

MORFOLOGIA DAS GELEIRAS ANDINAS: UMA ANÁLISE NA CORDILHEIRA TRES CRUCES, BOLÍVIA

Rafael Ribeiro¹, Ulisses Franz Bremer¹, Edson Ramirez², Jefferson Cardia Simões¹

¹Núcleo de Pesquisa Antárticas e Climáticas, Depto. Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Avenida Bento Gonçalves 9500, 91.501-70 Porto Alegre, Brazil

²Universidad Mayor de San Andrés, IHH, La Paz, Bolivia

rrr.3@pop.com.br

1. INTRODUÇÃO

Os processos glaciais deixam importantes “registros” de sua atuação, tanto na modificação de formas do relevo existentes como na deposição de material sedimentar. Através de sua identificação é possível reconstruir paleoambientes e identificar os limites máximos de atuação glacial (Clapperton, 1993).

As feições geradas pelas geleiras estarão relacionadas com o seu tipo (*e.g.*, geleira de montanha, geleira de vale, etc.), o relevo e sua litologia. Quando a geleira ocupa uma reentrância arredondada e individualizada, em uma montanha, escavando-a profundamente, cria-se uma feição conhecida como anfiteatro. Se as paredes de dois anfiteatros glaciais opostas se interceptam se denominam arestas. Quando três ou mais anfiteatros desenvolvem-se juntos, forma-se um pico pontiagudo na intersecção de suas arestas, chamado de esporão. Devido a sua associação com pequenas geleiras, os anfiteatros são utilizados como indicadores de condições paleoclimáticas médias da atmosfera. Isto se aplica principalmente à orientação e à altitude da feição, que estariam relacionadas com áreas de menor ablação (menos radiação solar) e com padrões ou gradientes de precipitação (Clapperton, 1993).

O movimento da geleira vai escavando e ampliando constantemente o seu leito, de modo que quando o gelo desaparece, se origina um profundo vale glacial, cuja seção transversal tem uma forma de “U”. As geleiras tributárias também escavam vales em forma de “U”, porém sua seção transversal é menor e seus fundos se encontram a grande altura com respeito ao nível que ocupa o fundo do vale principal, por isso recebe o nome de vale suspenso (Menzies, 1995).

De acordo com Menzies (1995), os escombros podem ser transportados pela geleira no seu interior ou arrastadas entre este e as paredes do vale na forma de moraina lateral. Quando se unem duas línguas glaciais, as morainas laterais entram em contato e dão lugar a uma moraina central, que se situa entre o gelo no centro do vale. No final da língua da geleira os escombros transportados se acumulam em uma moraina terminal. Estes depósitos tomam uma forma curvada cuja parte côncava aponta para cima e seus extremos se unem com as morainas laterais de cada parede. À medida que o gelo retrocede, vai deixando atrás de si acumulações de fragmentos. Se existe irregularidade na velocidade de retrocesso da frente da geleira, os depósitos são denominados morainas de retrocesso. Devido ao enfraquecimento que a glaciação proporciona nas paredes dos vales, é muito comum a ocorrência de deslizamento de terra.

Muitas geleiras localizam-se em áreas remotas, o que torna as medidas no terreno muito caras e de grande dificuldade logística. Uma alternativa a esses métodos resulta da integração de dados obtidos em campo com dados de sensoriamento remoto (Reinhardt e Rentsh, 1986). Este estudo propõe levantar por técnicas de sensoriamento remoto uma área piloto (cordilheira Tres Cruces, figura 1) da cobertura de gelo boliviana ($67^{\circ}22'$ - $67^{\circ}32'W$ e $16^{\circ}47'$ - $16^{\circ}09'S$), onde serão examinadas as antigas posições frontais de algumas morainas dessa cordilheira, além da construção de um inventário glacial, como o proposto pelo projeto *Global Land Ice Measurements from Space* (GLIMS), através da análise de imagens satelitais e dados cartográficos.

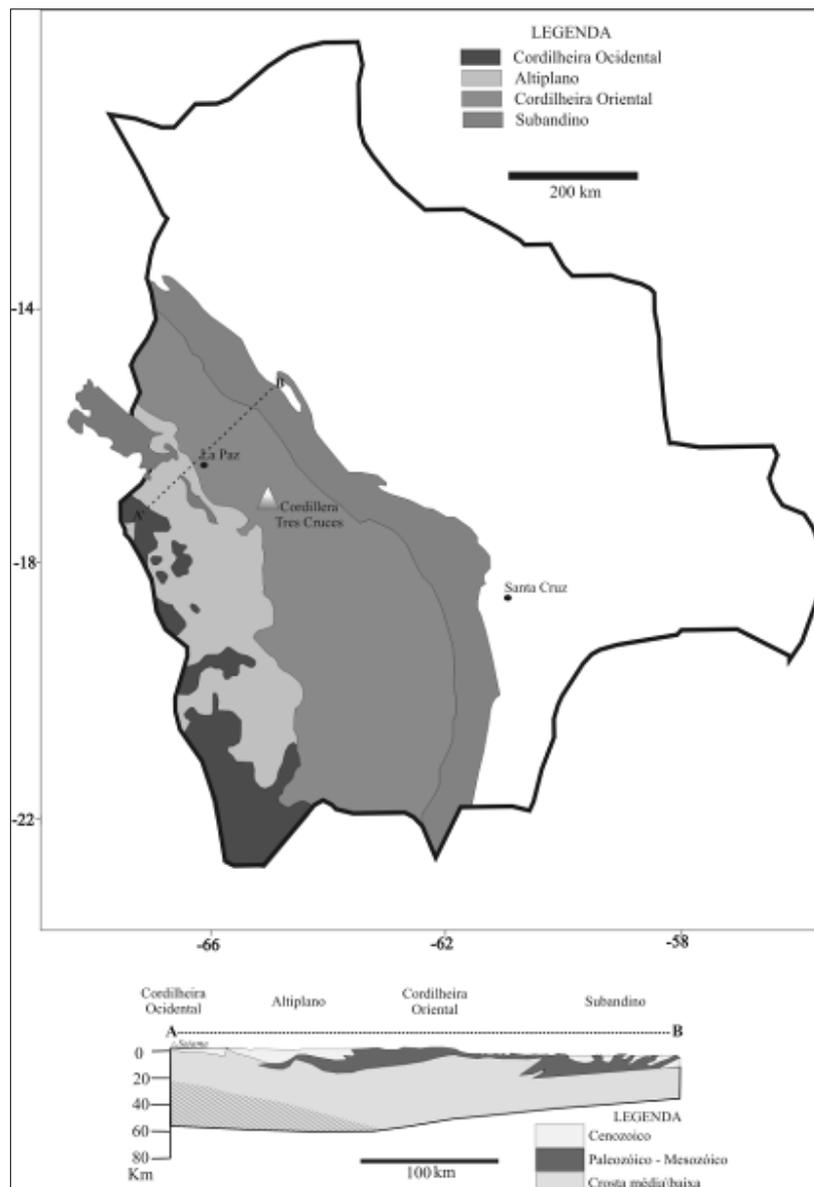


Figura 1 : Localização da cordilheira Tres Cruces e as principais províncias estruturais dos Andes bolivianos (A), a linha branca indica a localização do perfil geológico (B). (Fonte: Montes de Oca, 1995; Cordani *et al.*, 2000).

2. ÁREA DE ESTUDO

Na Bolívia, as geleiras estão restritas às cotas altimétricas mais elevadas. No sul do país (entre 23° e 32°S), mesmo acima dos 5.000 m, a altitude da linha de equilíbrio é muito alta para as geleiras se desenvolverem. Portanto, não ocorre acumulação da neve ao longo do ano. As massas de gelo sobrevivem apenas sobre alguns cones vulcânicos, acima dos 6.000 m, como os Nevados Payachata, Nevado Sajama e Cerro Quimsachata.

As duas principais cadeias de montanhas que abrigam as geleiras bolivianas são: A) Cordilheira Ocidental, que é formada por vulcões extintos com geleiras de cratera e pequenos cumes isolados cobertos por gelo; B) Cordilheira Oriental, com aproximadamente 600 km² de geleiras. A Cordilheira Oriental pode ser dividida em 4 partes: Apolobamba, Real, Muñecas, Tres Cruces e Nevado Santa Vera Cruz (figura 1).

Durante a última Idade de Gelo (*Ice Age*), a cobertura glacial da região cobria área muito maior do que no presente e um grande número de montanhas e vulcões, hoje sem geleiras, as tinham. Entretanto, devido ao soerguimento tectônico (as montanhas só atingiram suas posições atuais no meio do Quaternário), permaneceram documentadas nos depósitos glaciais apenas as duas últimas glaciações do Pleistoceno (Troll e Finsterwalder, 1935).

2.1. Características geomorfológicas da cordilheira Oriental

Numerosos grupos de morainas destacam-se na morfologia atual da Cordilheira Oriental. Rabatel (2005), através de análise liquinométrica em 13 sítios nesta cordilheira, a partir do vale de Ichu Kota (o sítio mais ao norte, ~16°S) e a cordilheira Tres Cruces (mais ao Sul, ~17°S), encontrou uma resposta homogênea das geleiras às flutuações climáticas recentes, desde a sua fase máxima na Pequena Idade do Gelo (*Little Ice Age* ao redor de 1.660 D.C.), até o final do século XX. Ele identificou 10 grupos de morainas (figura 2), começando por aquelas mais afastadas das frentes atuais (que atestam a extensão máxima das geleiras durante a Pequena Idade do Gelo), até as mais próximas das suas frentes, sendo respectivamente numeradas de 1 (mais antiga) até 10 (mais recente).

Neste mesmo estudo foi possível identificar as morainas que se desenvolveram durante o máximo da Pequena Idade do Gelo (segunda metade do século XVII) e praticamente permaneceram nessa posição até a metade do século XVIII. Entre 1730 e 1740, deu-se início a retração contínua das geleiras que persiste até os dias atuais.

Segundo esses estudos paleoclimáticos, no período da máxima extensão das geleiras, o total de precipitação anual era 20 a 30% maior do que atualmente, e a temperatura do ar era aproximadamente 0,4 – 0,6 °C mais baixa. A partir da metade do século XVIII, o recuo glacial esteve associado à queda na precipitação. No final do século XIX e início do XX, a retração glacial acelerou-se, sendo relacionada a numerosos e intensos eventos *El Niño*.

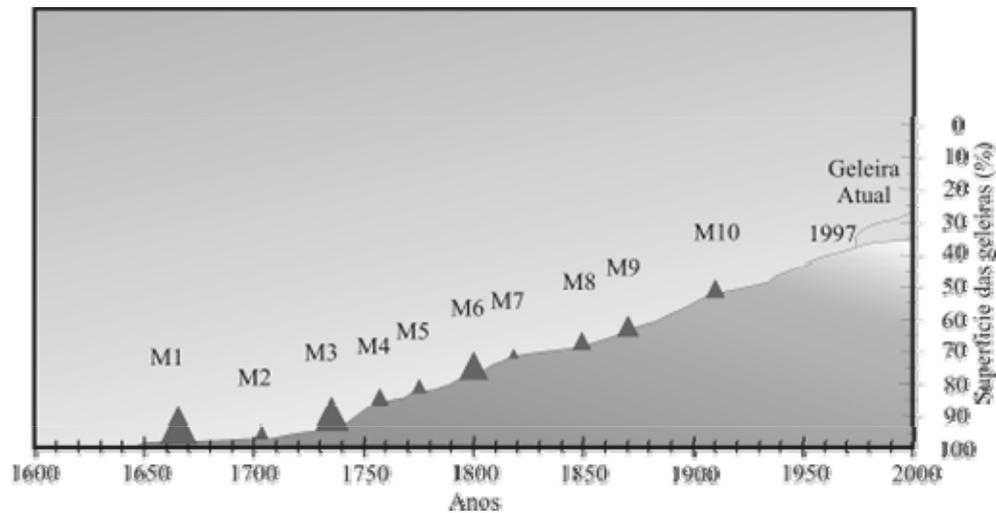


Figura 2 : Esquema morfoestratigráfico representando as 10 principais morainas identificadas na Cordilheira Oriental e cuja formação iniciou na Pequena Idade do Gelo (M 1, a mais antiga), (Fonte: Rabatel, 2005).

3. DADOS UTILIZADOS

3.1. Base de dados digitais

3.1.1. *China-Brazil Earth-Resources Satellite*

O programa *China-Brazil Earth-Resources Satellite* (CBERS) nasceu da parceria entre o Brasil e a China no segmento de tecnologia científica espacial. O lançamento do satélite CBERS-2 ocorreu em 21 de outubro de 2003, transportando três sensores: uma Câmera Imageadora de Alta Resolução (*High Resolution CCD Camaras*); o Imageador por Varredura de Média Resolução (*Infra – Red Multispectral Scanner*) e a Câmera Imageadora de Amplo Campo de Visada (*Wide Field Imager*). Sua órbita é hélio-síncrona a uma altitude de 778 km e faz cerca de 14 revoluções por dia, conseguindo obter a cobertura completa da Terra a cada 26 dias. Foi empregada uma imagem deste satélite, do sensor CCD (tabela 1), adquirida em 19 de maio de 2004 junto ao site <http://www.dgi.inpe.br/>.

Tabela 1 : Características das bandas do satélite CBERS-2 utilizadas no estudo.

Câmera	Banda/Nome	Intervalo Espectral (μm)	Resolução Espacial (m)	Largura da faixa imageada (km)
CCD	2	0,52 – 0,59 μm	20	113
	3	0,63 – 0,69 μm	20	113
	4	0,77 – 0,89 μm	20	113

3.2. Base de dados cartográficos

As informações topográficas foram obtidas através do mapa *Verbreitung Von Gletschern und neuzeitlichen Moränen in der Cordillera Tres Cruces (Quimsa Cruz) (Ostkordillere)* escala 1:70.000, produzido pelo *Institute for Photogrammetry and Engineering Surveying and the Geographic Institute of the University of Hanover*. O mesmo é baseado em pontos de controle adquiridos em 1975, pelo Instituto Geográfico Militar (IGM) da Bolívia, La Paz publicado em Jordan (1991), disponível como malha de coordenadas na projeção *Universal Transverse Mercator (UTM)*.

4. METODOLOGIA

A figura 3 apresenta o fluxograma com as etapas de processamento e análise dos produtos obtidos.

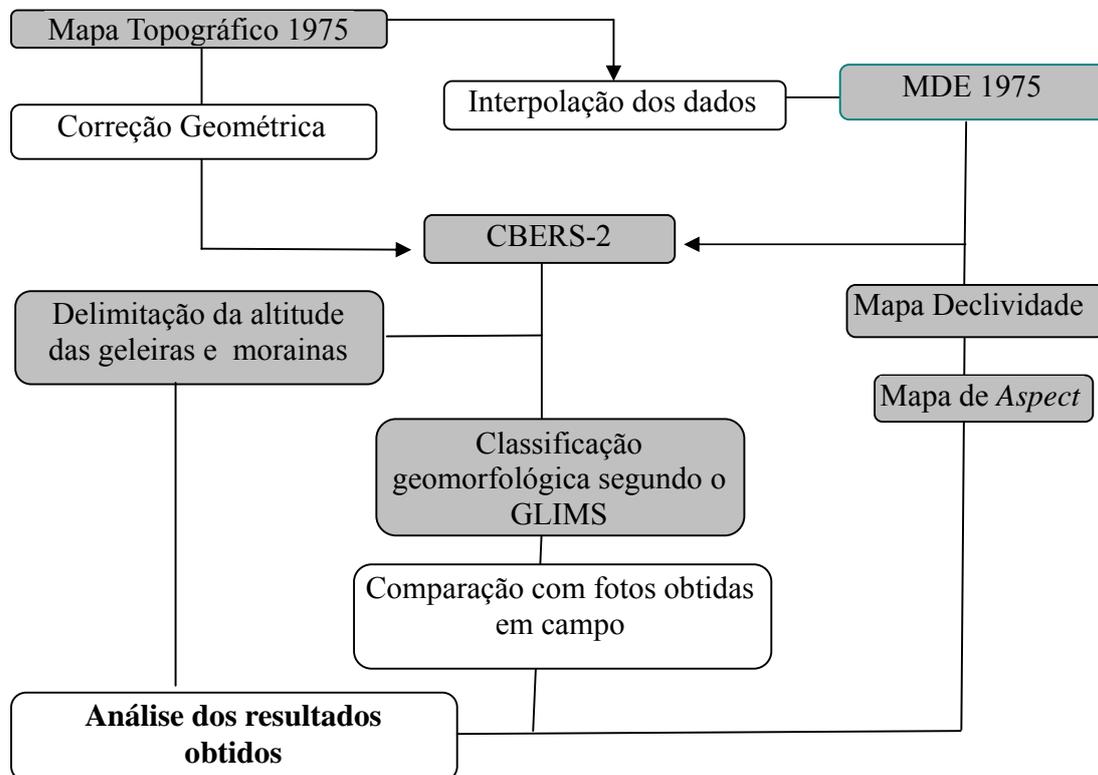


Figura 3 : Fluxograma do desenvolvimento dos trabalhos desta dissertação apresentando os dados utilizados e os resultados obtidos.

4.1. Classificação das geleiras de acordo com as classes morfológicas utilizadas pelo *Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS)*

Atualmente, variações nas posições frontais das frentes das geleiras dos Andes bolivianos são investigadas em pequenas áreas (*e.g.*, geleiras Zongo, Charquinni e

Chacaltaya), por métodos topográficos e aerofotogramétricos (WGMS, 2006). Entretanto, um amplo inventário glacial, como o proposto pelo projeto *Global Land Ice Measurements from Space* (GLIMS), ainda não foi aplicado para esta área. Este projeto provê, na rede mundial de computadores, um banco de dados geoespaciais com diversas informações sobre a geleira, obtidas a partir de imagens satelitais (www.glims.org).

A metodologia proposta pelo GLIMS baseia-se na observação de 9 parâmetros que descrevem as geleiras em termos morfológicos e dinâmicos (recuo/avanço da frente), além da presença de morainas (atuais ou pretéritas). Neste estudo utilizamos somente 6 destes parâmetros (excluímos os termos dinâmicos). Os critérios empregados são descritos detalhadamente em Rau *et al.*, 2004.

4.2. Geração de modelos digitais de elevação através de dados cartográficos

A partir de pontos com cotas no mapa topográfico de 1975, estabelecidos por métodos aerofotogramétricos tradicionais (aerotriangulação), foi possível “criar” uma grade de elevação com 20 metros de resolução. Foram testados dois métodos de interpolação: *Triangulated Irregular Network* e TOPOGRID (usando o *software* Arc-Info™ 8.0.1). O último resultou nos menores erros verticais (média de ± 6 m). Para verificar cada modelo, foram usados pontos de controle não empregados nos processos de interpolação.

4.3. Delimitação das bacias de drenagem

A delimitação precisa dos limites das geleiras e morainas foi obtida pela integração das informações do mapa topográfico com os MDEs. No entanto, essa delimitação nem sempre foi precisa porque várias vezes a parte frontal da geleira estava coberta por sedimentos, resultando em uma resposta espectral similar ao terreno do entorno, mascarando, assim, a sua extensão real. As áreas claramente identificadas foram digitalizadas manualmente sobre as imagens. Já nas áreas em que existiam dúvidas, as geleiras eram comparadas com a fotografia aérea e só então delimitadas.

5. RESULTADOS

5.1. Morfologia das geleiras

Existem 156 geleiras na cordilheira Tres Cruces (Jordan, 1998). Optou-se por analisar somente sete geleiras (figura 4) com exposição das vertentes diferentes e, portanto, em condições climáticas diversas. Outro critério importante foi a extensão das massas de gelo, pois, devido à resolução espacial do satélite CBERS-2 (20 m), geleiras muito pequenas seriam de difícil delimitação. As imagens do CBERS-2 foram usadas na classificação morfológica das massas glaciais neste estudo, considerando a facilidade de obtenção, a resolução espacial (20m) e regularidade de aquisição (permitindo a cobertura completa da Terra a cada 26 dias).

Devido às mesmas características topográficas, onde as linhas de crista da cordilheira determinam as paredes dos vales e confinam a massa glacial, praticamente todas geleiras analisadas são geleiras de vale. As bacias glaciais são bem nítidas e facilmente identificadas

nas imagens satelitais, pois os numerosos picos montanhosos (normalmente acima de 5.500 metros de altitude) que circundam a área analisada comportam-se como verdadeiros divisores entre as geleiras (*e.g.*, nevado Atoroma, cordilheira San Enrique, cordilheira Bengala, cordilheira San Pedro, cordilheira Sofia e Sacavón Gigante Grande).

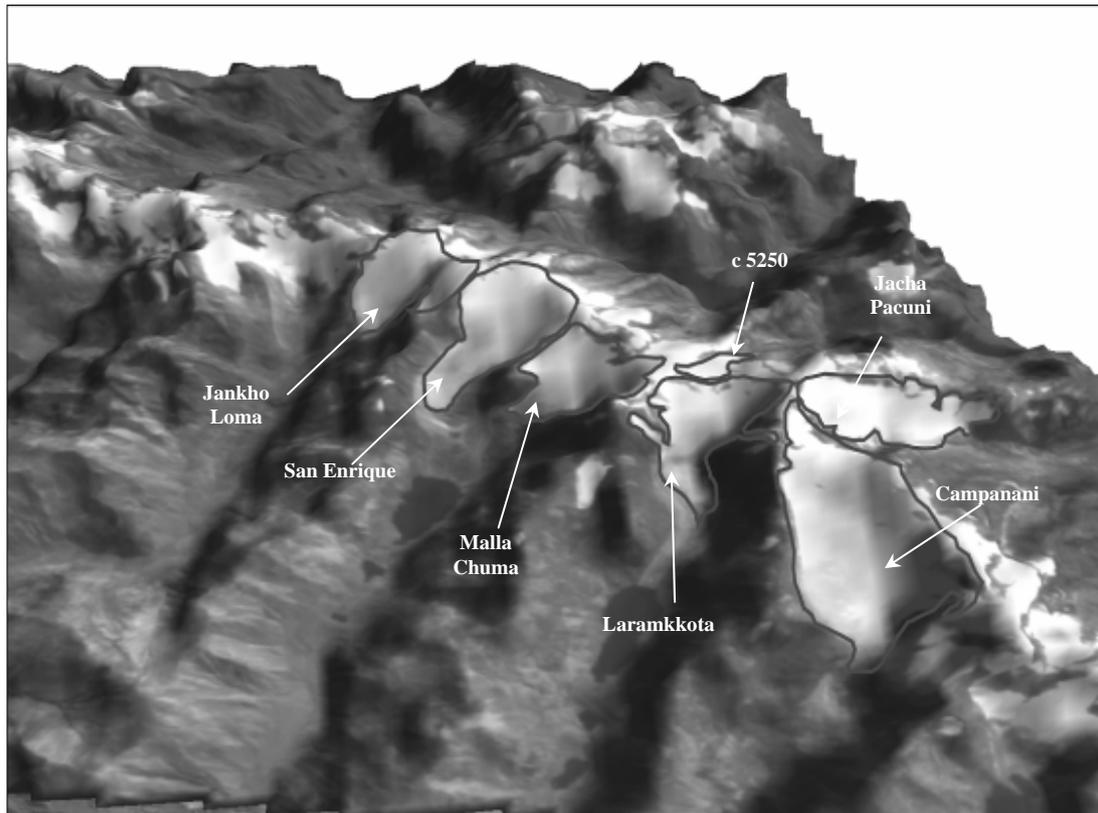


Figura 4 : Visada sudeste da cordilheira Tres Cruces, a imagem CBERS-2 (4,3,2) está sobreposta ao MDE/ASTER. Em vermelho estão os limites das geleiras analisadas.

Os controles climáticos são claramente identificados ao comparar a altitude da frente da geleira de orientação leste-norte (c5250), cerca de 100–270 m mais elevada do que as geleiras de orientação oeste-sul (figuras 5, 6 e 7). Este fenômeno estaria relacionado com a diferente exposição solar das vertentes. Onde durante a manhã as nuvens ainda se encontrariam em altitudes baixas, expondo as geleiras de orientação leste-norte ‘a 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).

A origem da massa glacial se dá pela queda direta de neve, ou pelo transporte de cristais de gelo trazidos pela ação eólica. Todas as geleiras analisadas apresentam retração de suas partes terminais, e isto fica evidente quando são comparadas as posições frontais ao longo do período de estudo. A presença de morainas de retração, em todas as bacias

delimitadas, deixa claro que durante a glaciação do Pleistoceno (Jordan, 1998) as geleiras da cordilheira Tres Cruces ocuparam áreas mais amplas do que no presente.

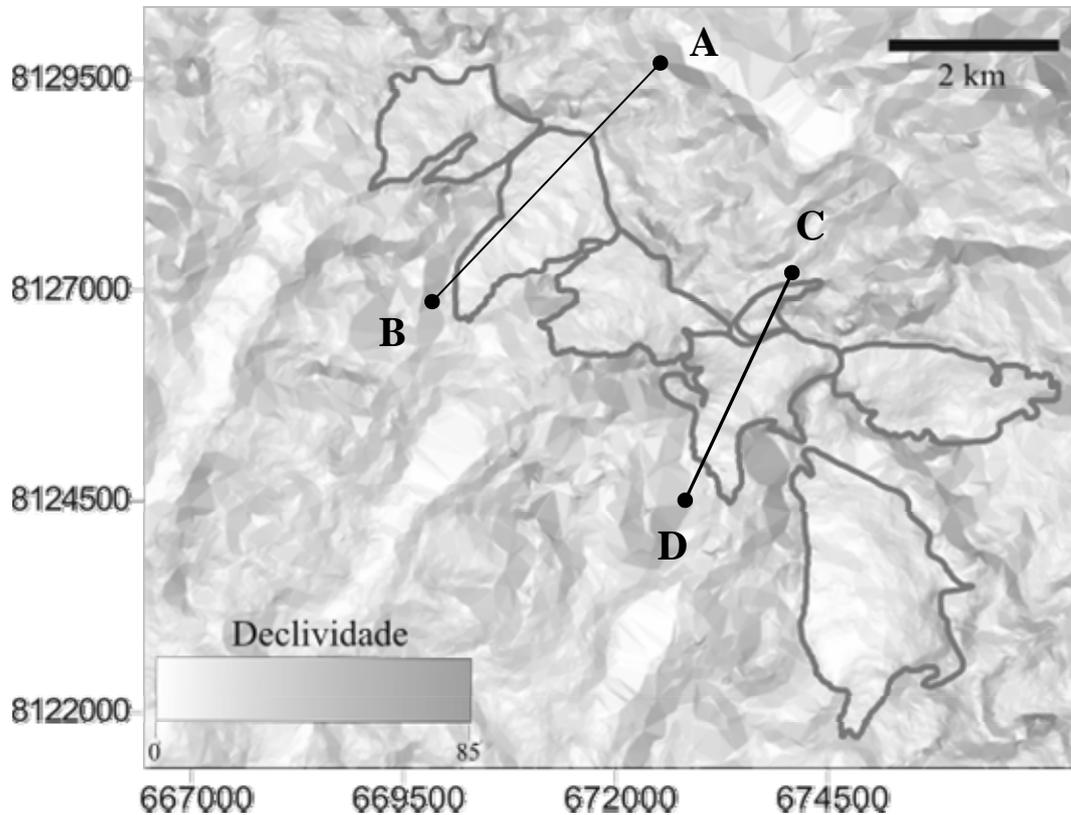


Figura 5: Mapa de declividade da cordilheira Tres Cruces baseado no MDE/ASTER. A linha preta indica os perfis topográficos apresentados nas figuras 42 e 43.

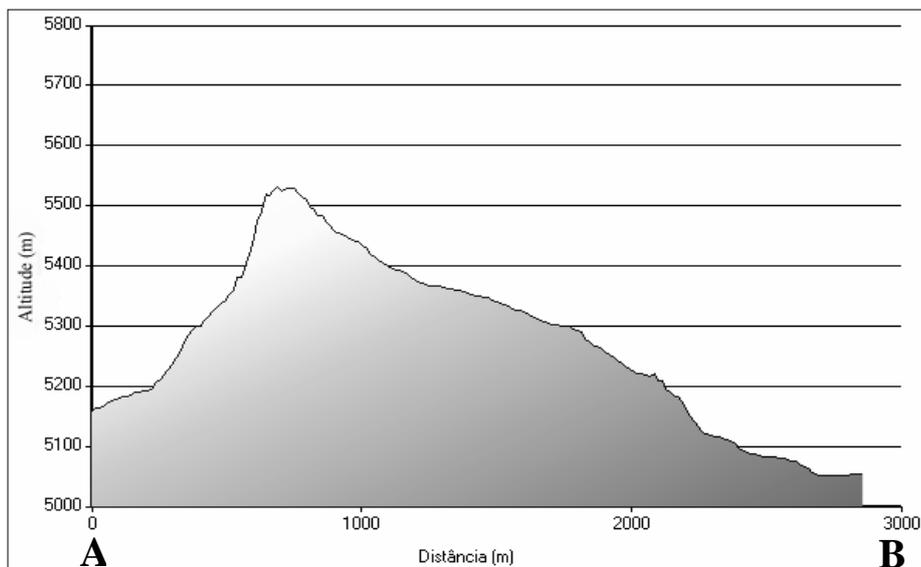


Figura 6 : Perfil topográfico demonstrando os maiores desníveis no setor norte-leste da cordilheira Tres Cruces.

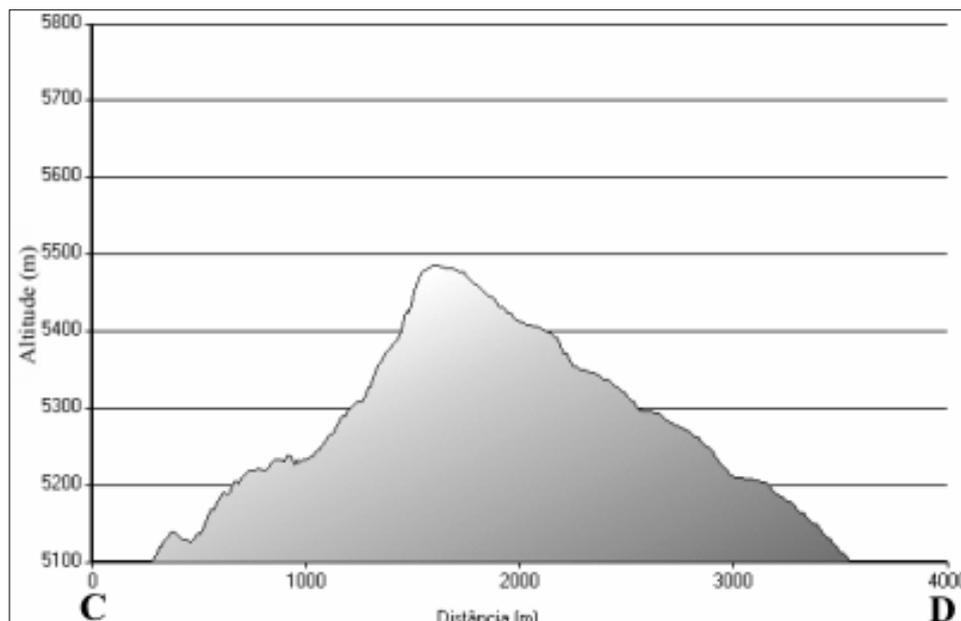


Figura 7 : Perfil topográfico demonstrando os maiores desníveis no setor norte-leste da cordilheira Tres Cruces.

5.1.1. Morfologia da geleira Jankho Loma

Esta geleira é a nascente mais elevada do rio Atoroma Chuma, um dos afluentes do rio Araca. É uma geleira de vale (figura 8, tabela 3), com uma superfície de 1,59 km², formada por duas línguas, ambas de orientação sul-oeste. Estas surgiram em decorrência da fragmentação que ocorreu na língua principal devido ao derretimento durante a década de 1990. Os pontos mais e menos elevados estão a 5.594 m e 4.964 m de altitude, respectivamente. As morainas de retração, a 4.661 m de altitude, indicam a máxima extensão durante o Quaternário, aproximadamente 303 m de diferença em relação aos dias atuais. Sua bacia possui forma simples, sem tributários.

5.1.2. Morfologia da geleira San Enrique

Tendo orientação sul-oeste, esta geleira de vale (figura 9 e tabela 3) com 2,16 km² de área, tem altitudes máximas e mínimas de 5.642 m e 5.053 m, respectivamente. Suas águas de degelo, juntamente com as da geleira ao lado (Malla Chuma), formam a lagoa Octa Kkota. Esta é a nascente do rio Malla. Durante o Quaternário a altitude do término era 4.715 m, aproximadamente 338 m mais baixa do que no Presente

5.1.3. Morfologia da geleira Malla Chuma

Esta geleira de vale (figura 10 e tabela 3), localizada na face sul-oeste da cordilheira Tres Cruces, possui altitude máxima e mínima, respectivamente, de 5.632 m (cordilheira Bengela) e 5.093 m. Assim como a geleira San Enrique, suas águas de degelo acumulam-se na lagoa Octa Kkota. As morainas terminais indicam a máxima extensão desta massa

glacial em 4.741 m altitude durante o Quaternário, cerca de 352 m mais baixa do que a posição atual.

5.1.4. Morfologia da geleira Laramkkota

Sua bacia possui forma composta (figura 11 e tabela 3) por ter dois “braços” que se unem ‘a língua principal. A análise de seu perfil topográfico (figura 7) indica uma grande irregularidade subglacial na parte central, gerando uma grande tensão longitudinal na geleira e, por consequência, dando origem ‘a fendas transversais na direção do fluxo. Possui superfície de 1,83 km², com as elevações máximas e mínimas entre 5.713 m (cordilheira Sofia) e 5.037 m. Durante o Quaternário sua frente atingiu a altitude de 4.835 m. A geleira está na face sul-oeste da cordilheira, onde suas águas de degelo dão origem ‘a lagoa Laramkkota, pertencendo à bacia hidrográfica do rio Yaco.

5.1.5. Morfologia da geleira Campanani

Com 4,00 km², é a geleira com maior área na cordilheira Tres Cruces. Assim como a San Enrique, a geleira Campanani também apresenta na sua parte frontal um pequeno lago originado pelo processo de retração glacial. Na imagem CBERS-2 (figura 12 e tabela 3) pode-se observar nítidas morainas terminais, as quais atestam sua máxima extensão no Quaternário a 4.805 m de altitude, cerca de 308 m mais baixa do que a posição atual (5.113 m). Diferentemente das demais geleiras analisadas, a Campanani pode ser considerada um campo de gelo, onde a cobertura glacial não é espessa o suficiente para cobrir montanhas ou formar uma calota.

5.1.6. Morfologia da geleira Jacha Pacuni

Suas águas de degelo são as nascentes do rio Khatu. Este é um dos afluentes do rio Colquiri. Ocupando uma grande área de acumulação da face leste (2,23 km²), esta geleira de vale, de orientação sul-leste possui forma composta, tendo as elevações máximas e mínimas em 5.665 e 5.039 m respectivamente (figura 13 e tabela 3). De acordo com as morainas de retração, durante o Quaternário, a frente atingiu 4.794 m (245 m mais baixa que no presente).

5.1.7. Morfologia da geleira c5250

Nas figuras 6 e 7 é possível constatar que as vertentes leste-norte apresentam pendentes um pouco mais acentuadas que o lado oposto (oeste-sul), tornando disponível uma menor área para a acumulação do gelo, podendo influenciar, também, numa maior velocidade da retração. A geleira c5250 tem suas elevações máximas e mínimas em 5.632 m e 5.050 m, respectivamente. Durante o Quaternário suas morainas de retração indicam que ela avançou até 4.796 m de altitude.

TABELA 3 : Classificação morfológica de acordo com as características do GLIMS (Rau *et al.*, 2004).

Classificação	Geleira						
	Jankho Loma	Jacha Pacuni	San Enrique	Malla Chuma	Laramkkota	Campanani	c5250
Nome da geleira	Geleira de vale	Campo de gelo	Geleira de vale				
Classificação Primária	Geleira de vale	Campo de gelo	Geleira de vale				
Forma	Bacia simples	Bacia composta	Bacia simples	Bacia simples	Bacia composta	Bacia simples	Bacia composta
Característica Frontal	Coalescente	Normal	Normal	Normal ou mista	Normal	Normal	Normal
Característica Longitudinal	Regular	Regular	Regular	Regular	Cascadeada	Regular	Regular
Tipo de moraina	Lateral e terminal						

6. CONCLUSÃO

Na análise geomorfológica da cordilheira, a presença de morainas de retração, em todas as bacias delimitadas, deixa claro que durante Quaternário as geleiras da cordilheira Tres Cruces ocuparam áreas mais amplas do que no presente. Os controles climáticos são também claramente identificados ao examinar-se a altitude da frente da geleira de orientação leste-norte (c5250), cerca de 100–270 m mais elevada do que as geleiras de orientação oeste-sul. Este fenômeno provavelmente está relacionado com a diferente exposição solar das vertentes. A ocorrência de morainas terminais, abaixo dos 4.500 m de altitude na Cordilheira Oriental, ou 3.500 m na Cordilheira Ocidental, junto com as análises dos testemunhos de gelo do Nevado Illimani (Ramirez *et al.*, 2001), indica uma temperatura média no Pleistoceno muito mais baixa do que a atual.

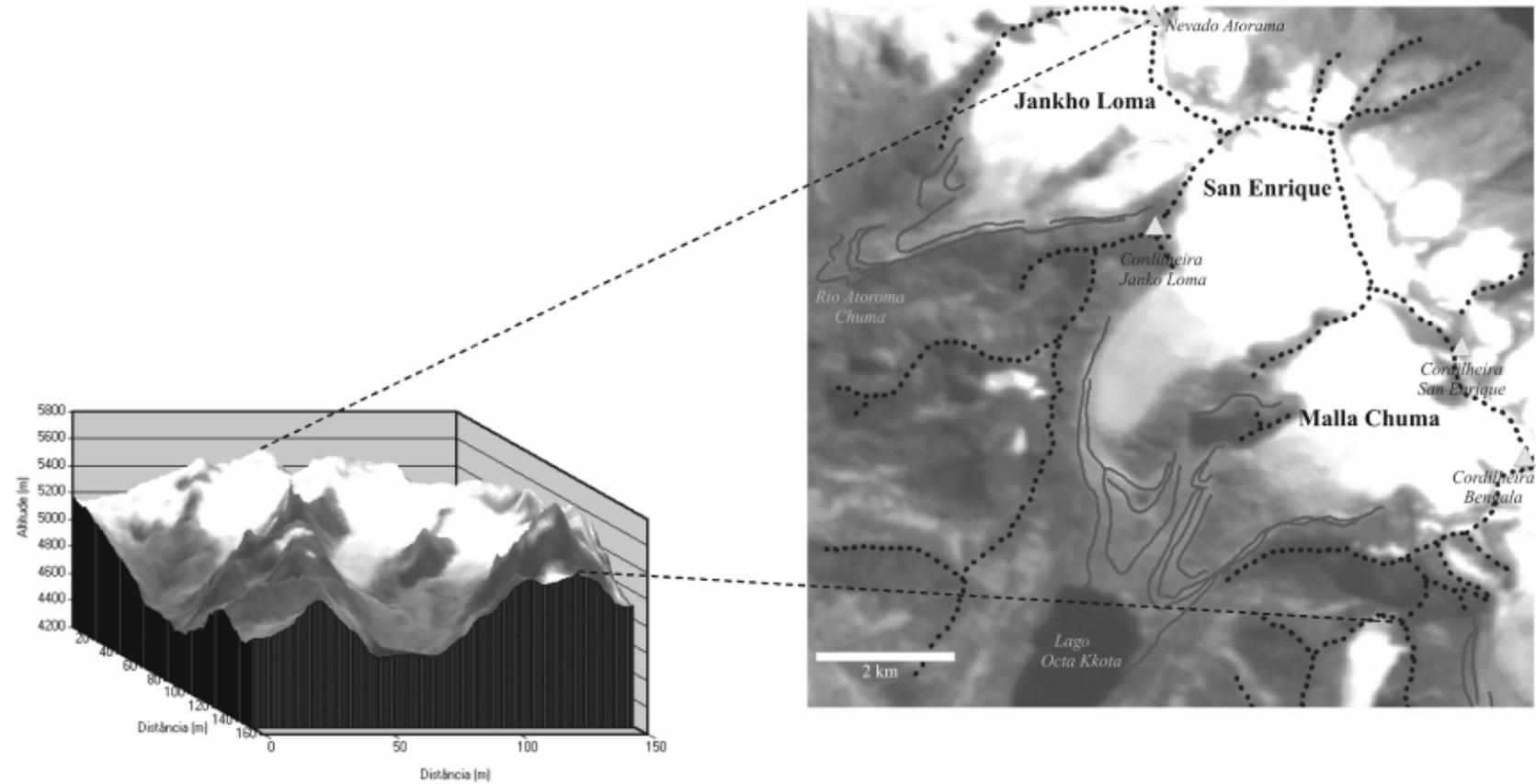


Figura 8 : Imagem CBERS-2 (4, 3, 2) das geleiras Jankho Loma, San Enrique e Malla Chuma. Na direita, na imagem CBERS-2 (4, 3, 2), as linhas vermelhas indicam a posição das morainas, e a linha preta marca as cristas que circundam as bacias glaciais; à esquerda, o MDE sobreposto à imagem CBERS.

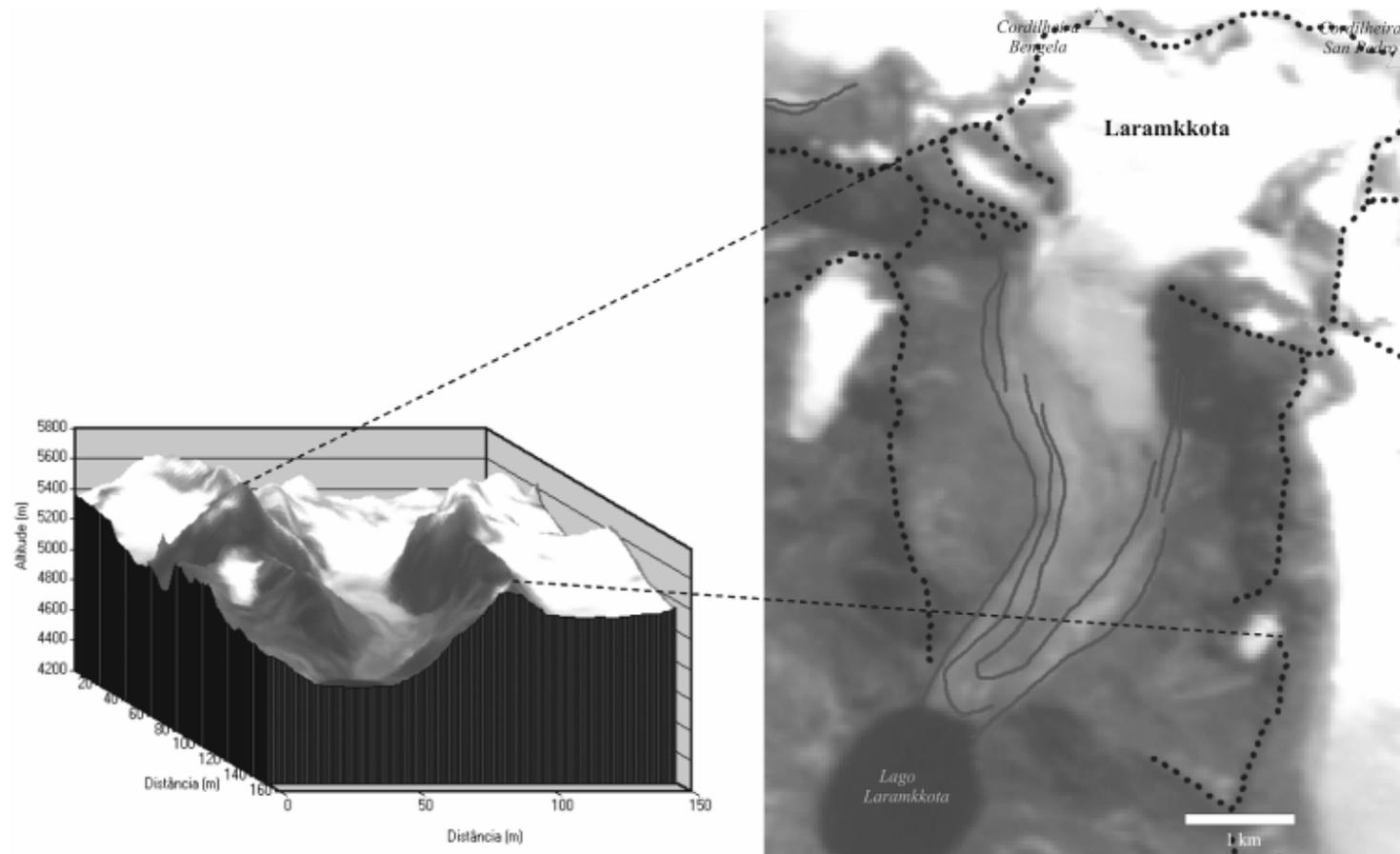


Figura 9 : Imagem CBERS-2 (4, 3, 2) da geleira Laramkkota. Na direita, na imagem CBERS-2 (4, 3, 2), as linhas vermelhas indicam a posição das morainas, e a linha preta marca as cristas que circundam as bacias glaciais; à esquerda, o MDE sobreposto à imagem CBERS.

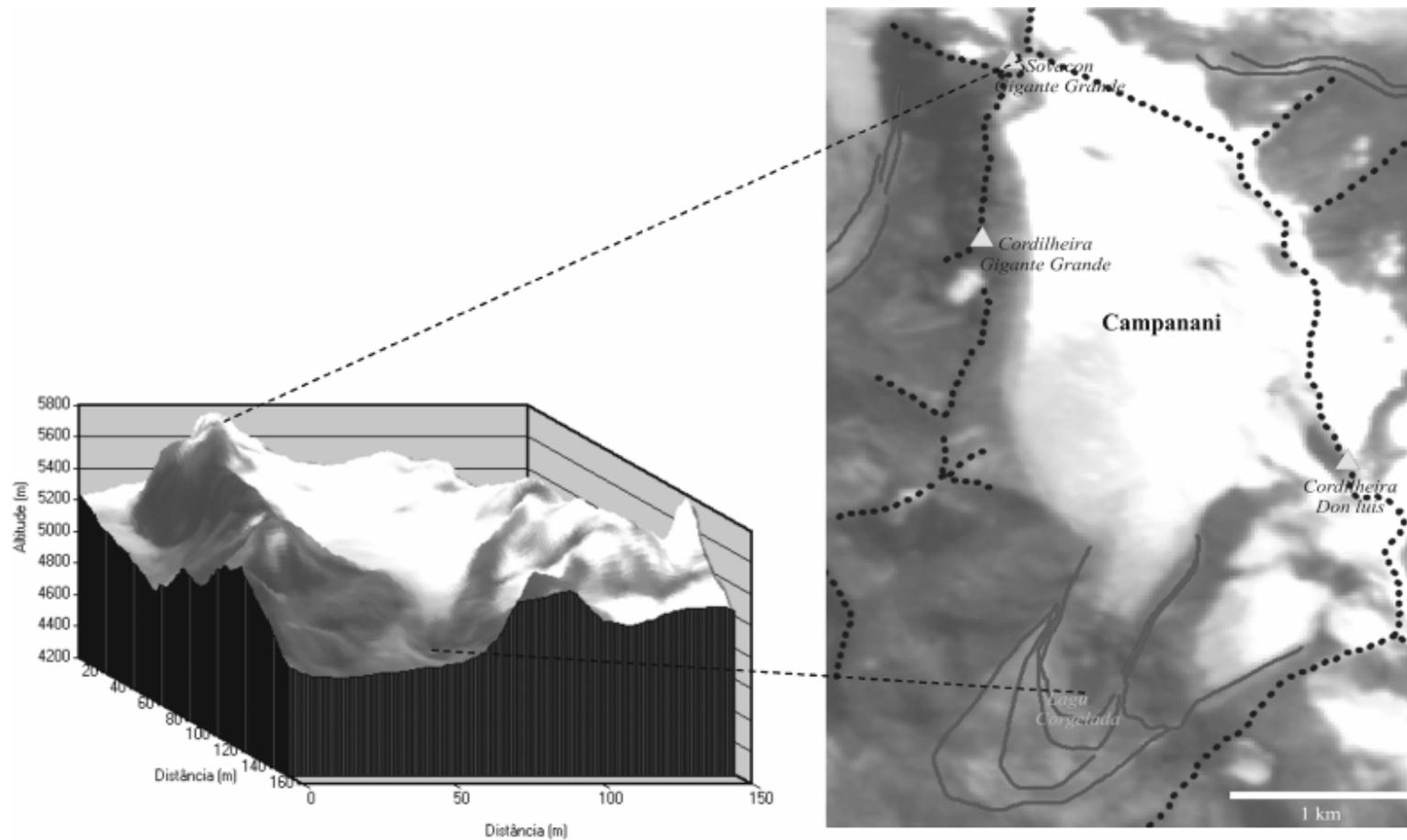


Figura 10 : Imagem CBERS-2 (4, 3, 2) da geleira Campanani. Na direita, na imagem CBERS-2 (4, 3, 2), as linhas vermelhas indicam a posição das morainas, e a linha preta marca as cristas que circundam as bacias glaciais; à esquerda, o MDE sobreposto à imagem CBERS.

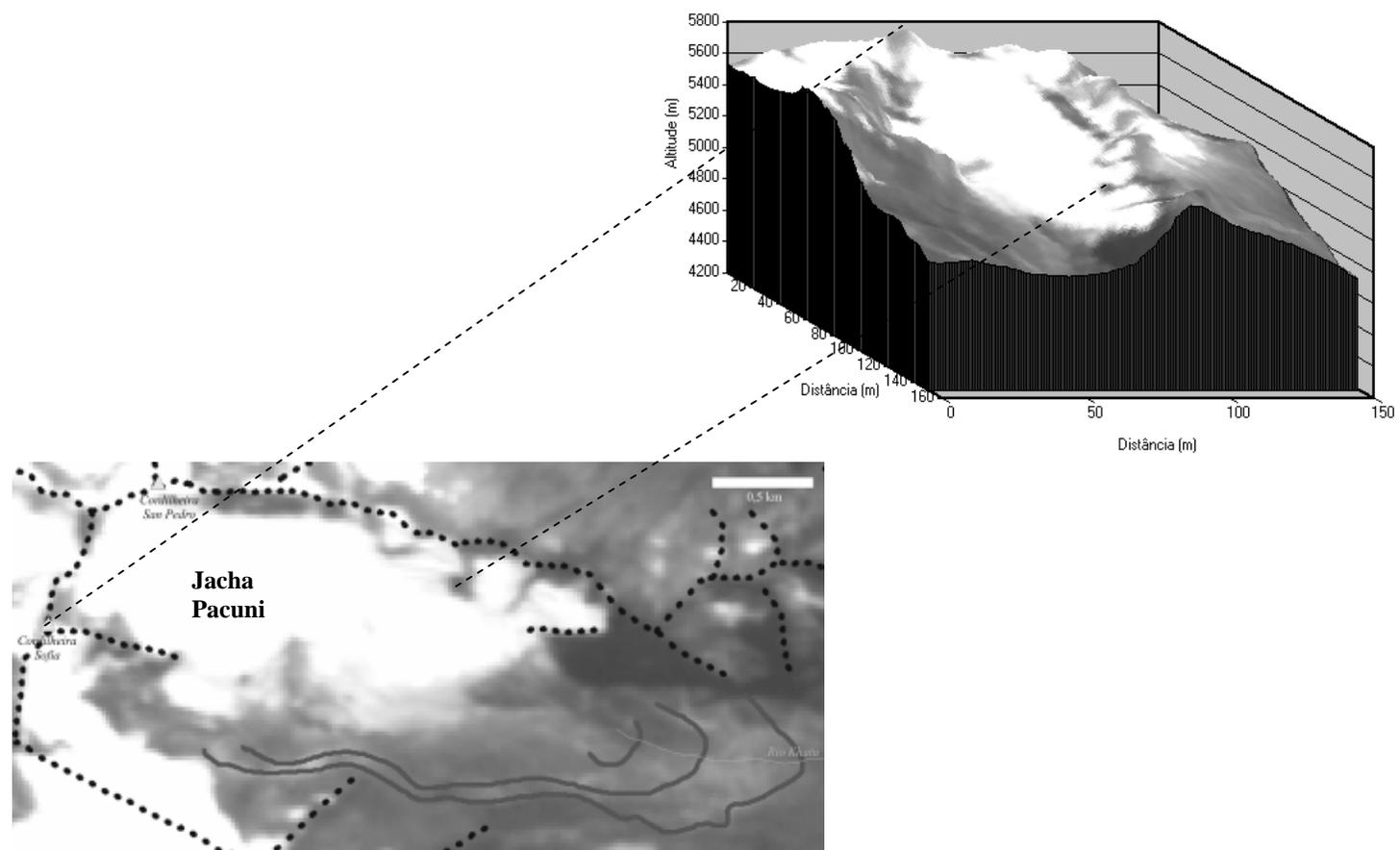


Figura 11 : Imagem CBERS-2 (4, 3, 2) da geleira Jacha Pacuni. Na esquerda, na imagem CBERS-2 (4, 3, 2), as linhas vermelhas indicam a posição das morainas, e a linha preta marca as cristas que circundam as bacias de glaciais; à direita, o MDE sobreposto à imagem CBERS.

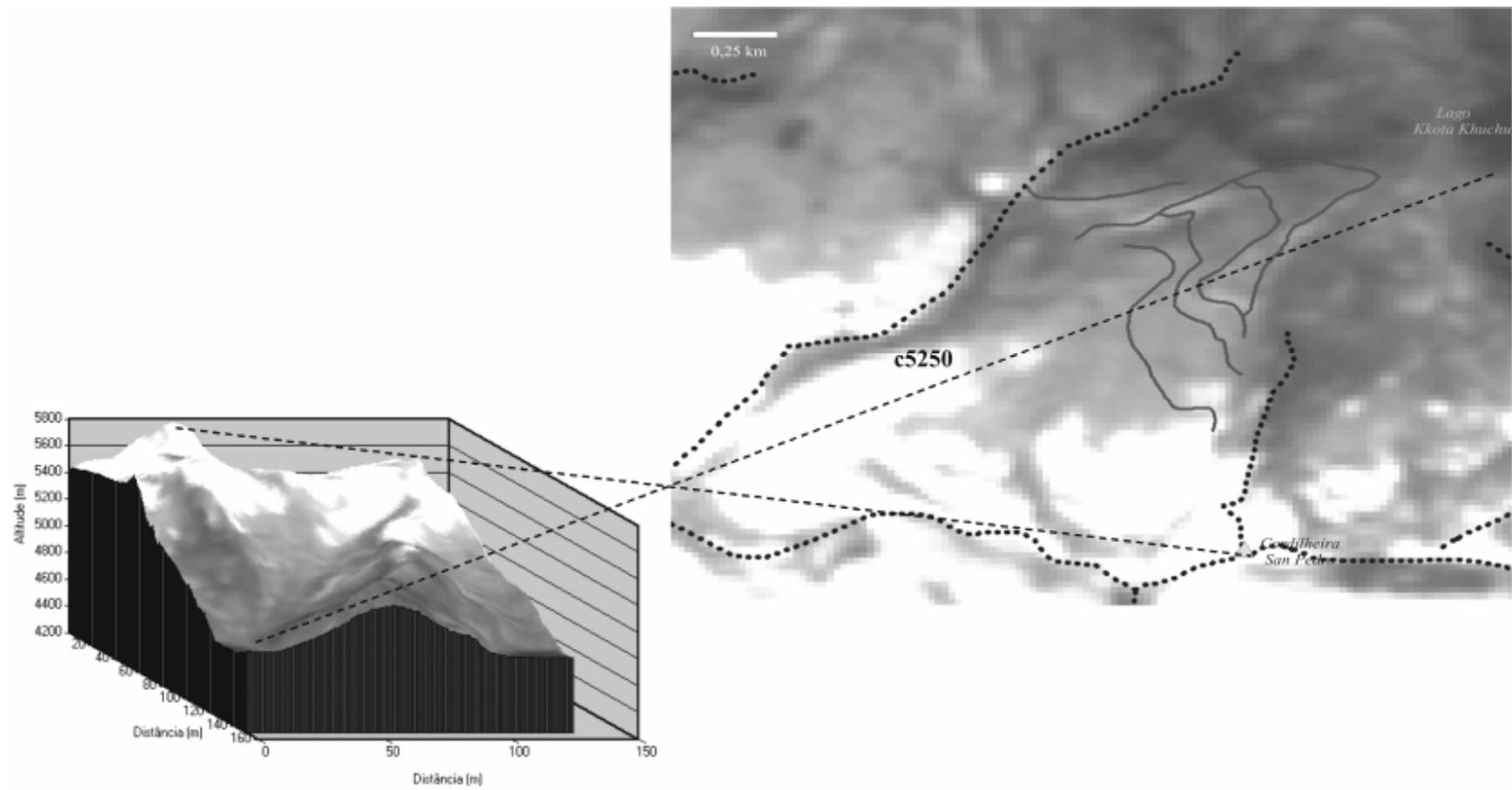


Figura 12 : Imagem CBERS-2 (4, 3, 2) da geleira c 5250. Na direita, na imagem CBERS-2 (4, 3, 2), as linhas vermelhas indicam a posição das morainas, e a linha preta marca as cristas que circundam as bacias glaciais; à esquerda, o MDE sobreposto à imagem CBERS, a visada foi realizada de norte para o sul.

7. BIBLIOGRAFIA

CHURCH, J.A.; GREGORY, J. M.; HUYBRECHTS, P.; KUHN, M.; LAMBECK, K.; NHUAN, M.T.; D. QIN E WOODWORTH, P.L. 2001. Changes in sea level. In: HOUGHTON, J. T.; DING, Y.; GRIGGS, D.J; NOGUER, M. VAN DER LINDEN, P. J E XIAOU, D. (ed.), *Climate Change2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge and New York, 639-694.

CLAPPERTON, C. M. 1993. *Quaternary geology and geomorphology of South America*. Elsevier, Amsterdam, 779p.

CORDANI, U.G.; TEIXEIRA, W.; SINARI, C.C.G. E BASEI, .A.S. 2000. Crustal Evolution of the South American platform. In: CORDANI, U.G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, D. e CAMPOS, A. (ed.). *Tectonic Evolution of South America*. 31 Int. Geol. Congr., Rio de Janeiro, p. 19-40.

DYURGEROV, M. B. e MEIER, M. F. 2000. Twentieth century climate change: Evidence from small glaciers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97: 1406-1411.

DYURGEROV, M. e MEIER, M. F. 2004. Glaciers and the study of climate and sea-level change. In: Bamber, J. L. e Payne, A. J. (ed.). *Mass balance of the Cryosphere: observations and modelling of contemporary and future changes*. Cambridge University Press, 579-622.

IPCC, 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis. *Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press., 881 p.

JORDAN, E. 1985. Recente glacier distribution and present climate in the Central Andes of South América: *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glzialgeologie*, 21: 213-224.

JORDAN, E. 1991. *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, 365p.

JORDAN, E. 1998. Glaciers of Bolívia. In: WILLIAMS, R., Jr. e FERRIGNO, J. (ed.) *Satellite image atlas of glaciers of the world: U.S. Geological Survey Professional Paper 1386-I-5* (Glaciers of South America), 206p.

MENZIES, J. 1995. *Modern Glacial Environments: Processes, Dynamics and Sediments*. Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford, 621 p.

MONTES DE OCA, I. 1995. Geography and climate of Bolivia. *Bull. Inst. Fr. Etudes Andines*, 24 (3): 357-368.

RABATEL, A. 2005. *Chronologie et interprétation paléoclimatique des fluctuations des glaciers dans les Andes de Bolivie (16°S) depuis le maximum du Petit Age Glaciaire (17ème siècle)*. Tese (doutorado). Grenoble, 196p.

RAMIREZ, E.; FRANCOU, B.; RIBSTEIN, P.; DESCLOITRES, M.; GUÉRIN, R.; MENDOZA, J.; GALLAIRE, R.; POUYAUD, B. e JORDAN, E. 2001. Small glaciers disappearing in the tropical Andes: A case study in Bolivia: Glaciar Chacaltaya (16°S). *Journal of Glaciology*, 47: 187-194.

RAMIREZ, E.; BERGER, T. e RAMALLO, C. 2006. Impact of climatic change on the water resource availability in the Bolivian Cordillera, a case study: The Zongo and Tuni catchments. In: *Cambio Climático - Organizando la Ciencia para la Cordillera Americana* - CONCORD, 2006, Mendoza. Resúmenes - Simposio sobre Cambio Climático: Organizando la Ciencia para la Cordillera Americana, 1: 87-87.

RAU, F.; MAUZ, F.; VOGT, S.; KHALSA, S. J. S. e RAUP, B. 2004. *Illustrated GLIMS Glacier Classification Manual Glacier Classification Guidance for the GLIMS Glacier Inventory*. GLIMS Regional Center 'Antarctic Peninsula'. Alemanha, Institut für Physische Geographie, Freiburg, 36 p.

REINHARDT, W. e RENTCSH, H. 1986. Determination of changes in volume and elevation of glaciers using digital elevation models for the Vernagtferner, Otztal Alps, Austria. *Annals of Glaciology*, 8:151–158.

TAYLOR, R. G.; MILEHAM, L.; TINDIMUGAYA, C.; MAJUGU, A.; MUWANGA, A. e NAKILEZA, B. 2006. Recent glacial recession in the Rwenzori Mountains of East Africa due to rising air temperature. *Geophys. Res. Lett.*, 33: 1029/2006GL025962.

TITUS, J.G.; PARK, R.; LEATHERMAN, S.; WEGGEL, R., GREENE, M., MAUSEL, P.; TREEHAN, M.; BROWN, C. e YOHE, G. 1991. Greenhouse Effect and Sea Level Rise: The Cost of Holding Back the Sea. *Coastal Management*, 19 (3):171–204.

WGMS, 2006 - *The World glacier inventory. World Glacier Monitoring System*. Disponível em: <<http://www.geo.unizh.ch/wgms/mbb/mb04/sum04.html>> Consultado em setembro de 2006.