

MONITORAMENTO DE ESTIAGEM DURANTE O VERÃO DE REGIÕES TROPICAIS UTILIZANDO IMAGENS AVHRR/NOAA-14

WANDER JOSÉ PALLONE FILHO¹
JURANDIR ZULLO JUNIOR²
EDUARDO DELGADO ASSAD³
HILTON SILVEIRA PINTO²
JANSLE VIEIRA ROCHA¹
RUBENS AUGUSTO CAMARGO LAMPARELLI²

¹FEAGRI – Universidade Estadual de Campinas
Caixa Postal 6011 – CEP 13083-970 – Campinas – SP, Brasil
{pallone, jansle}@agr.unicamp.br

²CEPAGRI/UNICAMP – Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura
CEP 13083-886 – Campinas – SP, Brasil
{jurandir, hilton, rubens}@cpa.unicamp.br

³CNPTIA/EMBRAPA – Embrapa Informática Agropecuária
Caixa Postal 6041 – CEP 13083-886 – Campinas – SP, Brasil
assad@cnptia.embrapa.br

Abstract. Summer in the Brazilian tropical region is characterized as a hot and wet season and any dry spell periods may cause severe consequences for agriculture. On the other hand, the low quantity of surface meteorological stations in some areas makes difficult to evaluate the amount of rainfall. Sometimes the statistical interpolation of spatial data is not recommended and therefore important cultivated areas have to be unconsidered on planning projects. Several authors have been trying to estimate daily rainfall using surface data but the results are not good. Other authors decided to use satellite images to estimate rainfall for large areas with good results but still not adequate for agriculture purpose. As an alternative method, this work refers to the estimation of periods without rainfall for agricultural crops, that is the number of days with rainfall amounts less than 10 mm/day, which can be evaluated using AVHRR/NOAA images. Previous results for the State of S. Paulo, with an area of 250.000 square kilometers, show the possibility of using this method for estimate the dry spell period.

Keywords: dry spell, monitoring, AVHRR/NOAA.

1. Introdução

A alta variabilidade espacial e temporal da chuva em regiões tropicais associada a baixa densidade de estações da rede meteorológica, mesmo daquelas que registram informações de chuvas, em algumas regiões do Brasil, muitas vezes impedem a determinação segura da ocorrência de estiagem nestas regiões.

Alguns pesquisadores propuseram índices agroclimáticos para acompanhar e monitorar a seca, os quais são obtidos baseados em séries temporais de precipitação e outras informações registradas por postos meteorológicos. Sendo assim, a utilização desses índices no monitoramento da seca será tão abrangente do ponto de vista espacial quanto maior for a densidade de distribuição das estações meteorológicas.

Dentre os principais índices existentes para quantificar e monitorar a seca está o Índice Padronizado da Seca (SPI), o qual foi estudado por BRUNINI et al. (2001) no Estado de São Paulo.

Vários métodos de estimativa de precipitação baseados em imagens de satélites meteorológicos têm surgido nos últimos anos. Apesar disso, se desconhece um método capaz de fornecer uma estimativa precisa da precipitação.

Para a estimativa da precipitação em imagens de satélites é necessária a discriminação entre nuvens precipitantes e não-precipitantes. CAVALCANTI et al. (1992) aplicaram a técnica CST (Convective Stratiform Technique), desenvolvida por ADLER e NEGRI (1988), para análise de “texturas” (nuvens precipitantes, nuvens não-precipitantes e superfície) em imagens METEOSAT, tendo conseguido definir situações entre extremos de “céu limpo” e “precipitação intensa” a partir de classes de temperaturas.

A análise da temperatura de brilho associada à textura de imagem para separação de núcleos precipitantes de não-precipitantes, conforme proposto por ADLER e NEGRI (1988), se justifica uma vez que várias pesquisas apresentaram como dificultosa a filtragem de nuvens baseada em dados de apenas um canal de satélite, como LIOU et al. (1990) e PRABHAKARA et al. (1990).

Pretende-se desenvolver um método para estimativa de estiagem, fundamentado na análise de imagens livres de nuvens, visando contornar as dificuldades quanto à discriminação entre nuvens precipitantes e não-precipitantes.

JACKSON et al. (1983), analisando diferentes índices de vegetação, verificou que os índices de vegetação *Ratio*, obtido pela razão entre a reflectância do infravermelho próximo e o vermelho, e o *NDVI* (*Normalized Difference Vegetation Index*), obtido pela razão entre a diferença e a soma das reflectâncias do infravermelho próximo e do vermelho, são bastante sensíveis a variações de umidade da superfície, sendo o *NDVI* menos sensível à influência da turbidez atmosférica.

ASSAD et al. (1996) estabeleceu correlações entre a precipitação e o *NDVI*, além de para outros locais em trabalhos anteriores, também para os cerrados brasileiros. Trabalhando com imagens AVHRR/NOAA, para o período de agosto de 1981 a junho de 1991, concluiu que esse índice de vegetação evidencia a lógica espacial da distribuição pluviométrica daquela região estudada.

No presente trabalho, objetivou-se estudar a influência da precipitação na evolução dos índices de vegetação *Ratio* e *NDVI*, visando determinar o parâmetro mais adequado para ser utilizado no monitoramento de estiagem.

2. Material e Métodos

Os registros diários de precipitação correspondentes às estações meteorológicas do Estado de São Paulo, para o mês de fevereiro de 1999, foram obtidos junto ao Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIAGRO) do Instituto Agrônomo (IAC). O CIAGRO coleta e processa informações meteorológicas para aproximadamente 115 estações meteorológicas convencionais, dentre outras automáticas, distribuídas pelo Estado de São Paulo.

Foram utilizadas imagens AVHRR/NOAA-14 diárias, segundo sua disponibilidade, para o mês de fevereiro de 1999. Essas imagens, imagens que cobrem o Brasil e grande parte da América do Sul, integram o banco de dados do Centro de Ensino e Pesquisa em Agricultura (CEPAGRI/UNICAMP).

As imagens AVHRR/NOAA-14 referentes ao período estudado foram convertidas de seu formato original (bruto) para o formato padrão Level-1B. Nesse processo são agregadas à estrutura de cada arquivo imagem, informações de posição. Cada linha de uma imagem formato Level-1B permite o armazenamento de até 51 coordenadas geográficas, valores de latitude e longitude. Essas informações auxiliam em muito o processo de georreferenciamento, uma vez que possibilita sua realização de maneira semi-automática.

A partir da conversão de formato, todas as demais etapas de processamento das imagens foram realizadas no Sistema ENVI, principalmente por sua capacidade de processar imagens no formato padrão Level-1B.

No ENVI foram feitos os georreferenciamentos semi-automáticos das imagens correspondentes ao período em questão. Para tanto, foram adotados alguns parâmetros de entrada requeridos nesse processo. São eles: 1-) Método de mapeamento: Triangulação de Delanuy; 2-) Número de pontos de controle: 51 pontos por linha por 350 linhas (aproximadamente 10% do total); 3-) Projeção: Latitude/Longitude; 4-) Datum: SAD-69/Brasil; 5-) Limites geográficos: Estado de São Paulo (aproximadamente) - ($54^{\circ}00'00.00''\text{O}$, $43^{\circ}00'00.00''\text{O}$, $18^{\circ}00'00.00''\text{S}$, $26^{\circ}00'00.00''\text{S}$); 6-) Resolução espacial: 1100m.

Foi verificado que todas as imagens produzidas por esse processo apresentaram deslocamentos sistemáticos de posição em nível de imagem. Essa verificação foi feita baseada em uma máscara (layer) de rios e de limites costeiros que foram gerados abrangendo a região de estudo, a partir de informações intrínsecas ao banco de dados do ENVI. Em um primeiro momento procedeu-se a validação dessa máscara, no que se refere a sua precisão cartográfica. Para tanto, efetuou-se a comparação entre suas coordenadas, para alguns pontos pré-selecionados distribuídos aleatoriamente pela área estudada, e as obtidas em cartas topográficas de variadas escalas. Tendo-se encontrado coordenadas coincidentes, ou divergentes no máximo de 15 metros, mesmo quando na sua comparação com cartas na escala 1:50000, o que viabilizou sua utilização no presente trabalho uma vez que cada pixel de uma imagem AVHRR/NOAA possui dimensões de (1100x1100)m.

Foi constatado em muitas imagens desse período um grande percentual de cobertura por nuvens, tendo-se encontrado em alguns dias, imagens abrangendo o Estado de São Paulo totalmente coberto por nuvens. Isso já era esperado uma vez que esse estudo foi realizado durante o verão, período em que as precipitações no Brasil ocorrem, tipicamente, em consequência de nuvens formadas no final de tarde quando também são geradas as imagens correspondentes ao sensor NOAA-14. Nos casos de cobertura total foi necessário o descarte das imagens correspondentes.

A excessiva presença de ruídos, como também, imagens muito distorcidas em função de grandes ângulos de visada do sensor durante o imageamento, o que gera imagens abrangendo apenas uma pequena parte do Estado de São Paulo, foram outros motivos que ocasionaram o descarte de imagens. Baseado nesses critérios foram selecionadas 16 imagens correspondentes a 16 dias do mês de fevereiro de 1999 passíveis de serem utilizadas nesse trabalho.

Uma vez que a máscara de rios e limites costeiros apresentou grande precisão cartográfica, aliado ao fato de que muitas das imagens apresentaram um grande percentual de cobertura por nuvens. Foi adotada na correção das distorções de posição sistemática de cada imagem, a realização de um segundo georreferenciamento controlado, baseado na seleção de pontos de controle identificáveis com grande segurança e confiança, tanto nas imagens como na máscara. Esse processo se mostrou bastante eficiente tanto no que se refere ao tempo requerido para sua execução, como também à facilidade com que as operações envolvidas puderam ser executadas no sistema ENVI, pois uma vez sobreposta a máscara às imagens georreferenciadas semi-automaticamente, independentemente do grau de cobertura por nuvens dessas imagens, foi possível em muitos dos casos a seleção de pontos de controle suficientes, em média oito, e com isso a realização de um bom georreferenciamento.

Uma análise cuidadosa após a realização dos georreferenciamentos permitiu averiguar nas imagens, distorções de posição máximas de 2 pixels. Em função disso e pelo fato de que na posição das estações meteorológicas as informações de precipitação (estações de superfície) e as orbitais (radiométricas) seriam comparadas. Julgou-se relevante considerar as informações radiométricas, como a média representativa de uma janela 3x3 pixels com o pixel central da janela coincidindo com a localização provável de cada estação meteorológica nas imagens.

Sendo assim, no sistema ENVI foram geradas janelas de 3x3 pixels, uma para cada estação meteorológica, para extração dos níveis de cinza em cada uma das 16 imagens selecionadas. Essas informações foram extraídas para os canais 1 e 2 do sensor AVHRR/NOAA-14, compreendendo as regiões espectrais do vermelho e infravermelho próximo, respectivamente.

De posse das informações de precipitação e de níveis de cinza, foi possível organizar e estruturar para cada estação em questão, uma tabela contendo: precipitação diária, níveis de cinza médios (16 datas). A partir dos níveis de cinza médios referentes aos canais 1 e 2, foram derivados os índices de vegetação *Ratio* e *NDVI*, visando o acompanhamento de sua evolução (aumento/diminuição) ao longo do período em estudo, como também principalmente, verificar e analisar a influência da precipitação na evolução desses índices. Para tanto, foram gerados gráficos para 8 dentre as 115 estações disponíveis, selecionadas em função da possibilidade de coleta de dados radiométricos, ou seja, estações livres de cobertura por nuvens, em pelo menos de 6 a 9 dentre as 16 imagens disponíveis abrangendo o período estudado. Nesses gráficos foram plotadas as curvas de níveis de cinza para cada canal (1 e 2), e as dos índices *NDVI* e *Ratio*, assim como também, a precipitação diária registrada durante esse período.

3. Resultados Obtidos e Discussão

Nos gráficos das **figuras 1 e 2** apresentados a seguir, representativos das estações meteorológicas de Buritana e Taquarituba, respectivamente, pode se verificar o comportamento dos níveis de cinza, correspondentes aos canais 1 e 2 do sensor AVHRR/NOAA-14, obtidos em 8 datas (imagens livres de cobertura por nuvens na posição das estações), abrangendo o período estudado. Além dessa informação, nesses gráficos também são encontrados os registros diários de precipitação (mm) para o mês de fevereiro de 1999.

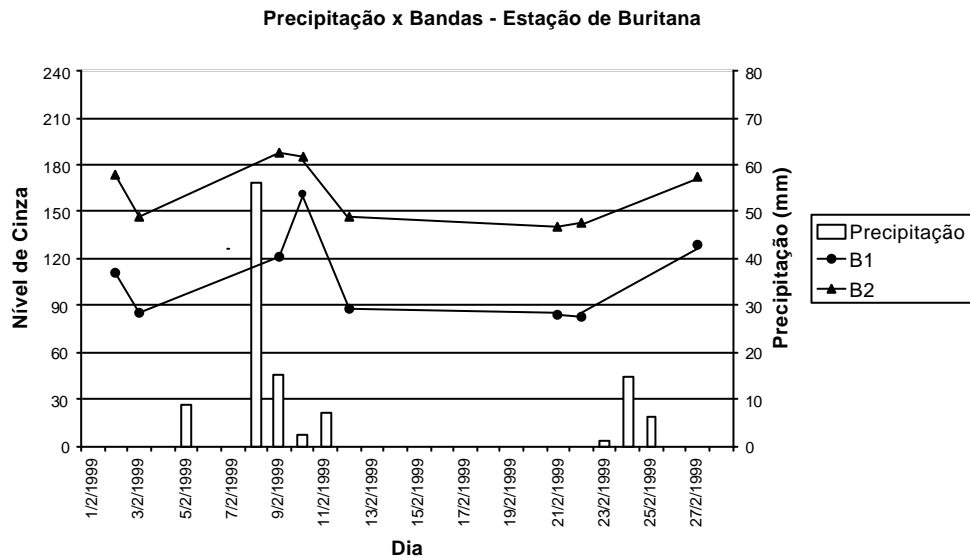


Figura 1: A influência da precipitação na evolução dos níveis de cinza, no mês de fevereiro de 1999, referentes às bandas 1 e 2 do sensor AVHRR/NOAA-14 para a estação de Buritana.

Com base nessas informações, pode ser observado na **figura 1** que as precipitações ocorridas nos dias 05, 08 e 09 influenciaram a elevação dos níveis de cinza de ambos os canais verificada entre os dias 03 e 09, e também entre os dias 09 e 10, assim como a precipitação dos dias 24 e 25 influenciaram a elevação dos níveis de cinza de ambos os canais verificada entre os dias 22 e 27. Entre os dias 12 ao 22, pode ser observado que houve

ocorrências de precipitações o que foi muito bem refletido pelos níveis de cinza, os quais permaneceram praticamente inalterados para ambas as bandas entre os dias 12 e 22.

Precipitação x Bandas - Estação de Taquarituba

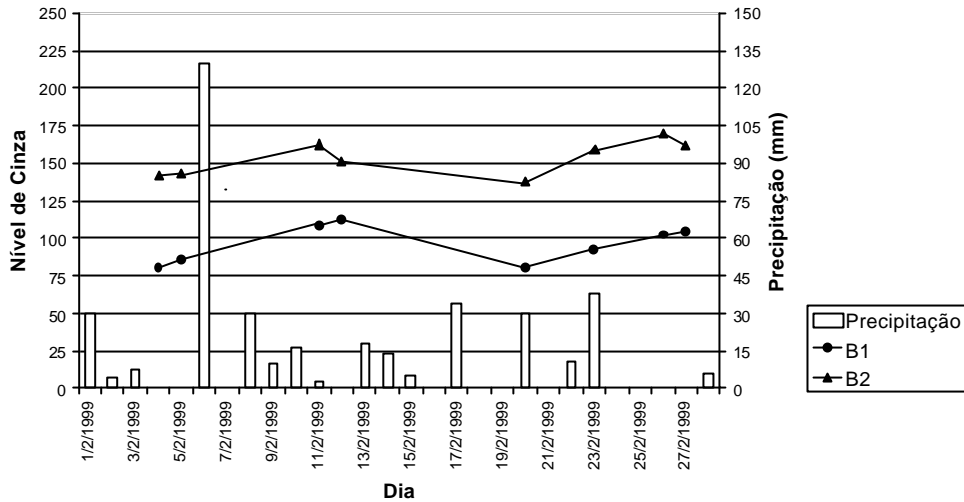


Figura 2: A influência da precipitação na evolução dos níveis de cinza, no mês de fevereiro de 1999, referentes às bandas 1 e 2 do sensor AVHRR/NOAA-14 para a estação de Taquarituba.

Precipitação x NDVI - Estação de Buritana

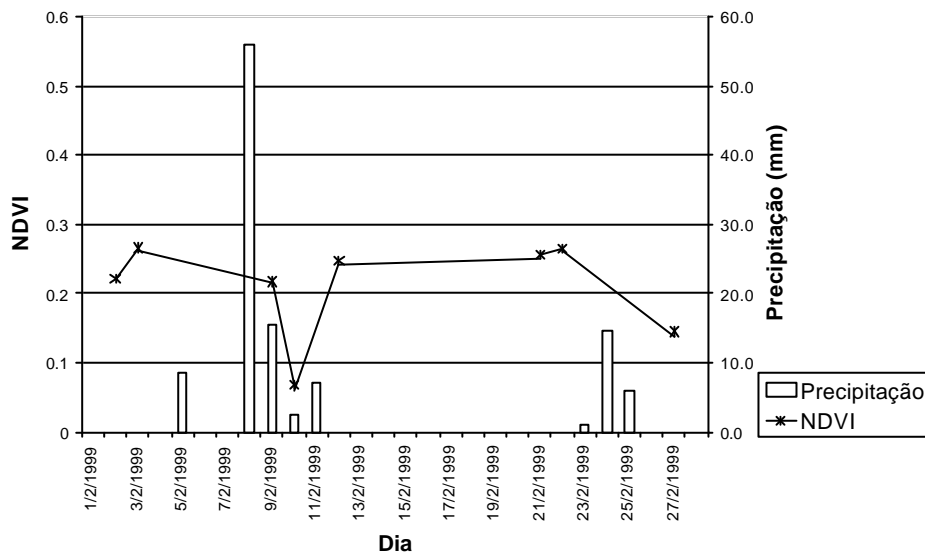


Figura 3: A influência da precipitação na evolução do NDVI, no mês de fevereiro de 1999, para a estação de Buritana.

Já na **figura 2** verifica-se que as precipitações ocorridas nos dias 06, 08, 09 e 10 influenciaram a elevação nos níveis de cinza de ambos os canais verificada entre os dias 05 e 11, e também entre os dias 11 e 12, assim como a precipitação dos dias 20, 22 e 23 influenciaram a elevação dos níveis de cinza de ambos os canais verificada entre os dias 20 e 23, e também entre os dias 23 e 25.

Conforme pode ser observado na **figura 3**, correspondente à estação de Buritana, a ocorrência de precipitações nos dias 05, 08 e 09 acarretaram na diminuição do NDVI verificada entre os dias 03 e 09, e também entre os dias 09 e 10, assim como as precipitações ocorridas nos dias 24 e 25 acarretaram na diminuição do NDVI verificada entre os dias 22 e 27. Entre os dias 12 ao 22, a ausência de precipitações foi muito bem refletida pelo NDVI o qual permaneceu praticamente o mesmo entre os dias 12 e 22.

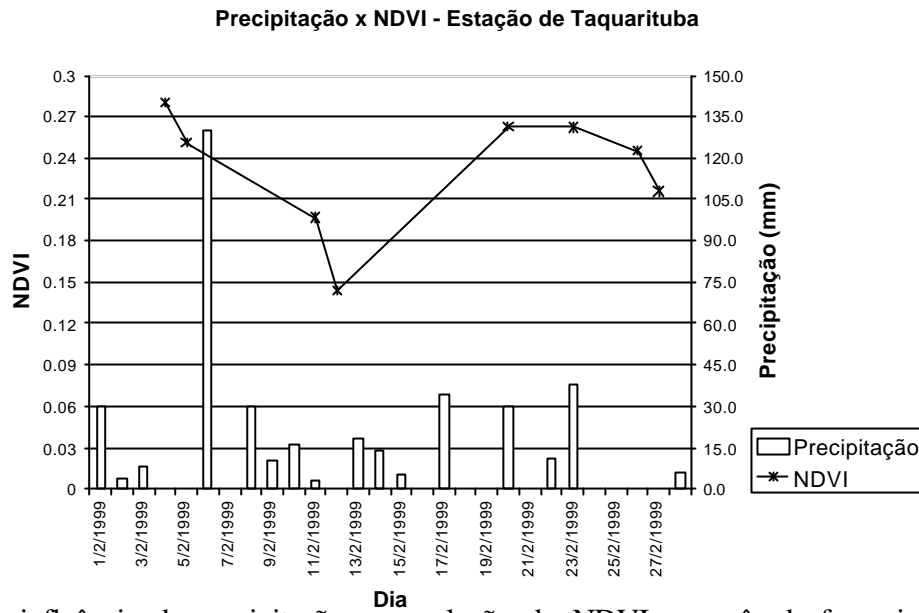


Figura 4: A influência da precipitação na evolução do NDVI, no mês de fevereiro de 1999, para a estação de Taquarituba.

Já no caso da **figura 4** correspondente à estação de Taquarituba, pode ser observado que a ocorrência de precipitações nos dias 06, 08, 09 e 10 acarretaram na diminuição do NDVI verificada entre os dias 05 e 11, e também entre os dias 11 e 12, assim como as precipitações ocorridas nos dias 20, 22 e 23 acarretaram na diminuição do NDVI verificada entre os dias 20 e 23, e também entre os dias 23 e 25, e por último entre os dias 25 e 26.

Na **figura 5**, correspondente à estação de Buritana, da mesma forma que para o NDVI, a ocorrência de precipitações nos dias 05, 08 e 09 influenciaram na diminuição do Ratio verificada entre os dias 03 e 09, e também entre os dias 09 e 10. Assim como, as precipitações ocorridas nos dias 24 e 25 influenciaram na diminuição do Ratio verificada entre os dias 22 e 27. Entre os dias 12 ao 22, o fato do Ratio ter permanecido praticamente inalterado reflete a ausência de precipitações nesse período.

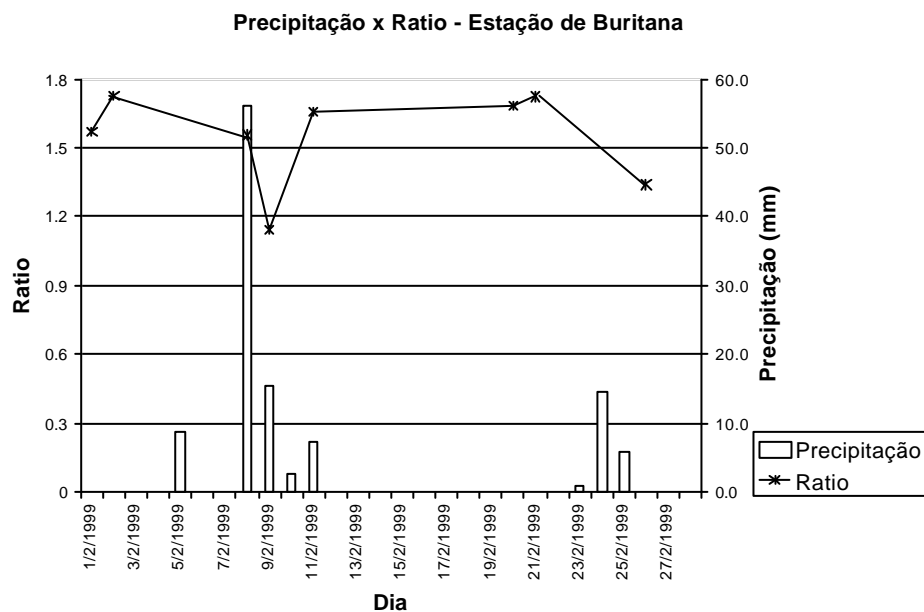


Figura 5: A influência da precipitação na evolução do Ratio, no mês de fevereiro de 1999, para a estação de Buritana.

Já no caso da **figura 6**, que corresponde à estação de Taquarituba, observa-se que as precipitações ocorridas nos dias 06, 08, 09 e 10, assim como para o NDVI, influenciaram na diminuição do Ratio verificada entre os dias 05 e 11, e também entre os dias 11 e 12. Assim como, as precipitações ocorridas nos dias 20, 22 e 23 influenciaram na diminuição do Ratio verificada entre os dias 20 e 23, também entre os dias 23 e 25.

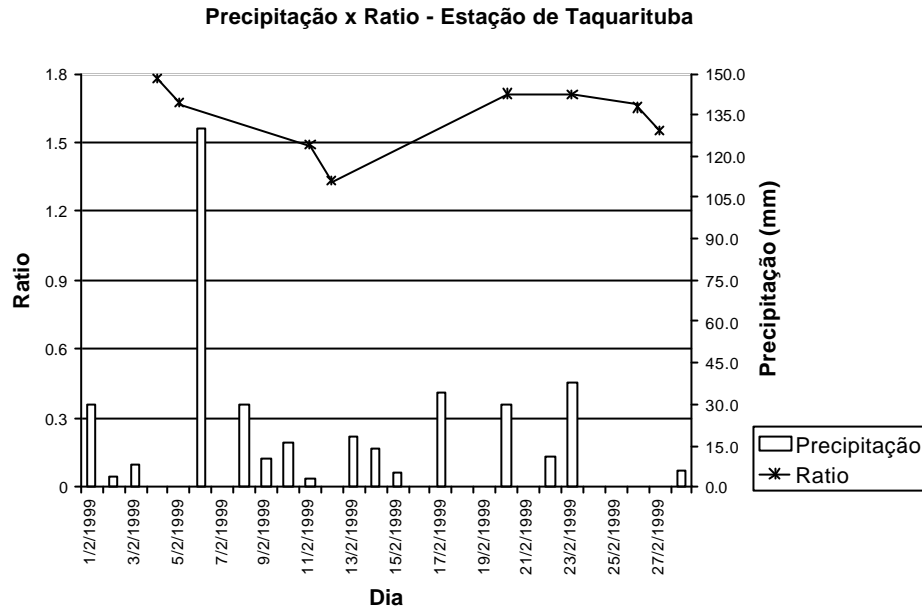


Figura 6: A influência da precipitação na evolução do Ratio, no mês de fevereiro de 1999, para a estação de Taquarituba.

Verifica-se na **figura 7** apresentada a seguir, correspondente a estação de Buritana, pela evolução dos níveis de cinza, referentes as bandas 1 e 2, ao longo do período estudado, que a banda 1 em relação a 2, se mostrou sensivelmente mais influenciada pelas precipitações ocorridas. Quanto aos índices NDVI e Ratio, uma vez considerados na mesma escala conforme na **figura 7**, o Ratio mostrou-se mais sensível a influência das precipitações. As conclusões anteriores acerca da sensibilidade das bandas, assim como dos índices, podem ser

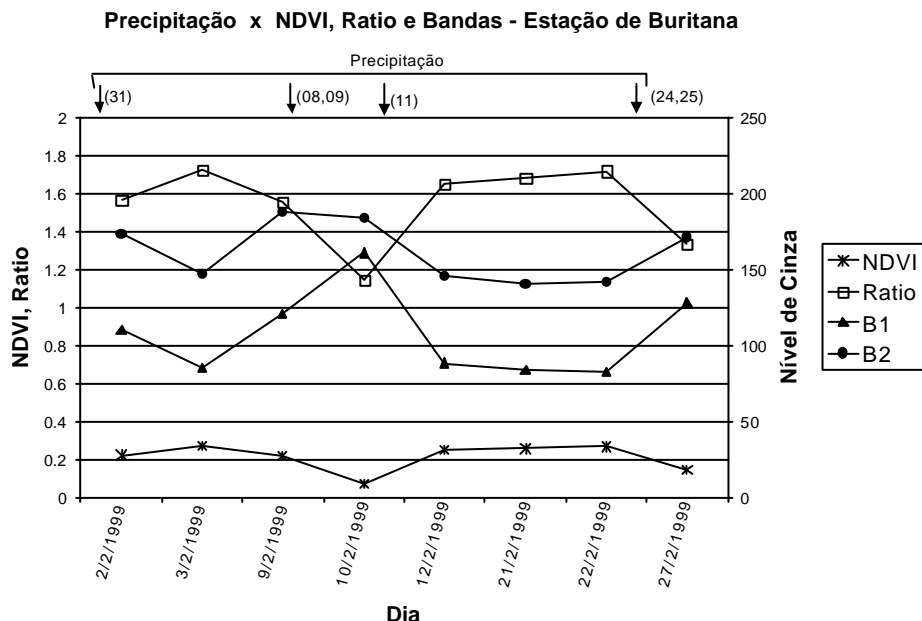


Figura 7: Sensibilidade dos índices NDVI e Ratio, e também das bandas 1 e 2, à influência da precipitação, no mês de fevereiro de 1999, para a estação meteorológica de Buritana.

atestadas analisando suas alterações, registradas entre os dias 9 e 10, devidas as precipitações ocorridas nos dias 08 e 09, aumento no caso das bandas, maior para a banda 1 do que para a 2 e diminuição no caso dos índices, maior para o Ratio do que para o NDVI. Assim como também, analisando suas alterações, registradas entre os dias 22 e 27, devidas as precipitações ocorridas nos dias 24 e 25, aumento no caso das bandas, maior para a banda 1 do que para a 2 e diminuição no caso dos índices, maior para o Ratio do que para o NDVI.

Já na **figura 8** apresentada a seguir, que corresponde a estação de Taquarituba, verifica-se um comportamento em parte diferente, no que se refere às bandas, do caso da estação de Buritana, pois nesse caso, os registros das bandas entre os dias 23 e 26, influenciados pelas precipitações ocorridas nos dias 22 e 23, indicaram que a banda 2 se mostrou ligeiramente mais sensível a influência dessas precipitações, assim como os registros das bandas entre os dias 11 e 12, influenciados pelas precipitações ocorridas nos dias 08, 09 e 10, indicaram que a banda 2 se mostrou ligeiramente mais sensível a influência dessas precipitações. Entre os dias 11 e 12, exclusivamente foi observado uma diminuição dos registros da banda 2, e como era de se esperar baseado nos outros resultados um aumento dos registros da banda 1. Porém, os registros das bandas entre os dias 05 e 11, influenciados pelas precipitações ocorridas nos dias 06, 08, 09 e 10, indicaram a banda 1, ainda que ligeiramente, como mais sensível a influência dessas precipitações, da mesma forma como para o caso da estação de Buritana. Quanto aos índices, o comportamento para as duas estações foi similar, ou seja, o índice Ratio em relação ao NDVI, mostrou-se mais sensível a influência das precipitações. O que pode ser atestado analisando suas alterações, registradas entre os dias 05 e 11, e também entre os dias 11 e 12, devidas as precipitações ocorridas nos dias 06, 08, 09 e 10, pela diminuição dos índices, maior para o Ratio do que para o NDVI. Assim como também, analisando suas alterações, registradas entre os dias 23 e 26, devidas as precipitações ocorridas nos dias 22 e 23, pela diminuição dos índices, maior para o Ratio do que para o NDVI.

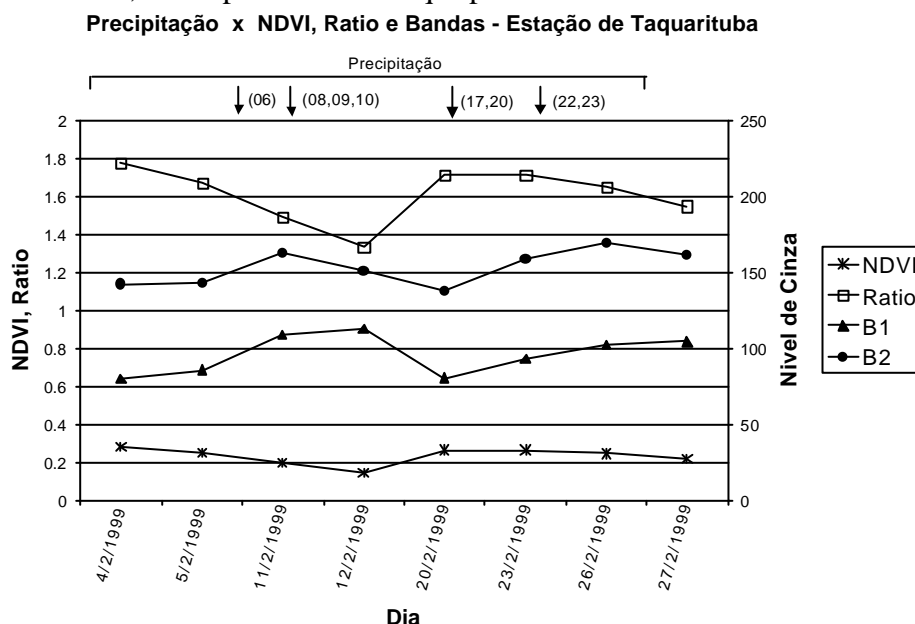


Figura 8: Sensibilidade dos índices NDVI e Ratio, e também das bandas 1 e 2, à influência da precipitação, no mês de fevereiro de 1999, para a estação meteorológica de Taquarituba.

4. Conclusões

Foi possível a partir de imagens AVHRR/NOAA-14 sequenciais, acompanhar a evolução temporal dos registros das bandas 1 e 2, e conseqüentemente dos índices Ratio e NDVI,

derivados a partir dessas, e com isso, verificar a influência da ocorrência de precipitações nessa evolução.

Na maior parte dos casos foi verificado que a banda 1 em relação a 2, mostrou-se mais sensível à influência das precipitações ocorridas no período estudado.

Para todas as situações, foi verificado que o índice Ratio em relação ao NDVI, mostrou-se mais sensível à influência das precipitações ocorridas no período estudado. Pode-se afirmar que pelo acompanhamento da evolução dos índices Ratio e NDVI, derivados do sensor AVHRR/NOAA-14, foi possível detectar a ocorrência de precipitações superiores a 10 mm, desde que ocorridas entre imagens disponíveis não muito distantes no tempo (dias).

Referências Bibliográficas

- Adler, R.F.; Negri, A.J. "A satellite Infrared Technique to Estimate Tropical Convective and Stratiform Rainfall", *J. of Climate Applied Meteorology*, **27**(1), p.30-51, 1988.
- 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", *VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, CD-ROM, Salvador-BA, 1996.
- Brunini, O.; Pinto, H. S.; Zullo Jr, J. "Uso do SPI para Avaliação dos Períodos de Seca no Estado de São Paulo", *XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, 1, p.251-252, Fortaleza-CE, 2001.
- Cavalcanti, E. P.; Ceballos, J.C.; Valadão, C. E. A. "Análise de Textura em Imagens METEOSAT Visando Aplicação da Técnica CST", *VII Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 1, p.117-121, São Paulo, 1992.
- Jackson, R.D.; Slater, P. N.; Pinter Jr, P. J. "Discrimination of Growth and Water Stress in Wheat by Various Vegetation Indices Through Clear and Turbid Atmospheres", *Remote Sensing of Environment*, New York, NY, **13**, p.187-208, 1983.
- Liou, K.N.; Ou, S.C.; Takano, Y. "Remote Sounding of the Tropical Cirrus Cloud Temperature and Optical Depth Using 6.5 and 10.5 μm Radiometers During STEP", *Journal of Climate Applied Meteorology*. **29**(8), p.716-726, 1990.
- Prabhakara, C.; Yoo, J.M.; Daw, G. "Deep Optically Thin Cirrus Clouds in the Polar Regions. Part I: Infrared Extinction Characteristics". *Journal of Climate Applied Meteorology*, **29** (12), p.1313-1329, 1990.