

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

UTILIZAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO NO MAPEAMENTO
DAS GELEIRAS DE ROCHA DA CORDILHEIRA TRES CRUCES, BOLÍVIA.



GUILHERME JOAQUIM

ORIENTADOR: PROFESSOR DR. JEFFERSON CARDIA SIMÕES

Trabalho de Graduação

Porto Alegre
Julho de 2010

Joaquim, Guilherme

Utilização do sensoriamento remoto no mapeamento das geleiras de rocha da Cordilheira Tres Cruces, Bolívia. / Guilherme Joaquim - Porto Alegre : UFRGS, 2010.

[82 f.] il.

Trabalho de Conclusão do Curso de Geografia. – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2010.

Orientação: Prof. Dr. Jefferson Cardia Simões

1. Geografia. 2. Geleiras de Rocha. 3. Sensoriamento Remoto. 4. Bolívia. 5. Morfologia I. Título.

Catálogo na Publicação
Biblioteca Geociências - UFRGS
Renata Cristina Grun CRB10/1113

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

**UTILIZAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO NO MAPEAMENTO
DAS GELEIRAS DE ROCHA DA CORDILHEIRA TRES CRUCES, BOLÍVIA.**

GUILHERME JOAQUIM

ORIENTADOR:

Professor Dr. Jefferson Cardia Simões

COMISSÃO EXAMINADORA:

Professora Dra. Nina Simone Vilaverde Moura Fujimoto

MSc. Luiz Felipe Velho

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado
como requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Geografia, Departamento de
Geografia da Universidade Federal do Rio
Grande do Sul.

Porto Alegre, Julho de 2010

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar aos meus pais Osvaldir e Ana Lúcia e ao meu irmão Rodrigo, pelo apoio incondicional em todas as decisões que tomei em minha vida.

Ao meu orientador, Prof^o Dr. Jefferson Simões, pela solicitude e por acreditar neste trabalho.

A todos que de forma direta ou indiretamente ajudaram no desenvolvimento desse estudo. Especialmente aos grandes amigos Cristiano d'Araújo e Sumirê Hinata pela baita força e companheirismo.

Aos colegas do curso de geografia, pelas parcerias e amizades que surgiram e espero que prossigam além do convívio acadêmico.

Por fim, um agradecimento especial à Prof^a Dr^a Rosemary Vieira que mesmo na impossibilidade de uma orientação formalizada, foi fundamental em todo o desenvolvimento desse estudo, desde a concepção até o momento final. Sempre apoiando e incentivando. Espero que essa parceria seja a primeira de muitas que virão.

“Seja em lugares remotos ou em cidades populosas, todos trabalhamos e lutamos pelo mesmo objetivo fundamental. Enquanto o fazemos, não podemos esquecer que é importante seguir um método correto para atingir nosso objetivo – pois o método é o que importa.”

Tenzin Gyatso (O Livro de Dias)

RESUMO

O semiárido andino sul-americano é considerado uma das regiões onde ocorre as maiores concentrações de geleiras de rocha do mundo. Neste contexto, o presente estudo apresenta o primeiro mapeamento destas formas através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento na cordilheira Três Cruces, localizada na Bolívia (entre 16° 44' e 17° 04' de latitude sul e 67° 16' e 67°33' de longitude oeste). Ao todo foram identificadas 64 geleiras de rocha, sendo diferenciadas conforme sua morfologia como: geleiras de rocha de fundo de vale (35 feições); geleiras de rocha de talude (25 feições) e geleiras de rocha fóssil (4 feições). A partir da análise do modelo digital de elevação e de imagens de satélite da área de estudo dos anos de 1985 e 2005, foi possível caracterizá-las através de parâmetros geométricos e topográficos. As áreas das geleiras de rochas apresentaram um aumento médio de 11% no período de análise, totalizando 13,9 km² em 2005. Destes, 11,5 km² (82,5%) correspondem às de fundo de vale; 2,07 km² (15%) de talude e 0,36 km² (2,5%) às fósseis. O espectro altitudinal de ocorrência das geleiras de rochas varia entre 4.080 m e 5.310 m, e a orientação das vertentes das feições identificadas tem como predomínio os sentidos oeste-sudoeste-sul.

Palavras-chave: geleiras de rocha; sensoriamento remoto; Bolívia; morfologia.

ABSTRACT

The andean south american semiarid is considered one of the regions where occur the most of concentrations of rock glaciers in the world. In this context, this study presents the first mapping of these forms by techniques of remote sensing and GIS at cordillera Tres Cruces, located in Bolivia (between 16° 44' and 17° 04' south latitude and 67° 16' and 67° 33' west longitude). Altogether were identified 64 rock glaciers, differentiated according to their morphology as rock glaciers valley bottom (35 features); rock glaciers embankment (25 features) and fossil rock glaciers (4 features). From the analysis of digital elevation model and satellite imagery of the study area of the years 1985 and 2005, it was possible to characterize them through topographical and geometrical parameters. The areas during the rock glaciers showed an average increase of 11% during the analysis period, totaling 13.9 km² in 2005. Of these, 11.5 km² (82.5%) corresponds to the valley bottom, 2.07 km² (15%) embankment and 0.36 km² (2.5%) to fossils. The altitude spectrum of occurrence of rock glaciers varies between 4,080 and 5,310 m, and the orientation of the strands of the features has identified as predominant directions west-south-southwest.

Keywords: rock glaciers, remote sensing, Bolivia; morphology.

ÍNDICE

1	APRESENTAÇÃO	13
1.1	Introdução	13
1.2	Objetivos	13
1.3	Relevância do estudo	14
1.4	Localização da área de estudo	15
1.4.1	Caracterização geológica	17
1.4.2	Caracterização geomorfológica	19
1.4.3	Caracterização climática.....	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1	Geleira de rochas	22
2.1.1	Gênese	23
2.1.2	Atividade	24
2.1.3	Morfologia.....	24
2.2	Sensoriamento remoto e geleiras de rocha.....	28
2.2.1	Estudos prévios sobre geleiras de rocha.....	29
3	MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1	Materiais.....	32
3.1.1	Softwares de SIG.....	32
3.1.2	Dados cartográficos digitais.....	32
3.2.2.1.	Imagens de satélites.....	32
3.1.2.2	Dados do modelo digital de elevação.....	34
3.2	Método	36
3.2.1	Manipulação das imagens satelitais	37
3.2.1.1	Georreferenciamento das imagens	37
3.2.1.2	Recorte das imagens.....	38
3.2.1.3	Correção do contraste	39
3.2.1.4	Fusão das imagens	40
3.2.2	Modelo tridimensional.....	41
3.2.2.1	Dados digitais de elevação.....	41
3.2.2.2	Mosaicagem e recorte da área de estudo	42
3.2.2.3	Montagem do modelo 3D	43
3.2.2.4	Extração das altitudes	44
3.2.2.5	Rede Irregular Triangular (TIN)	45
3.2.3	Identificação das geleiras de rocha	46
3.2.3.1	Vetorização das geleiras de rocha	46

3.2.3.2	Área das geleiras de rocha.....	48
3.2.3.3	Classificação morfológica das geleiras de rocha.....	48
3.2.3.4	Análise estatística dos dados morfométricos	51
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	53
4.1	Geleiras de rocha da cordilheira Tres Cruces	53
4.2	Classificação morfológica das geleiras de rocha	56
4.2.1	Altitude.....	59
4.2.2	Declividade	62
4.2.3	Orientação	64
4.2.4	Análise de correlação entre parâmetros morfométricos das geleiras de rocha	66
4.3	Discussões.....	71
5	CONCLUSÃO.....	73
5.1	Sugestão para trabalhos futuros	74
6	REFERÊNCIAS	75
7	ANEXOS.....	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de estudo	16
Figura 2 – Principais províncias geológicas da Bolívia.....	18
Figura 3 – Tipos morfológicos de geleiras de rocha	27
Figura 4 – Seleção das imagens Landsat	33
Figura 5 – Fluxograma de desenvolvimento do trabalho.....	36
Figura 6 – Histograma de realce de imagem, antes e após a aplicação do realce ...	39
Figura 7 – Seleção dos dados DEM.....	41
Figura 8 – Mosaico e recorte dos MDEs utilizados	42
Figura 9 – Montagem do modelo tridimensional da área de estudo.....	43
Figura 10 – Curvas de nível da área de estudo.....	44
Figura 11 – TIN da área de estudo.....	46
Figura 12 – Vetorização das geleiras de rocha na área de estudo	47
Figura 13 – Exemplos de geleiras de rocha do tipo “Fundo de vale” e morainas identificadas na cordilheira Tres Cruces	49
Figura 14 – Exemplos de geleiras de rocha do tipo “Talude” identificadas na cordilheira Tres Cruces.....	50
Figura 15 – Exemplo de geleira de rocha do tipo “Fóssil” identificada na cordilheira Tres Cruces.....	51
Figura 16 – Mapa de localização das geleiras de rocha em 1985 e 2005.....	55
Figura 17 – Morfologia das geleiras de rocha	56
Figura 18 – Mapa da classificação morfológica das geleiras de rocha	57
Figura 19 – Exemplos de localização de geleiras de rocha no modelo tridimensional da área de estudo	58
Figura 20 – Altitudes das geleiras de rocha do tipo “Fundo de vale”.....	59
Figura 21 – Altitudes das geleiras de rocha do tipo “Talude”	60
Figura 22 – Altitudes das geleiras de rocha do tipo “Fóssil”	60
Figura 23 – Comparação das altitudes das geleiras de rocha por tipo morfológico ..	60
Figura 24 – Mapa Altimétrico da cordilheira Tres Cruces.....	61
Figura 25 – Declividades das geleiras de rocha do tipo “Fundo de vale”	62
Figura 26 – Declividades das geleiras de rocha do tipo “Talude”	62
Figura 27 – Declividades das geleiras de rocha do tipo “Fóssil”	63
Figura 28 – Comparação das declividades das geleiras de rocha por tipo morfológico	63
Figura 29 – Orientação das vertentes das geleiras de rocha tipo “Fundo de vale” ...	64
Figura 30 – Orientação das vertentes das geleiras de rocha tipo “Talude”	65
Figura 31 – Orientação das vertentes das geleiras de rocha tipo “Fóssil”	65
Figura 32 – Diagrama de dispersão entre parâmetros morfométricos	68
Figura 33 – Distribuição espacial da altitude máxima das geleiras de rocha de talude de acordo com os parâmetros geográficos	69
Figura 34 – Diagrama polar comparando orientação e elevação das geleiras de rocha	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de geleiras de rocha identificadas.	26
Quadro 2 – Relação de softwares de SIG e respectivas aplicações	32
Quadro 3 – Características das bandas dos satélites utilizados no estudo.....	33
Quadro 4 – Comparação entre ASTER GDEM e outros MDEs.....	35
Quadro 5 – Variação das áreas das geleiras de rocha entre 1985 e 2005	53
Quadro 6 – Matriz de correlação – geleiras de rocha (geral)	67
Quadro 7 – Matriz de correlação – geleiras de rocha de fundo de vale	67
Quadro 8 – Matriz de correlação – geleiras de rocha de talude	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTER – *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*

CBERS – *China-Brazil Earth Resource Satellite*

DEM – *Digital Elevation Model*

DINSAR – *Inferometria Diferencial com Radar de Abertura Sintética*

ERTS – *Earth Resources Technological Satellite*

HRC – *High Resolution Camera*

LANDSAT – *Land Remote Sensing Satellite*

MDE – *Modelo Digital de Elevação*

NASA – *National Aeronautics and Space Administration*

SAR – *Radar de Abertura Sintética*

SIG – *Sistema de Informações Geográficas*

SPOT – *Satellite Pour l'Observation de la Terre*

SR – *Sensoriamento Remoto*

SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*

TIN – *Triangular Irregular Network*

TIROS – *Television Infrared Observation Satellite*

TM – *Thematic Mapper*

ZCIT – *Zona de Convergência Intertropical*

1 APRESENTAÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

Geleiras de rocha são formas complexas de relevo que possuem grande potencial como reservatório de água congelada. Sabe-se que sua ocorrência é abundante em ambientes localizados em elevadas altitudes e em regiões de alta montanha (BRENNING, 2005).

Embora haja uma relativa notoriedade da presença destas formas de relevo de mesoescala ao longo da cordilheira dos Andes, ainda não há estudos realizados sobre a quantificação, classificação e verificação da distribuição das geleiras de rocha na região andina boliviana, e mais especificamente na região da cordilheira Tres Cruces.

Assim, esse estudo propõe-se a realizar o primeiro mapeamento destas feições na referida região, com intuito de propiciar uma maior compreensão sobre geleiras de rocha localizadas em ambientes tropicais.

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo principal identificar, mapear e classificar a morfologia das geleiras de rocha na cordilheira Tres Cruces, Bolívia, através da utilização de ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento.

As metas a serem atingidas são:

- Quantificar e analisar a distribuição das geleiras de rocha na área de estudo sob o ponto de vista geomorfológico;
- Confeccionar um modelo tridimensional da cordilheira Tres Cruces;
- Gerar informações estatísticas dos parâmetros morfométricos e espaciais das geleiras de rocha identificadas.

1.3 RELEVÂNCIA DO ESTUDO

Conforme consta nos estudos de Bremming (2005), na América do Sul, e mais especificamente na região do semiárido do Chile, Peru e Bolívia, localizam-se as áreas montanhosas que possuem as maiores densidades de geleiras de rocha do mundo. Entretanto, os estudos de tal tipologia de geleira ainda são incipientes, o que resulta na baixa quantidade de informações disponíveis sobre pesquisas dessa temática.

Sabe-se que, assim como as geleiras típicas, as geleiras de rocha possuem grande importância no que se refere ao registro da história glacial e paleoclimática do planeta. Além disso, são boas indicadores de mudança climática em escala temporal curta (BARSCH, 1988; HAEBERLI, 1992). Segundo White (1971), através da comparação de idade e elevações de geleiras de rocha ativas (com presença de gelo) e geleiras de rocha fóssil (sem gelo), juntamente com a determinação das alterações na linha de equilíbrio de altitude da geleira de rocha, é possível determinar os períodos de glaciações, assim como as alterações de temperatura.

Outro fator relevante é a importância hídrica que as geleiras de rocha possuem. Isto se torna cada vez mais evidente no contexto atual, onde se constata uma redução significativa das áreas de geleiras de montanhas como consequência das mudanças climáticas. A água contida dentro das geleiras de rocha, em forma de gelo, possui uma relativa proteção das variações térmicas da baixa atmosfera. Uma vez que a camada de detritos rochosos que cobrem a superfície dessas geleiras atua como um isolante térmico, considera-se que o gelo representa entre 40 a 60% do volume total das geleiras de rocha. Desta forma, estas geleiras tornam-se importantes reservatórios de água, sobretudo nessas regiões de clima semiárido, onde a precipitação é relativamente baixa e possui uma distribuição irregular (MILLAR e WESTFALL, 2007).

No entanto, o grau de atividade de uma geleira de rocha é difícil de ser determinado, pois é estabelecido pela combinação de várias classes de observações, sendo as mais importantes: (1) evidências da morfologia superficial e da atividade frontal; (2) quantidade de gelo na massa de detritos e a profundidade desta; (3) variação do seu movimento e volume em vertentes, verificada por meio de técnicas topográficas, aerofotogramétricas e de sensoriamento remoto; (4) temperatura dos

materiais congelados (FRANCOU *et al.*, 1999).

Além disso, considera-se que as respostas das geleiras de rocha às mudanças climáticas são tênues e tardias, em escala temporal, o que não ocorre com as geleiras típicas, que apresentam respostas em escala de 10 anos. No entanto, pesquisas identificaram sinais de degradação em geleiras de rocha em alta montanha devido ao aquecimento ocorrido no último século (ASSIER *et al.*, 1996).

1.4 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A cordilheira Tres Cruces (também conhecida como Quimsa Cruz, na língua indígena *aymara*) localiza-se na Bolívia, distante cerca de 70 km a sudeste da capital La Paz (Figura 1), entre as coordenadas geográficas 16° 44' e 17° 04' de latitude sul e 67° 16' e 67° 33' de longitude oeste. Caracteriza-se por apresentar altitudes que variam entre 4.800 m a 5.700 m. e sua extensão é de aproximadamente 35 km de comprimento por 10 km de largura.

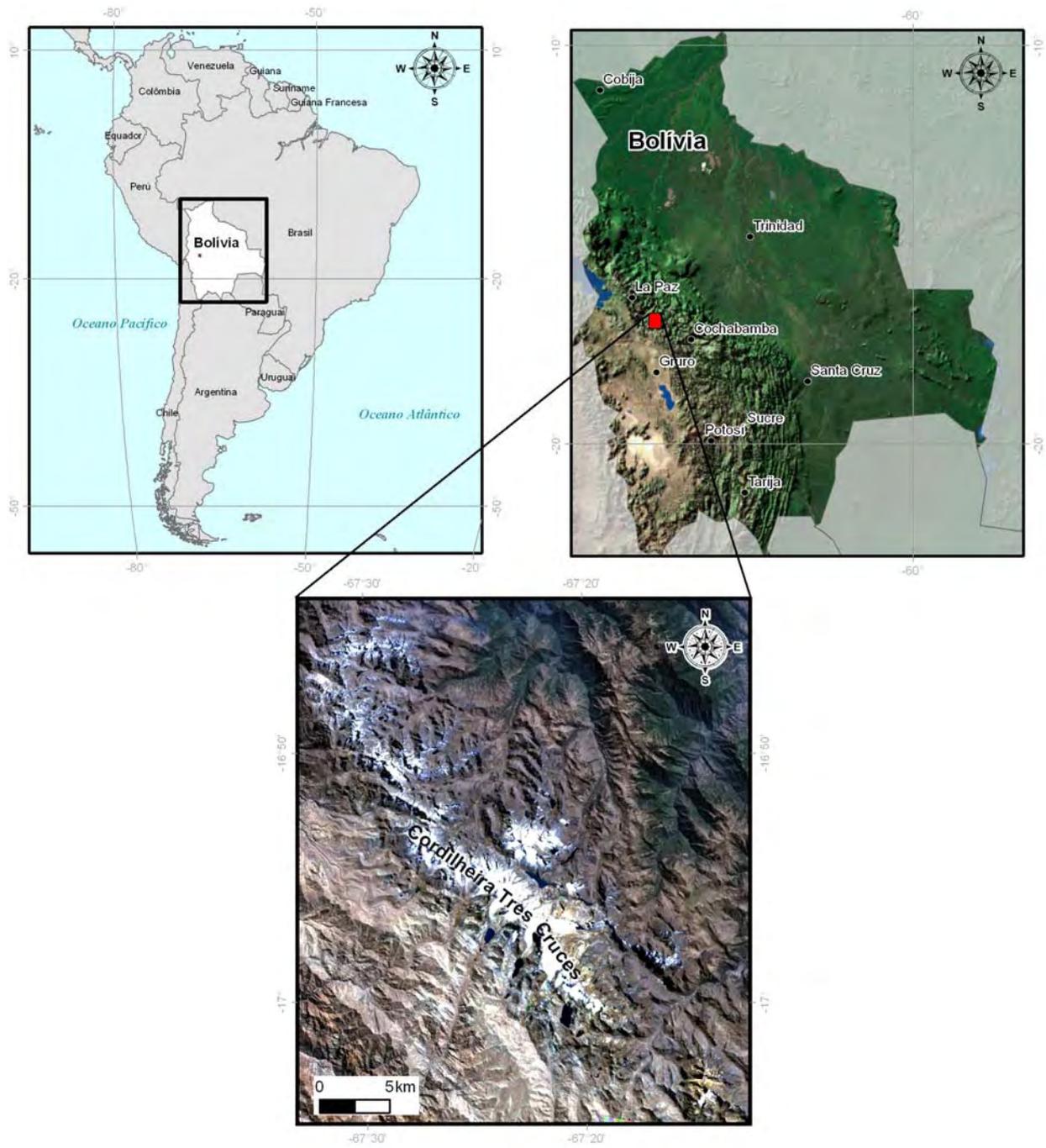


Figura 1 – Localização da área de estudo

1.4.1 Caracterização geológica

Segundo Montes de Oca (1995) a região da cordilheira dos Andes que está inserida no território boliviano, forma a “espinha dorsal” e a mais importante característica orográfica do país, com uma área aproximada de 414,5 mil km² (38% da área territorial do país). Entre as montanhas que possuem as altitudes mais elevadas, destacam-se: o Nevado Sajama (6.520 m), considerado o pico mais alto da Bolívia; o Nevado Illampu (6.436 m) e o Nevado Illimani (6.414 m); formados por rochas metamórficas e graníticas levantadas por blocos inversos e a cordilheira Apolobamba (Nevado Cololo, 5.975 m) constituída por blocos de sedimentos soerguidos (CORDANI *et al.*, 2000). No entorno da cordilheira Tres Cruces é possível diferenciar quatro províncias estruturais (Figura 2): a Cordilheira Ocidental, a Cordilheira Oriental, o Altiplano boliviano e o Subandino.

A Cordilheira Ocidental caracteriza-se por apresentar uma sequência de serras e vulcões isolados, formados por extensas acumulações de lavas riolíticas, andesíticas e traquíticas, que datam dos Períodos Terciário e Quaternário (RIBEIRO, 2007).

Paralelamente a esta província, encontra-se a Cordilheira Oriental, onde localiza-se a cordilheira Tres Cruces, caracterizada pelos afloramentos de rochas sedimentares que datam do Paleozóico e rochas ígneas das Eras Mesozóica e Cenozóica (KLEY *et al.*, 1997).

Entre as Cordilheiras Ocidental e Oriental, encontra-se o Altiplano boliviano, com altitudes que variam entre 3.500 e 4.000 m, e uma área de 136.229 km² (12% do território). Essa província, caracterizada topograficamente por montanhas e cerros isolados, pode ser dividida em duas regiões, uma subúmida e outra árida, sendo que o gradiente de umidade diminui no sentido de norte para o sul (MONTES DE OCA, 1995).

Entre a Cordilheira Oriental e as planícies do leste, há uma cadeia de serras paralelas, constituídas por grandes alinhamentos anticlinais, que recebem o nome de Subandino, e atingem altitudes que variam entre 500 e 2.000 m (KLEY *et al.*, 1997).

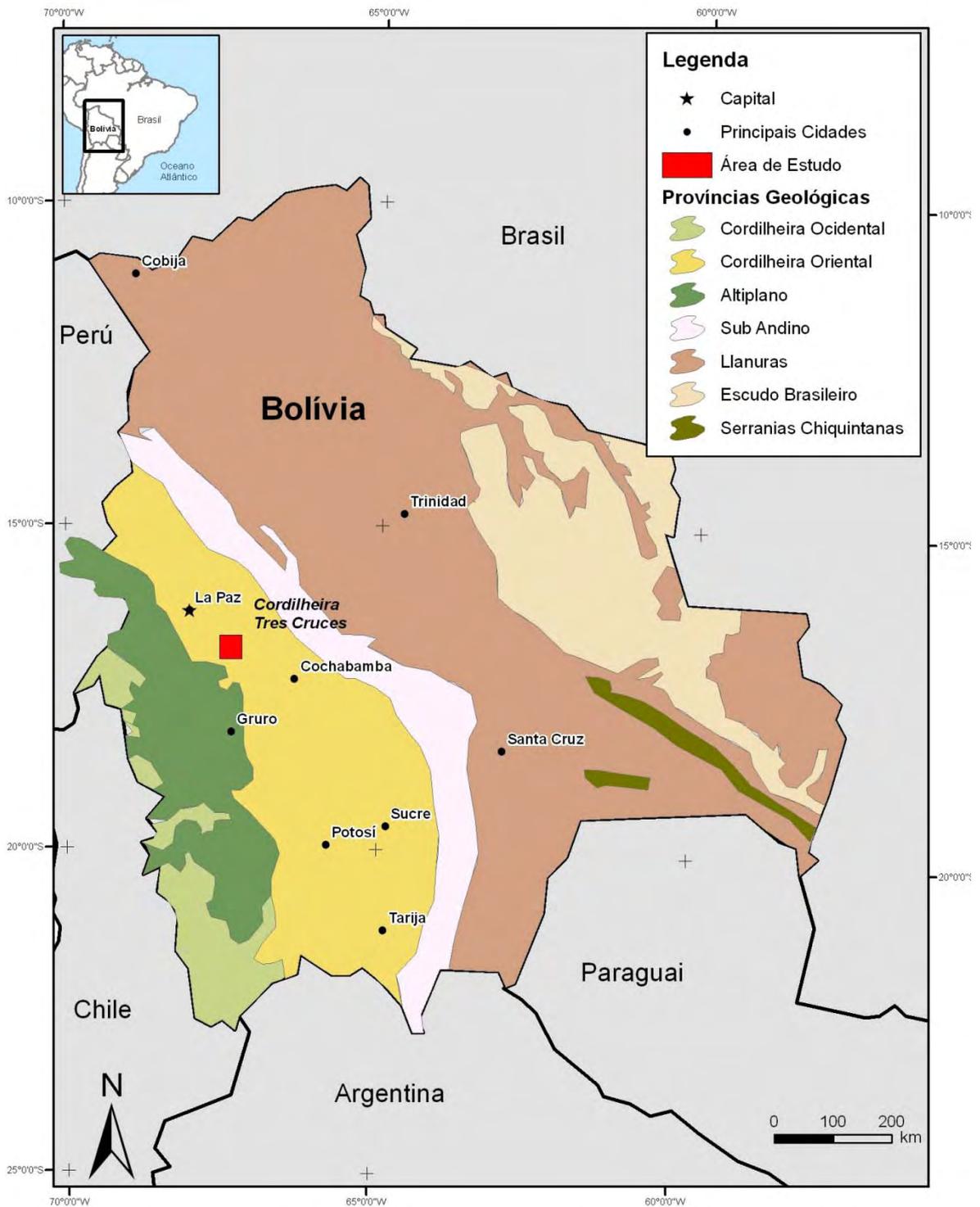


Figura 2 – Principais províncias geológicas da Bolívia (Adaptado de MONTES DE OCA, 1995)

1.4.2 Caracterização geomorfológica

Segundo Ribeiro (2007), a morfologia atual da Cordilheira Oriental é marcada por diversos grupos de morainas. Como demonstram os estudos paleoclimáticos realizados por Rabatel (2005), em diversos sítios desta cordilheira foi possível identificar o impacto das variações climáticas nas geleiras, desde a Pequena Idade do Gelo (máxima extensão glacial), em meados do século XVII, até o final do século XX. O estudo identificou 10 grupos de morainas, onde é possível visualizar desde aquelas mais afastadas das frentes atuais (do período da Pequena Idade do Gelo), até as mais próximas da posição atual destas morainas.

A retração contínua das geleiras teve início a partir da primeira metade do século XVIII e neste período o processo de recuo estava associado à redução da precipitação. Observa-se que, na máxima extensão das geleiras, as precipitações eram cerca de 30% maiores que atualmente, além da temperatura do ar aproximadamente 0,6°C mais baixa. Já no período entre o final do século XIX e começo do século XX, a principal causa do recuo das geleiras foi o aumento de ocorrências e intensidade do fenômeno *El Niño* (RIBEIRO, 2007).

Na área de estudo, Jordan (1991), realizou o primeiro levantamento topográfico detalhado da cordilheira Tres Cruces. Além disso, pesquisas realizadas por ele conseguiram estimar a distribuição de morainas e geleiras durante o período holocênico, através de técnicas de aerofotorrestituição (JORDAN, 1998).

Mais recentemente, Ribeiro (2007), analisou imagens de satélites e dados cartográficos com o objetivo de estimar a variação da espessura do gelo (diferenças de volume e elevação), em sete geleiras da cordilheira Tres Cruces, no período de 29 anos (1975 e 2004). Através deste levantamento, foi possível determinar que desde o ano de 1975, as geleiras tiveram suas frentes reduzidas em todas as direções, sendo que a retração máxima nesse período foi de 437 m (geleira Laramkkota) e a mínima de 181 m (geleira San Enrique). A partir da análise de modelos digitais, conclui-se que a média da redução geral do volume de gelo durante o período analisado foi de aproximadamente 1,55 m² de água ao ano. Conforme o autor aponta, essa retração das massas de gelo na referida cordilheira é condizente com o aquecimento atmosférico regional e com a diminuição generalizada das geleiras nos Trópicos.

1.4.3 Caracterização climática

O clima nos Andes tropicais bolivianos apresenta duas estações anuais bem delimitadas. A estação úmida ($\approx 80\%$ da precipitação anual), durante os meses de dezembro a março (verão), possui forte influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT¹), que nesse período desloca-se em direção ao sul, propiciando a entrada de massas de ar mais úmidas provenientes da bacia Amazônica e do oceano Atlântico (RONCHAIL *et al.*, 2002).

No período do verão austral, a nebulosidade aumenta e a radiação incidente de ondas longas é maior. O resultado é um maior aporte de energia disponível na superfície que, conseqüentemente, aumenta a ablação nas geleiras. Porém, o balanço de massa tende a se equilibrar durante o inverno, e este fato demonstra que para compreender a dinâmica das geleiras tropicais é imprescindível também considerar a variabilidade entre a ablação e a acumulação nival (FRANCOU *et al.*, 2000).

Durante a estação seca, nos meses de julho a agosto (inverno), como conseqüência do deslocamento da ZCIT para o norte, os ventos secos, oriundos da porção leste do anticiclone do Pacífico, predominam na região. Nessa estação, ocasionalmente massas de ar polar, de origem subantárticas, avançam nessa porção dos Andes, reduzindo as precipitações de neve. Localmente o referido fenômeno é conhecido como *suarazos* (RONCHAIL *et al.*, 2002).

Outro fator que influencia o regime de distribuição de chuvas é a presença da cordilheira (JOHNSON, 1980a), uma vez que as áreas voltadas para a mesma direção da origem das massas de ar apresentam índices superiores de precipitação. Esse fenômeno também é denominado como “chuva de sombra”. Conforme exemplo de Ribeiro (2007), na Cordilheira Oriental o total da precipitação pode ser três vezes maior do que na Cordilheira Ocidental (1.300 mm e 500 mm, respectivamente).

Nas áreas montanhosas tropicais, como nos Andes boliviano, os processos periglaciais são diferentes daqueles em ambientes árticos e alpinos, pois os primeiros

¹ Na escala planetária, a ZCIT está localizada no ramo ascendente da célula de Hadley, atuando no sentido de transferir calor e umidade dos níveis inferiores da atmosfera das regiões tropicais para os níveis superiores da troposfera e para médias e altas latitudes. A ocorrência da ZCIT dá-se a partir do choque dos ventos alísios nas proximidades do Equador, uma zona de baixa pressão onde os ventos ascendentes carregam a umidade para a altitude possibilitando a condensação e a ocorrência de chuvas (AYOADE, 2006).

são caracterizados por pequenas variações sazonais de temperatura, elevado *input* de energia solar sobre a superfície por todo o ano, e ausência de cobertura de neve por longos períodos, o que produz consequências para o regime termal e albedo do solo. Além disso, a fraca sazonalidade e a aridez têm duas consequências: (1) os processos periglaciais e suas formas associadas estão diretamente associados ao gradiente altimétrico; (2) a distribuição dos processos periglaciais depende da disponibilidade de água no terreno. Portanto, a zona de permafrost nesta região é observada geralmente acima de 5.400-5.500 m, estando a ocorrência das geleiras de rocha controladas principalmente pela topografia e pela orientação. Em tais condições, a resposta do permafrost à variabilidade climática pode ser diferente se comparada às latitudes (FRANCOU *et al.*, 1999).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GELEIRA DE ROCHAS

O trabalho elaborado por Capps (*apud* CLARK *et al.* 1998) transformou-se no principal fundamento investigativo sobre geleiras de rocha. Este foi o primeiro autor a classificar as referidas feições a partir da morfologia superficial e a criar um conceito para as mesmas, definindo-as como “um corpo em forma de língua ou lóbulo, geralmente de blocos angulosos semelhantes a pequenas geleiras, que ocorrem em terrenos de alta montanha, ou polar seco. E pode apresentar em sua morfologia superficial cordões, sulcos, lóbulos e um declive acentuado em seu ângulo de repouso”.

Outros autores como Kirkbride e Brazier (1995) complementam a definição: “geleiras de rocha caracterizam-se por cordões superficiais paralelos à direção do fluxo da geleira e se deslocam através do sistema, em resposta às variações das condições climáticas e da entrada de detritos”. Conforme Payne (1998), geleiras de rocha caracterizam-se pela presença de deformações internas do gelo ou do gelo intersticial, ou de lâminas de gelo entre os detritos grossos. Os tipos mais comuns são os derivados de talude, em ambiente não-glacial, e os derivados de morainas (origem glacial).

Posteriormente, outras definições buscaram classificar as geleiras de rocha a partir de sua forma geral (WAHRAFTIGH e COX, 1959 *apud* CLARK *et al.*, 1998); composição interna (POTTER, 1972 *apud* CLARK *et al.*, 1998); localização geomórfica dentro de vales (OUTCALT e BENEDICT, 1965 *apud* CLARK *et al.*, 1998); fonte de detritos (BARSCH, 1987a). Entretanto, nenhuma dessas classificações esquemáticas foi amplamente adotada pela comunidade científica.

Outras linhas investigativas explicaram a gênese das geleiras de rocha considerando sua origem em ambiente glacial e periglacial. A origem periglacial foi indicada por Capps (*apud* CLARK *et al.* 1998; WHALLEY e PALMER, 1998; BURGER *et al.*, 1999), que concluiu que as geleiras de rocha consistem em detritos finos e grossos de rochas cimentados com gelo intersticial. Segundo estes autores, as

verdadeiras geleiras de rocha são mais periglaciais que glaciais em sua origem, ainda que considerem a possibilidade que algumas geleiras de rocha se desenvolvam a partir de geleiras que possuem cobertura de detritos rochosos. Diversos outros autores corroboram a favor da origem periglacial (HUGHES, 1996; BLAGBROUGH e FARKAS, 1968; BARSCH, 1969; BURGER *et al.*, 1998), ao mesmo tempo que outros autores afirmam que todas as geleiras de rocha são feições exclusivas de permafrost alpino (HAEBERLI, 1985; HAEBERLI *et al.*, 1988; FABRYKA-MARTIN *et al.*, 1987; BARSCH, 1971, 1977, 1979, 1987a, 1988, 1996; POTTER, Jr. *et al.*, 1972; BURGER *et al.*, 1999).

Giardino *et al.* (1987) e Potter, Jr. *et al.* (1972) defendem a idéia que o termo geleira de rocha é genérico e não genético, pois denota um amplo *continuum* geomórfico. Essa teoria considera que as geleiras de rocha são formas transicionais ou temporárias de processos glaciais ou periglaciais (GIARDINO e VITEK, 1988). Partindo desse pressuposto, essas feições representariam dentro desse sistema um membro terminal (*end member*) e no outro extremo estariam representadas pela geleira descoberta; as geleiras cobertas ou enterradas representariam um estágio intermediário entre essas duas formas (ACKERT Jr., 1998).

Segundo Ferrando (2003), o aumento de pesquisas indica que as geleiras de rocha compreendem um complexo conjunto de formas que foram geradas por processos tanto glaciais quanto periglaciais de maneira sequencial ou independente.

2.1.1 Gênese

Quanto à origem das geleiras rochas, também não há um consenso, e existem duas principais correntes que procuram explicar esse processo. Uma é o modelo periglacial (CLARK *et al.*, 1998), onde o congelamento *in situ* da água da chuva e de fusão ocorre dentro dos interstícios de taludes pré-existentes (WAHRHAFTING e COX, 1959; OUTCALT e BENEDICT, 1965). No modelo glacial, a geleira é coberta por detritos rochosos, derivados das vertentes ou por acumulação por fusão, tornando o gelo subjacente isolado (OUTCALT e BENEDICT, 1965; POTTER, 1972).

Segundo Whalley e Martin (1992), a formação de uma geleira de rocha decorre de um conjunto de eventos conforme descrito abaixo:

- a) Inicialmente uma “língua de gelo” desgastada e pouco espessa encontra-se protegida do derretimento em decorrência da presença de cobertura superficial formada por detritos rochosos;
- b) Os detritos são resultados de escarpas rochosas que sofreram processos de intemperismo e, que se depositaram formando o talude diretamente sobre a superfície do gelo;
- c) O corpo de gelo flui em velocidade baixa, que tende a reduzir na medida em que a espessura do gelo diminui pela ablação, decorrente, principalmente, do fluxo da geleira;
- d) O equilíbrio entre o aporte de detritos rochosos e a formação de gelo é de suma importância na formação das geleiras da rocha;
- e) Os níveis de deslizamento são muito baixos ou inexistentes quando a temperatura do gelo está próxima do ponto de fusão. Caso as temperaturas sejam inferiores a 0°C, o movimento tende a ser ainda mais reduzido.

2.1.2 Atividade

As geleiras também são classificadas quanto à atividade. Comumente, elas são do tipo: ativa, inativa ou fóssil (WHALLEY e MARTIN, 1992; BARSCH, 1988). As principais características das geleiras de rocha do tipo ativa são a presença significativa de gelo intersticial e o deslocamento, que pode ser de poucos centímetros a dezenas de metros por ano.

As geleiras de rocha inativas também possuem gelo em sua estrutura, porém já não apresentam mais deslocamentos. E as geleiras de rocha fóssil caracterizam-se pela ausência de movimento e de gelo (ANGILLIERI, 2008).

Alguns autores, como Burger *et al.* (1999) defendem que a transição de ativa para inativa é um lento processo temporal, e que esta inatividade pode representar um estado temporário de equilíbrio topográfico.

2.1.3 Morfologia

Conforme descrito acima, diversas são as interpretações quanto à formação das geleiras de rocha, coexistindo diversas teorias, muitas vezes conflitivas nessa questão. Dentre as múltiplas classificações morfológicas e genéticas existentes destacam-se os trabalhos de Wahrafting e Cox (1959); Outcalt e Benedict (1965);

Humlum (1982) e Ballantine (1984). A classificação genética adotada por Benn e Evans (1998), refere-se às geleiras de rocha do tipo periglacial (também chamadas de geleiras de rocha de talude ou de pé de talude) provenientes do processo de deformação das partes baixas dos taludes com maior declividade, formando um lóbulo deformado na base. Esses são, conseqüentemente, fenômenos estritamente de origem periglacial, não envolvendo a presença de gelo de geleira.

A outra classificação refere-se às geleiras de rocha formadas através da incorporação progressiva de detritos rochosos em superfície e pela deformação gradativa que ocorre no corpo de gelo em decorrência do manto detritico-clástico (JOHNSON, 1980a-b; BARSCH, 1987b; GIARDINO e VITEK, 1988).

Na sequência, o Quadro 1 expõe uma síntese dos principais tipos de geleiras de rocha e as respectivas nomenclaturas empregadas por diversos autores.

Visando uma maior compreensão, Humlum (1982) elaborou um esquema (Figura 3), com os principais tipos de geleiras de rocha, conforme as particularidades de sua morfologia e disposição topográfica.

Quadro 1 – Tipos de geleiras de rocha identificadas (adaptado de FERRANDO, 2003 e HINATA, 2009).

Descrição	Nomenclatura	Autor e data
Genética	Geleira de rocha	Wahrhaftig e Cox (1959), White (1971), Potter (1972), Washburn (1979), Giardino (1979), Gorbunov (1983)
	Geleira de rocha	Corte (1976)
	Glacigênica	
	Detritos de avalanche	
	Detritos de gelifluxão	
	Complexos de ablação	Johnson (1974, 1983, 1987)
	Geleiras de rocha	Barsch (1988)
	Detritos	
	Talude	
	Geleiras de rocha	Johnson (1973, 1987)
	Moraina	
	Talude	
	Avalancha	
Posição Topográfica	Geleira de rocha	Outcalt e Benedict (1965)
	Fundo de vale	
	Parede de vale	
Dinâmica	Geleira de rocha	Brown (1925), Blagbrough (1984), Haeberli (1985)
	Ativa	
	Fóssil	
Morfologia	Geleira de rocha	Capps (1910)
	Geleira de rocha	Wahrhaftig e Cox (1959), White (1971), Humlum (1982), Parson (1987), Luckman (1977), Luckman and Crockett (1978), André (1992), Zhu Cheng <i>et al.</i> (1992)
	Forma de língua lobada	
	Geleira de rocha de fundo de vale	Soto <i>et al.</i> (2004)
	Geleira de rocha de talude	Richmond (1952), Whalley e Martin (1992)
	Protalude lobado	
	Geleiras cobertas por detritos	Clark <i>et al.</i> (1994)
Morfologia dinâmica	Morainas com núcleo de gelo	Ostrem e Arnold (1970), Ostrem (1971)

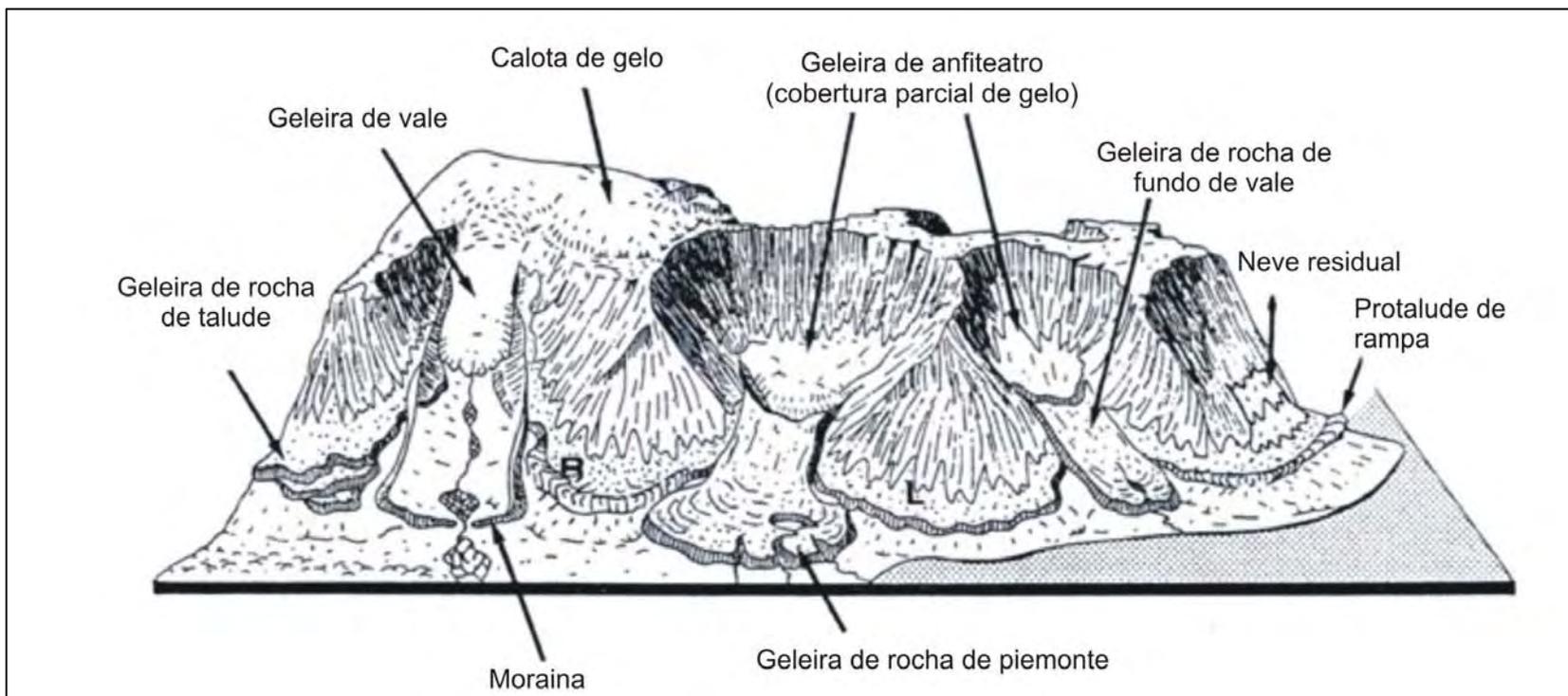


Figura 3 – Tipos morfológicos de geleiras de rocha (adaptado de HUMLUM, 1982)

2.2 SENSORIAMENTO REMOTO E GELEIRAS DE ROCHA

Segundo Florenzano (2002), sensoriamento remoto (SR) pode ser definido como a tecnologia que possibilita a obtenção de imagens e outros tipos de dados de determinada superfície através da utilização de sensores que captam a radiação eletromagnética emitida e/ou refletida dos alvos terrestres e atmosféricos, sem que haja contato físico entre o receptor e o emissor.

Os sensores, por sua vez, podem ser classificados basicamente de duas formas, considerando a capacidade de operar com ou sem uma fonte de energia eletromagnética externa. Os sensores que operam emitindo e recebendo ondas eletromagnéticas, são denominados ativos (ex.: Radarsat). Já os sensores que operam somente na recepção de sinais, são denominados de passivos (ex.: Landsat).

Diversas são as versões a respeito da origem do SR. Entretanto, é consensual o entendimento que nos primórdios ele esteve vinculado ao advento da fotografia aérea, a partir da metade do século XIX. Esta primeira fase estendeu-se até aproximadamente 1960, quando então, foi possível a obtenção das primeiras fotografias orbitais provenientes de satélites tripulados, como Mercury, Gemini e Apolo (NOVO, 2008).

Esse segundo período do SR foi pautado pela diversificação de fontes de informação, bem como a utilização de imagens de satélite, que outrora ficara restrito somente às fotografias aéreas. Isso ocorreu graças ao sucesso das primeiras missões, que demonstraram as vantagens da aquisição de imagens orbitais e das possibilidades de aplicação desses dados, contribuindo de forma decisiva no aporte de investimentos em outros satélites, como o TIROS – 1° satélite meteorológico, lançado em abril de 1960, dando início aos primeiros registros sistemáticos de imagens da Terra (FLORENZANO, 2002).

O ano de 1972 foi marcado pelo lançamento do 1° satélite com o objetivo de realizar levantamento de informações sobre os recursos terrestres, denominado Landsat-1 (inicialmente ERTS) fabricado pelos EUA. E devido ao notório êxito das missões dos satélites dessa série, a missão já se encontra na 7ª edição.

Segundo Novo (2008), a partir de 1990 ocorreram mudanças de paradigma na aquisição de dados de sensoriamento. Além dos aperfeiçoamentos tecnológicos dos

novos sensores, também são significativos os avanços na capacidade de transmissão, armazenamento e processamento graças ao desenvolvimento constante das telecomunicações e da informática.

Soma-se a isso tudo o fato da disponibilização crescente de imagens satelitais gratuitas, com cobertura de imageamento de praticamente toda Terra, o que inevitavelmente favorece a democratização das inúmeras possibilidades de aplicação que estes dados possuem.

Com respeito às geleiras de rocha, o emprego do sensoriamento remoto passou a fazer parte dos programas de monitoramento de larga escala, com maior destaque aos estudos do estado cinemático das geleiras de rocha, com o acompanhamento de sua velocidade superficial e dos processos relacionados de rastejamento e de deformação interna, além do transporte de massa em ambientes de alta montanha. Técnicas de interferometria por radar de abertura sintética (SAR), e interferometria diferencial (DINSAR), em séries multitemporais estão sendo usadas na obtenção de taxas de movimento interanual das geleiras de rocha, como por exemplo, na Antártica (RIGNOT *et al.*, 2002; MARCO *et al.*, 2010) e em ambientes de alta montanha (DELALOYE *et al.*, 2007).

2.2.1 Estudos prévios sobre geleiras de rocha

Ainda que tenham sido realizados poucos estudos notórios sobre geleiras de rocha no território boliviano, diversos são os exemplos de pesquisas sobre esse assunto em diferentes partes do planeta.

Nos últimos anos, o incremento de tecnologias de SIG, como por exemplo, os modelos tridimensionais utilizados para subsidiar pesquisas sobre geleiras de rocha, entre outros, sobretudo em lugares de difícil acesso, está se tornando uma prática comum. Esse tipo de análise topográfica é de grande valia, uma vez que o terreno da área em questão é reproduzido em três dimensões, caracterizando com maior precisão as feições topográficas.

Destaca-se no na região dos Alpes austríacos (46°59'N, 13°17'E), o monitoramento de geleiras de rocha na região de Doesen, durante uma década, com o objetivo de identificar o comportamento cinemático destas. Kaufmann *et al.* (2006) realizou tal estudo, através da análise de dados de SAR, juntamente com medições

fotogramétricas e geodésicas. Ao todo foram identificadas mais de 140 feições, sendo destas 90% do tipo ativas/inativas e o restante de geleiras de rocha do tipo fóssil. Quanto à disposição geomorfológica, observou-se que 77% dessas geleiras de rocha estão dispostas em talude e o restante em fundo de vale.

Pesquisas elaboradas por Nyenhuis *et al.* (2005) no sul dos Alpes suíços, com a finalidade de inventariar e mapear informações sobre o permafrost existente nessa região, também possibilitaram a criação de modelos de distribuição regional. Conforme foi possível constatar neste estudo, as geleiras de rocha desta área caracterizam-se por estarem associadas, predominantemente, aos terrenos mais declivosos. Além disso, aproximadamente 70% das feições inventariadas possuem a característica de serem do tipo ativas.

Nos Estados Unidos, Seligman (2009), estudou sobre geleiras de rocha em áreas de permafrost, ao norte do parque Yellowstone, estado de Montana. Obteve-se o primeiro levantamento sobre geleiras de rocha nessa região, com especial atenção à cadeia montanhosa de Absaroka e Beartooth. Através da utilização de fotografias aéreas digitalizadas associadas à geração de modelos tridimensionais foi possível inventariar aproximadamente 660 geleiras de rocha. Através dessa pesquisa, concluiu-se que existe uma forte correlação na ocorrência dessas feições, em maior intensidade, associadas a algumas particularidades como áreas de altitudes mais elevadas, altas precipitações nivais, e principalmente, baixa variação térmica.

Na região andina do Chile central, Brening (2005) quantificou e analisou a distribuição de geleiras de rocha localizadas nas proximidades da capital Santiago (entre as latitudes 33 e 34.5°S). Ao utilizar modelos estatísticos e técnicas de sensoriamento remoto aliados à confecção de modelos tridimensionais, foi possível estimar padrões de distribuição e caracterizar o “nicho” geomorfológico das geleiras de rocha. Também foi calculado o potencial de água que se encontra armazenada em forma de gelo nessas feições. Segundo estimativas, as reservas possuem entre 0,7 e 1,1 km³ de água por 1.000 km² de montanha, sendo este montante uma ordem de magnitude maior do que os Alpes suíços, por exemplo. Estes valores demonstram a grande importância hídrica que as geleiras de rocha representam no âmbito da região do semiárido andino.

Brenning (2006), igualmente realizou pesquisas na região semiárida dos Andes, entre as cidades de Mendoza (Argentina) e Santiago (Chile), em altitudes superiores a 3.000 m, abrangendo uma área de 12.000 km². A abordagem utilizada na área de estudo, considerada uma das regiões com maior abundância de geleiras de rocha do mundo, foi através de aplicação de técnicas de regressão logística em uma amostra aleatória de pontos da superfície, para identificar padrões de distribuição local e regional de geleiras de rocha. As variáveis explicativas utilizadas para a seleção do modelo estão relacionadas às características locais e regionais morfométricas e climáticas. Os resultados obtidos são modelos utilizados para determinar o nicho ideal morfológico e climático para a ocorrência de geleiras de rocha.

O estudo realizado por Kamp *et al.* (2005) no cerro Sillajhuay, localizado no Chile próximo à fronteira com a Bolívia, utilizou modelos tridimensionais do terreno na análise das geleiras de rocha inventariadas. Nesse estudo alguns parâmetros elencados permitiram a interpretação geomorfométrica, tais como: elevação, declividade, orientação das vertentes, curvatura vertical e curvatura tangencial. Também foram calculadas as linhas de fluxo das geleiras de rocha e a radiação solar. Concluiu-se que, a utilização de Modelos Digitais de Elevação (MDE) provenientes do satélite ASTER oferece resultados confiáveis, principalmente quando a demanda de análise é baseada em escala média (1:100.000 a 1:50.000) de detalhamento.

Ainda no Chile, também se destacam os estudos de Graf (1986), com a identificação de formas periglaciais na Cordilheira Ocidental próximo à fronteira com a Bolívia, e os de Francou *et al.* (1999) na geleira de rocha Caquilla (5960-5400 m), onde foram identificados sinais de degradação da geleira durante o último século.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

No capítulo que segue serão descritos os procedimentos metodológicos e os materiais que foram utilizados na elaboração deste trabalho.

A metodologia empregada no presente trabalho consiste na análise temporal, através do uso de imagens de satélite, abrangendo um período de 20 anos (1985 e 2005), com o intuito de identificar a variação de área e a caracterização morfológica das geleiras de rocha da cordilheira Tres Cruces, em um SIG. Notoriamente, o primeiro passo ao iniciar qualquer pesquisa, é o conhecimento prévio do objeto de análise, através de levantamento bibliográfico de estudos correlatos na área de estudo, assim como de pesquisas similares já efetuadas em outros lugares, para maior compreensão na execução do trabalho.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Softwares de SIG

Para realizar a análise dos dados espaciais da área de estudo, foram utilizados os seguintes aplicativos computacionais:

Quadro 2 – Relação de softwares de SIG e respectivas aplicações

Software	Aplicação
ArcGis 9.3	Georreferenciamento das imagens de satélite; Vetorização das Geleiras de Rocha; Geração de curvas de nível, declividade e orientação das vertentes; manipulação do TIN; Elaboração do modelo tridimensional
ENVI 4.3	Realce das imagens de satélite; Fusão das imagens Landsat e CBERS

3.1.2 Dados cartográficos digitais

3.2.2.1. Imagens de satélites

Optou-se utilizar imagens do sensor *Thematic Mapper* (TM) do satélite Landsat-5, por dois motivos principais. O primeiro está relacionado à série histórica disponível (1985 e 2005) e o outro fator é referente à disponibilidade das imagens

comparadas para o mesmo mês (agosto), nos anos de análise. Também foi utilizada imagem do sensor *High Resolution Camera* (HRC) do satélite CBERS 2B, considerando a sua elevada resolução espacial de 2,7m. O Quadro 3 abaixo apresenta algumas características das imagens utilizadas no estudo.

As imagens de satélite Landsat-5 foram adquiridas gratuitamente (Figura 4), através do Global Land Cover Facility (GLCF, 2009) e encontra-se disponível para download no site da Universidade de Maryland – EUA, no seguinte endereço: <http://glcf.umiacs.umd.edu/data/landsat/>.

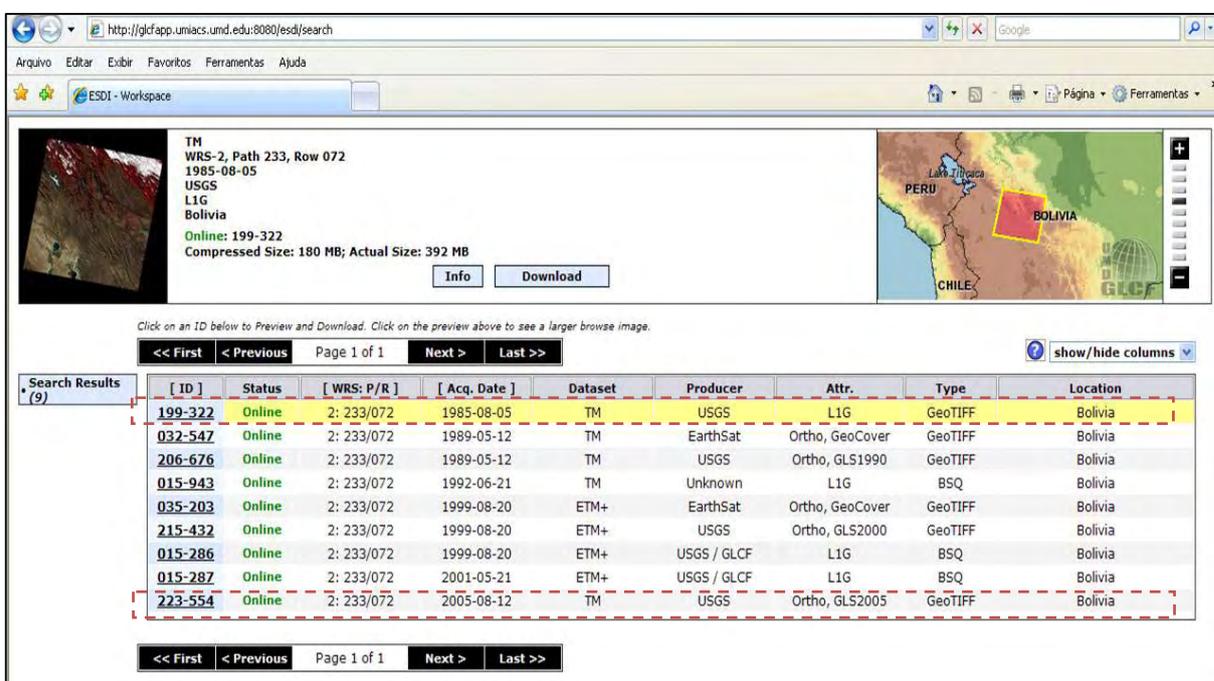


Figura 4 – Seleção das imagens Landsat

Quadro 3 – Características das bandas dos satélites utilizados no estudo

Satélite	Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral (µm)	Resolução Espacial (m)	Resolução Temporal (dias)	Área Imageada (km)	Resolução Radiométr. (bits)	Data de Aquisição da Imagem pelo Sensor
Landsat 5	TM	(B1) Azul	0.45 - 0.52	30	16	185	8	05/08/1985 e 12/08/2005
		(B2) Verde	0.50 - 0.60					
		(B3) Vermelho	0.63 - 0.69					
CBERS 2B	HRC	(PAN) Pancromática	0,50 - 0,80	2,7	130	27 (nadir)	8	28/5/2008

3.1.2.2 Dados do modelo digital de elevação

Tradicionalmente, para confeccionar um modelo digital de elevação era necessária a digitalização das curvas de nível de cartas topográficas ou até mesmo realizar levantamentos topográficos em campo.

Segundo Campos (1994), estes levantamentos topográficos são fundamentados em cálculos gerados a partir de medições angulares e lineares da superfície de um determinado terreno. Inicialmente eram realizados somente *in loco*, através de instrumentos topográficos e, posteriormente, através de aerofotogrametria, o que facilitou a viabilização de levantamento em terrenos extensos.

Contudo, nos últimos anos os avanços tecnológicos da informática e da eletrônica principalmente no que tange a obtenção desses dados a partir de imagens orbitais, disponíveis gratuitamente em meio digital popularizaram as informações e conseqüentemente, facilitaram o desenvolvimento de estudos que necessitam de informações desta natureza.

No presente estudo, foram considerados dados provenientes do projeto nipoamericano denominado ASTER-GDEM (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer - Global Digital Elevation Model*). O resultado desta parceria é a distribuição gratuita de MDEs com 30m de resolução espacial, que podem ser obtidas através de download no endereço eletrônico: <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/index.jsp>

A metodologia utilizada neste projeto envolveu o processamento automático de 1,5 milhões de cenas obtidas pelo instrumento ASTER, incluindo a correlação estéreo para produzir 1.264.118 modelos de elevação individuais, que recobrem toda a porção emersa da superfície terrestre, entre as latitudes 83° N e 83° S.

A grande vantagem na utilização desses dados em relação a outras fontes que disponibilizam esse tipo de informação, como por exemplo, o *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), que é largamente utilizado, é uma sensível melhora na resolução espacial da informação, como pode ser observado no quadro abaixo.

Quadro 4 – Comparação entre ASTER GDEM e outros MDEs

	ASTER GDEM	SRTM3*	GTOPO30**	Malha de dados de elevação digital (10 m)
Fonte de dados	ASTER	<i>Space shuttle radar</i>	De organizações ao redor do mundo que dispõem de dados MDE	1:25.000 mapa topográfico
Geração e distribuição	METI/NASA	NASA/USGS	USGS	GSI
Ano de lançamento	2009 ~	2003 ~	1996 ~	2008~
Período de aquisição de dados	2000 ~ contínuo	11 dias (em 2000)	-	-
Resolução espacial	30m	90m	1000m	aprox. 10m
Precisão do MDE (desvio padrão)	7~14m	10m	30m	5m
Cobertura do MDE	83° norte ~ 83° sul	60° norte ~ 56° sul	Global	Disponível somente para o Japão
Área de dados em falta	Áreas com ausência de dados ASTER, devido à cobertura de nuvens constante (MDE fornecidos por outros)	Áreas que apresentam topografia muito íngreme (devido às características do radar)	Nenhuma	Nenhuma

* SRTM3: *Shuttle Radar Topography Mission Data* - Arco 3 segundos

** GTOPO30: Dados de Elevação Global - Arco 30 segundos

Fonte: <http://www.ersdac.or.jp/GDEM/E/2.html>

3.2 MÉTODO

O desenvolvimento metodológico do trabalho ocorreu basicamente em 4 etapas:

- Manipulação das imagens satelitais;
- Elaboração do modelo tridimensional da área de estudo;
- Identificação e classificação morfológica das geleiras de rocha;
- Análise das informações obtidas.

Na sequência é apresentado um fluxograma (Figura 5) com as etapas descritas acima de forma mais detalhada.

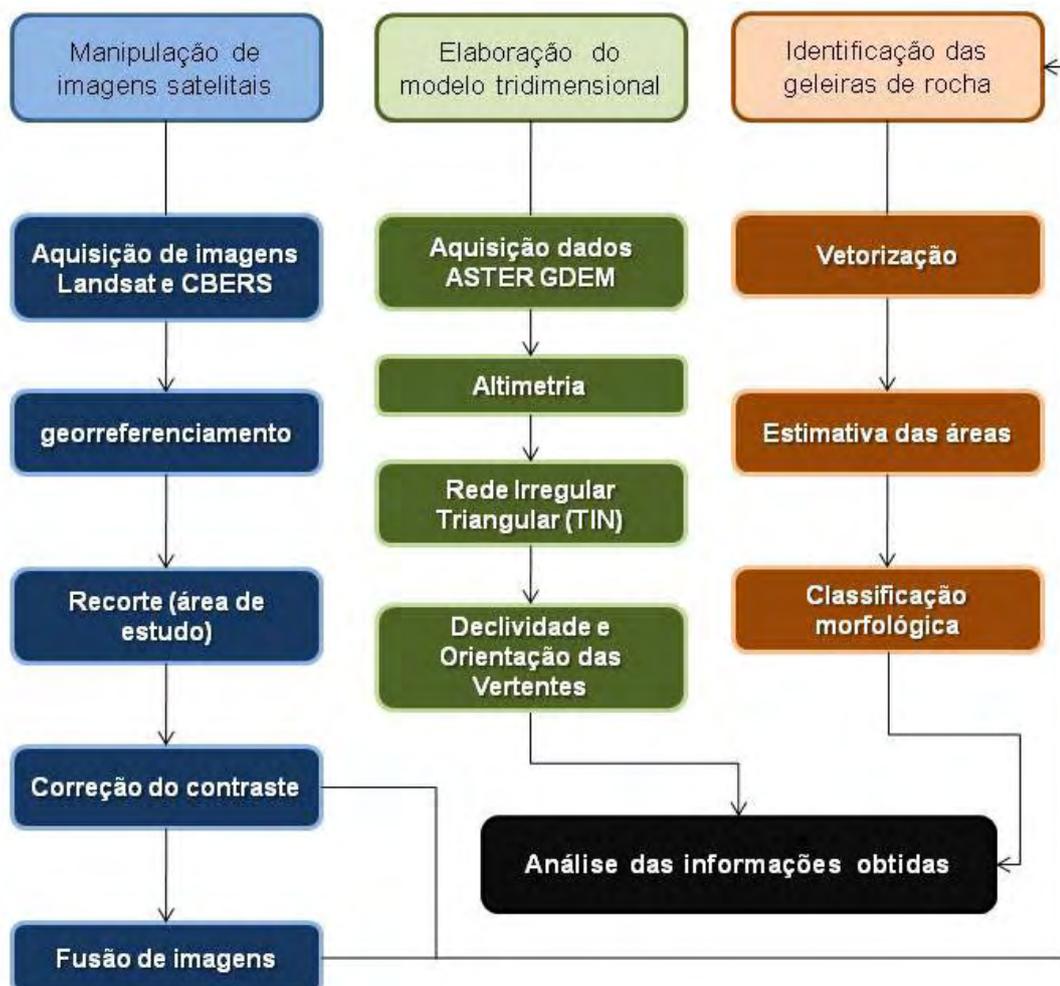


Figura 5 – Fluxograma de desenvolvimento do trabalho

3.2.1 Manipulação das imagens satelitais

3.2.1.1 Georreferenciamento das imagens

Para obter a localização espacial correta das geleiras de rocha identificadas, é necessário primeiramente que as imagens de satélite possuam uma rede de coordenadas geográficas reconhecidas. Esse processo é conhecido como georreferenciamento.

As cenas do Landsat TM-5 consideradas nesse trabalho foram adquiridas pelo sensor do satélite no mês de agosto dos anos de 1985 e 2005. O mês de aquisição influenciou a escolha dessas imagens, uma vez que corresponde ao final da estação seca na região. Isso significa que a cobertura nival, assim como as frentes das geleiras estão no período de maior recuo. Conseqüentemente, se as imagens utilizadas fossem do período úmido, a presença desta neve sazonal poderia dificultar a identificação das geleiras de rocha, uma vez que elas poderiam estar encobertas.

Além das imagens Landsat, foi utilizada uma cena proveniente do sensor HRC do satélite CBERS-2B. Essa imagem auxiliou na identificação das geleiras de rocha, tendo em vista a sua resolução espacial de 2,7m. Posteriormente serão explicitados os procedimentos em relação ao uso dela no presente estudo.

Nessa etapa, foi utilizado o *software* Envi 4.3 para georreferenciar as imagens consideradas. Devido a dificuldade na obtenção de uma carta topográfica da área do estudo, para realizar esse procedimento, optou-se por utilizar uma cena do satélite Landsat-7 do ano de 2000 já georreferenciada e ortorretificada. Este produto é disponibilizado gratuitamente pela NASA, que realizou esse procedimento para toda a área emersa da Terra. As referidas imagens podem ser encontradas para *download* no seguinte endereço: <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/mrsid.pl>.

Antes de iniciar o georreferenciamento propriamente dito, as imagens foram analisadas para identificar feições, tais como cruzamento de estradas e corpos hídricos distribuídos no terreno, com o objetivo de usá-las como pontos de controle no georreferenciamento. Sendo assim, o *software* Envi foi iniciado e foram realizadas as seguintes ações:

- Abertura da imagem Geocover 2000 no Envi: *File > Open External File > Generic Formats > MrSID> S-19-15_2000.sid*
- Na caixa de diálogo *MrSid World File Input Projection* > Selecionou-se UTM, o *datum* WGS-84, e a zona 19.

Logo após, a imagem foi exportada com a extensão “tiff” para então ser utilizada para georreferenciar as outras imagens satelitais.

No ArcMap, foram adicionadas as imagens já compostas em bandas 321 sobre RGB, conhecida popularmente como composição “cores verdadeiras”. Para iniciar o georreferenciamento, através da imagem de referência (Landsat-7), foi adotado o seguinte procedimento:

- Na barra de ferramentas *Georeferencing* utilizou-se a ferramenta *Add Control Points* para coletar os pontos de controle (ou *Ground Control Points* - CGP’s), que foram previamente selecionados nas etapas iniciais. Nesse processo, primeiro marcou-se o ponto na imagem a ser georreferenciada e após o *layer* dessa imagem foi desativado para então ser selecionado o mesmo ponto na imagem de referência. Repetiu-se esse procedimento até que todos os pontos de controle estivessem devidamente registrados na imagem. Para finalizar essa etapa, exportou-se a imagem no formato “tiff”. Este procedimento foi repetido em todas as imagens de satélite.

3.2.1.2 Recorte das imagens

Tendo em vista que a área imageada das cenas do Landsat-5 possui 185 x 185 km e as do sensor HRC do CBERS-2B, 27 x 27 km, e as dimensões do polígono da área de estudo possuem 41 x 38 km. Observou-se a necessidade de eliminar das imagens as áreas das cenas que não seriam analisadas no estudo.

No ArcCatalog, foi criado um *shape* da poligonal da área de estudo, para servir de base no recorte das imagens utilizadas. Esse procedimento ocorreu da seguinte forma:

- No ArcMap, foram adicionadas todas as imagens selecionadas para o trabalho e o *shape* com a feição da área de estudo. Através do ArcToolbox, na ferramenta *extract by mask*, executou-se esta tarefa.

3.2.1.3 Correção do contraste

Dando sequência à preparação das imagens para realizar a identificação das geleiras de rocha, a próxima etapa refere-se ao melhoramento visual das imagens. Este procedimento foi realizado no Envi, da seguinte forma:

- As imagens Landsat já compostas em bandas (321) e a HRC foram carregadas individualmente no Envi: *File > Open External File > Generic Formats > Tiff/GeoTiff*;
- Para melhorar a distribuição do contraste das imagens, em *histogram source* foi selecionado *band*: No histograma original, foi determinado valor mínimo e o máximo do nível de cinza (Figura 6).

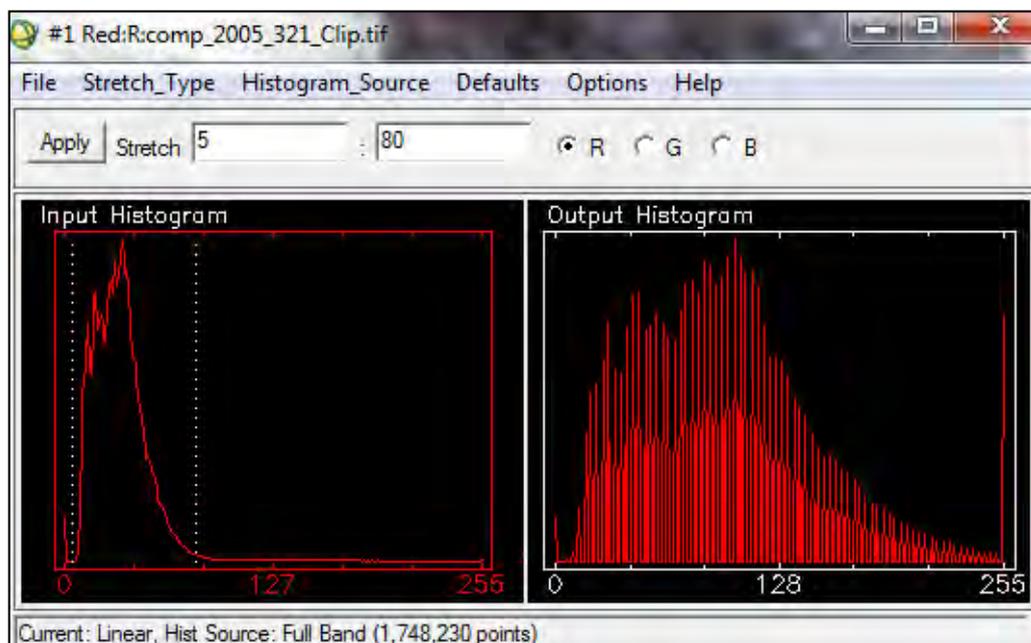


Figura 6 – Histograma de realce de imagem, antes e após a aplicação do realce

3.2.1.4 Fusão das imagens

Embora as imagens do sensor HRC tenham uma resolução espacial superior quando comparadas às do TM, elas caracterizam-se por ter somente uma banda pancromática. Este fato dificulta a extração das informações que são pertinentes a este trabalho. Deste modo, viu-se a necessidade de fusionar essas imagens para obter um produto de apoio na identificação, com maior acuidade visual. Esse procedimento foi realizado no Envi, e na sequência são descritos os detalhes da operação:

- Após carregar a imagem HRC no Envi, em *Overlay > Density Slices* na caixa *Band Choice*, foi selecionada a única banda disponível (pan). Na caixa *Density Slices* foi redefinido o intervalo de níveis de cinza, em 1 para *Ranges Start* e 255 para *Ranges End*.
- Posteriormente, o *Range* foi convertido em *EVF*. No menu *File* da caixa *Density Slices* e em *output Ranges to EVFs*. Quando finalizado esse processo, na caixa de avaliação do vetor, foi selecionado o vetor aplicando-o na seleção do *display* da TM. Após isso, na caixa de parâmetros do vetor e do *Scroll* da TM foi inserido o vetor.
- Em *Basic Tools > Subset Data via ROIs*, foi escolhida a imagem TM, e na caixa de parâmetros a máscara de recorte, nela selecionou-se o *link* EVF. Dentro de *Select Input ROIs*, selecionou-se a máscara e posteriormente foi nomeada a imagem de saída.

Para finalizar a fusão entre as imagens:

- No ENVI em *Transform > Image Sharpening > Gram-Schmidt Spectral Sharpening*, foram selecionadas as imagens de baixa resolução (TM) e a de alta resolução (HRC). O método de fusão selecionado foi *Average of Low Resolution*.

3.2.2 Modelo tridimensional

3.2.2.1 Dados digitais de elevação

O primeiro passo para elaborar o modelo 3D da área de estudo foi a aquisição dos dados MDE através de *download* no site do ASTER-GDEM (Figura 7). Nesse caso foram necessárias duas imagens para recobrir completamente a cordilheira Tres Cruces.

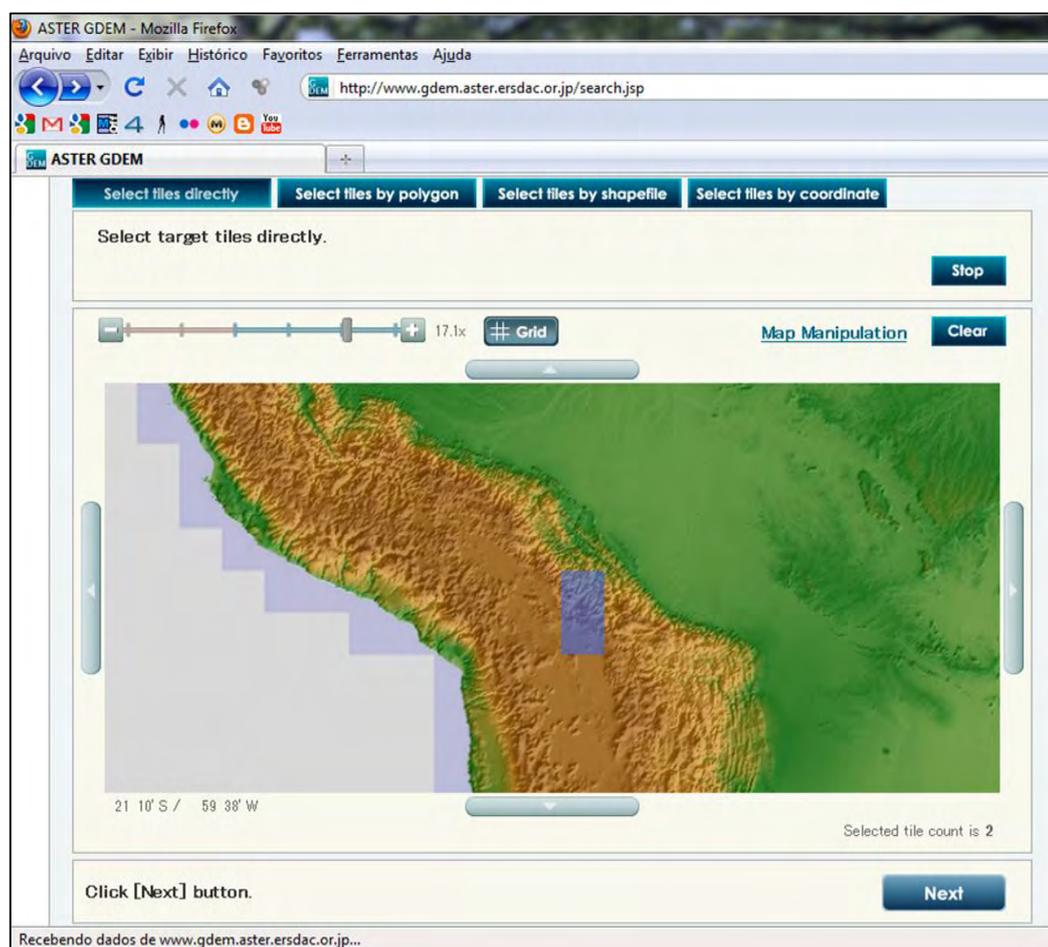


Figura 7 – Seleção dos dados DEM

3.2.2.2 Mosaicagem e recorte da área de estudo

De posse dos DEMs, primeiramente foi feito um mosaico no ArcMap (Figura 8) das imagens utilizadas, da seguinte forma:

- No Arctoolbox > *Data Management Tools* > *Raster* > *Raster Dataset* > *Mosaic To New Raster*. Logo após repetiu-se a rotina de recorte da área de estudo, conforme descrito anteriormente.

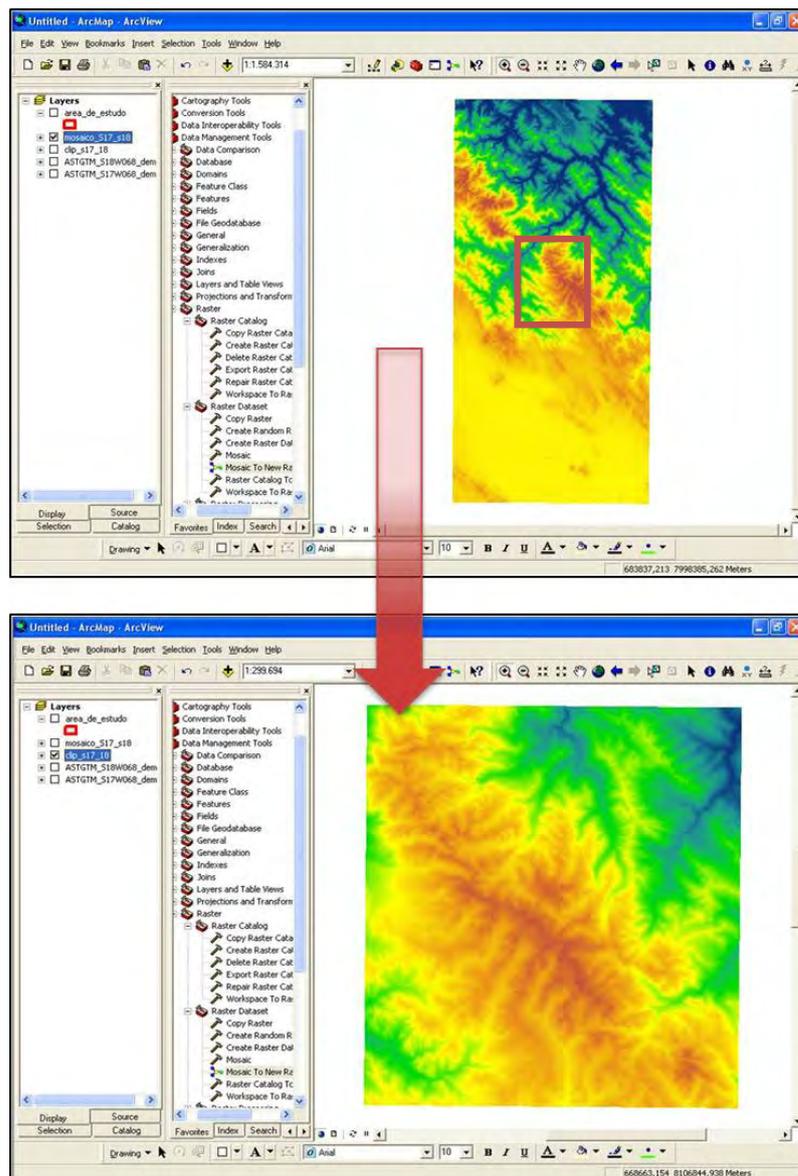


Figura 8 – Mosaico e recorte dos MDEs utilizados

3.2.2.3 Montagem do modelo 3D

A montagem do modelo 3D da área de estudo é relativamente simples e foi executada no ArcScene da seguinte forma:

- Foi inserida a imagem Landsat de 2005 e, para conferir o aspecto tridimensional na imagem, basta ir em *Layer Properties*>*Base Heights* e selecionar em “*Obtain heights for layer from surface*” o MDE da área de estudo (Figura 9).

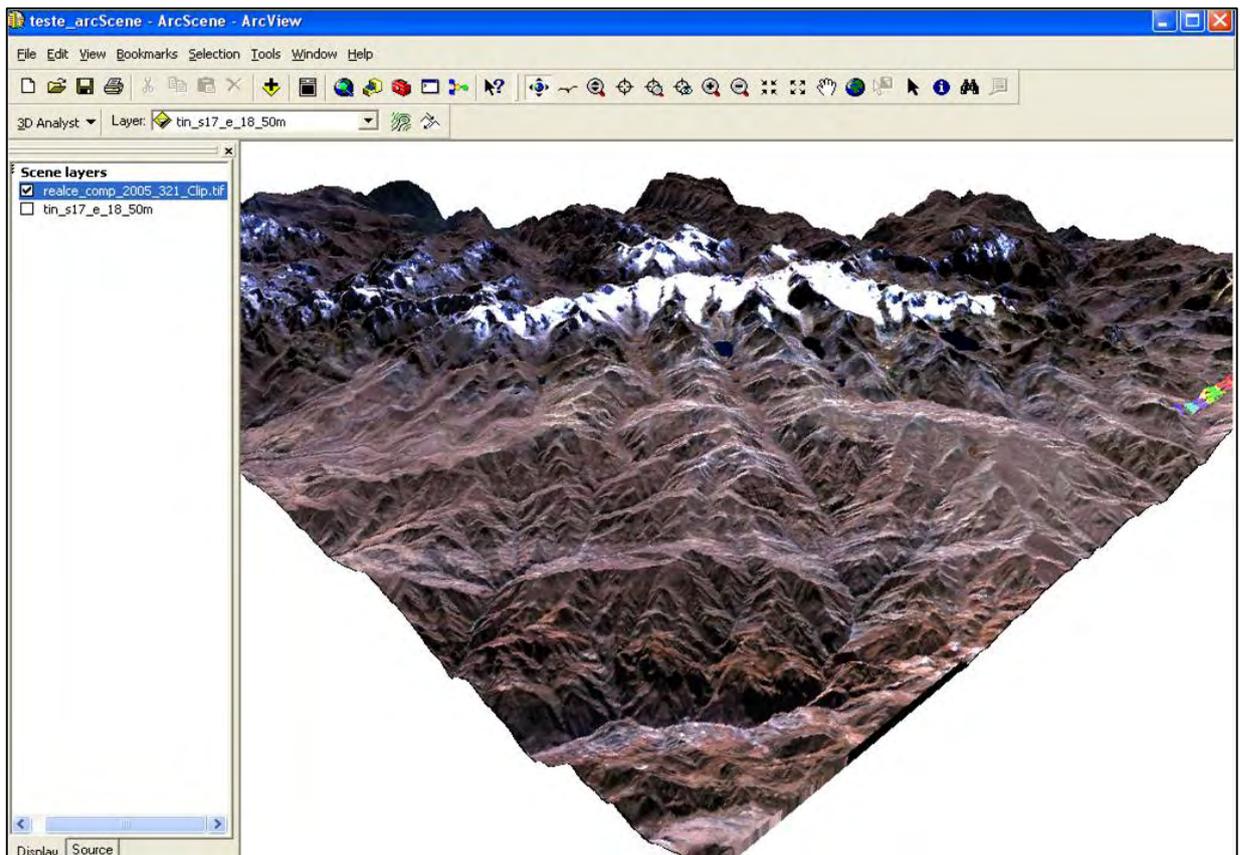


Figura 9 – Montagem do modelo tridimensional da área de estudo

3.2.2.4 Extração das altitudes

Além da aplicação tridimensional, o MDE também possui outras potencialidades. Destaca-se a extração da informação das altitudes de uma determinada área.

De um modo geral, a altitude representa a distância vertical entre um determinado ponto e o nível médio dos mares ou de um elipsóide de referência. Também representada através de curvas de nível, que são curvas planas que unem pontos de igual altura.

Para extrair as curvas de nível (Figura 10) a partir dos MDE, foram realizados os seguintes procedimentos:

- No ArcMap em ArcToolbox selecionou-se *Spatial Analyst Tools > Surface > Contour*. Em *Input raster* foi inserido o MDE. Em *Contour interval* foi definido o intervalo de 50 m entre as curvas de nível.

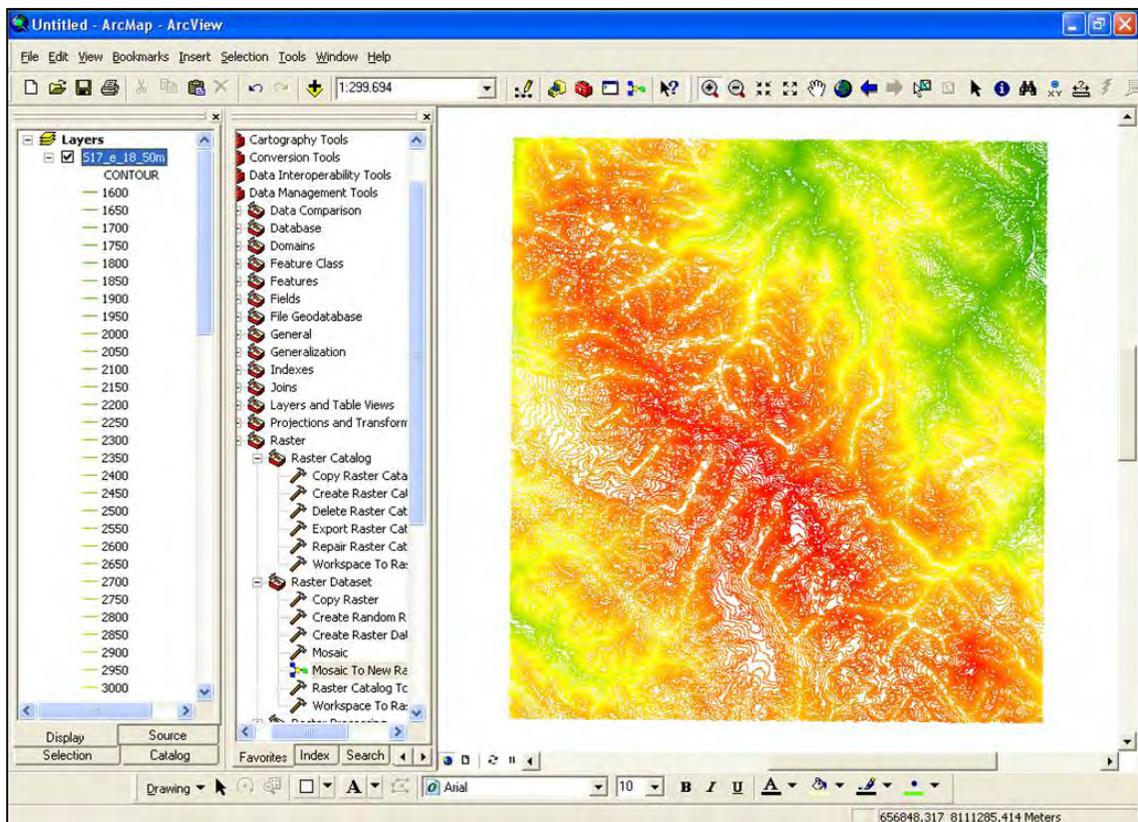


Figura 10 – Curvas de nível da área de estudo

3.2.2.5 Rede Irregular Triangular (TIN)

Para extrair outras informações do terreno, como declividade e orientação das vertentes. É necessário que antes seja criada uma TIN.

Segundo Campos (1994) essa malha triangular é uma estrutura vetorial e representa uma superfície através de um conjunto de faces triangulares conectadas, sendo que cada vértice dos triângulos contém as coordenadas de localização (x e y) e o atributo de elevação (z). Na sequência são descritos o passo-a-passo na criação do TIN:

- Na ferramenta *3D Analyst* do ArcMap: *Create/Modify TIN > Create TIN from Features*. Selecionou-se o *shape* das curvas de nível gerado no processo anterior para servir de base na geração do TIN (Figura 11). O produto resultante é formado por *layers* que contém informações, que foram extraídas posteriormente, como declividade do terreno e orientação das vertentes.

A declividade indica a inclinação de determinado ponto da superfície do terreno em relação ao plano horizontal. Nesse caso, foi considerada a partir dos dados altimétricos extraídos do MDE. Nesse estudo está representada em graus ($^{\circ}$), podendo variar de 0 (superfície completamente plana) até 90 (máxima declividade).

A orientação das vertentes representa a direção da declividade superficial da vertente. Essa orientação é calculada para cada triângulo do TIN. Medida no sentido horário, cujas faces correspondem a intervalos de 45° . Iniciando no norte ($337,6-22,5^{\circ}$), nordeste ($22,6-67,5^{\circ}$), leste ($67,6-112,5^{\circ}$), sudeste ($112,6-157,5^{\circ}$), sul ($112,6-202,5^{\circ}$), sudoeste ($202,6-247,5^{\circ}$), oeste ($247,5-292,5^{\circ}$) e noroeste ($292,6^{\circ}-337,5$).

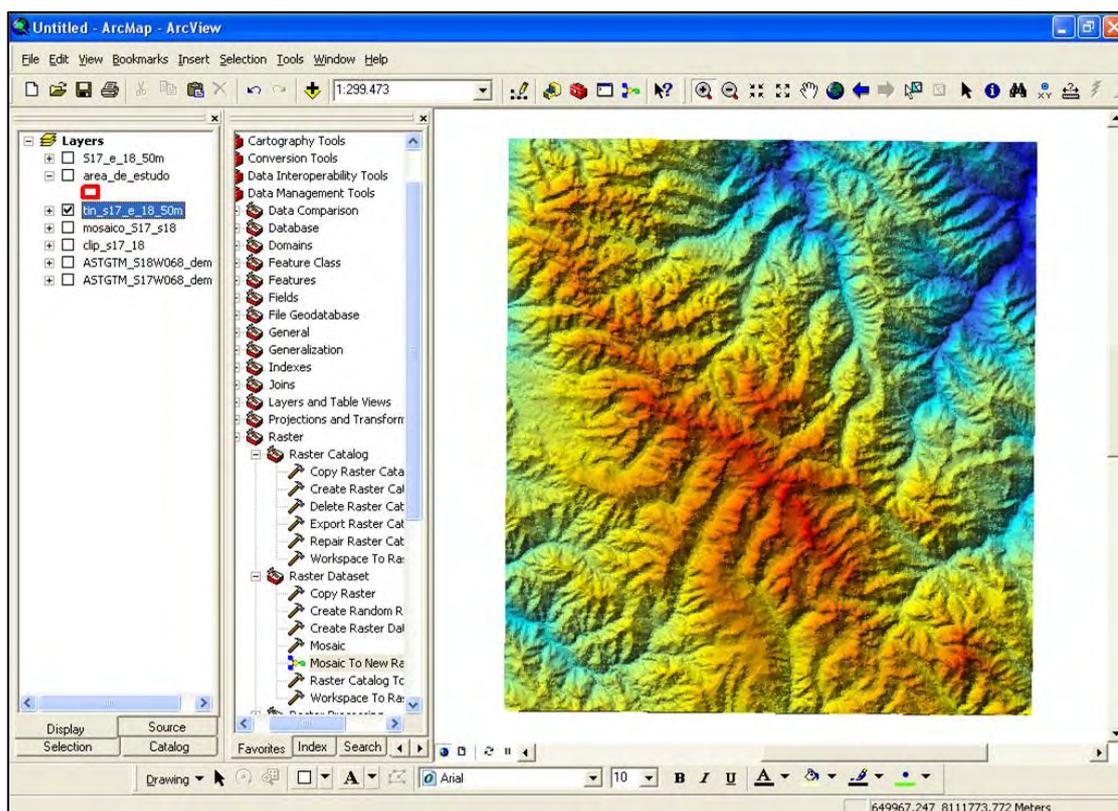


Figura 11 – TIN da área de estudo

3.2.3 Identificação das geleiras de rocha

3.2.3.1 Vetorização das geleiras de rocha

Para realizar a identificação das geleiras de rocha na área de estudo, foram utilizadas as imagens Landsat-5 TM dos anos de 1985 e 2005. Também utilizou-se como apoio as imagens fusionadas com a cena do sensor HRC do satélite CBERS.

De posse das imagens já compostas em bandas (321) iniciou-se a vetorização manual das geleiras de rocha no ArcMap (Figura 12), primeiro para o ano de 1985 e após para 2005, da seguinte forma:

- Na barra de ferramentas *Editor* > *Start Editing*, foi selecionado o *shape* do tipo polígono, que foi criado previamente no ArcCatalog;
- Manualmente, as geleiras de rocha identificadas foram vetorizadas em formato poligonal. Além dessas feições, também foram vetorizados os

corpos d'água e morainas identificados na área de estudo, na imagem de 2005;

Para diferenciar as feições foi conferido um código de identificação, sempre iniciado por "GR" seguida do dígito referente à ordem de identificação da feição (de 1 a 64).

Devido à ausência de trabalhos em campo, foi realizada uma pesquisa prévia através de outros trabalhos citados no decorrer do texto, visando obter uma maior confiabilidade na identificação, através de padrões morfológicos, de disposição e outras características típicas dessas feições.

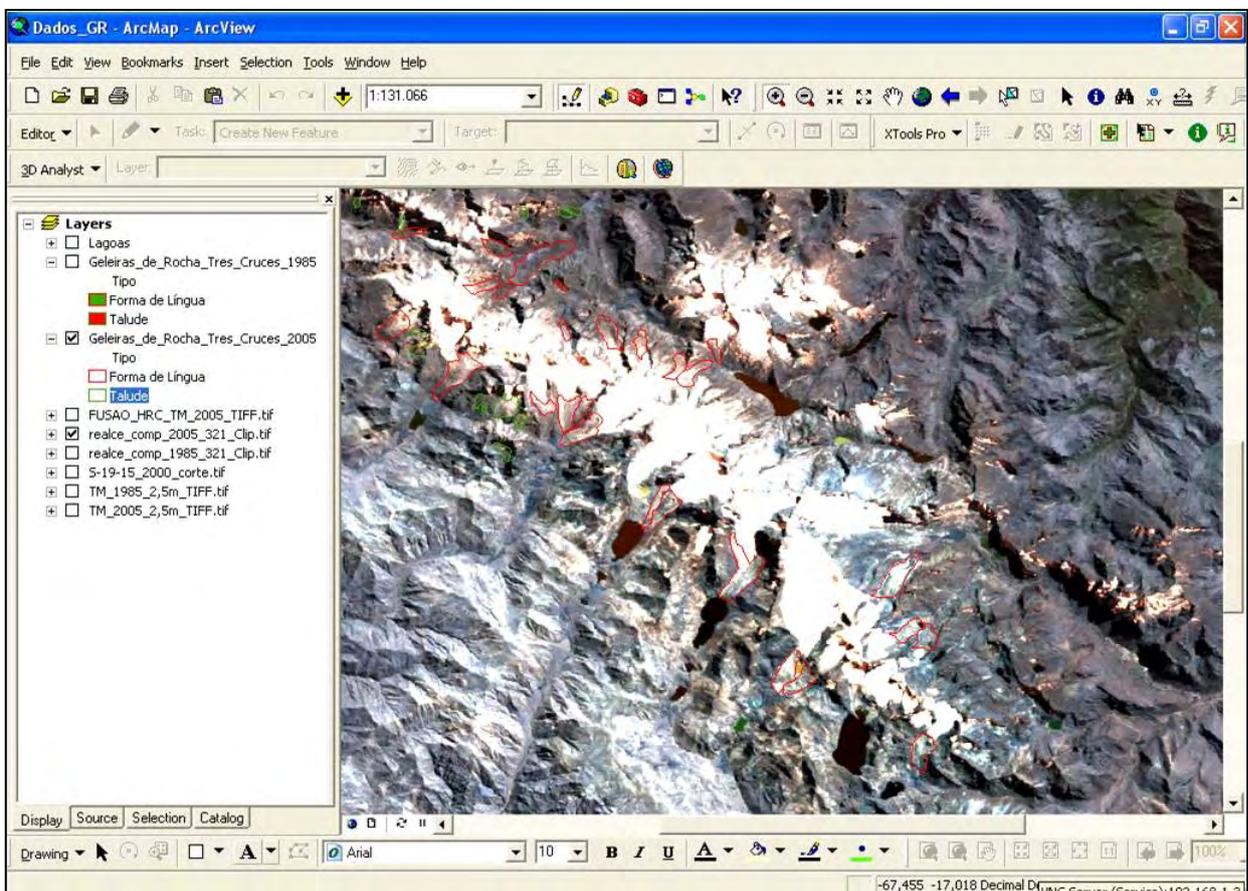


Figura 12 – Vetorização das geleiras de rocha na área de estudo

3.2.3.2 Área das geleiras de rocha

Após vetorizar as feições identificadas nas imagens dos anos considerados, foi realizado o cálculo das áreas individuais das geleiras de rocha, com o objetivo de identificar se houve crescimento, redução ou se não ocorreu variação das áreas durante o período de 20 anos. Esse procedimento foi realizado no ArcMap da seguinte forma:

- Na barra de ferramentas *Xtools Pro* em *Table Operations>Calculate Area*: foi selecionado o arquivo contendo os polígonos vetorizados no procedimento anterior e a unidade de medida da área (m²).

3.2.3.3 Classificação morfológica das geleiras de rocha

Após a identificação das geleiras de rocha da área de estudo, iniciou-se a classificação das mesmas quanto à morfologia, agrupando-as segundo três tipos: fundo de vale, de talude ou fóssil. Esta classificação adotada foi baseada nos estudos realizados no semiárido chileno por Soto *et al.* (2004). E foi realizado primeiramente pelo aspecto visual das feições e posteriormente confirmou-se através do modelo tridimensional da área de estudo, elaborado anteriormente.

As geleiras de rocha do tipo fundo de vale comumente caracterizam-se pela localização entre vertentes em seções superiores de um vale. Sua feição visual normalmente é em forma de língua, ou seja, apresenta na parte a montante uma largura superior em comparação com a extremidade a jusante. Além disso, é comum apresentar ao longo de seu “corpo” sulcos e cordões longitudinais de detritos rochosos. A gênese das geleiras de rocha de fundo de vale é glacial, uma vez que inicialmente o aporte de gelo contido na estrutura está associado às geleiras de gelo do seu entorno. Na Figura 13 são demonstrados alguns exemplos identificados deste tipo morfológico.

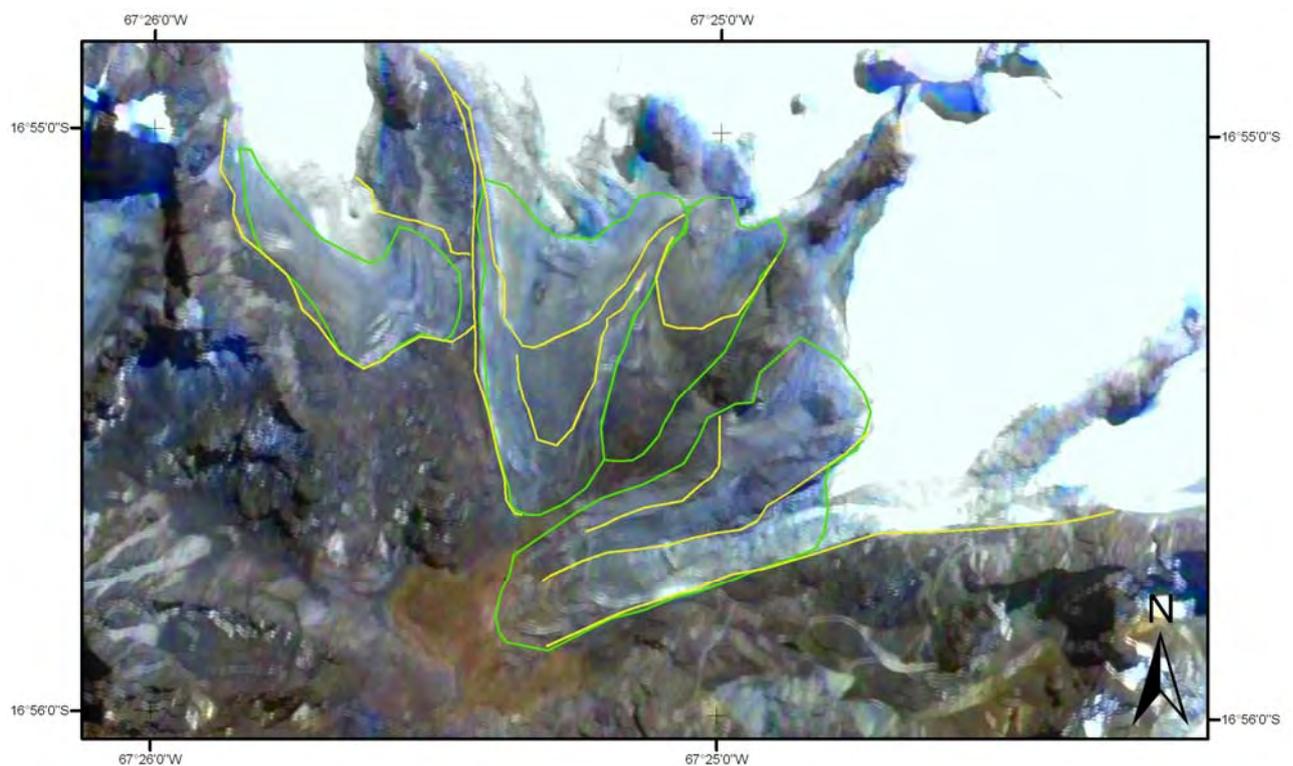


Figura 13 – Exemplos de geleiras de rocha do tipo “Fundo de vale” e morainas (em amarelo) identificadas na cordilheira Tres Cruces

Já as geleiras de rocha de talude, localizam-se preferencialmente em seções inferiores das encostas de uma vertente, apresentam uma posição perpendicular em relação ao eixo do vale. Quanto à gênese das geleiras de rocha de talude, são consideradas integrantes de um sistema periglacial e, portanto, apresentam pouca ou nenhuma ocorrência de gelo superficial, sendo mais comum a acumulação apenas de neve sazonal em sua superfície. Na Figura 14 são demonstradas algumas geleiras de rocha de talude identificadas na área de estudo

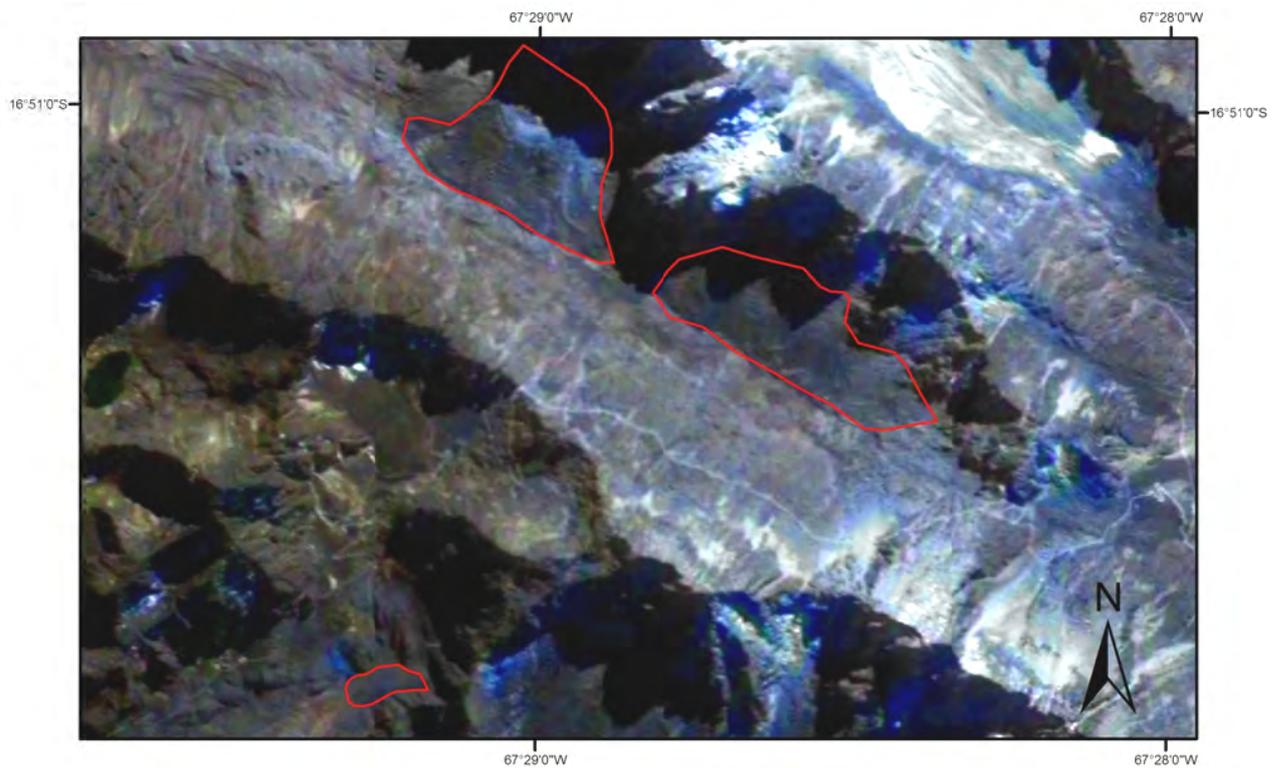


Figura 14 – Exemplos de geleiras de rocha do tipo “Talude” identificadas na cordilheira Tres Cruces

Quanto às geleiras de rocha do tipo fóssil, normalmente estão localizadas em cotas altimétricas mais inferiores em relação às outras tipologias. E caracterizam pela ausência de deslocamento e de gelo intersticial, além de ser comum à presença de uma vegetação rasteira superficial. Outro fator utilizado na identificação desta tipologia morfológica é a declividade menos acentuada na comparação com os demais tipos de geleiras de rocha denominadas ativas. Na Figura 15 é apresentado um exemplo de geleira de rocha do tipo fóssil.

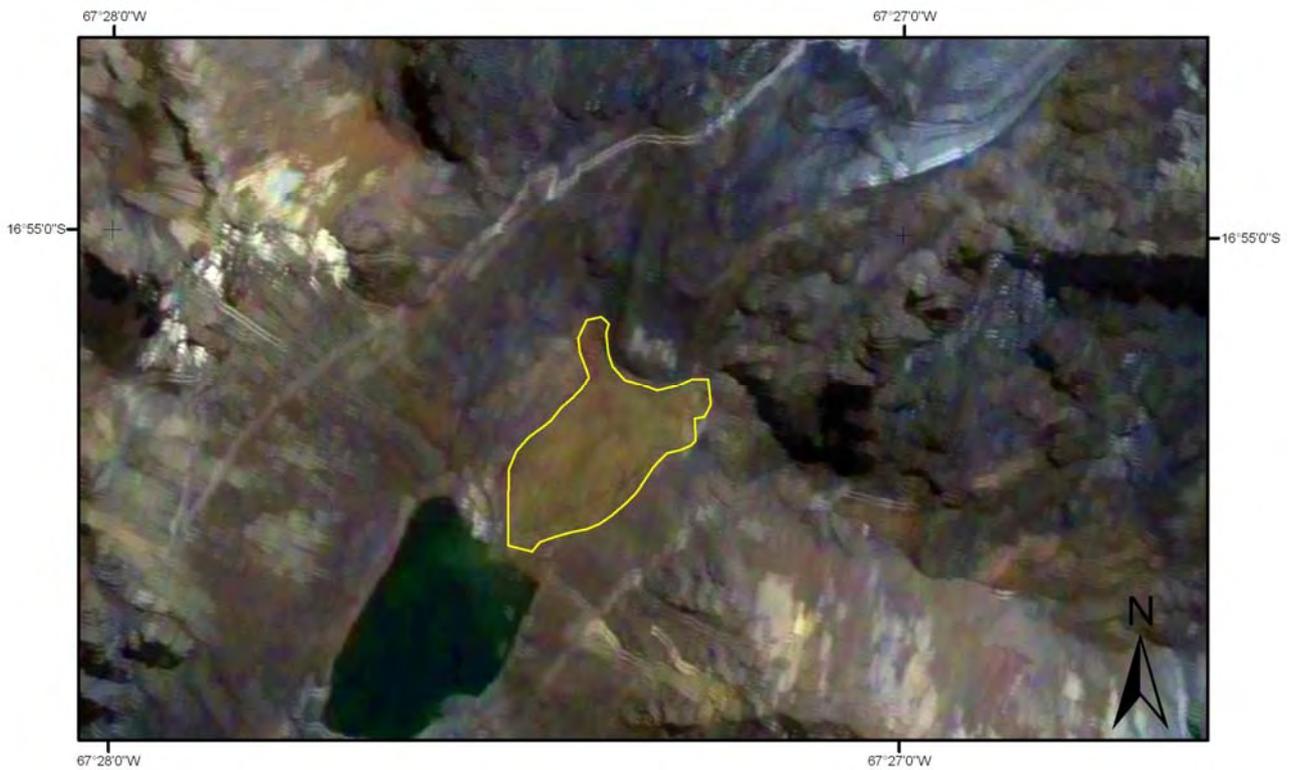


Figura 15 – Exemplo de geleira de rocha do tipo “Fóssil” identificada na cordilheira Tres Cruces

3.2.3.4 Análise estatística dos dados morfométricos

De acordo com os dados extraídos, foram considerados nove diferentes parâmetros que podem influenciar a distribuição das geleiras de rocha: latitude, longitude, elevação máxima, elevação mínima, elevação média, relevo (diferença entre elevação máxima e elevação mínima), orientação e declividade da geleira

Dentre os parâmetros correlacionados, apenas latitude e longitude não apresentam características morfométricas, mas foram inseridos para auxiliar na análise da distribuição espacial das geleiras de rocha.

A Correlação de Pearson (medida do grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas) foi utilizada para verificar a dependência entre esses parâmetros e foram considerados somente os índices de correlação com valores absolutos $\geq 0,4$, sendo as correlações significativas aquelas que apresentaram índices $\geq 0,7$ e relativamente significativas as correlações com índices entre 0,4 e 0,7.

Foram analisadas as categorias morfológicas de acordo com o número representativo de geleiras de rocha de cada uma: (i) geleiras de rocha de fundo de vale e, (ii) geleiras de rocha de talude. As geleiras de rocha fóssil não foram analisadas devido a sua pouca representatividade

Os dados foram analisados e representados graficamente com os *softwares* Excel, Statistica e Grapher.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No capítulo que segue serão apresentadas as informações obtidas a partir da identificação das geleiras de rocha identificadas na cordilheira Tres Cruces. Tais como, a variação das dimensões das geleiras de rocha entre 1985 a 2005, a classificação morfológica destas feições e a análise de correlação entre os dados morfométricos.

4.1 GELEIRAS DE ROCHA DA CORDILHEIRA TRES CRUCES

A identificação e a delimitação das feições consideradas como geleiras de rocha, ocorreram a partir da análise das imagens de satélite. Ao todo foram identificadas na área de estudo 64 feições consideradas como geleiras de rocha, sendo que no ano de 1985 a soma das áreas das mesmas era de aproximadamente 12,3 km², e em 2005 observou-se um acréscimo na soma das áreas de aproximadamente 11% (Quadro 5). Na Figura 16 demonstra-se a espacialização e a variação das dimensões das geleiras de rocha identificadas na área de estudo em 1985 e 2005.

Com relação à área ocupada, as geleiras de fundo de vale correspondiam, em 1985, a 10,01 km² (81,5% das áreas totais) e em 2005, a 11,5 km² (82,5% das áreas totais). As geleiras de talude, em 1985 somavam 1,92 km² (15,6% das áreas totais) e em 2005, 2,07 km² (15% das áreas totais). As geleiras fósil diminuíram em área, de 0,36 km² (2,9% das áreas totais), em 1985 para 0,35 km² (2,5% das áreas totais) em 2005.

Quadro 5 – Variação das áreas das geleiras de rocha entre 1985 e 2005

Cód. Identificação	Morfologia	Área 1985 (m ²)	Área 2005 (m ²)	Variação da área (m ²)	Variação da área (%)
GR-01	Fundo de Vale	324.429,1	467.311,8	142.882,8	31%
GR-02	Fundo de Vale	336.954,3	476.949,5	139.995,2	29%
GR-03	Fundo de Vale	413.090,3	464.955,6	51.865,3	11%
GR-04	Fundo de Vale	328.721,3	330.949,9	2.228,6	1%
GR-05	Fundo de Vale	382.026,1	460.217,5	78.191,4	17%
GR-06	Fundo de Vale	542.472,7	891.469,1	348.996,4	39%
GR-07	Fundo de Vale	311.703,6	454.195,9	142.492,2	31%
GR-08	Fundo de Vale	190.360,7	241.542,7	51.182,0	21%
GR-09	Fundo de Vale	392.634,6	506.810,4	114.175,8	23%
GR-10	Fundo de Vale	192.575,7	220.652,4	28.076,8	13%
GR-11	Fundo de Vale	388.620,3	405.437,3	16.817,0	4%
GR-12	Fundo de Vale	207.718,4	191.579,0	(16.139,4)	-8%
GR-13	Talude	56.714,8	94.065,6	37.350,8	40%

Cód. Identificação	Morfologia	Área 1985 (m²)	Área 2005 (m²)	Variação da área (m²)	Variação da área (%)
GR-14	Talude	120.767,7	124.935,7	4.168,0	3%
GR-15	Talude	230.986,6	334.303,7	103.317,2	31%
GR-16	Talude	20.057,9	20.057,9	0,0	0%
GR-17	Talude	82.768,9	82.768,9	0,0	0%
GR-18	Fundo de Vale	636.354,0	708.535,5	72.181,5	10%
GR-19	Talude	34.994,5	131.913,3	96.918,8	73%
GR-20	Talude	62.307,9	63.849,5	1.541,7	2%
GR-21	Fundo de Vale	205.187,2	451.427,7	246.240,4	55%
GR-22	Fundo de Vale	159.671,9	165.133,6	5.461,6	3%
GR-23	Talude	52.793,4	52.793,4	0,0	0%
GR-24	Talude	37.715,6	37.715,6	0,0	0%
GR-25	Talude	16.295,2	16.295,2	0,0	0%
GR-26	Talude	186.627,2	186.627,2	0,0	0%
GR-27	Talude	196.232,4	196.232,4	0,0	0%
GR-28	Talude	221.086,3	275.922,8	54.836,5	20%
GR-29	Fundo de Vale	112.690,8	101.292,1	(11.398,7)	-11%
GR-30	Talude	56.778,0	59.024,1	2.246,0	4%
GR-31	Fundo de Vale	295.851,7	345.323,8	49.472,1	14%
GR-32	Fundo de Vale	26.181,2	28.338,0	2.156,9	8%
GR-33	Fundo de Vale	38.167,8	41.807,6	3.639,7	9%
GR-34	Talude	6.685,8	11.801,6	5.115,8	43%
GR-35	Talude	20.014,7	25.061,7	5.047,0	20%
GR-36	Talude	15.086,3	15.086,3	0,0	0%
GR-37	Talude	121.478,8	45.401,2	(76.077,6)	-168%
GR-38	Talude	86.408,5	27.592,5	(58.816,0)	-213%
GR-39	Fundo de Vale	153.826,4	206.633,4	52.807,0	26%
GR-40	Fundo de Vale	42.032,9	20.754,7	(21.278,2)	-103%
GR-41	Talude	29.396,6	23.690,6	(5.706,0)	-24%
GR-42	Talude	72.663,2	72.075,4	(587,9)	-1%
GR-43	Talude	41.093,3	29.826,4	(11.266,9)	-38%
GR-44	Fundo de Vale	280.699,4	158.183,9	(122.515,5)	-77%
GR-45	Fundo de Vale	260.765,9	241.060,6	(19.705,2)	-8%
GR-46	Fundo de Vale	392.201,3	248.513,0	(143.688,3)	-58%
GR-47	Fundo de Vale	865.477,8	896.987,1	31.509,4	4%
GR-48	Talude	59.203,6	43.700,4	(15.503,1)	-35%
GR-49	Talude	47.937,1	50.651,6	2.714,4	5%
GR-50	Talude	43.579,6	52.070,7	8.491,2	16%
GR-51	Fundo de Vale	55.082,0	41.023,8	(14.058,2)	-34%
GR-52	Fundo de Vale	89.399,2	100.119,8	10.720,6	11%
GR-53	Fundo de Vale	280.309,1	395.091,7	114.782,6	29%
GR-54	Fundo de Vale	141.377,5	201.378,6	60.001,1	30%
GR-55	Fundo de Vale	187.130,6	229.467,0	42.336,4	18%
GR-56	Fundo de Vale	148.691,1	320.503,8	171.812,7	54%
GR-57	Fundo de Vale	117.289,3	145.369,5	28.080,2	19%
GR-58	Fundo de Vale	683.097,6	672.518,8	(10.578,8)	-2%
GR-59	Fundo de Vale	418.301,3	308.860,3	(109.440,9)	-35%
GR-60	Fundo de Vale	411.750,2	312.279,7	(99.470,5)	-32%
GR-61	Fóssil	171.715,99	167.701,01	(4.015,0)	-2%
GR-62	Fóssil	119.301,47	114.020,82	(5.280,6)	-5%
GR-63	Fóssil	35.889,84	40.463,99	4.574,1	11%
GR-64	Fóssil	28.884,46	29.334,00	449,5	2%
TOTAL		12.288.308,8	13.877.658,9	1.589.350,0	11%

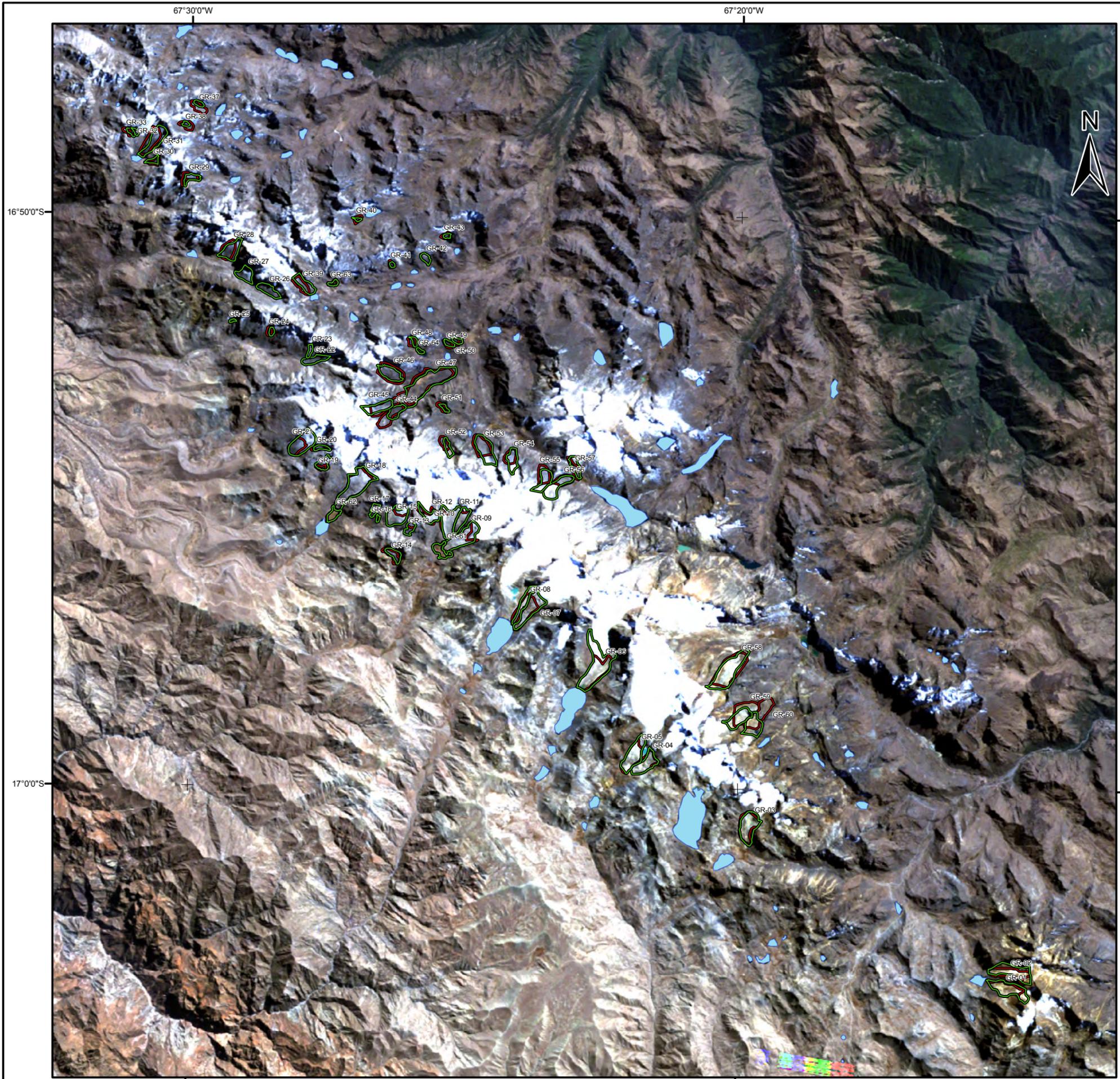


Figura 16 – Mapa de localização das geleiras de rocha em 1985 e 2005



Legenda

-  Geleiras de Rochas em 1985
-  Geleiras de Rochas em 2005
-  Laguna proglacial

Cód. Id.	Morfologia	Área (m ²) em 1985	Área (m ²) em 2005	Cód. Id.	Morfologia	Área (m ²) em 1985	Área (m ²) em 2005
GR-01	Fundo de Vale	324.429,1	467.311,8	GR-33	Fundo de Vale	38.167,8	41.807,6
GR-02	Fundo de Vale	336.954,3	476.949,5	GR-34	Talude	6.685,8	11.801,6
GR-03	Fundo de Vale	413.090,3	464.955,6	GR-35	Talude	20.014,7	25.061,7
GR-04	Fundo de Vale	328.721,3	330.949,9	GR-36	Talude	15.086,3	15.086,3
GR-05	Fundo de Vale	382.026,1	460.217,5	GR-37	Talude	121.478,8	45.401,2
GR-06	Fundo de Vale	542.472,7	891.469,1	GR-38	Talude	86.408,5	27.592,5
GR-07	Fundo de Vale	311.703,6	454.195,9	GR-39	Fundo de Vale	153.826,4	206.633,4
GR-08	Fundo de Vale	190.360,7	241.542,7	GR-40	Fundo de Vale	42.032,9	20.754,7
GR-09	Fundo de Vale	392.634,6	506.810,4	GR-41	Talude	29.396,6	23.690,6
GR-10	Fundo de Vale	192.575,7	220.652,4	GR-42	Talude	72.663,2	72.075,4
GR-11	Fundo de Vale	388.620,3	405.437,3	GR-43	Talude	41.093,3	29.826,4
GR-12	Fundo de Vale	207.718,4	191.579,0	GR-44	Fundo de Vale	280.699,4	158.183,9
GR-13	Talude	56.714,8	94.065,6	GR-45	Fundo de Vale	260.765,9	241.060,6
GR-14	Talude	120.767,7	124.935,7	GR-46	Fundo de Vale	392.201,3	248.513,0
GR-15	Talude	230.986,6	334.303,7	GR-47	Fundo de Vale	865.477,8	896.987,1
GR-16	Talude	20.057,9	20.057,9	GR-48	Talude	59.203,6	43.700,4
GR-17	Talude	82.768,9	82.768,9	GR-49	Talude	47.937,1	50.651,6
GR-18	Fundo de Vale	636.354,0	708.535,5	GR-50	Talude	43.579,6	52.070,7
GR-19	Talude	34.994,5	131.913,3	GR-51	Fundo de Vale	55.082,0	41.023,8
GR-20	Talude	62.307,9	63.849,5	GR-52	Fundo de Vale	89.399,2	100.119,8
GR-21	Fundo de Vale	205.187,2	451.427,7	GR-53	Fundo de Vale	280.309,1	395.091,7
GR-22	Fundo de Vale	159.671,9	165.133,6	GR-54	Fundo de Vale	141.377,5	201.378,6
GR-23	Talude	52.793,4	52.793,4	GR-55	Fundo de Vale	187.130,6	229.467,0
GR-24	Talude	37.715,6	37.715,6	GR-56	Fundo de Vale	148.691,1	320.503,8
GR-25	Talude	16.295,2	16.295,2	GR-57	Fundo de Vale	117.289,3	145.369,5
GR-26	Talude	186.627,2	186.627,2	GR-58	Fundo de Vale	683.097,6	672.518,8
GR-27	Talude	196.232,4	196.232,4	GR-59	Fundo de Vale	418.301,3	308.860,3
GR-28	Talude	221.086,3	275.922,8	GR-60	Fundo de Vale	411.750,2	312.279,7
GR-29	Fundo de Vale	112.690,8	101.292,1	GR-61	Fóssil	171.715,99	167.701,01
GR-30	Talude	56.778,0	59.024,1	GR-62	Fóssil	119.301,47	114.020,82
GR-31	Fundo de Vale	295.851,7	345.323,8	GR-63	Fóssil	35.889,84	40.463,99
GR-32	Fundo de Vale	26.181,2	28.338,0	GR-64	Fóssil	28.884,46	29.334,00

Informações Cartográficas

Sistema de Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Meridiano Central: -69°
 Datum: WGS 1984
 Escala 1:128.534



4.2 CLASSIFICAÇÃO MORFOLÓGICA DAS GELEIRAS DE ROCHA

Quanto à classificação morfológica, verifica-se que 55% das feições identificadas possuem a morfologia do tipo “Fundo de vale”; 25% do tipo “Talude” e os restantes 6% do tipo “Fóssil” (Figura 17). Na sequência são apresentados o mapa da classificação morfológica das geleiras de rocha (Figura 18) e alguns exemplos destas feições no modelo tridimensional da área de estudo (Figura 19).

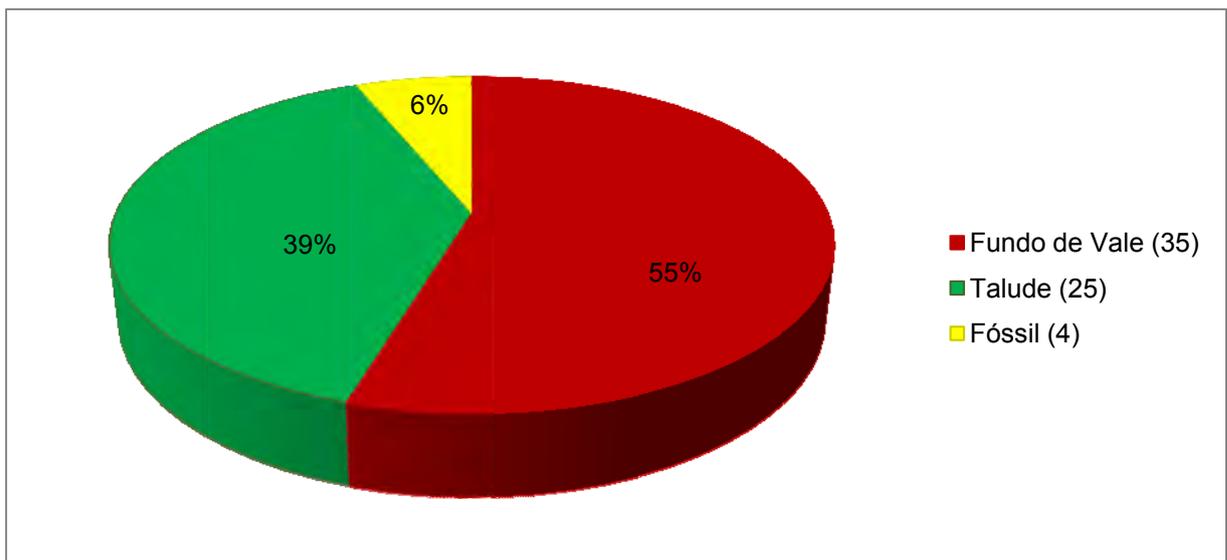


Figura 17 – Morfologia das geleiras de rocha

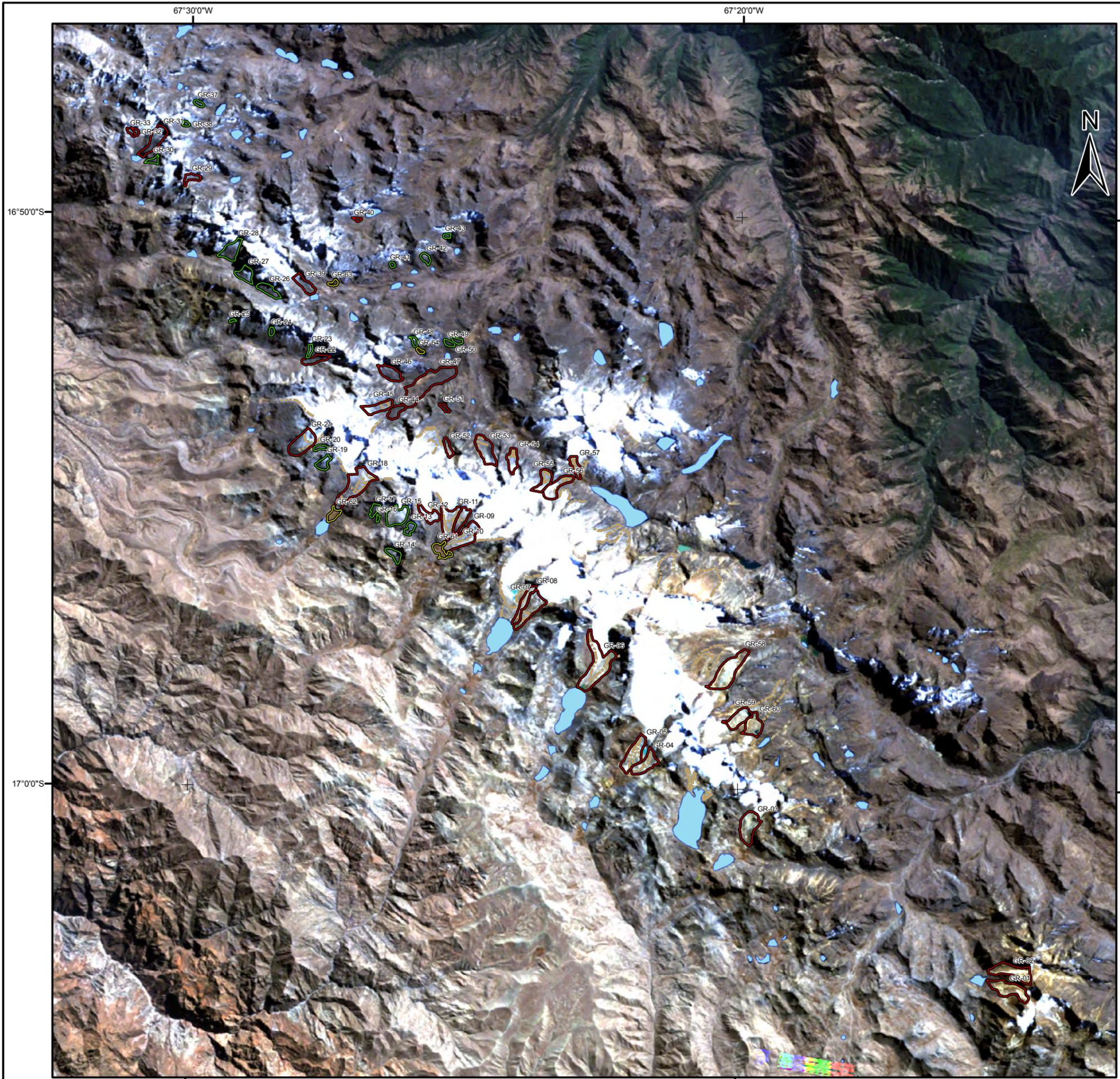
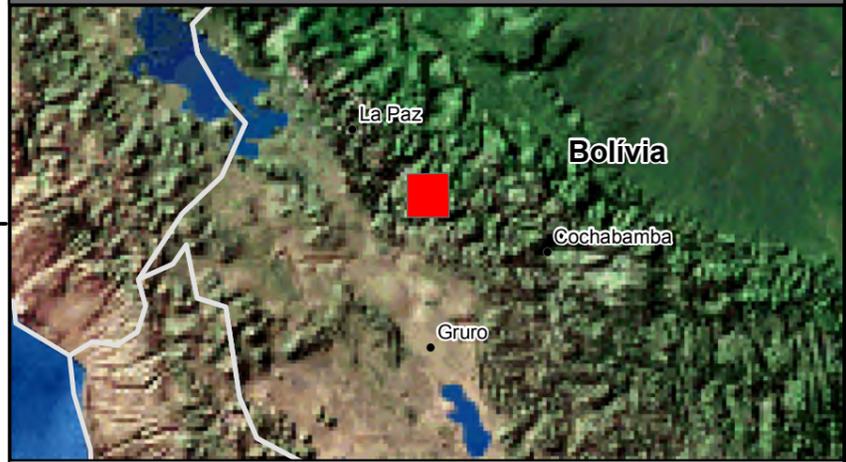


Figura 18 – Mapa da classificação morfológica das geleiras de rocha

Localização da Área de estudo



Legenda

- Laguna proglacial
- Morainas
- Morfologia das Geleiras de Rocha**
- Fundo de vale
- Fóssil
- Talude

Cód. Id.	Morfologia	Área (m ²) em 2005
GR-01	Fundo de Vale	467.311,8
GR-02	Fundo de Vale	476.949,5
GR-03	Fundo de Vale	464.955,6
GR-04	Fundo de Vale	330.949,9
GR-05	Fundo de Vale	460.217,5
GR-06	Fundo de Vale	891.469,1
GR-07	Fundo de Vale	454.195,9
GR-08	Fundo de Vale	241.542,7
GR-09	Fundo de Vale	506.810,4
GR-10	Fundo de Vale	220.652,4
GR-11	Fundo de Vale	405.437,3
GR-12	Fundo de Vale	191.579,0
GR-13	Talude	94.065,6
GR-14	Talude	124.935,7
GR-15	Talude	334.303,7
GR-16	Talude	20.057,9
GR-17	Talude	82.768,9
GR-18	Fundo de Vale	708.535,5
GR-19	Talude	131.913,3
GR-20	Talude	63.849,5
GR-21	Fundo de Vale	451.427,7
GR-22	Fundo de Vale	165.133,6
GR-23	Talude	52.793,4
GR-24	Talude	37.715,6
GR-25	Talude	16.295,2
GR-26	Talude	186.627,2
GR-27	Talude	196.232,4
GR-28	Talude	275.922,8
GR-29	Fundo de Vale	101.292,1
GR-30	Talude	59.024,1
GR-31	Fundo de Vale	345.323,8
GR-32	Fundo de Vale	28.338,0

Cód. Id.	Morfologia	Área (m ²) em 2005
GR-33	Fundo de Vale	41.807,6
GR-34	Talude	11.801,6
GR-35	Talude	25.061,7
GR-36	Talude	15.086,3
GR-37	Talude	45.401,2
GR-38	Talude	27.592,5
GR-39	Fundo de Vale	206.633,4
GR-40	Fundo de Vale	20.754,7
GR-41	Talude	23.690,6
GR-42	Talude	72.075,4
GR-43	Talude	29.826,4
GR-44	Fundo de Vale	158.183,9
GR-45	Fundo de Vale	241.060,6
GR-46	Fundo de Vale	248.513,0
GR-47	Fundo de Vale	896.987,1
GR-48	Talude	43.700,4
GR-49	Talude	50.651,6
GR-50	Talude	52.070,7
GR-51	Fundo de Vale	41.023,8
GR-52	Fundo de Vale	100.119,8
GR-53	Fundo de Vale	395.091,7
GR-54	Fundo de Vale	201.378,6
GR-55	Fundo de Vale	229.467,0
GR-56	Fundo de Vale	320.503,8
GR-57	Fundo de Vale	145.369,5
GR-58	Fundo de Vale	672.518,8
GR-59	Fundo de Vale	308.860,3
GR-60	Fundo de Vale	312.279,7
GR-61	Fóssil	167.701,01
GR-62	Fóssil	114.020,82
GR-63	Fóssil	40.463,99
GR-64	Fóssil	29.334,00

Informações Cartográficas

Sistema de Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Meridiano Central: -69°
 Datum: WGS 1984
 Escala 1:128.534



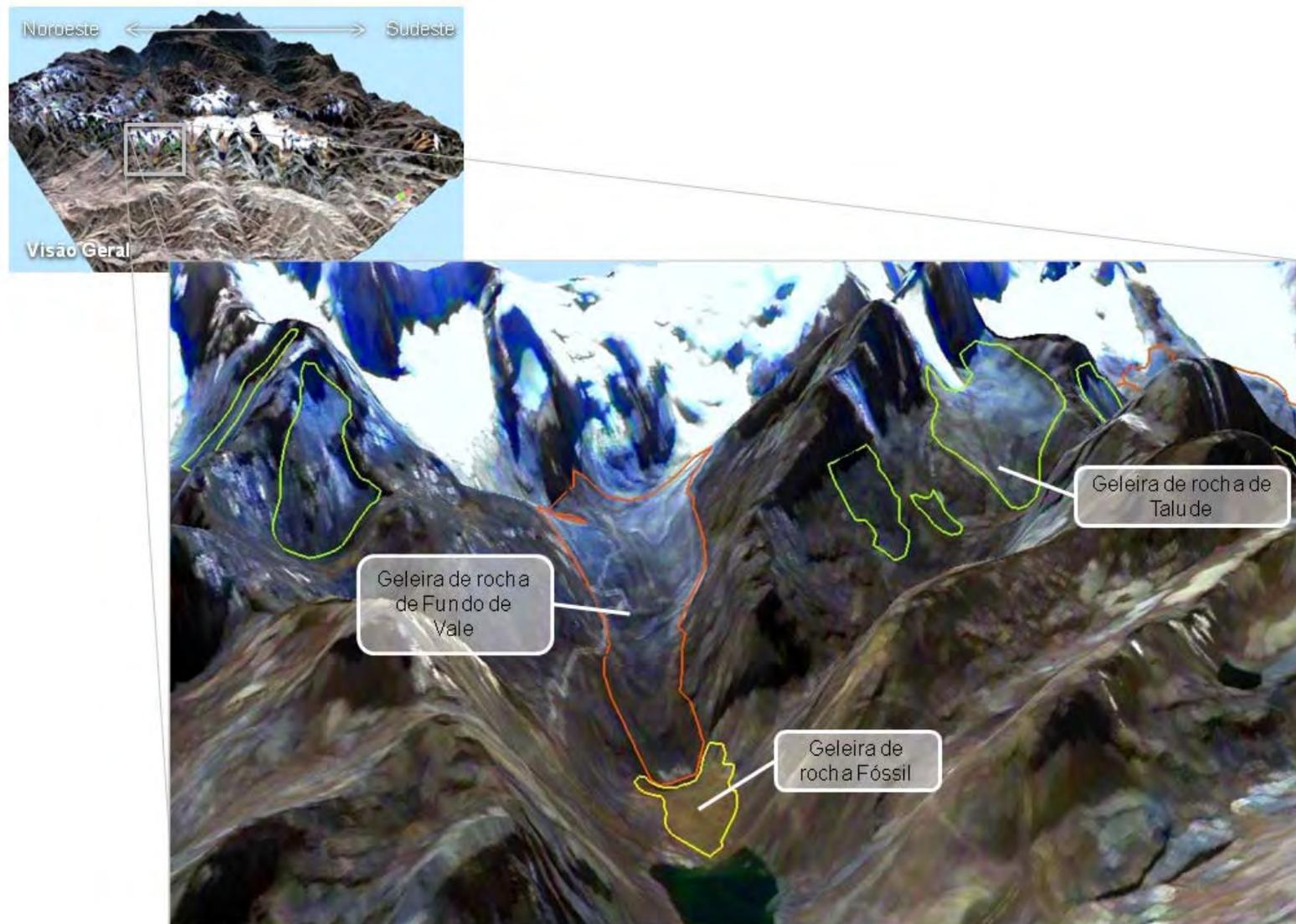


Figura 19 – Exemplos de localização de geleiras de rocha no modelo tridimensional da área de estudo

4.2.1 Altitude

As altitudes das geleiras de rocha foram agrupadas conforme a classificação morfológica, com vistas a obter uma caracterização altimétrica para os tipos morfológicos.

As geleiras de rocha do tipo “Fundo de vale” possuem altitudes que variam de 4.470 m a 5.310 m, sendo a altitude geral média de 4.922,70 m (Figura 20). As do tipo “Talude” possuem altitudes mínimas e máximas de 4.080 m e 5.280 m respectivamente, e a altitude geral média de 4.728,90 m (Figura 21). Por último, as altitudes do tipo “Fóssil” variam de 4.530 m a 4.800 m, e a altitude média 4.641,8 m (Figura 22). Na Figura 23 é demonstrada a comparação das altitudes entre os tipos morfológicos e na Figura 24 o mapa altimétrico da área de estudo.

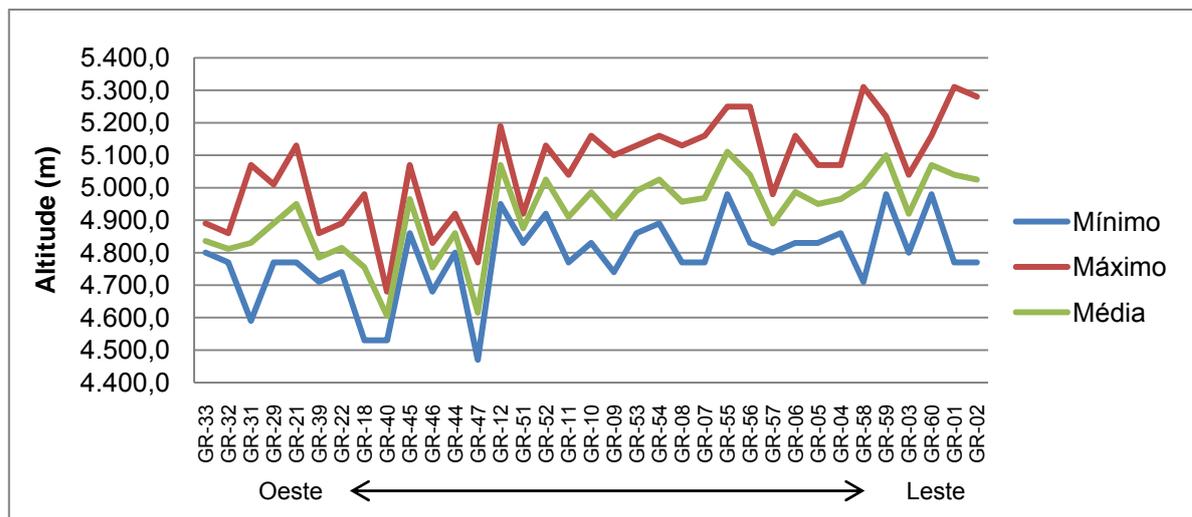


Figura 20 – Altitudes das geleiras de rocha do tipo “Fundo de vale”

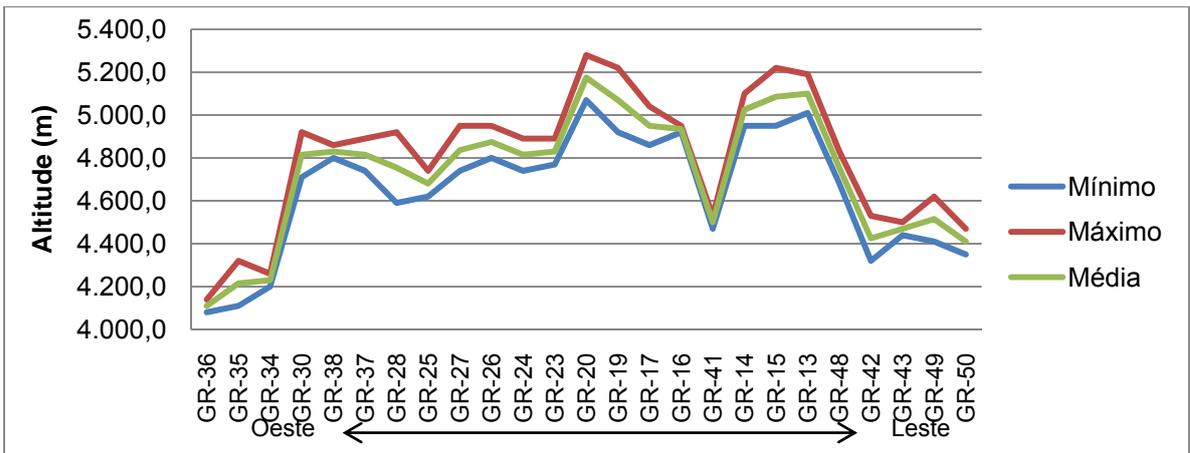


Figura 21 – Altitudes das geleiras de rocha do tipo “Talude”

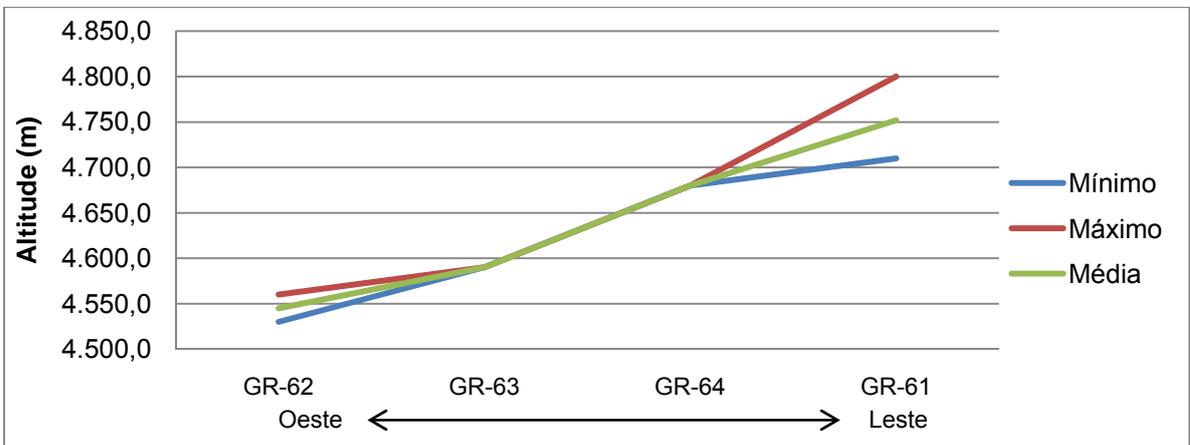


Figura 22 – Altitudes das geleiras de rocha do tipo “Fóssil”

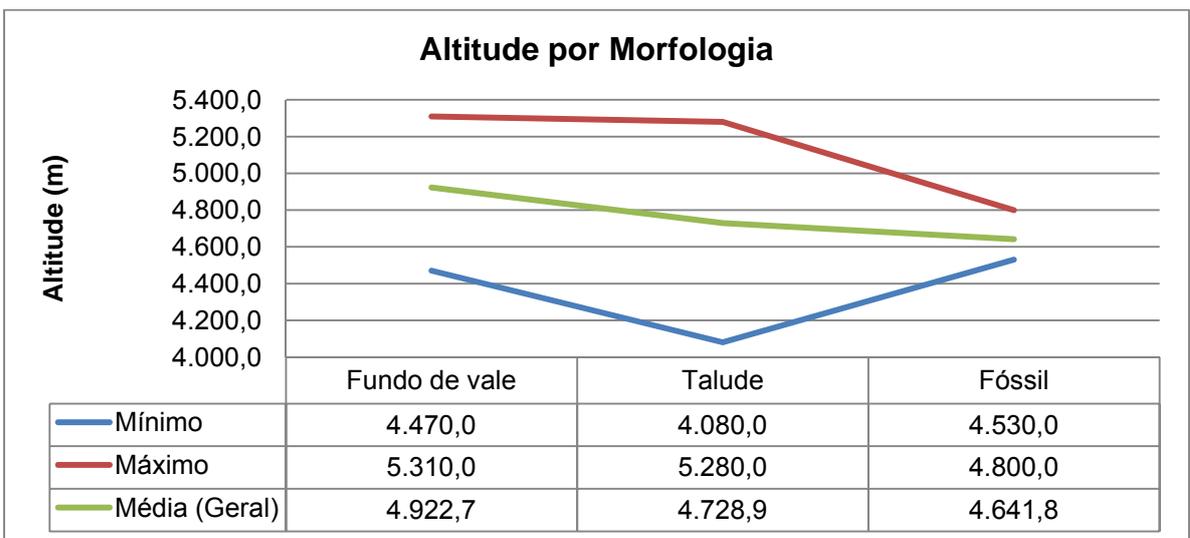


Figura 23 – Comparação das altitudes das geleiras de rocha por tipo morfológico

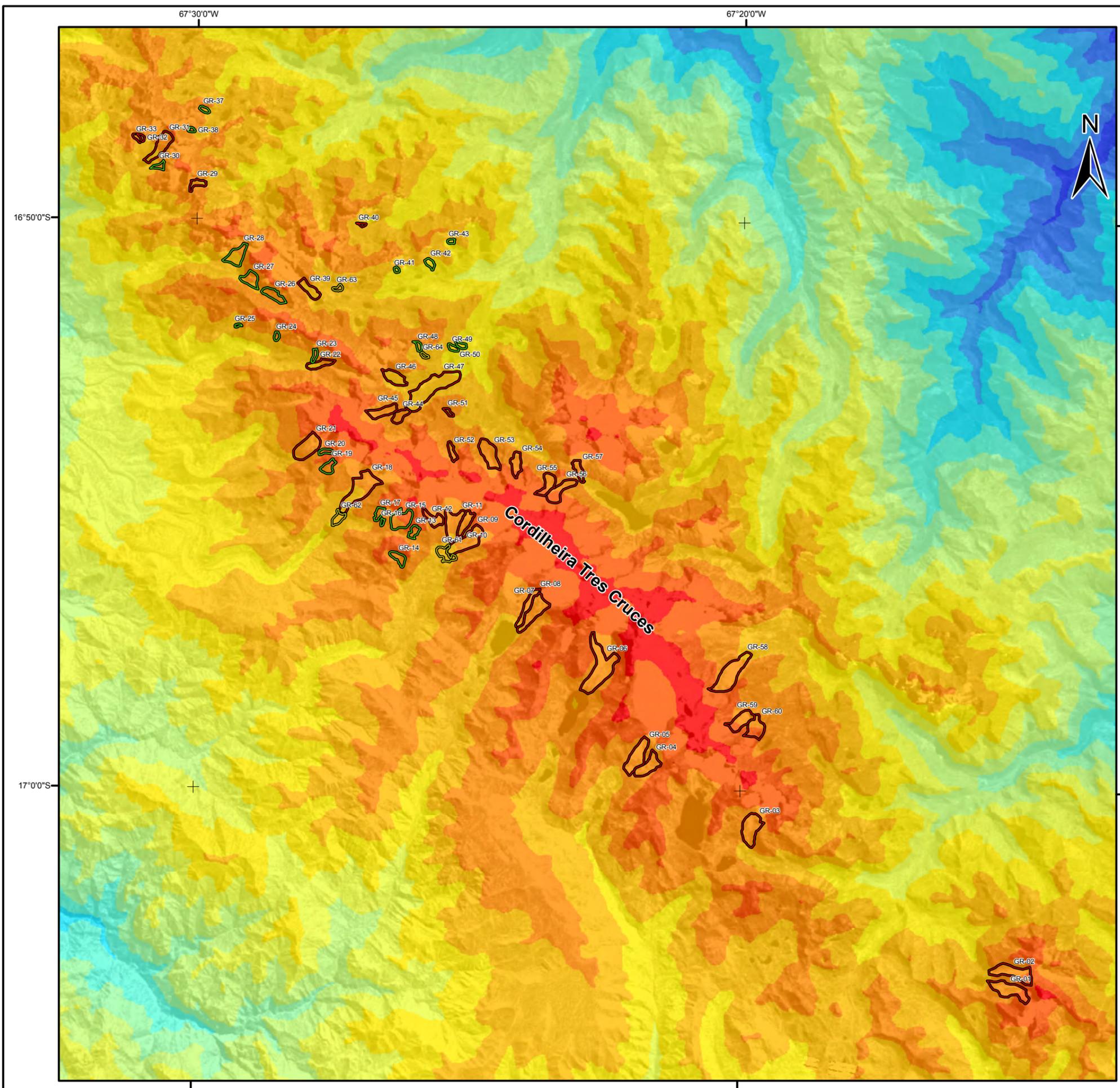
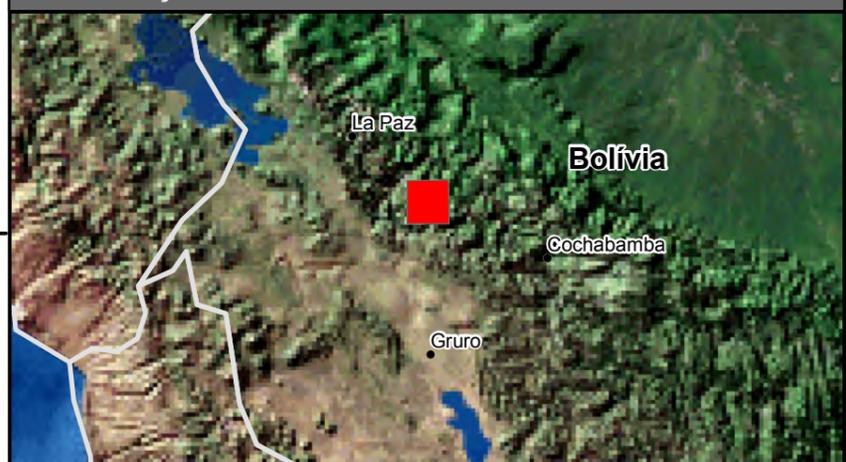


Figura 24 – Mapa Altimétrico da cordilheira Tres Cruces

Localização da Área de estudo

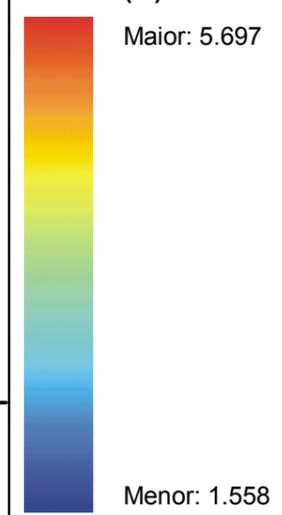


Legenda

Morfologia das Geleiras de Rocha

-  Fundo de vale
-  Fóssil
-  Talude

Altitude (m)



Informações Cartográficas

Sistema de Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Meridiano Central: -69°
 Datum: WGS 1984



4.2.2 Declividade

As declividades das geleiras de rocha do tipo “Fundo de vale” variam de 6° a 60° e a média geral da declividade desta tipologia morfológica é de 26° (Figura 25). As do tipo “Talude”, variam de 11° a 55° e a média geral é de 32°(Figura 26). E as do tipo “Fóssil” possuem declividades que variam de 7° a 33°, com média geral de 20° (Figura 27). Na Figura 28 é demonstrada a comparação das declividades entre os tipos morfológicos.

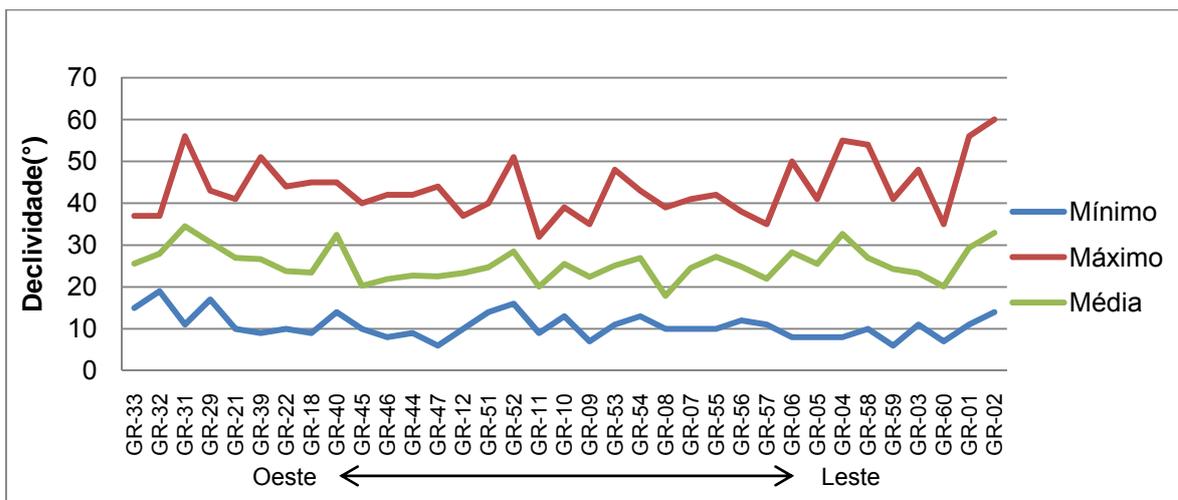


Figura 25 – Declividades das geleiras de rocha do tipo “Fundo de vale”

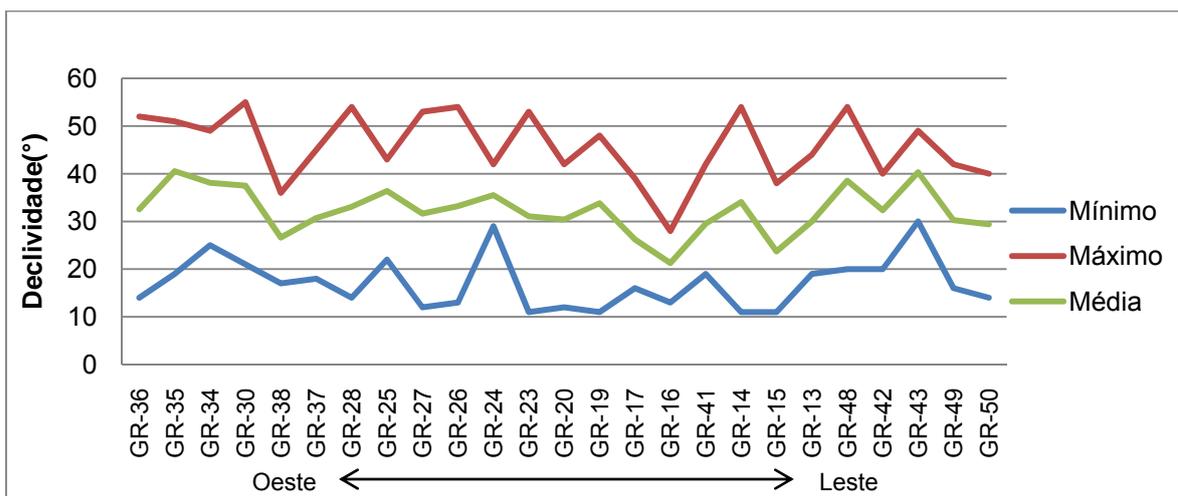


Figura 26 – Declividades das geleiras de rocha do tipo “Talude”

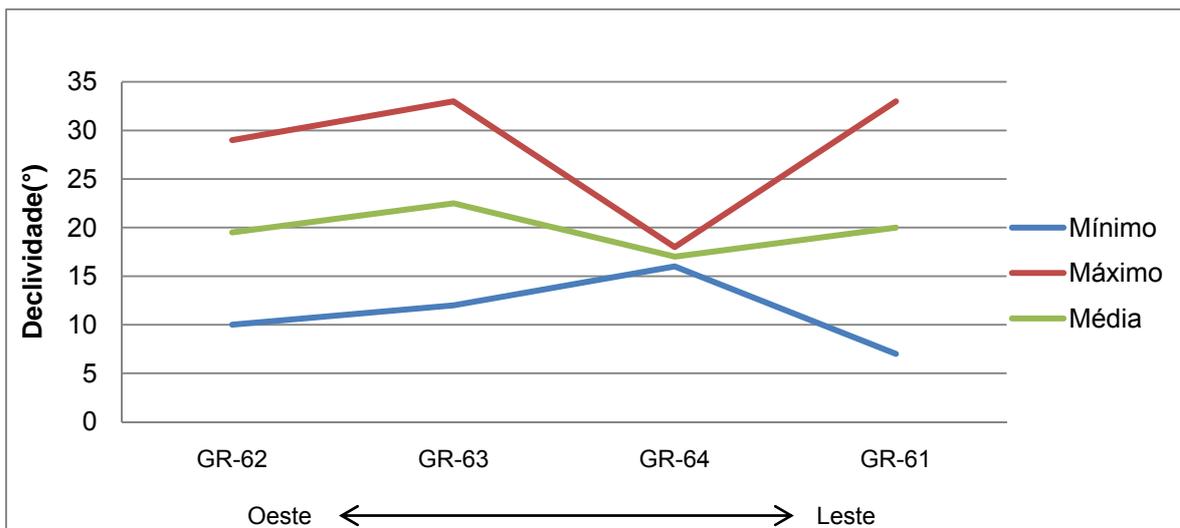


Figura 27 – Declividades das geleiras de rocha do tipo “Fóssil”

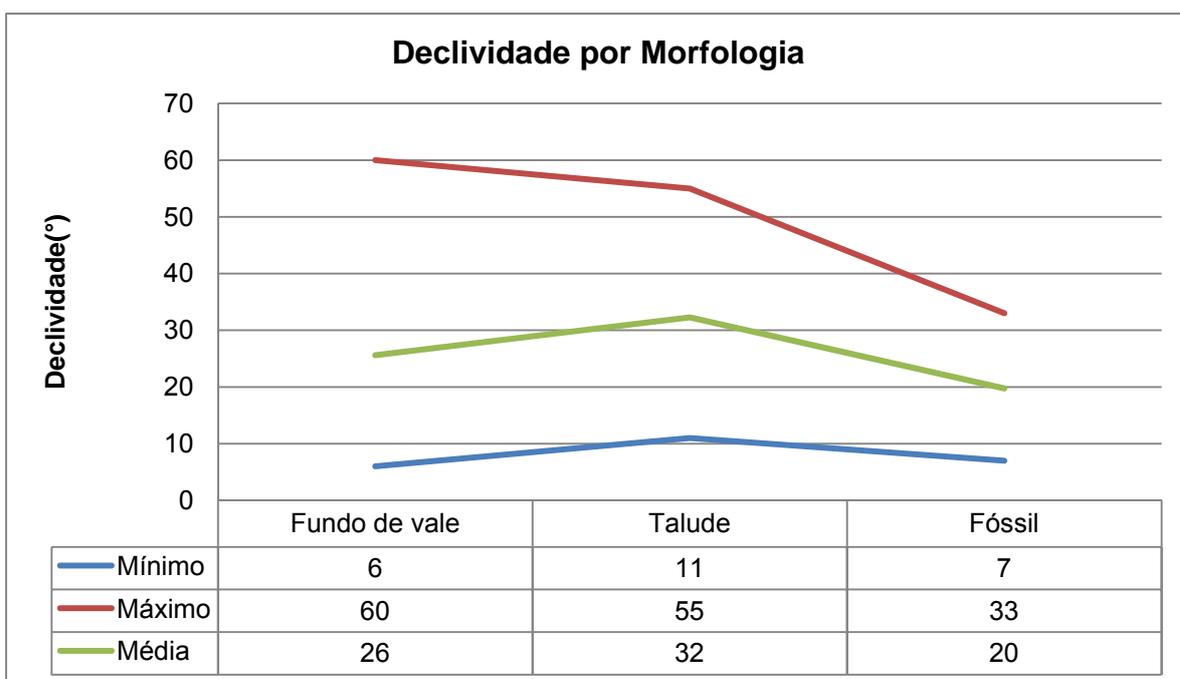


Figura 28 – Comparação das declividades das geleiras de rocha por tipo morfológico

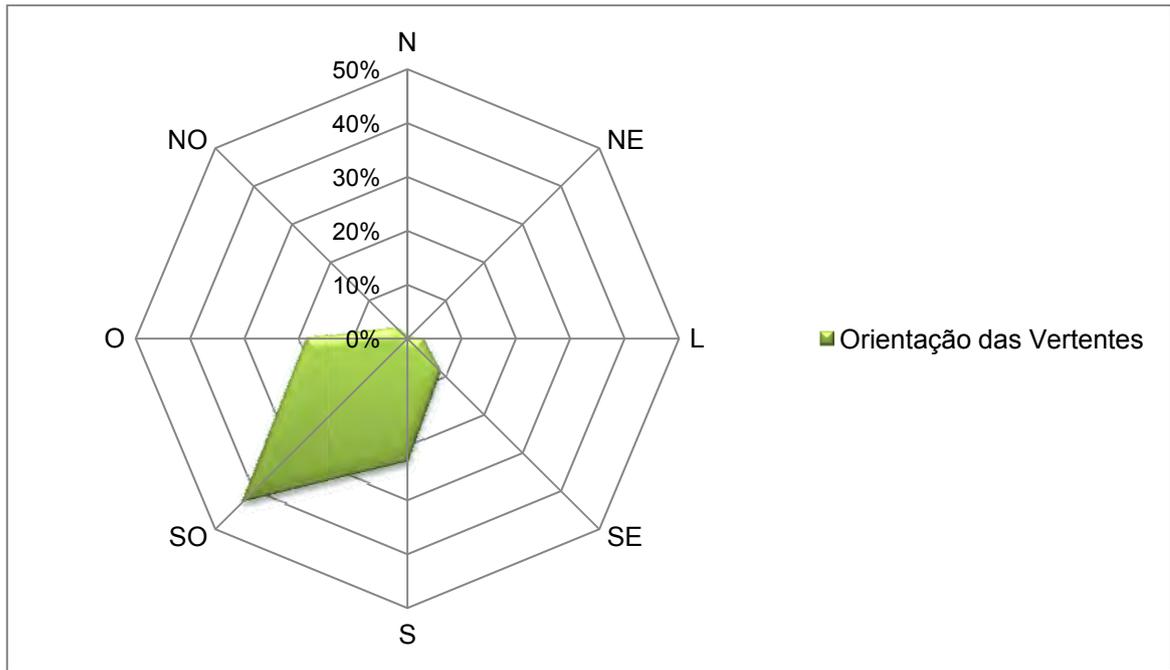


Figura 30 – Orientação das vertentes das geleiras de rocha tipo “Talude”

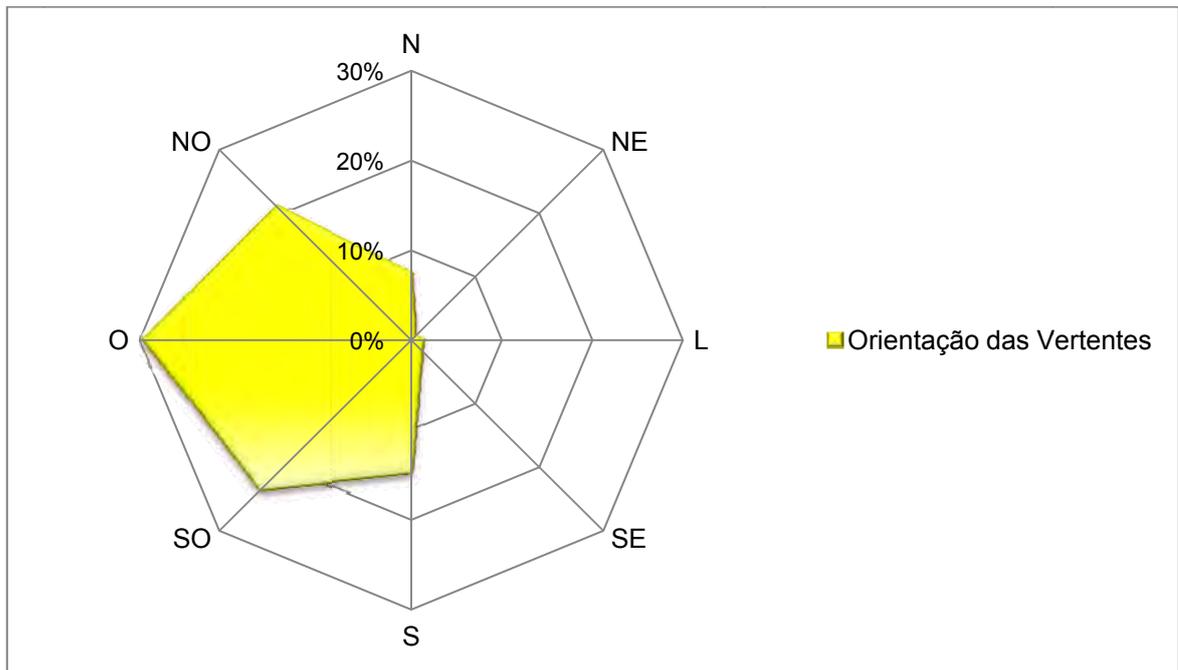


Figura 31 – Orientação das vertentes das geleiras de rocha tipo “Fóssil”

4.2.4 Análise de correlação entre parâmetros morfométricos das geleiras de rocha

A correlação de Pearson (Quadros 6, 7 e 8) mostrou que, no conjunto, as correlações significativas foram entre: altitude média e altitude mínima e máxima (1,0 para ambas), altitude máxima e mínima (0,9) e relevo e área (0,7). Correlações relativamente significativas ocorreram entre: altitude máxima e área (0,5), altitude média e área (0,4), altitude máxima e relevo (0,6) e altitude média e relevo (0,5).

No entanto, as correlações se tornam mais significativas com a separação morfológica das geleiras de rocha em: geleiras de fundo de vale e de talude.

Dentro da categoria geleira de rocha de fundo de vale as correlações significativas foram entre: altitude mínima e altitude média (0,9), altitude máxima e altitude média (0,9) e altitude máxima e relevo (0,7). Correlações relativamente significativas ocorreram entre: altitude máxima e altitude mínima (0,6), relevo e área (0,6) e orientação e área (0,4). Uma correlação negativa se deu entre longitude e orientação (-0,4).

Dentro da categoria geleiras de rocha de talude, correlações significativas ocorreram entre altitude máxima e mínima (1), altitude máxima e média (1), altitude média e mínima (1) e relevo e área (0,7). O número de correlações relativamente significativas também aumentou: latitude e altitudes máxima, média e mínima (0,6 para cada uma). Com relação à longitude, as mesmas variáveis apresentaram correlações negativas (-0,5, -0,6 e -0,6, respectivamente). A correlação entre longitude e orientação foi de 0,4. Ocorreram também correlações relativamente significativas entre área e altitudes máxima, mínima e média (0,5, 0,4 e 0,5, respectivamente), relevo e altitudes máxima e média (0,5 e 0,4, respectivamente) e, por fim, uma correlação negativa entre orientação e declividade (-0,4).

Quadro 6 – Matriz de correlação – geleiras de rocha (geral)

	Latitude	Longitude	Área	Alt. Mín.	Alt. Máx.	Alt. Méd.	Relevo	Orientação	Declividade
Latitude	1	-0,9	-0,1	0,3	0,2	0,2	-0,1	-0,2	0,1
Longitude	-0,9	1	0,1	-0,2	-0,1	-0,2	0,1	0,3	-0,1
Área	-0,1	0,1	1	0,2	0,5	0,4	0,7	0,2	-0,2
Alt. Mín.	0,3	-0,2	0,2	1	0,9	1,0	0,2	0,0	-0,2
Alt. Máx.	0,2	-0,1	0,5	0,9	1	1,0	0,6	0,1	-0,2
Alt. Méd.	0,2	-0,2	0,4	1,0	1,0	1	0,5	0,0	-0,2
Relevo	-0,1	0,1	0,7	0,2	0,6	0,5	1	0,0	-0,2
Orientação	-0,2	0,3	0,2	0,0	0,1	0,0	0,1	1	-0,2
Declividade	0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	1

Quadro 7 – Matriz de correlação – geleiras de rocha de fundo de vale

	Latitude	Longitude	Área	Alt. Mín.	Alt. Máx.	Alt. Méd.	Relevo	Orientação	Declividade
Latitude	1	-0,9	0,1	0,1	0,0	0,1	-0,1	-0,3	0,2
Longitude	-0,9	1	0,1	-0,1	0,1	0,0	0,1	-0,4	-0,1
Área	-0,1	0,1	1	-0,3	0,3	0,0	0,6	0,4	-0,1
Alt. Mín.	0,1	-0,1	-0,3	1	0,6	0,9	-0,2	-0,1	0,0
Alt. Máx.	0,0	0,1	0,3	0,6	1	0,9	0,7	0,2	0,2
Alt. Méd.	0,1	0,0	0,0	0,9	0,9	1	0,3	0,1	-0,1
Relevo	-0,1	0,1	0,6	-0,2	0,7	0,3	1	0,4	-0,2
Orientação	-0,3	-0,4	0,4	-0,1	0,2	0,1	0,4	1	-0,2
Declividade	0,2	-0,1	-0,1	0,0	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	1

Quadro 8 – Matriz de correlação – geleiras de rocha de talude

	Latitude	Longitude	Área	Alt. Mín.	Alt. Máx.	Alt. Méd.	Relevo	Orientação	Declividade
Latitude	1	-0,9	0,2	0,6	0,6	0,6	0,2	-0,1	-0,1
Longitude	-0,9	1	-0,1	-0,6	-0,5	-0,6	-0,1	0,4	-0,1
Área	0,2	-0,1	1	0,4	0,5	0,5	0,7	0,2	-0,2
Alt. Mín.	0,6	-0,6	0,4	1	1	1	0,3	0,2	-0,2
Alt. Máx.	0,6	-0,5	0,5	1	1	1	0,5	0,3	-0,2
Alt. Méd.	0,6	-0,6	0,5	1	1	1	0,4	0,3	-0,2
Relevo	0,2	-0,1	0,7	0,3	0,5	0,4	1	0,2	-0,3
Orientação	-0,1	0,4	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	1	-0,4
Declividade	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,4	1

Pode ser observada na análise das correlações uma relação de dependência entre a variável área com relação à altitude (máxima e média) e com relação ao relevo (diminuição entre altitude máxima e mínima). Isso representa uma tendência de aumento da área das geleiras de rocha com a altitude. No entanto, essas correlações foram mais evidenciadas para as geleiras de rocha de talude do que para as geleiras de rocha de fundo de vale, que apresentaram correlações abaixo do limite mínimo. Os gráficos representados pelas Figuras 32a-b também mostram essa tendência.

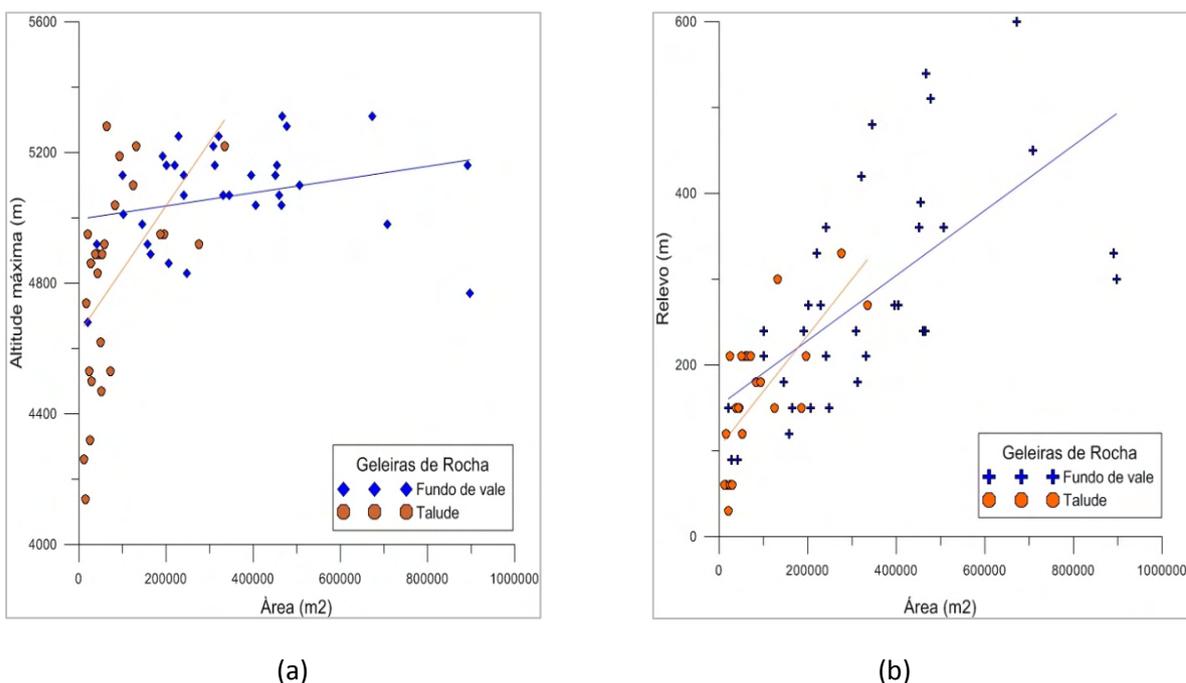


Figura 32 – Diagrama de dispersão entre parâmetros morfométricos (linha de tendência linear)

Ao analisar separadamente os dados apresentados no Quadro 5, que mostra a variação da área das geleiras entre 1985 e 2005, observou-se que o aumento da área das geleiras de rocha de fundo de vale foi maior do que as de geleira de talude. Esses dados não invalidam a correlação, porque em dados absolutos, a área das geleiras de rocha de fundo de vale é maior do que as geleiras de talude, pois as primeiras possuem origem glacial e distribuem-se por um espectro maior de altitude, devido a sua extensão; as segundas desenvolvem-se ao longo das vertentes rochosas. Porém, a tendência de que a área das geleiras de talude aumente com a altitude comparada às de fundo de vale pode ser explicada pelo predomínio dos processos periglaciais e de meteorização das rochas em altitudes mais elevadas.

Correlações relativamente significativas entre parâmetros geográficos (latitude e longitude) e parâmetros morfométricos foram notadamente observados na categoria geleira de rocha de talude. A partir delas pode-se inferir que as geleiras de rocha de talude se distribuem em altitudes mais elevadas conforme a diminuição da latitude, ou seja, em direção ao norte da cordilheira. Por outro lado, com relação à longitude, a tendência de crescimento altitudinal é maior na direção oeste da cordilheira (Figura 33).

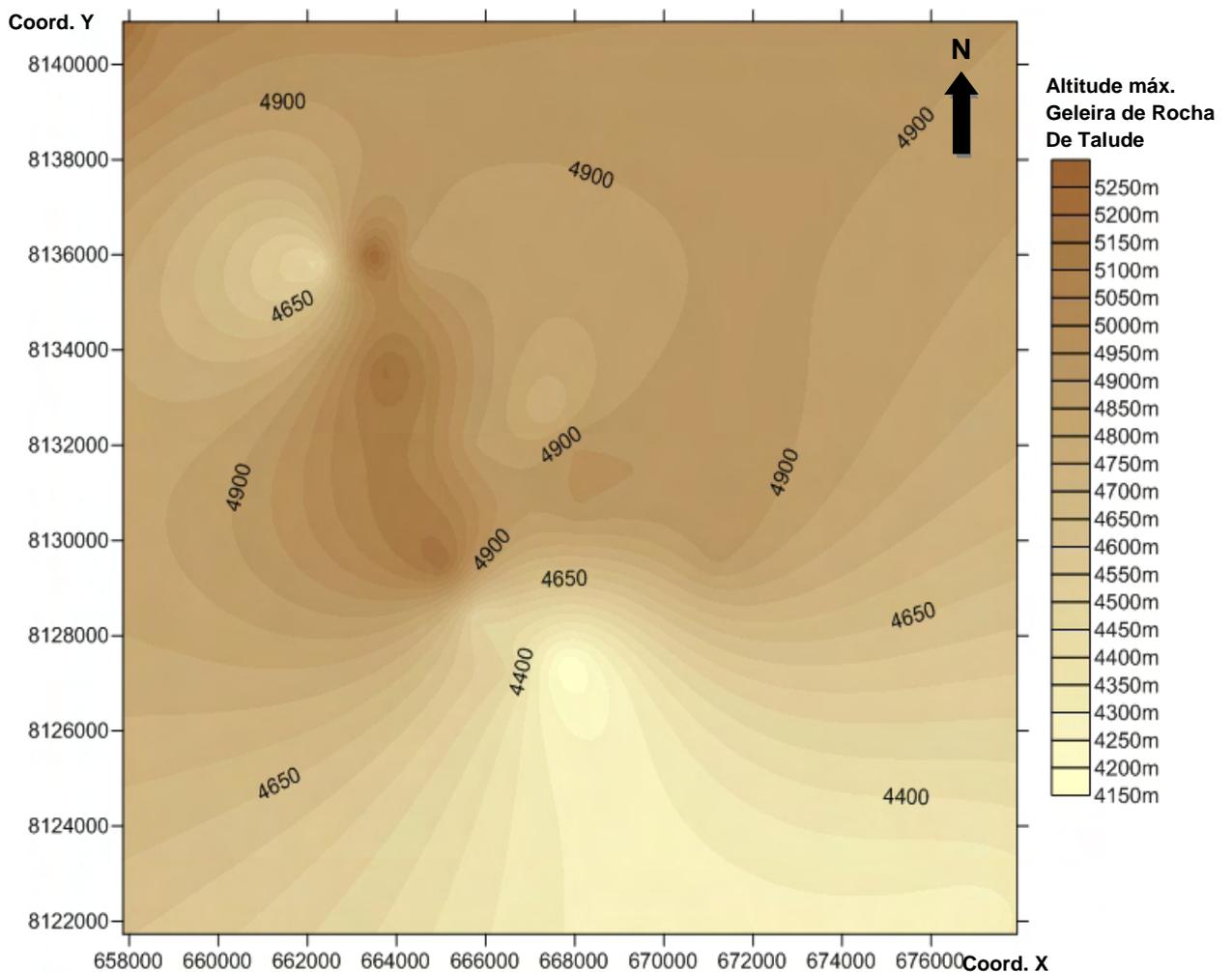


Figura 33 – Distribuição espacial da altitude máxima das geleiras de rocha de talude de acordo com os parâmetros geográficos

Esperavam-se relações de dependência mais significativas entre orientação e elevação das geleiras, em função da maior ou menor exposição aos raios solares, o que influencia nos processos de meteorização em áreas de cordilheiras e, conseqüentemente, na ocorrência das geleiras de rocha mediante o fornecimento de

material rochoso. Contudo, tanto para as geleiras de rocha de fundo de vale como para as de talude, as correlações apresentaram o índice mínimo de aceitação (0,4). As geleiras de fundo de vale e de talude se sobrepuseram em elevação nos diagramas polares (Figura 34).

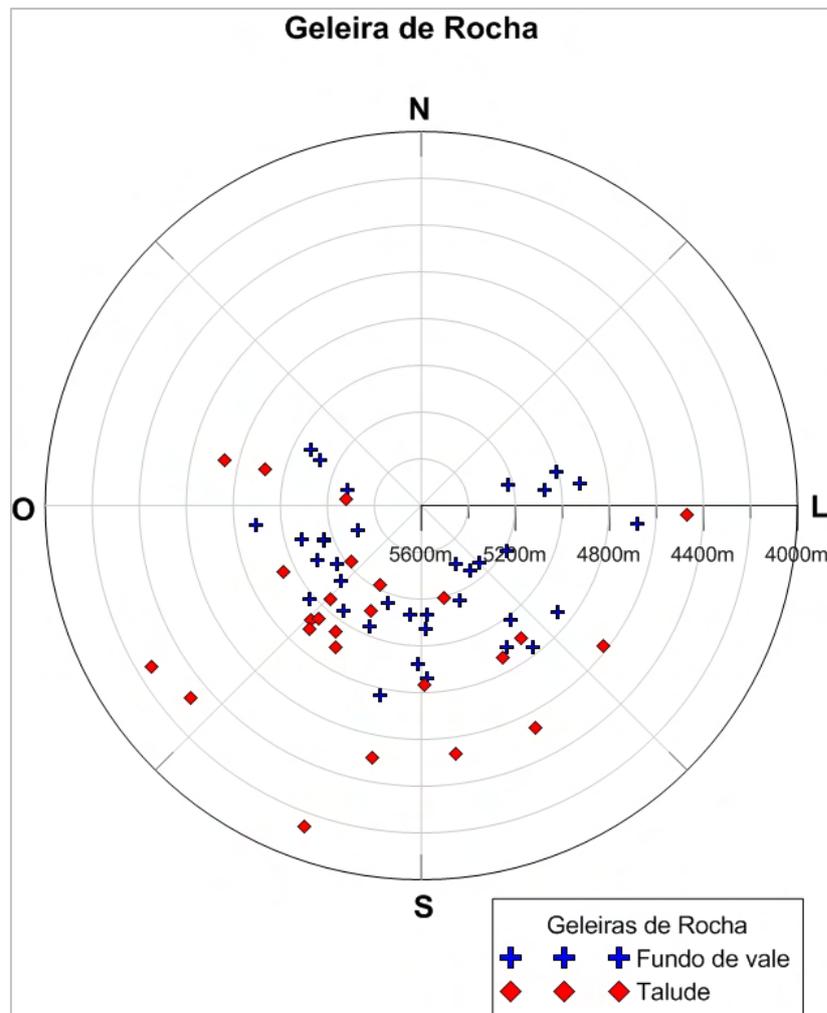


Figura 34 – Diagrama polar comparando orientação e elevação das geleiras de rocha

4.3 DISCUSSÕES

Através da análise das informações obtidas pelas imagens de satélite é possível observar que as geleiras de rocha identificadas obtiveram um aumento geral de área durante o intervalo de anos considerado. Porém ao agrupá-las segundo sua morfologia, as do tipo fóssil mantiveram suas áreas estáveis, sem grandes variações (-1%) durante esses 20 anos. Já nas geleiras de rocha de talude e de fundo de vale houve, em média, um aumento de área mais significativo, respectivamente de 7 e 13%.

Esse fato pode estar diretamente relacionado com a retração de área de algumas geleiras típicas desta Cordilheira. Fato corroborado, pelo o aumento de área de algumas geleiras de rocha, nas porções mais a montante, locais que em 1985 ainda eram ocupados pelas frentes de geleiras típicas. Segundo Ribeiro (2007), essa retração das massas gelo (exposto) é condizente com o aquecimento atmosférico regional que vem sendo observado nos últimos anos.

Quanto à localização das geleiras de rocha, observa-se que a distribuição vertical destas formas ocorre em altitudes mínimas de 4.080 m e máximas de 5.310 m. A elevação média das geleiras de rocha de fundo de vale são maiores (4.923 m) que as geleiras de rocha de talude (4.729 m). Isso pode ser explicado pelo fato das geleiras de rocha de fundo de vale representarem formas remanescentes de origem glacial: as geleiras típicas estão localizadas em maiores elevações do que as geleiras de rocha. As geleiras de rocha de talude se desenvolvem em altitudes mínimas mais baixas (4.080m) e isso pode estar associado à maior disponibilidade de material ao longo das vertentes, por atividades periglaciais, que atua como uma camada protetora, insulando a estrutura de gelo interno. A origem glacial das geleiras de fundo de vale pode ser corroborada com a identificação de cordões morânicos, como os apresentados na Figura 13.

Em relação à orientação das vertentes das feições identificadas, o predomínio é nos sentidos oeste-sudoeste-sul (53% da área total das geleiras de rocha). Essa característica indica que uma parte significativa das geleiras de rocha está exposta a maiores períodos de insolação e, teoricamente, com maior disponibilidade de material meteorizado para as geleiras de rocha, mas que podem conduzir a pouca atividade

em função da exposição solar.

É comum a correlação entre orientação e elevação das geleiras de rocha em muitas áreas (BARSCH, 1977). As geleiras de rocha de fundo de vale e de talude apresentaram, no entanto, baixos índices de correlação entre essas variáveis, como foi evidenciado nos Quadros 6-8 e exemplificado no diagrama polar (Figura 34). Essa ausência de correlação pode ser devido a fatores que não estejam representados por parâmetros topográficos. Isso sugere que a elevação e orientação podem estar atreladas a outras variáveis externas, tais como suprimento de material detríticos, tipo de rocha e o clima. A ausência desta correlação também foi observada em geleiras de rocha nos Estados Unidos (SOLLID e SÖRBEL, 1992; JOHNSON *et al.*, 2007, JANKE, 2007). Foi sugerido pelos pesquisadores que as geleiras de rocha nessas áreas estejam acima da elevação mínima na qual as geleiras se formam.

A localização na faixa tropical faz com que a presença de geleiras de rocha não seja comum, como em outras áreas montanhosas. Segundo Francou *et al.* (1999), a superfície da geleira de rocha recebe grandes quantidades de energia ao longo do ano devido à intensidade da radiação e ao albedo reduzido, além da reduzida cobertura de neve. Como consequência, os processos geocronológicos das geleiras de rocha estão relacionados ao espectro altimétrico e à distribuição de água. Ainda segundo o autor, como consequências, as geleiras de rocha ocorreriam geralmente entre 5.400 e 5.500 m de altitude, estando controladas pela topografia e pela orientação das vertentes.

5 CONCLUSÃO

Ao finalizar este trabalho pode-se observar que a utilização de dados obtidos através do sensoriamento remoto, apesar de não substituir levantamentos realizados *in loco*, mostrou-se como uma alternativa efetiva na identificação indireta das geleiras de rocha. Além disso, apresentou-se como uma ferramenta de grande potencial na extração de informações geográficas através da integração dos dados com o uso de SIG, como altitude, declividade e orientação das vertentes.

Mediante a análise das formas, dos dados geográficos e do modelo tridimensional do terreno, foi possível mapear 64 geleiras de rocha na cordilheira Tres Cruces em três categorias: geleiras de rocha de fundo de vale (35 feições), geleiras de rocha de talude (25 feições) e geleiras de rocha fóssil (4 feições). Obviamente essa classificação poderá ser ampliada ou alterada com trabalhos de campos e a utilização de imagens de satélites de maior resolução.

As geleiras de rochas identificadas possuem área total de aproximadamente 13,9 km². Destes, 11,5 km² (82,5%) correspondem às de fundo de vale; 2,07 km² (15%) de talude e 0,36 km² (2,5%) às fósseis. Foi possível observar que, entre 1985 e 2005, ocorreu um aumento médio de 11% nas áreas.

As geleiras de fundo de vale e de talude apresentaram tendências de elevação de suas áreas de acordo com o gradiente altimétrico, mostrando uma influência geográfica em sua distribuição e dinâmica, condicionando as atividades de permafrost a partir de determinada faixa altitudinal. Por outro lado, a relação da orientação das geleiras, com outras variáveis, em especial, o gradiente altimétrico e área, comum em várias áreas ocupadas por geleiras de rocha no planeta, não se verificou em Tres Cruces.

Espera-se que futuramente os dados obtidos nesse estudo possam integrar outras formas de publicações científicas, com o intuito de dar maior visibilidade e consequentemente inspirar mais pesquisas científicas sobre o assunto, e assim aumentar o conhecimento sobre estas feições, que apesar de serem pouco conhecidas no meio científico possuem grande importância, tanto como potenciais reservatórios hídricos quanto registros paleoclimáticos do planeta. Fato que se torna

mais relevante por encontrar-se em ambiente tropical, onde as alterações climáticas impactam geleiras típicas e de rochas de forma mais acelerada em comparação com o ambiente glacial antártico, por exemplo, onde há uma maior estabilidade climática.

5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando a potencialidade e necessidade de aprofundar pesquisas sobre as geleiras de rocha na cordilheira Tres Cruces sugere-se que os seguintes estudos sejam realizados futuramente:

- Estudo sobre o volume e a potencialidade hídricas das geleiras de rocha;
- Monitoramento da velocidade de fluxo das geleiras de rocha;
- Elaboração de técnicas mais precisas de geoprocessamento para subsidiar a identificação e classificação das geleiras de rocha.

6 REFERÊNCIAS

- ACKERT Jr., R.P., 1998: A rock glacier/debris covered glacier system at Galena Creek, Wyoming. *Geografiska Annaler*, v. 80A (3-4): p. 267-276.
- ANGILLIERI, M.Y.E., 2009. A preliminary inventory of rock glaciers at 30°S latitude, Cordillera Frontal of San Juan, Argentina. *Quaternary International*. 195: p. 151-157.
- ASSIER, A., FABRE, D., EVIN, M., 1996. Prospection e électrique sur les glaciers rocheux du cirque de Ste-Anne (Queyras, Alpes du Sud, France). *Permafrost and Periglacial Processes*, 7, p. 53-67.
- AYOADE, J.O., 2006. Introdução à climatologia para os trópicos. Ed. Bertrand Brasil, 11ª edição, Rio de Janeiro: 332 p.
- BALLANTINE, K.C., 1984: The late Devansian periglacialiation of upland Scotland. *Quaternary Science Reviews*, 3: p. 311-343.
- BARSCHE, D., 1996. Rock-glaciers. Indicators for the Present and Former Geoecology in High Mountain Environments. 331 p., Springer-Verlag. Ed. Berlin.
- BARSCHE, D., FIERZ, H., HAEBERLI, W., 1979. Shallow core drilling and borehole measurements in permafrost of an active rock glacier near the Grubengletscher, Wallis, Swiss Alps. *Arctic and Alpine Research*, 11(2): p. 215-228.
- BARSCHE, D., 1969. Studien und Messungen an Blockgletschern in Macun, Unterengadin. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 8: p. 11-30.
- BARSCHE, D., 1971. Rock glaciers and ice-cored moraines. *Geografiska Annaler*, 53 A: p. 203-206.
- BARSCHE, D., 1977. Nature and importance of mass wasting by rock glaciers in alpine permafrost environments. *Earth Surface Processes*, 2: p. 231-245.
- BARSCHE, D., 1987a. The problem of the ice-cored rock glacier. *In: GIARDINO, J.R., VITEK, J.D., 1987. Rock Glaciers, (Eds). Allen e Unwin, Routledge, New York. p. 45-53.*
- BARSCHE, D., 1987b. Rock glaciers, an approach to their systematics. *In: GIARDINO, J.R., VITEK, J.D., 1987. Rock Glaciers, (Eds). Allen e Unwin, Routledge, New York. p. 41-44.*
- BARSCHE, D., 1988. Rock glaciers. *In: Clark, M.J. (Ed). Advanced in Periglacial Geomorphology. Willey. p. 69-90.*
- BENN, D.I., EVANS, D.J.A., 1998. *Glaciers e Glaciation*. Arnold, London, 734 p.
- BLAGBROUGH, J.K., FARKAS, S.E., 1968. Rock glaciers in the San Mateo Mountains, south central New Mexico. *American Journal of Science*, 266: p. 812-813.

BRENNING, A., 2005. Climatic and geomorphological controls of rock glaciers in the Andes of central Chile: combining statistical modelling and field mapping. Tese (doutorado). Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät II, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin. 137 p.

BRENNING, A., 2006. Logistic regression modeling of rock glacier and glacier distribution: topographic and climatic controls in the semi-arid Andes. *Geomorphology* 81, p. 141-154.

BURGER, K.C., DEGENHART, J.J., GIARDINO, J.R., 1999. Engineering geomorphology of rock glaciers, *Geomorphology*, 31: p. 99-132.

CAPPS, S.R., 1910. Rock Glaciers in Alaska. *Journal of Geology*, 18: p.359-375.

CAMPOS, I.O., 1994. Análise de técnicas para o estabelecimento de Modelos Digitais de Terrenos – DTM, Dissertação de Mestrado, EESC/USP.

CLARK, D.H., STEIG, C.J., POTTER Jr., N., GILLSEPIE, A.R., 1998. Genetic variability of rock glaciers. *Geografiska Annaler*, 80 A (3-4): p. 175-182.

CORDANI, U.G., TEIXEIRA, W. SINARI, C.C.G., BASEI, A.S., 2000. Crustal Evolution of the South American Platform. In: CORDANI, U.G.; MILANI, J., Thomaz FILHO, D., CAMPOS, A. (Ed.). *Tectonic Evolution of South America*. 31 International Geological Congress, Rio de Janeiro, p. 19-40.

CORTE, A.E., 1976. Rock glaciers. *Biul. Peryglacjalny*, 26, p. 175-197.

DELALOYE, R., LAMBIEL, C., LUGON, R., RAETZO., STROZZI, T., 2007. ERS InSAR for detecting slope movement in a periglacial moutains Environment, Western Valais Alps, Switzerland. *Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung*, p. 113-120.

DGI/INPE - Divisão de geração de Imagem/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Consultado em outubro de 2009.

FABRYKA-MARTIN, J., DAVIS, S.N., ROMAN, D., AIREY, P.L., ELMORE, D., KUBIK, P.W., 1987. Lodine-129 and chlorine-36 in uranium ores, 2. Discussion of AMS measurements. *Chemical Geology*, 72: p. 7-16.

FERRANDO, F.J.A., 2003. Aspectos Conceptuales y Genético-Evolutivos de los Glaciares Rocosos: Análisis de caso en los Andes Semiáridos de Chile. *Revista Geográfica Terra Australis*, 48: p. 43-74.

FLORENZANO. T. G., 2002. *Imagens de satélite para estudos ambientais*, Oficina de Textos, São Paulo, 97 p.

FRANCOU, B., FABRE, D., POUYAUD, B., JOMELLI, V., ARNAUD, Y., 1999. Symptoms of Degradation in a Tropical Rock Glacier, Bolivian Andes. *Permafrost and Periglacial Processes*, 10: p. 91-100.

FRANCOU, B., RAMIREZ, E., CÁCERES, B., MENDOZA, J., 2000. Glacier evolution in the tropical Andes during the last decades of the 20th century: Chacaltaya, Bolivia, and Antizana, Ecuador, *Ambio*, 29: p. 416-422.

GIARDINO, J.R., 1979. Rock glacier mechanics and chronologies: Mount Mestas, Colorado; unpublished PhD Dissertation, University of Nebraska, Lincoln, NE, 244 p.

GIARDINO, J.R., VITEK, J.D., 1988. The significance of rock glaciers in the glacial-periglacial landscape continuum. *Journal of Quaternary Science* 3 (1): p. 97-103.

GIARDINO, J.R., VICK, S.G., 1987. Geologic engineering aspects of rock glaciers. In: GIARDINO, J.R., SHRODER, J.F. Jr., VITEK, J.D. (Eds), *Rock Glaciers*. Allen and Unwin, London, p. 265-287.

GLCF - Global Land Cover Facility. Disponível em: <<http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080>>. Acesso em Outubro de 2009.

GORBUNOV, A.P., 1983. Rock glaciers in the mountains of Middle Asia. *Permafrost: Fourth International Conf. Proc.* National Academy Press, Washington, DC, p. 359-362.

GRAF., K., 1986. Formas glaciales e periglaciales en la Cordillera Central entre Bolivia y Chile. *Acta Geocriogénica*, 4, IANIGLA, Mendoza, 69-77.

HAEBERLI, W., 1985. Creep of mountain permafrost: internal structure and flow of alpine rock glaciers. p. 142. *Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie Eidgenoessische Technische Hochschule in Zuerich*, Zurich, Switzerland.

HAEBERLI, W., HOELZLE, M., KÄÄB, A., KELLER, F., WAGNER, S., 1988. Ten years after drilling through the permafrost of the active rock glacier Murtel, Eastern Swiss Alps; answered questions and new perspectives. Lewkowicz, A.G. e M. Allard (Eds.) *Permafrost: Seventh International Conference Proceedings*. Centre d'Etudes Nordiques, Université Laval: p. 403-410.

HAEBERLI, W., 1992. Construction, environmental problems and natural hazards in periglacial mountain belts. *Permafrost and Periglacial Processes*, 3: p. 111-124.

HINATA, S., 2009. Classificação geomorfológica das Geleiras de rocha e feições gelo-rocha (FGR) Montes Patriot - Antártica Ocidental. Porto Alegre: UFRGS, 2009. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

HUGHES, O.L., RAPP, A., 1966. Logan Mountains, Y.T.: Measurements on a rock glacier. *Ice*, 205 p.

HUMLUM, O., 1982. Rock glacier types of Disko, central west Greenland. *Norsk Geografisk Tidsskrift*, 82: p. 59-66.

JANKE, J.R., 2007. Colorado Front Range rock glacier: distribution and topographic characteristics. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 39 (1): p. 74-83.

JOHNSON, P.G. 1980a. Glacier-rock glacier transition in the southwest Yukon Territory, Canada. *Arctic and Alpine Research*, 12, p.195-204.

JOHNSON, P.G. 1980b. Rock glaciers: glacial and non-glacial origins, *International Association of Scientific Hydrology, Publication 126*, p.285-293.

JOHNSON, P.G., 1983. Rock glaciers: A case for change in nomenclature. *Geografiska Annaler*, 65A, p. 27-34.

JOHNSON, P.G., 1987. Rock glacier: glacier debris systems of high magnitude, low frequency flows. In: J.R. Giardino, J.F. Shroder Jr., and J.D. Vitek, (Eds), *Rock Glaciers*. Allen and Unwin, London, p. 175-192.

JOHNSON, B.G., THACKRAY, G.D., VAN KIRK, R., 2007. The effect of topography, latitude and lithology on rock glacier distribution in the Lemhi range, central Idaho, USA. *Geomorphology*, 91 (1-2), p. 38-50.

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, 365 p.

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

KAMP, U., BOLCH, T., OLSENHOLLER, J., 2005. Geomorphometry of Cerro Sillajhuay (Andes, Chile/Bolivia): comparison of digital elevation models (DEMs) from ASTER remote sensing data and contour maps. *Geocarto International*, 20 (1): p. 23-33.

KAUFMANN, V., LADSTÄDTER, R., KIENAST, G., 2007. 10 years of monitoring of the Doesen rock glacier (Ankogel group, Austria) - A review of the research activities for the time period 1995-2005. *Proceedings of the Fifth Mountain Cartography Workshop, Bohinj, Slovenia*: p. 129-144.

KIRKBRIDE M., BRAZIER V., 1998: On the sensitivity of Holocene talus-derived rock glaciers to climate change in the Ben Ohau Range, New Zealand. *Journal of Quaternary Science*, 10: p. 353-365.

KLEY, J., MÜLLER, J., TAWACKOLI, S., JACOBSHANGEN, V., MANUTSOGLU, E., 1997. Pre-Andean and Andean-age deformation in the Cordillera of southern Bolivia. *Journal of South American Earth Sciences*, 10 (1): p. 1-19.

MARCO, J., VIEIRA, G., CATALÃO, J., RAMOS, M., 2010. Rock glaciers activity in the South Shetland Islands: DINSAR, Ground-truth and GIS analysis. *Methodology and*

firstly results. European Space Agency Living Planet Symposium, Buergen Norway.

MILLAR, C.I., WESTFALL, R.D., 2007. Rock glaciers and related periglacial landforms in the Sierra Nevada, CA, USA; inventory, distribution and climatic relationships. *Quaternary International* 188, p. 90-104.

MONTES DE OCA, I., 1995: Geografía y clima de Bolivia. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 24 (3): p. 357-368.

NOVO, E., *Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações*. São Paulo: Edgard Blucher, 2008. 3ª Ed.: 362 p.

NYENHUIS, M., HOELZLE, M., DIKAU, R., 2005. Rock glacier mapping and permafrost distribution modelling in the Turtmanntal, Valais, Switzerland. *Zeitschrift für Geomorphologie*, NF, 49 (3): p. 275-292.

OUTCALT, S.I., BENEDICT, J.B., 1965. Photo interpretation of two types of rock glaciers in the Colorado Front Range, U.S.A. *Journal of Glaciology* 5(42): p. 849-856.

PAYNE, D., 1998. Climatic implications of rock glaciers in the arid Western Cordillera of the Central Andes. *Glacial and Geomorphology*, rp03 (<http://ggg.qub.ac.uk/ggg>)

POTTER, N., 1972. Ice-cored rock glacier, Galena Creek, northern Absaroka Mountains, Wyoming. *Geological Society of America Bulletin*, 83: p. 3025-3057.

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

RIBEIRO, R.R., 2003. Alterações na extensão da Geleira Choquetanga, Cordilheira Três Cruces, Bolívia, entre 1972 e 1992. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

RIBEIRO, R.R., 2007. Determinação das variações das geleiras da Cordilheira Tres Cruces (Bolívia) entre 1975-2004 pela análise de imagens digitais e dados cartográficos. Porto Alegre: UFRGS, 2007. 92 f Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

RIGNOT, E., HALLET, B., FOUNTAIN, A., 2002. Rock glacier surface motion in Beacon Valley, Antarctica, from synthetic-aperture radar interferometry. *Geophysical Research Letters*, 29, art. no. 1607.

RONCHAIL, J., COCHONNEAE, G., MOLINIER, M., GUYOT, J.L., 2002. Rainfall variability in the Amazon Basin and SSTs in the tropical Pacific and Atlantic oceans. *International Journal of Climatology*, 22: 1663-1686.

SELIGMAN, Z., 2009. Rock Glacier Distribution, Activity and Movement, Northern

Absaroka and Beartooth Ranges, MT, USA. Dissertação (Mestrado em Geografia) - The University of Montana. Missoula. 57p.

SOLID, J., SÖRBEL, L., 1992. Rock glaciers in Svalbard and Norway. *Permafrost and Periglacial Processes*, 3: 215-220.

SOTO, M.V.S., FERRANDO, F.J.A., VIEIRA, R. 2004. Características Geomorfológicas de un sistema de glaciares rocosos y de su cuenca de sustentación en Chile semi-árido. *Revista Investigaciones Geográficas*, Santiago, v. 36, p. 1-16,

WAHRHAFTIG, C., COX, A., 1959. Rock glaciers in the Alaska Range. *Geological Society of America Bulletin*, 70, p. 383-436.

WASHBURN, A.L. 1979. *Geocryology*. Edward Arnold, London.

WHALLEY, W.B., PALMER, C.F., 1998. A glacial interpretation for the origin and formation of the Marinette Rock Glacier, Alps Maritimes, France, *Geografiska Annaler*, 80: p. 221-235.

WHALLEY, W.B., MARTIN, H.E., 1992. Rock Glaciers II Models and Mechanisms. *Progress in Physical Geography* 16(2): p. 127-186.

WHITE, S.E., 1971. Rock glacier studies in the Colorado Front Range, 1961-1968. *Arctic and Alpine Research*, 3, p. 43-64.

7 ANEXOS

Anexo 1.1 – Informações morfológicas e geográficas das geleiras de rocha de fundo de vale* utilizadas nas análises estatísticas

Código	X (Long)	Y (Lat)	Área (m2)	Altitude (Mínimo)	Altitude (Máximo)	Altitude (Média)	Relevo (m)	Orientação (°)	Inclinação (%)
GR-33	677.119,9	8.123.482,2	41.807,6	4.800,0	4.890,0	4.836,0	90,0	149,0	26,9
GR-32	672.190,1	8.130.105,2	28.338,0	4.770,0	4.860,0	4.812,0	90,0	178,0	22,0
GR-31	671.570,6	8.129.429,2	345.323,8	4.590,0	5.070,0	4.830,0	480,0	254,0	24,9
GR-29	670.162,5	8.130.301,2	101.292,1	4.770,0	5.010,0	4.890,0	240,0	76,0	26,9
GR-21	665.163,3	8.138.067,2	451.427,7	4.770,0	5.130,0	4.950,0	360,0	227,0	32,5
GR-39	667.181,3	8.133.820,1	206.633,4	4.710,0	4.860,0	4.785,0	150,0	128,0	139,0
GR-22	666.396,0	8.131.862,5	165.133,6	4.740,0	4.890,0	4.815,0	150,0	263,0	22,7
GR-18	658.007,9	8.140.900,2	708.535,5	4.530,0	4.980,0	4.755,0	450,0	230,0	27,9
GR-40	666.845,3	8.128.096,2	20.754,7	4.530,0	4.680,0	4.605,0	150,0	95,0	30,0
GR-45	664.065,2	8.130.196,9	241.060,6	4.860,0	5.070,0	4.965,0	210,0	83,0	33,8
GR-46	664.000,3	8.130.696,1	248.513,0	4.680,0	4.830,0	4.755,0	150,0	142,0	30,4
GR-44	665.708,7	8.128.693,4	158.183,9	4.800,0	4.920,0	4.860,0	120,0	82,0	26,2
GR-47	663.621,9	8.133.826,4	896.987,1	4.470,0	4.770,0	4.615,0	300,0	192,0	31,1
GR-12	667.477,6	8.128.528,2	191.579,0	4.950,0	5.190,0	5.070,0	240,0	118,0	23,3
GR-51	661.544,0	8.136.289,1	41.023,8	4.830,0	4.920,0	4.875,0	90,0	181,0	31,6
GR-52	661.087,7	8.137.060,2	100.119,8	4.920,0	5.130,0	5.025,0	210,0	294,0	33,1
GR-11	668.116,6	8.128.345,0	405.437,3	4.770,0	5.040,0	4.910,0	270,0	203,0	20,1
GR-10	668.509,1	8.128.389,1	220.652,4	4.830,0	5.160,0	4.986,4	330,0	235,0	25,5
GR-09	668.544,9	8.127.794,3	506.810,4	4.740,0	5.100,0	4.907,1	360,0	242,0	22,4
GR-53	658.578,6	8.139.967,0	395.091,7	4.860,0	5.130,0	4.990,9	270,0	177,0	37,5
GR-54	656.086,8	8.148.095,2	201.378,6	4.890,0	5.160,0	5.025,0	270,0	158,0	38,1
GR-08	670.521,7	8.125.658,0	241.542,7	4.770,0	5.130,0	4.957,1	360,0	186,0	17,9
GR-07	670.746,1	8.125.517,7	454.195,9	4.770,0	5.160,0	4.968,3	390,0	250,0	24,5
GR-55	655.951,7	8.148.233,7	229.467,0	4.980,0	5.250,0	5.110,9	270,0	143,0	40,6
GR-56	655.719,0	8.148.263,1	320.503,8	4.830,0	5.250,0	5.040,0	420,0	135,0	32,5
GR-57	660.049,1	8.141.802,6	145.369,5	4.800,0	4.980,0	4.890,0	180,0	142,0	30,7
GR-06	672.853,2	8.123.683,8	891.469,1	4.830,0	5.160,0	4.986,9	330,0	251,0	28,3
GR-05	674.075,3	8.120.798,9	460.217,5	4.830,0	5.070,0	4.950,0	240,0	178,0	25,5
GR-04	674.440,3	8.120.501,8	330.949,9	4.860,0	5.070,0	4.965,0	210,0	297,0	32,7
GR-58	659.626,8	8.141.144,5	672.518,8	4.710,0	5.310,0	5.010,0	600,0	150,0	26,6
GR-59	666.283,3	8.136.599,0	308.860,3	4.980,0	5.220,0	5.100,0	240,0	77,0	29,5
GR-03	677.783,1	8.118.467,9	464.955,6	4.800,0	5.040,0	4.920,0	240,0	216,0	23,3
GR-60	667.365,4	8.136.805,3	312.279,7	4.980,0	5.160,0	5.070,0	180,0	199,0	32,3
GR-01	686.173,0	8.113.219,8	467.311,8	4.770,0	5.310,0	5.040,0	540,0	248,0	29,4
GR-02	686.285,3	8.113.783,2	476.949,5	4.770,0	5.280,0	5.025,0	510,0	282,0	33,0
	X (Long)	Y (Lat)	Área (m2)	Altitude (Mínimo)	Altitude (Máximo)	Altitude (Média)	Relevo (m)	Orientação (°)	Inclinação (%)
Valor máximo	686.285,3	8.148.263,1	896.987,1	4.980,0	5.310,0	5.110,9	600,0	297,0	139,0
Valor Mínimo	655.719,0	8.113.219,8	20.754,7	4.470,0	4.680,0	4.605,0	90,0	76,0	17,9
Média	667.424,3	8.131.383,6	327.219,3	4.785,4	5.062,3	4.922,7	276,9	184,6	31,8
Desvio Padrão			222.923,3	120,5	156,6	123,4	132,0	64,2	19,3

* ordenadas no sentido oeste-leste

Anexo 1.2 – Informações morfológicas e geográficas das geleiras de talude* usadas nas análises estatísticas.

Código	X (Long)	Y (Lat)	Área (m2)	Altitude (Mínimo)	Altitude (Máximo)	Altitude (Média)	Relevo (m)	Orientação (°)	Inclinação (%)
GR-36	667.867,3	8.127.375,4	15.086,3	4.080,0	4.140,0	4.110,0	60,0	200,0	130,0
GR-35	677.929,6	8.121.731,1	25.061,7	4.110,0	4.320,0	4.215,0	210,0	230,0	20,1
GR-34	677.461,0	8.121.967,5	11.801,6	4.200,0	4.260,0	4.230,0	60,0	239,0	24,3
GR-30	671.178,9	8.129.635,5	59.024,1	4.710,0	4.920,0	4.815,0	210,0	283,0	27,2
GR-38	664.393,5	8.136.002,2	27.592,5	4.800,0	4.860,0	4.830,0	60,0	152,0	106,0
GR-37	664.383,7	8.128.536,1	45.401,2	4.740,0	4.890,0	4.815,0	150,0	143,0	146,5
GR-28	669.286,1	8.130.628,6	275.922,8	4.590,0	4.920,0	4.755,0	330,0	224,0	25,1
GR-25	667.400,9	8.132.738,9	16.295,2	4.620,0	4.740,0	4.680,0	120,0	283,0	22,5
GR-27	668.083,1	8.130.693,8	196.232,4	4.740,0	4.950,0	4.836,7	210,0	222,0	28,5
GR-26	667.972,0	8.131.980,9	186.627,2	4.800,0	4.950,0	4.875,0	150,0	244,0	24,7
GR-24	666.216,6	8.133.099,9	37.715,6	4.740,0	4.890,0	4.815,0	150,0	211,0	21,9
GR-23	665.829,7	8.132.000,1	52.793,4	4.770,0	4.890,0	4.830,0	120,0	222,0	20,3
GR-20	663.456,3	8.135.965,7	63.849,5	5.070,0	5.280,0	5.175,0	210,0	275,0	26,6
GR-19	657.859,6	8.140.893,5	131.913,3	4.920,0	5.220,0	5.070,0	300,0	207,0	25,6
GR-17	658.625,6	8.140.623,2	82.768,9	4.860,0	5.040,0	4.950,0	180,0	224,0	34,5
GR-16	659.804,4	8.139.393,6	20.057,9	4.920,0	4.950,0	4.935,0	30,0	214,0	30,7
GR-41	666.347,5	8.127.249,8	23.690,6	4.470,0	4.530,0	4.500,0	60,0	172,0	34,1
GR-14	663.382,8	8.130.843,9	124.935,7	4.950,0	5.100,0	5.025,0	150,0	205,0	27,0
GR-15	663.782,9	8.133.543,6	334.303,7	4.950,0	5.220,0	5.085,0	270,0	231,0	23,8
GR-13	665.081,9	8.129.459,7	94.065,6	5.010,0	5.190,0	5.100,0	180,0	166,0	23,5
GR-48	662.390,6	8.134.446,4	43.700,4	4.680,0	4.830,0	4.755,0	150,0	179,0	35,5
GR-42	666.430,8	8.128.494,7	72.075,4	4.320,0	4.530,0	4.425,0	210,0	153,0	23,7
GR-43	665.817,7	8.128.417,1	29.826,4	4.440,0	4.500,0	4.470,0	60,0	191,0	21,3
GR-49	661.130,8	8.134.798,9	50.651,6	4.410,0	4.620,0	4.515,0	210,0	128,0	36,4
GR-50	662.289,3	8.135.783,6	52.070,7	4.350,0	4.470,0	4.410,0	120,0	92,0	33,2
	X (Long)	Y (Lat)	Área (m2)	Altitude (Mínimo)	Altitude (Máximo)	Altitude (Média)	Relevo (m)	Orientação(°)	Inclinação (%)
Valor máximo	677.929,6	8.140.893,5	334.303,7	5.070,0	5.280,0	5.175,0	330,0	283,0	146,5
Valor Mínimo	657.859,6	8.121.731,1	11.801,6	4.080,0	4.140,0	4.110,0	30,0	92,0	20,1
Média			82.938,6	4.650,0	4.808,4	4.728,9	158,4	203,6	38,9
Desvio Padrão			83.680,0	282,9	312,6	295,4	78,7	47,4	34,2

* ordenadas no sentido oeste-leste