

TVI: UM MODELO NUMÉRICO PARA ESTIMATIVA GLOBAL DA FITOMASSA DOS CERRADOS BRASILEIROS

João Roberto dos Santos
Instituto de Pesquisas Espaciais
Ministério da Ciência e Tecnologia
Caixa Postal 515, 12201 - São José dos Campos, SP, Brasil

RESUMO

O objetivo deste trabalho é discutir o potencial estimador do índice TVI (Transformed Vegetation Index) para o cálculo da fitomassa do cerrado *stricto sensu*. Os dados de campo e de satélite (Thematic Mapper/LANDSAT-5) correspondem à região do Distrito Federal em três áreas: Reserva Ecológica do Roncador (IBGE), Fazenda Água Limpa (UnB) e Fazenda do CPAC/EMBRAPA. A análise de regressão, que envolve as variáveis "fitomassa" e "TVI", é utilizada com o emprego alternativo das funções linear e exponencial. Com base nos resultados pode-se direcionar os conhecimentos acerca da função que permite melhor ajuste dos dados e, do valor percentual que este "índice de vegetação" consegue explicar sobre as variações encontradas na fitomassa estimada teoricamente pela regressão. A linha metodológica deste trabalho está em nível local, sendo apenas uma etapa no futuro desenvolvimento de pesquisa, com interesses globais para a estimativa e monitoramento da fitomassa dos cerrados brasileiros.

ABSTRACT

The main objective of this work is to discuss the Transformed Vegetation Index (TVI) potentialities to estimate the cerrado (*stricto sensu*) phytomass. The ground and remote sensing data (Thematic Mapper/LANDSAT-5) were gathered on three selected areas: Roncador Ecological Reserve (IBGE), Experimental Station of Brasilia University (UNB) and CPAC/EMBRAPA Station, located at the Federal District region. The regression analysis, with linear and exponential models, were used to analyse the relationship between TVI and cerrado phytomass. From the results it can be gathered: the function which presents the best fitting of ground data and TVI; the percentage variation explained by this vegetation index in the phytomass estimated by the regression. The research methodology was developed for the local level. In the future, this methodology will be adapted to estimate and monitor the Brazilian Cerrado phytomass.

1. INTRODUÇÃO

A região dos Cerrados no Brasil Central tem se mostrado importante no processo produtivo agropecuário do país, requerendo pesquisas voltadas a um melhor aproveitamento destas áreas, tanto no sentido econômico como ecológico. Em face da acelerada ocupação, nem sempre racional das terras, caracterizando com a exploração dos cerrados um processo de erradicação de parte desta tipologia, torna-se necessário um conhecimento básico da própria vegetação, de forma a atender racionalmente os interesses de aproveitamento da região. No decorrer dos últimos anos, as técnicas de sensoriamento remoto, principalmente a nível orbital, têm sido utilizadas no processo de conhecimento da extensa região dos cerrados. A fase de caracterização e mapeamento dos cerrados é constatada em diversos trabalhos, dentre os quais, Aoki e Santos (1980). Desde então, as pesquisas evoluíram no sentido do uso de dados sensoriais em avaliações do cerrado, na forma qualitativa (Adamoli et alii, 1982) e quantitativa (Pereira, 1985; Santos, 1988), esta última, direcionada especificamente à fitomassa desta comunidade vegetal.

Dentro desta linha, o presente trabalho tem como objetivo discutir o potencial estimador do índice de vegetação TVI (transformed vegetation index) no cálculo da fitomassa do cerrado *stricto sensu*.

2. ÁREA DE ESTUDO

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

3. MATERIAL DO LANDSAT

Neste trabalho foram empregados os dados do Thematic Mapper/LANDSAT-5, das bandas espectrais TM3 (0,63-0,69 μ m), TM4 (0,76-0,90 μ m) e TM5 (1,55-1,75 μ m), nas passagens de 17/06/86 e 04/08/86, de órbita WRS 221/71. Tais dados, na forma digitalizada, foram tratados no Analisador de Imagens Multispectrais (IMAGE-100).

4. MÉTODOS

A estratégia de ação adotada para execução deste trabalho constou de três fases cuja forma resumida é apresentada a seguir, porém, seu detalhamento é discutido em Santos (1988):

- a) aquisição de dados de campo: medidas de fitomassa dos estratos arbóreo, arbustivo e herbáceo, da unidade fisionômica cerrado *stricto sensu* foram tomadas em pontos amostrais, com dimensão de 100m² cada, cuja distribuição espacial é apresentada na Figura 1. Tais pontos foram amostrados no período de maio/junho e agosto/setembro de 1986. A fitomassa coletada no campo foi, em laboratório, levada à estufa (em alíquotas) por 48 horas (80°C) para obtenção do peso seco.
- b) aquisição dos índices de vegetação: utilizando-se a programação do IMAGE-100, foram obtidos os valores digitais nas bandas TM3, TM4 e TM5/LANDSAT, da classe cerrado (*stricto sensu*). A área de extração destes valores espectrais foi de 36 "pixels", correspondentes aqueles 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 alii (1973) e modificado por Deering et alii (1975). No presente trabalho, utilizando os dados do mapeador temático, o modelo TVI foi assim constituído:

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

$$TVI_{5,3} = |(TM5-TM3)/(TM5+TM3) + 0,5|^{1/2}$$

- c) análise da relação funcional entre "fitomassa foliar" e "índice de vegetação".

Diversos pesquisadores, dentre os quais Tucker (1979), Wispelaere e Fabregues (1986), tem utilizado a análise de regressão para avaliação do relacionamento entre fitomassa e dados espectrais. No presente caso duas funções foram empregadas:

. linear $y = a + bx$

. exponencial $y = ae^{bx}$

onde:

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

x = variável independente correspondente ao índice de vegetação

(TVI_{4,3} ou TVI_{5,3}).

a,b = coeficientes da regressão.

Com a análise de parâmetros da regressão (coeficiente de correlação, valores de "t" e "F", ..), foi possível verificar qual índice de vegetação melhor explicava as variações totais de \hat{y} (variável dependente). A definição da melhor função, linear ou exponencial, também foi baseada na análise do erro padrão da estimativa (S_{xy}), cujos valores, neste caso, ao derivarem de uma forma aritmética e outra exponencial, não puderam simplesmente ser comparados diretamente, ocasionando para análise conjunta, a necessária transformação mostrada a seguir:

- para a função aritmética

$$S_{xy}\% = \frac{S_{xy}}{\bar{y}} \cdot 100,$$

- para a função exponencial

$$S_{xy}\% = (e^{S_{xy}} - 1) \cdot 100$$

Com o intuito de detectar deficiências nos modelos empregados, foi realizado um exame dos resíduos da regressão.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base no levantamento das informações de campo, o cerrado *stricto sensu* é definido estruturalmente por uma cobertura foliar arbórea de 16,62%, arbustiva de 12,48% e herbácea de 70,90% (Figura 2).

Na Tabela 1 são apresentados os valores do índice de vegetação, obtidos das bandas TM3, TM4 e TM5/LANDSAT, além dos valores de fitomassa foliar do cerrado, coletados nos 38 pontos amostrais.

A Tabela 2 apresenta os parâmetros obtidos da regressão entre a fitomassa foliar do cerrado (peso seco) e o índice de vegetação (TVI), usando as funções linear e exponencial, o que vem facilitar uma análise do relacionamento das variáveis componentes da modelagem. Os modelos de regressão, que têm como variável independente o TVI_{4,3}, permitem melhor ajuste na estimativa da fitomassa foliar do cerrado. Isto pode ser confirmado pela simples observação dos valores de "r" e "F" cujo modelo com a variável TVI_{4,3}, é sempre superior àquele com a variável TVI_{5,3}. Lembrando que a banda 5 (1,55 a 1,75 μ m) do mapeador temático, corresponde a faixa do infravermelho médio, tem um comportamento espectral estreitamente ligado ao teor de água presente na massa foliar, torna-se evidente que sua inclusão no índice de vegetação traz resultados pouco satisfatórios neste caso, visto estarmos trabalhando com dados de fitomassa em peso seco.

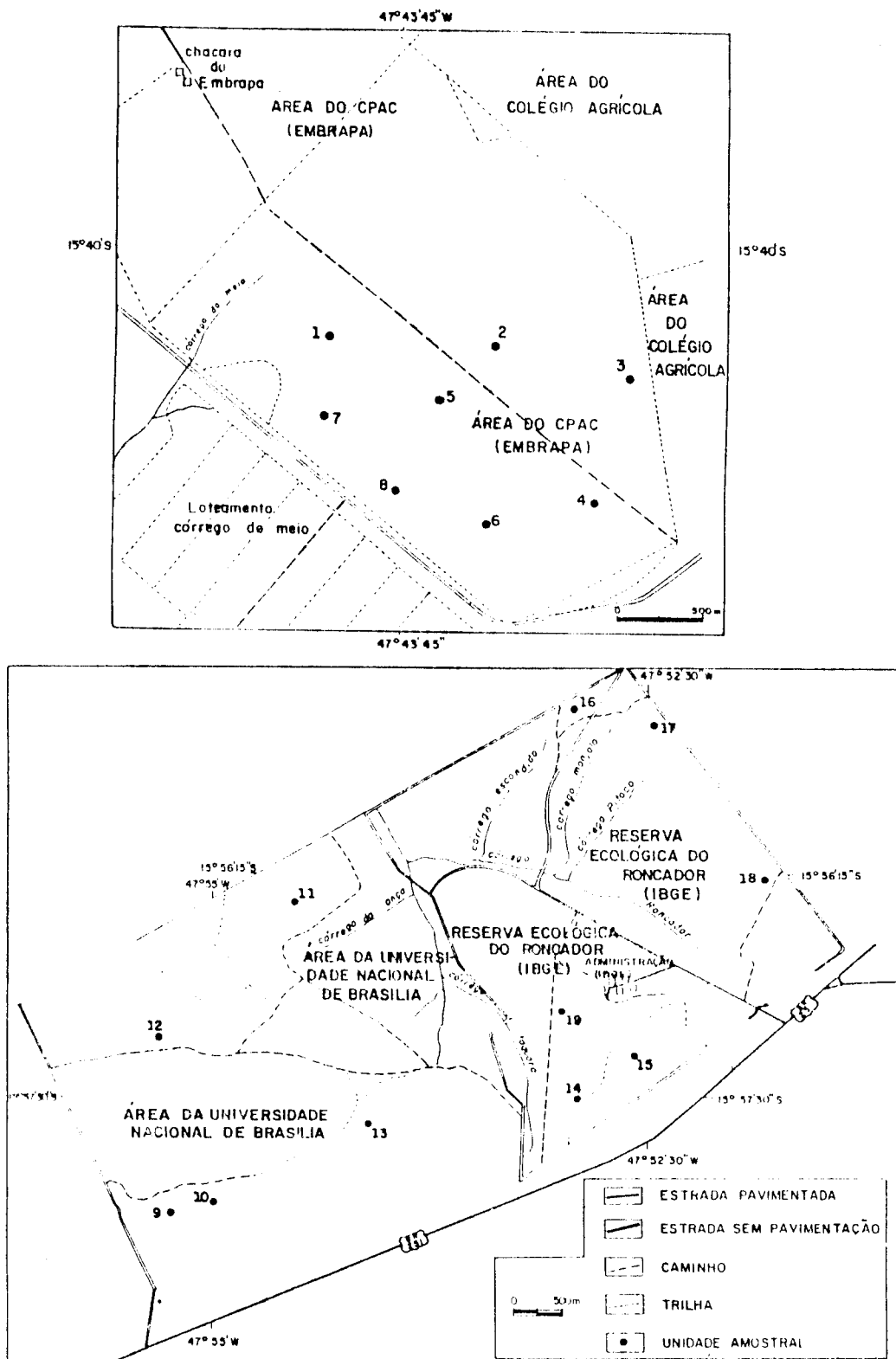


Fig. 1 - Distribuição espacial dos pontos amostrais nas áreas do CPAC, UNB e IBGE.

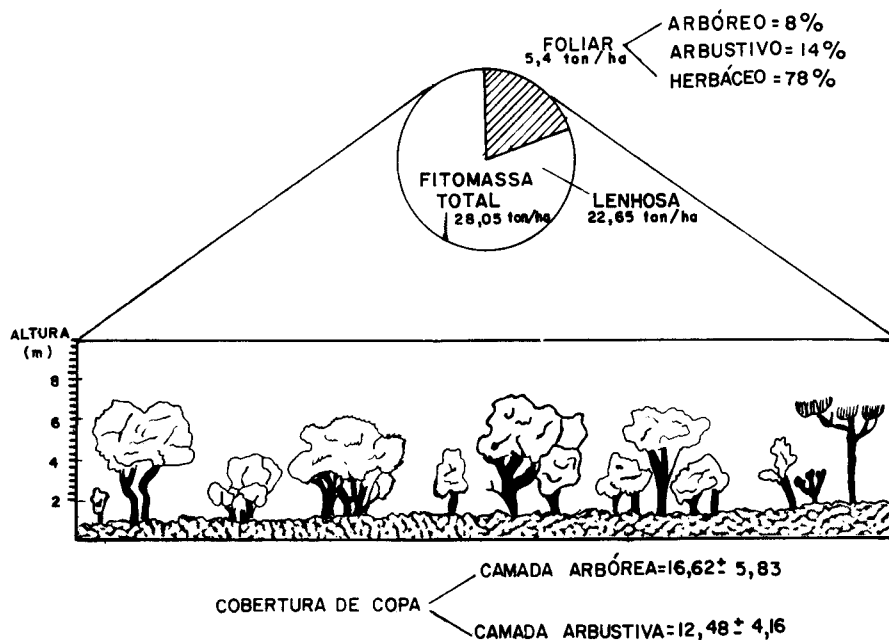


Fig. 2 - Perfil esquemático do cerrado *stricto sensu*, mostrando a estrutura da fitomassa foliar.

TABELA 1
VALORES DE TVI E DA FITOMASSA FOLIAR (PESO SECO) DO CERRADO *STRICTO SENSU*

PONTO AMOSTRAL	LOCAL	FITOMASSA (PESO SECO) g/m ²	TVI _{4,3}	TVI _{5,3}
1	CPAC	517,106	1,0411	1,0604
2	CPAC	490,634	0,9935	1,0011
3	CPAC	541,404	1,0367	1,0454
4	CPAC	547,036	1,0111	1,0337
5	CPAC	589,777	1,0478	1,0482
6	CPAC	584,597	1,0184	1,0399
7	CPAC	530,422	1,0155	1,0320
8	CPAC	537,584	1,0359	1,0492
9	UnB	781,229	1,0394	1,0633
10	UnB	769,883	1,0447	1,0638
11	UnB	706,048	1,0343	1,0621
12	UnB	635,142	1,0484	1,0647
13	UnB	622,116	1,0382	1,0560
14	IBGE	666,565	1,0578	1,0738
15	IBGE	711,759	1,0733	1,0757
16	IBGE	876,672	1,0441	1,0720
17	IBGE	797,118	1,0510	1,0636
18	IBGE	723,207	1,0627	1,0615
19	IBGE	520,750	1,0423	1,0693
20	CPAC	352,186	1,0062	1,0517
21	CPAC	323,832	0,9765	1,0046
22	CPAC	407,019	1,0113	1,0432
23	CPAC	335,121	0,9985	1,0424
24	CPAC	412,675	1,0308	1,0520
25	CPAC	400,585	1,0047	1,0468
26	CPAC	368,166	0,9984	1,0429
27	CPAC	374,783	1,0161	1,0529
28	UnB	447,585	1,0153	1,0676
29	UnB	470,451	1,0254	1,0681
30	UnB	573,498	0,9934	1,0640
31	UnB	456,325	1,0239	1,0664
32	UnB	492,228	1,0135	1,0589
33	IBGE	573,567	1,0219	1,0669
34	IBGE	564,446	1,0488	1,0725
35	IBGE	425,228	1,0064	1,0644
36	IBGE	489,803	1,0210	1,0682
37	IBGE	493,476	1,0414	1,0679
38	IBGE	483,097	1,0081	1,0689

OBS.: De 1 a 19 os dados referem-se ao período de maio/junho e, em diante, ao período de agosto/setembro.

TABELA 2
PARÂMETROS DA REGRESSÃO ENTRE FITOMASSA FOLIAR E O ÍNDICE DE VEGETAÇÃO TRANSFORMADO (TVI)

PARÂMETROS \ ÍNDICE	LINEAR		EXPONENCIAL	
	TVI _{4,3}	TVI _{5,3}	TVI _{4,3}	TVI _{5,3}
a	-4164,21	-3104,55	-2,59	-0,71
b	4585,60 (t=6,26**)	3554,99 (t=2,83**)	8,63 (t=6,64**)	6,61 (t=2,99**)
r	0,72208	0,42664	0,74201	0,44562
F	39,22**	8,01**	44,10**	8,92**
Sxy	96,57	126,25	0,17	0,23

Observando-se ainda os parâmetros da regressão (Tabela 2), pode-se verificar que a função exponencial é levemente superior a linear, contudo, tal diferença não é significativa (Figura 3). Considerando o modelo exponencial, 55% das variações encontradas na fitomassa foliar estimada pela regressão (\hat{y}) são explicadas pelo Índice TVI_{4,3}. Ainda na Figura 3 pode-se notar a identificação de dois "outliers", de amplos valores residuais, encontrados na série de 38 observações.

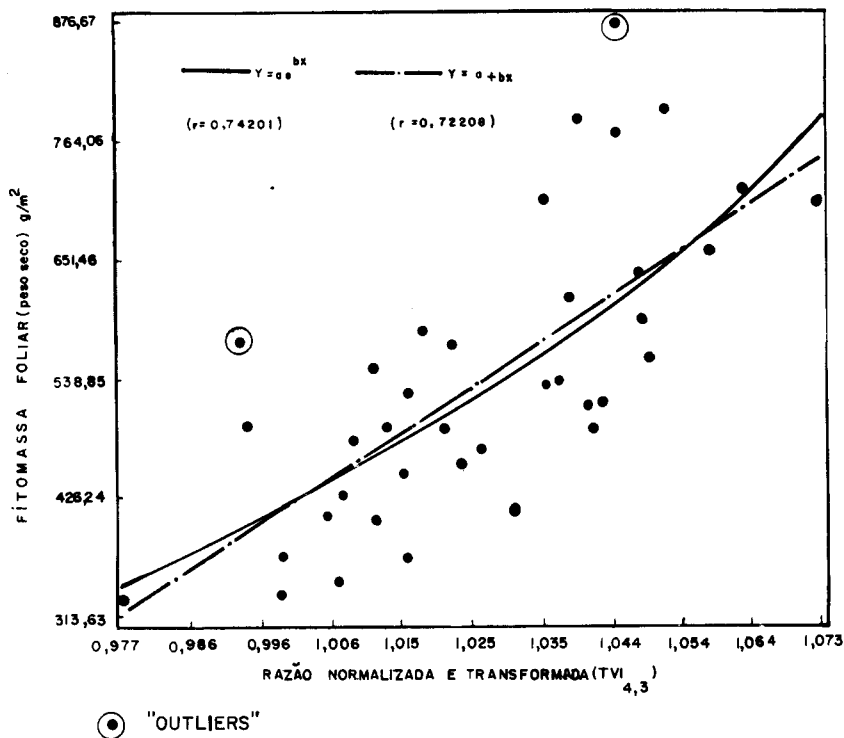


Fig. 3 - Diagrama mostrando a relação entre a fitomassa foliar do cerrado e o índice TVI_{4,3}.

Com a remoção destes dois pontos, considerados extremos, os modelos têm melhor ajuste, ficando as equações assim expressas:

$$y = 4238,60 + 4690,11(x);$$

$$\ln y = -3,01 + 9,01(x)$$

onde:

y = fitomassa foliar (peso seco)

x = valor de TVI_{4,3}

com r^{linear} = 0,77558 e

r^{exponencial} = 0,79160.

Neste caso, considerando a remoção dos dois "outliers", as variações encontradas em \bar{y} são agora explicadas em 62% pela variável independente TVI_{4,3}. Com relação ao erro padrão da estimativa, na regressão entre fitomassa foliar e TVI_{4,3}, os valores encontrados oscilam em torno de 16%, independente da função empregada.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados demonstram um melhor desempenho do índice TVI_{4,3} na estimativa, por regressão, da fitomassa foliar do cerrado (peso seco). As funções linear e exponencial, empregadas na modelagem não apresentaram diferenças significativas, tornando evidente a idéia de utilização da linear ($y = a + bx$), em razão de cálculos menos complexos.

A este comentário, pode-se dizer que pela experiência até então obtida, a estimativa da fitomassa do cerrado pode ser possível com índices de vegetação de formulação também mais simples, pois pesquisas executadas recentemente (Santos, 1988), têm demonstrado a condição de similaridade existente entre tais modelos numéricos.

A linha de pesquisa adotada neste trabalho, com execução a nível local a partir de dados TM/LANDSAT e com resultados relativamente satisfatórios, deve ser encaminhada em futuro próximo a estimativas globais com sensores tipo AVHRR/NOAA, face aos interesses da comunidade técnico-científica em monitoramento global da vegetação.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADÂMOLI, J.; FUKUHARA, M.; SILVA, J.A. Aplicação de técnica de sensoriamento remoto no estudo de queimas em pastagens nativas da região dos Cerrados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2., Brasília, DF, 10-14 maio, 1982. *Anais*. São José dos Campos, INPE, 1982, v.3, p.811-820.
- AOKI, H.; SANTOS, J.R. *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, 1980. (INPE 1730 TDL/026).
- DEERING, D.W.; ROUSE, J.W.; HAAS, R.H. SCHELL, J.A. Measurement forage production of grazing units from LANDSAT MSS data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING

ENVIRONMENT, 10., Ann Arbor, 1975.

Proceedings. Ann Arbor, ERIM, 1975. v.2; p.1169-1178.

PEREIRA, M.D.B. *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., 1985. (INPE-3758-TDL/205).

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation system 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.

SANTOS, J.R. *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, mai., 1988, 156p.

TUCKER, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8:127-150, 1979.

WISPELAERE, G. de; FABREGUES, B.P. *Actions de recherche methodologique sur l'evaluation des ressources fourrageres par teledetection dans la region de Sud-Tamesna (Niger)*. Paris, França. Institut d'Elevage et de Medicine Veterinaire des Pays Tropicaux, 1986. 87p.