita/ponto 220/77. Utilizando-se dos coeficientes de calibração apresentados por CHANDER e MARKHAN (2003), os níveis digitais da imagem foram convertidos para fator de reflectância bidirecional (FRB) aparente, considerando-se o zênite e a elevação solar no momento da aquisição das imagens. A conversão dos valores de FRB aparente para valores de FRB de superfície foi feita utilizando-se o algoritmo de correção atmosférica 6S (VERMOTE et al, 1997).

As informações sobre os talhões foram obtidas por meio de duas campanhas de campo: uma de 14 a 18 de agosto e a outra de 28 a 31 de agosto de 2006, totalizando o inventário de 88 parcelas fixas de 10 x 6 árvores. As áreas inventariadas em campo foram identificadas na imagem por meio de suas coordenadas geográficas. Foram extraídos os valores do FRB de superfícies referentes a cada parcela, além dos valores correspondentes ao cálculo dos seguintes índices de vegetação: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação com Resistência Atmosférica (ARVI), Índice de Realce da Vegetação (EVI) e Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI).

Sobre os índices de vegetação, diversos deles têm sido propostos na literatura com o objetivo de explorar o comportamento espectral da vegetação, especialmente nas regiões do visível e do infravermelho próximo. Segundo PONZONI (2001), os índices de vegetação servem como indicadores do crescimento e do vigor de vegetação e podem ser utilizados no diagnóstico de vários parâmetros biofísicos, como biomassa, IAF, uso do solo, atividade fotossintética, produtividade, estresse hídrico, entre outros. Para descrição detalhada sobre os índices de vegetação utilizados, sugerem-se os trabalhos de HUETE (1988), ROUSE et al. (1974), HUETE et al. (2002), KAUFMAN e TANRÉ (1992).

Para a verificação da relação existente entre parâmetros espectrais (reflectância das bandas e índices de vegetação) e parâmetros biofísicos (idade, número de árvores, DAP (cm), altura total (m), altura dominante (m), número de fustes (ha), área basal (m²/ha), volume total com casca (m³/ha) e IMA (incremento médio anual) (m³/ha.ano)), a análise estatística foi feita considerando-se um conjunto de 60 observações. As 28 observações restantes foram utilizadas para validação.

Inicialmente foi obtida uma matriz de coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros espectrais e biofísicos. A associação de pares de variáveis que apresentou maior correlação foi utilizada na construção de um modelo de regressão simples.

RESULTADOS

Os coeficientes de correlação existentes entre os parâmetros espectrais e biofísicos apresentaram valores muito baixos, sendo, muitas vezes, próximos à zero, como podem ser observados na Tabela 01.

Ressalva deve ser feita para o resultado obtido para a imagem da banda 4, que apresentou uma correlação de -0,40 com o volume de madeira, sendo que resultados similares também foram encontrados por LU et al. (2004). Neste caso, a correlação negativa ou inversa pode estar relacionada com o fato de que as espécies de eucalipto tendem a apresentar maior quantidade de folhas quando jovem, possuindo uma copa menos densa nos indivíduos adultos. Sabe-se que quanto maior a quantidade de folhas presente no dossel, maior a reflectância da vegetação no infravermelho próximo devido ao efeito de espalhamento múltiplo das folhas que a compõe (BELWARD, 1991). Como os eucaliptos tendem a apresentar uma menor reflectância no infravermelho próximo na fase de maior volume de madeira, esse resultado mostra-se coerente e nos motivou a realizar a análise de regressão entre a reflectância de superfície da banda 4 e o volume de madeira.

A equação resultante do modelo de regressão está apresentada na Equação 01 e obteve um R^2 igual a 0,14.

$$\text{Volume} = 580.3784 - 3.4698 * B4 \quad (\text{Equação 01})$$

onde B4 é o FRB correspondente à banda 4 do TM/Landsat 5.

O modelo de regressão linear assume que o erro aleatório tem distribuição normal, com média nula. Neste caso, tal pressuposto pôde ser comprovado pela análise do resultado do gráfico da Figura 02.

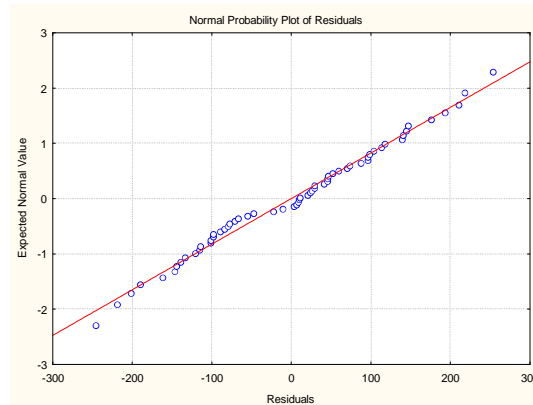


Figura 02 – Gráfico de probabilidade normal dos resíduos.
Figure 02 – Residual's normal probability.

A validação do modelo de regressão obteve um RMSE de 55,4 m³/ha.

Tabela 01: Correlação entre parâmetros espectrais e biofísicos.
Table 01: Correlation between spectral and biophysical parameters.

	B1 _{Sup}	B2 _{Sup}	B3 _{Sup}	B4 _{Sup}	B5 _{Sup}	B7 _{Sup}	NDVI	ARVI	EVI	SAVI
Idade	0.01	0.02	0.01	-0.40	-0.14	-0.04	-0.11	-0.27	-0.29	-0.31
N Árvore	-0.12	-0.07	0.02	0.08	-0.02	-0.09	0.02	0.05	0.05	0.06
Área Parcela	0.13	0.15	0.16	-0.42	0.06	0.16	-0.28	-0.39	-0.39	-0.41
DAP	0.08	0.08	0.07	-0.45	-0.07	0.05	-0.19	-0.34	-0.36	-0.38
Altura Total	-0.02	-0.01	-0.00	-0.45	-0.14	-0.03	-0.11	-0.29	-0.32	-0.35
Altura Dominante	0.04	0.04	0.04	-0.47	-0.12	0.00	-0.16	-0.34	-0.36	-0.38
N Fustes	-0.14	-0.14	-0.12	0.38	-0.06	-0.14	0.23	0.34	0.34	0.36
Área Basal	0.02	0.02	0.02	-0.36	-0.14	-0.04	-0.10	-0.24	-0.27	-0.28
Volume Total CC	-0.01	0.01	0.01	-0.40	-0.14	-0.03	-0.11	-0.27	-0.30	-0.31
IMA	-0.00	-0.02	-0.01	-0.11	-0.07	-0.02	0.00	-0.05	-0.08	-0.08

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Recentes estudos de sensoriamento remoto no monitoramento da vegetação têm sido focados em estimativas quantitativas de variáveis biofísicas e fisiológicas do ecossistema, o que permite estimar e prever sobre suas condições de fitossanidade e de sustentabilidade. De uma maneira geral, a evolução dos dados de sensoriamento remoto, bem como das geotecnologias em geral, têm um mercado promissor no controle das atividades florestais das empresas de reflorestamento (SANTOS et al, 2006). A evolução das geotecnologias tem trazido um ganho inovador no conhecimento florestal, com desafios na aquisição de informações por meio do uso de imagens ópticas, de radar e, mais recentemente, de dados LIDAR.

No caso específico desse trabalho, os dados da banda 4 do sensor LANDSAT-5/TM, referentes à região espectral do infravermelho próximo, foram os que apresentaram maior correlação com o parâmetro biofísico volume de madeira. A correlação negativa entre a reflectância de superfície no infravermelho próximo e

volume madeireiro é justificada pela redução do índice de área foliar em indivíduos adultos, os quais têm maior biomassa lenhosa.

Foi possível o estabelecimento de um modelo de regressão relacionando o volume de madeira e a reflectância da banda 4 do TM, que apresentou erro de estimação de 55,4 m³/ha.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELWARD, A.S. Spectral characteristics of vegetation, soil and water in the visible, near-infrared and middle-infrared wavelengths. In: BELWARD, A.S.; VALENZUELA, C.R. *Remote sensing and geographical information systems for resource management in developing countries*. Netherlands: Kluwer, 1991, Cap. 2 ,p. 31-53.

CEPAGRI – Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br>. Acessado em 28/08/07.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat 5 TM radiometric calibration procedures and post-calibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 41, n. 11, p. 2674-2677, 2003.

HUETE, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*. v. 25, p. 295-309, 1988.

HUETE, A. et al. Overview of the radiometric and biofísica performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, v. 83, n. 1, p. 195-213, 2002.

KAUFMAN, Y.J.; TANRÉ, D. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v.30, n. 2, p.261-270, 1992.

LU, D. et al. Relationships between forest stand parameters and Landsat TM spectral responses in the Brazilian Amazon Basin. *Forest Ecology and Management*, v. 198, p. 149-167, 2004.

PONZONI, F.J. Comportamento espectral da vegetação. In: MENESES, P.R.; MADEIRA NETO, J.S. *Sensoriamento Remoto: reflectância de alvos naturais*. Brasília, DF: UNB Planaltina Embrapa Cerrados, 2001. 262 p.

ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: ERTS-1 SYMPOSIUM, 3, 1974, United States. *Proceeding...*United States: NASA, 1974, p.309-317.

SANTOS, J.R. et al. Experiências atuais do SR&SIG para estudos florestais. *Ambiência*, v.2 , Edição especial 1, p. 09-18, 2006.

SGARBI, F. Produtividade do Eucalyptus sp. em função do estado nutricional e da fertilidade do solo em diferentes regiões do Estado de São Paulo. 2002. 114 p. *Dissertação* (Mestrado em Recursos Florestais) ESALQ – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba. 2002.

SOUZA JÚNIOR, A.O.; PORSANI, J.L. Localização de fraturas em rochas graníticas no município de Capão Bonito – SP. *Revista Brasileira de Geofísica*. v. 20, n.2, p. 123-128, 2002.

VERMOTE, E.F. et al. Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum. 6S: An overview. *IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing*, v. 35, n. 3, p. 675-686, 1997.