

Detecção de nuvens e sombras em imagens CCD/CBERS por correlação de pontos candidatos

Willian Alves da Silva¹
Nilton Nobuhiro Imai¹
Airton Marco Polidório²

¹ Universidade Estadual Paulista - UNESP
Rua Roberto Simonsen, 305 Cep: 19060-900 Presidente Prudente – SP, Brasil.
willianads@hotmail.com
nнимai@prudente.unesp.br

² Universidade Estadual de Maringá - UEM
Avenida Colombo, 5790 – Cep: 87020-900 Maringá – PR, Brasil.
ampolido@din.uem.br

Abstract. Shadows and clouds cause serious interferences in aerial and orbital images degrading the radiometric response or causing the complete occlusion of the features besides reduces the useful area in the image. The techniques applied to cloud detection, based only in radiometric analysis, in many cases, reach incomplete results due to the variability of the types of clouds or when other features with high radiance (as sole sandy, limestone, some clay types, glacial soil, soil covered by snow, etc.) are present in the image. The same problem occurs with shadows detection when water bodies and other low radiance features are present in the image.

This paper introduces a technique which correlates the results of clouds and shadows detections to validate the estimates done on these results.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, sensoriamento remoto, processamento de imagens.

1. Introdução

Nuvens causam sérias interferências em imagens aéreas e orbitais degradando a resposta radiométrica ou provocando redução na área útil da imagem. Devido a isso imagens de sensoriamento remoto adquiridas por sensores instalados em plataformas orbitais, com resolução espacial média como o ETM do sistema Landsat e o CCD do CBERS são disponibilizadas com informação de percentual de cobertura de nuvens. Entretanto, a redução da área útil da imagem pode, em alguns casos, ser superior ao dobro desse valor percentual, uma vez que também deve ser considerada a degradação provocada por sombras projetadas pelas nuvens sobre o terreno imageado.

As técnicas utilizadas para a detecção de sombras e nuvens baseando-se nas respostas espectrais (cor) destas feições, costumam falhar se na cena estiverem presentes feições que apresentam características semelhantes às das nuvens e sombras, como corpos d'água e solo exposto de alta radiância.

Corpos d'água apresentam baixa radiância, pois a maior parcela de energia luminosa que incide sobre eles é transmitida, absorvida e dispersada, sendo uma parcela muito pequena refletida, sendo estas as razões pelas quais corpos d'água são geralmente observados como feições escuras nas imagens orbitais e aéreas. Regiões afetadas por sombras também apresentam estas mesmas características, porém devido à baixa quantidade de energia luminosa que incide diretamente sobre a região afetada. Determinados tipos de solo exposto, tais como solo arenoso, calcário, alguns tipos de argila e solo glacial, apresentam altas reflectâncias em todas as regiões do espectro eletromagnético. O mesmo comportamento é apresentado pelas nuvens. Elas realçam o espalhamento atmosférico não-seletivo, desviando

indiscriminadamente todos os comprimentos de onda, do espectro visível. O efeito aditivo de todos os comprimentos de onda do espectro visível produz a luz branca determinando assim, a cor da aparência das nuvens (Polidorio *et al.*, 2005). Se, somente atributos de cor forem usados para discriminar nuvens e sombras nem sempre será possível separar corpos d'água de sombras e nuvens de feições de alta radiância.

Nuvens suficientemente espessas, tais como as *Cumulos* e certos tipos de *Stratos* (baixas e densas), são mais facilmente detectadas que as *Cirros* e *Altos* (altas e geralmente finas), além de projetarem sombras mais nítidas que também são mais facilmente detectadas pelas técnicas baseadas nas respostas radiométricas destas feições.

A idéia básica proposta neste trabalho consiste em relaxar os métodos detectores de sombras e nuvens baseados nas respostas radiométricas das feições para favorecer a segmentação de vários tipos de sombras e nuvens. Entretanto, este relaxamento provoca uma supersegmentação, envolvendo outras feições diferentes de nuvens e sombras. Entretanto, esta confusão pode ser eliminada do processo através do relacionamento geométrico existente entre sombras e nuvens ao se estabelecer a correlação entre o par nuvem-sombra.

Este trabalho propõe um método capaz de correlacionar os resultados de discriminação de sombras e nuvens obtidas através da aplicação qualquer técnica de detecção para estas feições. Estas técnicas podem ser relaxadas para melhorar a segmentação de pontos candidatos de sombras e de nuvens, pois, estes pontos candidatos ainda serão confirmados, ou não, através do estabelecimento do par sombra-nuvem estabelecendo assim uma melhora qualitativa ao processo de detecção e mensuração de cobertura de nuvens e sombras em segmentos de imagens do CCD/CBERS.

3. Revisão Bibliográfica

Song e Civco (2002) usaram imagens das bandas 1 e 4 do Landsat TM adquiridas em duas datas diferentes d_1 e d_2 para detectar e reduzir áreas cobertas por nuvens e sombras. Primeiro, fizeram um ajuste radiométrico entre as imagens temporais para equilibrar o brilho e o contraste dos valores DN (*Digital Number*) dessas imagens com base na variação dos valores de brilho e no conhecimento prévio do Modelo Digital do Terreno, ao considerarem que a variação de relevo tem influência significativa na resposta radiométrica observada. A observação da resposta espectral dos alvos mostrou que a imagem da banda 1, desse sensor, possui melhores condições para detectar nuvens e a imagem da banda 4 para detectar sombras. Mediante essa observação empírica, os autores impuseram valores de limiar sobre os valores de brilho de cada banda como, por exemplo, valores maiores que 41 na imagem da banda 1 da data d_1 incluem nuvens e menores que 33 na imagem da banda 1 da data d_2 não incluem nuvens. Presume-se que a aplicação desses valores de limiar simplifique as imagens, pois eliminam algumas feições que não são nem sombras nem nuvens. No próximo passo foi aplicado um limiar de tolerância, maior que 10, sobre o resultado da subtração entre as imagens das datas d_1 e d_2 da banda 1 para destacar diferenças significativas entre as duas imagens. Fazendo a intersecção entre as imagens simplificadas e a imagem contendo diferenças expressivas, as áreas de nuvens são mais precisamente detectadas, exceto nas áreas em que houve a coincidência de nuvens nas imagens das duas datas. O mesmo raciocínio é aplicado para detectar sombras sobre as imagens da banda 4.

Polidorio *et al.*, (2003) associaram regiões de sombra com as componentes S e I do sistema de cor HSI para imagens RGB (composição colorida 3-2-1 para imagens CBERS e Landsat). Sombras são regiões de baixa intensidade luminosa (I), causada pelo bloqueio da incidência de luz direta e, com alta saturação (S) causada pelo espalhamento atmosférico de Rayleigh. A diferença $I - S$ produz valores menores ou iguais à zero para aquelas regiões afetadas por sombras (ou candidatas). A detecção final das áreas sombreadas é feita mediante

aplicação de valor de limiar (k) sobre as regiões candidatas.

Polidório *et al* (2005) propuseram um método para detectar e discriminar sombras, nuvens e corpos d'água que se baseia na exploração das diferenças de resposta espectral e atributos de cor dessas feições. Para explorar as diferenças da resposta radiométrica entre as várias feições que compõem a imagem usaram os índices *Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI (Jensen, 2002) e o *Normalized Difference Water Index* - NDWI (Polidório *et al*, 2004), os quais são computados usando as imagens das bandas 4, 3 e 2 adquiridas pelas câmaras CCD do CBERS. A fim de realizar parte da análise também foram computados os atributos de cor S (saturação) e I (intensidade) do sistema de cor HSI, obtidos pela transformação da composição colorida RGB das bandas 3, 2 e 1 das imagens CCD/CBERS.

Choi and Bindschadler (2004) usaram uma técnica para correlacionar a presença de nuvens com presença de sombras para melhorar a confiabilidade das identificações de nuvens sob solo congelado, situação essa onde as características da superfície do terreno são muito semelhantes às características das nuvens. Sabendo-se o azimute solar podem-se cruzar as informações vindas de áreas possivelmente cobertas por nuvens com as possivelmente cobertas por sombras. Tal técnica faz uso de várias funções morfológicas, índices quantitativos e múltiplas iterações foram necessários para determinar a distribuição de nuvens que melhor condizem com a distribuição das possíveis sombras.

4. Detecção de Nuvens e Sombras

Em virtude da complexidade de alguns dos métodos apresentados, que podem tornar a sua utilização muitas vezes inviável em virtude da grande quantidade de dados e formulações a ser processada ou da pouca capacidade computacional disponível e, como o objetivo deste trabalho é mostrar os resultados propiciados pelo método de correlação proposto, independentemente da técnica de detecção preliminar que foi utilizada para obter os pontos candidatos, este trabalho faz uso de um método paramétrico relaxado para produzir o maior número de pontos candidatos possível. Este método está baseado nas **Equação 1** até **4**:

$$\begin{cases} S_{b2} = b2 < (\min(b2) + 25) \\ S_{b4} = b4 < (\min(b4) + 60) \end{cases} \quad (1)$$

$$S_f = S_{b2} \cap S_{b4} \quad (2)$$

$$\begin{cases} N_{b1} = \begin{cases} 1, & \text{se } b1 > 110 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \\ N_{b2} = \begin{cases} 1, & \text{se } b2 > 150 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \\ N_{b3} = \begin{cases} 1, & \text{se } b3 > 130 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \\ N_{b4} = \begin{cases} 1, & \text{se } b4 > 150 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \end{cases} \quad (3)$$

$$N_f = (N_{b1} + N_{b2} + N_{b3} + N_{b4}) \geq 3. \quad (4)$$

Pixels de sombra apresentam baixos valores de brilho em qualquer uma das quatro bandas do sensor CCD/CBERS, devido a não incidência de luz direta nas regiões afetadas. Na banda 4 tem-se um alto contraste entre sombras e vegetação, porém corpos d'água também aparecem escuros. Na banda 2 tem-se menor contraste entre sombras e a cobertura do solo, porém corpos d'água pouco profundos ou com material em suspensão apresentam valores relativamente altos. Assim foram determinados, empiricamente, valores de limiares baseados nos valores mínimos observados nas bandas $b2$ e $b4$ (**Equação 1**) para segmentar os pontos candidatos a sombra (**Equação 2**). Para a detecção dos candidatos a ponto de nuvem, são utilizadas as quatro bandas disponíveis, através do estabelecimento de valores de limiar

empiricamente determinados (**Equação 3**). Somente os pixels selecionados em pelo menos três das quatro possibilidades são aceitos como candidatos a pontos de nuvem (**Equação 4**).

Todos os valores de limiares determinados foram estabelecidos de forma a garantir sua aplicação nas várias imagens testadas sem a necessidade de ajustes radiométricos e para maximizar a quantidade de pontos candidatos.

5. Correlação Nuvem-Sombra

Em primeiro lugar, deve-se ressaltar que a correlação nuvem-sombra somente é possível quando uma dada nuvem projeta sombra, o que nem sempre ocorre, pois certos tipos de nuvens, principalmente as dos tipos *Cirro e Alto*, em virtude da sua pequena espessura e/ou grande altura pode ter suas sombras projetadas fora dos limites abrangido pelo imageamento ou, então, amenizadas pela luminosidade atmosférica. A correlação é indicada para a detecção de nuvens de baixa altitude e que possuam áreas semelhantes às feições de alta reflectância existentes sobre o território brasileiro, tais como as nuvens dos tipos *Cumulus e Stratus*.

A correlação nuvem-sombra é feita em duas fases: (1) na primeira fase são feitas restrições geométricas sobre os pontos candidatos a sombras, baseando-se na localização e na área das sombras projetadas pelos pontos candidatos a nuvens para confirmar a real possibilidade de se tratar de pontos de sombra; (2) a segunda fase consiste na confirmação das nuvens a partir das sombras já confirmadas.

Tratar relações geométricas entre nuvens e sombras é um processo detalhista, pois a única relação teoricamente confiável entre nuvens e sombras está nas medidas de suas larguras (larguras medidas de forma perpendicular ao azimute solar). Isto se deve: (1) a distribuição vertical da nuvem, não perceptível do ponto de vista do sensor orbital; (2) a inclinação dos raios solares referentes ao horário do imageamento; (3) à curvatura da terra e alteração na altitude do relevo.

Para simplificar o modelo matemático relacionado com este processo de correlação entre os pares de feições, todo o processamento realizado é feito através do alinhamento do eixo das colunas da imagem com a direção de incidência dos raios solares na cena, isso é feito rotacionando as máscaras pelo valor angular do azimute solar, sendo as máscaras, a partir de então, processadas coluna a coluna. Assim, cada coluna da imagem pode ser tratada como sendo uma imagem separada e, desta forma, os valores de área e extensão das feições ganham o mesmo significado. Também deve ser aplicado um processo de dilatação na máscara de nuvens para que pequenos buracos, descontinuidades ou variações bruscas na forma sejam eliminados ou diminuídos, isso é importante para evitar que partes da mesma nuvem sejam processadas separadamente.

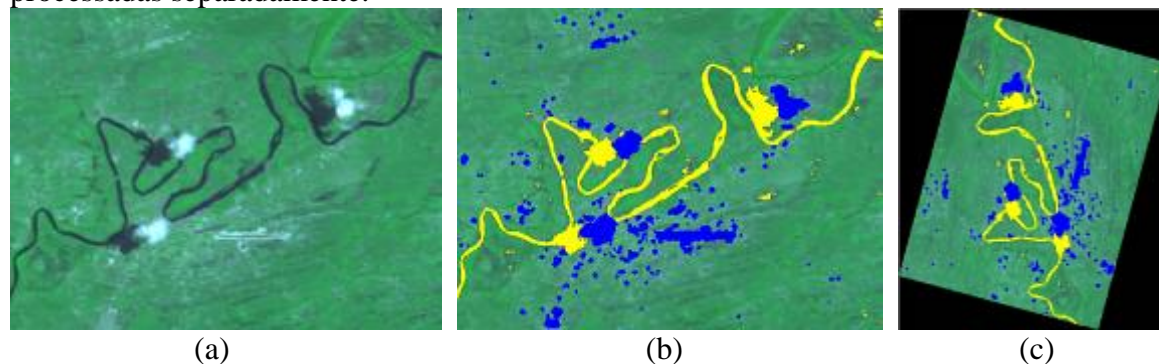


Figura 1: (a) Composição RGB-342 contendo nuvens e solo exposto; (b) resultado do método de detecção utilizado (Equação 1 até 4) sobreposto à imagem (a), candidatos a nuvem em azul e a sombras em amarelo; (c) alinhamento das máscaras com rotação pelo ângulo do azimute solar.

6. Confirmação das sombras

Para prever onde uma possível nuvem projeta a sua sombra deve-se usar as informações de alturas máxima e mínima das nuvens no horário do imageamento. Estes dados foram obtidos medindo nas imagens, as distâncias que separam, sobre o vetor de incidência solar, o início/fim de uma nuvem e o início/fim da sua respectiva sombra, conforme mostra **Figura 2**:

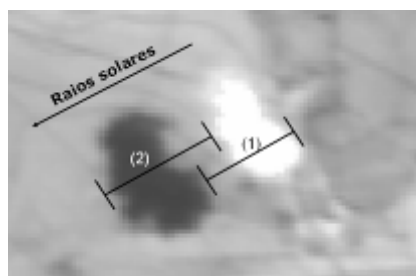


Figura 2: Com medida (1) calcula-se a altura da base da nuvem, essa medida somente é possível em nuvens que não ocultam parte de suas sombras; com a medida (2) calcula-se a altura máxima. Em ambas as medidas considera-se a nuvem como sendo um prisma com perfil igual a sua aparência na imagem. Banda 4 CCD/CBERS.

Através da **Equação 5** é possível fazer uma estimativa, da altura da base e dos topos das nuvens. Os valores calculados variaram entre 400 e 2500 metros. Com estes valores pode-se calcular um intervalo que delimite uma região de busca para confirmação da sombra projetada por uma nuvem específica. O modelo matemático utilizado para calcular as distâncias de projeção mínima e máxima é dado pela **Equação 6**:

$$h = Dist. \tan(A).GSD \quad (5) \quad \Rightarrow \quad Dist = \frac{h}{\tan(A).GSD} \quad (6)$$

Onde:

Dist: é a distância de projeção máxima ou mínima em pixels.

A: é o ângulo de elevação solar.

h: é a altura máxima ou mínima estipulada para a ocorrência de nuvens, em metros.

GSD: (*ground sample distance*) é a extensão que cada pixel cobre sobre a superfície imageada (equivalentes a 20 metros para imagens CCD/CBERS).

Após a delimitação da região de busca de uma sombra específica, estimam-se através da nuvem correspondente, as dimensões da sombra por ela projetada. Uma nuvem de pequena extensão, deve também projetar uma sombra de pequena extensão. A expectativa sobre a extensão mínima da sombra projetada é proporcional à extensão da nuvem. Esta proporcionalidade não é verificada somente se a extensão da nuvem for superior à distância da projeção mínima calculada para o local, neste caso a nuvem começa a ocultar sua própria sombra, ficando a expectativa sobre o tamanho mínimo da sombra limitado a essa distância, desta forma é obtido o valor da expectativa mínima. A expectativa de extensão máxima da sombra é definida somando-se à expectativa mínima o valor referente à projeção adicional que se espera que o desenvolvimento vertical da nuvem (espessura) possa gerar (**Equação 7**). Esse desenvolvimento é determinado em função da extensão horizontal da nuvem seguindo a seguinte lógica: Uma nuvem deverá ter uma espessura condizente com sua extensão horizontal e uma nuvem pequena é menos espessa que uma nuvem grande. Essa relação entre

a extensão da nuvem e sua espessura é feita pelo fator de desenvolvimento vertical (f) que durante as medidas raramente ultrapassou o dobro da extensão da nuvem, ou seja, $f = 2$.

$$esp_{\max} = esp_{\min} + \frac{(esp_{\min} f)}{\tan(A)} \quad (7)$$

Onde:

esp_{\max} : é a expectativa máxima calculada.

esp_{\min} : é a expectativa mínima.

A : é o ângulo de elevação solar.

f : é o fator de desenvolvimento vertical.

As primeiras sombras encontradas que estiverem dentro das áreas de projeção cujos tamanhos satisfizerem os valores das expectativas máximas e mínimas determinados para tal região, respeitando o sentido da incidência dos raios solares, serão aceitas como verdadeiras. Porém existem casos onde esta regra não é válida. Por exemplo, nas áreas de projeção localizadas entre duas nuvens separadas por uma distância inferior ao valor estimado para a projeção máxima há a possibilidade da sombra projetada estar parcialmente oculta pela segunda nuvem, desta forma, o critério de expectativa mínima para a área da sombra pode não ser satisfeito. Sendo este critério ignorado nestas áreas.

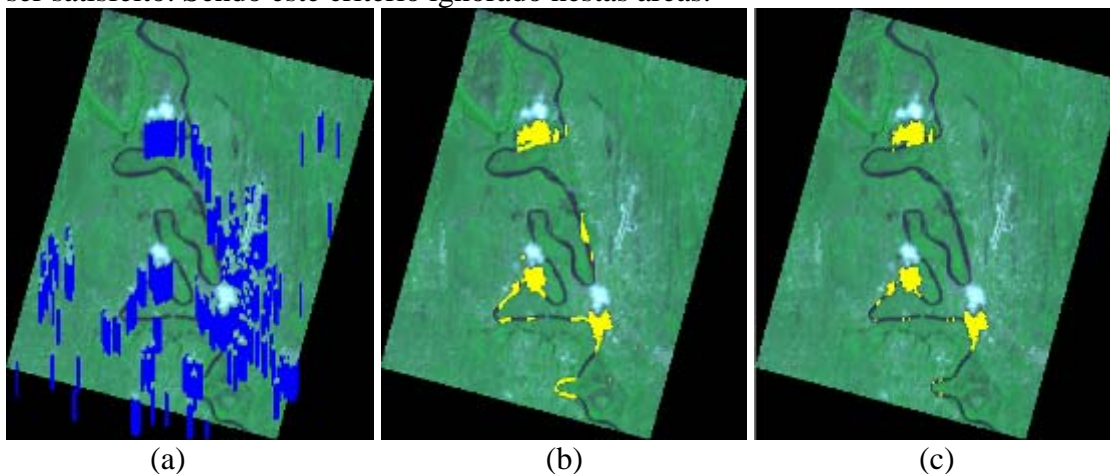


Figura 3: (a) Em azul, regiões onde as sombras deveriam ser projetadas pelas candidatas a nuvem; (b) em amarelo, seleção das detecções de sombras localizadas dentro destas regiões; (c) sombras selecionadas em (b) que satisfizeram os critérios de tamanho determinados para as regiões onde se encontram.

6. Confirmação das nuvens

Gerar parâmetros para prever o formato das nuvens a partir das sombras é uma tarefa muito mais difícil que a anterior, pois, as sombras só apresentam forma ou área próxima às das nuvens geradoras quando não estão parcialmente ocultas, fora estes casos não há como prever o tamanho da nuvem. Nesta fase é realizada a confirmação de todas as candidatas a nuvens que geraram regiões de projeção onde sombras foram confirmadas. Para isso a partir das sombras confirmadas procura-se, agora no sentido oposto ao de incidência dos raios solares, por nuvens que quando encontradas terão toda sua extensão confirmada.

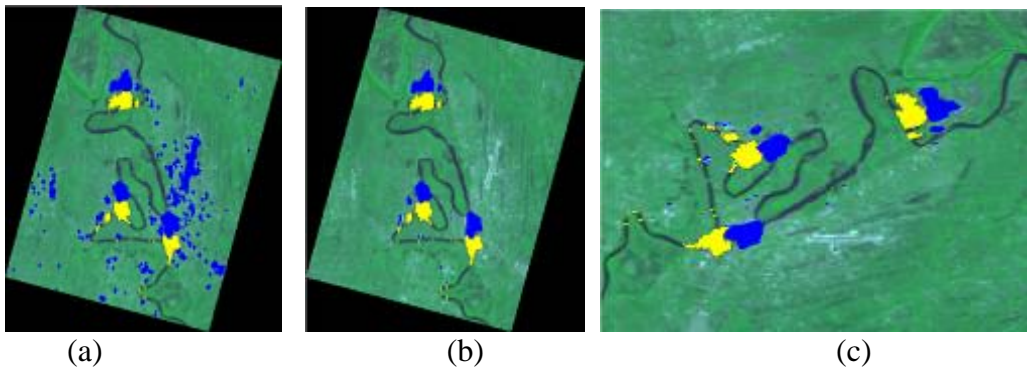


Figura 4: (a) Em azul, nuvens inicialmente detectadas e em (b) nuvens confirmadas a partir das sombras confirmadas (em amarelo) anteriormente; (c) resultado final.

7. Resultados e Considerações Finais

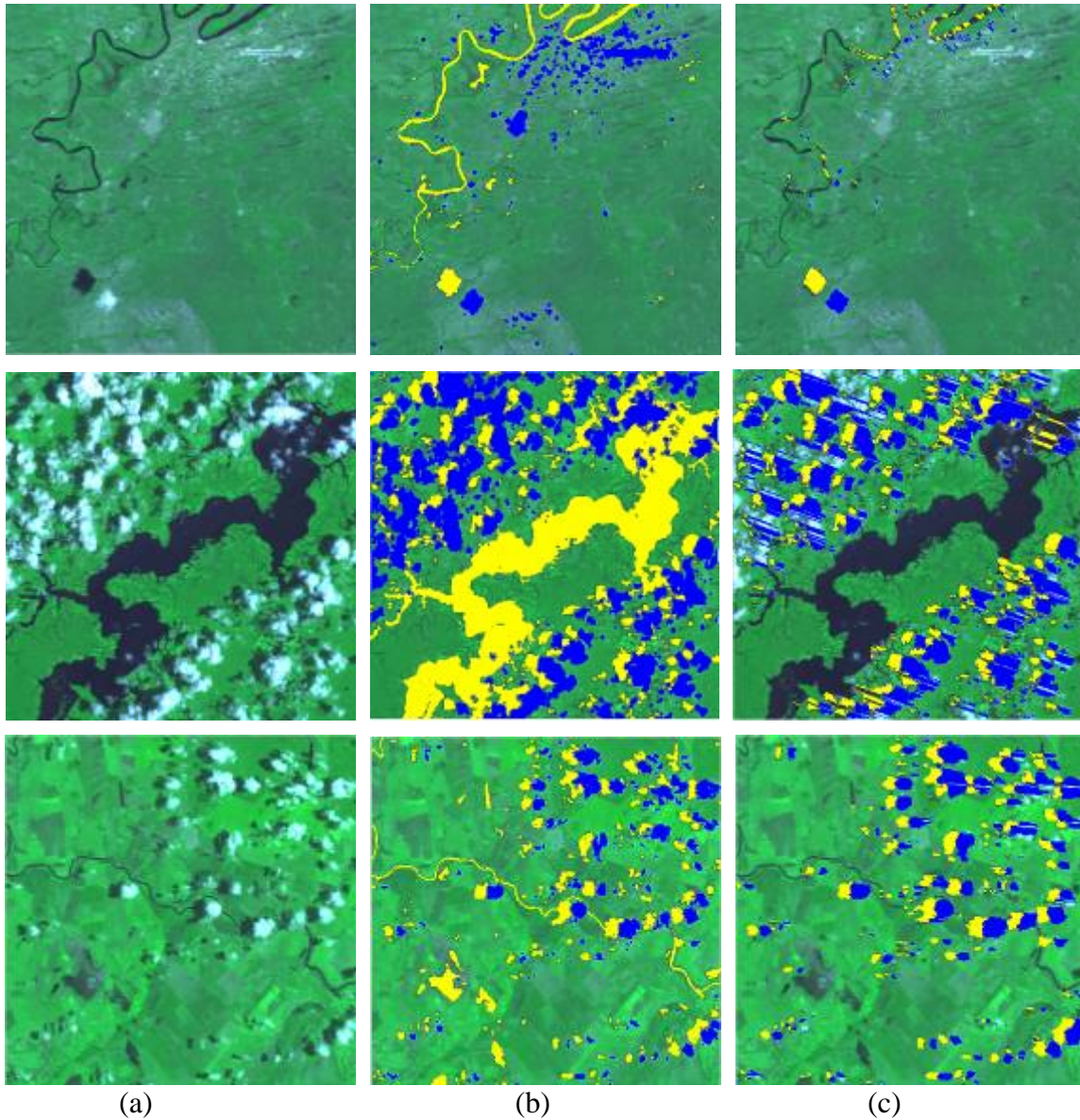


Figura 5: (a) Composições RGB-342; (b) detecções obtidas com o método utilizado e em (c) resultados finais após a correlação.

Nota-se que apesar de alguns erros ainda persistirem, houve uma boa melhoria na qualidade da detecção. Em todos os testes realizados houve uma melhoria qualitativa nas estimativas iniciais de coberturas de nuvens e especialmente de sombras. O sucesso deste método depende da distribuição das feições na cena e da confiabilidade das estimativas iniciais. A aplicação deste método permite inserir fatores de relaxamento (ex., nos valores de limiares) que permitam detectar pontos extras (candidatos) de nuvens e sombras, pois, a correlação feita permite eliminar falsas detecções, permitindo, assim, estabelecer métodos mais simples, e com baixo custo computacional para detectar somente pontos candidatos, uma vez que a correlação confirmará posteriormente a pertinência desses candidatos.

Este método apresenta erros naquelas situações em que existam feições de alta reflectância e feições confundíveis com sombra distribuídas em uma geometria idêntica àquela esperada para nuvens e sombras; sombras conectadas com outras feições semelhantes; nos casos em que nuvens ou sombras ultrapassam os limites das bordas da imagem, pois nestes casos, não há como efetuar a correlação geométrica e quando as nuvens apresentam formas muito irregular, dificultando o cálculo dos parâmetros de aceitação de sombras.

8. Referências Bibliográficas

Polidorio, A. M., Flores, F. C., Franco, C., Imai, N. N., Tommaselli, A. M. G. Detecção automática de sombras e nuvens em imagens CBERS e Landsat 7 ETM. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005, p. 4233-4240.

Polidorio, A. M., Imai, N. N., Tommaselli, A. M. G. Correção radiométrica das imagens multiespectrais CBERS e LANDSAT ETM usando atributos de reflectância e de cor. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005, p. 4241-4248.

Polidorio, A. M.; Flores, F. C.; Imai, N. N.; Tommaselli, A. M. G.; Franco, C. Automatic shadow segmentation in aerial color images. Proceedings of the IEEE XVI Brazilian Symposium on computer graphics and image processing, 12 – 15 October, São Carlos, Brazil, 2003. **Proceedings...** p. 270 – 277.

Song, M.; Civco, D. L. A knowledge-based approach for reducing cloud and shadow. ASPRS-ACSM Annual Conference and FIG XXII Congress April 22-26, 2002. **Proceedings...** available in CR-ROM.

Choi, H., Bindschadler, R. Cloud detection in Landsat imagery of ice sheets using shadow matching technique and automatic normalized difference snow index threshold value decision. **Remote Sensing of Environment** 91 (2004) p.237–242