

RELAÇÕES ENTRE A BIOMASSA AÉREA DO ESTRATO RASTEIRO DO CERRADO
E SUA REFLECTÂNCIA ESPECTRAL*

Dalton de Morisson Valeriano
Instituto de Pesquisas Espaciais
Ministério da Ciência e Tecnologia
Caixa Postal 515, 12201 - São José dos Campos, SP, Brasil
Marisa Dantas Bitencourt Pereira
Departamento de Ecologia - Instituto de Biociências
Universidade de São Paulo - USP

RESUMO

Em 47 amostras de 1m² do estrato rasteiro de Cerrado Típico e Ralo, foram feitas medidas in situ dos seguintes parâmetros: Biomassa Total Fresca e Seca (BTF e BTS), Biomassa Verde Fresca e Seca (BVF e BVS), Teor de Água Total e da Biomassa Verde (TAT e TAV), Proporção de Biomassa Verde (PBV) e Reflectância Espectral ($\rho\lambda$) a cada 25 nm de 400 a 700 nm e a cada 100 nm de 750 a 1050 nm. A análise de correlação entre estes parâmetros indicou que: a Biomassa Total apresenta correlações negativas com a $\rho\lambda$ em praticamente todas as faixas do espectro analisadas, com máximo em 650 nm para BTF ($r = -0,59$) e em 1050 nm para BTS ($r = -0,58$); a Biomassa Verde apresenta correlações negativas com a $\rho\lambda$ no espectro visível com máximo em 475 nm ($r = -0,48$ e $-0,43$ para BVF e BVS, respectivamente) e correlações positivas com a $\rho\lambda$ no infravermelho próximo, com máximo em 850 nm ($r = 0,24$ e $0,18$ para BVF e BVS, respectivamente); o Teor de Água e a Proporção de Biomassa Verde apresentam correlações negativas com a $\rho\lambda$ na faixa do azul com máximo em 400 nm ($r = -0,46$, $-0,41$ e $-0,35$ para TAT, TAV e PBV, respectivamente), ausência de correlação na faixa espectral do verde-vermelho, e correlação positiva na faixa do infravermelho próximo, com máximo em 1050 nm ($r = 0,51$, $0,34$ e $0,51$ para TAT, TAV e PBV, respectivamente). Tal resultado sugere a necessidade de utilizar diferentes combinações de bandas espectrais para a derivação de Índices de Vegetação apropriados para a estimativa de cada parâmetro vegetal analisado neste estudo.

ABSTRACT

In 47 samples of 1m² of the ground layer of Typical and Sparse Cerrado vegetation the following parameters were measured: Fresh and Dry Total Biomass (FTB, DTB), Fresh and Dry Green Biomass (FGB, DGB), Water Content of the Total and of the Green Biomass (TWC, GWC), the Proportion of Green Biomass (PGB) and the Spectral Reflectance ($\rho\lambda$) at every 25 nm from 400 to 700 nm and at every 100 nm from 750 to 1050 nm. The analysis of the correlations between these parameters showed that: Total Biomass presents negative correlation with $\rho\lambda$ in nearly all the analyzed spectral bands, with a maximum in 650 nm for FTB ($r = -0.59$) and in 1050 nm for DTB ($r = -0.58$); Green Biomass presents negative correlation with $\rho\lambda$ in the visible spectrum with maximum at 475 nm ($r = -0.48$ and -0.43 for FGB and DGB, respectively), and positive correlations with the $\rho\lambda$ in the near infrared, with maximum at 850 nm ($r = 0.24$ and 0.18 for FGB and DGB, respectively); the Water Content and the Proportion of Green Biomass present negative correlations with the $\rho\lambda$ in the blue bands, with a maximum at 400 nm ($r = -0.46$, -0.41 and -0.35 for TWC, GWC and PGB, respectively), absence of correlation in the green-red spectral bands and positive correlations in the near infrared, with maximum at 1050 nm ($r = 0.51$, 0.34 and 0.51 for TWT, GWC and PGB, respectively). Such results suggest the need of different spectral bands combinations for the calculation of Vegetation Index appropriated to the estimation of each of the vegetation parameters investigated in this study.

* Trabalho realizado com o apoio do CPAC/EMBRAPA, projeto nº 02685003/2.

1. INTRODUÇÃO

Monitorar o estado da cobertura vegetal da Terra é um dos objetivos dos programas de sensoriamento remoto orbital em operação e planejados para o futuro próximo (Townshend e Justice, 1988).

A informação atualizada sobre a distribuição espacial dos tipos de cobertura vegetal é útil à administração de recursos naturais em unidades da ordem de município ou maiores (Valerião et al., 1987). Se esta informação, estendida para todo o globo, for associada à quantificação de parâmetros biométricos e ecofisiológicos da cobertura vegetal, tem-se condições de monitorar alguns aspectos do papel da vegetação em processos superficiais da Terra como o balanço de energia e os ciclos do carbono e da água (Love lock, 1987, NASA, s.d.).

A quantificação de aspectos relacionados com a vegetação a partir de sensores remotos que detectem a radiação solar refletida pode ser feita através de modelos analíticos que descrevem as interações da irradiação com a cobertura vegetal (Kimes e Kirchner, 1982).

Uma outra abordagem é a associação empírica das medidas radiométricas feitas pelos sensores com parâmetros observados em campo. Índice de Cobertura, Índice de Área Foliar, Biomassa Aérea, Teor de Água foram extensivamente associados a Índices de Vegetação derivados de combinações de medidas radiométricas (Tucker, 1979).

Vários destes índices são obtidos a partir de combinações lineares de valores de reflectância observados em duas faixas do espectro que se correlacionam positivamente e negativamente com o parâmetro que se deseja estimar, conforme sugerido por Pearson e Miller (1972).

Utiliza-se amplamente faixas espectrais do infravermelho próximo - IVP (700 - 1300 nm), que normalmente se relaciona diretamente com a biomassa fotossintetizante e com a disponibilidade de água, e faixas do visível - VIS (400-700 nm), ou mais especificamente do vermelho (600 - 700 nm), que têm relação inversa com a biomassa verde (Tucker, 1979; Tucker e Seller, 1986). As folhas, que são os componentes da cobertura vegetal que dominam na interação irradiação-dossel, têm alta reflectância no IVP devido ao espalhamento múltiplo que a radiação eletromagnética sofre no seu interior e à ausência de material com absorvância significativa nesta faixa do espectro. Já no VIS este mesmo espalhamento múltiplo, por estender o percurso da luz no interior da folha, aumenta a chance desta ser retida pelos pigmentos fotossintetizantes (Knippling, 1970).

Características relacionadas com a estrutura da vegetação podem influir determinantemente no padrão da reflectância espectral de uma cena com cobertura vegetal (Colwell, 1974). Baixos índices de cobertura levam à dominância do solo na reflectância da cena (Colwell, 1974). Por outro lado altos índices de área foliar levam à saturação na relação entre reflectância espectral e parâmetros relacionados com biomassa e teor de água na planta (Tucker, 1977). Irregularidades na organização espacial das plantas levam a efeitos de sombra que podem, dependendo do solo,

perturbar a detecção destes parâmetros (Ranson e Daughtry, 1987).

Como visto, a aplicação de sensoriamento remoto ao levantamento de características estruturais da cobertura vegetal e de suas condições ecofisiológicas deve ser precedida de estudos básicos. Através de observações simultâneas destes aspectos da cobertura vegetal e de suas características radiométricas, pode-se validar técnicas desenvolvidas em outro tipo de vegetação, adaptá-las à vegetação em estudo ou mesmo subsidiar proposições de metodologias mais apropriadas ao caso estudado.

Apesar do Cerrado já estar sendo objeto de estudos de sensoriamento remoto quantitativo em escala continental (Townshend et al., 1987), poucos têm sido os trabalhos de pesquisa básica realizados na região dos Cerrados neste sentido.

Epiphanyo e Vitorello (1984) mediram in situ a reflectância de amostras de latossolo preparado para plantio, investigando o efeito da irrigação sobre a assinatura espectral destes alvos. Pereira (1986) verificou as relações entre medidas de biomassa total e teor de água de amostras de Campo Limpo e medidas radiométricas feitas em campo e através do MSS-Landsat. Mais recentemente, Santos (1988) associou medidas de biomassa de Cerrado com dados do TM-Landsat, avaliando o aspecto estacional desta relação.

Este trabalho se propõe a dar continuidade ao realizado por Pereira (1986), procurando ampliar o intervalo de biomassa observado, estendendo as observações de Campo Limpo a Cerrado Ralo (Ribeiro et al., 1983), distinguindo a biomassa verde da biomassa total e acrescentar a avaliação de dados TM-Landsat. Esta última meta foi prejudicada por cobertura de nuvens no período da coleta de dados.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados os seguintes equipamentos na execução do trabalho: a) Radiômetro Kimoto PM-12A, b) Sistema Interativo de Análise de Imagens Multiespectrais Image-100 (I-100), c) Balança de precisão Metler PL 1200, d) Restituído aproximado Kartoflex, e) Estufas.

A metodologia utilizada envolve as etapas abaixo descritas:

2.1- ALOCAÇÃO DAS AMOSTRAS

Utilizou-se o I-100 e dados TM - LANDSAT (221/71-X) obtidos em setembro de 1985 para auxiliar a escolha de amostras para medidas in situ. Três áreas no Distrito Federal foram selecionadas para a realização do estudo: a Fazenda Água Branca da Universidade de Brasília, a Reserva do Roncador da Fundação Zoobotânica de Brasília e a área da EMBRAPA-CPAC reservada a experimentos, referida no CPAC como "Chapadão".

Estas áreas foram ampliadas na tela do I-100 e classificadas através de fatiamento de nível de cinza ("density slicing") no canal TM-5, no modo equidistribuição, que leva ao de talhamento dos níveis intermediários. Três a quatro classes assim definidas foram consideradas como representantes de Campo Limpo, Campo

Sujo de Cerrado e Cerrado Ralo e áreas homogeneamente classificadas e de fácil acesso foram estabelecidas como apropriadas para a realização das medidas em campo.

Com o uso do Kartoflex estas áreas foram transferidas de fotografias da tela do I-100 com a classificação digital para cartas topográficas na escala de 1:25.000.

Já no trabalho de campo, com uso destas cartas, trena e bússola, as áreas selecionadas foram localizadas. Em cada área, 9 parcelas de 1 m² foram estabelecidas sistematicamente com espaçamento de 50 m entre elas, dentro de um quadrado de 100 m x 100 m. O número de parcelas é adequado à quantificação de biomassa de es trato rasteiro de Cerrado, conforme estabelecido em Pereira (1986) e sugerido em Meirelles (1981) e Batmanian (1983).

A localização exata da parcela de 1 m² foi definida pelo lançamento a esmo de uma estaca cuja ponta indicava o canto Sudeste da parcela que era então delimitada por estacas e barba nte.

2.2- COLETA DE DADOS

Os dados foram coletados no período de 27/5 a 23/6 de 1986 durante a parte da manhã (aproximadamente das 8:00 hs às 12:00 hs) de dias de céu limpo. As medidas radiométricas foram feitas por um observador de pē, mirando a área da amostra de um ângulo de inclinação de 45°, orientado perpendicularmente ao plano de iluminação. Deste modo, procurou-se minimizar os efeitos das variações na reflectância hemisférica de uma cobertura vegetal em função do ângulo de elevação solar, conforme sugerido por Kimes et al. (1984). O radiômetro Kimoto PM-12A permitiu medidas em bandas de 5 nm centradas em (nm): 400, 425, 450, 475, 500, 525, 550, 600, 625, 650, 675, 700, 750, 850, 950 e 1050. Todas as bandas foram utilizadas.

Com o ângulo de abertura de 10° e as condições de medida acima expostas, o radiômetro observava cerca de 0,25 m² dentro da parcela. Repetia-se as observações três vezes para cada parcela, uma visada na sub-área com maior densidade de vegetação, outra na de menor densidade e a terceira numa sub-área intermediária. As medidas eram precedidas e seguidas de observações em uma placa de referência de 1 m², coberta de sulfato de Bário (BaS).

Em seguida, a biomassa aérea da parcela era cuidadosamente cortada e acondicionada em sacos plásticos. Desprezou-se folhas mortas e soltas das plantas bem como restos de queimadas prévias.

Em laboratório, parte deste material (cerca de 5% a 15% do peso total) era separada para se estimar a proporção de biomassa verde, através de triagem manual. O material triado e o restante eram pesados, acondicionados em sacos de papel, secos em estufa a 70°C por 48 horas e novamente pesados.

2.3- ANÁLISE DOS DADOS

De 64 parcelas obtidas em 10 amostras aproveitou-se 47, reduzindo o número de amostras para 9. As restantes foram descontadas por conterem medidas muito fora do esperado. A análise que se segue considera cada parcela como uma observação independente das demais. Abandona-se portanto a análise por localidade cuja função era a de verificar as relações da biomassa com os dados orbitais.

As medidas radiométricas foram convertidas em valores de reflectância através da equação (1):

$$REFL = 10^{-\frac{(\overline{PL} - \overline{OBS})}{\overline{OBS}}} \times 100 \quad (1)$$

onde:

REFL = Reflectância

\overline{PL} = Média das medidas da placa de referência,

\overline{OBS} = Média das medidas da parcela.

A partir da biomassa coletada em campo, foram medidos ou estimados os seguintes parâmetros da cobertura vegetal:

BTF = Biomassa Total Fresca (g)

BTS = Biomassa Total Seca (g)

PBV = Proporção de Biomassa Verde (%)

BVF = Biomassa Verde Fresca (g)

BVS = Biomassa Verde Seca (g)

TAT = Teor de Água da Biomassa Total (%)

TAV = Teor de Água da Biomassa Verde (%)

Os valores marginais destes parâmetros estão apresentados na Tabela 1.

TABELA 1
MÉDIA (X), DESVIO PADRÃO (S) E COEFICIENTE DE VARIACÃO (CV) DOS PARÂMETROS DE VEGETAÇÃO

	BTF	BTS	BVF	BVS	TAT	TAV	PBV
\bar{X}	748,70	492,53	323,16	173,22	35,06	45,76	39,04
S	287,38	217,45	140,70	73,87	7,56	4,68	15,24
C.V.	38	44	44	43	22	10	39

O primeiro passo da análise estatística foi o cálculo da correlação entre os parâmetros da vegetação para se avaliar o grau de interdependência existente entre eles.

Calculou-se também a correlação entre cada um dos parâmetros da cobertura vegetal e as medidas de reflectância espectral. A significância destas correlações foi determinada através do cálculo da estatística F. Construiu-se correlogramas com base nestas correlações entre reflectância espectral e os parâmetros vegetacionais.

3- DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta as correlações encontradas entre os parâmetros vegetacionais:

TABELA 2

CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS VEGETACIONAIS

	BTF	BTS	BVF	BVS	TAT	TAV	PBV
BTF	1,00	0,96	0,56	0,61	0,30	0,01	-0,40
BTS	-----	1,00	0,36	0,43	0,54	0,20	-0,59
BVF	-----	-----	1,00	0,98	0,47	0,37	0,48
BVS	-----	-----	-----	1,00	0,33	0,18	0,42
TAT	-----	-----	-----	-----	1,00	0,70	0,82
TAV	-----	-----	-----	-----	-----	1,00	0,33
PBV	-----	-----	-----	-----	-----	-----	1,00

As altas correlações entre os pesos frescos e secos das medidas de biomassa indicam que o Teor de Água Total é relativamente constante, com uma leve tendência a aumentar com a Biomassa Total, conforme evidencia o valor de r entre TAT e BTS ($r = 0,54$).

Tem-se também que a Biomassa Verde (Fresca e Seca) aumenta com o aumento da Biomassa Total da parcela. Por outro lado, a Proporção de Biomassa Verde se comporta negativamente em relação à Biomassa Total, o que é indicador de que o aumento desta é dado muito mais pelo incremento da Biomassa Não-Verde e não pela Biomassa Verde.

Nota-se uma forte relação entre o Teor de Água Total e o Teor de Água da Biomassa Verde e a Proporção de Biomassa Verde. Estas relações podem indicar que a Biomassa Verde é a principal responsável pela variação no Teor de Água Total do estrato rasteiro do cerrado.

As correlações entre as medidas de reflectância espectral (ρ_λ) e as de Biomassa Total estão apresentadas na Figura 1. Encontram-se correlações negativas por praticamente todo espectro analisado. Os correlogramas são bastante parecidos, o que deve ser resultado da baixa variabilidade do teor de água nas amostras, indicada pela alta correlação entre BTF e BTS.

BTF melhor se correlaciona com a ρ_λ em $\lambda = 650$ ($r = -0,59$) enquanto que BTS possui este máximo em $\lambda = 1050$ ($r = -0,58$). Observa-se que a secagem melhora as correlações no IVP e as reduz no VIS.

O fato de não haver correlações significativas positivas entre ρ_λ e Biomassa Total inviabiliza a estimativa deste parâmetro através de índices de vegetação. Tomando-se o TM - LANDSAT como exemplo, tem-se a banda TM-3 (630-690 nm) como a mais apropriada para estimar a Biomassa Total da cobertura vegetal estudada.

Já a Biomassa Verde possui valores positivos e negativos para as correlações com a ρ_λ , sendo que os valores positivos são encontrados no IVP e os negativos no VIS, conforme se observa na Figura 2.

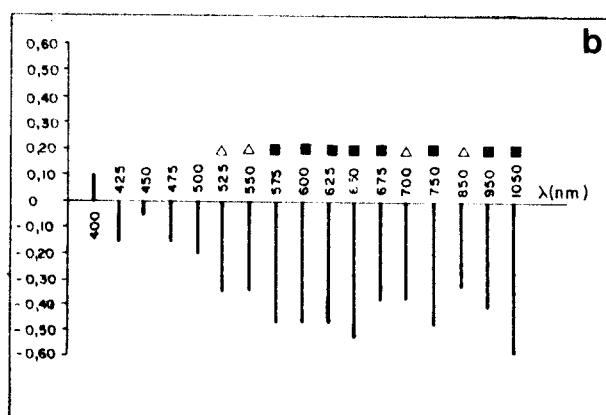
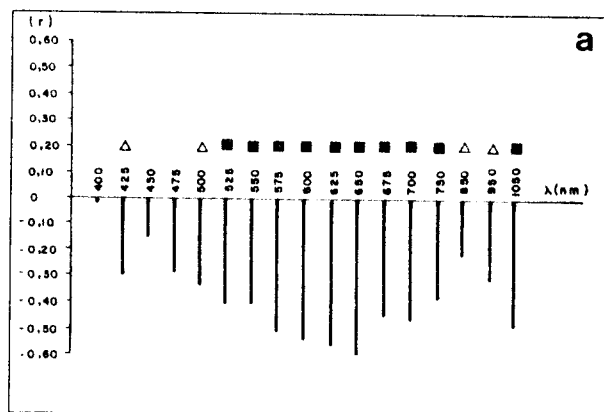


Fig. 1 - Correlações entre reflectância espectral e Biomassa Total. a) BTF; b) BTS (Δ : $P < 0,05$, \blacksquare : $P < 0,01$)

As correlações encontradas no VIS aproximadamente acompanham o espectro de absorção de uma folha que conforme Knipling (1970), é bimodal com picos no azul (400 - 500 nm) e no vermelho (600 - 700 nm). Pode-se então justificar estas correlações com base nas propriedades ópticas das folhas verdes presentes na cobertura estudada.

Assinala-se que as correlações positivas encontradas têm baixo nível de significância: $F = 0,89$ para a correlação entre ρ_{850} e BVF ($r = 0,24$). Atribui-se isto ao número reduzido de observações, que faz com que as medidas de biomassa verde apresentem alta variabilidade, como indicam na Tabela 1 os valores de C.V. para BVF e BVS.

Supõe-se que com um maior tamanho de amostra ou, como no caso de sensoriamento remoto orbital, amostras com áreas maiores, consiga-se obter relações significativas entre a Biomassa Verde do estrato rasteiro do Cerrado e sua Reflectância no IVP. Seria então viável a detecção da Biomassa Verde do Cerrado com índices de vegetação combinando medidas obtidas com a banda TM-4 (760 - 900 nm) e uma outra do VIS. É interessante observar que, de acordo com os resultados expostos na Figura 2, a faixa espectral correspondente ao TM-1 (450 - 520 nm) é a mais apropriada, quando comparada ao TM-2 (520 - 600 nm) ou ao TM-3, cuja utilização é amplamente difundida.

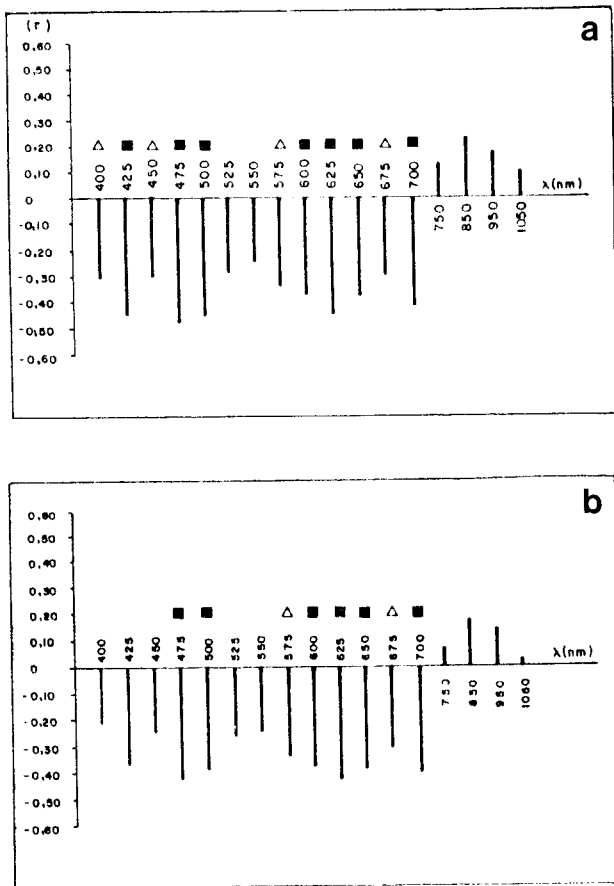


Fig. 2 - Correlações entre reflectância espectral e Biomassa Verde. a) BVF, b) BVS (Δ : $P < 0,05$, \blacksquare : $P < 0,01$)

Atribui-se este comportamento da relação $\rho\lambda$ e Biomassa Verde à possível interferência da ρ do solo, que, principalmente nas amostras de menor biomassa, é um componente importante das cenas observadas. Epiphany e Vitorello (1984) registram $\rho\lambda$ no vermelho (600 - 700 nm) duas a três vezes maiores que as encontradas no azul (400 - 500 nm).

Os resultados das análises de correlação entre reflectância espectral e TAT, TAV e PBV estão dispostos na mesma figura (Fig. 3) por apresentarem alta semelhança e por permitirem uma análise conjunta.

Nos três correlogramas há três regiões espectrais distintas: o azul, o restante do VIS e o IVP. No primeiro intervalo encontra-se correlações negativas entre TAT, TAV e PBV e $\rho\lambda$, sendo que nas bandas de 400 e 425 os coeficientes de correlação são maiores que -0,40 com bom nível de significância.

No restante do visível os valores de r oscilam em torno de zero, o que pode ser resultado da interferência do solo já referida. Já no IVP as correlações são altas e positivas: $r = 0,51$ para TAT e PBV em $\lambda = 1050$ nm. Considera-se que o desempenho do IVP como estimador destes parâmetros seja o resultado da manifestação da alta reflectância que as folhas apresentam nesta faixa do espectro.

Pode-se também sugerir que no IVP, a detecção da Biomassa verde é prejudicada pelo restante da Biomassa Total (Tem-se pela Tabela 1: $BVS = 35\%$ de BTS). Como a Biomassa Total apresenta r negativo no IVP (Fig. 1) atribui-se também à sombra causada pela rugosidade da cobertura, um papel importante na composição das reflectâncias (no IVP) das cenas observadas, o que prejudica a detecção da Biomassa Verde.

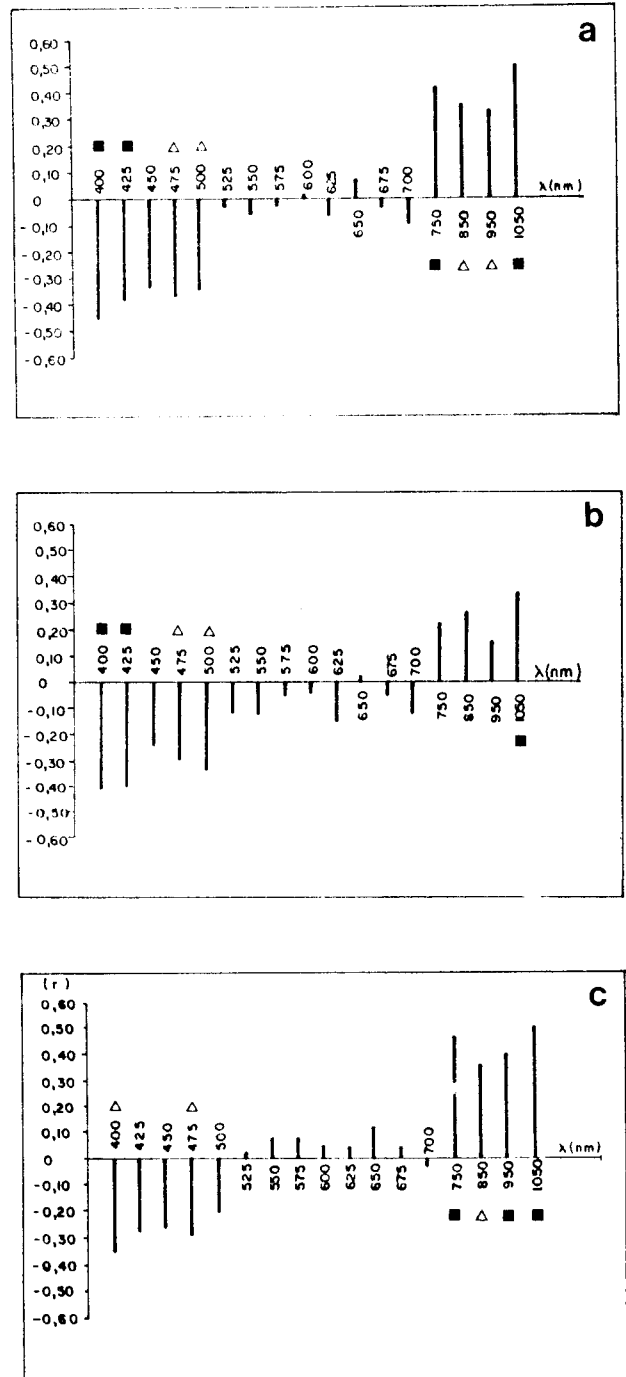


Fig. 3 - Correlações entre reflectância espectral e Teor de Água e Proporção de Biomassa Verde. a) TAT, b) TAV, c) PBV (Δ : $P < 0,05$, \blacksquare : $P < 0,01$).

Entretanto, estas interferências parecem não prejudicar a observação da Biomassa Verde em termos proporcionais através de medidas radiométricas na faixa do azul e do IVP. Como TAT é bastante relacionado com a PBV (Tabela 2) pode-se inferir que é através da observação da PBV que se detecta o TAT radiometricamente.

Já a relação entre TAV e $\rho\lambda$ deve ser decorrente da contribuição da reflectância da Biomassa Verde em termos absolutos e, em menor grau, em termos proporcionais. Tem-se na Tabela 2 que TAV apresenta correlação com BVF ($r=0,37$) e com PBV ($r=0,33$). Estas correlações podem sustentar a dedução acima, assim como o fato de que as correlações entre TAV e $\rho\lambda$ são relativamente fortes no azul e fracas no IVP, assim como as que se verifica entre a Biomassa Verde e a $\rho\lambda$.

Tem-se também para TAT, TAV e PBV a condição de se obter Índices de Vegetação a partir de combinações de medidas radiométricas feitas nas bandas do IVP e do azul.

4- CONCLUSÕES

Os resultados do presente trabalho indicam a possibilidade de se obter radiometricamente estimativas a respeito da biomassa fotossinteticamente ativa e do status hídrico em que se encontra a cobertura vegetal. Estes dois parâmetros observados regularmente permitem que se faça o monitoramento da produtividade primária de uma determinada área (Tucker e Sellers, 1986).

Sabendo que a produtividade primária do estrato rasteiro do Cerrado é estacional em função do período da chuva (Batmanian e Haridasan, 1985), pode-se então monitorar as condições de disponibilidade de água em larga escala através de sistemas de sensoriamento remoto. Inferências sobre o papel do Cerrado no ciclo global do Carbono e sobre os seus processos hidrológicos podem ser derivados das informações que se riam obtidas por este monitoramento.

Os resultados também sugerem uma avaliação crítica da utilização de bandas espectrais dentro do intervalo de 500 nm a 700 nm para o com-puto de índices de vegetação para o monitoramento de Savanas Tropicais. Apesar do trabalho se situar num plano bastante preliminar, há indícios de que a interferência da reflectância do solo torne mais apropriado o uso de bandas da faixa do azul, apesar do efeito atmosférico. Estes podem vir a ser sanadas através de sistemas multisensores.

Finalmente sugere-se a continuidade das pesquisas sobre as características radiométricas do Cerrado para que se possa vir a desenvolver sistemas para o monitoramento desta vegetação capazes de obter informações quantitativas e confiáveis.

5- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATMANIAN, G.J. *Efeito do fogo sobre a produção primária e acumulação de nutrientes de estrato rasteiro de um Cerrado*. Brasília. Tese de Mestrado em Ecologia. Depto Biol.Veg., Instituto Ciên.Biol., Universidade de Brasília. 1983.

BATMANIAN, G.J.; HARIDASAN, M. Primary Production and accumulation of nutrients by the ground layer community of cerrado vegetation of central Brazil. *Plants and Soil*. V88 : 437-440. 1985.

COLWELL, J.E. Vegetation canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment*. V3 (2): 175 - 183. 1974.

EPIPHANIO, J.C.N.; VITORELLO, I. Inter-relationships between view angles (azimuth) and surface moisture and roughness conditions in field-measured radiometer reflectances of an oxisol. 2nd Colloque Internationale de Signatures Spectrales d'Objets en Télédétection. Bordeaux, 12-16 Sept. 1983. Ed. INRA Publ. 1984 (*Les Colloques de l'INRA n° 23*), p. 185-192.

KIMES, D.S.; HOLBEN, B.N.; TUCKER, C.J.; NEWCOMB, W.W. Optimal directional view angles for remote sensing missions. *International Journal of Remote Sensing*. V5(6): 887-908. 1984.

KIMES, D.S.; KIRCHNER, J.A. Radiative transfer model for heterogeneous 3-D scenes. *Applied Optics* V22: 4119-4129. 1982

KNIPLING, E.B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. *Remote Sensing of Environment*. V1(2): 155 - 159. 1970.

LOVELOCK, J.E. Geophysiology: a new look at Earth Sciences. In: DICKINSON, R.E. (Ed). *The Geophysiology of Amazonia - Vegetation and Climate Interactions*. Wiley, N.Y. 1987. p.11-23 (Wiley Series in Climate and the Biosphere).

MEIRELLES, M.L. *Produção primária e suas relações com fatores ambientais em pastagem artificial e Campo Sujo de Cerrado queimado e natural*. Brasília. Tese de Mestrado em Ecologia. Inst.Biol. Universidade de Brasília. 1981.

NASA. *From Pattern to Process: The strategy of the Earth Observing System*. EOS Science Steering Committee. Report V.II.

PEREIRA, M.D.B. *Correlação de fitomassa foliar de Campo Cerrado com dados espectrais obtidos pelo sistema MSS-Landsat e por radiometria de campo*. São José dos Campos, INPE, 1986 (INPE-3758-TDL/205).

RANSON, K.J.; DAUGHTRY, C.S.T. Scene shadow effects on multispectral response. *IEEE Transaction on geoscience and Remote Sensing* V GE-25(4): 502-509. 1987.

RIBEIRO, J.F.; SANO, S.M.; MACEDO, J.; SILVA, J.A. *Os principais tipos fisionômicos da região dos Cerrados*. Planaltina, Distrito Federal, CPAC/EMBRAPA. Boletim de pesquisa n° 21. 1983.

SANTOS, J.R. *Biomassa aérea da vegetação do Cerrado: estimativa e correlação com dados do sensor "Thematic Mapper" do satélite Landsat*. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. PR. 1988. Tese de Doutorado em Ciências Florestais.

- TOWNSHEND, J.R.G.; JUSTICE, C.D. Analysis of the dynamics of African vegetation using the normalized difference vegetation index. *International Journal of Remote Sensing*. V7(11): 1435-1445. 1986.
- TOWNSHEND, J.R.G.; JUSTICE, C.O.; KALB, V. Characterization and classification of South American land cover types using satellite data. *International Journal of Remote Sensing*. V8(8): 1189-1207. 1987.
- TUCKER, C.J. Asymptotic nature of grass canopy spectral reflectance. *Applied Optics*. V16(5): 1151-1157. 1977.
- TUCKER, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*. V8(2): 127 - 150. 1979.
- TUCKER, C.J.; SELLERS, P.J. Satellite remote sensing of primary production. *International Journal of Remote Sensing*. V7(11): 1395-1416. 1986.
- VALERIANO, D.M.; SANTOS, J.R.; HERNANDEZ FILHO, P.; CARVALHO, V.C. O sensoriamento remoto aplicado à vegetação como subsídio ao planejamento municipal. *Anais do Encontro Nacional de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Planejamento Municipal*. Campos do Jordão, SP, 22-23 Out. 1987. 151-164.