

Refinamento de um método de área queimada, e validação utilizando imagens CBERS no norte de Mato Grosso, Brasil

Fabiano Morelli¹,
Renata Libonati²,
Alberto Setzer¹

1 Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC)
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, Brasil.
{[fmorelli](mailto:fmorelli@cptec.inpe.br), [asetzer](mailto:asetzer@cptec.inpe.br)}@cptec.inpe.br

2 Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL), Lisboa, Portugal.
rlsantos@fc.ul.pt

Abstract. In the present work an analysis is performed on the spectral signature of burned areas located at the northern part of the Mato Grosso state, Brazil. Use is made of reflectance data from 32-day composites of bands 1 to 7 of the *MODerate resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS). The main objective of this paper is to evaluate MODIS 32-day composites performance to detect burned areas, by comparing these products with visual discrimination of burned areas, using CBERS images.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, burned area, sensoriamento remoto, processamento de imagens, áreas queimadas.

1. Introdução

Este trabalho apresenta os resultados da análise da refletividade média das sete bandas do composto NASA-UMD MODIS 32-DAY COMPOSITES (09A1-500m), e a identificação do tipo de vegetação queimada para a janela de trabalho no.5 do projeto AQL-2004 da RedLaTIF/GOFC/GOLD, conforme as tarefas definidas na Segunda Reunião da *Red Latinoamericana de Teledetección e Incendios Forestales – RedLaTIF* realizada entre 01 e 02 de Dezembro de 2005 na Cidade do México.

A janela no. 5 está compreendida entre as coordenadas: 63° 50' 58,27'' W, 9° 59' 55,11'' S e 50° 46' 11,66'' W, 9° 59' 53,50'' S. A escolha desta área deu-se em função da participação do INPE na Rede Latino Americana de Estudos de Incêndios Florestais – RedLaTIF, onde o Grupo de Estudos de Queimadas é responsável pela validação e pesquisa de melhores limiares para um algoritmo de detecção de áreas queimadas.

2. Material Utilizado

Neste trabalho utilizou-se o composto de 32 dias do sensor MODIS, disponibilizados pela Universidade de Maryland (*Global Land Cover Facility - GLCF*, 2006¹), para o período de 13-Ago a 13-Set-2004. Este composto é baseado na utilização de 4 compostos de 8 dias do produto MOD09A1, selecionando-se para cada pixel os valores correspondentes ao período com o segundo albedo mais baixo, com o objetivo de eliminar o ruído de nuvens e sombras de nuvens. Embora o sensor MODIS possua um total de 36 bandas espectrais que vão desde o visível até o infravermelho termal, o composto de 32 dias inclui apenas as primeiras sete bandas: 1) vermelho (0,620 – 0,670 μm); 2) infravermelho próximo - NIR (0,841 – 0,876 μm); 3) azul (0,459 – 0,479 μm); 4) verde (0,545 – 0,565 μm); 5) infravermelho de onda curta -

¹ GLCF – Global Land Cover Facility, [on-line], < <http://glcf.umiacs.umd.edu/> >, jan/2006.

SWIR (1,230 – 1,250 μm); 6) SWIR (1,628 – 1,652 μm); 7) SWIR (2,105 – 2,155 μm), com resolução espacial de 500 m.

Dados de alta resolução espacial (20 e 30 m respectivamente) do sensor CCD do satélite CBERS (órbita-ponto 162/112, data 24-Ago-2004) e do sensor TM a bordo do satélite LANDSAT (órbita-ponto 224/68, data 26-Ago-2004) foram também utilizados para auxiliar a seleção de áreas queimadas sobre a imagem do sensor MODIS. Foram ainda utilizados os focos de calor detectados em imagens termais de satélites NOAA, TERRA, AQUA e GOES-12, que estão disponíveis no site do Programa PROARCO do INPE e informações do *Vegetation Continuous Field (VCF)*, com resolução espacial de 500 m (Universidade de Maryland - GLCF). Esta base de dados contém três classes de informação: Solo nù; Herbáceas e Árvores.

3. Metodologia

3.1. Escolha da área para extração de reflectância.

Para coletar os valores de refletividade média dos pixels das sete bandas do produto MODIS, optou-se por identificar as áreas dentro da janela 5 seriam mais prováveis de terem sido queimadas, durante o período estudado. Para isto foram utilizados os focos de calor identificados no Brasil. Conforme os recursos do Sistema de Banco de Dados de Queimadas do INPE foi possível observar que o produto INPE MMODIS-01D², apresenta uma quantidade de focos muito discrepante e superior em relação às detecções com os outros satélites. Isto se justifica pelo fato de que no INPE as detecções nestas mesmas imagens são feitas por meio de um algoritmo mais conservativo, resultando em menor quantidade de focos detectados nos produtos AQUA e TERRA, por exemplo.

Em seguida, identificou-se o número de focos contido no polígono representativo das órbitas-ponto do satélite CBERS, a fim de selecionar a cena com maior quantidade de focos do produto MMODIS-01D. Conforme pode ser observado na Figura 1, a órbita-ponto que mais conteve focos de incêndios foi a de número 162/111, porém esta órbita-ponto não está completamente contida na área de estudo. Desta forma, foram selecionadas as órbitas-pontos seguintes em quantidade de focos, que são: 162/113 com 698 focos e 162/112 com 701 focos.

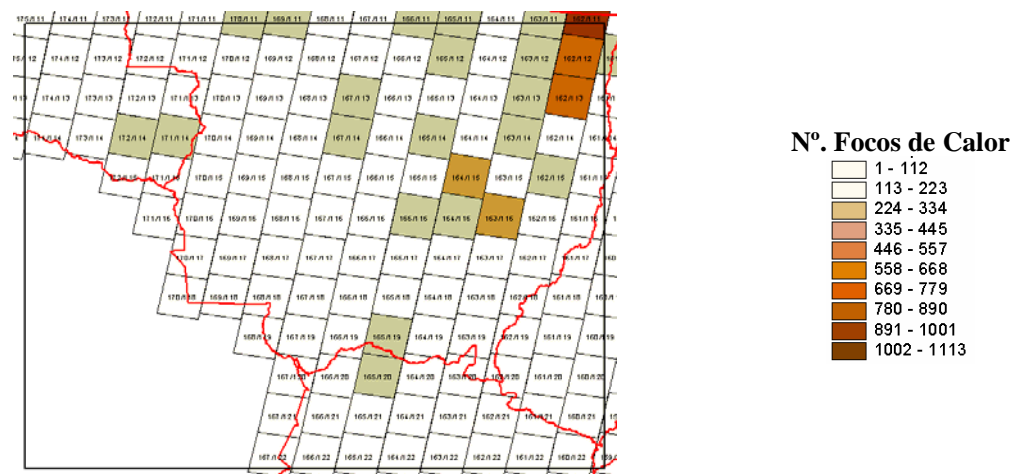


Figura 1 – Seleção das órbitas-ponto do satélite CBERS onde mais se identificou focos de queima.

² A sigla “MMODIS-01D” indica as detecções de focos feitas pelo sistema da NASA e Universidade de Maryland combinando todas as imagens do sensor MODIS das passagens diurnas dos satélites TERRA e AQUA; e incluídas pelo INPE no seu Banco de Dados de Queimadas.

A partir escolha das órbitas-pontos das cenas CBERS, determinou-se em quais datas ocorreram os maiores números de focos, sendo identificados os dias 14, 19 e 23-Ago-2004 com 225 focos, 216 focos e 158 focos, respectivamente.

Esta seleção de datas permitiu identificar qual a melhor imagem disponível no banco de imagens do CBERS, consultado o site <http://www.dgi.inpe.br/CDSR>, onde se efetuou o pedido das imagens referentes à órbita-ponto 162/112 para as datas 29-Jul e 24-Ago-2004. A escolha destas duas datas deu-se em função de serem imediatamente anterior e posterior ao período de maior ocorrência de focos, e por sua menor cobertura de nuvens.

Utilizando a localização dos focos de calor identificados pelos produtos AQUA, GOES-12 e NOAA-16 gerados pelo INPE e MODIS-01D gerado pela Universidade de Maryland em 23-Ago-2004, e a interpretação visual da composição RGB dos canais 2, 4 e 3 da imagem CBERS, identificou-se uma área como sendo cicatriz de queimada, conforme pode ser observado na Figura 2 e que foi utilizada para extração de reflectâncias.

A título de demonstração comparativa do potencial das imagens CBERS, uma composição RGB dos canais 5, 4 e 3 do LANDSAT e uma composição RGB dos canais 2, 4 e 3 do CBERS foram postas lado a lado juntamente com o perímetro da área queimada extraído por interpretação visual da imagem CBERS. Conforme pode ser observado na Figura 2 os diferentes satélites não divergem na apresentação do perímetro da cicatriz da área selecionada, visto que a mesma representação vetorial de perímetro foi utilizada para compor as imagens da Figura 2.

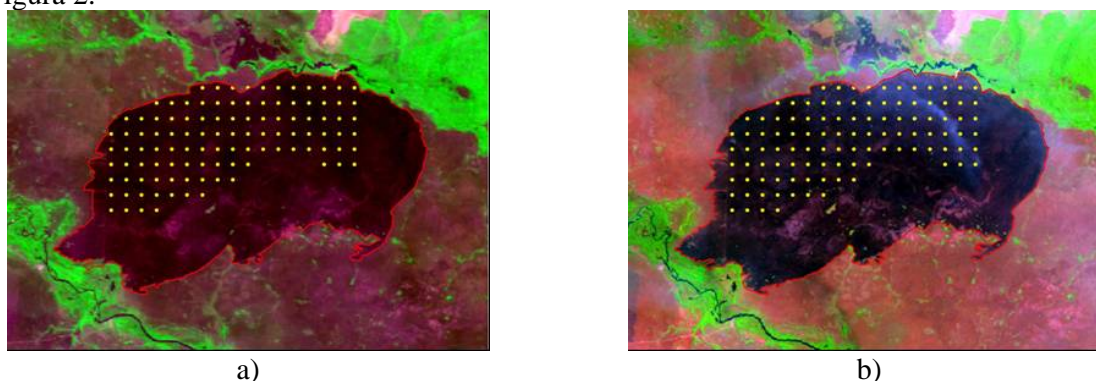


Figura 2 – a) recorte da imagem CBERS (comp. RGB dos canais 2, 4 e 3, 24/ago/2004); b) recorte da imagem LANDSAT (comp. RGB dos canais 5, 4 e 3, 26/ago/2004). Ambas delimitam a área queimada (linha vermelha) e mostram os 108 pontos escolhidos para a extração da refletividade (pontos amarelos).

1.2 Seleção dos pixels de uma área queimada

A partir da localização geográfica desta cicatriz nas imagens CBERS e LANDSAT, foi delimitada uma provável área queimada realçada na composição RGB dos canais 6, 2 e 7 do composto MODIS de 32 dias, conforme a Figura 3.

Na Figura 3 a linha vermelha representa o mesmo perímetro da área selecionada na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Nota-se também que o conjunto de pixels escolhidos no composto MODIS para extração da refletividade média e apresentados como pontos amarelos na Figura 3, não cobre toda a área delimitada pela linha vermelha, mas está distribuído sobre uma área específica da imagem. Esta área específica foi escolhida a partir da análise visual do composto MODIS, objetivando favorecer a seleção de píxeis com maior probabilidade de estarem representando queimadas.

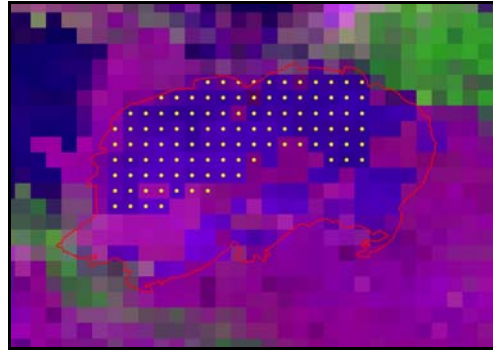


Figura 3 - Recorte do composto de 32 dias do MODIS (composição RGB dos canais 6, 2 e 7) com a delimitação da área queimada (linha vermelha) e os pontos escolhidos para a extração da refletividade (pontos amarelos). Mesma região da imagem CBERS anterior.

4. Algoritmo AQL de discriminação de áreas queimadas

O algoritmo de discriminação de áreas queimadas aplicado neste trabalho foi baseado na metodologia AQL que usa dados VCF e MODIS para classificar áreas de estudo em quatro classes: não-combustível (água, solo nú, zonas desérticas, zonas urbanas), não-observada (nuvens e falta de dados), não queimada e queimada. Desta forma, foi adotado o seguinte procedimento para classificação:

- Classe “Não Combustível” – atribuiu-se valor 3 para os píxeis que atenderam as condições [IF ($VCF_{(solo)} > 80$) OR ($VCF_{(herbáceo)} < 70$ AND $VCF_{(árvores)} < 10$) $\rightarrow P = 3$].
- Classe “Não Observada” - Eliminaram-se nuvens nas imagens MODIS, por meio do filtro IF ($B2 > 2500$) AND ($B3 > 600$) AND ($B5/B3 < 0.7$) $\rightarrow P = 4$
onde B2, B3 e B5 são respectivamente as bandas 2, 3 e 5 do MODIS.
- Classe “Queimada” e “Não Queimada” – Para a discriminação destas classes foram utilizadas as imagens MODIS para gerar os índices NBR e BAI sendo estes posteriormente utilizados com o seguinte critério [IF ($BAI > 100$) AND ($NBR > 0.15$) $\rightarrow P = 1$ ELSE $P = 2$] ou seja, se o pixel for queimada é codificado como 1 caso contrário é codificado como 2.

Os índices (*BAI*) e (*NBR*) são calculados conforme as seguintes expressões:

$$BAI = \frac{1}{\sqrt{(pc_{NIR} - \rho_{NIR})^2 + (pc_{SWIR} - \rho_{SWIR})^2}} \quad (1)$$

$$NBR = \frac{(\rho_{SWIR} - \rho_{NIR})}{(\rho_{SWIR} + \rho_{NIR})} \quad (2)$$

Onde: ρ_{SWIR} é a reflectância na banda 7 (SWIR), ρ_{NIR} é a reflectância na banda 2 (NIR), $pc_{NIR} = 0.08$ e $pc_{SWIR} = 0.2$.

A imagem final é codificada com os seguintes valores: P=1 - área queimada; P=2 - área não queimada; P=3 - área não combustível; e P=4 - área não observada.

5. Resultados

A Tabela apresenta o valor médio e o desvio padrão da refletividade das bandas 1 a 7 do composto MODIS, extraídas a partir de um conjunto de 108 pixels coletados dentro da área identificada como queimada e apresentada na Figura 3. Nela nota-se que a variação do desvio

padrão ao longo das bandas, mostrando que no visível esta variação não é tão significativa quanto nas demais bandas.

Tabela 1 - Valores médios de Refletividade dos 108 píxeis do composto MODIS.

Bandas	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Comprimento de Onda Central (nm)	648	858	470	575	1240	1640	2130
Média da Refletividade	0,0579	0,0939	0,0365	0,0501	0,1448	0,1820	0,1757
Desvio Padrão da Refletividade	0,0047	0,0205	0,0033	0,0038	0,0379	0,0303	0,0176

A análise do tipo de vegetação queimada na região de estudo, elaborada a partir dos dados do VCF, mostra que, segundo esta fonte, a vegetação predominante é do tipo Herbácea (representado pela coloração azul) (Figura 4).

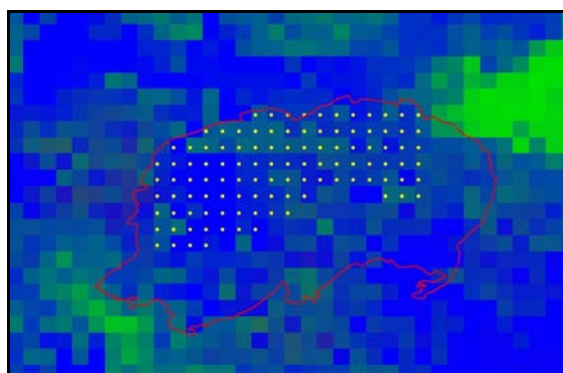


Figura 4 - Recorte da composição RGB do *Vegetation Continuous Field* envolto da área delimitada como cicatriz de queimada (R: Solo; B: Herbáceas; G: Árvores).

Também foi feita uma avaliação preliminar da metodologia de discriminação de áreas queimadas proposto pela RedLaTIF. A comparação entre a área selecionada como cicatriz e o resultado do algoritmo na cicatriz estudada pode ser visto a Figura 5.

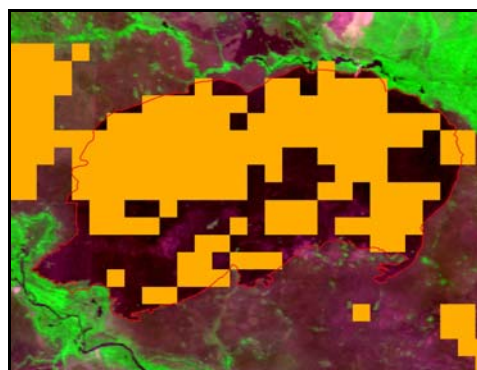


Figura 5 – Sobreposição da imagem da Figura 2 com o mapa de áreas queimadas gerado a partir da metodologia AQL proposta pela RedLaTIF (pixels laranja).

Ao analisarmos toda a área de 12.770km² da imagem CBERS (Figura 6) observa-se que em algumas regiões o algoritmo subestima a área queimada quando comparado com os focos de calor gerados pela Universidade de Maryland com dados MODIS.

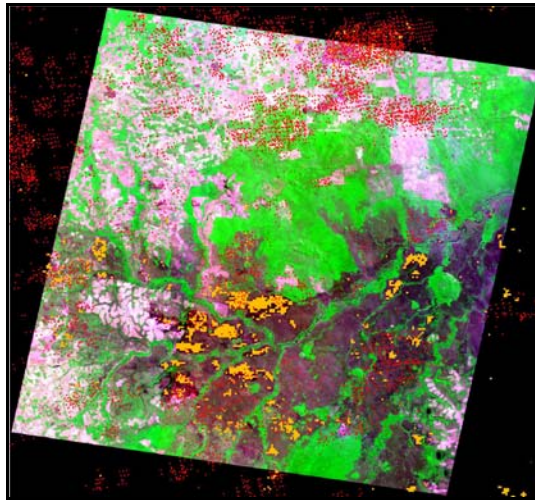


Figura 6 – Sobreposição da imagem CBERS com o resultado da metodologia AQL da RedLaTIF (pixels alaranjados) e os focos de calor (pontos vermelhos) do mesmo período.

O resultado da metodologia AQL deve ser melhor avaliado estatisticamente, bem como ajustado a partir dos valores de refletância extraídos neste trabalho, afim de tentar ajustar seu desempenho. Não seria prudente confiar plenamente que todos os focos de calor representam queimadas nem mesmo que todas as áreas rotuladas como queimada assim o sejam, pois pode haver restrições nas metodologias individuais.

Como forma de contribuir para o melhoramento deste algoritmo, também foram extraídos os dados e análise de uma área não queimada adjacente à cicatriz estudada, a fim de caracterizar a variação espectral também desta área. Para tanto foram coletados 119 pontos conforme pode se observar na Figura 7.

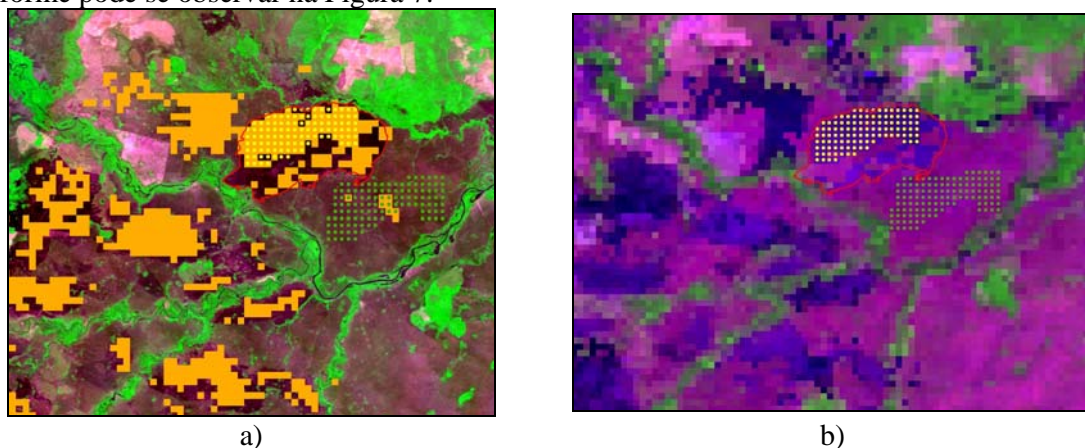


Figura 7 – Distribuição espacial dos pontos amostrais em diferentes imagens; a) resultado do algoritmo AQL (pixels alaranjados) sobreposto na imagem CBERS, composição RGB dos canais 2, 4 e 3; e b) composto de 32 dias do MODIS, composição RGB dos canais 6, 2 e 7.

A Tabela apresenta o valor médio e o desvio padrão da refletividade das bandas 1 a 7 do composto MODIS, extraídas do conjunto de 119 pontos adjacentes à cicatriz e apresentado na Figura 7. Nota-se que os valores médios das bandas do visível praticamente não foram alterados; em contrapartida, as bandas 2, 5, 6 e 7 apresentam um aumento do valor médio de refletividade. Outro aspecto interessante é que a variação do desvio padrão é inferior no caso da área não queimada, mantendo o padrão de menor variação nas bandas do visível (1, 3 e 4).

Tabela 2 – Valores de Refletividade extraídos dos dados MODIS, para não queimada.

Bandas	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Comprimento de Onda Central (nm)	648	858	470	575	1240	1640	2130
Média da Refletividade	0,0647	0,1444	0,0352	0,0535	0,2346	0,2566	0,1605
Desvio Padrão da Refletividade	0,0041	0,0134	0,0028	0,0035	0,0183	0,0109	0,0136

A assinatura espectral das 119 amostras (não queimada) foi comparada com a assinatura das 108 amostras de queimada, através de uma análise de clusters utilizando o método k-means. A Figura 8 mostra a assinatura espectral das 227 amostras, separadas em dois grupos: azul – pontos de não queimada e vermelho – pontos de queimada. Nota-se que os pontos de não queimada apresentam maior refletividade principalmente nas bandas do infra-vermelho, com a característica de possuírem um menor valor na banda 7 (2130 nm), que não é observada na resposta espectral das amostras de queimada.

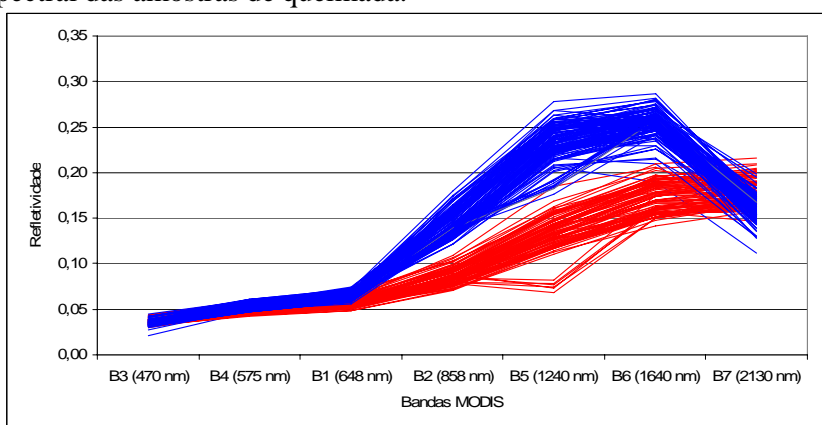


Figura 8 – Resultado da análise de clusters: azul – pontos não queimados; vermelho – pontos queimados. Assinatura espectral das 227 amostras nas bandas 1 a 7 do composto de 32 dias do MODIS.

Na Figura 9 pode ser observada a localização espacial dos dois grupos selecionados pela análise de cluster. Os pontos amarelos correspondem ao cluster de não queimada e os pontos vermelhos ao cluster de queimada. Nota-se que algumas amostras do conjunto de 108 pontos inicialmente considerados como queimados, apresentam comportamento espectral de não queimada.

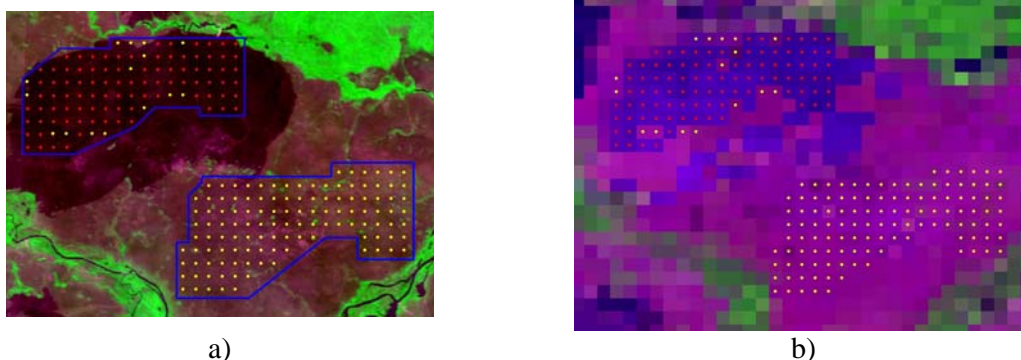


Figura 9 – Localização espacial dos dois clusters (pontos vermelhos – queimada; pontos azuis – não queimada) selecionados na área de estudo a) imagem CBERS, composição RGB dos canais 2, 4 e 3; e b) composto de 32 dias do MODIS, composição RGB dos canais 6, 2 e 7

Estes pontos estão situados dentro da cicatriz, que foi identificada em imagens com resolução espacial maior, sugerindo que os mesmos possam estar representando pixels queimados anteriormente ao período de estudo, que não tenham sido queimados por completo ou então que estejam em fase de regeneração.

6. Conclusão.

A extração da refletividade das bandas 1 a 7 do composto de 32 dias do sensor MODIS, permitiu analisar a variação da média e desvio padrão de um conjunto de 108 pixels amostrados em uma área identificada como sendo queimada nas imagens CBERS e LANDSAT. A análise mostrou que a variação do desvio padrão nas bandas do visível não é tão grande quanto nas bandas termais 2, 5, 6 e 7.

Estudos pormenorizados a respeito da relação entre a variabilidade das características espectrais das áreas queimadas e da cobertura vegetal e ainda da influência temporal nas assinaturas espectrais dessas áreas devem ser feitos com o objetivo de se esclarecer tal comportamento, bem como o aprofundamento deste estudo com uso de outras análises estatísticas.

A análise acerca da cobertura vegetal predominante na área queimada, utilizando-se de informação sobre a vegetação do VCF, identificou a vegetação como sendo do tipo Herbácea que pode ser interpretada como savana de baixo porte.

A comparação com o resultado preliminar do algoritmo AQL, de discriminação de áreas queimadas da RedLaTIF sugere que, neste caso em particular, o algoritmo mostrou-se adequado na identificação de queimada da área avaliada, entretanto a validação e análise de toda a área da imagem CBERS mostra que o algoritmo subestima a área queimada, necessitando de um maior refinamento.

Neste trabalho pode-se observar que a reflectância da banda 2 (NIR) decresce após a queimada, sendo este um resultado esperado pois segundo Pereira *et al.* (1999), o decréscimo da reflectância no NIR é uma das características principais do comportamento de áreas queimadas. Silva *et al.* (2004) mostraram que em vegetações do tipo *Grassland*, a reflectância nas bandas do SWIR sempre diminui após a queimada, que também foi verificado no presente estudo.

A interpretação da resposta espectral e agrupamento das amostras coletadas na área da cicatriz e na área adjacente à cicatriz através da análise de clusters, sugerem que o conjunto de 108 amostras de queimada, não é constituída apenas de pontos queimados, pelo contrário, existem pontos com assinatura espectral de áreas não queimadas.

Como trabalhos futuros pretende-se testar o algoritmo AQL da RedLaTIF para as imagens CBERS, utilizando dados dos sensores CCD (banda 4 equivalente à banda 2 do sensor MODIS) e IRM (banda 3 equivalente à banda 7 do sensor MODIS).

7. Referências

PEREIRA, J. M. C., SÁ, A. C. L., SOUSA, A. M. O., SILVA, J. M. N., SANTOS, M. T. N., and CARREIRAS, J. M. B., 1999, Spectral characterisation and discrimination of burnt areas. In *Remote Sensing of Large Wildfires in the European Mediterranean Basin*, edited by E. Chuvieco (Berlin: Springer-Verlag), pp. 123–138.

SILVA, J. M., CADIMA, J. F., PEREIRA, J. M. C., and GREGOIRE, J.-M., 2004, Assessing the feasibility of a global model for multi-temporal burned area mapping using SPOT-VEGETATION data. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 4889–4913.