

AVALIAÇÃO DE ÁREAS QUEIMADAS A PARTIR DE ÍNDICES ESPECTRAIS DERIVADOS DE DADOS ORBITAIS

Gabriel PEREIRA¹

Francielle da Silva CARDOZO²

Egídio ARAI¹

Elisabete Caria MORAES¹

Nelson Jesus FERREIRA¹

Saulo Ribeiro de FREITAS³

Resumo

O objetivo desta pesquisa foi avaliar e mapear as áreas de queimadas através de três diferentes índices multiespectrais extraídos de imagens orbitais. Foram utilizadas imagens do sensor TM/Landsat 5 para 3 biomas brasileiros diferentes, correspondentes à floresta amazônica, ao pantanal e à vegetação de restinga, em Ji-Paraná (RO), Passo do Lontra (MS) e Parque Estadual Serra do Tabuleiro (SC), respectivamente. Analisou-se a variação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e dos Índices de Queimada Normalizados (NDBR e NDBR2.5) de uma cena antes e depois da ocorrência da queima de biomassa. Além disto, a imagem resultante da diferença entre as imagens de duas datas distintas foi segmentada e classificada utilizando o algoritmo ISOSEG e comparada com as estimativas de área calculada. Os índices de variação pré e pós queimada, denominados de DNDVI, DNDBR e DNDBR2.5 apresentaram resultados satisfatórios, porém, a melhor distinção entre a área queimada e as áreas adjacentes foram diagnosticadas pelo DNDBR2.5, com os valores médios na área queimada variando de -0,27 a -0,10 e os valores de vizinhança variando de -0,01 a 0,02. Na classificação não-supervisionada da área queimada o melhor resultado foi obtido pelo DNDBR2.5, que em média subestimou as áreas queimadas em 33% e apresentou um erro na detecção médio de 20%.

Palavras-chave: Queimadas. Impactos ambientais. Índices multiespectrais.

Abstract

Burnt areas assessments using multispectral indices derived from satellite data

The objective of this work is the evaluation of three different multispectral indices derived from environmental orbital satellites. Were used TM/Landsat 5 images for 3 different vegetation types, corresponding to Amazon Forest, to Pantanal and to Atlantic Coast restingas, in Ji-Paraná (RO), in Passo do Lontra (MS) and in Serra do Tabuleiro State Park (SC), respectively. The analysis was done using the delta Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the delta Normalized Burnt Ratio (NDBR and NDBR2.5) from two images, one with a pre-burnt area and the other one with the burnt area. The DNDVI, DNDBR and DNDBR2.5 indices presents a satisfactory result in mapping the burnt area, the best distinction between the burnt area and the adjacent areas was made by DNDBR2.5 where the background had values between -0,01 and 0,02 while burnt area had 0,27 and -0,14 values. In the case of non-supervised classification of burnt area the best result was obtained through DNDBR2.5 index, with an average underestimated area of 33% and a detection error of 20%.

Key words: Biomass burning. Environmental impacts. Multispectral indices.

¹ Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil. E-mail: {gabriel, nelson, bete}@dsr.inpe.br.

² Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Universitário Trindade, Caixa Postal 476 - 88040 - 970 - Florianópolis - SC, Brasil. E-mail: franciellecardozo@yahoo.com.br.

³ Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Rodovia Presidente Dutra, Km 40, SP-RJ 12630-000 - Cachoeira Paulista - SP - Brasil. E-mail: sfreitas@cptec.inpe.br.

INTRODUÇÃO

Há evidência da existência de detritos de combustões de biomassa desde a Era Mesozóica, pois fósseis encontrados em sedimentos marinhos e terrestres; em hidrocarbonetos aromáticos cíclicos; e em vegetações carbonizadas que remotam ao período Jurássico e Cretáceo indicam a presença de paleofogos intrínsecos às ações naturais (GLASSPOOL et al., 2004; FINKELSTEIN et al., 2006; BERNER et al., 2003; SCOTT, 2000; FINKELSTEIN, 2004).

Atualmente, estima-se que cerca de 90% das queimadas são de origem antropogênica (ANDREAE, 1991). Frequentes em todas as regiões do mundo as queimadas consomem grandes quantidades de biomassa e liberam enormes quantidades de gases traços e aerossóis para a atmosfera (ANDREAE; MERLET, 2001). A queima de biomassa, além de ser considerada uma das maiores fontes destes gases e de aerossóis troposféricos, modifica as características da superfície terrestre e, conseqüentemente, afeta o clima (MORAES et al., 2004). Os principais gases do efeito estufa liberados na queima de biomassa são o dióxido de carbono (CO_2), o vapor d'água (H_2O), o metano (CH_4), o dióxido de nitrogênio (NO_2), além de liberar gases reativos como o monóxido de carbono (CO), o monóxido de nitrogênio (NO) e o cloreto de metil (CH_3Cl) (BADARINATH et al., 2004; SETZER; PEREIRA, 1990; KAUFMAN et al., 1992).

No Brasil as queimadas são utilizadas principalmente para a renovação de pastos em regiões agropecuárias, transformação de florestas tropicais em áreas agrícolas e em áreas de pastos, entre outras. Os impactos ambientais provocados por estas ações são muitos e variados. Estudos feitos por Ichoku e Kaufman (2005), Andrae et al. (2004), Silva e Silva (2006), e Kaufman et al. (1998) indicam que os principais impactos ambientais incluem aqueles ocasionados pela energia liberada pelo fogo, pelos gases traços emitidos para a atmosfera, pela alteração da reflectância espectral da superfície, pelas modificações no balanço radiativo da superfície e da atmosfera e pelas alterações nos ciclos hidrológicos ocasionados principalmente pelos aerossóis. Além disso, provoca o agravamento de problemas de saúde nas populações situadas próximas as áreas de incidência de queimadas e a diminuição ou exaustão dos recursos bioquímicos dos solos.

No estudo de queimadas, as informações obtidas pelos satélites possuem uma série de interferências que são intrínsecas aos processos de aquisição da imagem, entre elas pode-se destacar a interação da radiação eletromagnética (REM) com os gases radiativamente ativos presentes na atmosfera, a fonte de radiação, a contaminação das informações pelos pixels adjacentes, entre outros. Para tentar minimizar essas interferências, a reflectância *in band* dos canais do satélite (r_{bi}) são combinadas, originando diferentes índices, como por exemplo, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), o Índice de Queimada Normalizada (NDBR e o NDBR2.5).

O presente trabalho tem como objetivo principal a análise e mapeamento da área queimada através de índices oriundos de imagens provenientes do sensor TM (*Thematic Mapper*) a bordo do satélite Landsat-5. Neste estudo foram selecionadas 3 áreas distintas, que representam diferentes formações vegetais: área de restinga no Parque Estadual da Serra do Tabuleiro, localizado no Estado de Santa Catarina; cerrado em Passo do Lontra localizado no Mato Grosso do Sul; e floresta amazônica em Jí-Paraná no Estado de Rondônia.

LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

Para a análise das variações dos índices (NDVI, NDBR e NDBR2.5) e mapeamento da área queimada, foram selecionadas 3 áreas distintas e em diferentes datas: Parque Estadual da Serra do Tabuleiro localizado em Santa Catarina (SC) nas datas 30 de agosto de 2004 e 21 de novembro de 2005, Passo do Lontra em Mato Grosso do Sul (MS) nas

datas 28 de setembro de 1999 e 30 de setembro de 2000 e Ji-Paraná em Rondônia (RO) nas datas 26 de junho de 1993 e 28 de julho de 1993. Estas áreas de estudo encontram-se destacadas na Figura 1.

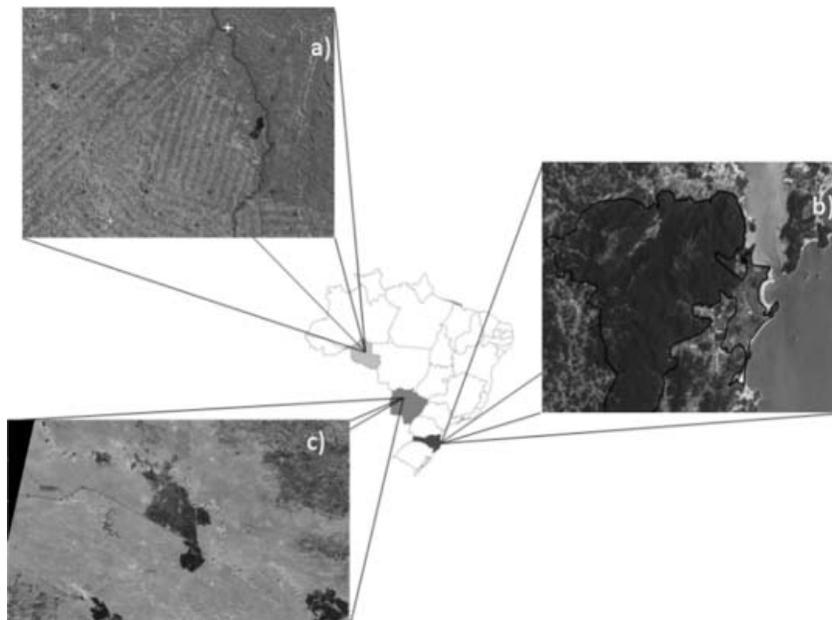


Figura 1 - Imagens do Satélite Landsat 5: a) Ji-Paraná (RO); b) Parque Estadual da Serra do Tabuleiro (SC); c) Passo do Lontra (MS)

O Parque Estadual da Serra do Tabuleiro está inserido dentro do domínio geomorfológico Serras do Leste Catarinense, se estendendo na direção Nordeste – Sudoeste. É caracterizado por uma seqüência de serras com disposição subparalela, intensa dissecação, vales profundos com encostas íngremes, sulcadas e separadas por cristas bem marcadas, possuindo pontos altimétricos com mais de 1.200 metros (MAIA, 2006). A cobertura vegetal agrega grande parte da diversidade da Mata Atlântica, sendo que dentro do parque existem cinco tipos de vegetação: Restinga Litorânea, Floresta Atlântica (Floresta Ombrófila Densa), Mata de Araucária (Floresta Ombrófila Mista), Vegetação dos Campos de Altitude e Manguezal. Segundo Rosário (2003), “em todo este sistema paisagístico estão contidos, sem dúvida, habitats importantes para a preservação das espécies raras e endêmicas da floresta Atlântica” e há nesta região aproximadamente 2.250 espécies.

Na região de Passo do Lontra (MS) predomina a vegetação de cerrado, bioma brasileiro caracterizado por possuir formações vegetais que variam de campos abertos até florestas densas que podem atingir 30 metros de altura. A vegetação pode ser estruturada em 5 tipos principais: Cerradão - caracterizado pela formação arbórea com espécies que ocorrem no cerrado e em florestas tropicais; Cerrado *sensu stricto* – composto por uma camada arbórea, com presença de arvoredos, com ramificações irregulares e distorcidas, e gramíneas; Campo Cerrado – vegetação arbóreo-arbustiva com presença de árvores que podem alcançar de 2 a 3 metros; Campo Sujo – composta basicamente por vegetação herbáceo-arbustiva; e Campo Limpo – predominantemente vegetação herbácea com uma presença muito pequena de arbustos (EITEN, 2001).

A região de Ji-Paraná (RO), inserida na Bacia Amazônica, apresenta uma grande modificação nos padrões de uso e ocupação do solo devido à intensa ação antrópica. A cobertura vegetal é caracterizada pela formação de Floresta Tropical Aberta, com a ocorrência de palmeiras sobre o relevo ondulado, sendo comum encontrar áreas com vegetação secundária (capoeiras e florestas parcialmente exploradas), resultante do processo de desmatamento (ANDRADE et al., 1998). A região possui um clima subequatorial caracterizado por temperaturas e umidades altas ao longo do ano, apesar de apresentar as variações sazonais que caracterizam o período úmido e seco (TARASOVA et al. 2000). A vegetação é composta por árvores altas que apresentam folhagem permanente. A altura média das árvores é de 33 metros, entre as espécies presentes, pode-se citar a *Cedrella odorata*, *Inga sp.*, *Dioclea cf bicolor Bth.*, *Strychnos amazonicus Krukoff*, *Protium polybotrium* e *Leonia glyxicarpa Ruiz* (ROBERTS et al., 1996; MARQUES FILHO; DALLAROSA, 2001).

METODOLOGIA

Foram utilizadas imagens do sensor *Thematic Mapper* (TM) do satélite Landsat-5. Este sensor possui uma resolução espacial nominal de 30 metros e capta informações espectrais em 7 bandas (três bandas no espectro visível, uma no infravermelho próximo, duas no infravermelho médio e uma no infravermelho distante), todas com resolução radiométrica de 8 bits e resolução temporal de 16 dias.

Para minimizar os efeitos atmosféricos no sinal captado pelo sensor utilizou-se o modelo de transferência radiativa 6S (*Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum*), assumindo como principais efeitos atmosféricos a absorção e o espalhamento da radiação eletromagnética (REM) pelos gases radiativamente ativos (VERMOTE, 1997). Aplicou-se o modelo de transferência radiativa na correção atmosférica das imagens da: a) região de Ji-Paraná (RO) do dia 23/06/1995, na qual foi utilizado a visibilidade atmosférica de 50 km, o modelo de aerossóis continental e o padrão de atmosfera tropical; b) região do Parque Estadual da Serra do Tabuleiro (SC) do dia 21/11/2005, na qual utilizou-se a visibilidade atmosférica de 70 km, o modelo de aerossóis marítimo e o padrão de atmosfera tropical; e c) região do Passo do Lontra (MS) do dia 12/09/1999, onde utilizou-se a visibilidade atmosférica de 70 km, o modelo de aerossóis continental e o padrão de atmosfera tropical. Estas imagens foram adotadas como base para a normalização radiométrica dos dados.

A comparação temporal de dados de séries radiométricas para se obter a caracterização espectral de diferentes alvos fundamenta-se na compatibilidade radiométrica dos dados coletados ao longo do tempo, como idealizada por Hall et al. (1991), Elvidge et al. (1995) ou por Canty et al. (2004). Nesses procedimentos de normalização, recomenda-se que a imagem eleita como referência seja submetida à correção atmosférica, preferencialmente mediante a aplicação de modelos de transferência radiativa e as demais imagens defasadas temporalmente desta referência sejam então normalizadas em relação a ela. As imagens normalizadas em relação à base foram: a) 26/06/1995 e 28/07/1995 (Ji-Paraná – RO); b) 30/08/2004 (Parque Estadual da Serra do Tabuleiro – SC); e c) 28/09/1999 e 30/09/2000 (Passo do Lontra – MS).

Após os procedimentos de correção atmosférica e normalização radiométrica dos dados prosseguiu-se com a geração e análise das variações dos índices NDVI, NDBR e NDBR2.5. O NDVI é utilizado para medir o vigor vegetativo e monitorar a cobertura de uma dada superfície a partir das informações espectrais obtidas pelos satélites (Rouse et al., 1974). A variação do NDVI é calculada pela seguinte fórmula:

$$\Delta NDVI = \left[\left(\frac{\rho_{b4} - \rho_{b3}}{\rho_{b4} + \rho_{b3}} \right)_{pre} - \left(\frac{\rho_{b4} - \rho_{b3}}{\rho_{b4} + \rho_{b3}} \right)_{pos} \right] \quad (1)$$

onde ρ_{b4} e ρ_{b3} representam as reflectâncias nas banda 4 (infravermelho próximo) e na banda 3 (vermelho) do sensor TM/Landsat-5, respectivamente. **Pre e pos** significam, respectivamente, as imagens anteriores e posteriores ao episódio de queimada.

O NDBR foi desenvolvido para mapear áreas queimadas por Koutsias e Karteris (1998), porém, foram Key e Benson (1999) que deram nome ao índice e desenvolveram a análise multitemporal do mesmo. Este índice utiliza a banda 4 e a banda 7, as quais apresentam o melhor contraste entre uma vegetação saudável fotossinteticamente e uma vegetação queimada (Howard et al., 2002) e em situações de incêndio verifica-se aumento na reflectância da banda 7 e diminuição da reflectância da banda 4. Este índice é extraído através da seguinte fórmulação:

$$\Delta NDBR = \left[\left(\frac{\rho_{b4} - \rho_{b7}}{\rho_{b4} + \rho_{b7}} \right)_{pre} - \left(\frac{\rho_{b4} - \rho_{b7}}{\rho_{b4} + \rho_{b7}} \right)_{pos} \right] \quad (2)$$

onde ρ_{b4} e ρ_{b7} representam a banda 4 e banda 7 do sensor TM/Landsat-5, respectivamente.

O $\Delta NDBR2.5$ também foi desenvolvido para mapear áreas queimadas, semelhante ao $\Delta NDBR$, este índice pode ser expresso por:

$$\Delta NDBR2.5 = \left[\left(\frac{2.5 + \rho_{b4} - \rho_{b3} - (\rho_{b7} \cdot 2)}{\rho_{b4} - \rho_{b3} - (\rho_{b7} \cdot 2)} \right)_{pre} - \left(\frac{2.5 + \rho_{b4} - \rho_{b3} - (\rho_{b7} \cdot 2)}{\rho_{b4} - \rho_{b3} - (\rho_{b7} \cdot 2)} \right)_{pos} \right] \quad (3)$$

onde ρ_{b3} , ρ_{b4} e ρ_{b7} representam a banda 3, banda 4 e banda 7 do sensor TM/Landsat 5, respectivamente.

O mapeamento da área queimada, considerada como verdade terrestre, foi obtido a partir da edição vetorial da imagem base e realizada através da interpretação visual. A classificação das imagens índices provenientes das equações (1), (2) e (3) foi realizada em duas etapas: segmentação da imagem, resultando numa imagem particionada em regiões relacionadas a um conjunto de elementos da cena da imagem (*pixels*) contíguos uniformes em relação a um dado atributo. Após a segmentação utilizou-se o classificador não-supervisionado ISOSEG, aplicado sobre o conjunto de regiões da imagem segmentada. Neste classificador a medida de similaridade é denominada como distância de Mahalanobis e utiliza medidas de média e da matriz de covariância das regiões para a classificação das áreas da imagem.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 2 mostra a variação dos índices Δ NDVI, Δ NDBR e Δ NDBR2.5 para a região de Ji-Paraná. Percebe-se que os índices apresentam características distintas, pois utilizam informações espectrais diferentes. Entre eles, o Δ NDBR2.5 proporciona a maior homogeneidade, com valores distintos entre a área queimada e as áreas adjacentes, o que permite, desta forma, separar com maior facilidade a área de interesse. Contudo, na análise dos índices Δ NDVI e Δ NDBR observa-se que algumas áreas detectadas como não-queimada apresentaram valores semelhantes ao da área queimada, dentre estas destacam-se as áreas de solo exposto, o que causou erro na determinação da área queimada.

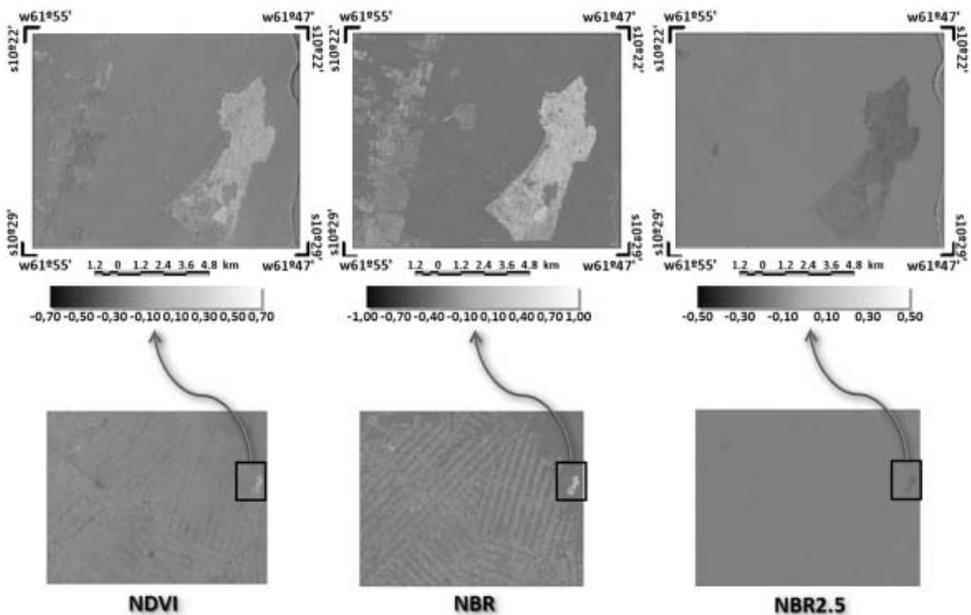


Figura 2 - Δ NDVI, Δ NDBR e Δ NDBR2.5 para Ji-Paraná

A figura 3 mostra a classificação da área queimada gerada pelo algoritmo ISOSEG utilizando as imagens de Δ NDVI (a), Δ NDBR (b) e Δ NDBR2.5 (c) e a área classificada como verdade terrestre (d) a partir da edição vetorial manual, estimada em aproximadamente 23,5 km². As áreas queimadas estimadas a partir dos índices Δ NDVI, Δ NDBR e Δ NDBR2.5 foram, respectivamente, 26,57 km², 39,61 km² e 19,76 km². Entretanto, destas áreas, o total de acertos foi de apenas 16,78 km², 21,48 km² e 16,90 km², representando um erro de aproximadamente 37% para o Δ NDVI, 46% para o Δ NDBR e 15% para o Δ NDBR2.5. Nota-se que o menor percentual de erro na classificação de áreas queimadas foi obtido pelo Δ NDBR2.5, porém, com uma subestimativa de aproximadamente 28% sobre a área total queimada.

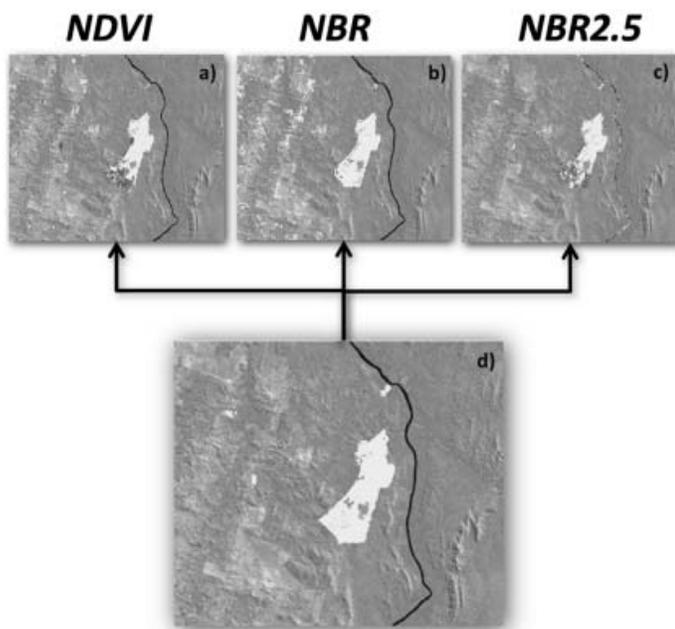


Figura 3 - Classificação da área queimada para os índices Δ NDVI, Δ NDBR e Δ NDBR2.5

A figura 4 mostra os índices Δ NDVI, Δ NDBR e Δ NDBR2.5 para a região da Praia da Pinheira (SC), inserida dentro do Parque Estadual da Serra do Tabuleiro. Nos três casos estudados, o índice que apresentou a melhor distinção entre a área queimada e as áreas adjacentes foi o Δ NDBR2.5, cujos valores médios da área queimada ficaram entre -0,27 e -0,14, enquanto que as áreas não-queimadas ficaram entre -0,01 e 0,02. O índice Δ NDBR apresentou uma boa caracterização da área queimada, que variou de 0,26 a 0,53, porém, algumas áreas apresentaram valores semelhantes a estas áreas, principalmente áreas de cultivo de arroz. O Δ NDVI apresentou resultados satisfatórios na análise de áreas queimadas, cujos valores variaram de 0,12 a 0,22, porém os valores de solo exposto foram muito próximos dos valores de áreas queimadas.

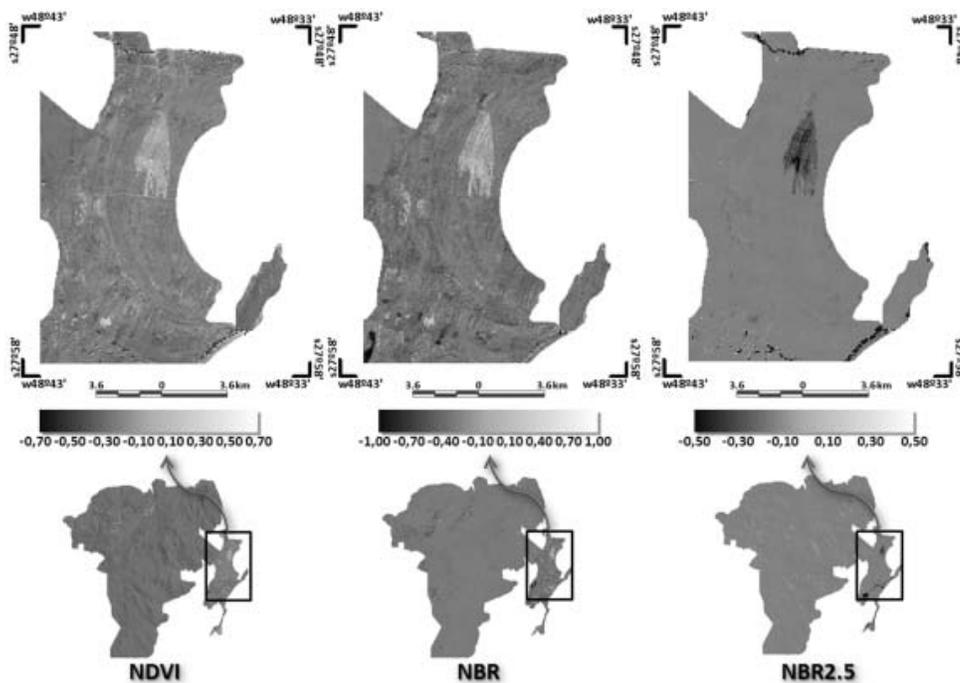


Figura 4 - Δ NDVI, Δ NDBR e Δ NDBR2.5 para o Parque Estadual da Serra do Tabuleiro

A figura 5 mostra a classificação da área queimada utilizando as imagens de Δ NDVI (a), Δ NDBR (b) e Δ NDBR2.5 (c) e a área classificada como verdade terrestre (d) estimada em aproximadamente 2,00 km². As áreas queimadas estimadas a partir dos índices Δ NDVI, Δ NDBR e Δ NDBR2.5 foram 8,40 km², 2,08 km² e 1,55 km², respectivamente. Porém, os totais de áreas que foram estimadas corretamente como queimadas pelos índices Δ NDVI, Δ NDBR e Δ NDBR2.5 apresentaram os valores de 1,71 km², 1,37 km² e 1,32 km², representando um erro de aproximadamente 80% para o Δ NDVI, 34% para o Δ NDBR e 15% para o Δ NDBR2.5. O menor percentual de erro foi obtido através da estimativa de área obtida pelo Δ NDBR2.5, que subestimou a área queimada em aproximadamente 34%.

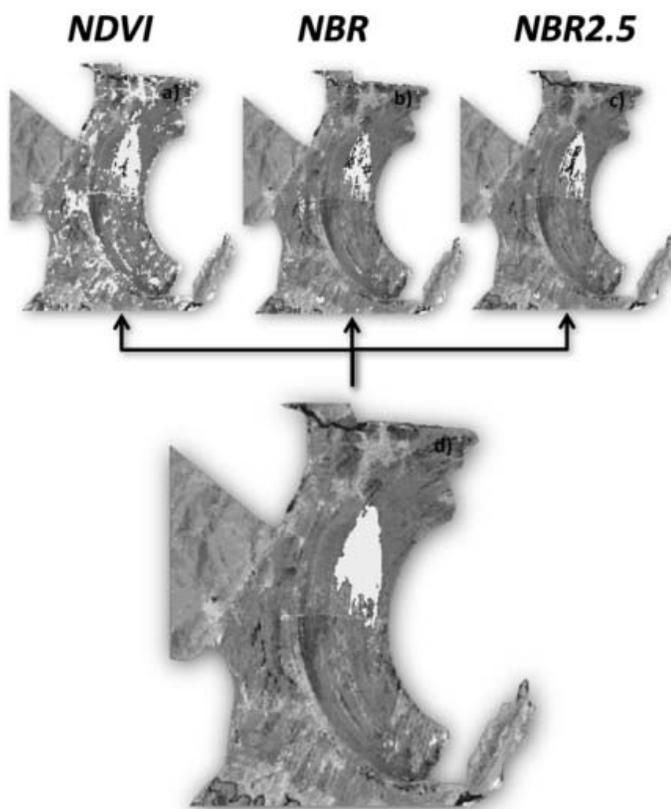


Figura 5 - Classificação de área queimada para os índices Δ NDVI, Δ NDBR e Δ NDBR2.5

A figura 6 apresenta os índices Δ NDVI, Δ NDBR e Δ NDBR2.5 para a região de Passo do Lontra (MS). Praticamente os comportamentos dos índices foram semelhantes aos demais casos estudados. O Δ NDBR2.5 também mostrou-se mais confiável para a detecção de áreas queimadas, e os índices Δ NDBR e Δ NDVI apresentaram comportamentos intermediários.

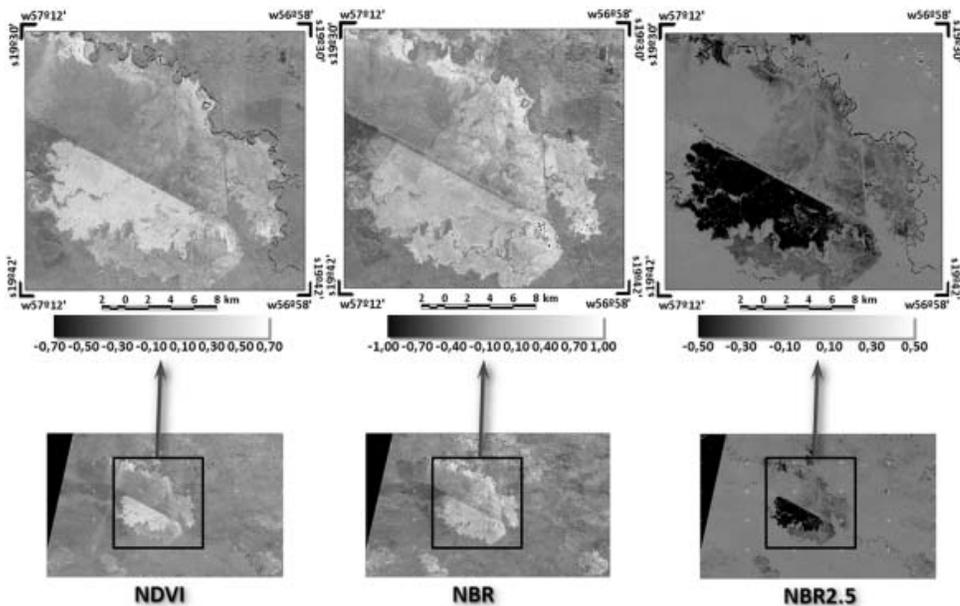


Figura 6 - Δ NDVI, Δ NDBR e Δ NDBR2.5 para Passo do Lontra (MS)

A figura 7 mostra a classificação da área queimada utilizando as imagens de Δ NDVI (a), Δ NDBR (b) e Δ NDBR2.5 (c) e a área classificada como verdade terrestre (d) estimada em aproximadamente 81,07 km². As áreas queimadas estimadas a partir dos índices Δ NDVI, Δ NDBR e Δ NDBR2.5 foram 139,19 km², 604,95 km² e 75,38 km², respectivamente. Porém, o total de áreas queimadas estimadas corretamente foram de 71,65 km², 53,35 km² e 53,45 km², representando um erro de aproximadamente 49% para o Δ NDVI, 1153% para o Δ NDBR e 29% para o Δ NDBR2.5. O menor percentual de erro foi obtido pelo Δ NDBR2.5, que subestimou a área queimada em aproximadamente 34%.

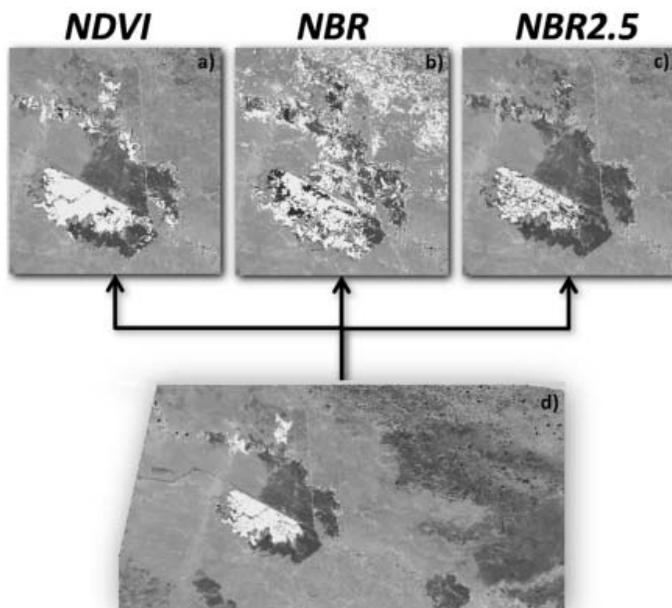


Figura 7 - Classificação da área queimada para os índices Δ NDVI, Δ NDBR e Δ NDBR2.5

Após a análise dos índices em três biomas brasileiros diferentes, percebe-se que o Δ NDBR2.5 apresenta a melhor resposta para isolar as áreas queimadas das áreas adjacentes que não foram expostas ao fogo. Neste índice a hidrografia e, em menor escala, áreas sombreadas foram diagnosticadas como ruídos (com mesmos valores que áreas queimadas ou valores muito distintos dos valores médios das áreas adjacentes). Entre os fatores que caracterizam o ruído, está o posicionamento da área sombreada, que varia de acordo com o ângulo solar e o comportamento espectral da água que varia diariamente.

Na análise do Δ NDBR verificou-se que diversas áreas não-queimadas apresentaram valores da área queimada, divergindo significativamente do índice Δ NDBR2.5. As principais diferenças entre estes dois índices é devido a utilização de um canal correspondente ao vermelho do espectro eletromagnético (banda 3 do TM/Landsat 5) na obtenção do Δ NDBR2.5. Por último, o Δ NDVI apresenta um bom contraste entre a área queimada e as áreas adjacentes, porém, objetos como estradas e solo exposto possuem valores semelhantes aos da área queimada. A principal diferença deste índice para os demais é o fato de ele utilizar apenas as bandas do vermelho e do infravermelho próximo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de índices derivados a partir de imagens de satélite constitui-se numa importante fonte de informação sobre parâmetros ambientais, inclusive sobre o mapeamento da degradação ambiental causada pelas intensas queimadas que ocorrem no Brasil no período seco.

Os resultados obtidos estão ligados intrinsecamente ao processo de aquisição das imagens, normalização e correção atmosférica. Porém, percebe-se que os valores obtidos para o $\Delta NDBR2.5$, apresentaram o melhor contraste entre as áreas queimadas e não queimadas, além de permitir a geração de máscaras com o intuito de estimar a área queimada e a emissão de gases.

REFERÊNCIAS

- ANDREAE, M. O. Biomass Burning: its history, use, and distribution and its impact on environmental quality and global climate. *In*: Levine, J. S. (Ed.). **Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications**, Cambridge: The MIT Press, p. 2-21, 1991.
- ANDREAE, M. O.; MERLET, P. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning, **Global Biogeochem. Cycles**, v. 15, p. 955-966, 2001.
- ANDREAE, M. et al. Smoking rain clouds over the Amazon, **Science**, v. 303, p. 1342-1345, 2004.
- ANDRADE, N.S. O. et al. Estudo da dinâmica da cobertura vegetal e uso da terra na região de JI-Paraná/RO. São José dos Campos: **INPE**. 1998. 10p.
- BADARINATH, K. V. S. et al. Characterization of aerosols from biomass burning – a case study from Mizoram (Northeast), Índia. **Chemosphere**, n. 54, p. 167-175, 2004.
- BERNER, R. A. et al. Phanerozoic atmospheric oxygen. **Annu. Rev. Earth Planet. Sci.**, n. 31, p. 105-134, 2003.
- EITEN, G. **Vegetação natural do Distrito Federal**. Brasília: SEBRAE/DF, 2001.
- CANTY, M. J. et al. Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 91, p. 441-451, 2004.
- ELVIDGE, C. D. et al. Relative Radiometric Normalization of Landsat Multispectral Scanner (MSS) Data Using an Automatic Scattergram-Controlled Regression. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 61, n.10, p. 1255-1260, 1995.
- FINKELSTEIN, D. B. et al. Can Biomass Burning produce a globally significant carbon-isotope excursion in the sedimentary record? **Earth and Planetary Science Letters**, doi:10.1016/j.epsl.2006.08.010, 2006.
- FINKELSTEIN, D. B. Thoughts on fires. **Palaos**, n. 19, p. 111-112, 2004.
- GLASSPOOL, I. J. et al. Charcoal in the Silurian as evidence of the earliest wildfires. **Ecology**, n. 32, p. 381-383, 2004.
- HALL, F; G. et al. Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multirate, multisensor images. **Remote Sensing of Environment**, v. 35, p. 11-27, 1991.
- ICHOKU, C.; KAUFMAN, Y. J. A method to derive smoke emission rates from MODIS fire radiative energy measurements. **IEEE Trans. on Geosc. & Rem. Sens.**, v. 43, n. 11, p. 2636-2649, 2005.

KAUFMAN, Y. J. et al. Biomass Burning and Spaceborne Experiment in the Amazonas (BASE-A). **Journal of Geophysical Research**, v. 97, n. D13, p. 14581-14599, 1992.

KAUFMAN, Y. J. et al. Potencial global fire monitoring from EOS-MODIS. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, n. 24, p. 32215-32238, 1998.

KEY, C. H.; BENSON, N. **The Normalized Burn Ratio (NBR)**: A Landsat TM radiometric measure of burn severity. 1999. Disponível em: <www.nrmsc.usgs.gov/research/ndbr.htm>. Acesso em: 14 nov. 2007.

KOUTSIAS, N.; KARTERIS, M. Logistic regression modelling of multitemporal Thematic Mapper data for burned area mapping. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, p. 3499-3514, 1998.

LEVINE, J. S. Biomass burning and the production of greenhouse gases. *In*: ZEPP, R. G. (Ed.) **Climate Biosphere Interaction: Biogenic Emissions and Environmental Effects of Climate Change**. ISBN 0-471-58943-3, 1994. Disponível em: <http://asd-www.larc.nasa.gov/biomass_burn/biomass.html>. Acesso em: 24 nov 2007.

MAIA, Fabiana Britto de Azevedo. **Análise do Turismo em Relação ao Uso Público do Parque Estadual da Serra do Tabuleiro no Município de Santo Amaro da Imperatriz, SC**. 2006. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2006.

MARQUES FILHO, A. O.; DALLAROSA, R. G. Atenuação de radiação solar e distribuição vertical de área foliar em floresta – Reserva Jaru – RO. **Acta Amazônica**, 2001(no Prelo).

MORAES, E. C. et al. Effects of biomass burning in Amazonia on climate: A numerical experiment with a statistical-dynamical model. **Journal of Geophysical Research**, v. 109, n. D05109, p. 1-12, 2004.

ROBERTS, J. M. et al. An overview of the leaf area index and physiological measurements during ABRACOS. *In*: GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R.L. (Ed.). **Amazon Deforestation and Climate**. Chichester, UK: John Wiley, p. 287-306, 1996.

ROSÁRIO, L. A. do. Paisagem e Conservação. *In*: FATMA. **A Natureza do Parque Estadual da Serra do Tabuleiro**. Florianópolis: FATMA, 2003.

ROUSE, J. W. et al. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. **Final Report**, NASA/GSFC, Greenbelt, MD, 371 p., 1977.

SCOTT, A. C. The pre-Quaternary history of fire. **Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeocol.**, n. 164, p. 281-329, 2000.

SETZER, A. W.; PEREIRA, M. C. P. Relatório do projeto SEQE para 1988 – Sensoriamento Remoto das queimadas, São José dos Campos: **INPE**, Inter. Rep., 1990.

SILVA, A. S. da; SILVA, M. C. da. Prática de queimadas e as implicações sociais e ambientais na cidade de Araguaina-TO. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 18, p. 8-16, 2006.

TARASOVA, T. A. et al. Modeling of gaseous, aerosols, and cloudiness effects on surface solar irradiance measured in Brazil's Amazonia 1992-1995. **Journal Geophysical Research**, v. 105, n. D2, p. 26961-26969, 2000.

VERMOTE, E. F. et al. Second Simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview. **IEEE Trans. Geosc. And Remote Sens.**, v. 35, n. 3, p. 675-686, 1997.

Recebido em dezembro de 2007
Aceito em abril de 2008