

ANÁLISE MULTITEMPORAL DE FRAGMENTOS DE CERRADO NO ESTADO DE SÃO PAULO COM SENSOR ORBITAL MODIS

HUMBERTO NAVARRO DE MESQUITA JR
MARISA DANTAS BITENCOURT

LEPaC - Depart. de Ecologia - IB/Universidade de São Paulo
Rua do Matão, Travessa 14, 321, Cidade Universitária
CEP:05508-900 - São Paulo
{beto, tencourt}@ib.usp.br

Abstract: The antagonism between spatial and temporal resolution has always been a limiting factor to multitemporal analysis at local scale. The Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS) has shown to be adequate to this kind of analysis and to multiscale integration with the last generation of Landsat sensors. This study was done analyzing 36 Terra-MODIS scenes between November 2001 and June 2002, covering all area of São Paulo state. The NDVI was extracted from Cerrado fragments in private properties already checked in the field and was analyzed by mean of polynomial regressions of 6th order and senoidal regressions. The polynomial regression best fit the data set and was used to get the annual cycle for each fragment. The results obtained were compared with the results obtained by a temporal analysis done in a conservation unit using Landsat images covering a period of one seasonal cycle. Same patterns were observed but the absolute values of NDVI were little high with MODIS images.

Keywords: MODIS, NDVI, Cerrado, Multitemporal, Multiscale

1. Introdução

O sensoriamento remoto orbital oferece boas perspectivas à modelagem quantitativa da fenologia (fenofases de estado vegetativo) de vários tipos de vegetação (La Cruz *et al.* 1994, Batista *et al.* 1997). Por meio de análise em escala global, com alta frequência temporal de imagens, já foram produzidos modelos que representam a variação fenológica dos tipos vegetais do globo (Kremer & Running, 1993; Ehrlich *et al.*, 1994), e em alguns casos comparando os modelos com variáveis ambientais como correlacionando a temperatura com as florestas decíduas, e a precipitação como as savanas (Di *et al.*, 1994; Shinoda, 1995; Moulin *et al.*, 1997). No caso das savanas é preciso considerar os componentes herbáceo e arbóreo da vegetação (Santos & Shimabokuro 1993). Cada componente da paisagem pode ter uma resposta espectral diferente para cada variação sazonal (Fuller *et al.*, 1997; Mesquita Jr, 1998).

A maior parte dos trabalhos realizados foram utilizadas séries temporais de imagens de satélites multispectrais da NOAA (*National Atmospheric and Oceanic Administration*). As últimas gerações do GOES foram dotadas do sensor multispectral AVHRR (sensor avançado com radiômetro de alta resolução) com 5 faixas espectrais sendo: uma no visível (0,52-0,72 μ m), uma no infravermelho (3,78-4,03 μ m) e as demais na faixa do termal (6,47-7,02 μ m; 10,2-11,2 μ m; 11,5-12,5 μ m). Objetivo principal da série de satélites da NOAA é a previsão das condições do tempo e outros propósitos meteorológicos. Após a implementação da nova geração de satélites dotados dos sensores AVHRR - principalmente devido a possibilidade de gerar as imagens índice de vegetação - ocorreu uma grande motivação aos estudos da dinâmica do clima global e mapeamentos da superfície oceânica e da vegetação terrestre (Jensen, 2000).

A partir do ano de 2000 foi colocado em órbita o satélite TERRA com o sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectrometer*) a motivação aos estudos da dinâmica da

vegetação no globo aumentaram. Aliado a este satélite o satélite AQUA também com o sensor MODIS (em órbita a partir de 2002) poderá trabalhar em constelação¹ com o TERRA.

Além dos avanços no desenvolvimento destes recursos tecnológicos que podem auxiliar as pesquisas a comunidade científica, na área de Sensoriamento Remoto do Ambiente tem obtido grandes avanços no que diz respeito a grandes projetos integrados que otimizam as oportunidades de recursos. Uma dessas iniciativas é promovida pelo programa EOS da NASA na qual uma grande quantidade de dados são disponibilizados para a pesquisa. Dentre os produtos disponibilizados pela EOS-DIS estão os índices de vegetação quinzenais MOD13-V003 (Parkinson & Greenstone, 2000).

O sucesso deste sensor aliado a forma de disponibilização dos dados tem motivado a pesquisa utilizando este tipo de sensor. Além destas características as faixas espectrais do sensor e o momento de aquisição das imagens (aprox. 10:30hs, hora local) e a órbita foram escolhidas de forma a facilitar a comparação com dados obtidos pelo sensores ETM+ e TM da série de satélites *Landsat*. Outras características deste sensor é alta resolução temporal. Em conjunto, os satélites TERRA e AQUA dotados do sensor MODIS estarão produzindo imagens com resolução temporal de até 1 a 4 dias dependendo do ângulo de visada (EOS Science Plan, 1999). A utilização destes sensores em estudos em escala regional aliados as imagens dos satélites *Landsat* serão cada vez mais frequentes, principalmente nos estudos multitemporais.

2. Material e Métodos

Para a consolidação do modelo de tomada de decisões utilizando os critérios gerados pelos modelos da variação da resposta espectral da cobertura vegetal em outras áreas de cerrado serão utilizadas algumas áreas de cerrado no estado de São Paulo. As áreas utilizadas serão algumas das áreas de prioridade de conservação que estão sendo estudadas no projeto *The Conservation Feasibility of the Cerrado Remnants in São Paulo State* (FAPESP processo nº 98/05251-0). Foram selecionadas 22 áreas de prioridade (**fig. 1**) com 206 fragmentos, inicialmente, para a análise dos critérios do modelo de tomada de decisões, foi desconsiderado estado de conservação de cada fragmento de cerrado e o tamanho dos fragmentos presentes e cada área.

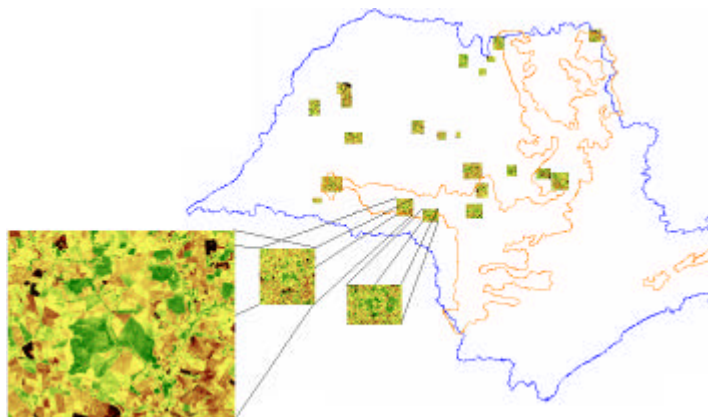


Figura 1 - Imagens Landsat TM com resolução de 30m metros das 22 áreas de prioridade estudadas no projeto *The Conservation Feasibility of the Cerrado Remnants in São Paulo State* (FAPESP processo nº 98/05251-0).

¹ Neste caso o termo constelação refere-se a dois ou mais satélites com o mesmo tipo de sensor e órbita similar com passagens defasadas temporalmente (imageando um mesmo local da superfície da terra em tempos diferentes).

Os vetores que delimitam áreas que seguramente são áreas de cerrado foram convertidos para coordenadas geodésicas bem como as imagens das referidas áreas. Dessa forma podem ser comparados os dados em escala local (ex. imagens *Landsat-TM* ou *JERS-1*) e em escala de compreenda todo o estado (ex. imagens *TERRA-MODIS*).

Foram adquiridas imagens *MODIS* de 500m e 250 metros de resolução para todo o estado de São Paulo, em coordenadas geodésicas e em projeção Sinusoidal (*ISIN Grid*) em formato *HDF-EOS*. O produto tem as refletâncias na superfície do terreno corrigidas quantos as interferências de espalhamento molecular, absorção de radiação pelo ozônio e presença de aerossóis. Para o produto índice de vegetação de 500 metros foram adquiridas 36 pacotes imagens no período de novembro de 2000 a junho de 2002. Para o produto índice de vegetação de 250 metros foram adquiridas 7 pacotes imagens no período de abril a julho de 2002. As imagens foram convertidas de para o sistema de projeção mercator utilizando a ferramenta de conversão de projeções do *MODIS* (versão 3.4).

As imagens *IVDN* de 250m de resolução foram utilizadas para verificação da qualidade do georeferenciamento da imagens originais utilizando polígonos das áreas de cerrado (**fig. 2**). Embora as imagens com resolução de 250m sejam melhores para análise a seqüência temporal não foi suficiente para realizar a análise temporal (apenas 7 imagens em 4 meses).

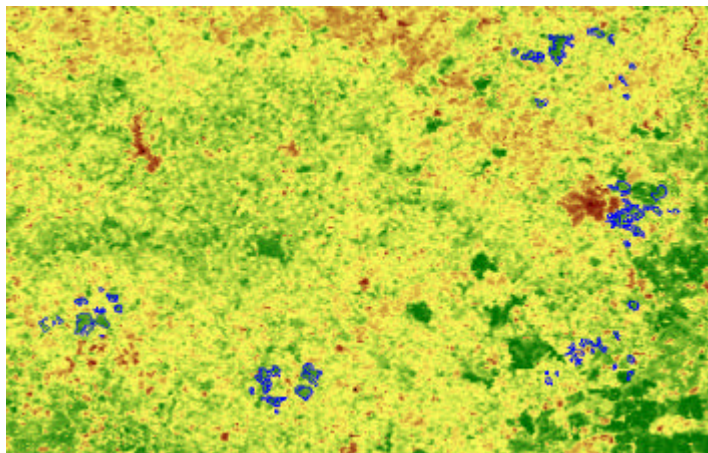


Figura 2 - Imagens *MODIS* com resolução de 250m metros de uma parte estado de São Paulo com polígonos dos fragmentos de algumas das áreas de prioridade.

As 36 imagens com resolução de 500m metros foram utilizadas para a análise temporal dos fragmentos (de novembro de 2000 a junho 2002). A análise foi realizada com o valor médio dentro de todos os fragmentos de cerrado que compõe cada área de prioridade. Também foram extraídos os valores de cada pixel presente dentro da reserva *Pé-de-gigante* (**fig. 3**) que já vem sendo estudada com outros sensores e em campo.

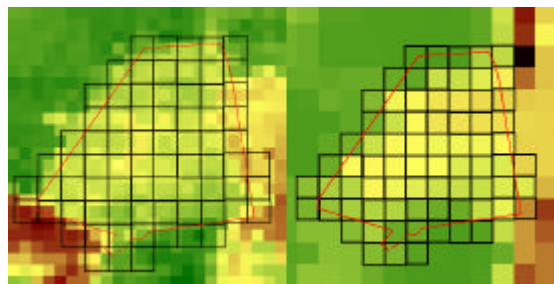


Figura 3 - Imagens *MODIS* com resolução de (a) 250 metros e (b) de 500 metros da reserva *Pé-de-Gigante*.

As imagens 500m também foram utilizadas para extrair as valores de IVDN quinzenais das fisionomias que ocorrem dentro da unidade de conservação Pé-de-gigante. Para realizar esta análise foram escolhidos alguns pontos onde ocorre quase ou exclusivamente cada fisionomia. Estes valores foram comparados com os valores obtidos por outros sensores em datas distintas para a mesma região da imagem. As curvas de variação temporal de cada fisionomia foram comparadas com os padrões de variação temporal obtidos com as imagens Landsat-TM para as diferentes fisionomias. Para analisar os padrões de variação temporal buscou-se estabelecer um modelo de curvas que indicasse as oscilações de entre os períodos de chuvas e os de estiagem no período de 36 datas. Os intervalos foram convertidos para o dia médio do intervalo e transformados em dias Julianos em relação a origem, ou seja o primeiro dia é 0 e assim sucessivamente.

Para resolver as curvas que melhor indicavam as oscilações temporais, ou seja para realizar a análise de séries temporais (Roberts, 1992), foram feitas regressões periódicas do tipo senoidal (eq. 1) e regressões polinomiais de 6ª ordem (eq. 2).

$$Y = \text{Coeficiente} + x.t + x^2.t + x^3.t + x^4.t + x^5.t + x^6.t \quad \text{equação 1}$$

$$Y = \text{Coeficiente} e + A.\text{sen}(w.t - q) \quad \text{equação 2}$$

Y = valor estimado da variável observada
(variável dependente)
X = valores observados
t = instante de tempo (dias)
A = amplitude

w = constante que converte os valores em dias para graus (360°) ou radianos (2π)
q = constante que fase que ocorre quando o angulo atinge o máximo (entre 0 e 2π)

Os valores de amplitude, fase, frequência foram comparados entre as áreas de cerrado e com os valores obtido para a reserva Pé-de-gigante. Estes valores serviram como referência para o ajuste dos critérios de classificação das fisionomias de cerrado a partir do modelo teórico obtido a partir da área da reserva Pé-de-gigante.

3. Resultados

Os valores médios foram de cada área de prioridade foram utilizados para realizar as regressões periódicas ajustada a curva senóide e as regressão polinomial de 6ª ordem (fig. 4) com o objetivo de encontrar a curva que melhor se ajustasse ao intervalo de oscilação de dados. O ajuste serve para definir as curvas que representam a variação sazonal, principalmente os dois períodos de verão entre 2000/2001 e entre 2001/2002 e um, intercalado, de estiagem em 2001.

A curvas polinomiais de 6ª ordem se ajustaram melhor aos dados e foram utilizadas para a análise (tab. 1). A análise das curvas de variação sazonal foi realizada utilizando os parâmetros de oscilação: amplitude, frequência e fase. Para análise foi utilizada apenas a parte da curva entre os dois períodos de verão (fig. 5).

Tabela 1 - Proporção da variância dos INDV das 22 áreas de prioridade que podem ser explicados pela curva ajustada (r²).

	Senoidal	Polinomial		Senoidal	Polinomial		Senoidal	Polinomial		Senoidal	Polinomial
A	0.63	0.70	F	0.66	0.70	L	0.64	0.75	R	0.77	0.73
B	0.68	0.66	G	0.65	0.67	M	0.76	0.88	S	0.79	0.86
C	0.58	0.69	H	0.58	0.70	N	0.71	0.79	T	0.78	0.75
D	0.61	0.68	IJ	0.68	0.76	O	0.62	0.73	U	0.79	0.78
E	0.68	0.75	K	0.63	0.70	P	0.65	0.69	V	0.79	0.83
						Q	0.68	0.62	Z	0.56	0.63

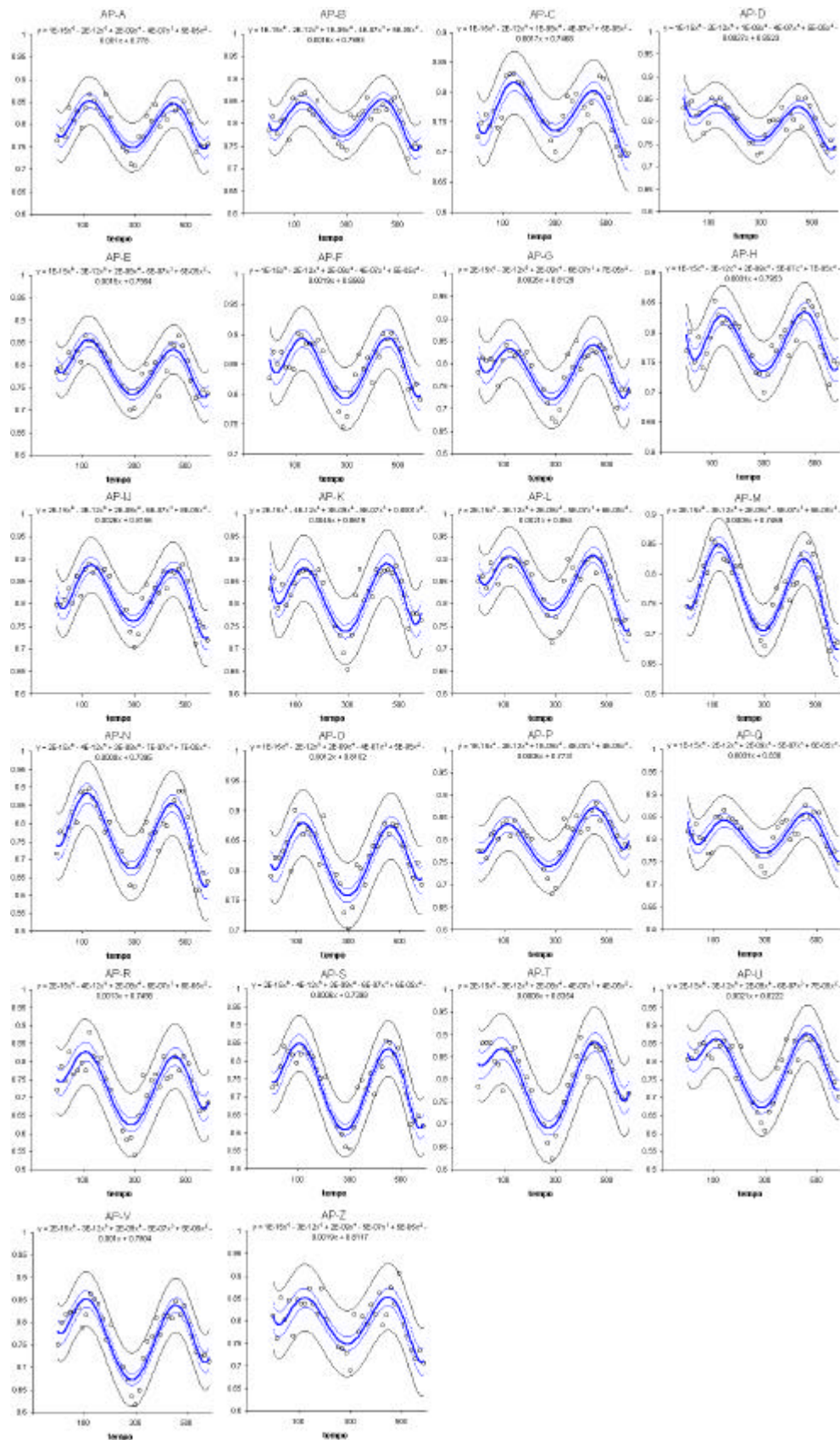


Figura 4 - Curvas geradas por polinômios de 6ª ordem ajustadas para as 22 áreas de prioridade, a linha contínua representa a curva polinomial de 6ª ordem ajustada aos dados e as linhas pontilhadas representam o intervalo de confiança de 95%.

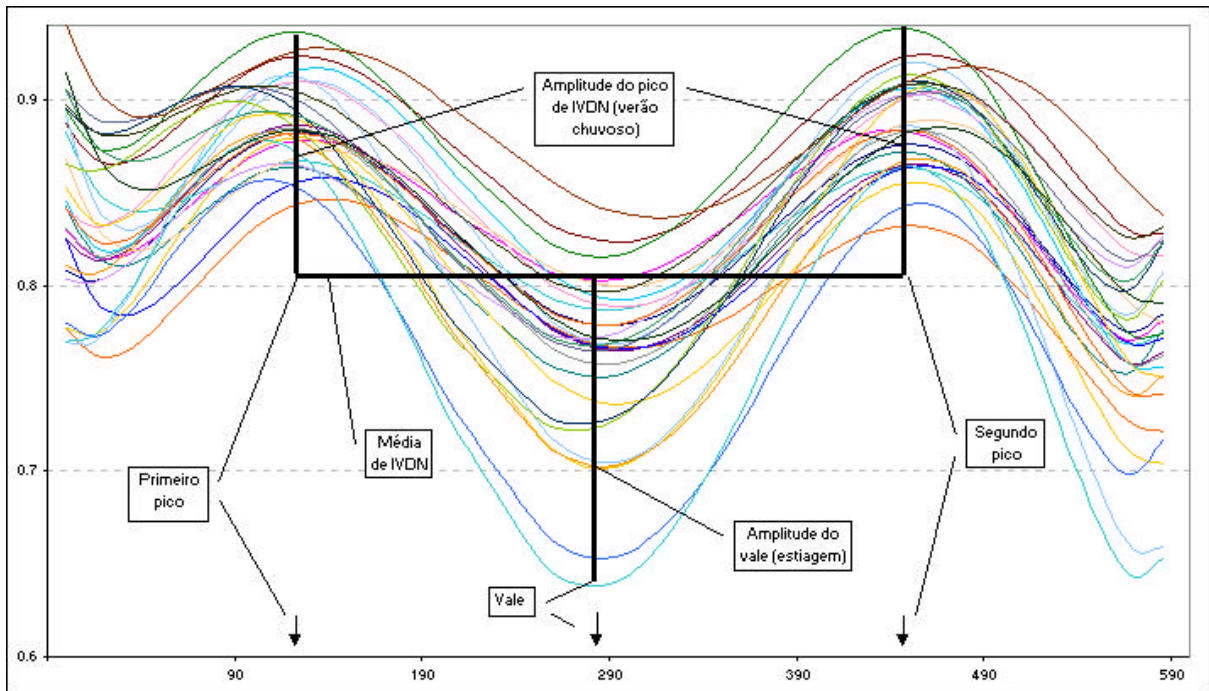


Figura 5 - Representação gráfica das 22 duas curvas polinomiais de 6ª ordem ajustadas as 22 áreas de prioridade. Estão representados os principais indicadores utilizados na análise da oscilação sazonal do IVDN.

Neste caso as variações de amplitude foram consideradas em relação a um ponto (para a referência de medida foi escolhida a média obtida para todo por todas as áreas de cerrado, $IVDN = 0.7909$). A partir desse ponto foram definidos os valores de pico e vale de IVDN e pico e vale temporal (instante de tempo quando ocorre o evento). O ciclo foi considerada a distância em dias entre os dois picos, e os valores variaram de 317 a 365 dias com média de 331,5 dias. O primeiro pico apresentou uma diferença de fase de até 48 dias e teve uma variação média em torno de 17 dias, o segundo pico teve uma diferença de fase máxima de 16 dias e média de 12 dias; o vale apresentou uma diferença de fase máxima em torno 32 dias e média de 16 dias.

Também foram analisadas os valores obtidos de pelas curvas ajustadas para as fisionomias de cerrado dentro da área da reserva de cerrado, as médias e as variações de amplitude (**fig. 6**).

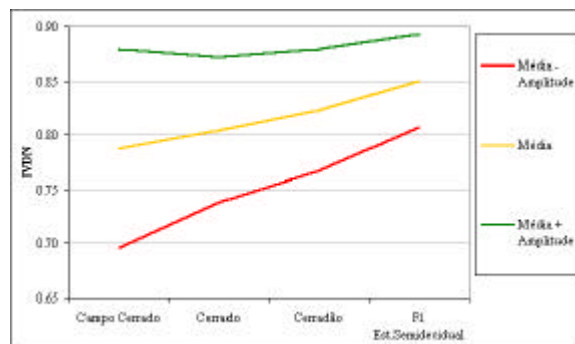


Figura 6 - Valores médios de IVDN para algumas fisionomias obtidos pelas curvas ajustadas a partir dos dados extraído da reserva Pé-de-gigante. Embora os dados de variação fisionômica sejam dados categóricos são apresentados em linha contínua por serem a representação do gradiente de cobertura vegetal verde.

Os dados de variação média e de amplitude do IVDN para as fisionomias na reserva Pé-de-gigante foram comparados com os valores médio e de amplitude obtidos para as 22 áreas de prioridade. Os intervalo de valores médio e de amplitude índice das fisionomias foi menor do que o obtido para as demais áreas então os valores foram projetados para uma linha de tendência apenas para a comparação (fig. 7).

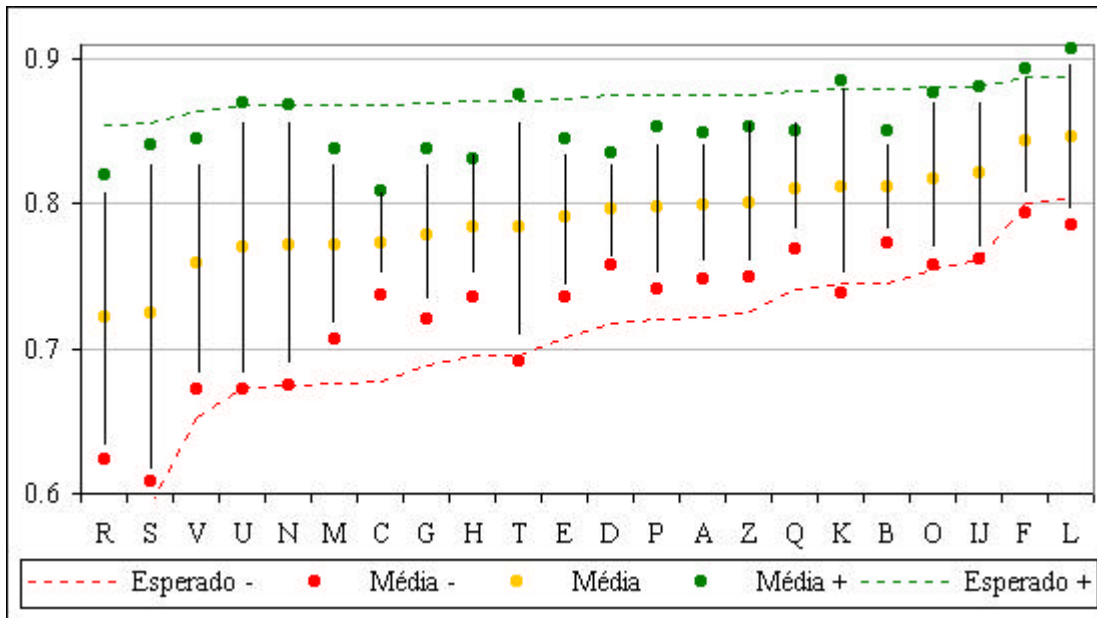


Figura 7 - Valores médios e de amplitude de IVDN para obtidos pelas curvas ajustadas para as 22 área de prioridade e as linhas de tendência da fisionomias da reserva Pé-de-gigante.

4. Discussão

Para entender o comportamento espectral da cobertura vegetal na faixa do óptico é fundamental considerar as variações sazonais acompanhadas das variações na densidade de folhas verdes. Esse tipo de análise pode ser quantificada com sensores orbitais por meio do IVDN.

Mesquita 1998 observou que as variações sazonais diferem para as fisionomias de Cerrado, sendo que este gradiente fisionômico apresenta maior amplitude de variação nas fisionomias campestres e menor amplitude de variação nas fisionomias florestais.

As variações sazonais observadas em um ciclo sazonal tem um padrão semelhante ao obtido por Mesquita Jr (1998) utilizando imagem Landsat-TM. No entanto, os valores de IVDN obtidos com imagens Lansat TM foram inferiores aos obtidos com as imagens INDV Terra-MODIS 500m.

5. Conclusões

O método de análise da variação sazonal multitemporal por modelagem do IVDN obtido a partir das imagens MODIS mostrou ser bastante eficiente para análise multitemporal da vegetação e principalmente em conjunto com dados com resolução espacial mais fina como as do Landsat-TM e ETM+.

O dados derivados foram ajustados a modelos empíricos simples, com ajuste de um curva a um modelo teórico de um ciclo de variação sazonal.

6. Agradecimentos

Gostaria de agradecer a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) através da EOS-DIS (*Earth Observation System and Data and Information System*) pela disponibilização de imagens do satélite TERRA sensor MODIS utilizadas. Gostaria de agradecer ao BIOTA/ FAPESP “*The Biodiversity Virtual Institute Program*” (www.biota.org.br) que financiou o projeto *The Conservation Feasibility of the Cerrado Remnants in São Paulo State* (FAPESP proc. nº 98/05251-0) do qual foram utilizados alguns dados e também ao apoio ao projeto *Modelagem das variações da resposta espectral das fisionomias de Cerrado em relação às variações climáticas sazonais* (FAPESP proc. nº 99/05048-1).

7. Referências

- Batista, G.T., Shimabukuro, Y.E., and Lawrence, W.T. (1997), The long-term monitoring of vegetation cover in the Amazonian region of northern Brazil using NOAA-AVHRR data, *Int. J. Remote Sens.* 18(15):3195-3210.
- Di, L., Rundquist, D.C., and Han, L. (1994), Modeling relationships between NDVI and precipitation during vegetative cycles, *Int. J. Remote Sens.* 15(10):2121-2136.
- Ehrlich, D., Estes, J.E., and Singh, A. (1994), Applications of NOAA-AVHRR 1km data for environmental monitoring, *Int. J. Remote Sens.* 15(1):145-161.
- King (ed), M.D., 1999, *EOS Science Plan - The state of Science in the EOS program*, NASA, 397p.
- Fuller D. O., Prince S.D., Astle W.L. (1997), The influence of canopy strata on remotely sensed observations of savanna-woodlands. *Int. J. Remote Sens.* 18(14):2985-3009.
- Jensen J.R. (2000), *Remote Sensing of Environment - An resource perspective*, Practice Hall, New Jersey (Practice Hall series in geographic information science).
- Kremer, R.G., and Running, S.W. (1993), Community Type Differentiation Using NOAA/AVHRR Data within a Sagebrush-Steppe Ecosystem, *Remote Sens. Environ.* 46:311-318.
- Lacruz, S.P., Santos, J.R., Shimabukuro, Y.E., and Miranda, E.E. (1994), Multitemporal NOAA/AVHRR data to analyse seasonal changes on vegetation at contact areas between forest and savanna woodland, *Proceedings of ISPRS Commission VII Symposium Resource and Environmental Monitoring, Rio de Janeiro-Brazil, September 26-30.* 30(7a):344-348.
- Mesquita Jr H.N. (1998), *Análise temporal com sensor orbital de unidades fisionômicas de cerrado na Gleba Pé-de-Gigante (Parque Estadual de Vassununga - SP)*, Dissertação defendida no Depto. de Ecologia Geral do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo para obtenção do título de mestre em ciências.
- Moulin, S., Kergoat, N., Viovy, N., and Dedieu, G. (1997), Global-Scale Assessment of Vegetation Phenology Using NOAA/AVHRR Satellite Measurements, *J. of Climate* vol.10.
- Parkinson, C.L. & Greenstone, R. (eds.), 2000, *EOS Data Products Handbook*. Vol.2 NASA Goddard Space Flight Center. Maryland. 253p.
- Roberts, E.A. (1992), *Sequential Data in Biological Experiments - An introduction for research workers*. Chapman & Hall, London. 240p.
- Santos, J.R., and Shimabukuro, Y.E. (1993), O Sensoriamento Remoto como indicador das fenofases dos cerrados brasileiros: Estudo de Caso com dados AVHRR-NOAA, *Annais of VII Brazilian simposium of remote sensing, Curitiba - Brazil, May 10-14*, pp. 249-257.
- Shinoda, M. (1995), Seasonal phase lag between rainfall and vegetation activity in tropical Africa as revealed by NOAA satellite data. *Int. J. of Climatology*, 15:639-656.