

ESTIMATIVA DA BIOMASSA FOLIAR DAS SAVANAS BRASILEIRAS: UMA ABORDAGEM POR SENSORIAMENTO REMOTO

João Roberto dos Santos*

RESUMO

A evolução metodológica no tratamento dos dados sensoriados em nível orbital tem contribuído no estudo das savanas brasileiras (cerrados). Esta afirmação encontra fundamentos com a discussão sobre o potencial estimador do "transformed vegetation index" (TVI) para o cálculo da biomassa foliar do cerrado *strictu sensu*. As informações de campo e de satélite (Thematic Mapper/LANDSAT-5) foram obtidas na região do Distrito Federal, considerada área "core" dos cerrados brasileiros. No procedimento estatístico de avaliação desta abordagem por sensoriamento remoto foi empregada a análise de regressão, com uma função linear que envolve as variáveis biomassa foliar e TVI. Os resultados mostram que o modelo numérico TVI_{4,3} consegue explicar cerca de 72% das variações encontradas na biomassa estimada teoricamente pela regressão, com um coeficiente de variação nesta estimativa de 12%. As considerações que podem ser feitas a partir destes resultados estão em nível local, constituindo uma etapa no direcionamento da pesquisa em nível regional, com o objetivo maior de estabelecer um processo operacional de estimativa e, conseqüentemente permitir o monitoramento das savanas brasileiras.

ABSTRACT

The development of orbital remote sensing data analysis methodologies have led to the study of Brazilian savanna vegetation (cerrado). The objective of this work is to discuss the "transformed vegetation index" (TVI) potentialities to estimate the cerrado (*strictu sensu*) leaf biomass. The ground and remote sensing data (Thematic Mapper/LANDSAT-5) were gathered in the Federal District region, located in the core area of the Brazilian savannas. Regression analysis with linear function was applied to evaluate the relationship between leaf biomass and TVI. The results permit the following inference: the TVI model can explain about 72% of variations found in the estimated biomass with a standard deviation of 12%. This research methodology was developed for the local level. In the next step, this methodology will be tested on a regional basis with the objective of establishing an operational procedure of the estimation and monitoring of the Brazilian savanna biomass.

INTRODUÇÃO

A região das savanas (cerrados) no Brasil Central tem se mostrado importante sendo incorporada no processo produtivo agropecuário do país, ocasionando, com uma acelerada ocupação das terras, um processo de erradicação de parte desta tipologia vegetal. Face a esta exploração, nem sempre racional, torna-se necessário aprofundar conhecimen-

tos acerca da própria vegetação, atendendo os interesses de aproveitamento da região, tanto no sentido econômico como ecológico.

No decorrer dos últimos anos, as técnicas de sensoriamento remoto, principalmente a nível orbital, têm sido utilizadas no conhecimento da extensa região dos cerrados (1,5 milhão de km²). Em uma análise histórica destes trabalhos, a fase de caracterização e mapeamento pode ser constatada

Manuscrito recebido por el editor en enero, 1989; revisado en abril, 1989

*Instituto de Pesquisas Espaciais-INPE, Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT, Caixa Postal 515, 12201, São José dos Campos, SP, Brasil.

em Aoki e Santos (1980). A fase de avaliação qualitativa (Adámoli *et al.*, 1982) e quantitativa (Pereira, 1985; Santos, 1988; Valeriano e Pereira, 1988) desenvolvida, reforça a necessidade de evolução na linha de pesquisa, no sentido de indicar possibilidades dos dados sensoriados na estimativa da biomassa foliar dos cerrados. Portanto, neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo mostrar o potencial estimador do "transformed vegetation index" (TVI) para o cálculo da biomassa foliar do cerrado *strictu sensu*.

AREA DE ESTUDO

A área selecionada para a coleta dos dados de campo e satélite (Thematic Mapper/LANDSAT-5) corresponde a região do Distrito Federal, tendo como locais específicos: a Reserva Ecológica do Roncador (IBGE) nas coordenadas 15°55' a 15°58'S e 47°51' a 47°54'W; a Fazenda Agua Limpa (UnB) nas coordenadas 15°55' a 16°00'S e 47°53' a 47°58'W; a Fazenda do CPAC/EMBRAPA em 15°39' a 15°41'S e 47°43' a 47°44'W.

MATERIAL DO LANDSAT

Neste trabalho foram empregados os dados do Thematic Mapper/LANDSAT-5, das bandas TM3 (0,63-0,69µm) e TM4 (0,76-0,90µm) de órbita WRS 221/71. Tais dados, na forma digitalizada, foram tratados no analisador de imagens multispectrais (IMAGE-100).

METODO

A estratégia de ação adotada constou de três fases, detalhadamente descrita em Santos (1988) e apresentada a seguir, em forma resumida:

- aquisição dos dados de campo: medidas de biomassa foliar dos estratos arbóreo, arbustivo e herbáceo da fície cerrado (*strictu sensu*) foram tomadas em 72 pontos amostrais, com dimensão de 100 km². Tais pontos foram amostrados durante o período de época seca no ano de 1986. A biomassa coletada e pesada no campo foi posteriormente levada ao laboratório para determinação do peso seco (estufa a 80°C em 48 horas).
- aquisição do índice de vegetação: com auxílio da programação do IMAGE-100 (algoritmo ONEPIX), foram obtidos os valores digitais do cerrado, nas bandas TM3 e TM4/LANDSAT. A área de extração destes valores espectrais foi de 36 pixels por ponto amostral, com distribuição espacial correspondente àqueles locais onde foram obtidas as informações de campo.

O valor digital médio dos 36 pixels, representativos de cada ponto amostral, foi então transformado em valores de reflectância, permitindo assim, a elaboração do índice de vegetação transformado (TVI), cujo modelo numérico foi proposto por Rouse *et al.*, (1973) e modificado por Deering *et al.*, (1975). No presente trabalho, utilizando os dados do Thematic Mapper, o modelo TVI foi assim constituído:

$$TVI_{4,3} = |(TM4 - TM3)/(TM4 + TM3) + 0,5)|^{1/2}$$

- análise da relação funcional entre "biomassa foliar" e "índice de vegetação": diversos pesquisadores, dentre os quais Tucker (1979), Wispelaere e Fabregues (1986), têm utilizado a análise de regressão para avaliação do relacionamento entre biomassa e dados radiométricos. No presente caso foi empregada uma função linear:

$$y = a + bx$$

onde,

y = variável dependente correspondente a biomassa foliar (peso seco)

x = variável independente correspondente ao índice de vegetação (TVI_{4,3})

a, b = coeficientes da regressão.

Com os parâmetros da regressão (coeficiente de determinação, valores de t e F) foi possível analisar a significância do relacionamento entre a biomassa e os dados espectrais. Uma plotagem dos resíduos padronizados (Chatterjee e Price, 1977) e posterior análise foram realizadas com o intuito de detectar deficiências no modelo linear empregado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os cerrados brasileiros são considerados do ponto de vista ecológico como uma savana sazonal em que, fisionomicamente apresentam várias fícies, desde o campo limpo (savanna grassland) até o cerrado propriamente dito (savanna woodland). Isto nos leva inicialmente a necessidade de definição estrutural do cerrado *strictu sensu* da área de estudo. Com base nas informações de campo, o cerrado apresenta em média 2405 indivíduos/hectare (sendo 453 pertencentes ao estrato arbóreo), com uma cobertura foliar arbórea de 16,62%, arbustiva de 12,48% e herbácea de 70,90%. A biomassa foliar é estimada em torno de 5,4 ton/ha, sendo 14% oriunda do estrato arbóreo, 8% do estrato arbustivo e os restantes 78% do material herbáceo. Uma maior descrição sobre demais

informações de campo (teor de umidade, teor de biomassa fotossinteticamente ativa, ...) podem ser observada em Santos (1988).

Após esta breve descrição do cerrado *strictu sensu*, pode-se apresentar o sumário da regressão envolvendo as variáveis "biomassa foliar" e "índice de vegetação" na Tabela 1:

Tabela 1. Parâmetros do cerrado

tamanho amostral	= 72	
variável dependente	= Bio	
variável independente	= TVI _{4,3}	
var	nome	média
1	TVI _{4,3}	1,026754
2	Bio	531,33736
desvio padrão	coeficiente de variação	
0,21243	20,69%	
117,05564	22,03%	
equação de regressão:	y = -4295,90844 + 4701,4621 x	
erro padrão da estimativa	= 61,48903	
coeficiente de determinação	= 0,72795	
coeficiente de correlação	= 0,85320	
valor t	= 13,686	
valor F	= 187,3047	

Em rápida análise destes parâmetros anteriormente mencionados, pode-se perceber que os dados de biomassa foliar e do TVI_{4,3} apresentam uma correlação relativamente satisfatória ($r = 0,85320$) e com magnitude positiva. Na ANOVA o valor F encontrado mostra a significância do ajuste das variáveis com este modelo linear, em cuja regressão o coeficiente de variação nesta estimativa atinge 11,57%. Neste modelo 72,8% das variações encontradas em \hat{y} (biomassa foliar) são explicados pela variável TVI_{4,3}. A Figura 1 apresenta o diagrama espacial da regressão entre a biomassa foliar do cerrado e o índice TVI_{4,3}. Neste diagrama, para uma melhor visualização, a série de 72 valores de biomassa versus TVI_{4,3} foi discriminada em agrupamentos (clusters), cujas especificações são apresentadas na estatística sumária para cada

cluster na Tabela 2.

Tabela 2. Estatística sumária para cada cluster.

Cluster 1 (menor biomassa) = 32 elementos				
nome	\bar{X}	s	Xmin	Xmáx
BIO	429,61450	54,258179	322,940000	495,160000
TVI _{4,3}	1,009625	0,013675	0,976500	1,041400
Cluster 2 (média biomassa) = 27 elementos				
nome	\bar{X}	s	Xmin	Xmáx
BIO	561,834704	41,399487	499,750000	635,142000
TVI _{4,3}	1,033856	0,011869	1,0111000	1,049000
Cluster 2 (maior biomassa) = 13 elementos				
nome	\bar{X}	s	Xmin	Xmáx
BIO	718,381462	40,447237	666,565000	797,118000
TVI _{4,3}	1,054169	0,011537	1,034300	1,073300

O cluster 1 é aquele que apresenta uma maior frequência de pontos amostrais (32 elementos) e também, os maiores valores quanto ao coeficiente de variação, tanto em relação a variável BIO (12,63%) como TVI_{4,3} (1,35%), se comparados aos demais clusters.

A forma de explicitar os dados BIO versus TVI, através de agrupamentos reflete uma certa heterogeneidade na estrutura de biomassa foliar do cerrado *strictu sensu*, fato comum nas gradacões também encontradas á outras fâcies savânicas.

Aproveitando ainda os resultados do modelo da regressão no conhecimento da relação funcional "biomassa foliar" e "TVI_{4,3}" é representada na Figura 2, aplotagem dos resíduos padronizados ($e_i = \frac{e_i}{s}$).

Geralmente, o modelo da regressão é considerado correto se os resíduos padronizados tendem a estar entre +2 e -2, ficando deste forma distribuído aleatoriamente acerca de zero (0). Logo, observando-se a Figura 2, pode-se seguindo este conceito, afirmar uma certa aleatoriedade nos valores residuais, não sendo detectadas deficiências no modelo linear testado, exceto em 5 pontos amostrais dentre os 72 totais. Tais pontos por apresentarem amplos valores residuais (outliers) podem ser convenientemente removidos da série de observações, permitindo um melhor ajuste dos dados.

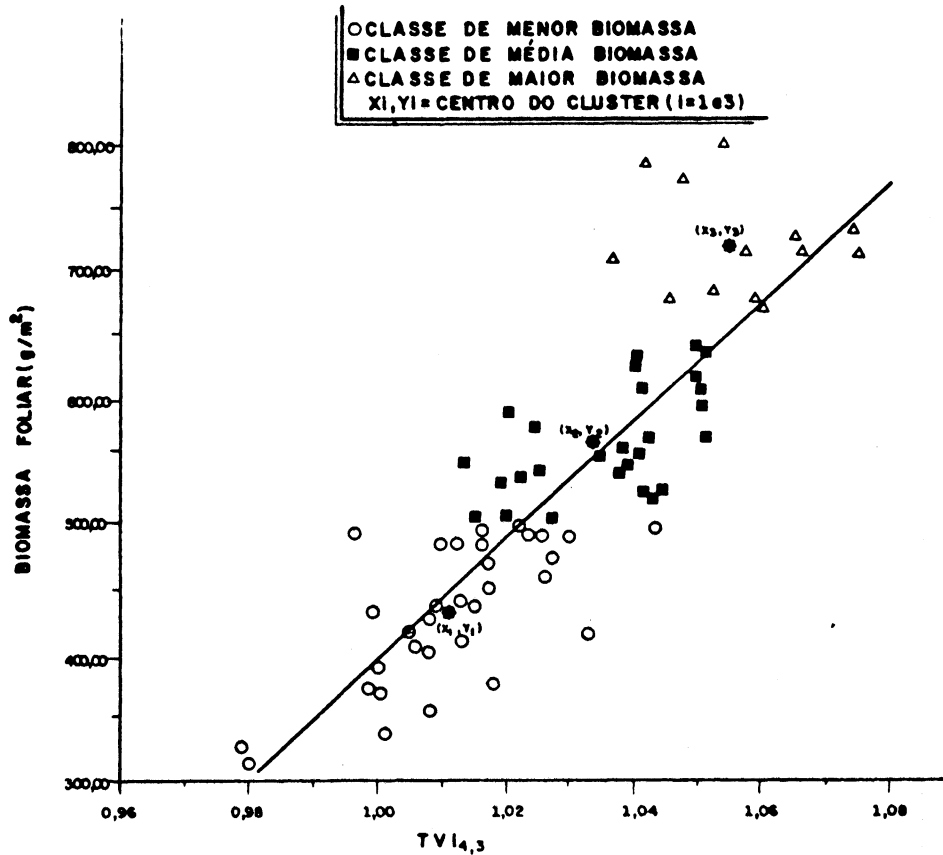


Fig. 1 Diagrama espacial dos agrupamentos (clusters) em teores de biomassa foliar associados aos valores de $TVI_{4,3}$, para o cerrado *strictu sensu*.

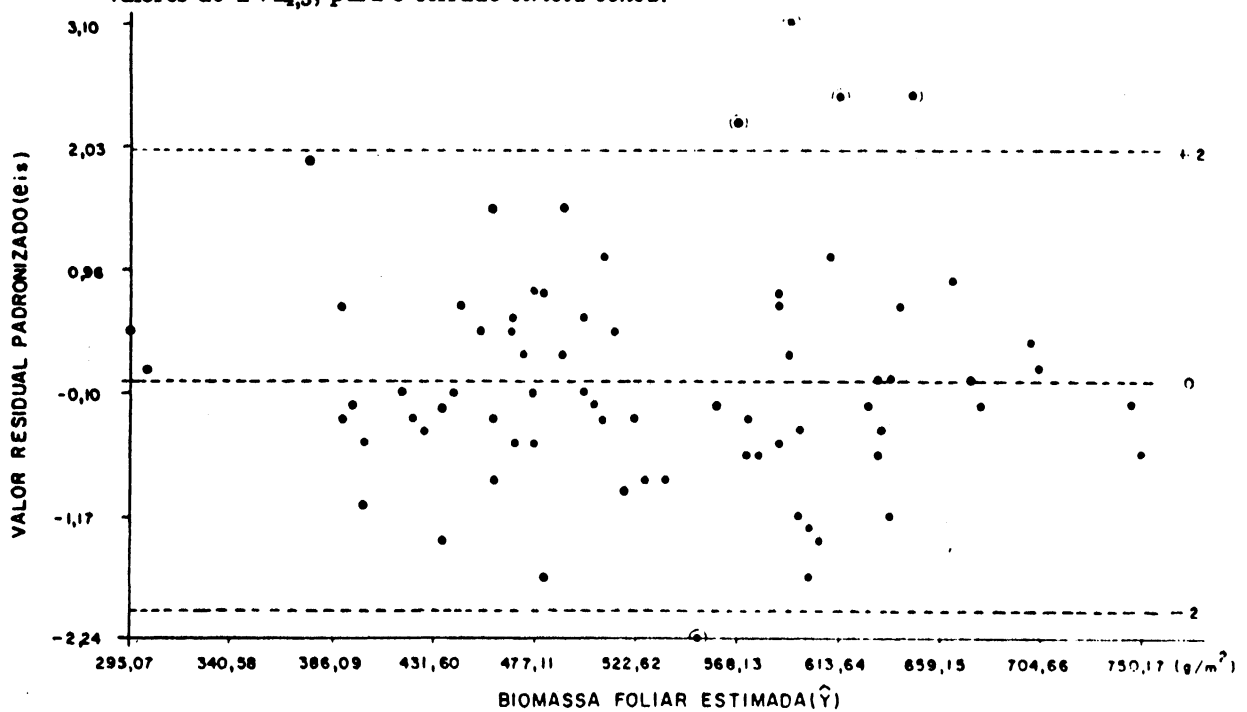


Fig. 2 Diagrama dos valores residuais da regressão, na estimativa de biomassa foliar do cerrado através do $TVI_{4,3}$.

CONCLUSÕES

Os resultados alcançados neste trabalho demonstram a possibilidade de se obter estimativas de biomassa foliar das savanas (cerrado) através de medidas radiométricas do Thematic Mapper/LANDSAT-5. O conhecimento, até então adquirido a nível local, da relação funcional entre a biomassa foliar e o índice de vegetação (TVI_{4,3}), é uma etapa importante ao direcionamento da linha de pesquisa com objetivo de estimativas ao nível regional, utilizando para tal a abordagem multi-sensor. Isto permitirá, a curto prazo, visualizar a capacidade do sensoriamento remoto orbital não apenas no monitoramento da dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal como, e principalmente, da produtividade primária das savanas em determinadas áreas do Brasil Central.

REFERÊNCIAS

- Adámoli, J., Fukuhara, M., Silva, J. A., 1982, Aplicação de técnica de sensoriamento remoto no estudo de queimas em pastagens nativas da região dos cerrados. em: Simp. Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2, Brasília, DF, 10-14 maio, 1982, *Anais*, São José dos Campos, INPE, v. 3, p. 811-820.
- Aoki, H., e Santos, J. R., 1980, Estudo da vegetação de cerrado na área do Distrito Federal a partir de dados orbitais. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações, São José dos Campos, INPE. (INPE 1730 TDL/026.)
- Chatterjee, S. and Price, B., 1977, Regression analysis by example, New York, John Wiley & Sons, 228 p.
- Deering, D. W., Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., 1975, Measurement of forage production of grazing units from LANDSAT MSS data. em: Int. Symp. on Remote Sensing Environment; 10, Ann Arbor, Proceedings, Ann Arbor, ERIM, v. 2, p. 1169-1178.
- Pereira, M. D. B., 1985, Correlação de fitomassa verde de campo cerrado com dados espectrais obtidos pelo sistema MSS-LANDSAT e por radiometria de campo. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE, jun., (INPE-3758-TDL/205.)
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A. and Deering, D. W., 1973, Monitoring vegetation system in the great plains with ERTS. em: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3, 1973, Proceedings, Washington, v. 1, sec. A, p. 309-317.
- Santos, J. R., 1988, Biomassa aérea da vegetação de cerrado: estimativa e correlação com dados do sensor "Thematic Mapper" do satélite LANDSAT, Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Curitiba, Universidade Federal do Paraná, maio, 156 p.
- Tucker, C. J., 1979, Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote sensing of environment, 8:127-150.
- Valeriano, D. M. e Pereira, M. D. B., 1988, Relações entre a biomassa aérea do estrato rasteiro do cerrado e sua reflectância espectral. em: Simp. Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5, Natal-RN, 1988. *Anais*, Natal, v. 3, p. 643-649.
- Wispelaere, G. et Fabregues, B. P., 1986, Actions de recherche methodologique sur l'évaluation des fourragere par télédétection dans la région de Sud-Tamesna (Niger), Paris, Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux, 87 p.