

Índice de vegetação versus precipitação na Amazônia

EUGÊNIO SPER DE ALMEIDA - CPTEC/INPE¹

GETULIO TEIXEIRA BATISTA - DSR/INPE²

INPE--Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

¹Rod. Pres. Dutra, km 40, Cachoeira Paulista, SP, Brasil

²Caixa Postal 515, 12201- 097 São José dos Campos, SP, Brasil

eugenio@cptec.inpe.br

Abstract. This work analyzed the relationship between precipitation and NDVI (normalized difference vegetation index) in the Amazon Basin for the period of January 1982 to December 1990. The precipitation data were obtained from DNAEE (Brazilian National Department of Water and Electrical Energy) from the ground stations available throughout the Amazon and the NDVI data were derived from NOAA-AVHRR data. Low correlation coefficients were observed between NDVI and precipitation in general. Linear and logarithmic relations gave similar results. The response time lag of two months between precipitation and NDVI provided better correlation coefficients. This paper provides new information on the available DNAEE ground stations and discusses the main factors that affect NDVI response.

Keywords: remote sensing, NDVI, multitemporal analysis, climatic variation.

1. Introdução

A Amazônia é um ecossistema de alta diversidade, onde podem ser observados diversos tipos de formações vegetais: florestas, áreas de formações pioneiras, cerrado, áreas de tensão ecológica, campinarana e refúgio ecológico (IBGE e IBDF, 1994). Esta região possui também uma significativa variabilidade espacial e temporal do clima, que pode ser notada pela variação na distribuição de precipitação sobre diversas regiões da Amazônia e em diferentes épocas do ano (Figuerola e Nobre, 1990).

Devido ao fato desta região não estar densamente coberta por estações meteorológicas, a estimativa de parâmetros hidrológicos, tais como medidas de precipitação, implicam na colocação de medidores de precipitação em locais representativos da região. Neste caso, o estabelecimento de uma relação entre precipitação e fenologia da vegetação pode servir para fornecer informações complementares sobre a precipitação em locais onde existam poucas estações meteorológicas. Desta forma é necessário que se estude a viabilidade de utilizar métodos alternativos, para complementar informações não disponíveis.

Produtos de Sensoriamento Remoto têm sido de grande utilidade na observação de recursos naturais da superfície terrestre. Como exemplo, temos as imagens índice de vegetação geradas a

partir do sensor AVHRR, que têm sido uma importante fonte de dados na avaliação da precipitação. Existem estudos em regiões semi-áridas da África (Hielkema et al., 1986; Kerr et al., 1989; Nicholson et al., 1990; Justice et al., 1991; Nicholson e Farrar, 1994) e no cerrado brasileiro (Assad et al., 1988, 1996) onde foram encontradas correlações altas e significativas entre precipitação e índice de vegetação.

Os sensores AVHRR a bordo do satélite NOAA, são muito utilizados no acompanhamento da vegetação, devido à sua característica de cobertura diária da superfície terrestre, que proporciona o fornecimento de um grande volume de dados e ameniza problemas de cobertura de nuvens. O AVHRR adquire imagens em vários canais no visível e no infravermelho, permitindo avaliações de vegetação, massas d'água, condições das nuvens, de gelo e temperaturas da superfície do mar. Os sensores AVHRR possuem campo de visada instantânea de 1,4 miliradianos, resolução no "nadir" de 1,1 km, ângulo de varredura de $\pm 55,4^\circ$ e faixa de imageamento de 2400 km - para a altitude do satélite de 833 km (Kidwell, 1995). Neste trabalho, o NDVI foi gerado a partir de dados reamostrados no formato "Global Area Coverage" (GAC) cuja resolução espacial foi reduzida para 1,1 km x 4,4 km, na região do "nadir". Atualmente o sensor AVHRR possui as seguintes bandas espectrais: 0,58-0,68 μm (canal 1); 0,725-1,10 μm (canal 2); 3,55-3,93 μm (canal3); 10,3-11,3 μm (canal4); 11,5-12,5 μm (canal 5).

As bandas espectrais do vermelho (Canal 1) e do infravermelho próximo (Canal 2) do sensor AVHRR foram combinadas para gerar o índice de vegetação "diferença normalizada" ("*Normalized Difference Vegetation Index*" - NDVI), conforme proposto por Rouse et al. (1973).

$$\text{NDVI} = (\text{Canal 2} - \text{Canal 1}) / (\text{Canal 2} + \text{Canal 1})$$

O NDVI é sensível à presença da vegetação, pois a vegetação sadia usualmente diminui a resposta no vermelho devido à absorção por clorofila e aumenta a resposta no infravermelho próximo devido ao espalhamento pelos tecidos da folha (Tucker e Sellers, 1986). Desta forma, alvos diferentes de vegetação (água, solo exposto, etc.) são facilmente distinguíveis devido às suas assinaturas espectrais características. Segundo Baret e Guyot (1991), o NDVI aumenta o contraste entre solo e vegetação e minimiza os efeitos das condições de iluminação, no entanto, é sensível às propriedades ópticas do fundo (solo).

Na análise de imagens com baixa resolução, como é o caso das imagens índice de vegetação derivadas do sensor AVHRR, o pixel da imagem contém informações de diferentes alvos captadas pelo sensor. Com isto o pixel pode conter várias informações que dificultam sua identificação, além de sofrer influência de vários aspectos relativos à geometria de tomada dos dados, atmosfera e degradação do sensor. Vários efeitos negativos podem afetar o NDVI, por exemplo a contaminação por nuvens: Segundo Sellers e Schimel (1993), o tempo de máximo desenvolvimento das nuvens nos trópicos, nas regiões úmidas do mundo, é mais ou menos coincidente com a passagem vespertina dos satélites NOAA-7, -9, -11. Também efeitos atmosféricos como a absorção devido a gases e aerossóis, e espalhamento devido a moléculas e aerossóis, podem afetar sensivelmente os valores de NDVI (Tanré et al., 1992). Em adição, efeitos devido ao ângulo de visada e iluminação podem afetar o NDVI, contudo, Holben (1986) mostrou que o NDVI é máximo para cada tipo de cobertura nas visadas próximas ao "nadir" e pequenos ângulos zenitais. Por isto, a seleção do pixel de maior valor, como utilizada neste caso,

na composição do NDVI mensal, resulta na utilização de geometria de visada próxima ao "nadir". Com isto diminui-se o caminho da energia eletromagnética, reduzindo a influência da atmosfera no sinal e minimizando os efeitos direcionais da superfície, que podem ser substanciais para vegetação sadia. Finalmente, efeitos devidos à degradação do sensor durante seu período de operação podem distorcer de forma gradual o valor do NDVI, impossibilitando uma comparação multitemporal. Outro fator de distorção é a diferença existente entre os diferentes sensores AVHRR em órbita. Los (1993), estudou o efeito da degradação do sensor para uma faixa larga de NDVI ($0 < \text{NDVI} < 0,6$) e a possibilidade de ajuste do NDVI já processado, sem ter que recorrer aos canais 1 e 2 originais. Desta forma, neste trabalho empregou-se a correção proposta por Los (1993).

Este trabalho teve como objetivo avaliar a relação entre índice de vegetação (derivado do NOAA-AVHRR) e precipitação na região Amazônica, utilizando as estações meteorológicas do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE, 1987 e 1988), partindo da hipótese que o NDVI é diretamente correlacionado com a fitomassa, que por sua vez é sensível à precipitação, e propor uma metodologia para análise multitemporal de imagens.

2. Materiais e métodos

Para analisar dados multitemporais provenientes de fontes diferentes (no caso pixels de uma imagem e dados pontuais de estações meteorológicas) é necessário que um dado pixel da imagem seja referenciado a uma dada localização geográfica (lat./long.) na superfície terrestre. Para isto é necessário determinar os pontos da superfície terrestre a serem analisados e determinar a correspondência deste ponto com um determinado pixel da imagem. Dentro deste contexto, foi adotado o seguinte procedimento geral para o tratamento desses dados:

- a) **Extração e manipulação dos dados pluviométricos do DNAEE:** O DNAEE possui um sistema de banco de dados com informações referentes à precipitação diária de diversas bacias hidrográficas. Esses dados foram manipulados para determinar as coordenadas das estações pluviométricas que possuíssem uma quantidade de informações maior que 70%, i.e., estações com informação sobre precipitação mensal em mais de 70% dos meses entre janeiro de 1982 e dezembro de 1990;
- b) **Determinação da cobertura vegetal sobre as estações pluviométricas:** Nas estações selecionadas, determinou-se o tipo de vegetação dominante. As áreas correspondentes aos 3x3 pixels do NDVI foram demarcadas no Mapa de Vegetação (Figura 1a) do Brasil (IBGE e IBDF, 1994), correspondendo a um quadrado de 4,6 mm, na escala 1:5.000.000, nas quais verificaram-se os tipos de vegetação;
- c) **Avaliação da antropização nas estações pluviométricas selecionadas:** Para esta etapa foram utilizadas informações, não publicadas, provenientes do PRODES (Projeto de Desflorestamento da Amazônia, INPE e IBAMA, 1998) para a verificação de existência de atividade antrópica. Separou-se as áreas com antropismo para certificar-se da inexistência de mudança na cobertura vegetal original. Apenas estações com áreas com mais de 50% de cobertura vegetal original foram aceitas.

- d) **Extração e manipulação dos dados NDVI das imagens:** A partir das imagens provenientes da NASA/GSFC (Figura 1b) foram extraídos os valores do NDVI (média de 3x3 pixels, centrados sobre as coordenadas das estações pluviométricas), referentes às estações meteorológicas selecionadas;
- e) **Calibração dos dados NDVI das imagens:** Foram calibrados os valores de NDVI devido à degradação do sensor AVHRR, usando o método proposto por Los (1993);
- f) **Análise do NDVI:** Nesta etapa analisou-se o comportamento do sinal do NDVI. Os valores que apresentassem um decaimento de 30% em relação ao valor da sua vizinhança (no tempo, em ambos lados), foram rejeitados baseando-se na hipótese que esse decaimento não era função de mudança do comportamento vegetação e nem da variação mensal da precipitação, mas sim contaminação de nuvens ou fumaça; e
- g) **Determinação do coeficiente de correlação (r):** Os valores do NDVI e de precipitação para cada mês foram armazenados na forma de linha (vetores) numa planilha de cálculo. Deslocando-se esses vetores entre si é possível obter correlações considerando diferenças no tempo entre o evento da precipitação e o NDVI. Através do deslocamento do vetor da precipitação foi possível fazer estudos dos valores de coeficiente de correlação das curvas que apresentaram um comportamento linear e logarítmica do NDVI em relação à precipitação no tempo. Os tempos estudados foram de um mês (“lag”=1), dois meses (“lag”=2) e a soma dos dois meses (“lag”=1+2), usando janela de NDVI de 3x3 pixels.

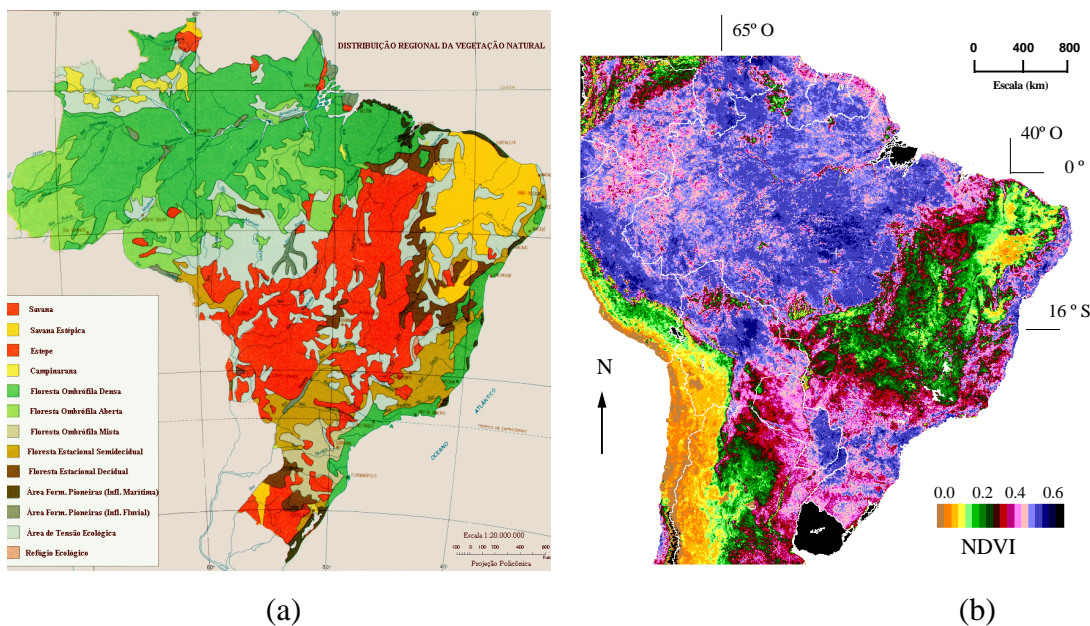


Figura 1 - (a) Mapa de vegetação, escala 1:5.000.000 e (b) imagem NDVI (agosto/82).

FONTE: IBGE e IBDF (1994).

3. Resultados e discussões

Utilizando-se os dados do DNAEE (1987 e 1988), verificou-se a existência de 486 estações dentro da área de estudo. No entanto, apenas 160 estações possuíam uma quantidade de informações úteis maior que 70% no período de estudo.

A Tabela 1 resume os principais tipos de vegetação ao redor das estações pluviométricas, onde nota-se a predominância da floresta ombrófila sobre os demais tipos de vegetação. Após a determinação das estações com mais de 70% de dados úteis, montou-se o quadro apresentado na Tabela 2, onde estão anotados os tipos de vegetação predominantes ao redor de algumas estações meteorológicas.

Tabela 1 - Número de estações por tipo de vegetação predominante.

Tipo de vegetação predominante	Nº de estações
Floresta Ombrófila Densa	92
Floresta Ombrófila Aberta	31
Floresta Ombrófila Aberta (Veg. secundária e atividades agrícolas)	11
Área de Tensão Ecológica (Campinarana-Floresta Ombrófila)	8
Floresta Ombrófila Densa (Veg. secundária e atividades agrícolas)	7
Área de Formações Pioneiras (Veg. c/ influência pluvial ou lacustre)	4
Área de Tensão Ecológica (Savana-Floresta Ombrófila)	4
Área de Tensão Ecológica (Savana-Floresta Estacional)	2
Área de Tensão Ecológica (Floresta Ombrófila- Floresta Estacional)	1
TOTAL	160

Para avaliar a correlação entre o NDVI da vegetação natural e a precipitação, é necessário que não exista alteração significativa da cobertura vegetal original. Utilizando-se os dados do PRODES, digitalizou-se no SGI as áreas relativas aos 9 pixels NDVI e determinou-se a área com floresta de cada região. A Figura 2 apresenta exemplos de algumas dessas áreas, sendo identificadas as áreas desflorestadas em marrom, água em azul, áreas de não-floresta em rosa e áreas de floresta em verde.

Verificou-se que 137 estações encontravam-se em áreas com cobertura vegetal original maior que 50%. As outras estações foram separadas, pois haviam sido antropizadas e, portanto, não corresponderiam mais às áreas com cobertura vegetal original demarcadas no mapa 1:5.000.000 do IBGE e IBDF (1994). Estas áreas, por estarem bastante degradadas, poderiam comprometer a interpretação da análise da correlação para cada tipo de vegetação. A relação da porcentagem de floresta presente ao redor de cada estação é apresentada na Tabela 2.

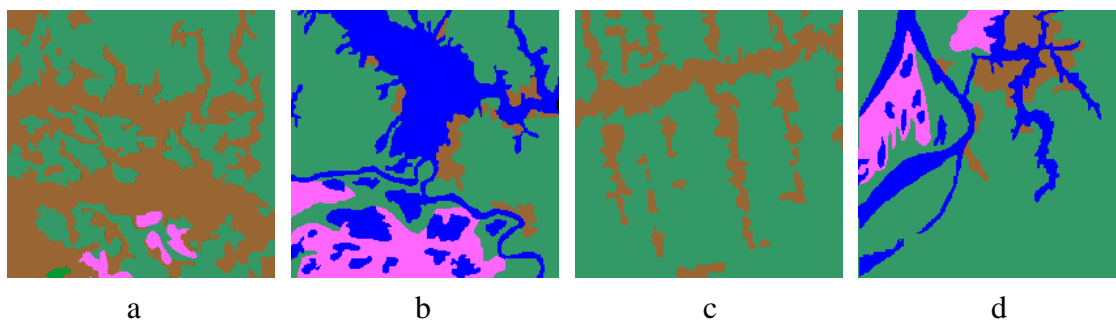


Figura 2 - Regiões ao redor de algumas estações pluviométricas: (a)Arapari; (b)Badajos; (c)Cupari; (d)Beruri.

Foi analisado o sinal do NDVI relativo às estações selecionadas anteriormente, para se eliminar valores contaminados com nuvens ou fumaça. Desta maneira, apenas foram analisados os valores de NDVI que refletissem uma provável mudança das características da vegetação, eliminando-se os valores que pudessem conter resíduos de nuvens ou aerossóis, que poderiam estar contribuindo com a diminuição do valor do NDVI.

A Tabela 2 apresenta parte do resultado final do processamento, a título de ilustração, de algumas estações pluviométricas da região Amazônica classificadas por tipo de vegetação, quantidade de dados pluviométricos registrados (%), quantidade de vegetação original (%) e os valores do coeficiente de correlação linear (NDVI x precipitação) para tempos de resposta de 1, 2 e 1+2 meses ("lag"). A tabela completa pode ser encontrada em Almeida (1997). Os valores de coeficientes de correlação das curvas logarítmicas de NDVI x precipitação não foram inseridos nesta tabela pois são similares ou piores do que os valores de coeficientes lineares de correlação.

Os valores realçados na Tabela 2 correspondem às áreas de vegetação original inferiores a 50% e aos coeficientes de correlação superiores a 0,3. A partir desta tabela, nota-se que houve baixa correlação entre NDVI e precipitação em todos os pontos analisados. Em área não antropizada, o maior valor de coeficiente de correlação foi encontrado na estação Alta Floresta ($r=0,44$), enquanto que o maior valor de coeficiente de correlação, em área antropizada, foi encontrado na estação Arapari ($r=0,50$).

Foram encontrados valores médios anuais do NDVI de 0,49 para a floresta ombrófila densa (C.V.=11,6%), 0,52 para a floresta ombrófila aberta (C.V.=11,4%), 0,47 para as áreas de formações pioneiras (C.V.=11,3%) e os seguintes valores para as áreas de transição ecológica: 0,50 para Campinarana-floresta ombrófila (C.V.=10,6%), 0,54 para floresta ombrófila-floresta estacional (C.V.=12,2%), 0,52 para Savana-floresta estacional (C.V.=12,0%) e 0,49 para Savana-floresta ombrófila (C.V.=10,9%). Observa-se que o NDVI médio das formações vegetais analisadas possuem valores bastante próximos entre si. Estes valores estão consistentes com resultados de Batista et al. (1997).

O maior e o menor valor de coeficiente de variação foi encontrado onde o valor médio anual de precipitação foi de 327mm (C.V.=42,4%) e 107mm (C.V.=112,2%), respectivamente na estação Boa União e Kararao. Esta diferença de precipitação e coeficiente de variação entre essas estações demonstram que Boa União se encontra em uma região em que não existe estação seca e Kararao se encontra em região que possui estação seca. Também é possível verificar que o

coeficiente de correlação entre NDVI e precipitação é maior em Kararao ($r=0,37$) do que em Boa União ($r=0,05$).

Tabela 2 - Estações pluviométricas por: tipo de vegetação dominante, % de dados disponíveis, % de cobertura vegetal original e coeficientes de correlação.

A - FLORESTA OMBRÓFILA ABERTA (Veget. secundária e atividades agrícolas)							
	Latitude	Longitude	%dados	%floresta	Coef. Corr. ("lag")		
					1	2	1+2
Alta Floresta	9°45'0" S	56°15'15" O	76,9	61,9	0,34	0,38	0,44
Arapari	1°45'0" S	54°25'25" O	87,4	49,8	0,49	0,42	0,50
Ab - FLORESTA OMBRÓFILA ABERTA DE TERRAS BAIXAS							
Envirá	7°19'0" S	70°15'15" O	99,3	99,8	-0,08	-0,10	-0,10
Seringal da Caridade	9°2'0" S	68°34'34" O	97,2	99,9	0,17	0,17	0,20
As - FLORESTA OMBRÓFILA ABERTA SUBMONTANA							
Kararao	3°55'0" S	52°53'53" O	76,2	87,5	0,35	0,34	0,37
Tabajara	8°55'0" S	62°6'6" O	75,5	80,9	0,01	0,25	0,16
D - FLORESTA OMBRÓFILA DENSA (Veget. secundária e atividades agrícolas)							
Breves 82188	1°40'0" S	50°29'29" O	71,3	76,9	0,02	0,34	0,20
Sítio São Pedro	3°53'0" S	54°23'23" O	71,3	68,1	0,33	0,36	0,39
Da - FLORESTA OMBRÓFILA DENSA ALUVIAL							
Boa União	2°52'0" S	68°48'48" O	85,3	91,5	0,01	0,07	0,05
Bacabá	6°20'0" S	64°54'54" O	91,6	94,5	0,20	0,24	0,26
Db - FLORESTA OMBRÓFILA DENSA DE TERRAS BAIXAS							
Acampam. IBDF	1°48'0" S	51°28'28" O	99,3	84,9	0,13	0,16	0,17
Vera Cruz	3°49'0" S	57°11'11" O	88,1	91,6	0,12	0,22	0,20
Ds - FLORESTA OMBRÓFILA DENSA SUBMONTANA							
Bubure (Sai Cinza)	4°38'0" S	56°18'18" O	88,1	84,5	0,28	0,32	0,36
Km 1326 BR-163	5°10'0" S	55°42'42" O	96,5	100,0	0,20	0,32	0,31
LO - ÁREA DE TENSÃO ECOLÓGICA (Campinarana-Floresta Ombrófila)							
Barcelos 82113	0°59'0" S	62°55'55" O	83,9	69,3	0,18	0,18	0,20
ON - ÁREA DE TENSÃO ECOLÓGICA (Floresta Ombrófila- Floresta Estacional)							
Agropecuária. Cajabi	10°50'0" S	54°49'49" O	73,4	83,8	0,19	0,35	0,33
Pa - ÁREA DE FORMAÇÕES PIONEIRAS							
Aruma-Jusante	4°41'0" S	62°7'7" O	72,7	80,4	-0,26	-0,22	-0,29
SN - ÁREA DE TENSÃO ECOLÓGICA (Savana-Floresta Estacional)							
Santa Rosa	8°55'0" S	57°25'25" O	73,4	94,8	0,17	0,33	0,28
SO - ÁREA DE TENSÃO ECOLÓGICA (Savana-Floresta Ombrófila)							
Faz. Santa Maria	8°12'0" S	63°43'43" O	82,5	68,5	-0,14	0,03	-0,06

Nicholson et al. (1990), analisaram 4 regiões de floresta da África Leste (Kenya e Tanzânia), encontrando valores máximos de NDVI entre 0,50-0,55 e valores máximos de precipitação de 550 mm na estação de Amani. Comparando os resultados de Amani com obtidos no Km 1326 BR-163 (que possui a mesma latitude), a estação da Amazônia possui aproximadamente os mesmos valores máximos de NDVI e precipitação, respectivamente 0,60 e 495,7mm. No entanto, nota-se um coeficiente de correlação linear de 0,67 (NDVI x precipitação), reportada para a região de Amani e de 0,30, verificada neste trabalho, para a região do Km 1326 BR-163 (considerando um lag de 1+2 meses). Tal fato pode estar associado à sazonalidade da vegetação na região de Amani e à inexistência de mudanças fenológicas associadas à sazonalidade da região do Km 1326 BR-163.

Analisando os gráficos para as estações Km 1326 - BR-163 e Seringal da Caridade, nota-se que mesmo após a diminuição da precipitação, o NDVI mantém-se em um patamar elevado por algum tempo. Nicholson e Farrar (1994) demonstraram que para a África a variação do NDVI está mais relacionada com a capacidade de armazenamento de água do solo. Para a Amazônia, também há indícios que o NDVI (quando varia) pode ser em função da umidade do solo e não da precipitação.

Nicholson e Farrar (1994), concluíram que o NDVI está relacionado linearmente com a precipitação quando a faixa de precipitação mensal está entre 25-200 mm. Após este limite o NDVI aumenta lentamente com o acréscimo de precipitação ou mantém-se constante. Para a Amazônia, muitos valores de precipitação geralmente estão acima deste patamar, o que implica que o NDVI pode estar saturado para qualquer variação da precipitação e a variação do NDVI se deve possivelmente à contaminação de nuvens e fumaça, não eliminadas totalmente nos procedimentos prévios (estação Boa União).

Analisando o coeficiente de variação da precipitação é possível verificar que os maiores valores de coeficiente de correlação corresponderam às estações com coeficientes de variação maior que 90% e os menores valores de coeficiente de correlação aos coeficientes de variação menores que 70%. Indicando que as áreas de menor variação de precipitação apresentaram menor correlação com o NDVI. Um exemplo disto é que a maioria das estações com precipitação média superior a 200mm e coeficiente de variação de precipitação menor que 70% apresentaram coeficientes de correlação menores que 0,1. Por outro lado, a maioria das estações com precipitação média inferior a 200mm e coeficiente de variação de precipitação maior que 90% apresentaram coeficientes de correlação maiores que 0,2.

De forma similar aos resultados deste trabalho, Schultz e Halpert (1995) avaliaram a relação entre o NDVI global e imagens de precipitação interpoladas a partir de dados do “Global Telecommunications System” (GTS) para o período de 1985 a 1992. Os autores encontraram correlações próximas a zero ou negativas na Amazônia, que foram creditadas à abundante precipitação na região.

Analisando as correlações encontradas nas estações em áreas antropizadas, verificou-se que as mesmas possuíam valores de coeficiente de correlação maiores que 0,2, possivelmente devido à resposta da vegetação implantada naquela região à variação de precipitação.

4. Conclusões

Este trabalho apresenta uma metodologia de análise multitemporal de imagens para avaliação de correlação entre valores de precipitação e índice de vegetação.

Analisando-se os dados de precipitação para o período de janeiro/1982 a dezembro/1990, observou-se que existem 486 estações pluviométricas na região da bacia Amazônica, que fazem parte da rede do DNAEE. No entanto apenas 160 dessas estações possuem um conjunto de informações com mais de 70% de dados mensais disponíveis. Analisando o desflorestamento da região, nota-se também que 137 dessas estações (com um conjunto de dados disponíveis maior que 70%) estão localizadas em regiões com mais de 50% de florestas.

Após a avaliação da correlação, verificou-se através da metodologia adotada, a existência de baixa correlação entre NDVI e precipitação em áreas de floresta (estações terrestres). Foram analisados os valores de coeficiente de correlação das curvas NDVI x precipitação que apresentaram um comportamento linear e logarítmica, verificando que para a Amazônia não se observa uma diferença grande entre ambas as análises. O que influencia é o tempo de resposta do NDVI à precipitação. O tempo de resposta de 2 meses entre a ocorrência da precipitação e a resposta do NDVI apresentou melhores resultados de correlação na maioria dos casos.

Para a Amazônia, nota-se que as áreas que possuem maior variação anual de precipitação (C.V. > 90%) apresentaram coeficientes de correlação maiores ($r > 0,2$) que as áreas com menor variação anual de precipitação (C.V. < 70%), cujos coeficientes de correlação foram menores que 0,1.

Recomenda-se investigar a influência da variação da capacidade de retenção de água dos solos na sazonalidade da vegetação e conseqüentemente no NDVI, uma vez que observaram-se casos onde há uma variação alta na precipitação anual, não relacionada com a variação do NDVI. Nestes casos, a água retida no solo pode estar evitando o estresse hídrico da vegetação durante os meses mais secos.

Para melhor aproveitamento do grande potencial das imagens obtidas pelo AVHRR, que tem alta resolução temporal, recomenda-se estudos que utilizam técnicas de análise em frequência para classificar a cobertura da terra a partir da variação mensal, sazonal ou anual das imagens NDVI.

Finalmente, para melhorar o entendimento do impacto da variação da precipitação na vegetação amazônica, recomendam-se a integração dos dados de índice de vegetação, solos, vegetação, clima, etc. em um sistema de informações geográficas.

5. Agradecimentos

Ao pesquisador Jorge L. Gavina Pereira pela revisão do manuscrito.

Aos pesquisadores Dr. Tom Dunne (Universidade da Califórnia, Santa Barbara), Miles Logsdon, Harvey Greenberg (Universidade de Washington) e Dr. Compton J. Tucker (NASA/GSFC) pelo fornecimento dos dados utilizados neste trabalho.

6. Referências Bibliográficas

- Almeida, E.S. Relação entre índice de vegetação derivado do NOAA-AVHRR e precipitação na região Amazônica. *Dissertação de Mestrado*, São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1997.
- Assad, E.D.; Setzer, A.; Moreira, L. Estimativa de precipitação através dos índices de vegetação do satélite NOAA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5. Natal, RN, Outubro 11-15, 1988. **Anais**. São José dos Campos, INPE, 1988, v.2, p.425-429.
- Assad, E.D.; Castro, L.H.R.; Almeida, S.A.O. Análise exploratória da variação espaço temporal do índice de vegetação NOAA/AVHRR e pluviometria: caso dos cerrados brasileiros. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9. Salvador, BA, Outubro 11-15, 1996. **Anais**. São José dos Campos, INPE, 1996. 1 (CD-ROM).
- Baret, F.; Guyot, G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. **Remote Sensing of Environment**, **35**:161-173, 1991.
- Batista, G.T.; Shimabukuro, Y. E. (; Lawrence, W.T. - The Long-term monitoring of vegetation cover in the Amazon region in Northern Brazil using NOAA-AVHRR data, **International Journal of Remote Sensing**, **18**:3195-3210, 1997.
- Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE). **Inventário das estações fluviométricas**. Brasília, Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica, Divisão de Controle de Recursos Hídricos, 1987.
- Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE). **Microsistema de dados hidrológicos**. Brasília, Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica, Divisão de Controle de Recursos Hídricos, 1988.
- Figueroa, S.N.; Nobre, C.A. Precipitation distribution over central and western tropical South America. **Climanálise**, **5**(6):36-45, 1990.
- Hielkema, J.U.; Prince, S.D.; Astle, W.L. Rainfall and vegetation monitoring in the Savanna Zone of the Democratic Republic of Sudan using the NOAA Advanced Very High Resolution Radiometer. **International Journal of Remote Sensing**, **7**(11):1499-1513, 1986.
- Holben, B.N. Characteristics of maximum value composites images from temporal AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, **7**(11):1417-1434, 1986.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF). **Mapa de vegetação do Brasil. 1:5.000.000**. IBGE, Rio de Janeiro, 1994, 1 p., 2ª ed.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Divulgação das estimativas oficiais do desflorestamento bruto na Amazônia brasileira. São José dos Campos, INPE, 1998, 23p.
- Justice, C.O; Dugdale, G.; Townshend, J.R.G.; Narracott, A.S.; Kumar, M. Synergism between NOAA-AVHRR and Meteosat data for studying vegetation development in semi-arid West Africa. **International Journal of Remote Sensing**, **12**(6):1349-1368, 1991.

- Kerr, Y.H.; Imbernon, J.; Dedieu, G.; Hautecoeur, O.; Lagouarde, J.P.; Seguin, B. NOAA AVHRR and its uses for rainfall and evapotranspiration monitoring. **International Journal of Remote Sensing**, 10(4)-5:847-854, 1989.
- Kidwell, K.B. **NOAA polar orbiter data users guide (TIROS-N, NOAA-6, NOAA-7, NOAA-8, NOAA-9, NOAA-10, NOAA-11, NOAA-12, NOAA-13 and NOAA-14)**. Washington, D.C., NOAA/NESDIS, June 1995.
- Los, S.O. Calibration adjustment of the NOAA AVHRR Normalized Difference Vegetation Index without recourse to component channel 1 and 2 data. **International Journal of Remote Sensing**, 14(10):1907-1917, 1993.
- Nicholson, S.E.; Davenport, M.L.; Malo, A.R. A comparison of the vegetation response to rainfall in the Sahel and East Africa, using Normalized Difference Vegetation Index from AVHRR-NOAA. **Climate Change**, (17):209-241, 1990.
- Nicholson, S.E.; Farrar, T.J. The influence of soil type on the relationships between NDVI, rainfall, and soil moisture in semi-arid Botswana. I. NDVI response to rainfall. **Remote Sensing of Environment**, (50):107-120, 1994.
- Rouse, J.W.; Hass, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring vegetation system in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3., 1973. **Proceedings**. Washington, 1973, v.1, Sec. A, p. 309-317.
- Schultz, P.A.; Halpert, M.S. Global analysis of the relationships among a vegetation index, precipitation and land surface temperature. **International Journal of Remote Sensing**, 16(15):2755-2777, 1995.
- Sellers, P.J.; Schimel, D. Remote sensing of the land biosphere and biochemistry in the EOS era: science priorities, methods and implementation-EOS land biosphere and biochemical panels. **Global and Planetary Change**, (7):279-297, 1993.
- Tanré, D.; Holben, B.N.; Kaufman, Y.J. Atmospheric correction algorithm for NOAA-AVHRR products: theory and application. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 30(2):231-248, 1992.
- Tucker, C.J.; Sellers, P.J. Satellite remote sensing of primary production. **International Journal of Remote Sensing**, 7(11):1395-1416, 1986.