

# Aplicação do satélite CBERS-2B na identificação de zonas de risco nos Andes Centrais

Rafael R. Ribeiro<sup>1</sup>  
Jorge Arigony-Neto<sup>1,2</sup>  
Cláudio Wilson Mendes Júnior<sup>1</sup>  
Jefferson Cardia Simões<sup>1</sup>  
Edson Ramirez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Núcleo de Pesquisa Antárticas e Climáticas, Depto. Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil  
[rrr.3@pop.com.br](mailto:rrr.3@pop.com.br)

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande, Instituto de Ciências Humanas e da Informação  
Rio Grande - RS – Brasil  
[jorgearigony@furg.br](mailto:jorgearigony@furg.br)

<sup>3</sup>Universidad Mayor de San Andrés, Instituto de Hidráulica e Hidrología, La Paz, Bolívia  
[eramirez@accelerate.com](mailto:eramirez@accelerate.com)

**Abstract:** Global warming is considered an important component of the risk of natural hazards, because the glacier environments are very sensitive to atmospheric warming and quickly responds to it. This study intends to identify risk areas affected by glacial flows, through a model based on Geographic Information System (GIS), integrated with data from remote sensing. The combination of these data showed satisfactory results in the detection of sediment's flow on the area of the Tres Cruces mountain range. Furthermore, this technique can also be used for soil management.

**Keywords:** CBERS 2B, áreas de risco, desastres naturais, risk areas, natural hazards

## 1. Introdução

Durante o século XX ocorreram modificações importantes no meio ambiente natural em decorrência do desenvolvimento econômico da humanidade. Estima-se que o planeta sofreu um aumento em sua temperatura na ordem de  $0,6 \pm 0,1^\circ \text{C}$  durante este período. Para o grupo de trabalho I do Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change* – IPCC), a maior parte deste aumento ocorre devido à intensificação das concentrações dos gases responsáveis pelo efeito estufa, provenientes de atividades antrópicas (IPCC, 2007). O estudo dessas modificações nos ecossistemas em decorrência de alterações climáticas é extremamente importante, pois podem exercer pressões sociais e econômicas sobre a humanidade, que se utiliza da exploração de recursos naturais para seu desenvolvimento.

Desastres naturais a partir de ambientes glaciais normalmente afetam as populações que vivem em altas montanhas. Podemos lembrar recentemente (2007) o desprendimento de uma geleira que foi registrado na mina Pakuni, localizada na Província de Inquisivi do departamento de La Paz (Bolívia), onde o movimento de sedimentos deslocou-se do cerro Jacha Pakuni e deixou um saldo de 16 casas enterradas, além da destruição de máquinas e grandes perdas materiais (Ramirez, comunicação pessoal).

O aquecimento global é considerado um importante componente do risco de desastres naturais, pois os ambientes glaciais são muito sensíveis ao aquecimento atmosférico e rapidamente respondem ao mesmo. Onde há rápida retração das geleiras, podem ser encontradas áreas íngremes expostas com potenciais para o fluxo de material inconsolidado. Devido à grande dificuldade logística para monitorar potenciais áreas de perigo em regiões montanhosas, a utilização de satélites é uma excelente ferramenta para identificar e acompanhar essas mudanças (Huggel, *et al.*, 2004).

Este estudo propõe identificar áreas de risco afetadas por movimentos de fluxo de origem glacial, através de um modelo baseado em Sistema de Informações Geográficas (SIG), integrado com dados de sensores remotos.

## 2. Área de estudo

A cordilheira Tres Cruces ( $67^{\circ}22'$ – $67^{\circ}32'$ W e  $16^{\circ}47'$ – $16^{\circ}09'$ S) tem aproximadamente 35 km de comprimento e 10 km de largura (Figura 1). Localiza-se a cerca de 150 km da cidade de La Paz, tem seu início a sudoeste do rio La Paz, estendendo-se até a cidade de Ventillaque. Em 1975, sua superfície glacial foi estimada em 39 km<sup>2</sup> (Willians *et al.*, 1988), contando com 156 geleiras. Também são encontradas diversas lagunas, sendo as mais extensas: Huallatani, Laramkkota, Octa Kkota e Chatamarca. Suas quatro pequenas usinas hidroelétricas distribuem-se ao longo do rio Minguillas, onde sua nascente forma-se pelo derretimento glacial. Em uma escala continental, contribui para o escoamento da bacia Amazônica. Diversos picos possuem mais de 5.000 m, sendo o mais elevado o Jachancunollo, o qual tem uma altitude de 5.900 m, seguido pelo Gigante Grande, com 5.807m. A atividade de mineração da cassiterita é bastante intensa nas minas de Pakuni, Malachuma e Argentina.

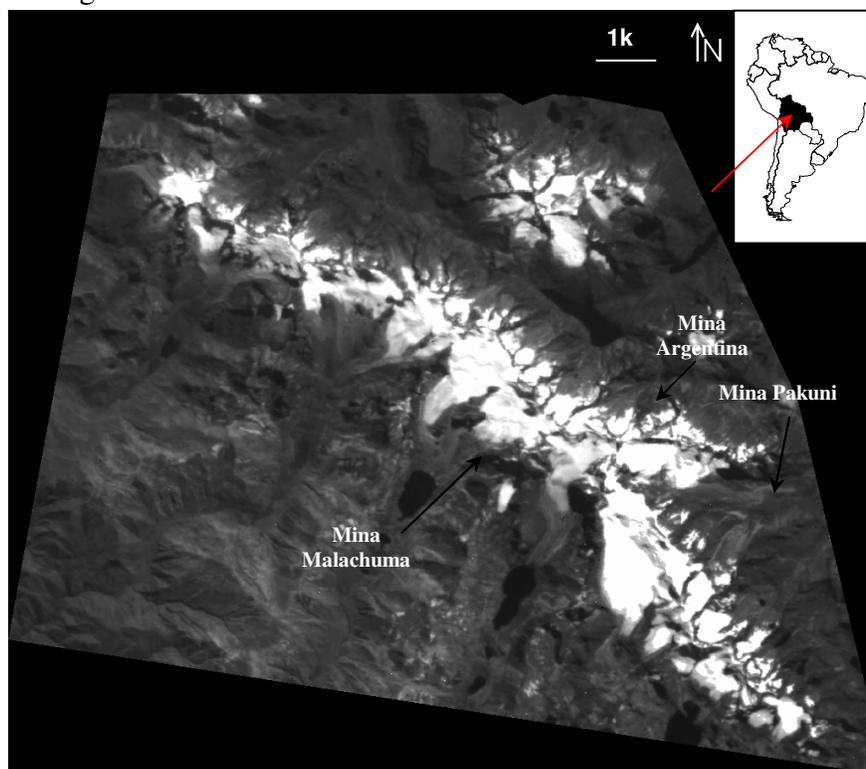


Figura 1. Localização da Cordilheira Tres Cruces (seta vermelha) e as principais minas da região. Satélite CBERS-2B CCD banda 3, adquirida em 28 de maio de 2008.

### 3. Dados Digitais

#### 3.1 *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*

O sensor *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER) foi lançado em 2000, a bordo do satélite Terra, levando 3 instrumentos: uma Câmera Visível e Infravermelho Próximo (*Visible – Near InfraRed*) com 4 bandas multiespectrais (3 no nadir e 1 na traseira - *back nadir*); uma Câmera Infravermelha Média 37 (*Short - Wave InfraRed*) com 6 bandas e 30 metros de resolução; e uma Câmera Infravermelho Termal (*Thermal InfraRed*) com 5 bandas e 90 metros de resolução. Neste estudo foi utilizada uma imagem deste sensor, obtida no dia 29 de maio de 2004.

#### 3.2 *China-Brazil Earth-Resources Satellite*

O CBERS-2B, lançado em setembro de 2007, é muito similar aos seus predecessores CBERS 1 e 2. Entretanto, este apresenta algumas modificações, como a substituição da câmera Infrared Multispectral Scanner (IRMSS) por uma High Resolution Câmera (HRC). Esta câmera (HRC) opera nas bandas do visível e do infravermelho próximo, gerando imagens com 27 x 27 km, com 2,5 m de resolução. Neste estudo, foram utilizadas duas imagens deste satélite, obtidas em maio de 2008, sendo uma delas do sensor Charge Coupled Device (CCD) e outra do HRC.

### 4. Metodologia

A Figura 2 apresenta o fluxograma com as etapas de processamento e análise dos produtos obtidos.

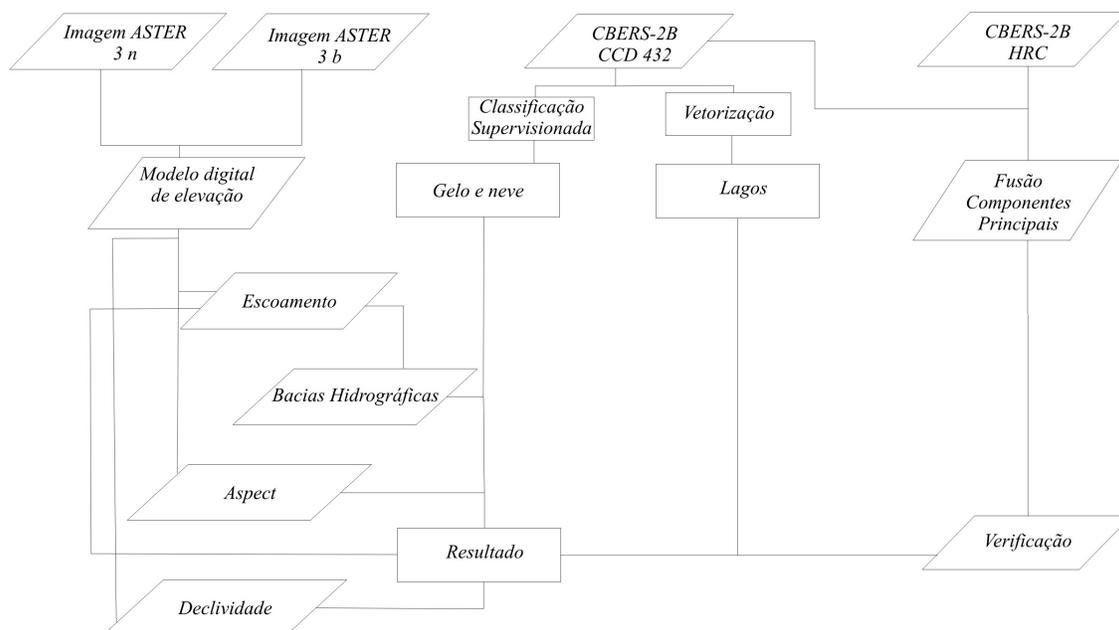


Figura 2. Fluxograma do estudo.

## 5. Resultados e Discussão

A Figura 3 demonstra os resultados obtidos seguindo o fluxograma do estudo. Primeiramente, obteve-se o Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de estudo (Figura 3.1), utilizando o programa ERDAS™ 8.7, com as bandas 3n (nadir) e 3b (traseira), nível 1b do sensor ASTER. Este procedimento é muito parecido com o georreferenciamento. A principal diferença é a atribuição de uma cota (Z) para cada ponto identificado além dos valores para X e Y em ambas as imagens. Foram encontrados 12 pontos em comum no terreno (*Ground Control Points* - GCPs), e três pontos de checagem (*Check Points*-CPs) entre as imagens, usando a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) zona 19S e o *World Geodetic System* 1984 (WGS84). Esses dados foram extraídos do mapa topográfico de 1975 (Jordan, 1991). Automaticamente foram gerados 60 pontos em comum (*tie points*) entre as duas imagens. A seguir, uma imagem epipolar foi gerada pela rotação e reamostragem das bandas, usada em combinação com os GCPs para geração de um MDE absoluto com 15 metros de resolução. A diferença entre o MDE/ASTER e os CPs foi de  $\pm 9$  m.

A partir do MDT, foi possível extrair diversos dados (camadas) referentes às características topográficas do setor analisado: o escoamento (Figura 3.2), a orientação (Figura 3.5) e a declividade do terreno (Figura 3.4). Através da camada de escoamento, foi obtida a informação referente às bacias hidrográficas (Figura 3.3), onde foram encontradas 11 distintas bacias.

As grandes variações da topografia e radiação resultam, normalmente, em características espectrais heterogêneas na cobertura de neve nas regiões montanhosas. Além disso, o contraste de iluminação dessas áreas, associado às freqüentes nuvens e deposição superficial de neve, pode dificultar a identificação dos limites da massa de gelo. A exata delimitação do término de uma geleira é freqüentemente difícil, pois a língua das geleiras pode estar coberta por fragmentos rochosos, o que torna sua resposta espectral similar ao entorno. No procedimento para a extração das feições de neve e gelo foi utilizada uma imagem do satélite CBERS 2B CCD composição 4,3,2 (RGB) (Figura 3.6). Concluída esta composição colorida, as margens das geleiras (Figura 3.8) e os lagos foram identificados e classificados pelo método da máxima verossimilhança. Porém, as áreas de lagos acabaram misturando-se com as áreas de sombra, o que tornou mais aconselhável a sua vetorização de forma manual (Figura 3.7).

Na etapa seguinte, foram cruzados os dados das bacias hidrográficas e das áreas de neve e gelo (Figura 3.9). Para a sobreposição dos planos de informação gerados neste estudo, foi utilizado o *software* Idrisi™ Andes. Nesta etapa, observou-se que o comportamento das massas de gelo não era homogêneo, isto é, as geleiras não possuíam a mesma distribuição espacial na cordilheira. Para observar melhor esta situação, sobrepusemos os dados de neve e gelo sobre o mapa de orientação (Figura 3.10), onde foi possível observar que os controles climáticos são claramente identificados ao comparar a extensão da frente das geleiras de orientação leste-norte com as geleiras de orientação oeste-sul. Este fenômeno pode estar relacionado com a diferente exposição solar das vertentes. Durante a manhã, as nuvens ainda se encontrariam em altitudes baixas, expondo as geleiras de orientação leste-norte à radiação direta do sol. Já no período da tarde, a nebulosidade estaria em sua posição mais elevada na troposfera, absorvendo grande parte da radiação, deixando as vertentes de orientação oeste-sul mais abrigadas (Jordan, 1985). Devido as suas extensões serem muito pequenas, decidimos excluir de nossas análises estes setores.

Na próxima etapa realizamos um *overlay* dos dados das geleiras com a bacia hidrográfica (já excluído o setor norte-leste) e a camada de orientação. Posteriormente, utilizamos a camada da declividade (consideramos relevante para o estudo somente áreas entre 0 e 24° de declividade, onde efetivamente poderia acumular-se um deslizamento de rochas). No último passo, agregamos a camada escoamento (com um *buffer* de 30 m) à camada anterior. Optou-se por esse procedimento devido à camada original “escoamento” não ser representativa das condições reais no terreno, sendo muito “estreita” (Figura 3.12).

Para a verificação da metodologia desenvolvida, foi realizado um procedimento que recebe o nome de fusão. O objetivo desta técnica é realçar a resolução espacial de uma imagem multiespectral. Utiliza-se uma imagem de alta resolução (neste caso, uma imagem HRC com 2,5 m) para ampliar a resolução espacial de uma imagem multiespectral de baixa resolução (CCD com 20 m). Optou-se pelo método dos Componentes Principais, uma vez que este mantém as características radiométricas das cenas. Nesta mesma etapa a camada obtida nos procedimentos anteriores foi sobreposta à imagem originada pela fusão entre os dados das imagens CCD e HRC do CBERS-2B (Figuras 3.14 e 3.15). A camada dos lagos também foi sobreposta a estas informações.

A imagem “fusionada” permitiu identificar uma área da cordilheira Tres Cruces em que ocorreu um evento de aluvião (mina Pakuni), onde um setor interno da geleira se desprende e arrastou ao longo de seu curso rochas e material inconsolidado (Figuras 3.16; 3.18 e 3.19). Na Figura 3.17 foi possível avaliar, de forma satisfatória, a utilização da metodologia desenvolvida para a identificação de áreas de risco na zona da cordilheira Tres Cruces.

## 6. Conclusão

A combinação de dados de sensoriamento remoto com o geoprocessamento apresentou um resultado satisfatório na detecção de fluxos de sedimentos na área da cordilheira Tres Cruces, podendo esta técnica também ser empregada para o planejamento e uso do solo.

## 7. Referências bibliográficas

Huggel, C.; Käab, A.; Salzmann, N. GIS-based modeling of glacial hazards and their interactions using Landsat-TM and IKONOS imagery. **Norwegian Journal of Geography**, n. 58, p.61-73, 2004.

IPCC. **Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for policymakers - Brussels – April, n. 23, 2007.

Jordan, E. Recente glacier distribution and present climate in the Central Andes of South America: **Zeitschrift für Gletscherkunde und Glacialgeologie**, n. 21, p. 213-224, 1985.

Jordan, E. **Die Gletscher der Bolivianischen Anden**. Eine photogrammetrisch — kartographische Bestandsaufnahme der Gletscher Boliviens als Grundlage für klimatische Deutungen und Potential für die wirtschaftliche Nutzung. Franz Steiner Verlag. Tese (doutorado). Stuttgart, p. 365.1991.

Williams, R. S., Jr.; Ferrigno, J. **Satellite image atlas of glaciers of the world: U.S. Geological Survey Professional Paper 1386-I** (Glaciers of South America), p. 206.1998.

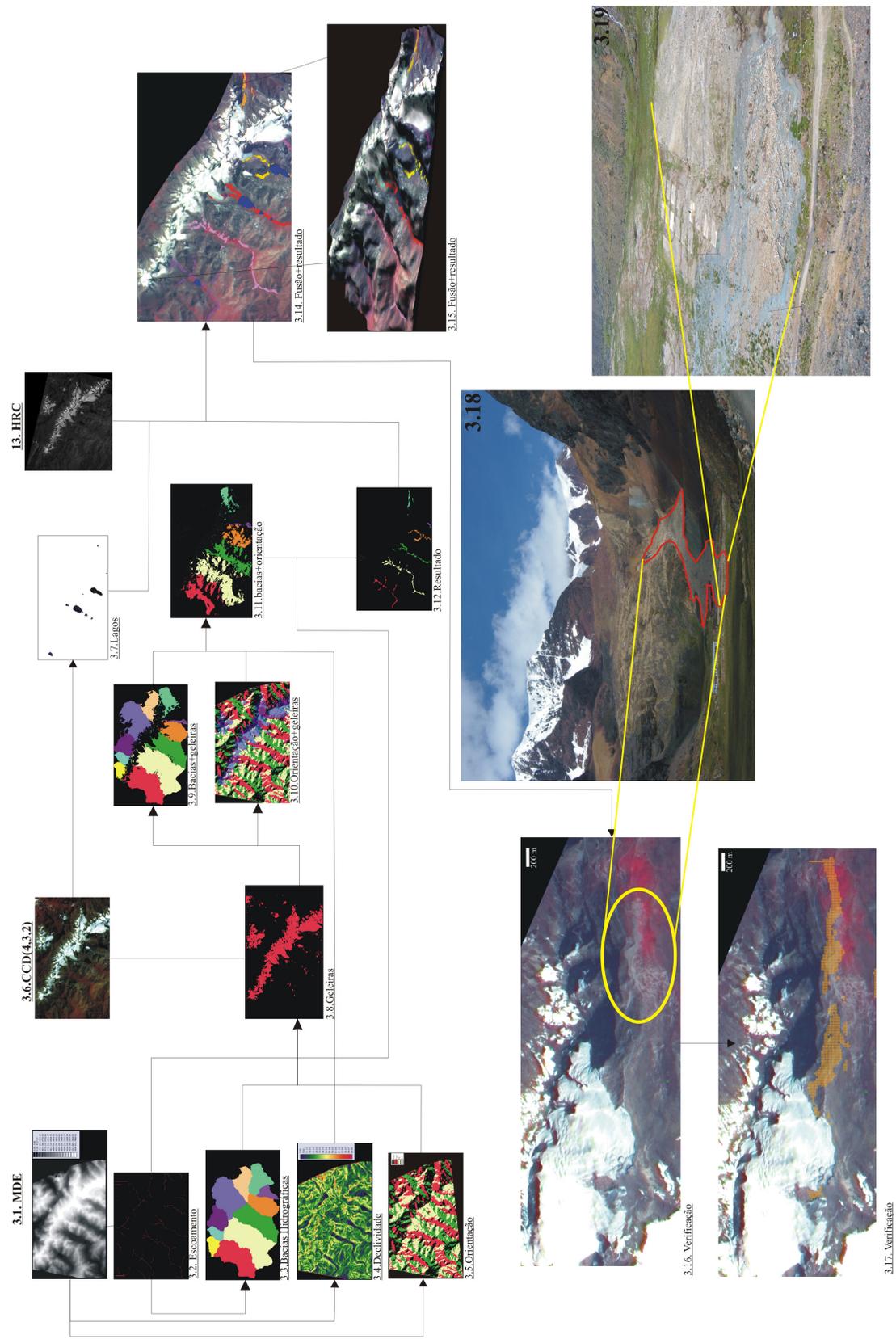


Figura 3. Resultados obtidos.