

Análise de padrões de vegetação através de séries temporais de NDVI-NOAA e suas relações com o clima em Roraima

Maristela Ramalho Xaud^{1,2}, Haron Abraham Magalhães Xaud^{1,2}, Nelson Jesus Ferreira¹, Milton Kampel¹, João Roberto dos Santos¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{haron, mramalho, milton, jroberto}@dsr.inpe.br; nelson@cptec.inpe.br

² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Roraima
BR-174, km 08, Distrito Industrial, 69301-970 – Boa Vista-RR, Brasil

Abstract. Multi-temporal series of NDVI-NOAA obtained from NASA, through GIMMS (*Global Inventory Modeling and Mapping Studies*) in the period of 1982-1999, are used in this study to analyze the annual and inter-annual behavior of this vegetation index in different typologies of vegetation in the State of Roraima, in Northern Brazilian Amazon, and their interactions with climatic patterns. The samples represent the following typologies: dense forest in highlands, dense forest in lowlands, transitional forests, savannas and pioneer formations. The results show different behavior in NDVI values among the three main pattern of vegetation: savannas, pioneer formation and forests. Furthermore, the inter-annual analysis permits identifying periods of climatic anomalies like *El Niño* and *La Niña* and points out sensibility to detect strong alterations in the atmosphere.

Palavras-chave: vegetação, *El Niño*, *La Niña*, Amazonia Setentrional.

Key-words: vegetation, *El Niño*, *La Niña*, Northern Amazon.

1. Introdução

As aplicações das imagens AVHRR-NOAA (*Advanced Very High Resolution Radiometer-National Oceanic and Atmospheric Administration*) são cada vez mais numerosas em estudos realizados a partir da análise de diferentes índices de vegetação, entre eles o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Os dados de NDVI provenientes do AVHRR/NOAA são produzidos, gerenciados e disponibilizados pela agência espacial NASA (GSFC/GIMMS) e vem sendo utilizados com sucesso no monitoramento da vegetação em nível global, continental e regional.

A disponibilidade de dados AVHRR/NOAA para o Brasil é praticamente diária, porém na composição dos produtos de NDVI é realizada uma composição de máximo valor utilizando uma série multitemporal, visando minimizar a influência de fatores atmosféricos (nuvens e nebulosidade) e de imageamento (variações do ângulo de iluminação solar e geometria de visada). A baixa resolução espacial (1,1km no Nadir), que no caso dos dados NDVI pode ser degradado para 8 km, precisa ser levada em conta em função da escala de análise a ser adotada.

Porém, a possibilidade de utilização de séries temporais históricas de NDVI no estudo de variações sazonais da vegetação é promissora e tem sido bem explorada em vários estudos no Brasil, incluindo as fisionomias vegetais da Amazônia (Liu *et al.*, 1991; Batista *et al.*, 1993; Batista *et al.*, 1997).

Com um cenário de recentes e peculiares alterações ambientais em decorrência do intenso uso do fogo para abertura e limpeza de áreas, Roraima é uma parte da Amazônia que nos últimos 15 anos (principalmente após o grande incêndio de 1998) vem carecendo de maior aprofundamento de estudos da vegetação em decorrência de influências climáticas.

O estado de Roraima está situado no extremo norte da Amazônia, com grande maioria do território acima da linha do Equador, e possui um regime climático que difere da maioria da

Amazônia quanto à época das estações, que em toda a região é caracterizada por apenas duas: estação seca e estação das águas. De forma genérica, a estação seca em Roraima vai de novembro a abril e a das águas, de maio a outubro; podendo-se considerar abril e outubro como meses de transição.

Essa peculiar característica regional, associada a diferentes fisionomias vegetais, que vão desde áreas de savanas, incluindo estépica, até florestas estacionais e ombrófilas, passando por campinaranas e formações pioneiras, sustenta a necessidade de um enfoque direcionado para o entendimento das respostas dessas fisionomias em relação ao NDVI e às variações climáticas ao longo do tempo para a região de Roraima.

A possibilidade de utilização de séries temporais históricas de NDVI vem de encontro com tais demandas, sendo portanto o objeto desse trabalho: analisar uma série multitemporal longa de imagens NDVI para diferentes fisionomias vegetais do estado de Roraima, buscando-se padrões de variação anual e interanual e inferindo-se possíveis explicações climáticas.

2. Material e Métodos

Material e ambiente computacional:

No desenvolvimento deste estudo foram utilizados: a) série histórica NDVI de janeiro de 1982 a dezembro de 1999, num total de 216 composições (mensais), obtida a partir dos dados GIMMS (*Global Inventory Monitoring Modelling Studies Project*) da NASA; b) software ENVI 4.2 (*Environment for Visualizing Images*); c) software IDL 6.2 (*Interface Description Language*); d) software Excel (Office 2007); e) produtos climáticos do CPTEC (banco de dados *on-line*).

Área de Estudo:

A área escolhida para execução do trabalho abrange o Estado de Roraima, mas também regiões próximas sujeitas a um clima diferenciado da maioria da Amazônia quanto à época de seca e de chuvas. As fisionomias vegetais de interesse foram amostradas em cinco classes diferentes: a) polígonos vermelhos, setor NO: áreas com predomínio de florestas densas montana e submontana; b) polígonos azuis, setor SE: áreas com predomínio de florestas densas de terras baixas; c) polígonos azuis-claros, setor central: com predomínio de florestas estacionais em associação a florestas densas montana e submontana, em área fortemente antropizada; d) polígonos verdes, setor NE: áreas com predomínio de savanas (gramíneo lenhosa e parque); e) polígonos amarelos, setor SO: áreas com predomínio de formações pioneiras (campinaranas/campinas) (Figura 1).

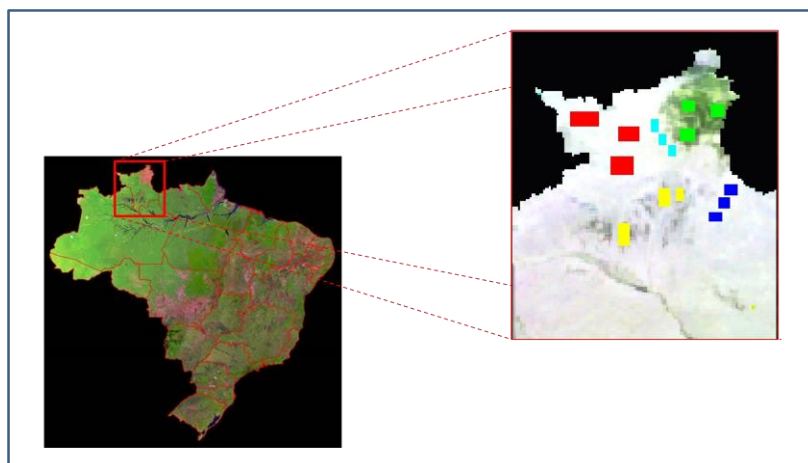


Fig. 1 – Localização da área de estudo em relação ao Brasil (mosaico de imagens TM em composição RGB); imagem NDVI (monocromática) mostrando regiões de interesse.

Métodos:

A série temporal de NDVI foi processada em ambiente ENVI/IDL para a geração de informações como NDVI médio dos 18 anos observados (jan.82 a dez.99) (Figura 2); desvio padrão do NDVI para regiões de interesse e geração de gráficos de consulta.

A partir da plotagem dos valores de NDVI ao longo de uma linha de tempo representada pela série multitemporal de imagens, foram verificados os padrões de comportamento e as indicações de prováveis anomalias. Por fim, além da consulta sobre os valores relativos aos prováveis períodos de anomalias de NDVI, os mesmos foram checados em relação aos produtos de anomalias climáticas do CPTEC (CPTEC, 2008).

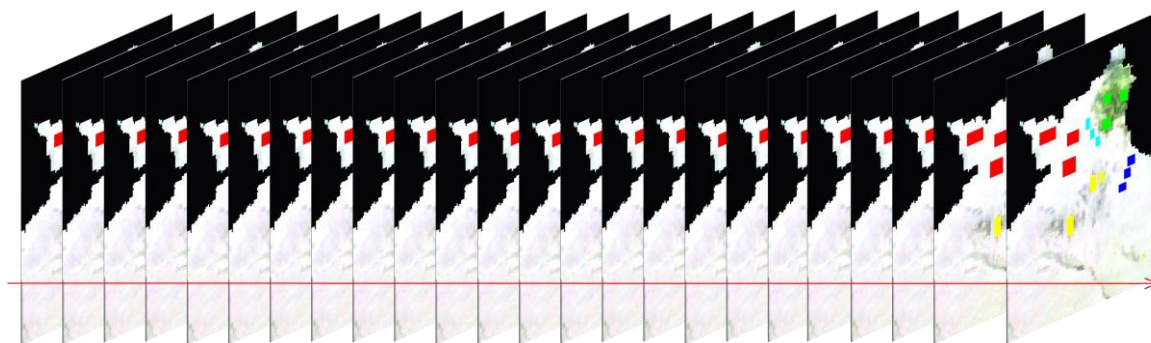


Fig. 2 - Esquema ilustrativo de organização das imagens do mês 01 ao 216; ao longo de uma linha de tempo, mostrando as áreas de interesse.

3. Resultados e Discussão

Ao longo dos 18 anos de dados analisados, foi verificado que o NDVI mínimo e máximo para as amostras de vegetação estudadas estiveram entre 0,1 e 0,675. De uma forma geral estes resultados estão compatíveis com os resultados e revisão contidos em Batista et al. (1997).

Em relação às épocas em que os maiores e os menores valores ocorrem, como era de se esperar, os resultados foram inversos aos resultados obtidos para a Amazônia por Batista et al. (1997). Segundo estes autores, para a Amazônia os menores valores de NDVI ocorreram entre os meses de agosto, setembro e outubro. Os resultados revelados na análise da série NDVI, tendo como região de interesse Roraima, mostraram que nesta região os menores valores de

NDVI ocorrem em fevereiro e março. Os maiores valores de NDVI ao longo da série para Roraima foram detectados em agosto e setembro (Figura 3).

A Figura 3 mostra exatamente 18 picos em relação aos valores de NDVI para savanas, tendo sido o valor mais alto registrado no 7º pico, correspondente ao período de chuvas de 1988. Num padrão regular e cíclico, esta vegetação mostra queda nos valores de NDVI para os períodos secos ao longo de toda a série, à exceção do penúltimo período seco de 1998 para 1999. Se em quase todos os anos os valores de NDVI no período seco para savanas fica entre valores de 0,1 a 0,2, no referido período este valor desce apenas até cerca de 0,25 e volta a subir. Esse padrão de NDVI nas savanas estudadas sofre influência do comportamento fenológico do componente gramíneo-lenhoso dessa tipologia vegetal ao longo do ano, que no período seco apresenta menos biomassa verde em relação ao período chuvoso.

A análise dos dados revelou que em termos médios as savanas se mantiveram entre NDVI 0,2 e 0,3; as formações pioneiras ficaram em torno de 0,4; e as três tipologias florestais apresentaram um comportamento médio de NDVI entre 0,5 e 0,6, bastante semelhantes entre si.

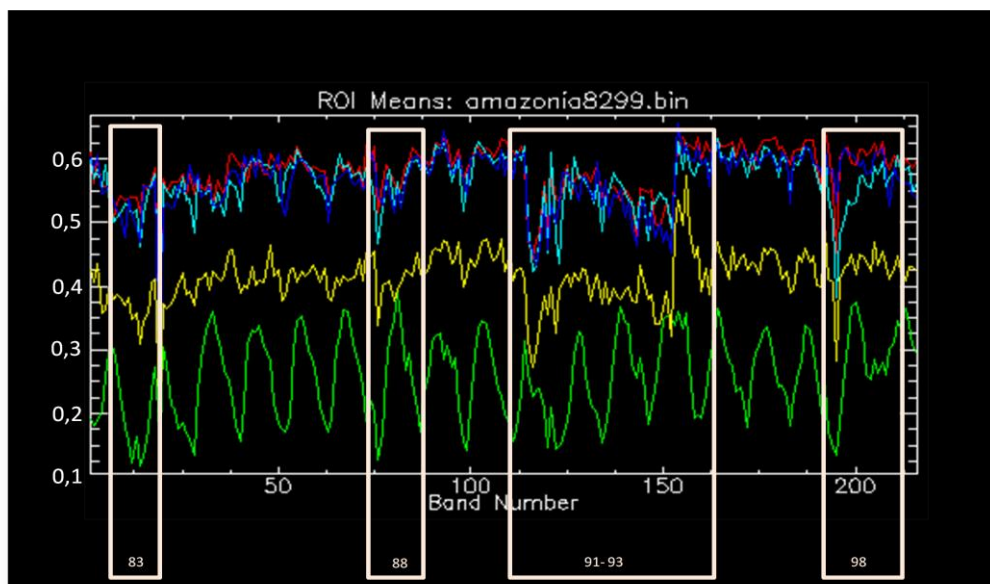


Fig. 3 – Variação do NDVI numa série temporal de 18 anos, considerando 5 tipos de vegetação: em verde - savanas; em amarelo – formações pioneiras; demais cores – 3 tipologias florestais; em branco estão realçados aspectos anômalos.

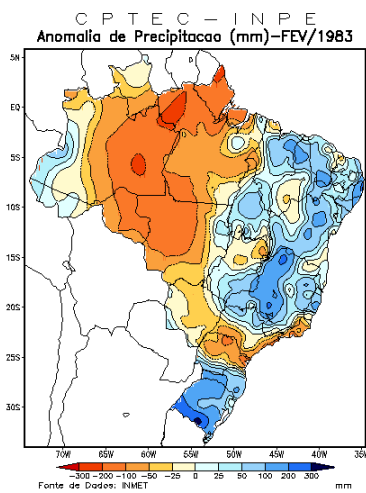
Na análise da série histórica de NDVI ficou evidente que a amplitude (diferença entre valores máximos e mínimos) nos valores da vegetação de savanas foi a maior entre as vegetações estudadas. Sendo os anos de 1983, 1984, 1988 e 1998, os que apresentaram as maiores amplitudes, em razão da sensibilidade do comportamento espectral dessa fisionomia vegetal a mudanças sazonais severas. As demais fitofisionomias estudadas tiveram comportamento semelhante entre si.

A partir dos padrões anômalos observados na série histórica de NDVI, realçados na Figura 3, buscou-se explicações a partir de comparação qualitativa em relação a dados de anomalias climáticas (CPTEC, 2008) e referências bibliográficas.

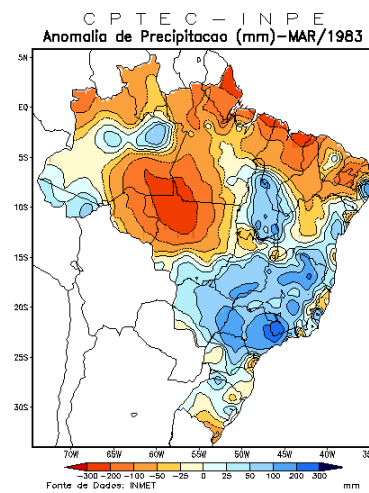
Foi verificado que a primeira anomalia da série, que provocou o menor valor em relação ao NDVI da vegetação de savanas, acompanhado de queda no NDVI das demais vegetações

amostradas, teve relação com o evento *El Niño* verificado no período de 82-83 (Batista et al., 1997; Dessay et al., 2004), cujos impactos na diminuição da precipitação em Roraima podem ser observados nas Figuras 4a e 4b para os meses de fevereiro e março de 1983, refletindo o pico da estação seca, cuja precipitação de janeiro não ultrapassou a 50 mm em todo o Estado (CPTEC, 2008).

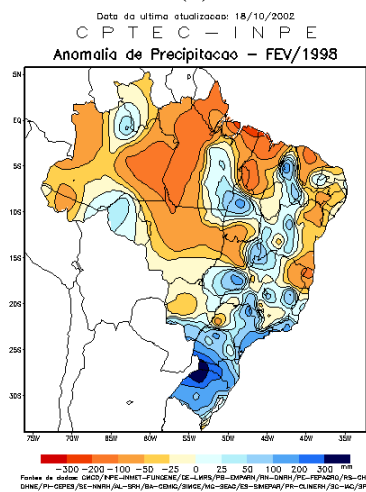
O *El Niño* ocorrido em 97-98 foi considerado o mais forte do século (Dessay et al., 2004) e provocou resposta semelhante a 83 em relação ao NDVI das savanas. Porém, em relação às áreas florestais esta queda foi mais abrupta em 98, possivelmente relacionada aos incêndios florestais que atingiram vasta área de florestas no Estado, principalmente as florestas de transição que apresentam maior deciduidade (perda de folhas) associada à severidade dessas anomalias climáticas (Barbosa, 1998; Shimabukuro et al., 1999). Ainda que possa ter havido uma diminuição geral do NDVI também devido aos efeitos atmosféricos das queimadas, pode-se notar na Figura 3 que os valores de NDVI das amostras de florestas antropizadas (estacional + densa), demoram mais que um ano até chegar ao mesmo padrão de resposta das demais formações florestais, caracterizando impacto ambiental negativo no vigor da vegetação. As anomalias na precipitação para este *El Niño* 97-98, são mostradas nas Figuras 4c e 4d.



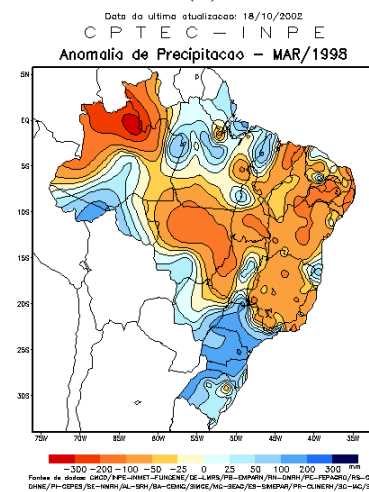
(a)



(b)



(c)



(d)

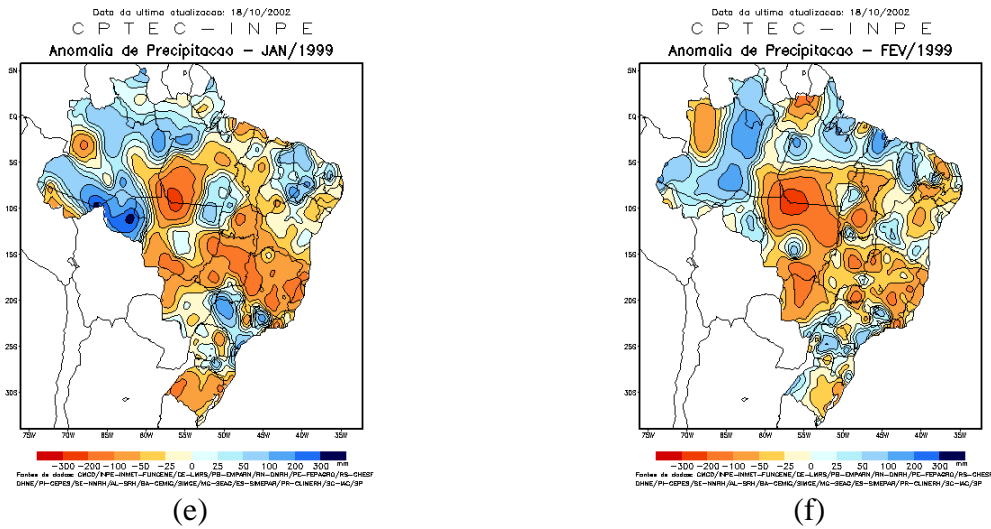


Fig. 4 – Anomalias negativas na precipitação em Roraima são mostradas para os anos de 83 e 98 (Fig. 4a, 4b, 4c e 4d), evidenciando fortes eventos *El Niño*; anomalias positivas na precipitação em Roraima são mostradas para o ano de 99 (Fig. 4e, 4f) e caracterizam *La Niña*. Fonte: CPTEC (2008).

Outras alterações foram detectadas como a já mencionada amplitude no NDVI das savanas no ano de 1988; uma queda geral nos NDVI nos anos de 1991 a 1993; e a inexistência de um período de forte queda do NDVI para o ano de 1999. As justificativas relacionadas às condições climáticas afetando a vegetação ou diretamente o NDVI detectado foram, respectivamente: em 1988 – evento *El Niño* considerado moderado (Oliveira *et al.*, 2007) com início em 1986 e duração até 1988; em 1991 – relato da erupção do vulcão Pinatubo nas Filipinas, que fez com que a quantidade de aerossóis na atmosfera aumentasse o espalhamento da radiação solar e causasse abaixamento nas curvas de NDVI geradas no período (Oliveira *et al.*, 2007); em 1999 – o evento *La Niña* (resfriamento das águas no Pacífico) provocou aumento das chuvas na estação seca em Roraima (Figuras 4e e 4f).

Através das consultas relacionadas às estatísticas das imagens NDVI dentro da série, para as mesmas amostras de vegetação, foi possível a plotagem dos resultados e a investigação de padrões dos desvios-padrões das amostras, por vegetação e por data, expostos na Figura 5. Os resultados mostraram que os maiores desvios foram relacionados às amostras de formações pioneiras. As amostras de florestas apresentaram os menores desvios, e as amostras de savana apresentaram comportamento intermediário.

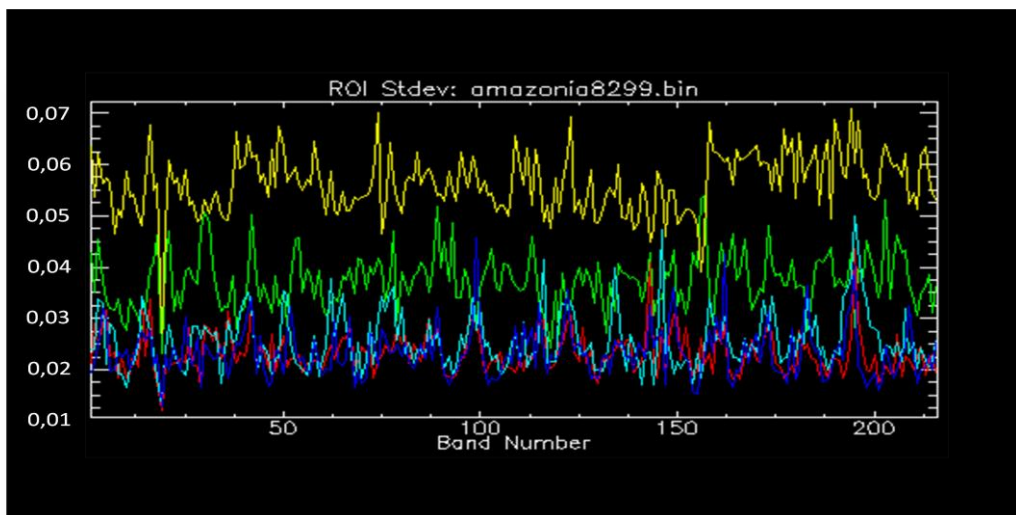


Fig. 5 – Variação dos desvios-padrões do NDVI numa série temporal de 18 anos, considerando 5 tipos de vegetação: em verde - savanas; em amarelo – formações pioneiras; demais cores – 3 tipologias florestais.

Isto indica que a vegetação das formações pioneiras apresenta uma resposta heterogênea em relação aos valores de NDVI, tendo as savanas e principalmente as florestas um padrão de resposta mais homogêneo.

4. Conclusões

A análise da série temporal de NDVI para diferentes regiões fitoecológicas de Roraima permitiu a diferenciação de três padrões: a) savanas; b) formações pioneiras; e c) florestas, evidenciando respostas semelhantes em termos de valores de NDVI para outras áreas da Amazônia, mas em épocas opostas do ano.

Os resultados permitiram ainda detectar períodos referentes a anomalias climáticas como *El Niño*, *La Niña*, tendo sido sensíveis também a alterações atmosféricas.

Pretende-se dar seqüência ao trabalho através da aplicação da técnica de Análise Harmônica, visando dar continuidade aos estudos dos padrões de NDVI para as diferentes regiões fitoecológicas de Roraima.

Agradecimentos

Os autores agradecem à colaboração do Dr. Camilo Daleles Rennó na utilização do IDL.

Referências Bibliográficas

- Barbosa, R.I. *Avaliação da área dos sistemas naturais e agroecossistemas atingida pelo fogo no Estado de Roraima* (01.12.97 a 30.04.98). INPA/NPRR: Boa Vista, 1998. 21p.
- Batista, G.T.; Shimabukuro, Y.E.; Lawrence, W.T. Monitoramento da cobertura florestal através de índices de vegetação do NOAA-AVHRR. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 1993.
- Batista, G.T.; Shimabukuro, Y.E.; Lawrence, W.T. The long-term monitoring of Amazon vegetation cover through NOAA-AVHRR. **International Journal of Remote Sensing**, Dundee, v.18, n.15, p. 3195-3210, 1997.
- CPTEC. Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. <<http://clima1.cptec.inpe.br/>>. Consultado em agosto de 2008.

- Dessay, N. ; Laurent, H. ; Machado, L. A. T. ; Shimabukuro, Y. E. ; Batista, G. T. ; Diedhiou, A. ; Ronchail, J. . Comparative study of the 1982-1983 and 1997-1998 *El Niño* events over different types of vegetation in South America. **International Journal of Remote Sensing**, Inglaterra, v. 25, n. n.20, p. 4063-4077, 2004.
- Ferreira, N.J. **Aplicações ambientais brasileiras dos satélites NOAA e TIROS-N**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 271p.
- Kazmierczak, M.L. Uso de dados AVHRR/NOAA GAC para análise da sazonalidade da caatinga. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996.
- Liu, W.T.; Massambani, O.; Festa, M. **Normalized difference vegetation index for the south American continent used as a climatic variability indicator**. In: 24th International Symposium of Remote Sensing of Environment, Rio de Janeiro, 1991 (Ann Arbor:ERIM), p. 725-732.
- Oliveira, L.M.T.; França, G.B.; Nicácio, R.M.; Costa, T.C.C.; Antunes, M.A.H. Análise do comportamento das Regiões Fitoecológicas brasileiras através de série temporal de NDVI. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007.
- Perez, L. P. ; Ferreira, N. J. ; Shimabukuro, Y. E. ; Andre, I. R. N. Dinâmica dos principais domínios fitogeográficos do nordeste brasileiro e suas conexões com a precipitação. **Boletim de Geografia Teorética**, Rio Claro, v. 9, n. 02,, 2004, p. 217-228.
- Shimabukuro, Y. E. ; Santos, J.R. ; Novo, E. M.L.M.; Krug, T. ; Hess, L. **Estimativa da área de cobertura florestal afetada pelo incêndio em Roraima, utilizando dados multi-sensores**. São José dos Campos: INPE, 1999 (Relatório Técnico).