

Método de correção do efeito *flare* em imagens do satélite *Quickbird*.

Eduardo Henrique Geraldi Araújo
Delano Menecucci Ibanez
Leila Maria Garcia Fonseca
Hermann Johann Heinrich Kux

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{araujo, delano, hermann}@ltid.inpe.br
leila@dpi.inpe.br

Abstract. Objects with high spectral responses can appear saturated in panchromatic images and produce defect pixels. The sensor repeats the failing information in the subsequent lines deleting their correct information. Such phenomenon is called flare and it is defined as a sudden, rapid, and intense variation in brightness caught by the sensor. This work proposes a methodology to attenuate the flare effect using the multispectral bands from the same satellite. Defect pixels values are substituted by values of the simulated panchromatic band. Classification maps were produced to verify if the proposed method can support the urban land use mapping. The experiments are performed using *Quickbird* images.

Palavras-chave: Flare, *Quickbird*, high resolution, alta resolução espacial, processamento de imagens digitais.

1. Introdução

Nas imagens do satélite *Quickbird*, observa-se que, sistematicamente, alvos com altos níveis de quantização, próximos ao valor máximo de 2048 (11 bits), aparecem na banda pancromática (0,60 cm) representados por pixels saturados que se repetem nas linhas subsequentes. Tal fenômeno é chamado de *flare* e se caracteriza por um repentino, rápido e elevado aumento do brilho captado pelo sensor (NASA, 2003).

Nas fotografias este fenômeno é caracterizado por reflexos de luz na lente da câmera, o que reduz o contraste e os detalhes na imagem. Nas imagens de sensores de alta resolução o *flare* ainda não foi muito bem caracterizado e há dúvidas sobre como ele ocorre no interior do sensor.

Uma das principais aplicações em sensoriamento remoto é o mapeamento da cobertura e uso do solo que pode ser realizado por meio de técnicas de classificação de imagens cujo objetivo é organizar e hierarquizar a informação na imagem (Jensen, 2000). Em áreas urbanas, as informações perdidas pela ocorrência do fenômeno *flare* descaracterizam os alvos dificultando o mapeamento do uso e cobertura do solo. Portanto, é de interesse que o efeito *flare* seja corrigido ou atenuado para que a extração de informação nas imagens pancromáticas seja eficiente.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia para atenuar o efeito *flare* utilizando informações das bandas multispectrais (2,4 m) do satélite *Quickbird* para substituir os dados perdidos da banda pancromática. Imagens classificadas usando produtos de fusão com as bandas pancromáticas original e corrigida são produzidas para avaliar se o método proposto pode ajudar no mapeamento de cobertura em áreas urbanas

2. Materiais e Métodos

A área de estudo está localizada num bairro ao sul de Belo Horizonte, Minas Gerais. Neste trabalho utilizou-se uma imagem do *Quickbird* de 28 de novembro de 2002, georreferenciada em UTM WGS 84 (23 sul), fornecida pela Intersat Imagens de Satélite S/C Ltda. Os processamentos foram realizados usando o programa ENVI 4.0.

Para caracterizar o efeito *flare*, na imagem pancromático *Quickbird*, dois alvos distintos foram analisados. Estes alvos apresentam formas irregulares e se caracterizam por valores de níveis de cinza muito altos (próximos ao limite de 2048 – 11 bits). A **Figura 1** (superior) mostra os dois alvos com problema. O efeito *flare* na imagem pode ser caracterizado por pixels saturados, devido à resposta alta do alvo que se repete nas linhas inferiores no sentido da trajetória do satélite.

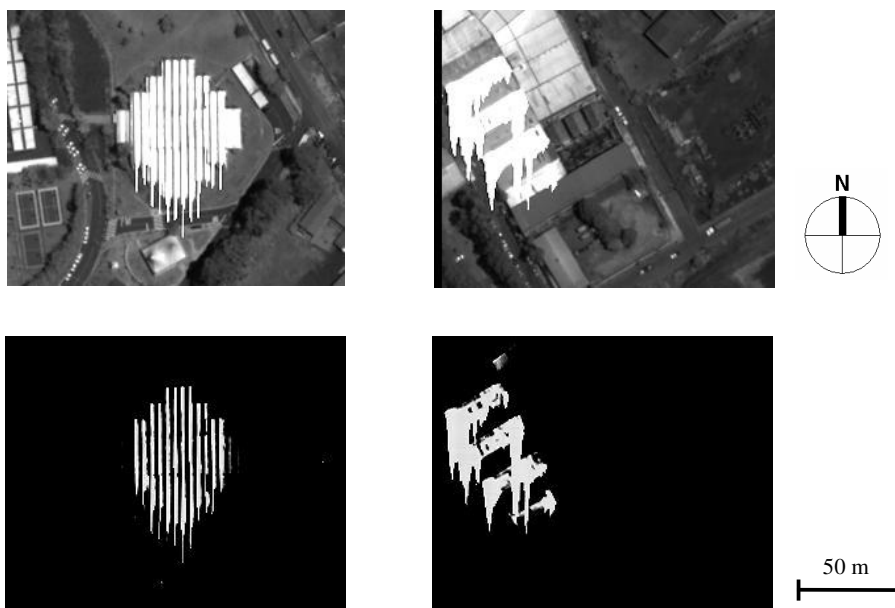


Figura 1: Avaliação de dois alvos com o efeito *flare*: (acima) imagens pancromáticas com os alvos, (abaixo) alvos identificados e extraídos.

Pouco conhecimento se tem sobre este problema e praticamente, não existe nenhum trabalho que forneça uma descrição completa e soluções para a sua correção. As bandas multiespectrais (bandas 1, 2 e 3) foram também analisadas para certificar a não existência do efeito *flare* nestas bandas.

Tendo em vista que as bandas multiespectrais possuem informações corretas, uma banda pancromática foi simulada a partir das bandas multiespectrais, baseado no método proposto por Boggione et al. (2003). O procedimento de simulação segue os seguintes passos. As bandas multi-espectrais (2,4) são reamostradas para um tamanho de pixel igual a 0,6 m, o mesmo tamanho de pixel da banda pancromática a ser simulada. Os dados foram reamostrados pelo método de interpolação por convolução cúbica, que realiza o ajuste de uma superfície polinomial de terceiro grau à região, circundando o *pixel* em questão. Essa técnica produz uma imagem com boa aparência, sem perder muito as informações de detalhes como acontece com os interpoladores bilineares.

A partir das respostas espectrais das bandas pancromática e multiespectrais, ilustradas na **Figura 2**, as áreas sob as curvas correspondentes de cada banda delimitadas pela linha correspondente à banda PAN (a_1 , a_2 , a_3 , a_4 e a_p) são calculadas (ver **Figura 2b**). Estas áreas medidas são usadas para ponderar a contribuição de cada banda espectral para a simulação da banda pancromática segundo a equação:

$$PAN_s = \left(\frac{a_1}{a_p} * B_1 \right) + \left(\frac{a_2}{a_p} * B_2 \right) + \left(\frac{a_3}{a_p} * B_3 \right) + \left(\frac{a_4}{a_p} * B_4 \right), \text{ onde:} \quad \text{(Equação 1)}$$

- a_1, a_2, a_3 e a_4 = área abaixo da curva espectral de cada banda limitada pela curva espectral da banda PAN;
- $a_p = a_1 + a_2 + a_3 + a_4$;
- B1, B2, B3, e B4 = valor do pixel de cada uma das bandas MULTI;
- PANs = valor de cada pixel para a banda PAN simulada.

Para evitar a repetição das áreas de sobreposição entre duas curvas espectrais limites foram determinados a partir da interseção entre estas curvas, de modo que a porções de faixas espectrais não fossem repetidas em mais de uma banda espectral (ver **Figura 2b**).

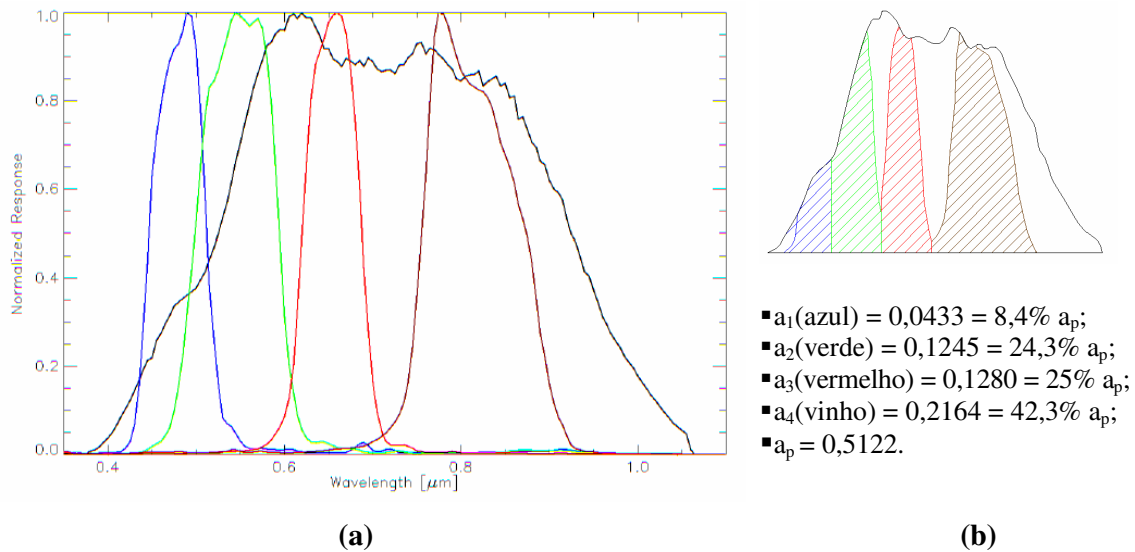


Figura 2: Respostas espectrais normalizadas das bandas do Quickbird (a) curvas espectrais; (b) áreas de cada banda espectral contabilizadas na ponderação.

A partir da **Equação 1**, a banda pancromática é simulada a partir das bandas multiespectrais e é mostrada na **Figura 3**. Pode-se observar que a banda simulada apresenta uma resolução espacial pior do que a original como esperado, pois as bandas usadas na simulação possuem uma resolução pior. Na verdade o que foi feito foi uma simulação espectral e não simulação espacial. Uma forma de melhorar este resultado é usar a técnica de restauração (Fonseca et al., 1993) para interpolação combinada com a simulação espectral. Por outro lado, percebe-se que embora a banda Pancromática simulada (PANs) não possua uma definição dos alvos tão boa quanto a PAN original, ela permite delimitar bem os elementos da imagem indicando que suas informações podem ser utilizadas para recompor *pixels* defeituosos em outras imagens.

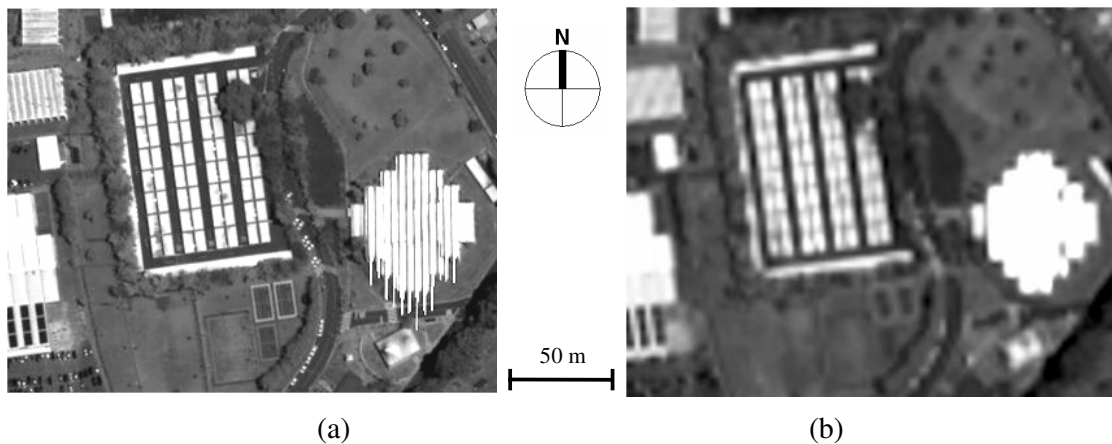


Figura 3: Simulação de bandas: (a) banda PAN original e (b) banda PAN simulada.

Identificados os pixels com defeito, o procedimento seguinte consiste em substituir os valores de níveis de cinza dos pixels defeituosos na imagem PAN original pelos valores de NC dos pixels da imagem PAN simulada.

Para identificar os pixels defeituosos, uma máscara binária foi construída por meio da técnica de limiarização (nível de cinza > 1900). O valor de limiar igual a 1900 foi selecionado após análise dos alvos com problemas (**Figura 4**). O seguinte passo consiste em multiplicar a imagem original pela máscara e substituir os valores dos pixels marcados pela máscara por valores de NC da banda pancromática simulada.

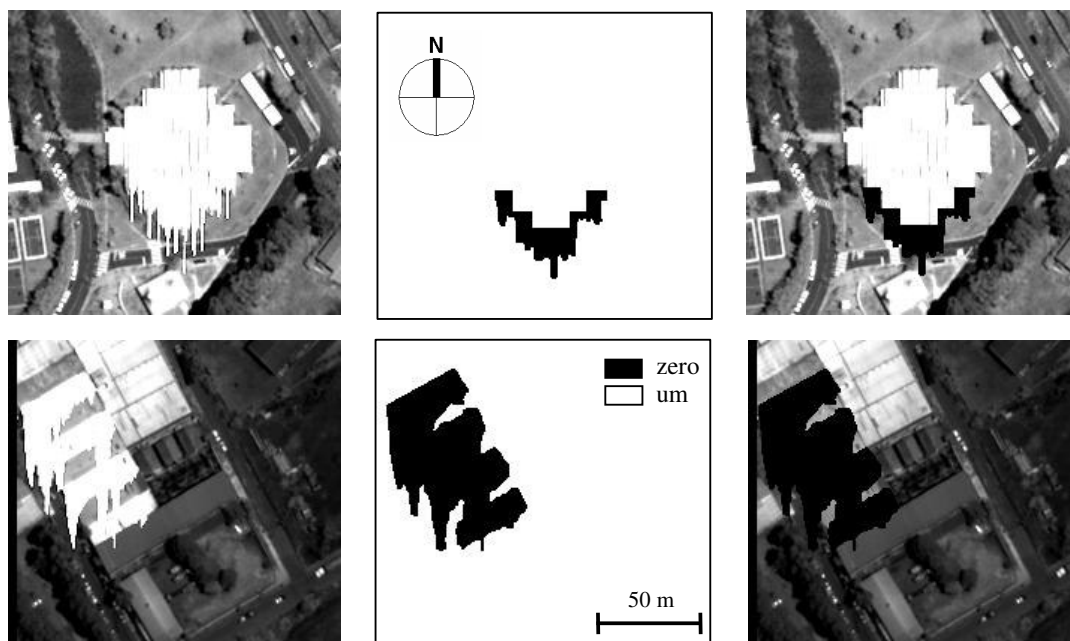


Figura 4: Identificação de pixels defeituosos. (a) imagens originais, (b) máscaras binárias (0 e 1) com defeito isolado e (c) pixels defeituosos dos alvos na cor preta.

É importante ressaltar que no procedimento de correção dos pixels defeituosos houve a preocupação de substituir apenas os *pixels* danificados, de modo a preservar ao máximo as informações da banda pancromática original.

Finalmente, para avaliar a eficiência da técnica apresentada neste estudo, as imagens corrigidas foram fusionadas e classificadas para gerar um mapa do uso/cobertura do solo em ambiente urbano. As bandas 1, 2 3 foram processadas pela fusão por componentes principais utilizando e classificadas pelo método da máxima verossimelhança (MAXVER).

3. Resultados e Discussão

Inicialmente, dois pontos relevantes precisam ser considerados no estudo do problema do efeito *flare* e na metodologia usada. O primeiro se refere à correta especificação e descrição do problema, bem como a sua divulgação por parte do fornecedor destas imagens, visando otimizar a sua correção. O segundo ponto diz respeito às informações utilizadas para recompor os alvos danificados. Neste caso, uma outra opção é o uso de informações de outros sensores para substituir os dados perdidos na imagem *Quickbird*. A banda pancromática do satélite Ikonos 2 (resolução espacial = 1 m) pode ser utilizada. Entretanto, é necessário que registro entre as imagens dos dois sensores seja realizado. Diversas correções geométricas precisam ser realizadas com este objetivo, e dentre estas a ortoretificação que necessita de modelos digitais de terreno e pontos com coordenadas geográficas coletadas com GPS diferencial (D-GPS). Mesmo com estes cuidados, os dados de outro sensor só podem ser utilizados em locais de baixa declividade e com alvos de pequena altura, já que diferenças na hora da coleta e no ângulo de visada dos satélites podem gerar inconformidades na geometria das imagens (sombras, fachadas de altos edifícios e grandes encostas) inviabilizando a sua utilização.

Através dos procedimentos de correção descritos anteriormente, obteve-se um resultado que permite não recompor, mas substituir informações similares aos dados originais nos pixels defeituoso (**Figura 5**). Com o objetivo de suavizar a transição nas bordas do alvo defeituoso após a substituição dos NC dos pixels defeituosos, alguns filtros foram testados. O melhor resultado foi aquele processado pelo filtro da mediana (3x3), que suaviza a imagem mas preserva as bordas mais largas do que as dimensões do filtro.

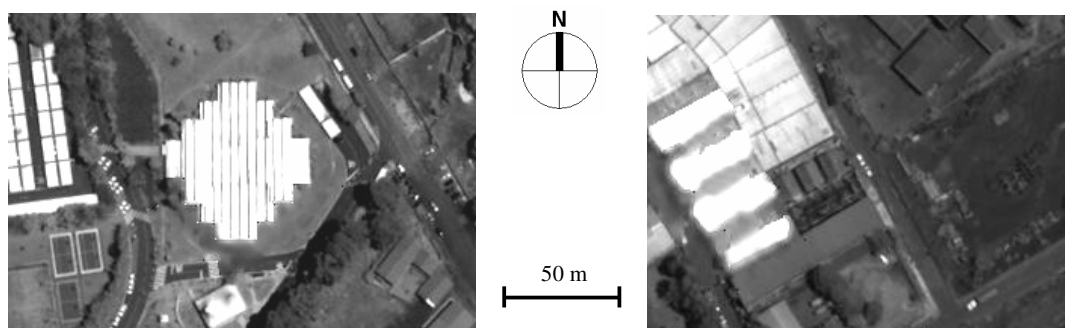


Figura 5: Imagens com os pixels defeituosos corrigidos.

Observa-se que as áreas corrigidas apresentam aparência borrada devido aos processos de reamostragem por convolução cúbica e posterior filtragem pela mediana. Os dois procedimentos têm características de filtragem passa-baixas, ou seja, suavizam os detalhes na imagem. O uso de outros tipos de reamostragem tais como restauração (Fonseca et al., 1993) e técnicas de mesclagem (Bagli e Fonseca, 2006) podem melhorar os resultados.

O resultado da fusão (R1 G2 B3) por componentes principais (CP) é ilustrado na **Figura 6**. A técnica de fusão por CP apresenta características importantes de preservação de cores e resolução espacial e a não introdução de artefatos (Digital Globe, 2004).

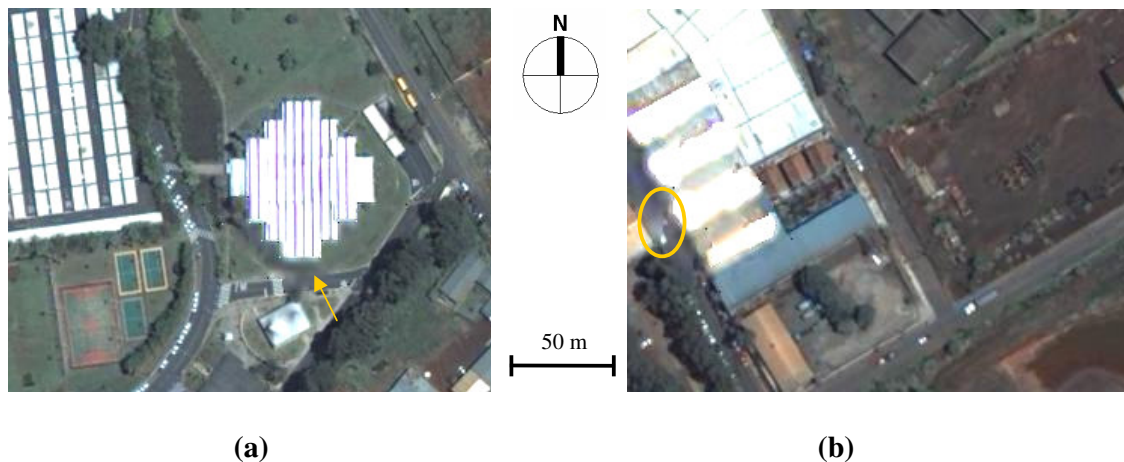


Figura 6: Imagens corrigidas e fusionadas. Os objetos indicados (meio fio e carro) aparecem um pouco borrados.

Pela **Figura 6**, nota-se que alvos homogêneos e de dimensões maiores apresentam boa aparência após a correção porque estes alvos são captados com boa precisão pelas bandas multiespectrais. Dois exemplos de alvos que não foram bem delimitados pelo procedimento, devido ao seu tamanho são: o meio fio que quase desapareceu (**Figura 6a**), pois era resolvido apenas na imagem pancromática; um veículo que se localiza exatamente no limite da ocorrência do fenômeno (**Figura 6b**). Neste segundo caso, a parte do objeto fora da região com defeito está mais bem definida do que a parte corrigida.

Duas classificações foram realizadas usando os seguintes dados como entrada (**Figura 7**): (1) fusão das bandas 1, 2 e 3 com a banda PAN original, (2) fusão das bandas 1, 2 e 3 com imagem PAN corrigida. A idéia é avaliar se o procedimento de correção contribuiu para a identificação dos alvos. Convém salientar que o objetivo desta análise não é avaliar a qualidade da classificação, já que este é um tema bastante complexo para este tipo de imagem e contexto. A aplicação de técnicas de classificação automática em imagens de sensores de alta resolução espacial (IKONOS, *Quickbird*, Orbview-3 e KOMPSAT-2) enfrenta muitas dificuldades, pois além do aumento das resoluções espacial e radiométrica, a variabilidade espectral intra- e inter-classes também é um fator de dificuldade (Pinho, 2005; Araújo, 2006).

A classificação MAXVER (**Figuras 7**) assume que as estatísticas para cada classe em cada banda são normalmente distribuídas e calcula a probabilidade de um determinado *pixel* pertencer a uma determinada classe (ENVI *Online Help*, 2003).

Pela **Figura 7**, pode-se observar que as informações dos pixels defeituosos recuperadas pelo método proposto foram classificadas de forma coerente quando comparadas com o seu entorno. Por exemplo, o meio-fio que não era visível foi recomposto pelo próprio algoritmo do classificador, demonstrando que ali existiam informações espectrais deste alvo apesar da resolução espacial mais pobre.

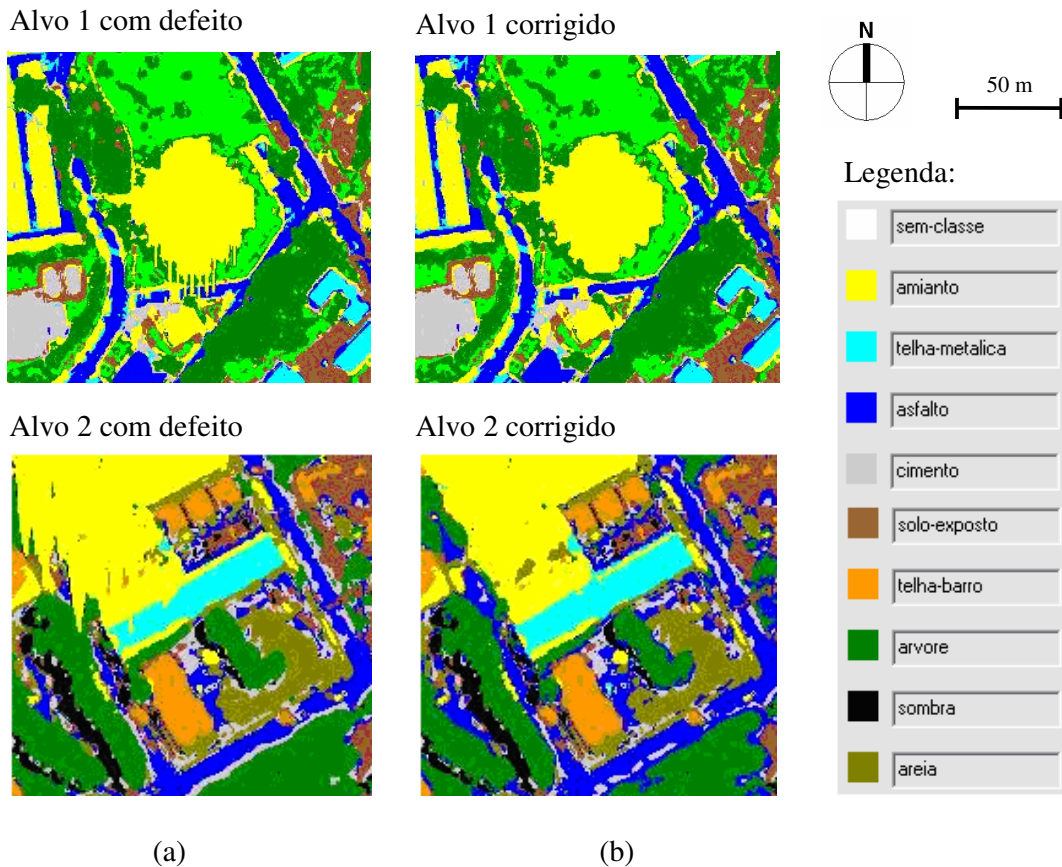


Figura 7: classificação supervisionada nas regiões dos alvos defeituosos. (a) alvos com defeito e (b) alvos corrigidos.

4. Conclusão

As técnicas de processamento de imagens usadas na metodologia de correção do efeito *flare*, proposta neste trabalho, são simples e de processamentos rápidos, o que torna a metodologia simples e de fácil uso. Embora, um efeito de borrramento nas regiões corrigidas foi observado, a metodologia mostrou-se adequada para reduzir o efeito *flare*. Os resultados de classificação, a partir de produtos de fusão usando a banda pancromática corrigida, mostraram que a técnica proposta pode ajudar na classificação dos alvos antes defeituosos.

Técnicas mais elaboradas para simulação da banda pancromática e mesclagem das informações da banda simulada com a banda pancromática original devem ser investigadas para melhorar a correção do efeito *flare* em bandas pancromáticas de alta resolução.

5. Referências

Araújo, E. H.G. *Análise multi-temporal de cenas do satélite Quickbird usando um novo paradigma de classificação de imagens e inferências espaciais: estudo de caso Belo Horizonte (MG)*. 159 p., Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – INPE, 2006. Disponível em: <http://mtc-m13.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2006/07.24.19.43>

Bagli, V.V.; Fonseca, L.M.G., Seamless Mosaicking via Multiresolution Analysis and Cut Line Definition In: The Eighth IASTED International Conference Signal and Image Processing, 2006. **Anais...** Hawaii, USA , August, 2006.

Boggione, G.A.; Pires, E.G; Santos, P.A; Fonseca, L.M.G. **Simulation of Panchromatic band by spectral combination of multispectral ETM+ bands**. International Symposium on Remote Sensing of Environment (ISRSE), Hawaii, Nov. 2003.

Digital Globe. **Pan Sharpening of High Resolution Satellite Imagery**. Jun. 8, 2004. <Digital Globe. Com>

Fonseca , L.M.G.; Prasad, G.S.S.D.; Mascarenhas , N. D. A. "Combined Interpolation-Restoration of Landsat images Through a FIR Filter Design Techniques", International Journal of Remote Sensing, 14(13), pp. 1247-2561, 1993.

Intersat. **Imagem da cidade Belo Horizonte**. São José dos Campos: Intersat Imagens de Satélite S/C Ltda, 2002. 1 imagem de satélite. QUICKBIRD. Nov. 2002. bandas 1,2,3,4 e pancromática. <<http://www.img.com.br/>>

Jensen, J. J.; **Remote sensing of the environment: an earth resource perspective**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2000. 550 p.

NASA. **Laboratory for Astronomy and Solar Physics – Solar Flare Theory**. Disponível em: <<http://hesperia.gsfc.nasa.gov/sftheory/flare.htm>. Acesso em: 28, nov. 2004>

Pinho, C. M. D.; **Análise orientada a objetos de imagens de satélite de alta resolução espacial aplicada à classificação de cobertura do solo no espaço intra-urbano: o caso de São José dos Campos – SP**. São José dos Campos. 179 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - INPE, 2005.

Research Systems, Inc. **ENVI Online Help**. Disponível em: ENVI Version 4.0 August 28, 2003. www.RSInc.com/envi