

VARIAÇÕES DO PARÂMETRO BIOFÍSICO FAPAR AO LONGO DO ANO E SUA UTILIZAÇÃO NA INDICAÇÃO DA ATIVIDADE FOTOSSINTÉTICA

Variation of FAPAR Biophysical Parameter Along the Year and its Use as an Indicator of the Photosynthetic Activity of the Vegetation

Luciana Mara Temponi de Oliveira¹
Gutemberg Borges França²

¹**Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE**
Diretoria de Geociências/Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais
Av. Rep. Chile 500, 15 andar, Centro, Rio de Janeiro-RJ – CEP: 20031-170
luciana.temponi@ibge.gov.br

²**Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ**
Instituto de Geociências/Departamento de Meteorologia
Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Ilha do Fundão - Bloco G, Rio de Janeiro-RJ – CEP: 21941-916
gutemberg@lma.ufrj.br

RESUMO

A FAPAR é definida como a fração da radiação solar disponível para o processo fotossintético absorvida pela copa dos vegetais verdes e, portanto, um parâmetro biofísico que pode ser utilizado como indicador da atividade da vegetação. O objetivo deste trabalho foi o de observar e avaliar as variações da FAPAR média ao longo do ano e sua possível utilização na compreensão do comportamento da cobertura vegetal do país, indicando áreas de maior atividade fotossintética e captura de CO₂. Para tanto, utilizou-se uma série temporal de FAPAR derivada do NDVI proveniente do AVHRR, a qual foi obtida e analisada em relação ao próprio NDVI, bem como seu comportamento ao longo do ano como indicador da atividade da vegetação no país. Os resultados mostraram uma maior variação nas respostas deste parâmetro do que os apresentados pelo NDVI. Os maiores valores contínuos foram observados nas regiões mais densamente vegetadas e os menores nas regiões onde há maior influência da seca na vegetação (Nordeste e Centro-oeste). Constatou-se também que no mês de março a atividade geral pelo país é média e que a vegetação no norte da Amazônia é a que apresenta por mais tempo altos valores, onde é maior a captura de carbono. Acredita-se que em melhores resoluções, onde se possa controlar a homogeneidade da cobertura vegetal, este parâmetro possa ser utilizado como estimador de produtividade.

Palavras chaves: FAPAR, NDVI, Atividade Fotossintética.

ABSTRACT

FAPAR is defined as the fraction of solar radiation available for photosynthetic process that is effectively absorbed by the canopies of green leaves and a biophysical parameter that can be used as an indicator of vegetation functioning. The aim of this study was to observe and assess changes in the average FAPAR throughout the year and its possible use in understanding the behavior of contextual coverage plant in the country and CO₂ capture. To this, we used a series of FAPAR derived from NDVI AVHRR data, which was obtained and analyzed in relation to the NDVI, as well as their behavior along the year as a vegetation activity indicator in the country. The results showed greater variation in response of this parameter than those presented by NDVI. The continuous highest values were observed in the most densely vegetated areas and smaller in regions where the drought' influence on vegetation is greater (Northeast and Midwest). It was also found that the overall activity of the country's average is in March and that in the northern of Amazon the vegetation shows higher values for longer, where there is greater carbon sequestration. It is believed that the higher resolutions, where you can control the vegetation homogeneity, this parameter can be used as estimates of productivity.

Keywords: FAPAR, NDVI, Photosynthetic Activity.

1. INTRODUÇÃO

A vegetação assimila o carbono atmosférico no processo fotossintético, enquanto perde água através da transpiração (SELLERS *et al.*, 1997). Os ciclos da água e do carbono na vegetação estão intrinsecamente relacionados aos processos de troca de calor, umidade e carbono (STÖCKLI e VIDALE, 2004).

Para que a fotossíntese ocorra é necessária a presença da energia solar. A biosfera recebe a radiação solar em comprimentos de onda de 290 nm a aproximadamente 3000 nm. Os menores comprimentos de onda são, em geral, absorvidos na alta atmosfera pelo ozônio e oxigênio do ar, sem atingir a superfície terrestre, e os maiores comprimentos de onda são absorvidos de acordo com a concentração de vapor de água e gases na atmosfera, principalmente, CO₂ (LIOU, 1980; LARCHER, 2000).

A radiação solar que é utilizada na fotossíntese e na produção primária, encontra-se no intervalo de comprimento de onda de aproximadamente 400 a 700 nm (aproximadamente 45% da radiação proveniente do sol). A captura e utilização dessa radiação fotossinteticamente ativa (conhecida como PAR – “Photosynthetically Active Radiation”) representa a fundamentação energética da origem, evolução e existência sustentável da biosfera (DYE e GOWARD, 1993; MUNIZ, 2004). Informações sobre a quantidade da PAR absorvida pela vegetação são importantes na modelagem e monitoramento da produção primária e processos biosféricos (DYE e GOWARD, 1993).

A FAPAR (“Fraction of Photosynthetically Active Radiation absorbed by a plant canopy”, também FPAR, ou ainda *f*PAR) é definida como a fração da radiação solar disponível para o processo fotossintético que é efetivamente absorvida pela copa dos vegetais verdes (que possuem a clorofila como pigmento predominante). Na FAPAR, não estão incluídas as frações da PAR refletida pela copa, tampouco a fração absorvida pela superfície do solo e do sub-bosque. Mas inclui a porção da PAR que é refletida pelo solo/sub-bosque, a qual é interceptada pela copa também (CCRS, 2005).

A FAPAR tem o papel de fonte de energia durante o processo fotossintético do vegetal e pode ser usada como um indicador da presença e estado da cobertura vegetal ou como uma estimativa (quantitativa) de um dos principais fatores que controlam a produtividade desta cobertura (EUROPEAN COMMISSION, 2006). É um dos parâmetros chave em modelos de crescimento que se baseiam na radiação utilizada pela vegetação para a produção de fitomassa (OVIEDO *et al.*, 2001). E ainda é relacionada à taxa de assimilação de carbono ou fotossíntese bruta em adição aos fluxos de radiação, calor, umidade e momentum (SELLERS *et al.*, 1996).

Devido à natureza dos dosséis e da radiação, a FAPAR pode ser utilizada como uma quantidade mensurável, um índice que descreve o estado do

sistema. Seu valor é estimado do balanço da radiação entre os fluxos incidente, refletido e transmitido através do sistema vegetação (GOBRON *et al.*, 2005).

A limitação na quantificação de forma aceitável da FAPAR e a necessidade de obtenção para grandes áreas, ou mesmo em nível global, conduziram a investigações sobre o relacionamento das propriedades espectrais da folha com esse parâmetro biofísico (SELLERS *et al.*, 1994; MYNENI *et al.*, 1997; GOWER *et al.*, 1999). A estabilidade, a capacidade de revisita e a cobertura global das técnicas de sensoriamento remoto sinalizaram o uso dessas medidas na obtenção dessas variáveis nos estudos de superfície terrestre e processos atmosféricos (LOS, 1998).

Estudos empíricos registraram várias correlações plausíveis entre transformações das reflectâncias espectrais, nos chamados índices de vegetação, e parâmetros descritivos de área foliar da vegetação, fitomassa e funções fisiológicas (ASRAR *et al.*, 1984; SELLERS, 1987; MYNENI *et al.*, 1995, COSTA *et al.*, 2002).

Stöckli (2004), baseado em Los (1998), aprimorou o modelo de relacionamento entre o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e FAPAR possibilitando a estimativa deste parâmetro através do NDVI por uma escala linear dependente da classe da vegetação (equação 1).

$$FAPAR = \frac{(NDVI - NDVI_{\min})}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \cdot (FAPAR_{\max} - FAPAR_{\min}) + FAPAR_{\min} \quad (1)$$

NDVI: IVP-VIS/IVP+VIS

IVP: Infravermelho próximo;

VIS: Visível (comprimento de onda da região do vermelho);

FAPARmax: FAPAR máxima (0,95);

FAPARmin: FAPAR mínima (0,01);

NDVImin: NDVI mínimo encontrado na série temporal para o pixel;

NDVImax: NDVI máximo encontrado na série temporal para o pixel.

Esta fração varia de 0,0 em áreas sem cobertura vegetal, a aproximadamente 1 para áreas cobertas com vegetação em atividade (GOBRON *et al.*, 2000; SPOLADOR *et al.*, 2006).

Apesar deste parâmetro biofísico ser indicativo do principal fator que controla a produtividade, e das áreas fonte ou sumidouro de carbono, são escassas informações trabalhadas do mesmo para o território brasileiro. Assim, este trabalho se justifica como um estudo inicial de uma série temporal (18 anos) de FAPAR, onde é feita uma contextualização do dado para o país e uma primeira análise de um parâmetro passível de utilização na compreensão da atividade da vegetação em resposta às variações ambientais. E, portanto, indicador de áreas de maior assimilação de carbono.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi o de observar e avaliar as variações do parâmetro biofísico FAPAR médio ao longo do ano e sua possível utilização na compreensão do comportamento contextual da cobertura vegetal do país, indicando áreas de maior atividade fotossintética e captura de CO₂.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Para a elaboração do estudo foram utilizados os seguintes conjuntos de dados:

1) Série temporal global de NDVI filtrado produzido por Stöckli (2004) com resolução espacial de 0,1°x 0,1° e temporal de 10 dias, para o período de 1982 a 1999. Estas imagens são derivadas dos valores de reflectância (calibrada e corrigida) do canal 1 (580 a 680 nm), banda do visível, e canal 2 (725 a 1000nm), infravermelho próximo, das imagens do radiômetro AVHRR (“Advanced Very High Resolution Radiometer”) do NOAA 7, 9, 11 e 14.

2) Base cartográfica e carta temática de vegetação do IBGE, escala 1:5.000.000, em meio digital.

3.2 Métodos

Para a elaboração do estudo foram seguidas as seguintes etapas:

1 – registro das 648 imagens de NDVI no

Sistema de Coordenadas Geográficas: Latitude/Longitude, datum WGS84;

2 – recorte do conjunto de dados de NDVI para o enquadramento Brasil;

3 – processamento das imagens para geração das matrizes de NDVI médio (12 imagens), máximo (12 matrizes) e mínimo (12 matrizes) mensais;

4 – obtenção das matrizes de FAPAR através da substituição dos dados obtidos na etapa anterior na equação 1;

5 – análises da FAPAR orientada pela divisão política do território e mapa de vegetação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra as variações sazonais do índice de vegetação através de valores médios do NDVI. A escala de cores utilizada vai do vermelho, menor verdor, ou mesmo ausência de cobertura vegetal, ao verde, que representa maiores valores do índice e, portanto, um maior verdor. Nesta figura observa-se que na área central do país, onde se encontra as áreas de Savana e no nordeste, principalmente sobre a Savana-Estépica, ocorrem as maiores variações no verdor ao longo do ano, com valores observados de NDVI médios inferiores a 0,5 para a resolução espacial estudada. Estas tipologias vegetais apresentam variações fisiológicas em resposta à condição de seca, e apresentam adaptações a estas regiões que apresentam de 4 a 6 meses secos. O que confirma a resposta encontrada de menor verdor pelo amarelecimento, e, ou, senescência da vegetação.

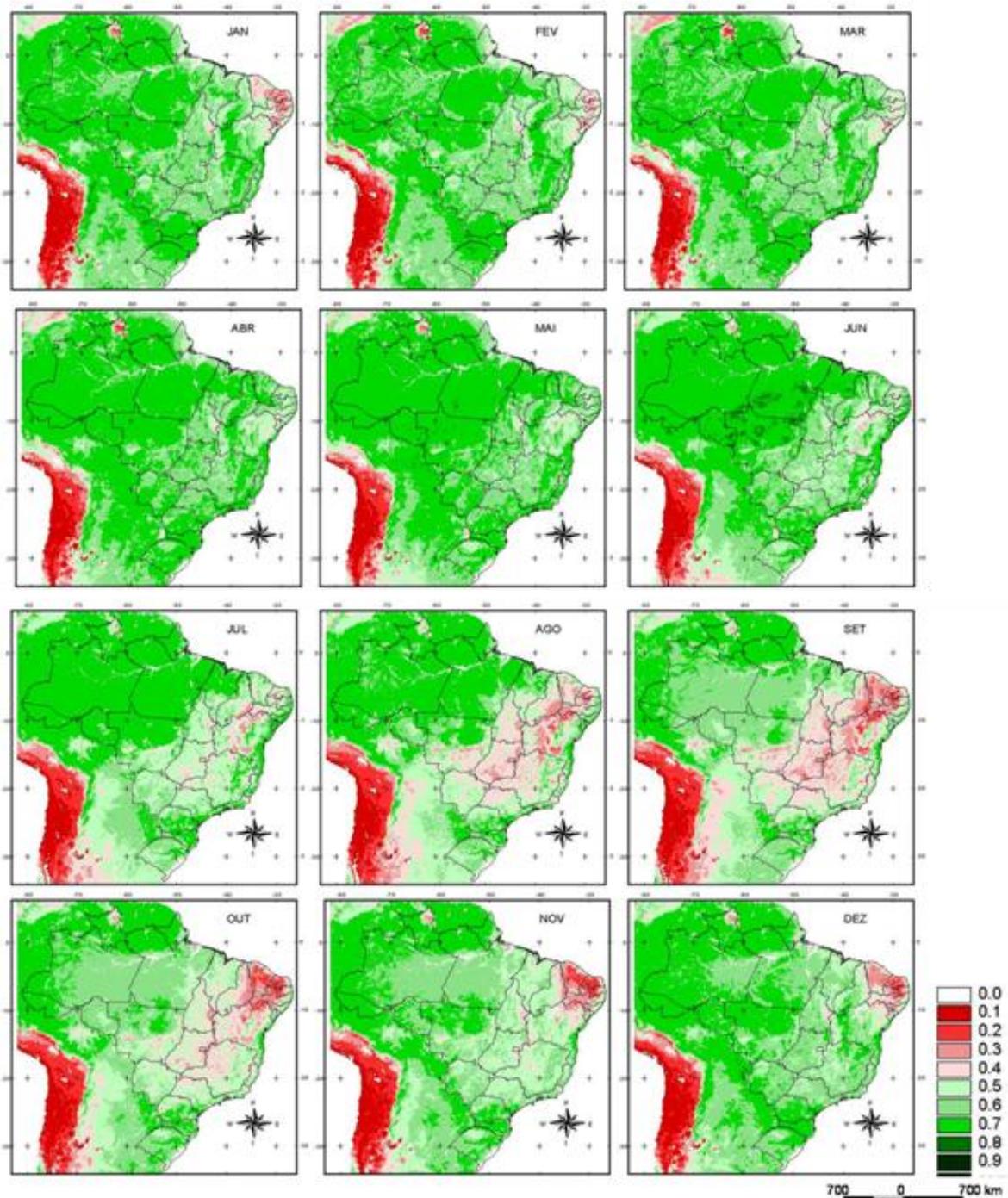


Fig. 1 - NDVI médio mensal de 1982 a 1999 orientado pela divisão política do território brasileiro

Ainda na figura 1, observam-se altos valores contínuos, representando maior verdor da vegetação, na região norte da Amazônia, onde há predomínio das Florestas Ombrófilas, caracterizadas por indivíduos arbóreos que em sua maioria não apresentam queda de folhas. Nessa região não há déficit hídrico. Sendo o menor verdor observado em setembro/outubro e o maior em junho/julho. Os meses de janeiro a março são períodos de muita chuva, mas é no final do período chuvoso que se observa o maior verdor. Acredita-se que a grande quantidade de água (vapor e partículas) na atmosfera interfira na resposta captada pelo sensor

nesses meses.

Na porção centro-norte do Mato Grosso e centro-sul do Pará são observados valores anormalmente altos de verdor, principalmente no mês de junho. Esta região está sob forte pressão antrópica desde a década de 80, estes valores podem estar associados às práticas agrícolas.

Uma das desvantagens do NDVI é não ser uma variável comparável para áreas cobertas por tipologias vegetais diferentes, por exemplo: altos valores na Caatinga (Savana-Estépica) podem representar decréscimos de vigor para a Floresta Ombrófila Densa,

como se observa para o Ceará no mês de março em comparação com o Amazonas no mês de setembro. Já a FAPAR permite a comparação para diferentes tipos de vegetação, ou seja, altos valores deste parâmetro biofísico indicarão uma condição de maior atividade da vegetação, independente do tipo, isso devido à consideração dos valores temporais máximos e mínimos

na sua obtenção.

A Figura 2 mostra os resultados da FAPAR média de janeiro a dezembro do período de estudo (1982 a 1999). Os menores valores estão representados em vermelho e os maiores em verde escuro. O mês de março é aquele que apresenta um valor médio do parâmetro por todo o país.

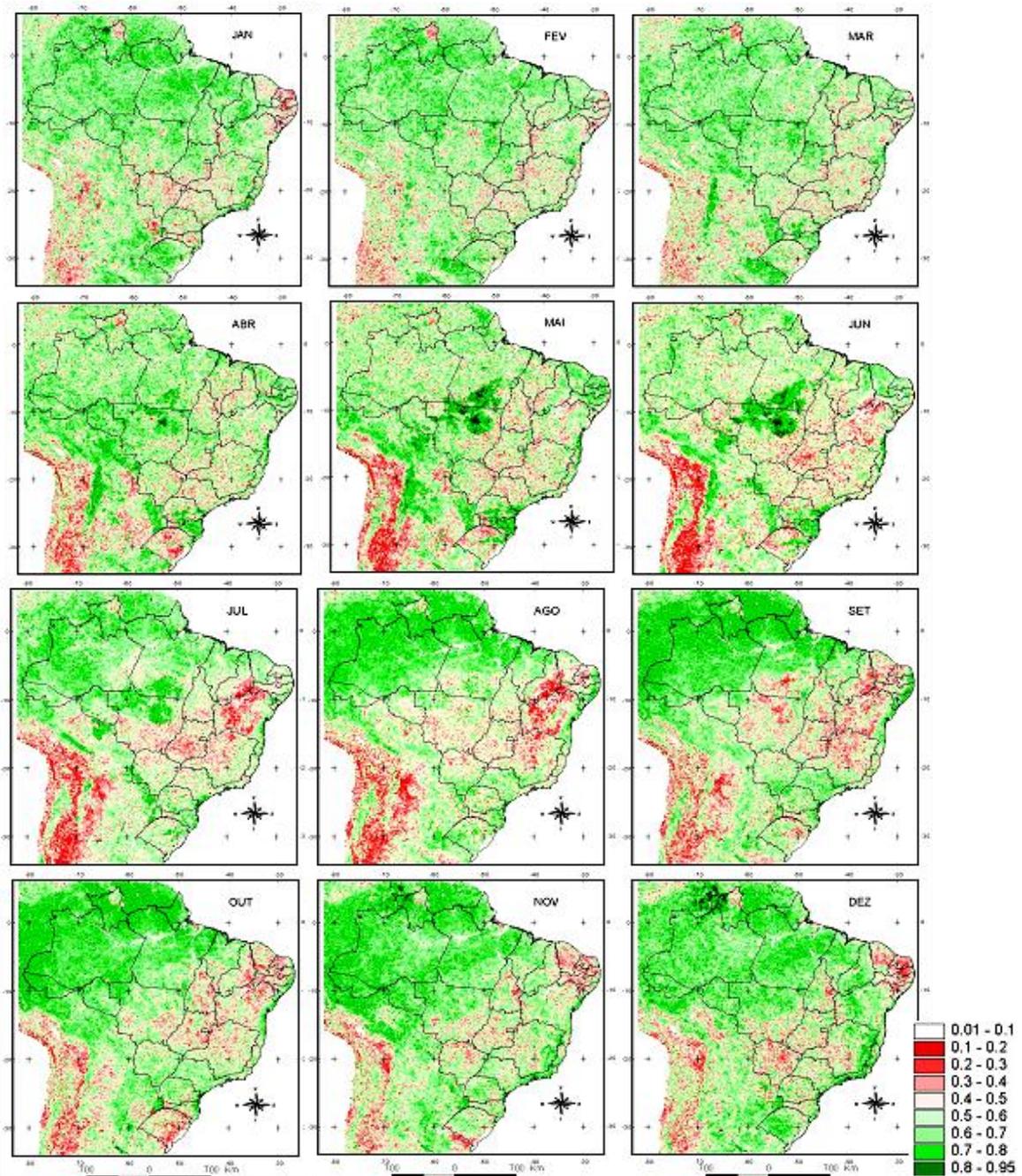


Fig. 2 - FAPAR média mensal de 1982 a 1999, orientada pela divisão política do território brasileiro.

Comparando-se a figura 2 com a que a figura 1, observa-se que a FAPAR apresenta maior variação em relação ao índice de vegetação NDVI. Principalmente devido a este parâmetro não indicar o verdor, e sim, relacionar-se à porção da radiação

disponível absorvida pela vegetação, que por sua vez dependerá, entre outros, da quantidade de clorofila e das adaptações dos diferentes tipos de vegetação às variações ambientais, condicionados a intervalos ótimos de temperatura, umidade, condição edáfica e vento.

Observa-se na Figura 2 que:

- No norte do país (principalmente estados de Amazonas e Pará) a FAPAR, similarmente ao NDVI, apresenta maiores valores médios contínuos em relação às outras regiões. Nessa região a vegetação, mais densa e sempre verde, tem durante o ano todo maior quantidade de clorofila, principal pigmento de absorção da radiação no processo fotossintético. Os maiores valores da FAPAR ocorrem no período que vai de agosto a dezembro. Nesta época as chuvas são menos frequentes, mas não ocorre déficit hídrico na região (CLIMANÁLISE, 1986).

A água, em presença de radiação solar, vento e umidade relativa abaixo da saturação, é translocada dentro da planta até as folhas, passando destas para a atmosfera através dos estômatos. Porém, em condições de alta concentração de vapor de água na atmosfera há redução da transpiração, a qual se relaciona com a fotossíntese (FERRI, 1985; NOBEL, 1991). Sob condições de alta umidade relativa e na ausência de vento, o processo de difusão é lento e a perda de água é pequena. Sob condições de baixa umidade relativa, presença de ar em turbulência, o vapor de água é rapidamente removido da área que envolve a folha e a difusão é acelerada aumentando muito a taxa de transpiração (FERRI, 1985). Processo similar ocorre sob condições de altas e baixas temperaturas, reações fisiológicas evitando a perda de água ou limitando a atividade (“poupando energia”).

A maior FAPAR ocorre, portanto, após o período de maior verdor, coincidindo com o período mais seco, ou seja, quando a concentração de vapor de água na atmosfera diminui e a quantidade de radiação atingindo a vegetação é maior.

No período de maior umidade na região, a FAPAR diminui, sendo os motivos prováveis, além da alta concentração de vapor de água na atmosfera, a presença de nuvens atenuando ou mesmo impedindo a radiação de atingir a superfície, ou mesmo a resposta espectral da água na vegetação.

- No nordeste brasileiro, os maiores valores da FAPAR ocorrem no período de março a junho coincidindo com a chuva. Segundo Barbosa (1999) nesta região a distribuição espacial e temporal do NDVI e pluviosidade têm padrões semelhantes, e estatisticamente correlacionados. Da mesma forma, a FAPAR parece ter esta relação, pois a região apresenta déficit hídrico, em geral, de julho a janeiro (ROLIM e SENTELHAS, 1999), época que se notam os menores valores do parâmetro em estudo (setembro a janeiro), sendo a vegetação predominante a Caatinga (Savana-Estépica), a qual normalmente apresenta caducifolismo e/ou alteração no balanço de pigmentos no período seco.

- No centro-oeste, de modo geral, a atividade da vegetação segue também o regime da precipitação. Os menores valores de FAPAR ocorrem nos meses mais secos, maio a outubro. Rolim e Sentelhas (1999) mostram pelo balanço hídrico climatológico mensal da estação de Cuiabá-MT, que esta área apresenta déficit hídrico de maio a novembro. No sul do Mato Grosso os valores podem relacionar-se às culturas agrícolas, pois

diminui principalmente no mês de junho, época das colheitas na região (principalmente da soja) e tem seus maiores valores nos meses de fevereiro a abril, época de frutificação e enchimento, quando a planta necessita de mais energia.

- As regiões Centro-oeste e Nordeste mostram os menores valores da FAPAR, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2007) esta porção do país apresenta os maiores valores médios anuais de insolação. A fotossíntese é máxima entre 30°C e 40°C, a taxa de fixação de CO₂ aumenta com o aumento da temperatura das folhas até este ótimo, mas acima desta faixa de temperatura, diminui (NOBEL, 1991). Assim, mesmo em períodos de maior umidade, há outros fatores controladores da atividade da vegetação.

- No sudeste, a grande influência antrópica impede a análise da vegetação na resolução espacial do estudo. Mas de modo geral, observa-se:

a) São Paulo - os maiores valores de agosto a outubro, apesar de boa parte do estado apresentar déficit hídrico neste período (ROLIM e SENTELHAS, 1999), acredita-se que seja devido à resposta das pastagens, responsáveis pela cobertura de mais de 40% da área do estado nas décadas de 80 e 90 (CAMARGO *et al.*, 1995). Esse tipo de cobertura apresenta sistema radicular pouco profundo e com as primeiras chuvas, no final do inverno e início da primavera (mesmo que não suficientes para suprir a capacidade de campo do solo), ocorre aumento na atividade fotossintética e conseqüentemente na resposta da FAPAR;

b) Rio de Janeiro e Espírito Santo - os meses com maior FAPAR vão de novembro a janeiro, meses de maiores índices de precipitação e

c) Minas Gerais - os valores mais baixos da FAPAR ocorrem em setembro, acompanhando a sazonalidade da Savana e Floresta Estacional Semidecidual, coberturas vegetais predominantes neste estado.

- O sul do país apresenta variações dependendo do Estado e da porção do território de cada um, esta Região do país também é bastante antropizada, sendo as respostas do parâmetro influenciadas pelas práticas agrícolas e manejo das pastagens. No sul do Paraná e Santa Catarina, nota-se aumento da FAPAR de abril a junho, época de menor precipitação, e queda de novembro a fevereiro, maior precipitação. Esta região não apresenta déficit hídrico (ROLIM e SENTELHAS, 1999). Já no Rio Grande do Sul, observam-se os maiores valores de dezembro a fevereiro, período de maior insolação e radiação solar; as maiores quedas na porção noroeste do Estado acompanha a colheita e o período frio, no sul do RS, onde há predomínio dos campos, também observa-se a influência das baixas temperaturas, provavelmente associado à resposta deste tipo de vegetação.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A FAPAR mostra um comportamento mais variável do que os obtidos para o NDVI. Valores abaixo de 0,5 podem ser vistos por todo o país. Este parâmetro retrata a condição da vegetação em absorver a radiação nos comprimentos de onda do visível e utilizá-la nos processos internos do vegetal, decréscimos podem ser considerados indicativos de diminuição na atividade fotossintética da vegetação, causada por variações ou estresse em resposta às condições do ambiente, enquanto um aumento pode indicar maior atividade da vegetação. Enquanto que variações no NDVI só poderiam ser percebidas após um período maior sob estresse.

De forma geral, os maiores valores médios ao longo do ano foram observados para as regiões mais densamente vegetadas no norte do país, onde predominam tipos de vegetação sempre verde, ou seja, com maior proporção de clorofila (principal pigmento de absorção da radiação). Essas regiões são caracterizadas por: alta pluviosidade, não ocorre déficit hídrico, há disponibilidade de radiação e não ocorrem baixas temperaturas. Assim, são as áreas de maior absorção média da radiação fotossinteticamente ativa e, portanto maior captura de CO₂ ao longo do ano.

De forma geral, as regiões Centro-oeste e Nordeste do país apresentam os menores valores de FAPAR de julho a setembro, coincidindo com o período mais seco e com os menores valores de NDVI. No Nordeste, onde se encontra a Caatinga (Sava-Estépica), ocorre nesta época o amarelecimento e queda das folhas na vegetação, o que explica os baixos valores de FAPAR. Já no Centro-Oeste a substituição, ou mesmo descaracterização, do Cerrado (Savana) por pecuária e outros usos, faz com que haja uma resposta mista com predomínio da de espécies de porte herbáceo ou arbustivo, mais suscetíveis às condições de seca, pela pouca profundidade do sistema radicular.

Os menores valores da FAPAR em regiões agrícolas do país coincidem, em geral, com o período de colheita. Acredita-se que este parâmetro possa contribuir no levantamento da produção e monitoramento, uma vez que subsidia o conhecimento da atividade do vegetal.

Dados de FAPAR obtidos em melhor resolução espacial, onde se possa garantir a homogeneidade do pixel ao longo do período de estudo, podem auxiliar no acompanhamento da variabilidade espacial e evolução temporal da cobertura da vegetação para grandes áreas e períodos de tempo e, em particular, na indicação de áreas de maior atividade da vegetação, que representam, em última análise, maior contribuição na retirada de carbono atmosférico e produtividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASRAR, G., FUCHS M., KANEMASU, E. T., HATFIELD, J. L., 1984, "Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from

spectral reflectance in wheat", **Agronomy Journal**, v. 76, pp. 300–306.

BARBOSA, H. A., 1999, Análise espaço-temporal do índice de vegetação AVHRR/NOAA e precipitação na região Nordeste do Brasil em 1982-85.. Dissertação (mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, SP. 197p.

CAMARGO, A. M. M. P., ANEFALOS, L. C., CASER, D. V., COELHO, P. J., OLIVETTI, M. P. A., 1995, Alteração na composição da agropecuária no estado de São Paulo, 1983-93, **Informações Econômicas**, SP, v.25, n.5, pp. 49-93.

CCRS (Org.). Fraction of Photosynthetically Active Radiation (FPAR). Disponível em: <http://ccrs.nrcan.gc.ca/optic/veg/veg2_e.php>. Acesso em: 08 jun. 2005.

CLIMANÁLISE, 1986, Boletim de Monitoramento e Análise Climática, CPTEC/INPE, v. 1, número 01 e 02.

COSTA, T. C. E. C.; ACCIOLY, L. J. O.; OLIVEIRA, M. A. J.; BURGOS, N.; SILVA, F. H. B., 2002, "Phytomass mapping of the Seridó Caatinga vegetation by the plant area and the normalized difference vegetation indices", **Scientia Agricola**, v. 59, n. 4, pp. 707-715.

DYE, D. G., GOWARD, S. N., 1993, "Photosynthetically active radiation absorbed by global land vegetation in august 1984", **International Journal of Remote Sensing**, v. 14, n. 18, pp. 3361–3364.

EUROPEAN COMMISSION (Org.). Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation: FAPAR. Disponível em: <<http://fapar.jrc.it/>>. Acesso em: 12 set. 2006.

FERRI, M. G., 1985, **Fisiologia vegetal**, 2ed., EPU-EDUSP, V. 1, 350p.

GOBRON, N., PINTY, B., MÉLIN, F., TABERNER, M., VERSTRAETE, M.M., BELWARD, A., LAVERGNE, T., WIDLOWSKI, J.-L., 2005, "The state of vegetation in Europe following the 2003 drought", **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, pp. 2013–2020.

GOBRON, N., PINTY, B., VERSTRAETE, M.M., WIDLOWSKI, J.-L., 2000, "Advanced spectral algorithm and new vegetation indices optimized for upcoming sensors: Development, accuracy and applications", **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 38, pp. 2489–2505.

GOWER, S. T., KUCHARIK, C. J., NORMAN, J. M., 1999, "Direct and indirect estimation of leaf area index,

fapar, and net primary production of terrestrial ecosystems”, **Remote Sensing of Environment**, v. 70, pp. 29–51.

INMET. Climatologia: Normais climatológicas. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/clima.php>>. Acesso em: 08 maio 2007.

LARCHER, W., 2000, **Ecofisiologia Vegetal**, 2 ed, São Carlos, Ed. RiMa, 531p. 2000.

LIU, K-N., 1980, **An introduction to atmospheric radiation**, 1 ed., London, Academic Press, 392 p.

LOS, S. O., 1998, Linkages between Global Vegetation and Climate: An analysis based on NOAA Advanced Very High Resolution Radiometer Data. Thesis (Doctor in Natural Sciences). NASA, USA. 179p.

MUNIZ, M. R. A., 2004, Estudo do regime de luz nas quatro principais formações fitogeográficas no estado de São Paulo durante o inverno do ano de 2003, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP, Campinas-SP, 169 p.

MYNENI, R. B., HALL, F. G., SELLERS, P. J., MARSHAK, A. L., 1995, “The interpretation of spectral vegetation indexes”, **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 33, pp. 481–486.

MYNENI, R. B., KEELING, C. D., TUCKER, C. J., ASRAR, G., NEMANI, R. R., 1997, “Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981–1991”, **Nature**, v. 386, pp. 698–702.

NOBEL, P. S., 1991, Physicochemical and environmental plant physiology, ed., San Diego, California, Academic Press, Inc., 635p. ISBN 0-12-520021-8.

OVIEDO, A., HERZ, R., RUDORFF, B. F. T., 2001, “Efeito do estresse hídrico e da densidade de plantio no uso da radiação e produtividade da cultura do trigo”, **Revista Biociências**, v. 7, n. 1, pp. 23 - 33.

ROLIM, G. S., SENTELHAS, P. C., 1999, Balanço Hídrico Normal por Thornthwaite & Mather (1955). Departamento de Física e Meteorologia ESALQ-USP. CD-Rom.

SELLERS, P. J., 1987, “Canopy reflectance, photosynthesis, and transpiration. II. The role of biophysics in the linearity of their interdependence”, **Remote Sensing of Environment**, v. 21, pp. 143-183.

SELLERS, P. J., DICKINSON, R. E., RANDALL, D. A., BETTS, A. K., HALL, F. G., BERRY, J. A., COLLATZ, G. J., DENNING, A. S., MOONEY, H. A., NOBRE, C. A., SATO, N., FIELD, C. B.,

HENDERSON-SELLERS, A., 1997, “Modeling the exchanges of energy, water, and carbon between continents and the atmosphere”. **Science**, v. 275, pp. 502–509.

SELLERS, P. J., LOS, S. O., TUCKER, C. J., JUSTICE, C. O., DAZLICH, D. A., COLLATZ, G. J., RANDALL, D. A., 1996, “A revised land surface Parameterization (SiB2) for atmospheric GCMs. Part 2: the generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from satellite data”, **Journal of Climate**, v. 9, pp. 706–737.

SELLERS, P. J., TUCKER, C. J., COLLATZ, G. J., LOS, S. O., JUSTICE, C. O., DAZLICH, D. A., RANDALL, D. A., 1994, “A global 1° by 1° NDVI data set for climate studies. part 2: the generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from the NDVI”, **International Journal of Remote Sensing**, v. 15, n. 17, pp. 3519–3545.

SPOLADOR, J. , SANCHES, L., COSTA, M. H., 2006, “Radiação fotossinteticamente ativa em uma floresta de transição”, *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 21, n. 3, pp. 301-307. Disponível em: <<http://www.rbmet.org.br/>>. Acesso em: 13 abr. 2007.

STÖCKLI, R., 2004, Modeling and observation of seasonal land – surface heat and water exchanges at local and catchments scales over Europe. Thesis (Doctor in Natural Sciences). Swiss Federal Institute of Technology, ETH. 155p.

STÖCKLI, R., VIDALE, P. L., 2004, “European plant phenology and climate as seen in a 20-year AVHRR land-surface parameter dataset”, **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 17, pp. 3303-3330.