

Estudo da FAPAR em Regiões Fitoecológicas brasileiras através de série temporal derivada do NDVI/AVHRR

Luciana Mara Temponi de Oliveira¹
 Gutemberg Borges França²
 Thomaz Correa e Castro da Costa³
 Mauro Antonio Homem Antunes⁴
 José Ricardo de Almeida França²

¹Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
 Av. Chile, 500 - 20031-170 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil
 luciana.temponi@ibge.gov.br

²Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ/IGEO
 Caixa Postal 96 - 13416-000 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil
 {gutemberg, jricardo}@lma.ufrj.br

³EMBRAPA – Milho e Sorgo
 Rodovia MG 424, km 45 – Sete Lagoas - MG, Brasil
 thomaz@cpnms.embrapa.br

⁴Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ/IT
 Br 465, km 7 – Seropédica - RJ, Brasil
 mantunes@ufrj.br

Abstract. The objective of this work is to study the behavior of Brazilian vegetation throughout time series of Fraction of Photosynthetically Active Radiation (FAPAR) absorbed by a plant canopy derived from vegetation index of the AVHRR sensor; observing the variations of the types of vegetation, influences and relationships with the climate. The FAPAR dataset has spatial resolution of 0.1°x0.1° and temporal resolution of 10 days for the period 1982 to 1999. The data were investigated considering the seasonal and interannual variations for phytocological regions of the country. The FAPAR results show: the largest values were observed in Evergreen Broadleaf Forests (Dense and Open) and Campinarana, the lesser amplitude of variation of FAPAR occur in Savanna and Savanna-Steppe, due to adaptation to environmental changes. Analyses of FAPAR demonstrate that ecosystems with all strata and structured soil have higher values. Even though, the preliminary results confirm that exists evidences of relation between the behavior of the FAPAR and weather conditions. The ENSO events have influence on interannual variations of FAPAR, mainly in the North and Northeast. Furthermore, the discussion presents that the FAPAR has potential to be used as an indicator of the photosynthetic process and consequently in the monitoring of primary production.

Palavras-chave: FAPAR, phytocological regions, AVHRR, weather, FAPAR, regiões fitoecológicas, AVHRR, tempo.

1. Introdução

A biosfera recebe a radiação solar em comprimentos de onda de 290 nm a aproximadamente 3000 nm. Os menores comprimentos são, em geral, absorvidos na alta atmosfera pelo ozônio e oxigênio do ar, sem atingir a superfície terrestre, e os maiores comprimentos 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 do visível, comprimentos de onda de 400 a 700 nm (cerca de 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. Devido à natureza dos dosséis e da radiação, a FAPAR pode ser usada 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, e é controlada pela quantidade de clorofila disponível nas folhas e pela quantidade de folhas verdes presentes sobre uma dada área (Gobron et al., 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).

A limitação na quantificação de forma aceitável da FAPAR e a necessidade de obtenção para grandes áreas, ou mesmo em nível global, conduziram à 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).

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, destacando-se a relação quase linear entre o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e a FAPAR (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 NDVI e FAPAR possibilitando a estimativa deste parâmetro através do índice de vegetação por uma escala linear dependente da classe da vegetação (Equação 1). Os dados utilizados por esse autor foram provenientes do radiômetro AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*), da série dos satélites NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). Apesar de ser um sensor com baixa resolução espacial, sua alta resolução temporal e a existência de longa série temporal fazem destes dados um banco de informações da cobertura para grandes áreas inigualável (Huete et al. 1997), possibilitando acompanhar as variações temporais.

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

NDVI: $(VP - VIS) / (VP + VIS)$

FAPAR_{max}: FAPAR máxima (0,95);

FAPAR_{min}: FAPAR mínima (0,01);

NDVI_{min}: NDVI mínimo para um determinado tipo de vegetação;

NDVI_{max}: NDVI máximo para um determinado tipo de vegetação.

Este parâmetro varia de 0,0 em áreas sem cobertura vegetal, a aproximadamente 1 para vegetação em atividade (Gobron et al, 2000; Spolador et al., 2006).

Em nosso país são escassas informações trabalhadas de série temporal de FAPAR da superfície terrestre em resoluções temporal e espacial que se adequem à contextualização e entendimento das variações sazonais e interanuais deste parâmetro indicativo do principal fator que controla a produtividade.

Neste sentido, o objetivo deste estudo é o de observar e avaliar as variações do parâmetro biofísico FAPAR para diferentes tipos de vegetação. Entendendo-o como indicador da atividade fotossintética da vegetação e, portanto, dos processos ligados à produção de fitomassa.

2. Materiais e Métodos

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 $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ 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 dos satélites NOAA 7, 9, 11 e 14.

2) Mapa cartográfico e de vegetação do IBGE, escala 1:5.000.000, em meio digital.

As imagens NDVI foram previamente investigadas (Oliveira et al, 2006; Oliveira 2008), pré-processadas e analisadas por região fitoecológica em pontos cuidadosamente selecionados sobre vegetação homogênea (Oliveira, 2008);

Para obtenção da FAPAR através da Equação 1, seguiram-se as etapas:

- 1 – geração do NDVI médio mensal;
- 2 - determinação das matrizes de máximo NDVI por decêndio (36 matrizes de máximo);
- 3 - determinação das matrizes de mínimo NDVI por decêndio (36 matrizes de mínimo);
- 4 – obtenção das matrizes de FAPAR;

Após o que, extraiu-se os valores de FAPAR nos pontos selecionados sobre cada Região Fitoecológica. Para este passo foram somadas as áreas de cada região, atribuindo-se à menor área 3 pontos e estabelecendo-se os demais proporcionalmente ao tamanho. O número de pontos a ser locado sobre cada uma das regiões fitoecológicas pode ser apreciado na Tabela 1 e visualizados na Figura 1. Ressalta-se que o ponto referido representa uma área no terreno de aproximadamente 11km x 11km.

Tabela 1. Regiões Fitoecológicas e número de pontos a ser locado sobre cada uma delas.

Região Fitoecológica	Número de pontos
Floresta Ombrófila Densa – D	41
Floresta Ombrófila Aberta – A	18
Floresta Ombrófila Mista – M	3
Campinarana – L	3
Floresta Estacional Semidecidual - F	10
Floresta Estacional Decidual - C	9
Savana - S	29
Savana-Estépica - T	10
Estepe - E	3
TOTAL	126

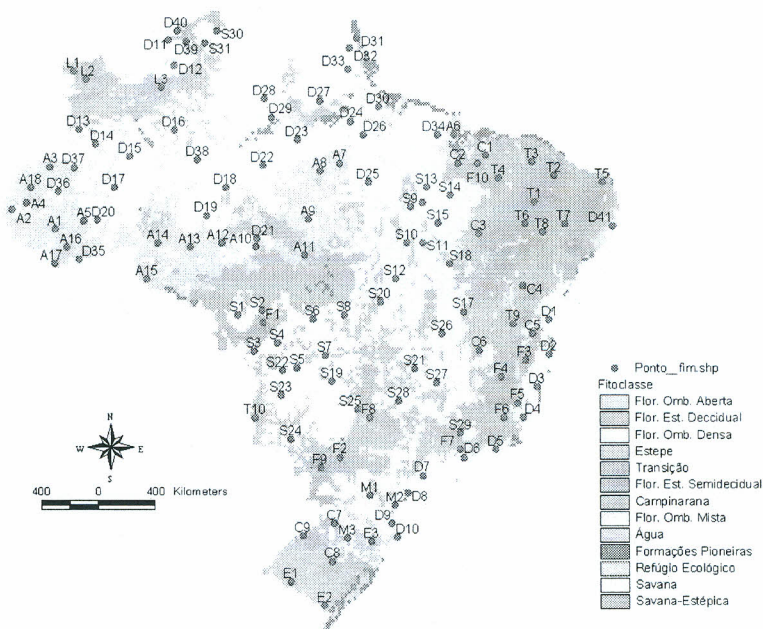


Figura 1. Espacialização dos pontos escolhidos sobre o país sobre as Regiões Fitoecológicas.

Através de uma matriz de correlação dentro de cada região fitoecológica, selecionou-se os pontos significativamente correlacionados ao nível de 99% de confiança ($p < 0,01$).

Procedeu-se as análises do comportamento sazonal e interanual da FAPAR através de gráficos e revisão bibliográfica.

3. Resultados e discussão

A Tabela 2 apresenta os valores de FAPAR médios, desvios padrão, máximos, mínimos e amplitude da variação obtida no período de estudo para os diferentes tipos de vegetação. As variações neste parâmetro são dependentes, principalmente, de fatores internos a fisiologia da planta em resposta a influências externas como doenças e principalmente das condições do tempo local, ou seja, a vegetação absorve a radiação fotossinteticamente ativa em condições ideais de temperatura, umidade, vento e radiação, alterações nestes fatores implicam em redução na absorção.

Tabela 2. Valores de FAPAR médios, mínimos, máximos e amplitude para os tipos de vegetação estudados.

Tipo de Vegetação	FAPAR Médio	Desvio	Mínimo	Máximo	Amplitude
Floresta Ombrófila Densa - D	0,64	0,06	0,54	0,71	0,16
Floresta Ombrófila Aberta - A	0,64	0,05	0,52	0,72	0,20
Campinarana - L	0,66	0,08	0,49	0,79	0,30
Floresta Ombrófila Mista - M	0,53	0,05	0,43	0,63	0,20
Floresta Estacional Decidua - C	0,53	0,03	0,46	0,59	0,13
Floresta Estacional Semidecidual - F	0,55	0,05	0,45	0,67	0,21
Savana - S	0,52	0,02	0,48	0,55	0,08
Savana-Estépica - T	0,52	0,03	0,45	0,59	0,13
Estepe - E	0,57	0,08	0,36	0,68	0,33

Observando a Tabela 2, nota-se que a Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta e Campinarana apresentaram os maiores valores médios de FAPAR. Estes tipos vegetacionais possuem copas mais densa e sempre verde, ou seja, com proporção grande de

clorofila o ano todo, principal pigmento absorvedor da radiação no visível. A Savana apresenta a menor amplitude de variação da FAPAR entre os tipos de vegetação estudados, acredita-se que este comportamento seja devido aos mecanismos controladores e adaptativos deste tipo de vegetação, descritos por Ferri (1985). Esse tipo de vegetação encontra-se na porção do país com os maiores valores médios anuais de insolação (INMET, 2007), isto é, Centro-oeste e Nordeste. 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). A Savana-Estépica também se encontra nesta porção do país de intensa insolação (Nordeste), mas esta comunidade apresenta mecanismos adaptativos diferentes do anterior, o que explica a diferença, apesar de pequena, entre estes dois tipos de vegetação. As maiores amplitudes de variação são observadas na Estepe e Campinarana, o que induz a consideração sobre a influência de presença ou ausência dos estratos e a estrutura do substrato ocupado na variação da FAPAR. Comunidades vegetais com sistema radicular pouco profundo ou ocupando solos menos estruturados, mostram maior influência na absorção da radiação de variações ambientais de curto prazo.

As variações sazonais e interanuais serão a seguir analisadas por região fitoecológica, ao longo do período e estas variações podem ser acompanhadas pela Figura 2, onde na abscissa estão os 36 decêndios do ano e na ordenada os anos de 1982 a 1999. Os valores vão de 0,1, vermelho a 0,95 verde escuro.

Na Figura 2(a), 2 (b) e 2 (d), observa-se maiores valores da FAPAR, normalmente, no período mais seco nesta região do país (região Norte). Neste período do ano há maior disponibilidade de radiação líquida na região em questão. A diminuição da concentração de vapor de água na atmosfera parece favorecer indiretamente os processos de transpiração e fotossíntese (não ocorrendo déficit hídrico no solo). Esse resultado está em acordo com os observados por Xiao et al (2005), que também encontrou maiores valores de FAPAR no período mais seco na Amazônia. Dentre estas formações, a Campinarana apresenta maiores variações sazonais e interanuais, pois este tipo de vegetação encontra-se sobre solos menos estruturados, composta por nanofanerófitos finos (IBGE, 1992), mostrando maior susceptibilidade às variações ambientais.

Os anos com valores mais baixos deste parâmetro, nos três tipos de vegetação em questão, ocorreram nos anos de 1983 e 1986. Sob influência da fase quente do fenômeno acoplado oceano-atmosfera ENOS (EL Niño-Oscilação Sul), ou seja, do El Niño. Este está relacionado à condição de seca na região, mostrando que a vegetação não está adaptada a condições de déficit e apesar da estrutura, condições de maior período de seca afetariam esses tipos de vegetação. Entretanto, outros anos de El Niño não mostram decréscimo na FAPAR, principalmente pela origem, intensidade e evolução do fenômeno. Os anos de La Niña apresentam maiores valores médios da FAPAR.

A Floresta Ombrófila Mista (Paraná), Figura 2 (c), de forma geral, apresenta dois períodos de queda na atividade da vegetação, um no período mais frio e outro no início do ano, quando a irradiação solar na região é maior. O primeiro é devido à persistência de baixas temperaturas, constituindo um fator de redução da FAPAR, e o segundo, provavelmente, às altas temperaturas atingidas na superfície foliar. Os anos de 1982, 1986, 1996 e 1997, no período de maior valor da FAPAR (março-maio), apresentaram baixos valores deste parâmetro. Nestes anos houve influência do El Niño, evento que causa aumento da precipitação e da temperatura no sul do país. No período de menor valor da FAPAR (decêndio 19 a 31), apresentaram altos valores relativos os anos de 1986, 1989, 1990, 1997, 1998 e 1999. As observações do Boletim de Análises Climáticas de 1997 e 1998 mostram que houve menores quedas na temperatura no período mais frio do ano na região sul (Climanálise, 1997, 1998).

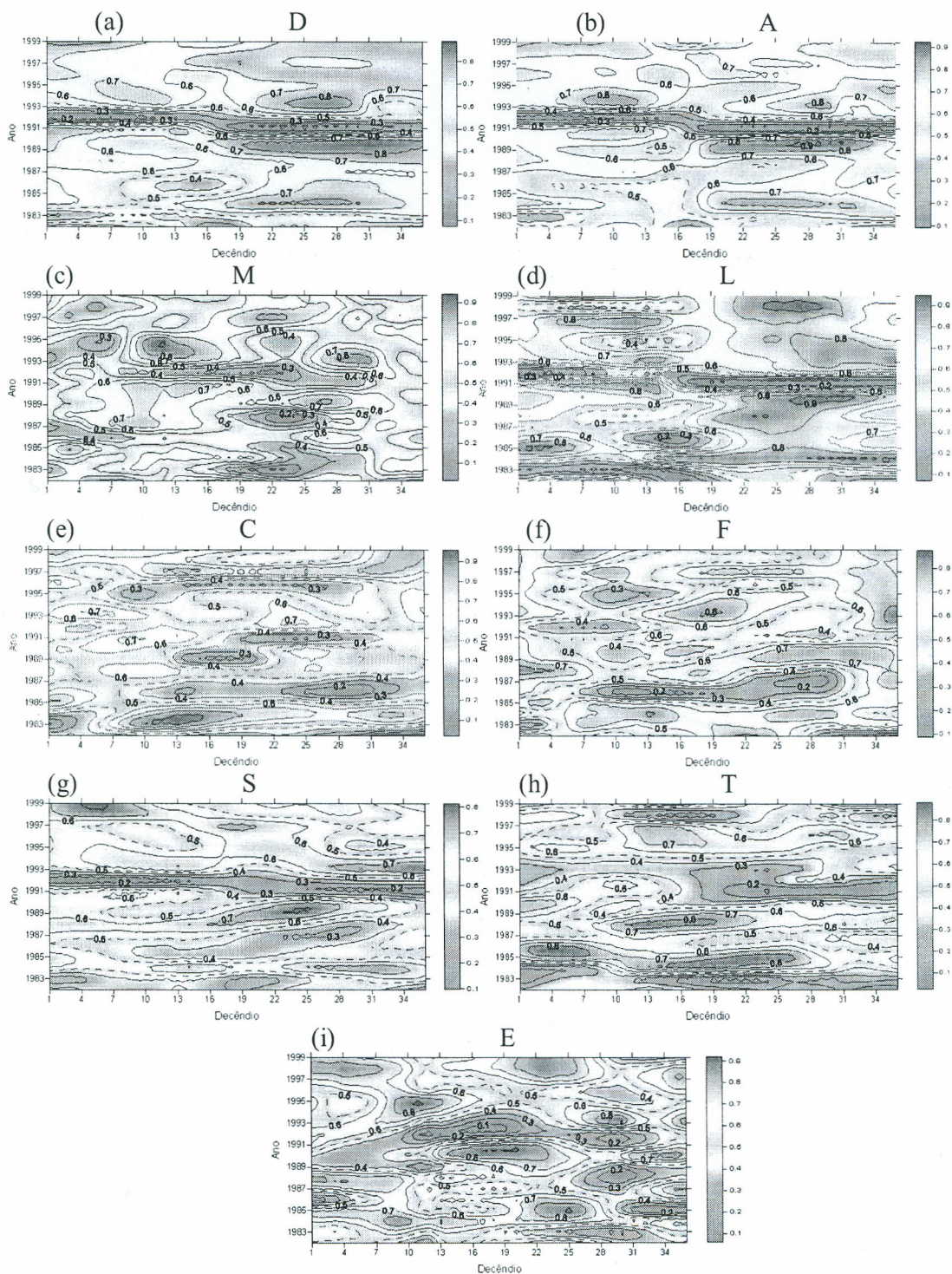


Figura 2. Comportamento sazonal e interanual dos pontos para (a) Floresta Ombrófila Densa, (b) Floresta Ombrófila Aberta, (c) Floresta Ombrófila Mista, (d) Campinarana, (e) Floresta Estacional Decidual, (f) Floresta Estacional Semidecidual, (g) Savana, (h) Savana-Estépica e (i) Estepe.

As Florestas Estacionais, Decidual e Semidecidual mostram variações em termos da FAPAR sem um padrão de comportamento ao longo dos anos do estudo. As regiões centro-sul e sudeste do país estão sob a influência de sistemas da circulação atmosférica como ZCAS e frentes frias, sendo bastante variável a FAPAR ao longo do ano.

Figura 2 (e) - Floresta Estacional Decidual apresenta em 1986 baixos valores de FAPAR desde abril até o início de 1987, neste período ocorreu uma estiagem forte, iniciada em 1986 e que perdurou pelo ano de 1987 (Climanálise, 1986, 1987). No final de 1995 e no ano de 1996, os baixos valores da FAPAR parecem refletir anomalias negativas de precipitação registradas em boa parte do ano (Climanálise 1996), evidenciando a influência da precipitação (água no solo) nos valores do parâmetro.

Figura 2 (f) - Floresta Estacional Semidecidual apresenta baixos valores nos anos de 1982, 1986, 1990, 1996 e 1998. Em 86, como já mencionado, ocorreu uma estiagem que perdurou pelo ano de 1987 na região dos pontos utilizados. Já no ano de 1990, os registros apontam para baixas temperaturas (Climanálise, 1990), o que pode induzir à queda da FAPAR. Em 1996 houve anomalias negativas de precipitação (Climanálise, 1996). Em 1998, de abril a agosto a precipitação apresentou desvios negativos nesta região e houve um declínio brusco na temperatura em maio, somente no final do ano é que o campo de anomalia de precipitação apresentava valores acima da média (Climanálise, 1998).

Figura 2 (g) – Savana, queda em 1982, 1983, 1985, 1986, 1987 e final de 1996. Destes anos, 1982 e 1983 estiveram sob influência de forte evento de El Niño, em 1986 a 1987 nesta região também ocorreu uma estiagem muito forte de vários meses consecutivos e estava sob influência de El Niño (Climanálise, 1986, 1987). Em 1996, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) esteve presente no início do ano, as anomalias de precipitação ficaram acima da média na região, porém, no final do ano as precipitações estiveram abaixo da normal (Climanálise, 1996), confrontando os registros, acredita-se que anomalias negativas persistentes na precipitação influenciam a FAPAR, causando queda. A Savana não apresenta um padrão de comportamento para a FAPAR, diferente do NDVI muito característico nesta região. A variação desse parâmetro ao longo do ano é pequena quando comparado ao anterior, mostrando as adaptações dos indivíduos às condições de déficit hídrico apresentadas na região.

A FAPAR da Savana-Estépica (Caatinga), Figura 2 (h), similarmente à Savana, apresenta menor amplitude de variação, refletindo as adaptações da vegetação às condições ambientais. As variações ao longo do ano não apresentam o padrão visto no NDVI, mostrando que a FAPAR reflete as variações do tempo, apesar de também ser bastante influenciada pelas chuvas para este tipo de vegetação. Observam-se quedas na FAPAR em 1982, 1983, 1987, 1990, 1993 e 1998, estes foram, em sua maioria, anos de El Niño, fenômeno associado a queda na precipitação no nordeste (Cavalcanti, 1996). Os registros da Climanalise confirmam que os anos de 1987, 1993 e 1998 apresentavam precipitação abaixo da média em quase todo o nordeste, com condição bastante seca nesta região (Climanalise, 1987, 1993, 1998). O ano de 1990 apresentou chuvas abaixo da normal climatológica, o deslocamento da ZCIT mais para o norte, contribuiu para anomalias negativas (Climanalise, 1990), este ano é considerado um ano de El Niño fraco a neutro. O ano de 1998, apesar de não estar sob influência do El Niño, foi um ano que apresentou desvios negativos de precipitação. Os registros mostram que o padrão do dipolo e a posição da ZCIT também foram desfavoráveis às chuvas no nordeste. Em muitos locais, a precipitação acumulada totalizou apenas 20% do valor climático da estação chuvosa (fevereiro a maio), caracterizando uma seca intensa (Climanalise, 1998). De forma geral, os maiores valores da FAPAR foram observados em anos de La Niña, eventos relacionados a anomalias positivas de precipitação na região (Cavalcanti, 1996).

Na Figura 2 (i) observa-se grandes variações da FAPAR ao longo do ano e entre os anos. Esta vegetação ocupa uma área com grandes variações de temperatura ao longo do ano, devido principalmente à influência das massas de ar oriundas da região polar e da área tropical continental e Atlântica (SCP, 2007). Apesar da distribuição relativamente equilibrada das chuvas ao longo de todo o ano, na região amostrada a precipitação média é a menor do estado do Rio Grande do Sul (SCP, 2007). A FAPAR, nessa vegetação predominantemente

herbácea, é mais sujeita às variações de umidade e temperatura, diminuindo com as baixas temperaturas das frentes polares no período do outono e inverno e pelas elevadas incidências de radiação no início do ano.

A análise interanual da FAPAR, nos diferentes tipos de vegetação, permitiu a observação da interferência dos aerossóis provenientes do Monte Pinatubo, de meados de 1991 a meados de 1992, nas Florestas Ombrófila Densa e Aberta, e na Campinarana, figura 2 (a), (b) e (d). Já na Floresta Ombrófila Mista é imperceptível, figura 2 (c). Nas Florestas Estacionais, Decidual e Semidecidual, figura 2 (e), (f), são sutilmente notados. Pela baixa amplitude de variação na FAPAR da Savana e Savana-Estépica, foi possível observar a influência destes aerossóis, figura 2 (g), (h). Na Estepe, figura 2 (i), a variação da FAPAR impossibilita a observação dessa influência.

3. Conclusões e considerações finais

A FAPAR apresenta um comportamento mais complexo do que os obtidos do índice de vegetação em estudo anterior (Oliveira et al, 2007), sendo mais variável tanto anualmente, quanto entre os anos, sem um padrão de comportamento por tipo de vegetação, como apresentado pelo índice de vegetação, mostrando relação maior com as condições do tempo.

Este parâmetro retrata a condição da vegetação em absorver a radiação dos comprimentos de onda do visível, utiliza-a nos processos internos do vegetal. Um decréscimo relativo neste parâmetro é indicativo de uma diminuição da atividade fotossintética da vegetação sendo causado por variações ou estresse em resposta às condições do ambiente, enquanto um aumento relativo indica maior atividade da vegetação.

Os maiores valores médios foram observados para as regiões mais densamente vegetadas, Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta e Campinarana. Estes tipos vegetacionais apresentam uma boa proporção de clorofila durante o ano todo (principal pigmento de absorção da radiação) e encontram-se em regiões onde há alta pluviosidade, sem déficit hídrico, com disponibilidade de radiação e não ocorrem baixas temperaturas. Os maiores valores, observados no período mais seco, mostram que nas regiões em questão a FAPAR é favorecida pela maior disponibilidade de radiação líquida nesta época do ano.

Os maiores desvios em torno da média foram observados para a Estepe e a Campinarana, comunidades vegetais com sistema radicular pouco profundo ou ocupando solos menos estruturados apresentam maior influência das variações ambientais para este parâmetro.

De forma geral, os tipos vegetacionais das regiões centro-sul do país estão sob a influência de sistemas da circulação atmosférica como ZCAS e frentes frias, sendo bastante variável a FAPAR ao longo do ano.

A Savana (Cerrado) e Savana-Estépica (Caatinga) apresentam variação anual da FAPAR pequena, mostrando as adaptações dos indivíduos às condições de déficit hídrico apresentadas na região. Apesar de maiores índices pluviométricos favorecem este parâmetro, enquanto, estiagens causam queda no mesmo.

Efeitos do fenômeno El Niño puderam ser sentidos principalmente nas vegetações que se encontram nas regiões norte e nordeste do país.

Muitas variações observadas na FAPAR não puderam ser explicadas por ausência ou imprecisão de registros históricos.

Referências Bibliográficas

Cavalcanti, I. F. A., 1996, Episódios El Niño/Oscilação Sul durante a década de 1986 a 1996 e suas influências sobre o Brasil, Boletim de Monitoramento e Análise Climática - **Climanálise**. Edição especial comemorativa de 10 anos.

- Climanálise, 1986, Boletim de Monitoramento e Análise Climática, CPTEC/INPE, v. 1, número 01 e 02.
- Climanálise, 1987, 1990, 1993, 1996, 1997, 1998, Boletim de Monitoramento e Análise Climática, CPTEC/INPE, v. 2, 5, 8, 11, 12, 13 números 01 a 12.
- 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.
- IBGE, 1992, Manual Técnico da Vegetação Brasileira, Rio de Janeiro, IBGE, Série Manuais Técnicos em Geociências, número 1, 92 p.
- INMET. Climatologia: Normais climatológicas. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/clima.php>>. Acesso em: 08 maio 2007.
- 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., Verstraete, M. M., Govaerts, Y., 1999, The MERIS Global Vegetation Index (MGVI): Description and preliminary application, **International Journal of Remote Sensing**, v. 20, pp.1917–1927.
- 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.
- Larcher, W., 2000, **Ecofisiologia Vegetal**, 2 ed, São Carlos, Ed. RiMa, 531p. 2000.
- Liou, 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.
- 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.
- Oliveira, L. M. T., Costa T. C. C., Nicácio, R.M., Antunes, M. A. H., França, G. B., 2006, Análise das interferências no NDVI do AVHRR e conjunto de dados alternativo, In: 3º Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto - GeoNordeste 2006.
- Oliveira, L. M. T., França, G. B., Nicácio, R. M., Costa, T. C. C., Antunes, M. A. H., 2007, Análise do comportamento das Regiões Fitoecológicas brasileiras através de série temporal de NDVI. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. CD-ROM, On-line. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2007/biblioteca/>>.
- Oliveira, L. M. T., 2008, **Estudo das regiões fitoecológicas brasileiras pela FAPAR/NDVI e relações com séries temporais de dados pluviométricos**. Tese (D.Sc. Ciências Atmosféricas em Engenharia) Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 208 p.
- 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.
- SCP, 2007, Secretaria da Coordenação e Planejamento. Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul. Porto alegre: SCP. Disponível: <http://www.scp.rs.gov.br/atlas/>. Acesso em: 16 novembro 2007.
- 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.
- 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.
- 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.
- Xiao, X., Zhang, Q., Saleska, S., Hutyyra, L., Camargo, P., Wofsy, S., Frolking, S., Boles, S., Keller, M., Moore, B., 2005, Satellite-based modeling of gross primary production in a seasonally moist tropical evergreen forest, **Remote Sensing of Environment**, v.94, pp. 105–122.