

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

**FORMAS E PROCESSOS DO AMBIENTE DE DEGLACIAÇÃO
DAS GELEIRAS WANDA E ECOLOGY, ILHA REI GEORGE, ANTÁRTICA.**

Kátia Kellem da Rosa

ORIENTADOR:

Prof. Dr. Jefferson Cardia Simões

CO-ORIENTADORA:

Prof. Dra. Rosemary Vieira

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Ulisses Bremer

Prof. Dr. Elírio Ernestino Toldo Jr.

Prof. Dr. Iran Carlos Stalliviere Correa

**Dissertação de mestrado apresentada
como requisito para a obtenção do Título
de Mestre em Geociências.**

2008

Rosa, Kátia Kellem da

Formas e processos do ambiente de deglaciação das geleiras Wanda e Ecology, ilha Rei George, Antártica / Kátia Kellem da Rosa. - Porto Alegre : IGEO/UFRGS, 2008.
139 f. : il.

Dissertação (mestrado). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2008.

Orientação: Prof. Dr. Jefferson Cardia Simões

Co-orientação: Prof. Dra. Rosemary Vieira

1. Antártica. 2. Ilha Rei George. 3. Sedimentação. 4. Ambientes de deglaciação. I. Título.

Catálogo na Publicação
Biblioteca Geociências - UFRGS
Luciane Scoto da Silva CRB 10/1833



Baía do Almirantado, ilha Rei George, vista a partir da geleira Wanda.
Fotografia de Luiz Felipe Velho, 2007.

Dedico esta dissertação...

À família e aos colegas do Nupac pelo apoio e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Ao prof. Dr. Jefferson Cardia Simões pela orientação e recursos à pesquisa a mim oferecidos.

Gostaria de agradecer à Rosemary Vieira por toda a co-orientação recebida durante a realização deste trabalho.

As pessoas que mais admiro no mundo, meus queridos pais, Irene Vieira da Rosa e João Carlos da Rosa, pelo exemplo de persistência e coragem, e por todo o estímulo e ajuda na concretização de minhas conquistas.

A todos os colegas do NUPAC pela ajuda as atividades de campo e elaboração do trabalho. À minha família pelo apoio e compreensão durante a execução desta dissertação.

Ao professor Gilberto Silveira dos Santos, assim como ao Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica – UFRGS (CECO) pela orientação e recursos técnicos a mim oferecidos para a realização dos procedimentos metodológicos.

Ao NUPAC e ao PROANTAR pelos recursos logísticos destinados a proporcionar os trabalhos de campo.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, aos seus professores e funcionários por oferecer um ensino gratuito e de qualidade.

RESUMO

Este trabalho reconstrói, mediante estudos da geomorfologia e da sedimentologia glacial, a evolução do ambiente atual de deglaciação das geleiras Wanda e Ecology, ilha Rei George, Antártica. Os dados foram obtidos pela coletas de amostras de sedimentos em campo seguindo por análises laboratorial granulométrica e morfoscópica, interpretação de fotografias aéreas e de imagens de satélites SPOT. Nos ambientes de deglaciação nas zonas proglaciais das duas geleiras foram identificados os seguintes tipos de depósitos sedimentares: *flutes*, terraços de *kame*, cordões morânicos, pavimento de clastos, rochas estriadas e *eskers*. Nos dois ambientes sedimentares estudados predominam sedimentos desgastados e transportados subglacialmente, com a presença de água de degelo. Desde 1956 essas geleiras estão recuando rapidamente, sem períodos de reavanço. No entanto, é possível observar diferenças nos processo de deglaciação entre elas, na geleira Ecology ocorreu maior perda de área (1,35 km²) do que na geleira Wanda (0,64 km²) em cinco décadas. A retração da geleira Ecology, nesse período, foi maior na parte norte da zona proglacial, já ao sul observam-se morainas frontais não muito elevadas, o que indica pouco tempo de estabilização da frente de gelo. Na geleira Wanda, durante as distintas fases de recuo da geleira, ocorreram mudanças na orientação principal do fluxo de gelo, concomitantemente com a diminuição da sua espessura. A grande proporção de sedimentos finos, rochas estriadas, pavimento de clastos, blocos *stoss in lee* e depósitos subglaciais indicam que as duas geleiras têm regime termal basal temperado (base úmida).

ABSTRACT

This work reconstructs, using geomorphological and glacial sedimentological studies, the evolution of the present deglaciation environment of the Wanda and Ecology glaciers, King George Island, Antarctica. Sediments sampling at the field were followed by granulometric and morphoscopic laboratory analysis, aerial photographs and SPOT satellite imagery interpretation. The following deposits types were identified in the deglaciation environment of the proglacial zones of these two glaciers: flutes, kame terraces, morainic ridges, clast pavements, striated rock surfaces and eskers. In the two environments predominate sediments weathered and transported subglacially with meltwater. The glaciers have been retreating rapidly since 1956, with no re-advances. Nevertheless, there are differences in the deglaciation processes; the Ecology Glacier has lost a greater area (1,35 km²) than the Wanda Glacier (0,64 km²) for the last five decades. The retreat of the Ecology Glacier has been greater at the northern part of the proglacial zone; on the other hand, there are low elevation frontal moraines to the southern part that points out to a recent ice front stabilization. The ice flow orientation of the Wanda Glacier has changed during the different retreat phases; this was concomitantly to an ice thickness reduction. The great proportion of fine sediments, striated rocks surface, clast pavements, stoss in lee blocks and subglacial deposits indicates that the two glaciers have a warm basal thermal regime (wet base).

LISTA DE FIGURAS

Frontispício.....	II
Figura 1 – Localização da geleira Ecology e Wanda, a figura menor localiza a ilha Rei George ao norte da península Antártica.	4
Figura 2 – Frente da geleira Ecology e laguna proglacial.	8
Figura 3 – Localização da geleira Ecology.	8
Figura 4 – Geleira Wanda.	9
Figura 5 – Localização da geleira Wanda.....	10
Figura 6 - Pendente interna da geleira Wanda.....	14
Figura 7– Localização dos pontos de amostragem da geleira Wanda.	23
Figura 8 – Localização dos pontos de amostragem da geleira Ecology.....	23
Figura 9 – Blocodiagrama geomorfológico da área proglacial da geleira Ecology.....	30
Figura 10 – (a) e (b) morainas latero-frontais	31
Figura 11 – As figuras 11a-c são diagramas ternários das amostras 4, 19 e 20. Os gráficos 11d-f mostram, respectivamente, os graus de arredondamento (de 50 grãos com eixo $a > 20$ mm analisados de cada amostra) e índices de RA das amostras 4, 19 e 20. Os gráficos 11g-i mostram os graus de arredondamento para cada 100g coletados..	32
Figura 12 – Gráficos 12 a-c mostram os diagramas ternários das amostras subglaciais 1, 2 e 12. Os gráficos das Figuras d-f mostram os graus de arredondamento (de 50 grãos com eixo $a > 20$ mm analisados de cada amostra) e índices RA. Os gráficos 12 g-i mostram graus de arredondamento analisados em 100 g coletados para cada uma das amostras.	34
Figura 13 – Amostras 1 (9a) e 2 (9b).....	35
Figura 14 – (a) Depósito sobre a rocha moutonnée e (b) – orientação das estrias sobre a mesma rocha.....	36
Figura 15 – Localização dos depósitos de <i>eskers</i> na área proglacial da geleira Ecology. As figuras a-d mostram respectivamente as amostras 3, 5, 6 e 7	37

Figura 16 – Orientação das estrias das amostras 3, 7, 13 e 14 (Figura a) 3 das amostras 8 e 9 (Figura b).	38
Figura 17 – Diagramas triangulares e os índices C_{40}	39
Figura 18 – Os gráficos mostram graus de arredondamento de 50 grãos analisados de cada amostra os quais possuem eixo $a > 20$ mm.	40
Figura 19 – Graus de arredondamento de cada depósito conforme análise de amostras de 100 g.	41
Figura 20 – Modelo geomorfológico da área proglacial da geleira Wanda.	42
Figura 21 – Amostras dos depósitos morânicos latero-frontais da geleira Wanda.	44
Figura 22 – Localização das amostras 4, 22-24 conforme indicadas nas fotografias.	45
Figura 23 – Blocos erráticos situados junto ao cordão morânico onde foi coletada a amostra 7.	46
Figura 24 – Os gráficos mostram graus de arredondamento de 50 grãos analisados de cada amostra os quais possuem eixo $a > 20$ mm.	47
Figura 25 – Graus de arredondamento de cada depósito conforme análise de amostras de 100 g.	48
Figura 26 – Diagramas triangulares mostram os raios dos três eixos ortogonais da partícula e os índices C_{40} das amostras 4, 7, 12, 21-24, 28, 29 e 35 respectivamente.	49
Figura 27 – Fotografia (a) mostra estrias no embasamento rochoso no local da amostra 22 e com orientação de $N40^{\circ}E$. A deposição dos depósitos morânicos é posterior ao estágio de estriamento destas rochas. (b) Estrias no embasamento rochoso sob a amostra 28 com orientação de $N55^{\circ}E$	50
Figura 28 – Atividade orgânica – presença de líquens e musgos ramificados – estabilidade do depósito.	50
Figura 29 – As Figuras a e b mostram respectivamente o local das amostragens 11 e 33 correspondentes aos depósitos morânicos frontais de recessão	51
Figura 30 – Gráficos a-e c mostram os graus de arredondamento e diagrama ternário com índice C_{40} da amostra 11. Os gráficos d-f mostram os graus de arredondamento e diagrama ternário com índice C_{40} da amostra 33.	52
Figura 31 – Depósitos subglaciais expostos no ambiente de deglaciação da geleira Wanda.	54

Figura 32 – Graus de arredondamento de cada depósito conforme análise de amostras de 10 g.....	55
Figura 33 – Graus de arredondamento de cada depósito conforme análise de amostras de 100 g.....	56
Figura 34 – Diagramas ternários e índices C_{40} . As Figuras a, d, f, h e i demonstram predomínio de grãos com características de transporte ativo. Já as Figuras b, c, e, g indicam mistura de diferentes origens de transporte ou grãos subglaciais imaturos.	57
Figura 35 – Depósito de pavimento de clastos com grande concentração de seixos (Fotografia de Vieira, 2007).....	58
Figura 36 – Histograma de arredondamento dos grãos (a), diagrama ternário e o índice C_{40} (b).....	59
Figura 37 – Feições erosivas correspondentes ao local das amostras 25 e 26 (figura a) e 27 (figura b) formadas quando a geleira possuía maior volume e extensão.....	60
Figura 38 – Os gráficos a-c mostram o gráfico dos graus de arredondamento de 50 grãos com eixo $a > 20$ mm analisados em cada amostra e índices de RA das amostras 25, 26 e 27. Os gráficos das d-f mostram grau de arredondamento em 100 g cada amostra.....	60
Figura 39 – Diagramas ternários e índices C_{40} mostram tendência para os grãos serem mais alongados e indica imaturidade dos grãos.	61
Figura 40 – Localização dos <i>flutes</i> na área proglacial da geleira Wanda.....	62
Figura 41 – Os gráficos mostram graus de arredondamento de 50 grãos com eixo $a > 20$ mm analisados de cada amostra e índices de RA, também mostram o arredondamento em 100 g coletados para cada amostra.....	64
Figura 42 – Os gráficos mostram graus de arredondamento em 100 g coletados para cada amostra.....	65
Figura 43 – Diagramas ternários e índices C_{40} As Figuras b, d, e, f, h, i e j demonstram o predomínio de grãos com características de transporte ativo.....	66
Figura 44 – Localização do terraço de <i>kame</i> próximo à costa.....	67
Figura 45 – Gráfico a e b mostram o grau de arredondamento da amostra 13. De acordo com o gráfico c, os grãos têm tendência a serem mais esféricos.	68
Figura 46 - Retração desde 1956 da geleira Ecology e orientação do fluxo de gelo predominante (N27°E).....	70

Figura 47 – Reconstrução do ambiente de deglaciação da geleira Ecology segundo fases de retração e os depósitos expostos na área proglacial norte representados pelo número de cada amostra. A área ao sul não foi amostrada pela dificuldade de acesso.....	71
Figura 48 – Diagramas ROSE (a-e) mostram a orientação do fluxo de gelo em diferentes fases de retração da geleira Wanda conforme sugeridas pelas estriações.	72
Figura 49 – Seqüência da retração da geleira Wanda durante as últimas cinco décadas (1956-2005).	73
Figura 50 – Cordão morânico no limite mais oriental da geleira Wanda.	74
Figura 51 – Fotografia a mostra o bloco rochoso subglacial (amostra 5) localizado no setor elevado da moraina oriental a 101 metros de altitude..	75
Figura 52 – Índices RA das amostras da geleira Wanda (a) e Ecology (b).	78
Figura 53 – Índices C40 das amostras das geleiras Wanda (a) e Ecology (b).....	79
Figura 54 – Índice de co-variância da geleira Ecology (a) e Wanda (b).	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Retração das geleiras Wanda e Ecology no período 1956 – 2000.....	70
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS

AAEG – Área Antártica Especialmente Gerenciada

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

CECO – Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica

OPERANTAR – Operação Antártica

GPS – Sistema de Posicionamento Global

HRV – *Haute Résolution Visible*

SUMÁRIO

CAPA	I
FRONTISPÍCIO	II
DEDICATÓRIA	III
AGRADECIMENTOS	IV
RESUMO	V
ABSTRACT	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	XI
LISTA DE ABREVIATURAS	XII
SUMÁRIO	XIII
1.1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.2 – OBJETIVOS.....	2
1.2.1 – Objetivo geral.....	2
1.2.2 – Metas.....	2
1.3 – JUSTIFICATIVA.....	3
1.4 – ÁREA DE ESTUDO.....	4
1.4.1 – Localização.....	4
1.4.2 – Climatologia.....	5
1.4.3 – Geologia.....	5
1.5 – GLACIOLOGIA DA ILHA REI GEORGE.....	6
1.5.1 – A cobertura de gelo.....	6
1.5.2 – Geleiras Ecology e Wanda.....	7
1.5.3 – Variações na extensão das geleiras Ecology e Wanda.....	11
CAPÍTULO 2 - GEOMORFOLOGIA E SEDIMENTOLOGIA APLICADAS À RECONSTRUÇÃO DE AMBIENTES DE DEGLACIAÇÃO	15
2.1 – INTRODUÇÃO.....	15
2.2 – ESTUDOS COM INTERPRETAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA DE AMBIENTES DE	15
DEGLACIAÇÃO.....	15
2.3 – CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS E MORFOLOGIA DO CLASTO.....	17
2.4 – CARACTERÍSTICAS SEDIMENTARES PRODUZIDAS NO TRANSPORTE.....	18
ATIVO.....	18

2.5 – CARACTERÍSTICAS SEDIMENTARES PRODUZIDAS NO TRANSPORTE.....	19
PASSIVO	19
2.6 – INFLUÊNCIA DO REGIME TERMO-BASAL NA SEDIMENTAÇÃO GLACIAL	20
2.7 – SISTEMA DEPOSICIONAL GLACIAL	21
CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS	22
3.1 – INTRODUÇÃO	22
3.2 – AMOSTRAGEM DE SEDIMENTOS	22
3.3 – ANÁLISES LABORATORIAIS.....	24
3.3.1 – Análise granulométrica.....	24
3.3.2 – Análise morfoscópica	25
3.4 – FOTOINTERPRETAÇÃO.....	27
3.5 – PROCESSAMENTO DE IMAGEM DE SATÉLITE	28
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS	29
4.1 – INTRODUÇÃO	29
4.2 – CARACTERÍSTICAS SEDIMENTARES E GEORFORMAS DA GELEIRA ECOLOGY ..	29
4.2.1 – Depósitos morânicos	30
4.2.2 – Depósitos e geofomas subglaciais	33
4.2.3 – Depósitos subglaciais glaciofluviais – Eskers.....	36
4.3 – CARACTERÍSTICAS SEDIMENTARES E GEORFORMA DA GELEIRA WANDA	42
4.3.1 – Depósitos morânicos	43
4.3.2 – Depósitos e geofomas subglaciais	53
4.3.2.3 – GEORFORMAS EROSIVAS SUBGLACIAIS.....	59
4.3.3 – Depósitos subglaciais glaciofluviais – Flutes e kames.....	61
4.3.3.1 – FLUTES.....	61
4.3.3.2 – TERRAÇO DE KAME.....	67
CAPÍTULO 5 – DISCUSSÃO	69
5.1 – INTRODUÇÃO	69
5.2 – FASES DE RETRAÇÃO E RECONSTRUÇÃO DA EVOLUÇÃO DO AMBIENTE DE DEGLACIAÇÃO DA GELEIRA ECOLOGY	69
5.3 – FASES DE RETRAÇÃO E RECONSTRUÇÃO DA EVOLUÇÃO DO AMBIENTE DE DEGLACIAÇÃO DA GELEIRA WANDA.....	72
5.3.1 – FASE ANTERIOR A 1956	74
5.3.2 – ESTÁGIO 1: 1956 A 1979	74
5.3.3 – ESTÁGIO 2: 1979 A 1988	75

5.3.4 – ESTÁGIO 3: 1988 A 1995	75
5.3.5 – ESTÁGIO 4: 1995 A 2000	76
5.4 – COMPARAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS SEDIMENTARES E GEOMORFOLÓGICAS E DA RETRAÇÃO DAS GELEIRAS WANDA E ECOLOGY	76
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES	81
6.1 – CONCLUSÕES	81
6.2 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
ANEXO A – GRÁFICOS DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE SEDIMENTOS.....	95
ANEXO B – CARACTERÍSTICAS DO SELECIONAMENTO DE SEDIMENTOS.....	103
ANEXO C – GRÁFICOS DE ESFERICIDADE.....	105
ANEXO D – GRÁFICOS DE TEXTURA SUPERFICIAL DE SEDIMENTOS.....	111
ANEXO E – CLASSIFICAÇÃO DO AMBIENTE DEPOSICIONAL.....	120
ANEXO F – HISTOGRAMAS DE RANHURAS E SULCOS	121
ANEXO G – COORDENADAS GEOGRÁFICAS DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM ..	123

CAPITULO 1– INTRODUÇÃO

1.1 – INTRODUÇÃO

Uma geleira move-se erodindo, transportando e depositando rochas e sedimentos (Bennett e Glasser, 1996). Partículas e fragmentos rochosos são transportados pelas geleiras sobre a sua superfície (supraglacial), no seu interior (englacial) e na região basal (subglacial). Eles podem ser transportados secundariamente como material glaciofluvial por correntes de água de degelo (Hambrey, 1994).

Os processos erosivos e deposicionais glaciais são dificilmente observados diretamente no interior e na base da geleira, por isto se estudam as geoformas e depósitos expostos nas áreas de deglaciação, ou seja, aquelas áreas recentemente expostas pela retração do gelo (Bennett e Glasser, 1996). Os registros sedimentares e geomorfológicos encontrados nesses ambientes são importantes para a interpretação dos processos erosivos e deposicionais glaciais que afetaram os sedimentos e, dessa forma, podem ser úteis para reconstruir a evolução, dinâmica e as condições termais do ambiente glacial. Além disso, pelo mapeamento geomorfológico da área de deglaciação pode-se inferir as condições dinâmicas da geleira e suas fases de recuo ou avanço. Por exemplo, morainas documentam fases de retração e possibilitam reconstruir perfis superficiais da geleira (Evans e Twigg 2002).

Muitas pesquisas já foram realizadas interpretando os processos glaciais pelo exame das características sedimentológicas e geomorfológicas dos sedimentos e depósitos expostos: Boulton (1970, 1974, 1978, 1979), Dreimanis e Vagners (1987), Lister (1981), Haldorsen (1981), Benn e Ballantyne (1993, 1994), Humlum (1985), e Adam e Knight (2003) interpretaram esses processos a partir do estudo da forma da partícula sedimentar. Boulton (1972), Lian e Hicock (2000), Glasser e Hambrey (2001), Glasser e Hambrey (2002), Evans

e Twigg (2002), Etienne *et al.* (2003), usaram a sedimentologia e geomorfologia glacial para a reconstrução dos processos e da evolução do ambiente de deglaciação de geleiras.

Mais especificamente, para a área geográfica desta dissertação, na ilha Rei George, Antártica, há estudos associados à sedimentologia glacial tais como os de Gruber (1989) sobre a sedimentologia glaciomarinha na baía do Almirantado; de Aquino (1999), que investiga os processos e controles da sedimentação moderna associada à geleira Lange; Birkenmajer (2002) sobre a retração da geleira Ecology e sua área proglacial e, finalmente, Vieira *et al.* (2005), Rosa (2006) e Rosa *et al.* (2007) que realiza a interpretação sedimentológica e geomorfológica do ambiente de deglaciação da geleira Ecology.

1.2 – OBJETIVOS

1.2.1 – Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo, mediante estudos da geomorfologia e da sedimentologia glacial, reconstruir a evolução do ambiente atual de deglaciação das geleiras Wanda e Ecology, localizadas na ilha Rei George, Antártica.

1.2.2 – Metas

- a) Examinar processos erosivos e deposicionais subglaciais deixados nos ambientes de deglaciação da zona proglacial da geleira Ecology e Wanda, que exibem geofomas deglaciais marcantes;
- b) Levantar as características morfológicas da geleira Ecology e Wanda;
- c) Analisar o papel do regime termo-basal e da topografia sobre a dinâmica do gelo e sedimentação;
- d) Identificar os diferentes tipos de depósitos encontrados na zona proglacial da geleira Ecology e Wanda e analisar os processos erosivos e deposicionais glaciais pelos quais foram submetidos os sedimentos;
- e) Construir um mapa geomorfológico para a zona proglacial da geleira Wanda e aperfeiçoamento do modelo já realizado da geleira Ecology;

1.3 – JUSTIFICATIVA

Vários estudos indicam um aumento na temperatura atmosférica superficial entre 2,5 a 3°C na Península Antártica nos últimos 55 anos, esta região apresentou nas últimas décadas um aquecimento regional mais intenso, quando comparado a outras regiões do planeta (IPCC, 2007). Segundo Turner, *et al.* (2005), ocorreu aumento desta temperatura de até +0,56°C por década no setor oeste da Península (na estação *Faraday/Vernadsky* 65°15'S, 64°16'W). De acordo com Monaghan *et al.* (2008), a temperatura da região da península Antártica aumentou 3°C desde 1950.

Resultado dos processos de retração tem-se associado à formação de ambientes de deglaciação recentes, onde é possível perceber rápidas mudanças morfológicas. Esta proposta de estudo tem por base o importante papel dos processos de erosão e deposição glacial, observáveis nestes ambientes de deglaciação, no reflexo da variabilidade climática sobre as geoformas e os sedimentos.

Estudar ambientes de sedimentação em áreas recentemente deglaciarizadas é necessário para melhor entender os produtos sedimentares e geoformas deixadas por geleiras que apresentam rápida retração. Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007), as geleiras da Península Antártica apresentaram rápida resposta ao aquecimento regional ao longo das últimas décadas. O derretimento da neve e do gelo contribui para a elevação do nível médio dos mares e para variações climáticas. Nesse sentido a reconstrução da evolução do ambiente de deglaciação permite monitorar o recuo das geleiras que respondem às variações climáticas regionais. Nesse a investigação dos regimes termiais das geleiras é ainda importante para compreender os processos erosivos e deposicionais glaciais.

Particularmente, as geleiras Wanda e Ecology têm passado por um rápido processo de retração nas últimas décadas, conforme será discutido a adiante. Por serem geleiras de base terrestre, deixam exposta uma ampla área proglacial e exibem processos e geformas deglaciais marcantes, favorecendo, desta forma, o acesso e os trabalhos de campo.

1.4 – ÁREA DE ESTUDO

1.4.1 – Localização

As geleiras Wanda e Ecology (Figura 1) estão localizadas na costa ocidental e oriental da baía do Almirantado (ilha Rei George), respectivamente.

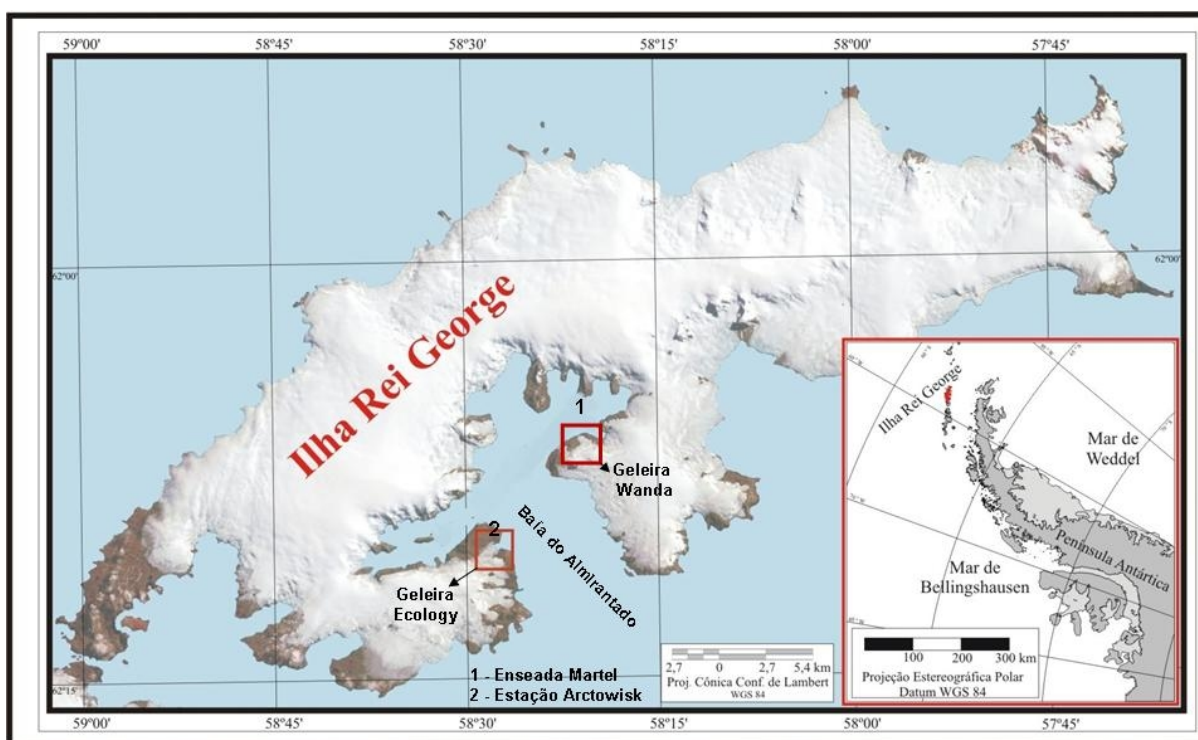


Figura 1 – Localização da geleira Ecology e Wanda, a figura menor localiza a ilha Rei George ao norte da península Antártica.

1.4.2 – Climatologia

As ilhas Shetland do Sul situam-se na região de baixa pressão circumpolar, onde o clima é determinado pelas sucessivas passagens de sistemas ciclônicos, em sua maioria originários do setor sudeste do oceano Pacífico. Esses sistemas transportam ar relativamente quente e úmido. O clima é tipicamente marítimo, apresentando pequenas variações na temperatura atmosférica ao longo do ano, alta umidade relativa do ar (entorno de 82%) e constante cobertura de nuvens (Rakusa-Suszczewski *et al.*, 1993; Binjanta, 1995). Há uma forte variabilidade interanual das condições atmosféricas (Braun *et al.*, 2004).

Na estação Arctowisk (Lat. 62°10'S e Long. 58°28'W), a temperatura média mensal varia entre 2,2°C em janeiro e - 7,1°C em julho (Martianov e Rakusa-Suszczewski, 1989); a média mensal da temperatura do ar durante o verão alcança valores entorno de 0°C (Domack e Ishman, 1993; Braun, 2001).

Os ventos predominantes na região são oriundos das direções norte, noroeste, oeste e sudeste (Braun *et al.*, 2004). A maior parte da precipitação é na forma de neve (Simões *et al.*, 1999).

Ao longo dos últimos 30 anos os dias do ano com precipitação líquida no verão aumentaram e, juntamente com as temperaturas médias de 0°C durante esta estação, aceleram a fusão de neve e gelo, aumentando o balanço de massa negativo das geleiras da ilha (Ferrando, no prelo).

1.4.3 – Geologia

O arquipélago da Shetland do Sul é parte emersa da cordilheira Scotia, estruturada durante a fragmentação do Gondwana. Essa cordilheira liga a América do Sul e a Península Antártica com diversos afloramentos (Sudgen e John, 1976; Bremer, 1998).

O embasamento das Shetlands do Sul constitui-se de rochas formadas desde o Pré-Cambriano até o Terciário Médio ou Superior, sendo formado por rochas sedimentares, metasedimentares, vulcânicas e de suítes intrusivas. A litoestratigrafia do arquipélago se constitui de sedimentos do Paleozóico Superior, eventualmente metamorfisados em função dos processos vulcânicos (Jurássico ao Terciário) e de intrusões plutônicas (Cretáceo Superior ao Terciário) (Curl, 1980).

A ilha localiza-se numa zona tectonicamente ativa, que esteve sujeita as múltiplas glaciações e a movimentos glacio-eustáticos desde o começo do Oligoceno (Birkenmajer, 1991; Ingólfsson *et al.*, 1992).

1.5 – GLACIOLOGIA DA ILHA REI GEORGE

1.5.1 – A cobertura de gelo

A calota de gelo que cobre aproximadamente 92,7% da ilha Rei George possui a altitude máxima entorno de 700 metros de altitude (Bremer, 1998). É formada por domos assimétricos e interligados (Simões e Bremer, 1995). As massas de gelo fluem dos domos por meio de bacias de drenagem de diferentes amplitudes e sob condições topográficas variadas (Bremer *et al.*, 2004). Foram delimitadas 70 bacias de drenagem na e que fluem a partir de um alinhamento subglacial SW-SE, demonstrando o controle estrutural da calota de gelo (Simões e Bremer, 1995). Podem ser encontradas na ilha bacias de drenagem amplas e com declives suaves ou até mais constrictas lateralmente e com declive abrupto (Bremer *et al.*, 2004).

As geleiras situadas em áreas com gradiente superficial acentuado possuem fluxo rápido e com muitas fraturas. Há geleiras de maré, com a descarga terminando em água (Lange e Krak) e geleiras de descarga com suas terminações em terra (Ecology e Wanda).

Existem evidências da retração das geleiras da baía do Almirantado nas últimas décadas (Bremer 1998, Simões *et al.*, 1999). Nas geleiras próximas a baía, a diminuição das

bacias de drenagem foi mais acentuada. Essas bacias são mais íngremes do que aquelas que drenam para a passagem de Drake. Provavelmente essas mudanças refletem a variabilidade climática da região (Bremer *et al.*, 2004). As massas de gelo das Shetlands do Sul são particularmente sensíveis às variações climáticas, em função de sua posição geográfica (Lat. 61°04'S – 63°20'S e Long. 54°00'W – 62°25'W), da pequena espessura de gelo e por estarem muito próximas do ponto de fusão sobre pressão (Arigony-Neto *et al.*, 2001).

1.5.2 – Geleiras Ecology e Wanda

As duas geleiras, com altimetrias entre 0 a 300 metros de altitude, localizam-se em uma área de declive não muito acentuado, 5 a 10 m na geleira Ecology e 10 a 20 m na geleira Wanda (Arigony-Neto, 2001).

A geleira Ecology (Figuras 2 e 3) é alimentada pelo campo de gelo *Warszawa* e flui para a baía do Almirantado. Atualmente ela possui base terrestre, ou seja, a maior parte de suas paredes frontais de gelo está situada acima do nível do mar (Birkenmajer, 2002) e tem uma área de 5,55 km² (Arigony-Neto, 2001). A parte frontal da geleira, com aproximadamente 700 m de largura, termina em uma parede de gelo vertical de 20 m de altura e que desprende sobre a laguna Ecology, a qual se comunica com a baía do Almirantado (Figuras 2 e 3). Na área de ablação há muitas fendas e água de degelo. Há poucos detritos sobre a superfície, sendo exceção a zona de gelo estagnado, situado no flanco norte da geleira (Vieira *et al.*, 2005).



Figura 2 – Frente da geleira Ecology e laguna proglacial (Fotografia de Vieira, 2007).

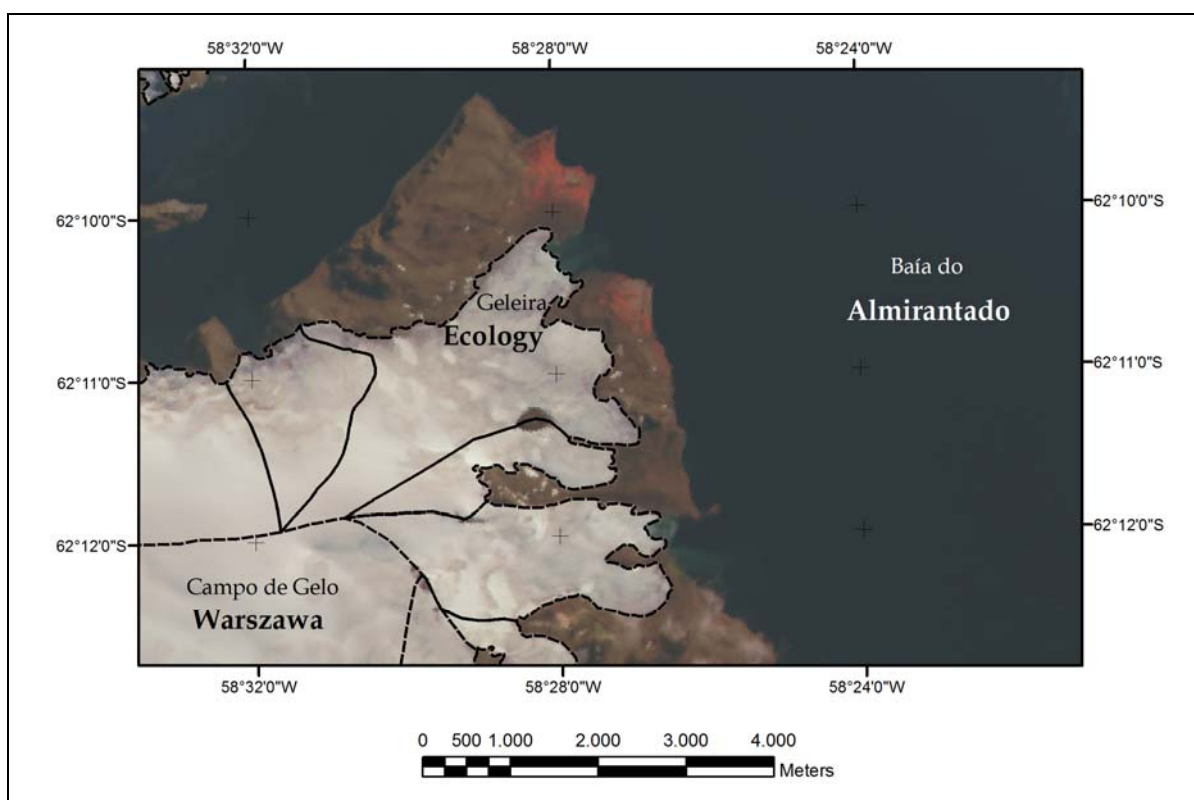


Figura 3 – Localização da geleira Ecology (Cortesia de Luiz Felipe Velho).

A geleira Wanda pertence ao campo de gelo Kraków e tem 1,63 km² de área (Arigony-Neto, 2001), sua frente de gelo é fina (no máximo 1 metro) e comunica-se com a baía do Almirantado através de uma laguna proglacial (Figuras 4 e 5).

As geleiras Wanda e Ecology, que atualmente possuem terminações em terra, eram geleiras de maré até recentemente, ou seja, terminando no mar. Como resultado da retração dessas duas geleiras (observada desde a década de 1950), desenvolveram-se várias formas erosivas e depósicionais atualmente expostas nas áreas de deglaciação, tais como cordões morânicos, *esker* e *flutes*. Esta paisagem é susceptível a rápidas modificações por processos paraglaciais, tais como atividades de vertentes e marinhas (Vieira *et al.*, 2005). Na parte central das frentes das geleiras, como resultado da deglaciação, formaram-se lagunas proglaciais.



Figura 4 – Geleira Wanda (Fotografia de Vieira, 2007). A área de acumulação encontra-se a aproximadamente 300 metros acima do nível do mar (observada em campo).

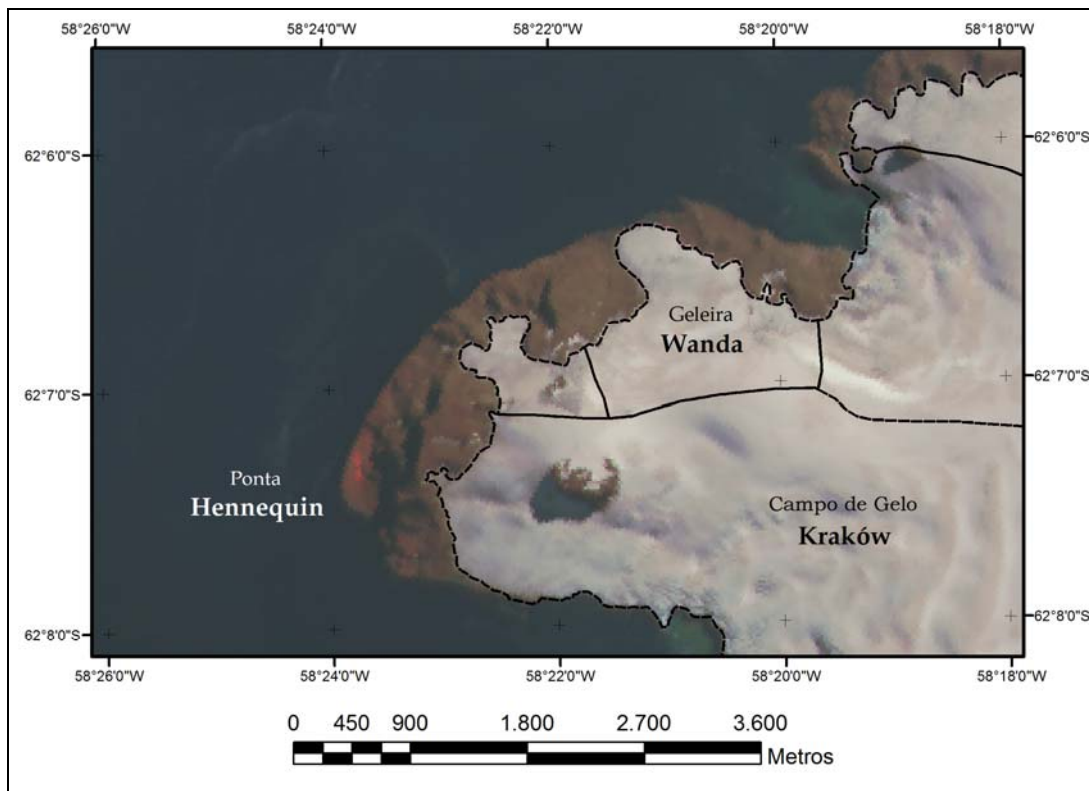


Figura 5 – Localização da geleira Wanda (Cortesia de Luiz Felipe Velho, 2008).

O ambiente de sedimentação formado na zona proglacial da geleira Ecology é complexo e, durante a Operação Antártica (OPERANTAR) XX, foram identificadas quatro subzonas geomórficas: cordões morânicos, zona subglacial, zona glaciofluvial e zona de influência marinha (Vieira *et al.*, 2005).

Os cordões morânicos caracterizam-se por um complexo de morainas laterais e latero-frontais bem desenvolvidas. Cordões internos são mais facilmente identificados no setor norte do que no sul. Entre os cordões morânicos observam-se rochas *moutonnées* expostas. As morainas próximas à costa sofrem modificação por processos glaciais e marinhos. A zona subglacial está localizada próxima à parte frontal da geleira e apresenta uma espessa camada basal de material siltoso e arenoso e rochas estriadas. Observa-se, também, a presença de *flutes* paralelos ao fluxo do gelo. A zona glaciofluvial caracteriza-se por ser uma zona de sedimentos lavados e um conjunto de canais de degelo. Entre os cordões morânicos são

encontradas pequenas lagunas alimentadas por canais de água de degelo, onde os sedimentos são constituídos de areia e cascalho e são arredondados devido à ação glaciofluvial. A zona de influência marinha está localizada junto à laguna Ecology, que sofre a interferência de processos marinhos e também de bandejas-de-gelo (placas de gelo com menos de 20 m de extensão) e blocos de gelo (pedaços de gelo flutuantes com menos de 5 m acima do nível do mar e com no máximo 10 metros de comprimento). Nas zonas intermarés norte e sul da laguna Ecology e transversalmente a frente da geleira há pavimentos de clastos (Vieira *et al.*, 2005).

A grande quantidade de depósitos e geoformas erosivas subglaciais, como rochas *moutonnées*, rochas facetadas e estriadas, *till* de alojamento, rochas *stoss and lee* e pavimento de clastos também indicam um regime termo basal temperado ou úmido para a geleira Ecology (Rosa, 2006).

1.5.3 – Variações na extensão das geleiras Ecology e Wanda.

Na ilha Rei George ocorreram duas grandes glaciações desde o Pleistoceno. Birkenmajer (1997) denominou-as como glaciação do Pleistoceno Superior e de Glaciação Warszawa. A extensão máxima da calota de gelo na glaciação do Pleistoceno Superior ocorreu aproximadamente, entre 20.000 e 18.000 anos A.P. (Birkenmajer, 1981). Entre 9,000 – 5,000 A.P. houve outra deglaciação (Mausbacher *et al.*, 1989). Em torno 7.000-8.000A.P. ocorreu o *optimum* climático do Holoceno (Hjort *et al.*, 1998). Estudos sugerem que este avanço dos campos de gelo durante o Holoceno deve ter sido com geleiras não espessas, pouco erosivas e de base termal fria (Hall, 2003). Para após esse período, entre 4.000-2.700 A.P., Yoon *et al.* (2000) sugerem um clima mais úmido e mais quente nas Shetlands do Sul.

Ao longo do período 1956-2005 esta foi a região que apresentou um dos maiores aquecimentos da atmosfera superficial (IPCC-2007). O maior aquecimento, chegando a +1,09

°C por década, ocorreu no inverno para a maioria das estações da Antártica. De acordo com Monaghan, *et al.* (2008) a temperatura nesta região da península Antártica aumentou 3°C nos últimos 50 anos. Este aquecimento regional foi acompanhado de retração das frentes de gelo, desprendimentos freqüentes de *icebergs*, mudanças no padrão de precipitação e redução do gelo marinho sazonal (Arigony-Neto *et al.*, 2006).

As massas de gelo das Shetlands do Sul passam por um processo de retração acelerada nas últimas décadas, provavelmente associado ao aquecimento atmosférico regional. Nas duas últimas décadas ocorreu aceleração da retração algumas geleiras de maré na Baía do Almirantado, como a Ecology, a Baranowski e a Lange, além de suas vizinhas mais próximas, como a geleira Wanda (Birkenmajer, 2002).

A geleira Ecology está em contínua retração desde o verão de 1956/7. Entre 1956/7 a 1988/9 ela recuou, em média, 4,5 a 5 m ano⁻¹ (Birkenmajer, 2002). Entre 1961 a 1978 ela perdeu aproximadamente 8.000 m ano⁻¹ (Kejna *et al.*, 1998). A retração acelerou-se rapidamente na década passada (1989-1999) atingindo até 30 m ano⁻¹ (Birkenmajer, 2002). Entre 1961 e 1996 a superfície da geleira perdeu 677.000 m². Durante 10 anos, de 1987 até 1996, a altura da parede frontal da geleira Ecology decresceu de 29,5 m para 20,1 m. A maior retração ocorreu na parte norte, totalizando 480 metros de recuo, na parte sul foi de 380 metros (Kejna *et al.*, 1998). Desde 1979 a retração foi de aproximadamente 400 metros (Vieira *et al.*, 2005). Presença de musgos e líquens na parte subaérea exposta da geleira Wanda também evidencia esse processo. A retração das duas geleiras gerou um ambiente de deglaciação, com a exposição de várias geoformas na zona proglacial, tais como *eskers*, *flutes*, cordões morânicos, rochas *moutonnées* e rochas estriadas. A área proglacial da geleira Ecology foi estudada por vários autores, tais como Birkenmajer (2002), Vieira *et al.*, (2005), Rosa (2006) e Rosa *et al.* (2007).

A geleira Ecology, atualmente com base terrestre, foi uma geleira de maré (*tidewater glacier*) até a década de 1950, afirmação corroborada pela presença de um arco morânico submarino. Essa classe de geleira pode retroceder rapidamente, quando não consegue manter sua posição frontal, uma vez deslocada de um ponto de apoio (*pinning point*) ou de alguma constricção topográfica (Meier e Post, 1987; Powell, 1991).

Na geleira Wanda podem-se inferir alguns processos importantes: (a) alterações próximas a parte frontal da geleira, tais como diminuição da espessura até o ponto de flutuação; (b) a diminuição da espessura próxima a parte frontal elevou a pendente da parte interior da geleira, como pode ser observado na Figura 6, o que produziu aumento da velocidade nessa zona. Tais mudanças da dinâmica são observadas em algumas geleiras de descarga (*outlet glaciers*) na Groenlândia (Moon e Jouguin, 2008), as quais podem produzir uma retroalimentação positiva, desestabilizando assim o gelo na parte frontal. Relacionado a esses processos estão a elevação da temperatura da água que pode intensificar a fusão embaixo da parte flutuante da geleira e a sua diminuição de espessura, além da variabilidade interanual do gelo marinho que pode expor mais facilmente a parte frontal da geleira a ação das ondas, exercendo forte influência sobre os processos de desprendimento (*calving*) e de diminuição de espessura.



Figura 6 - Pendente interna da geleira Wanda (Fotografia de Luiz Felipe Velho, 2007).

CAPÍTULO 2 - GEOMORFOLOGIA E SEDIMENTOLOGIA APLICADAS À RECONSTRUÇÃO DE AMBIENTES DE DEGLACIAÇÃO

2.1 - INTRODUÇÃO

Os processos erosivos subglaciais são pouco entendidos, pois ocorrem sob a geleira e não podem ser facilmente observados (Bennett e Glasser, 1996). Isso também decorre da alta complexidade destes processos, os quais requerem entendimento das propriedades do material rochoso, da dinâmica do gelo, da termodinâmica, da fricção e da lubrificação, e efeitos físicos e químicos e hidrologia subglacial (Drewry, 1986). Para compreender estes processos são estudadas as geoformas produzidas pela erosão subglacial reveladas na deglaciação (Bennett e Glasser, 1996; Adam e Knight, 2003). Pela análise das características texturais e morfológicas dos sedimentos coletados na área de deglaciação é possível investigar os processos erosivos e deposicionais e o tipo de transporte aos quais foram submetidos esses materiais (Bennett e Glasser, 1996).

2.2 - ESTUDOS COM INTERPRETAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA DE AMBIENTES DE DEGLACIAÇÃO

Vários estudos para a reconstrução de ambiente glacial passado foram feitos: Boulton (1972), Lian e Hicock (2000), Glasser e Hambrey (2001), Etinne *et al.* (2003) descreveram o ambiente de deglaciação e inferiram o regime termal glacial basal baseado no registro sedimentar, fazendo interpretações do ambiente deposicional pela análise das características morfooscópicas e granulométricas sedimentares.

A distribuição espacial de geoformas tais como morainas pode ser usada para inferir as condições subglaciais, o comportamento, a dinâmica de avanço e recuo da geleira e assim, reconstruir um modelo de retração glacial (Boulton *et al.*, 1985; Harbor, 1993; Kleman, 1994; Punkari, 1995; Kleman e Borgstrom, 1996; Kleman *et al.*, 1997; Colgan e Principato, 1998; Kleman e Hattestrand, 1999; Cuffey *et al.*, 2000; Clark *et al.*, 2000; Martini *et al.*, 2001; Boulton *et al.*, 2001; Stokes e Clark, 2003; Kleman *et al.*, 2006). Baseando-se na interpretação de fotografias aéreas e análises sedimentares, autores como Glasser e Hambrey (2002) e Evans e Twigg (2002) realizaram mapeamento da área proglacial, interpretando as feições geomorfológicas respectivamente das geleiras *Soler*, no Norte da Patagônia, e *Breiðamerkurjökull* and *Fjallsjökull*, na Islândia. Com fotografias aéreas tomadas em diferentes anos e o reconhecimento das posições das morainas de recessão, Evans e Twigg (2002) inferiram a extensão e posição atingida pelas geleiras em suas várias fases de avanço e recuo, construindo um modelo da deglaciação.

Dessa forma, a reconstrução do padrão de deglaciação e direção do fluxo de gelo pode ser realizada com o mapeamento, utilizando imagens de satélite de alta resolução, dos depósitos paralelos ao fluxo de gelo tais como *eskers* e *flutes*, além da orientação das estrias no embasamento rochoso, principalmente em geleiras de regime termal úmido. No manto de gelo *Fenoscandiano*, na península Kola, Rússia, foi verificado, pelo registro geomorfológico, que o fluxo de gelo mudou de direção durante a deglaciação, ocorrendo reavanços e retrações em duas fases distintas. Quando o gelo ficou mais espesso, sua direção mudou refletindo a topografia local (Hätttestrand e Clark, 2006 e Hätttestrand *et al.*, 2007).

De acordo com Boulton (1972) e Glasser e Hambrey (2001), sedimentos subglaciais fornecem informações sobre as condições termais, dinâmica passada e atual da geleira. Compreender o regime termo basal de uma geleira é, portanto, muito importante. As condições termais controlam a dinâmica da geleira e a maneira como os sedimentos são transportados,

erodidos e depositados (Boulton, 1972; Kleman e Hattestrand, 1999). Nesse sentido, os depósitos sedimentares permitem a reconstrução do ambiente de deglaciação, como, por exemplo, a resposta a um aquecimento climático regional (Bennett e Glasser, 1996).

Adam e Knight (2003) reconstruíram as características do gelo basal e das condições subglaciais da geleira Russell, Groenlândia Ocidental, usando informações da forma e arredondamento de sedimentos morânicos analisados pela co-variância entre o índice RA (porcentagem de clastos angulares e muito angulares) e o índice C_{40} (porcentagem de clastos com raios $c:a \leq 0,4$). Esse método foi inicialmente proposto por Benn e Ballantyne (1994). Glasser e Hambrey (2002) também utilizaram esse método para analisar e distinguir fácies glaciais na geleira *Soler*, no Norte da Patagônia.

2.3 – CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS E MORFOLOGIA DO CLASTO

A forma do clasto consiste em arredondamento (grau de curvatura das bordas), esfericidade (dimensão relativa dos três eixos ortogonais do clasto – eixos a (maior), b (intermediário), e c (menor)) e a textura (arredondamento superficial) (Barrett, 1980). Essas características podem ser usadas para interpretar a história erosiva dos grãos (Benn e Ballantyne, 1993; Lewis e Mcconchie, 1994). Para Benn e Ballantyne (1994), a forma do clasto pode ser usada para reconstruir o padrão de transporte dos detritos, diferenciando os clastos transportados ativamente (na base da geleira) e passivamente (na zona englacial e supraglacial) na geleira.

Desta forma, as características morfológicas de um clasto transportado glacialmente fornecem uma importante informação sobre os processos e ambientes glaciais. A forma do clasto reflete as propriedades físicas do material de origem e subsequente modificação por erosão, desgaste e transporte. Assim, o estudo das características dos clastos prevê um meio de reconstruir o padrão de mobilização, transporte e deposição pelas geleiras. Particularmente, a análise da forma e do arredondamento prevê um importante meio para discriminar clastos

com diferentes histórias de erosão, permitindo analisar o efeito de sua progressiva modificação com o aumento da distância de transporte e também da mistura de grãos que sofreram diferentes transportes (Benn e Ballantyne, 1994).

Detritos rochosos podem sofrer ou não grandes modificações, dependendo do tipo de transporte glacial. Os materiais rochosos transportados na base da geleira possuem características muito diferentes daqueles transportados passivamente (Hambrey, 1994). Essas diferenças podem ser usadas para interpretar a história de transporte glacial (Bennett e Glasser, 1996).

Muitos clastos possuem características intermediárias entre os transportados passivamente e ativamente. Em alguns casos, a interpretação desses sedimentos torna-se problemática, pois pode ser difícil diferenciar os detritos transportados ativamente imaturos e uma mistura de detritos transportados ativamente e passivamente (Benn e Ballantyne, 1994).

2.4 – CARACTERÍSTICAS SEDIMENTARES PRODUZIDAS NO TRANSPORTE

ATIVO

Detritos transportados na base da geleira adquirem certas características distinguíveis. O clasto possui superfície facetada (superfícies achatadas com bordas arredondadas) e polida, com sulcos e estrias, possui alto raio do eixo c/a e tende a ser mais esférico e arredondado (Hambrey, 1994, Boulton 1978; Benn and Ballantyne, 1993), comparado ao clasto que é carregado passivamente (Suguio, 2003).

Estrias são linhas ou aranhões existentes na base ou na superfície rochosa de detritos rochosos (Drewry, 1986; Benn e Evans, 1998). A base rochosa estriada indica que a geleira move-se por deslizamento basal (Glasser e Hambrey, 2001). Estrias são úteis por indicar a orientação do fluxo de gelo (Bennett e Glasser, 1996).

O arredondamento é afetado por dois processos opostos durante o transporte ativo: a abrasão e o fraturamento. A abrasão aumenta o arredondamento nas bordas e cria faces polidas, já o fraturamento cria novas bordas e faces, formando formas angulares. Como resultado do balanço entre os dois processos, a maioria dos clastos transportados ativamente possui características de arredondamento intermediário (subangular e subarredondado) (Benn e Evans, 1998). A água de degelo subglacial também pode originar quantidades significantes de clastos arredondados (Drewry, 1986). Há um aumento no arredondamento das bordas do clasto com a distância de transporte, mais rapidamente no início e mais lentamente nas fases finais (Suguio, 2003; Benn e Evans, 1998).

A distribuição de tamanho de grãos de detritos rochosos transportados subglacialmente é geralmente bimodal ou multimodal, devido aos processos erosivos ocorridos sob a geleira, principalmente a abrasão e a fragmentação, que produzem um grande número de partículas finas e quebra dos grãos (Benn e Evans, 1998). Ocorre uma progressiva redução de tamanho e um pequeno aumento na proporção de partículas finas conforme os detritos subglaciais se distanciam da rocha de origem (Benn e Evans, 1998). Geleiras de regime termal úmido possuem um grande volume de água de degelo, proporcionando um grande capacidade de desgaste dos materiais grossos, aumentando assim, a quantidade dos sedimentos finos (Bennett e Glasser, 1996).

2.5 – CARACTERÍSTICAS SEDIMENTARES PRODUZIDAS NO TRANSPORTE

PASSIVO

Detritos rochosos transportados passivamente retêm suas características físicas primárias, as quais são praticamente inalteradas pelo transporte glacial (Bennett e Glasser, 1996). Em ambientes englaciais e supraglaciais a concentração de detritos é baixa, por isso partículas raramente ficam em contato com as outras (Benn e Ballantyne, 1994; Benn e

Evans, 1998). Os clastos tendem a ser angulares e alongados, com baixo raio dos eixos *c/a* (Boulton 1978; Benn e Ballantyne, 1993, Hambrey, 1994; Benn e Evans, 1998). Há predomínio de sedimentos grossos e escassez de finos, resultando numa distribuição unimodal (Drewry, 1986).

2.6 – INFLUÊNCIA DO REGIME TERMO-BASAL NA SEDIMENTAÇÃO GLACIAL

O regime termal varia entre as geleiras e também dentro do corpo de gelo. De acordo com seu regime termal as geleiras podem ser frias (geleiras abaixo do ponto de fusão), temperadas (toda a massa de gelo está no ponto de fusão) e politermais (Bennett e Glasser, 1996; Simões, 2004).

A temperatura do gelo exerce um importante controle nos processos glaciais, incluindo movimentação da geleira, fluxo de água de degelo, erosão e deposição subglacial (Drewry, 1986; Benn e Evans, 1998). O deslizamento basal, por exemplo, é fortemente dependente da temperatura do gelo basal, sendo mais efetivo quanto mais perto estiver do ponto de fusão sob pressão (Benn e Evans, 1998).

A maneira como os sedimentos são transportados pela geleira depende de seu regime termal. Geleiras de base fria movimentam-se somente por deformações plásticas internas nos cristais de gelo, pois o contato gelo-substrato está congelado. Elas transportam uma quantidade pequena de detritos rochosos, a maioria é transportada passivamente (Hambrey, 1994). Por outro lado, geleiras de base úmida também se movimentam por deslizamento basal e por fusão e recongelamento sob pressão, carregando uma alta carga de detritos rochosos basais (Hambrey, 1994). Processos como abrasão, transporte pela água de degelo e arrancamento glacial são mais efetivos sob geleiras de base úmida, onde a água de degelo é produzida em grande quantidade (Bennett e Glasser, 1996; Benn e Evans, 1998).

2.7 – SISTEMA DEPOSICIONAL GLACIAL

As partes componentes do sistema deposicional glacial (sub-ambientes) são segundo Tomazelli, 2002: as zonas supraglacial, englacial, subglacial e proglacial. A última divide-se em zona proglacial de contato com o gelo, e os ambientes glaciofluviais, glaciolacustres e glaciomarinhos. Os depósitos produzidos no sistema deposicional glacial podem ser classificados em: formados diretamente pelo gelo (*till*); estratificado de contato com o gelo; glaciofluviais; glaciolacustres; glaciomarinhos e eólicos (Tomazelli, 2002).

CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 – INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentados os procedimentos metodológicos utilizados para a obtenção, processamento e interpretação dos dados.

3.2 – AMOSTRAGEM DE SEDIMENTOS

As atividades de campo foram realizadas nas zonas de deglaciação das geleiras Wanda e Ecology durante a OPERANTAR XXVI, no verão de 2007/2008. O local de acampamento foi na área livre de gelo e neve, próxima ao fluxo principal da geleira Wanda, com coordenadas 62°06'24.591''S, 58°21'34.564''O.

A realização de coletas de sedimentos na área proglacial da geleira Ecology dá continuidade ao trabalho realizado em 2003/2004 durante a OPERANTAR XXII por Vieira *et al.* (2005). Foram coletadas 36 amostras de sedimentos na geleira Wanda e 20 na Ecology (localização dos pontos de amostragem na Figura 7 e 8 e coordenadas geográficas destes nas tabelas G1e G2 (em anexo), em pontos selecionados em transectos paralelos e transversais ao fluxo do gelo, abarcando diferentes micro-ambientes e feições geomórficas. As amostras foram coletadas com uma pá, em pequenas cavidades rasas, a fim de evitar o material meteorizado da superfície, na quantidade de 100 gramas e postas em sacos plásticos, contendo o código de cada amostra. Em cada local de coleta foram tomados pontos de controle de GPS (altitude e coordenadas), fotografia com escala e observação do ambiente de entorno (orientação, tamanho do depósito, matriz). As descrições sedimentares são baseadas em superfícies expostas. Os dados de direção das estrias foram medidas com o uso de uma bússula. Também foram coletados 50 clastos por amostra, com eixo maior (a) > 20 mm.

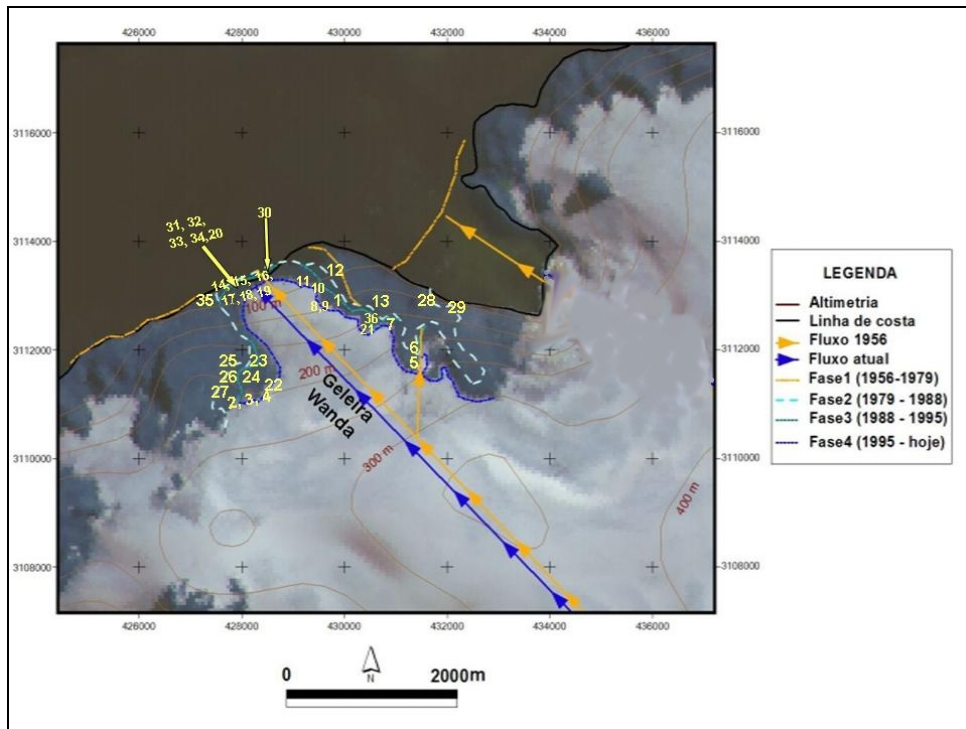


Figura 7– Localização dos pontos de amostragem da geleira Wanda.

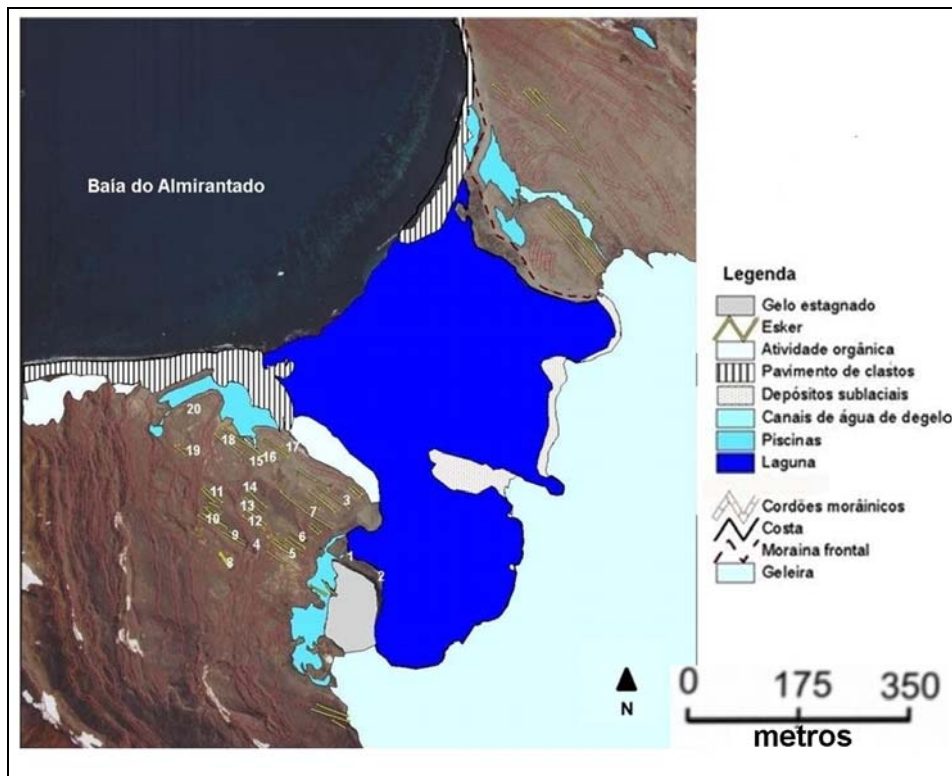


Figura 8 – Localização dos pontos de amostragem da geleira Ecology.

3.3 – ANÁLISES LABORATORIAIS

As análises dos sedimentos foram realizadas no laboratório de sedimentologia do CECO (Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica – UFRGS) para determinar a distribuição granulométrica e características morfoscópicas. A classificação dos sedimentos foi efetuada pelo processo de formação, pela observação de suas características físicas. Na descrição dos depósitos de sedimentos foram detalhadas: propriedades que permitem analisar sua história erosional, de transporte e deposicional, sua geometria, e sua posição em relação às outras geoformas adjacentes.

3.3.1 – Análise granulométrica

Esta análise mede a distribuição do tamanho dos grãos das amostras, a qual é fortemente influenciada pela litologia original e também pela história dos sedimentos, pois ela é produto dos processos geradores dos mesmos. Processos pós-deposicionais também podem modificar a distribuição original do tamanho dos grãos de um depósito (Lewis e Mcconchie, 1994; Suguio, 2003).

A análise é útil para a determinação da origem do material depositado, de como ele foi modificado durante o fluxo glacial e posteriormente depositado, e também indica alterações pós-deposicionais (Lewis e Mcconchie, 1994; Hambrey, 1994). Dessa forma, os resultados da distribuição granulométrica podem ser empregados na interpretação dos ambientes deposicionais dos sedimentos (Suguio, 2003).

Inicialmente as amostras foram etiquetadas e numeradas. Depois, dessalinizadas, para a remoção dos sais solúveis, por sucessivas lavagens com água destilada e papel filtro. Isso foi repetido até que o filtro ficasse sem sais dissolvidos. As amostras foram em seguida secadas em uma estufa e quarteadas.

O passo seguinte foi separar os sedimentos finos dos grossos usando uma peneira com a malha de 0,062 mm. O material retido na peneira foi considerado “grosso” e passado por peneiramento em um conjunto de peneiras com a malha decrescente até o limite de 0,062 mm, para que houvesse a separação de acordo com classes texturais. Em seguida realizou-se a pesagem por classe.

Já nas amostras de sedimentos finos, menores que 0,062 mm (tamanho silte e argila), utilizou-se a técnica de pipetagem, baseada na lei de Stokes, objetivando separar as classes silte e argila (Krumbein e Pettijohn, 1938). Estas amostras foram em seguida secadas e pesadas.

Os dados foram processados, usando os *softwares* STATISTICA e SYSGRAN, obtendo-se assim a distribuição percentual das classes texturais dos sedimentos segundo a escala de Wentworth (1922). A classificação dos sedimentos foi realizada segundo Shepard (1954) e o grau de selecionamento de acordo com Folk e Ward (1957). Foram elaborados gráficos ternários para representar a distribuição granulométrica de cada amostra e histogramas para analisar se a distribuição é unimodal, bimodal ou multimodal.

3.3.2 – Análise morfoscópica

Este procedimento permite analisar as características morfoscópicas das partículas sedimentares, para obter-se dados sobre a textura superficial (arredondamento superficial), o grau de arredondamento (grau de curvatura das bordas) e da esfericidade (Barret, 1980).

Para a análise morfoscópica das amostras previamente selecionadas, utilizou-se uma lupa binocular. Foi analisada, além do arredondamento e esfericidade, a presença de estrias, sulcos, pontas e fraturas.

Para a análise do grau de arredondamento foi utilizada a tabela de comparação de Krumbein (1941) e para o grau de esfericidade a tabela de Rittenhouse (1943). As análises da

textura superficial foram feitas através da classificação de Bigarella (1946). Esses dados foram mostrados em histogramas com dados adicionais do índice RA (porcentagem de clastos angulosos) e porcentagem de estrias. Para expressar os graus de arredondamento foram utilizadas as seguintes siglas: A para angulares, SA subangulares, SR suabarrondados, R arredondados e WR muito arredondados.

A forma do clasto é definida pela dimensão relativa dos três eixos ortogonais, chamados *a* (maior), *b* (intermediário), e *c* (menor) (Hubbard e Glasser, 2005). Em laboratório foram mensurados, com caliper, os clastos com eixo *a* > 20 mm. Os dados da forma dos clastos foram distribuídos em diagramas triangulares, colocando os raios dos três eixos ortogonais da partícula no programa STATISTICA. Esses dados provêm informações a respeito da história de transporte e caracterização do ambiente deposicional (Graham e Midgley, 2000). Nos diagramas, os raios variam linearmente, mostrando a distribuição da forma da partícula sem distorcer a continuidade da forma (Graham e Midgley, 2000).

Adicionalmente, para reconstruir a história do transporte dos sedimentos glaciais pelas características dos clastos, foi utilizada a metodologia proposta por Benn e Ballantyne (1994), a qual é baseada na co-variância entre a forma e o arredondamento do clasto. O índice RA (% dos clastos angulosos) foi correlacionado em relação ao índice C_{40} (% de clastos cujo eixo *c/a* é < 0,4) na forma de gráficos de dispersão. Esse método distingue os sedimentos transportados ativamente daqueles transportados passivamente pela geleira, além de quantificá-los (Bennett *et al.*, 1997), sendo assim, útil para discriminar ambientes glaciais (Benn e Ballantyne, 1994).

Os dados de orientação das estrias medidas em embasamentos rochosos foram apresentados em diagramas ROSE no programa Roseta 2.0. Diagramas ROSE são histogramas circulares que resumem a orientação do clasto em intervalos de 5° ou 10° (Hubbard e Glasser, 2005). Estriações são úteis por terem orientação paralela ao movimento

local do gelo, podendo, assim, serem usadas para deduzir o padrão de orientação do fluxo de gelo (Bennett e Glasser, 1996).

Para cada amostra de 100 gramas de sedimentos foi realizada a análise em 50 grãos com diâmetros >2 mm e 400 grãos sem seleção granulométrica. Os últimos foram divididos, para a análise, em 200 grãos correspondentes a classes maiores de 0,71 mm e 200 grãos para o intervalo de classes menores que 1 mm. Essa divisão é necessária devido ao comportamento diferenciado às ações erosivas conforme o tamanho de grão, pois quanto maior o grão, maiores serão as alterações erosivas apresentadas, além disto, os grãos menores apresentam-se mais fragmentados.

O arredondamento e seu relacionamento com o ambiente deposicional foram classificados de acordo com Hubbard e Glasser (2005) (Figura A7 em anexo).

A partir dos resultados, foram elaborados mapas geomorfológicos das geofomas originadas durante a retração das geleiras, sendo proposto modelos explicativos para a origem e dinâmica dos processos do ambiente subaéreo, por um modelo de evolução do ambiente de deglaciação das duas geleiras estudadas.

3.4 – FOTOINTERPRETAÇÃO

Foi realizada a fotointerpretação das áreas proglaciais na escala 1:50.000, com resolução de 50m (fotografias aéreas fornecidas pelo SHOA/SAF – *Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de La Armada de Chile/ Servicio Aéreo Fotogramétrico* – 2002). Também foi utilizado um mosaico de fotografias aéreas coloridas (escala aproximada 1:4.000) da geleira Ecology e Wanda, obtidas respectivamente em 2004 e 2005 pelo projeto Criossolos da Universidade Federal de Viçosa (cortesia do prof. Dr. Carlos Schaefer). Esse procedimento buscou identificar os diferentes tipos de depósitos, observar sua posição em relação às geofomas adjacentes e criar mapas geomorfológicos.

Exame estereoscópico possibilitou definir estruturas geológicas e feições geomorfológicas associadas com investigações sedimentológicas em campo. Fotografias aéreas tomadas em diversos anos (2002, 2004 e 2005) possibilitaram a reconstrução da evolução geomorfológica do ambiente de deglaciação das geleiras.

3.5 – PROCESSAMENTO DE IMAGEM DE SATÉLITE

Uma imagem de satélite SPOT de 23 de fevereiro (verão) de 2000 com sensores HRV (*Haute Résolution Visible*) com resolução espacial de 20 metros foi processada utilizando-se o software ENVI, com o erro estimado de aproximadamente 21m, no modo multiespectral usada nesta dissertação. Também foi utilizado imagens de satélites SPOT dos anos 1988 e 1995. Usando o procedimento de multiestatística multivariável e a ferramenta componentes principais desse software, foi possível melhorar a interpretação do alvo e obter-se maior contraste. Adicionalmente, pela ferramenta de classificação supervisionada, com o método de distância mínima, interpretando-se as diferenças espectrais dos alvos, pode-se determinar a extensão da frente de gelo e a área livre de gelo.

O uso do sensoriamento remoto é essencial para o monitoramento das geleiras e suas respostas às variações climáticas através de dados multitemporais. Além disso, seu uso se torna indispensável devido às dificuldades logísticas do ambiente. Ainda que possa haver algumas limitações no seu uso, tais como falta de pontos de controle para geoprocessamento e saturação do sensor dos comprimentos de onda no visível pela alta cobertura de nuvens e do alto albedo (Ahlert, *et al.*, 2004).

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS

4.1 – INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta os resultados do estudo, descrevem-se e interpretam-se as características sedimentares e geomorfológicas das geleiras Ecology e Wanda. Os depósitos e geformas identificados foram agrupados de acordo com sua gênese em morânicos, subglaciais e glaciofluviais.

4.2 – CARACTERÍSTICAS SEDIMENTARES E GEORFORMAS DA GELEIRA ECOLOGY

A geleira Ecology possui sua área frontal com muitas fendas, observando-se cobertura de detritos nessa superfície. Conforme o mapa geomorfológico proposto para a zona proglacial da geleira Ecology (Figura 9), seu ambiente de deglaciação é bastante diversificado e composto por depósitos morânicos, glaciofluviais e aqueles predominantemente subglaciais.

A atividade paraglacial é evidenciada por processos não glaciais como vento, maré e fluxos de água de degelo pelas características sedimentares resultantes. Em alguns setores deglaciados há mais tempo registra-se a ocorrência de atividade biológica como a presença de líquens. Os depósitos recentes situados na área frontal da geleira encontram-se constantemente saturados d'água de degelo e ação da maré. Nos flancos distais de depósitos morânicos latero-frontais há fluxo de detritos. Devido à topografia local, os depósitos localizados nas partes inferiores menor sofrem maior retrabalhamento pelos processos de fluxos de água de degelo.

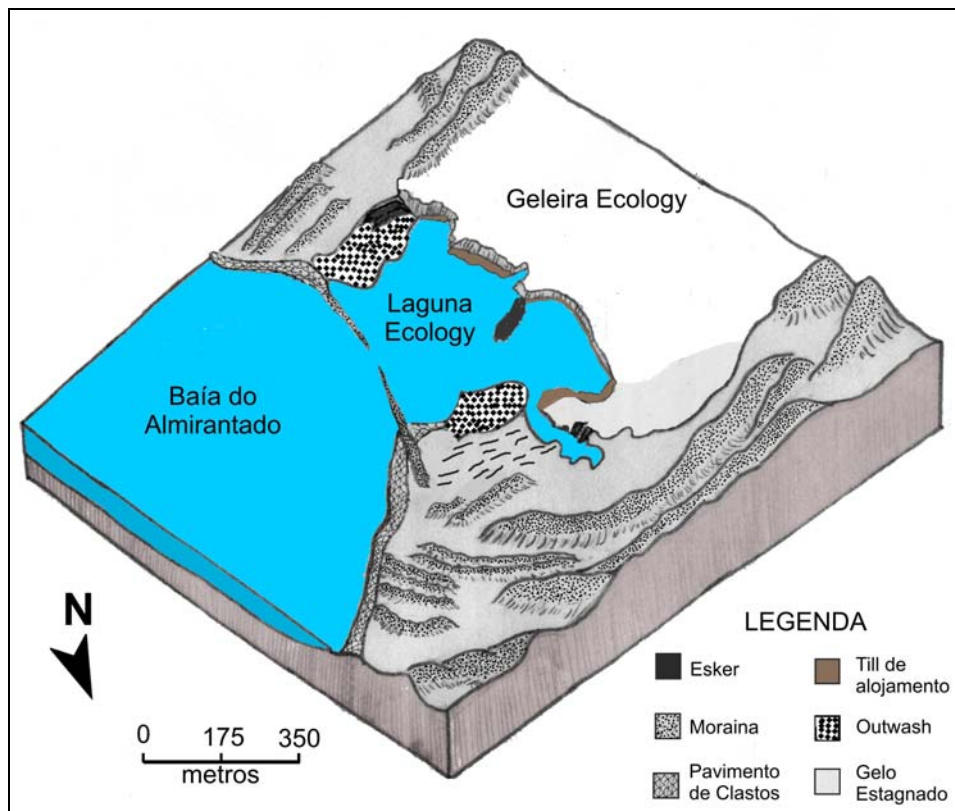


Figura 9 – Blocodiagrama geomorfológico da área proglacial da geleira Ecology (modificado de Rosa, 2006).

4.2.1 – Depósitos morânicos

Depósitos morânicos expostos na área proglacial da geleira Ecology são representados pela amostra 1 (tabela G1 em anexo com as coordenadas), um cordão morânico elevado a 27 m de altitude, e as amostras 19 e 20, um conjunto de morainas latero-frontais localizado próximo à praia (Figura 10). A moraina frontal correspondente à amostra 19 e que encontra-se bastante desgastada pela ação marinha (Figura 10).

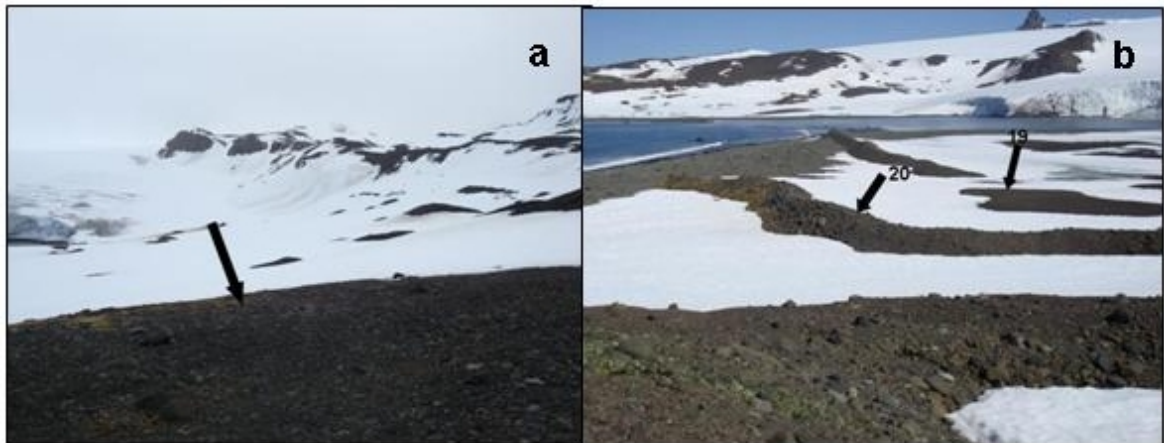


Figura 10 – (a) e (b) morainas latero-frontais (Fotografias de Vieira, 2007).

Os depósitos morainicos são compostos por sedimentos de fração de areia fina, mas a maioria das amostras sedimentares é mal selecionada (Tabela B1 em anexo) e com distribuições multimodais (Figura A2 em anexo). A amostra 4 possui matriz mais fina (Figura A2 em anexo).

As amostras 19 e 20 possuem muito baixo índice C_{40} (% de clastos cujo eixo c/a é $< 0,4$) e a maioria dos grãos possui raio c/a maior que 0,4, mostrado pelo diagrama ternário (Figuras 11b e c), sugerindo transporte ativo com tendência para grãos mais esféricos. Já a amostra 4 (Figura 11a) evidencia mistura de sedimentos originados de transporte ativo e passivo, pois há grãos com características intermediárias de arredondamento e esfericidade, indicada pelo alto índice C_{40} e que sugere um maior alongamento da partícula.

Esses depósitos morânicos apresentam poucos sulcos, ranhuras e micro-estriações. Possuem variados graus de arredondamento, de subangulares a subarredondados e bem arredondados (Figuras 11 d-g). Pelos baixos índices RA verifica-se que, em 50 clastos analisados por amostra, há um bom grau de arredondamento nos grãos. A esfericidade é predominantemente média (Figura A4 em anexo) e a textura superficial mamelonada fosca (Figura A6 em anexo).

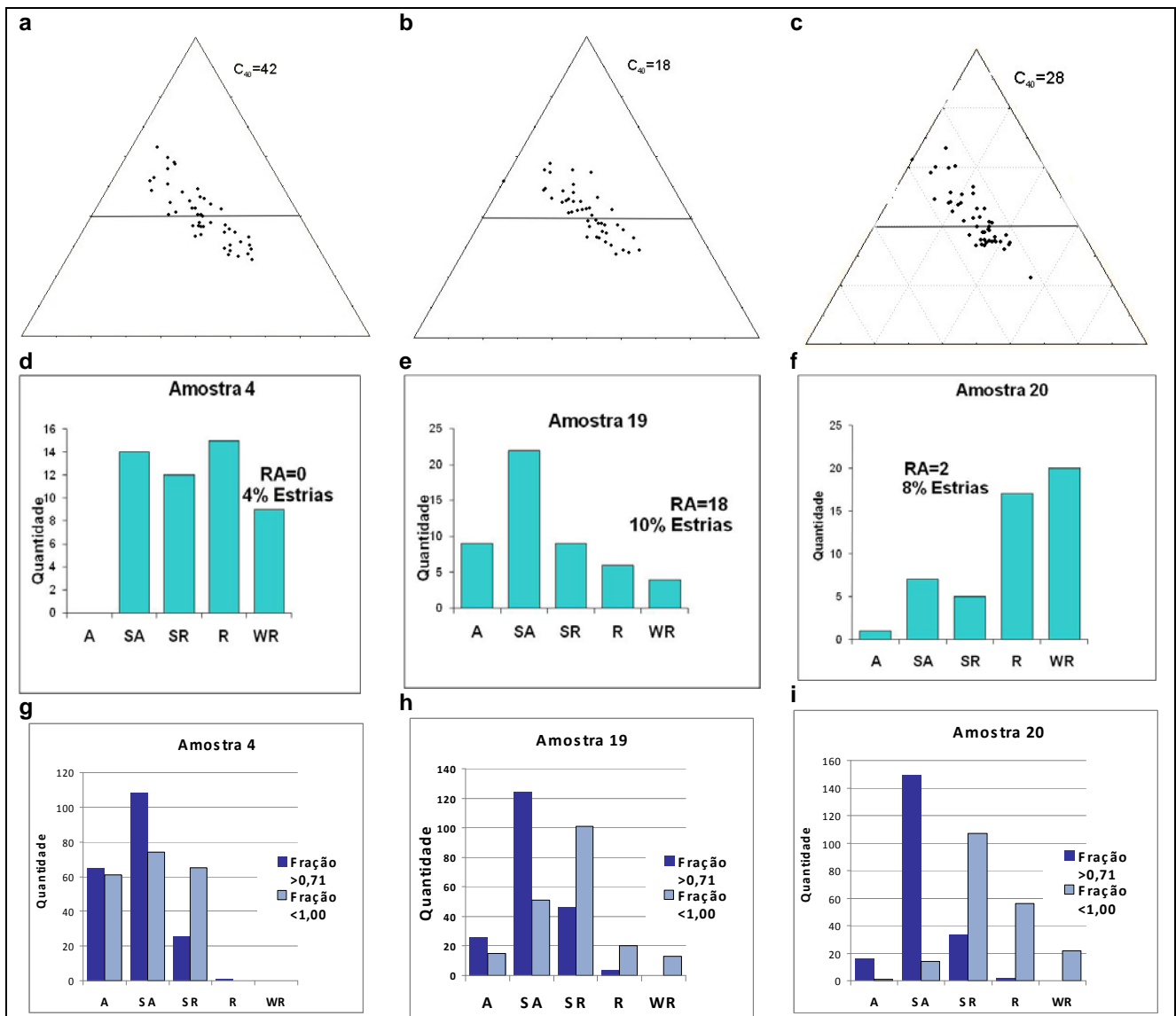


Figura 11 – As figuras 11a-c são diagramas ternários das amostras 4, 19 e 20. Os gráficos 11d-f mostram, respectivamente, os graus de arredondamento (de 50 grãos com eixo $a > 20$ mm analisados de cada amostra) e índices de RA das amostras 4, 19 e 20. Os gráficos 11g-i mostram os graus de arredondamento para cada 100g coletados. Significado das siglas: A para angulares, SA subangulares, SR suabarrondados, R arredondados e WR muito arredondados.

Pelas características granulométricas e morfoscópicas dos depósitos, além de suas formas e localizações, eles são interpretados como moraina lateral, no caso da amostra 4, e frontal, nas amostras 19 e 20.

As morainas frontais e laterais possuem a crista morânica mais externa formada no limite do avanço da geleira (Benn e Evans, 1998). As morainas frontais são em geral arqueadas, refletindo a forma da margem frontal da geleira (Rocha-Campos e Santos, 2001).

Essas amostras são compostas de *till* basal e sofrem ação da água de degelo modificando os grãos e criando elevado grau de arredondamento e esfericidade, além da textura superficial mamelonada as quais são características típicas de transporte basal. O *till* de ablação basal é formado pela direta liberação de detritos de um corpo de gelo estagnado (Benn e Evans, 1998). No entanto, essas características são menos pronunciadas do que em *till* de alojamento, uma vez que a deposição ocorre sob gelo estagnado e com pouca modificação pós-deposicional dos clastos (Benn e Evans, 1998).

4.2.2 – Depósitos e geofomas subglaciais

Os depósitos e geofomas originados por processos subglaciais predominam na zona proglacial desta geleira. Esses depósitos possuem constituição granulométrica variada, predominando cascalho e areia (Tabela B1 em anexo). A distribuição dos tamanhos de grãos varia de multimodal a bimodal (Figura A2 em anexo), típicas de transporte subglacial, refletindo esmagamento e abrasão durante o cisalhamento subglacial (Benn e Evans, 1998). Há pouco material fino, que é explicado pela lavagem por água de degelo em virtude da localização dos depósitos.

Os sedimentos apresentam baixo índice C_{40} , indicando um transporte ativo, isto também é sugerido pelo diagrama ternário (os quais mostram que a maioria dos grãos possui raio c/a maior que 0,4, sugerindo transporte ativo com tendência para grãos mais esféricos, Figuras 12 a-c). A esfericidade é predominantemente média e textura superficial mamelonado fosca (Figuras A4 e A6 em anexo). Os clastos mostram características morfológicas típicas de transporte basal, com bordas arredondadas, forma esférica, facetados, faces polidas e

estriadas, com arredondamento intermediário entre subangular e subarredondado (Figuras 12d-i) (Bennett e Glasser, 1996). As características dos depósitos apontam para um *till* de alojamento.

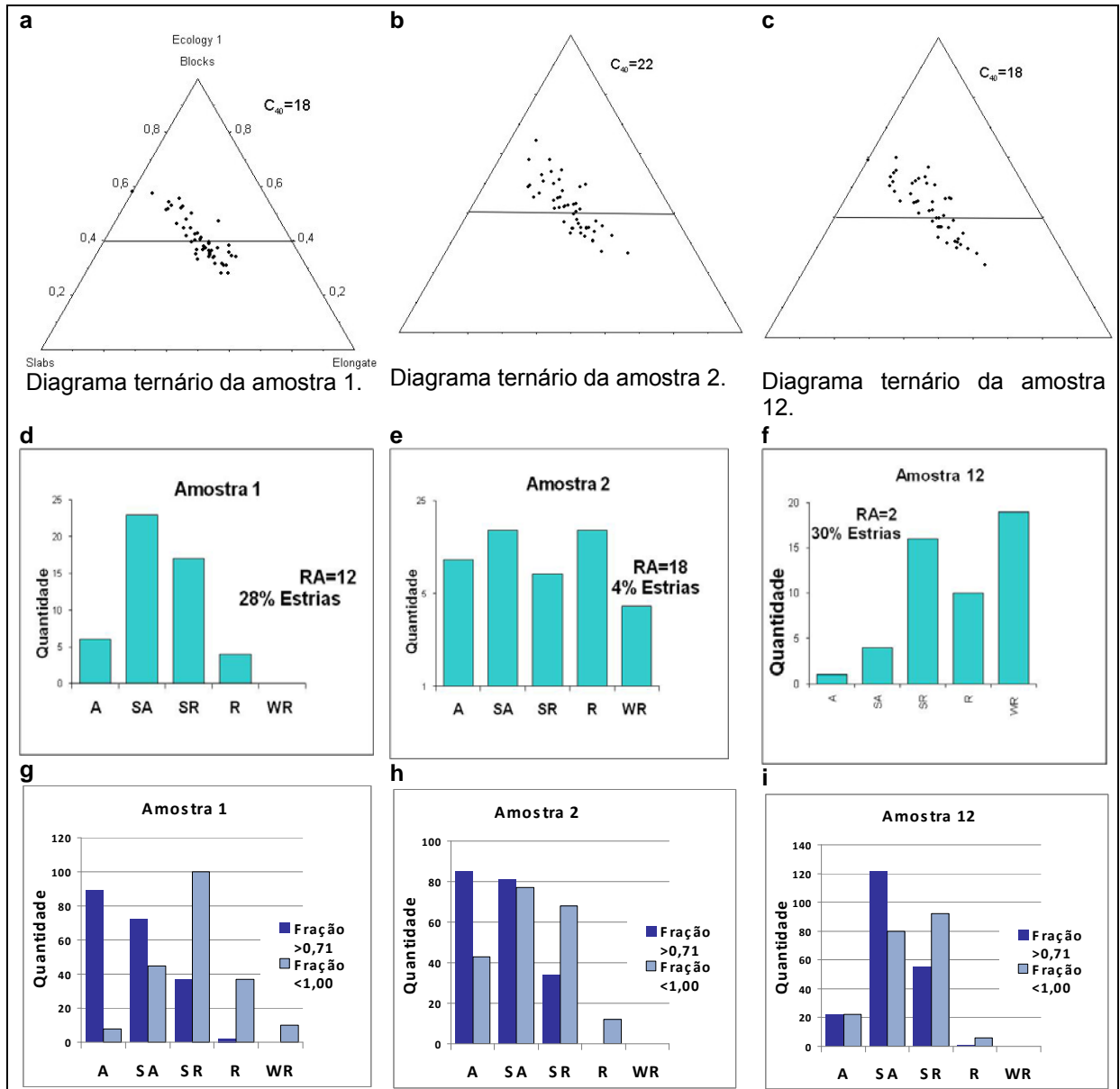


Figura 12 – Gráficos 12 a-c mostram os diagramas ternários das amostras subglaciais 1, 2 e 12. Os gráficos das Figuras d-f mostram os graus de arredondamento (de 50 grãos com eixo a > 20 mm analisados de cada amostra) e índices RA. Os gráficos 12 g-i mostram graus de arredondamento analisados em 100 g coletados para cada uma das amostras.

As amostras subglaciais, coletadas na zona proglacial da geleira Ecology, correspondem aos depósitos 1, 2 e 12. As amostras 1 e 2 estão junto a parte frontal da geleira e são atingidas pela ação da maré e água de degelo (Figuras 13a e b). Os grãos dos depósitos apresentam bordas arredondadas, grande parte facetados, com sulcos e micro-estrias, além da presença de blocos *stoss and lee*. Estes blocos de rocha são feições de lados assimétricos com alisamento na face montante e fraturamento na face jusante, são formados após o clasto ter se tornado alojado na base da geleira (Boulton, 1978; Krüger, 1979; Sharp, 1982).

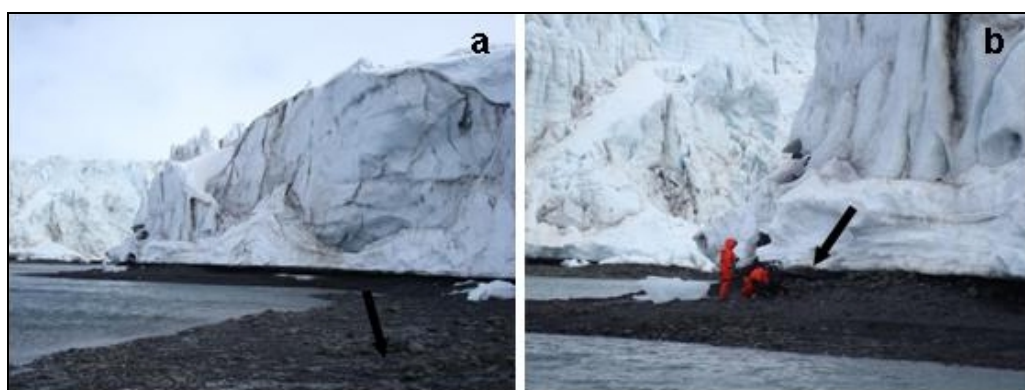


Figura 13 – Amostras 1 (9a) e 2 (9b) (Fotografias de Vieira, 2007).

A amostra 12 localiza-se sobre uma rocha *moutonnée* (Figura 14a) situada entre os arcos morânicos no lado norte da zona proglacial da geleira. A rocha *moutonnée* possui superfície assimétrica, a face montante encontra-se polida, e a face jusante arrancada, indicando a direção do fluxo do gelo (Benn e Evans, 1998). Estrias na rocha possuem direção predominante N30°E (Figura 14b), indicando a direção preferencial do fluxo de gelo. A presença de superfície estriada indica que a geleira move-se por deslizamento basal, com a presença de água de degelo, ou seja, com base úmida (Glasser e Hambrey, 2001).

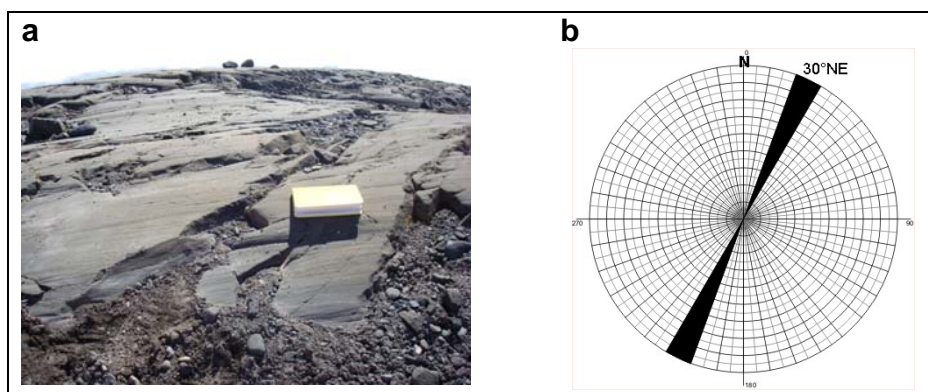


Figura 14 – (a) Depósito sobre a rocha moutonnée (Fotografia de Vieira, 2007) e (b) – orientação das estrias sobre a mesma rocha.

4.2.3 – Depósitos subglaciais glaciofluviais – *Eskers*

Os depósitos subglaciais glaciofluviais chamados *eskers* (conforme podem ser observados na Figura 15), são paralelos ao fluxo da geleira e estão numa área recentemente deglaciarizada, refletindo a forma do canal de água de degelo que flui para a margem do gelo (Sugden e John, 1976; Benn e Evans, 1998).

Em função das modificações pós-deposicionais sofridas, existe uma grande variedade de tamanho granulométrico, predominando as frações areia e silte no caso das amostras 5, 9, 13, 14 e 15, areia e cascalho nas amostras 3, 6, 7, 8, 16 e 18, areia nas amostras 10 e 11 e silte e argila no caso da amostra 17 (Tabela B1 em anexo). Os sedimentos finos foram removidos por correntes subglaciais. De acordo com Bennett e Glasser (1996), Tomazelli (2002), Suguio (2003), esta composição granulométrica variada, geralmente grossa e composta de areia e cascalho glaciofluvial é típica de *eskers*. Estes depósitos são formados pelo preenchimento das paredes de gelo de canais de correntes de água na geleira existentes na interface gelo-rocha, abaixo do gelo ainda ativo, por onde flui a água de degelo transportando sedimentos (Bennett e Glasser, 1996; Suguio, 2003).



Figura 15 – Localização dos depósitos de *eskers* na área proglacial da geleira Ecology. As figuras a-d mostram respectivamente as amostras 3, 5, 6 e 7 (Fotografias de Vieira, 2007).

Predominantemente, as amostras possuem baixo índice C_{40} . Os dados no diagrama ternário (Figura 17) mostram que a maioria dos grãos possui raio c/a maior que 0,4, sugerindo transporte ativo com tendência para grãos mais esféricos. Contudo, os diagramas triangulares das amostras 1, 11 e 17 (Figuras 17a, h e n), mostram que os grãos possuem características intermediárias, indicando imaturidade textural dos sedimentos devido, provavelmente, a pouca distância de transporte desde sua origem até sua deposição, causando pouco desgaste dos grãos. No caso da amostra 5 (Figura 17b), sugere-se que ocorreu uma mistura de sedimentos de origens diferentes, isto pode estar relacionada ao fluxo da água de degelo.

Pelo baixo índice RA (Figuras 18 e 19) conclui-se que nos 50 clastos há um bom grau de arredondamento nos grãos. Observam-se variados graus de arredondamento, os quais são típicos de transporte subglacial, predominando subangular a subarredondado. A esfericidade é predominantemente média (Figura A4 em anexo) e a textura superficial mamelonada fosca (Figura A6 em anexo). Observou-se em campo a presença de blocos estriados em várias amostras, com orientações de 30° NE nas amostras 3, 7, 13 e 14 (Figura 16a) e 28° NE nas amostras 8 e 9 (Figura 16b). De acordo com essas características e com a classificação de Glasser (Hubbert e Glasser, 2005) (Anexo E), que interpreta os ambientes deposicionais conforme o arredondamento dos grãos, estes depósitos podem ser interpretados como *eskers*.

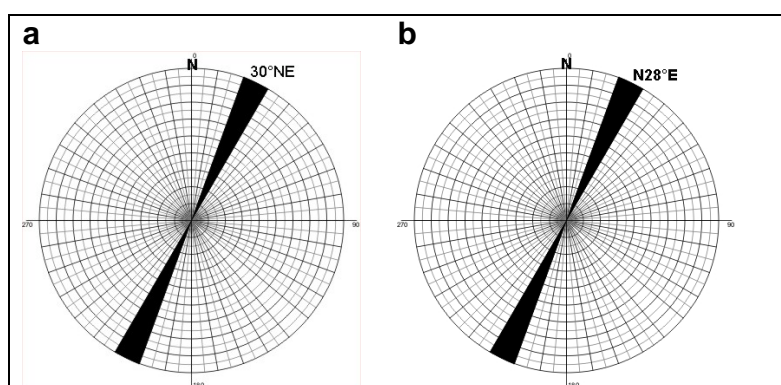


Figura 16 – Orientação das estrias das amostras 3, 7, 13 e 14 (Figura a) 3 das amostras 8 e 9 (Figura b).

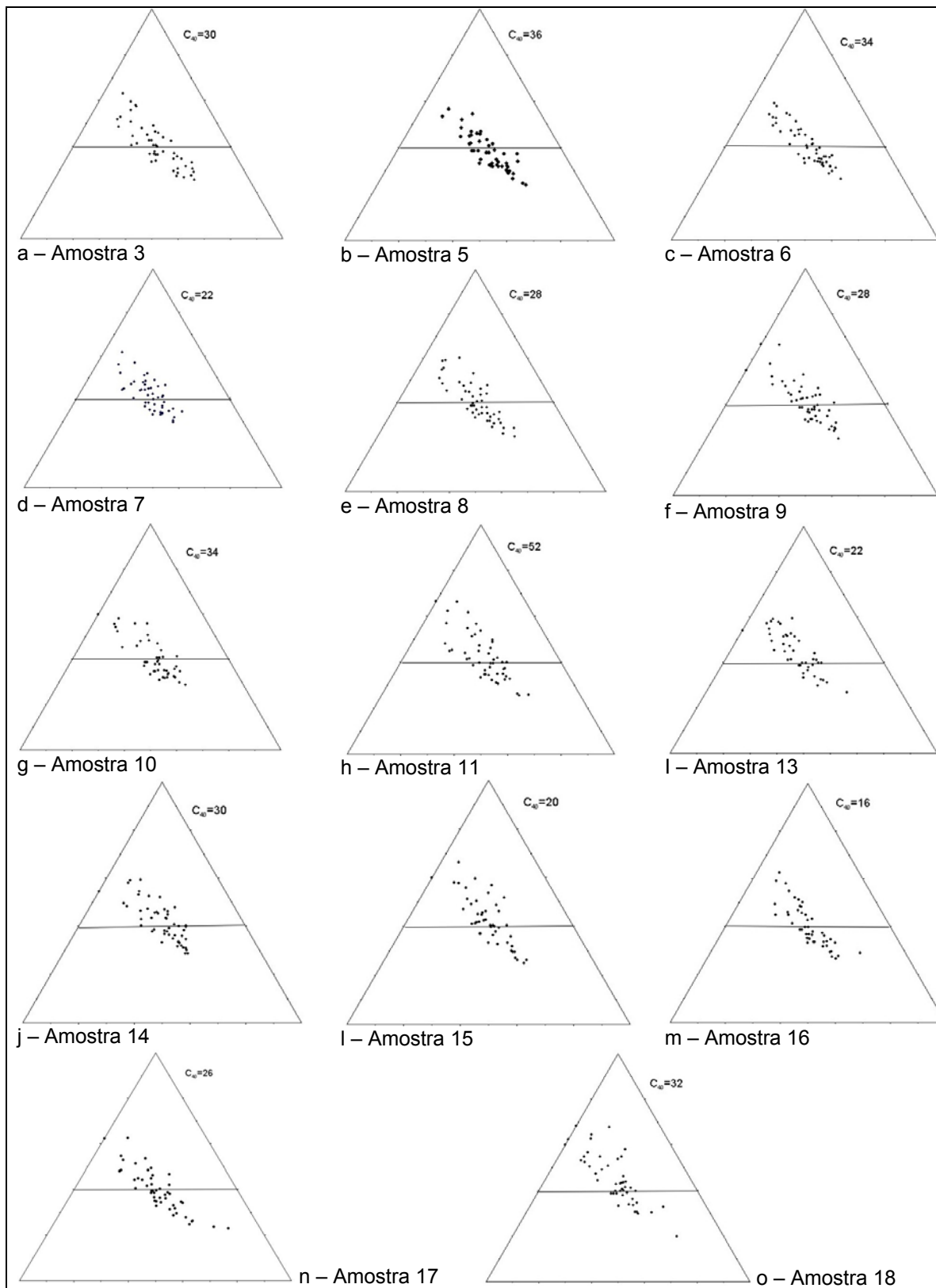


Figura 17 – Diagramas triangulares e os índices C_{40} .

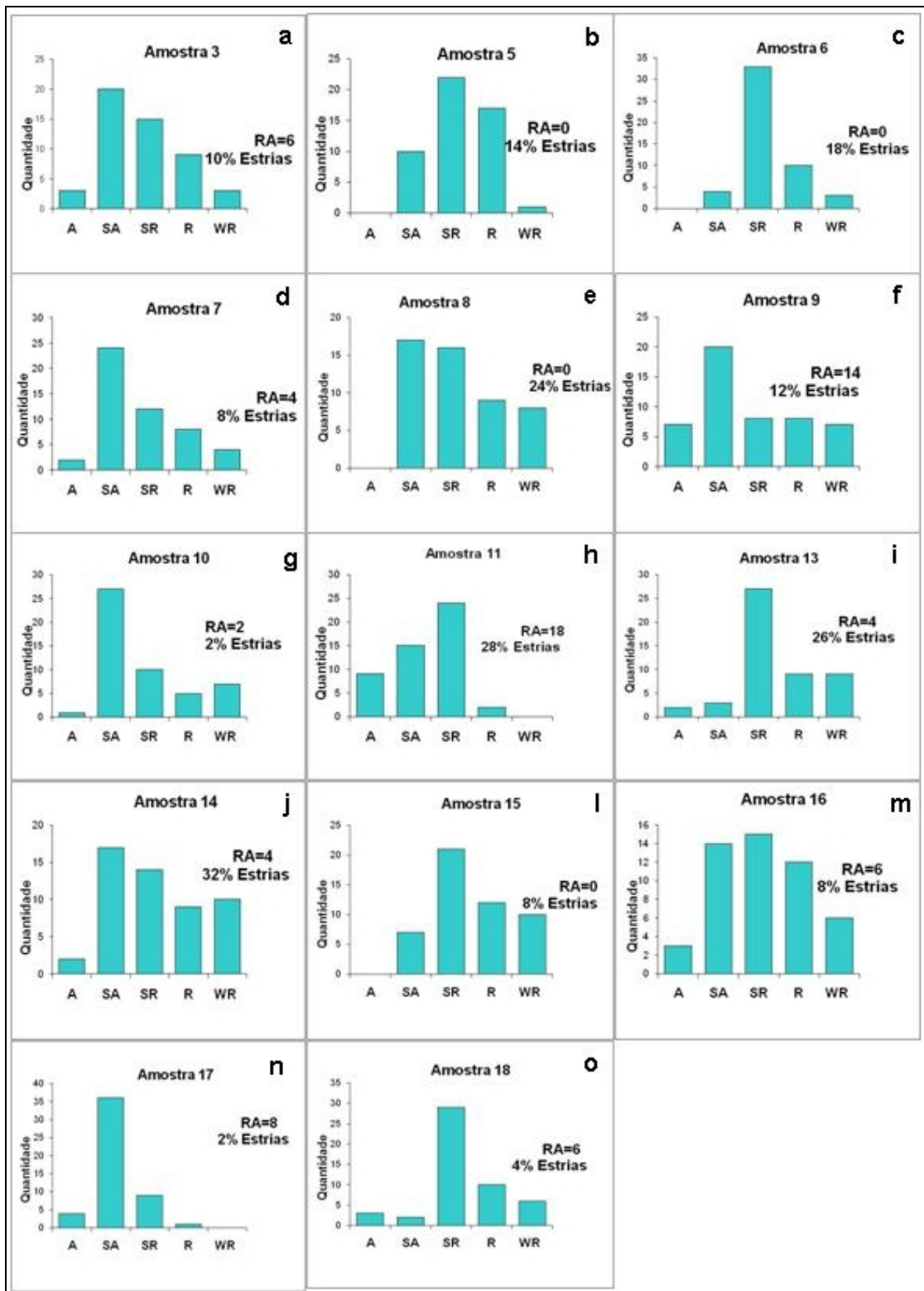


Figura 18 – Os gráficos mostram graus de arredondamento de 50 grãos analisados de cada amostra os quais possuem eixo $a > 20$ mm.

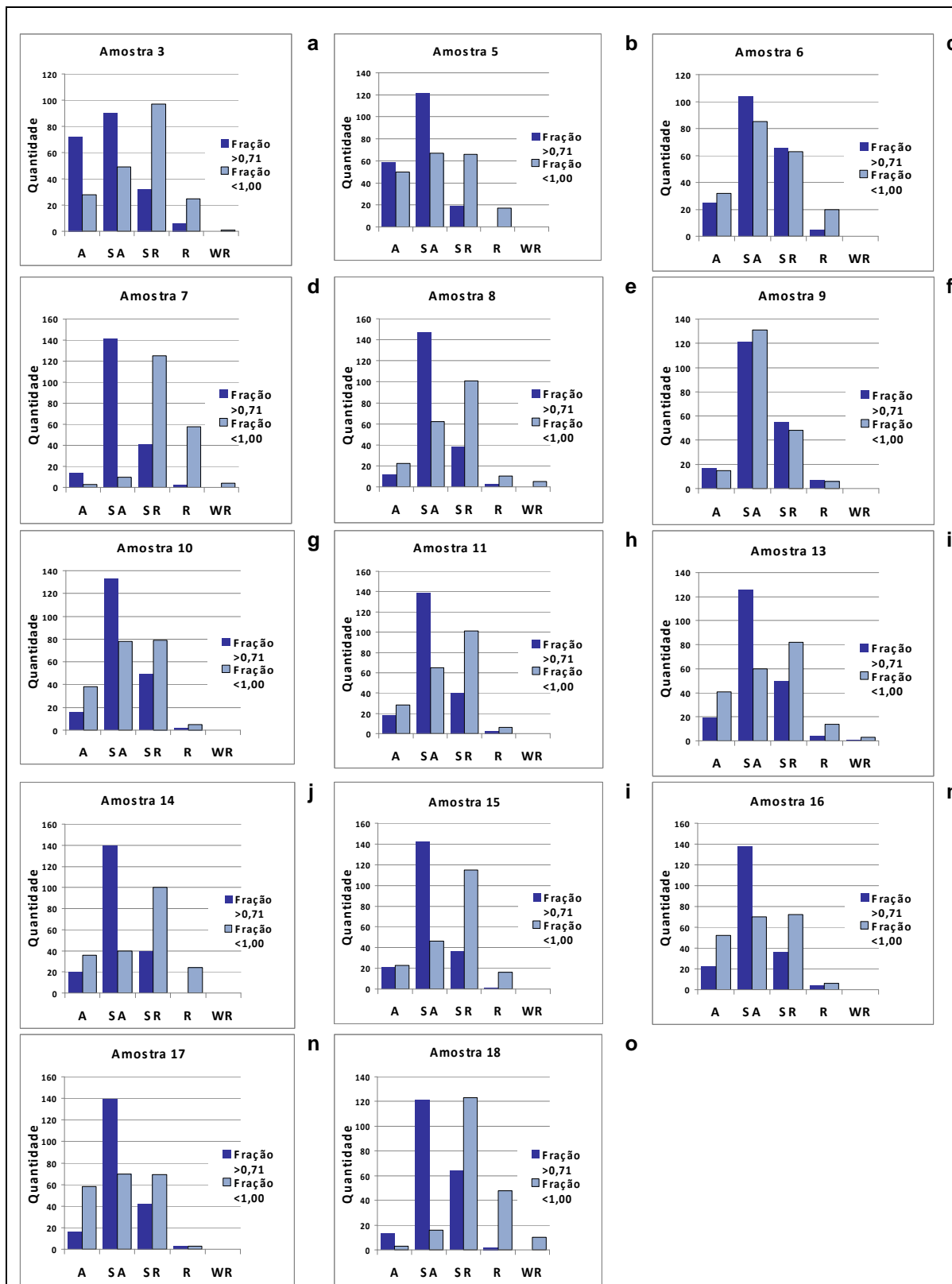


Figura 19 – Graus de arredondamento de cada depósito conforme análise de amostras de 100 g.

4.3 – CARACTERÍSTICAS SEDIMENTARES E GEORFORMA DA GELEIRA WANDA

A morfologia da área de deglaciação da geleira Wanda, observada em campo, consiste em *flutes*, terraços de *kames*, cordões morânicos, pavimento de clastos, rochas estriadas e *eskers* (Figura 20). Os depósitos subglaciais dominam o ambiente de deglaciação (Rosa *et al.*, 2008).

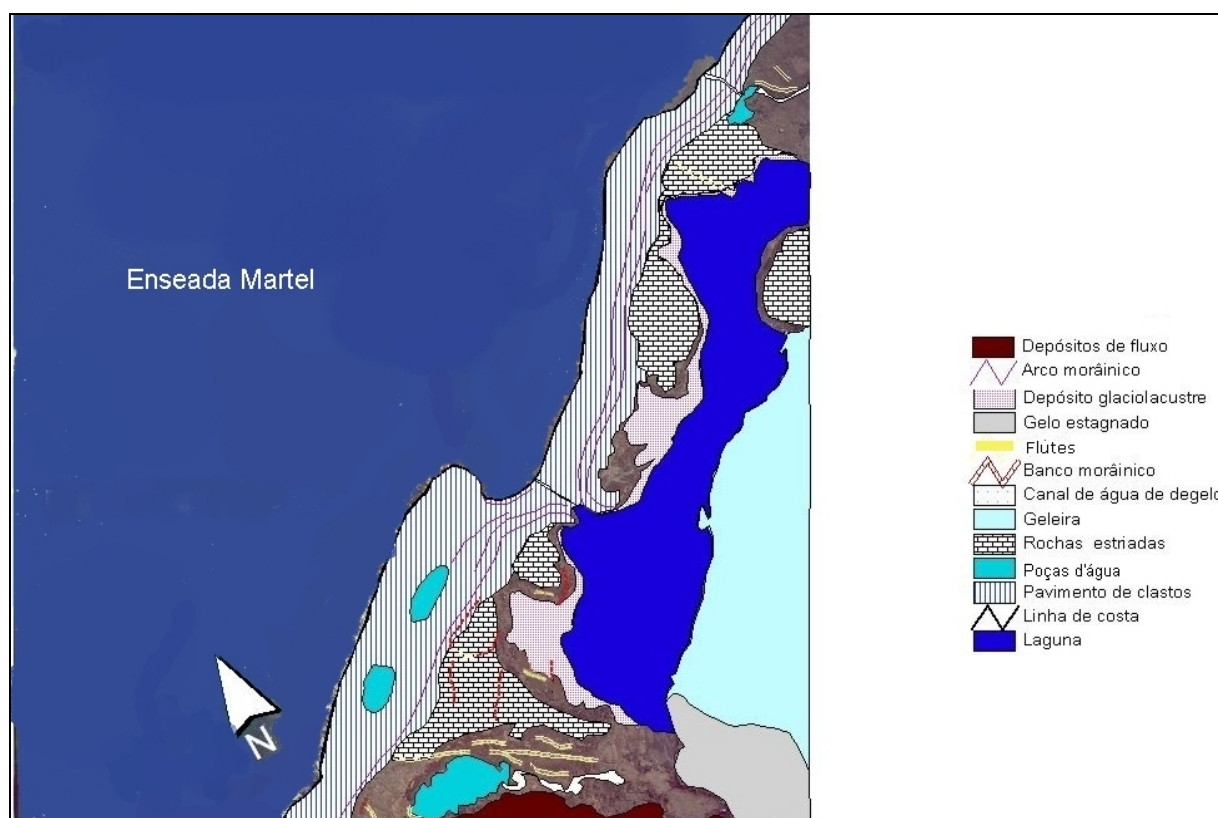


Figura 20 – Modelo geomorfológico da área proglacial da geleira Wanda.

A geleira possui regime termal basal úmido baseado na grande proporção de sedimentos finos, rochas estriadas, pavimento de clastos, blocos *stoss and lee* e depósitos subglaciais (Rosa *et al.*, 2008). Isso também é evidenciado pelo fluxo de água de fusão na base provenientes da superfície e da zona subglacial.

A retração da geleira expôs uma paisagem susceptível à rápida mudança pós-deposicional. Terrenos recentemente deglaciados, principalmente os depósitos morânicos sofrem processos de retrabalhamento eólico e por fluxo de detritos (Ballantyne, 2002). A colonização por líquens e musgos, observada em campo, indica estabilização do terreno deglaciado. Como consequência das atividades paraglaciais tem-se mudanças nas características de textura, fábrica e estrutura dos sedimentos superficiais (Ballantyne, 2002).

Observa-se, pela fotointerpretação, uma grande quantidade de poças na área proglacial entre os depósitos morânicos e *flutes* derivados de fluxos glaciofluviais. Há pouca cobertura de detritos sobre a superfície da geleira e não se observa muitas fendas.

Os depósitos de *flutes* são desenvolvidos em áreas próximas à margem da geleira na área proglacial. Nestes depósitos são encontrados feições *stoss in lee*, rochas estriadas, clastos com maior grau de arredondamento e retrabalhamento pela ação da água de degelo.

4.3.1 – Depósitos morânicos

4.3.1.1 – Depósitos morânicos latero-frontais

Os depósitos morânicos latero-frontais (Figuras 21 e 22) indicam as posições laterais e frontais dos fluxos de gelo durante o processo de retração das geleiras.

A análise do tamanho dos grãos mostra distribuição unimodal (Figura A1 em anexo) com pobre grau de selecionamento (Tabela B2). Nas amostras dos depósitos morânicos predominam o tamanho areia e cascalho (Tabela B2 em anexo). Observa-se, pelo tamanho dos blocos, que o fluxo de gelo na parte oriental da geleira já não tem tanta energia de transporte (Figura 23).



Figura 21 – Amostras dos depósitos morânicos latero-frontais da geleira Wanda: a) Moraina lateral ocidental (amostra 4) situada 220 metros de altitude; b) Cordão morânico latero-frontal, amostra 7, situado a uma altitude de 69 m; c) Moraina latero-frontal (amostra 12); d) Depósito morânico, da amostra 21; e) Depósito morânico lateral de recessão (amostra 22) localizado no lado ocidental da área de deglaciação; f) Cordão de recessão lateral ocidental, local da amostra 23; g) Crista morânica lateral (amostra 24) no lado ocidental da área de deglaciação. Apresenta-se interrompida por movimentos laterais de vertente; h) Moraina lateral oriental, ao local da amostra 28, formada no limite entre a geleira Wanda e a Krak; i) Localização da coleta da amostra 29 correspondente a um costão junto ao cordão morânico oriental; j) Cordão morânico latero-frontal ocidental (local da amostra 35), próxima à costa. Fotografias de Rosa, (2007).



Figura 22 – Localização das amostras 4, 22-24 conforme indicadas nas fotografias. As linhas em marrom mostram os outros cordões morânicos situados na parte ocidental do ambiente de deglaciação. A linha em laranja respresenta depósitos subglaciais e as linhas tracejadas vermelhas, antigos limites da geleira - *trimlines* (Fotografia de Vieira, 2007).

As características morfoscópicas dos sedimentos dessas amostras mostram textura superficial predominantemente sacaróide fosca (Figura A5 em anexo) e esfericidade média (Figura A3 em anexo).

O elevado índice RA (Figura 24 e 25) dos 50 clastos com diâmetro $a > 20\text{mm}$ analisados para cada amostra, indica pouco arredondamento nos grãos, geralmente angulares a subangulares. As amostras 7, 12, 22 e 23 apresentam grãos com maior grau de arredondamento (b, c, e, f das Figuras 24 e 25).



Figura 23 – Blocos erráticos situados junto ao cordão morênico onde foi coletada a amostra 7. Fotografia de Vieira (2007).

As amostras 4 e 24 têm alto índice C_{40} e os resultados do diagrama triangular (Figura 26) mostram que a maioria dos grãos dessas amostras possui raio c/a menor que 0,4, sugerindo transporte passivo dos grãos e que tendem a ser menos esféricos. Nessas amostras há ausência de micro-ranhuras, facetas e sulcos nos grãos.

Já as amostras 7, 12, 21, 22, 23, 28, 29 e 35 possuem relativo baixo índice C_{40} (Figura 26) e predomínio de grãos com características intermediárias (conforme diagrama ternário – Figura 26) que indicam mistura de sedimentos que sofreram transportes diferentes. Além disso, há uma alta modificação pós-deposicional por água de degelo, tornando os grãos mais esféricos, mais arredondados e com maior proporção de finos.

Nos depósitos morênicos das amostras 22 e 28 observam-se estrias no embasamento rochoso com orientação de $N40^{\circ}E$ e $N55^{\circ}E$, respectivamente (Figura 27), as quais foram formadas em um estágio anterior quando a geleira possuía maior volume e extensão.

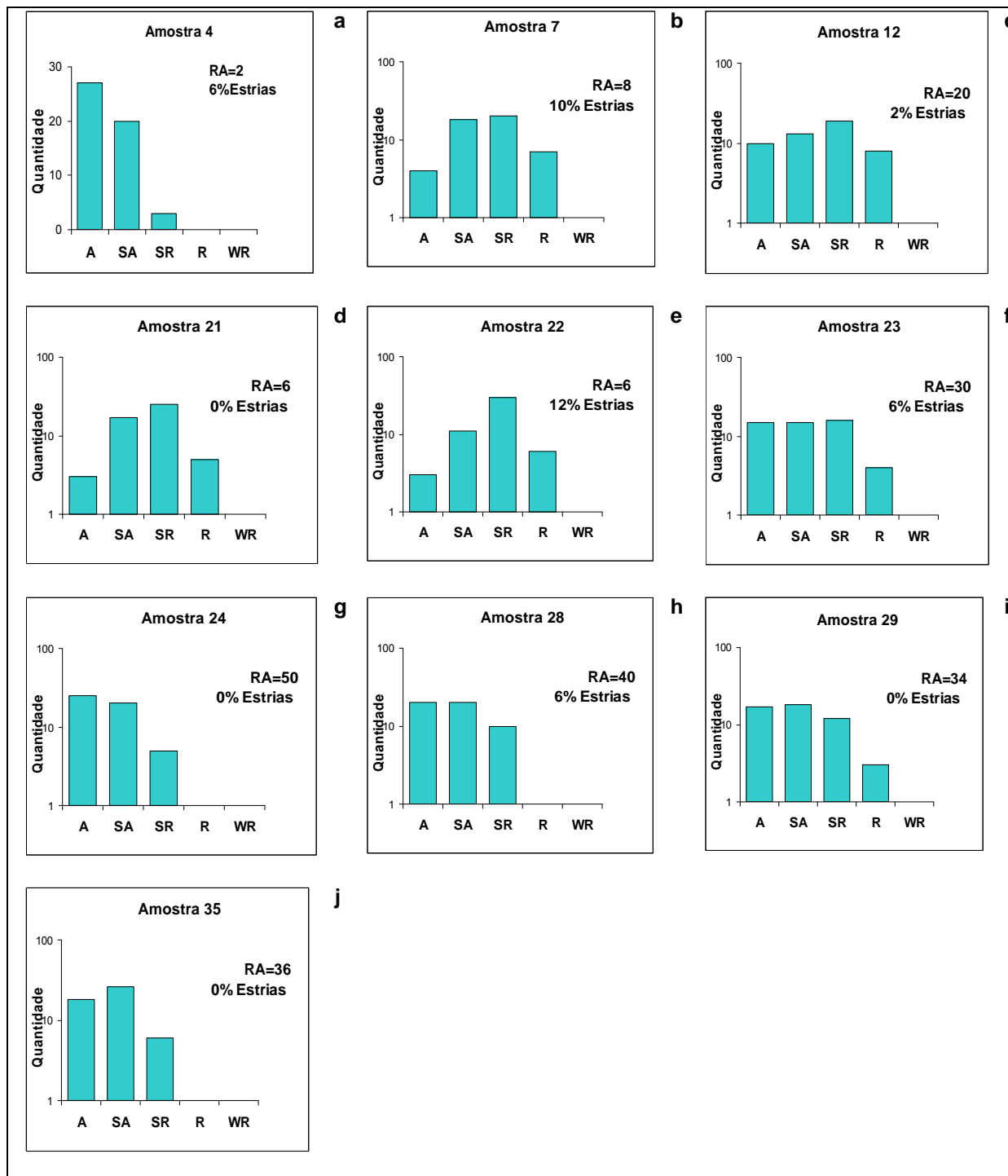


Figura 24 – Os gráficos mostram graus de arredondamento de 50 grãos analisados de cada amostra os quais possuem eixo $a > 20$ mm.

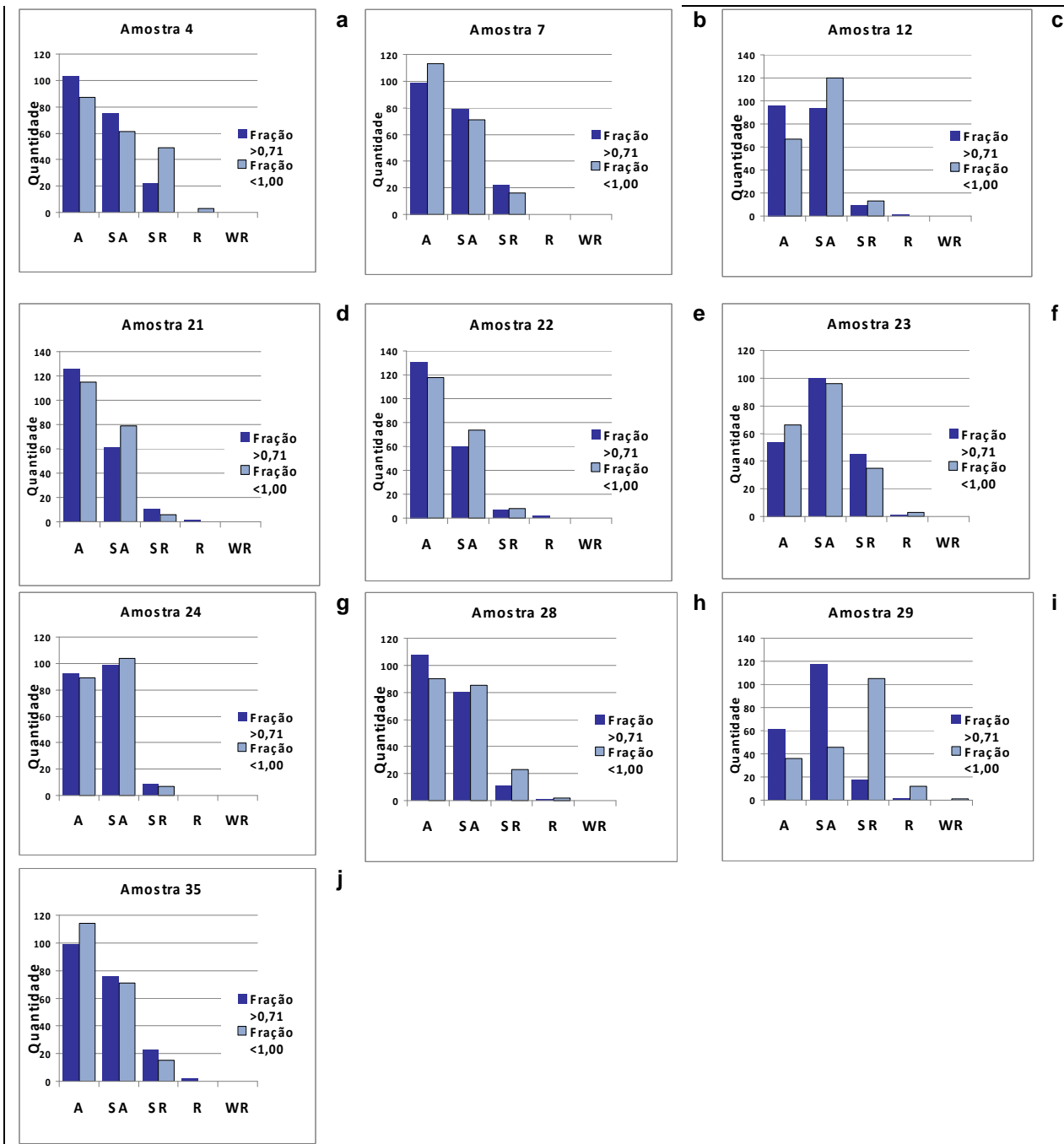


Figura 25 – Graus de arredondamento de cada depósito conforme análise de amostras de 100 g.

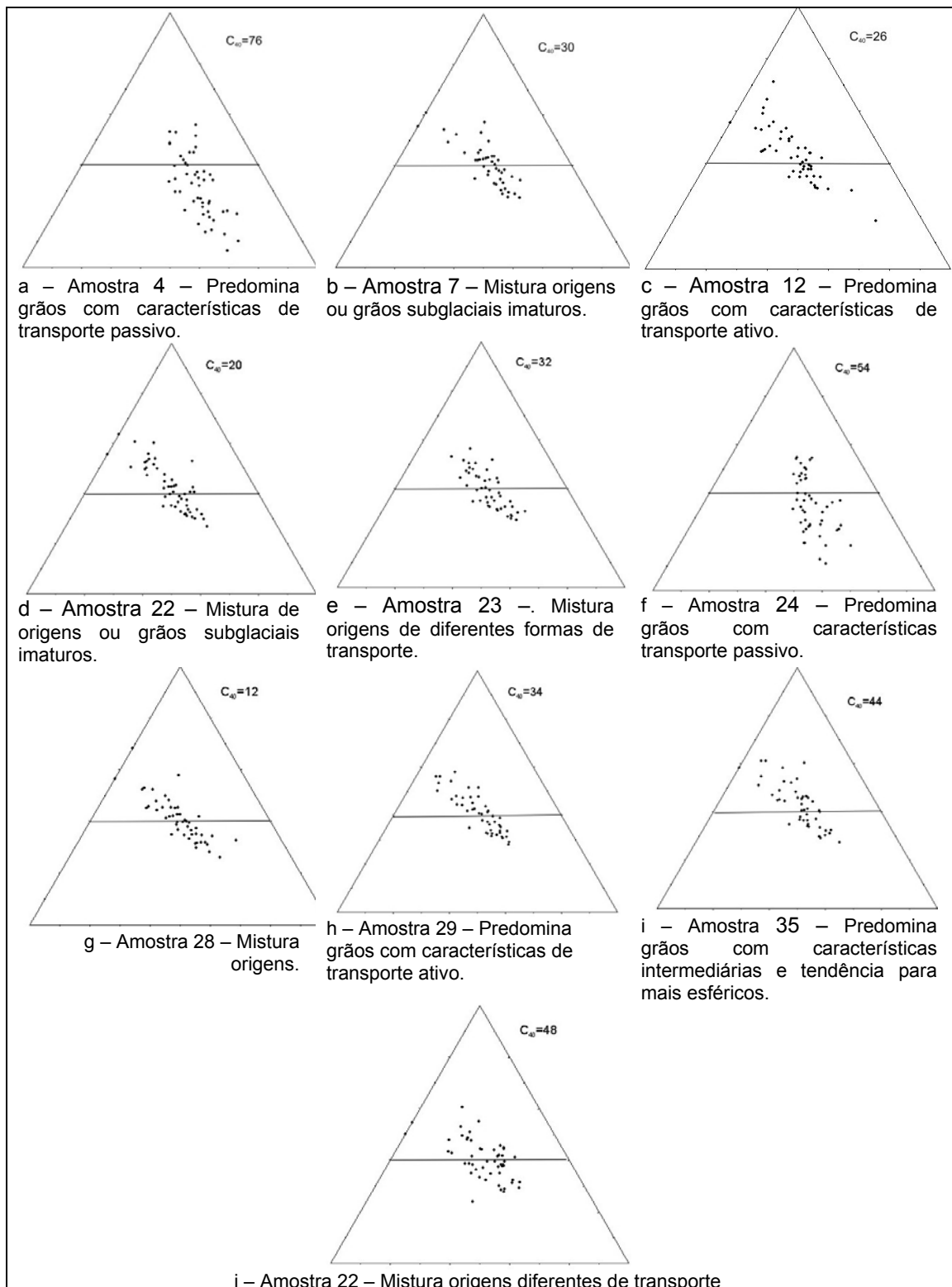


Figura 26 – Diagramas triangulares mostram os raios dos três eixos ortogonais da partícula e os índices C_{40} das amostras 4, 7, 12, 21-24, 28, 29 e 35 respectivamente.

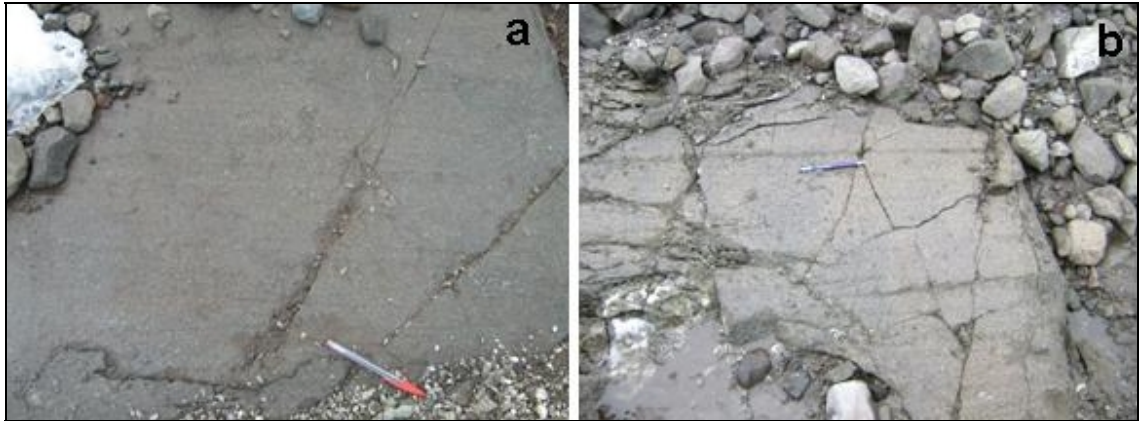


Figura 27 – Fotografia (a) mostra estrias no embasamento rochoso no local da amostra 22 e com orientação de N40°E. A deposição dos depósitos morânicos é posterior ao estágio de estriamento destas rochas (Fotografia de Rosa, 2007). (b) Estrias no embasamento rochoso sob a amostra 28 com orientação de N55°E (Fotografia de Vieira, 2007).

A atividade biológica observada junto aos depósitos morânicos laterais das amostras 4 e 24 (Figura 28) indica estabilidade desses depósitos.

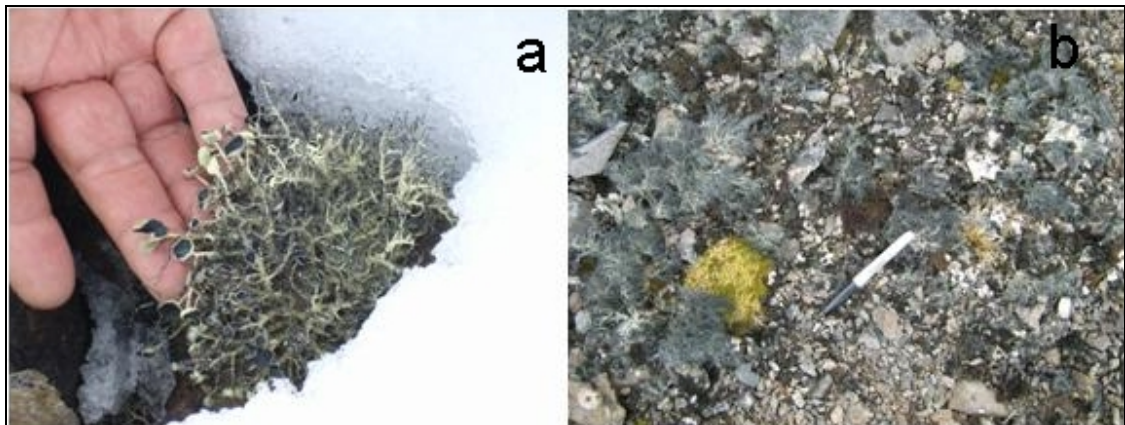


Figura 28 – Atividade orgânica – presença de líquens e musgos ramificados – estabilidade do depósito (Fotografia de Vieira, 2007).

De acordo com essas características granulométricas e morfoscópicas, a posição e forma dos depósitos e pela classificação que interpreta os ambientes deposicionais, segundo suas características de arredondamento dos grãos (Glasser e Hubbert, 2005) (Tabela A7 em anexo), esses depósitos podem ser interpretados como depósitos morânicos.

4.3.1.2 – Depósitos morânicos frontais de recessão

Estão localizados na área proglacial da geleira, numa área de baixa altitude, em torno de 5 metros, e sofrem ação do retrabalhamento pós-deposicional pela água de degelo. A pequena altura (máximo 50 cm) apresentada por estes depósitos morânicos frontais de recessão (Figura 29) indica uma pequena espessura da frente da geleira.

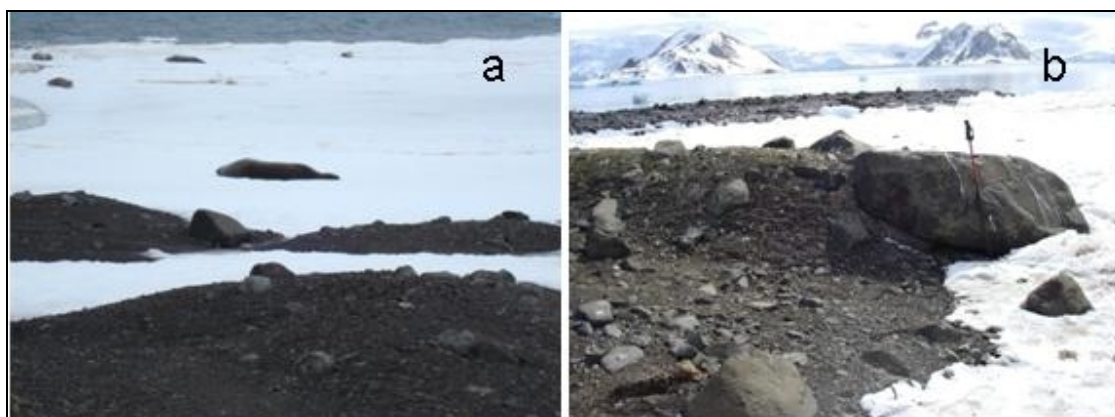


Figura 29 – As Figuras a e b mostram respectivamente o local das amostragens 11 e 33 correspondentes aos depósitos morânicos frontais de recessão (Fotografias de Vieira, 2007).

São constituídos de frações areia e cascalho (Tabela B2). As amostras são mal selecionadas e possuem distribuição multimodal do tamanho dos grãos (Figura A1 em anexo), típicas de sedimentos que sofreram transporte ativo. A amostra 11 possui maior proporção de sedimentos de granulometria fina, isto decorre porque esse depósito, em função de sua localização, sofreu menor ação de retrabalhamento pós-deposicional pela água de degelo, o que poderia carregar os finos.

Os depósitos morânicos de recessão possuem características sedimentares que revelam maior atividade de erosão subglacial comparativamente aos depósitos morânicos anteriores. No local de amostragem 33 observa-se a presença de rochas estriadas, pontas, sulcos e micro-estriações.

A amostra contém uma mistura de origens de grãos com transportes distintos, pois há grãos com características intermediárias de modificação, conforme o diagrama ternário (Figura 30c e f). De acordo com os baixos índices C_{40} (Figura 30c e f) e índice RA (Figura 30) de uma amostragem de 50 clastos, há um bom grau de arredondamento nos grãos, indicando transporte ativo. O grau de arredondamento varia de angular a subarredondado (Figura 30). A esfericidade é predominantemente média (Figura A3 em anexo) e na textura superficial há predomínio de grãos mamelonados foscos nos grãos maiores (Figura A5 em anexo) e sacaróide nos sedimentos mais finos (Figura A5 em anexo). Essa diferença de modificação, ocorre porque os grãos de maior granulometria retêm suas características originais, tais como texturas superficiais (ranhuras e sulcos), do que os menores, que sofrem maior fragmentação. Pelas características dos grãos, presença de estrias e baixo índice C_{40} interpreta-se como uma moraina composta de *till* basal.

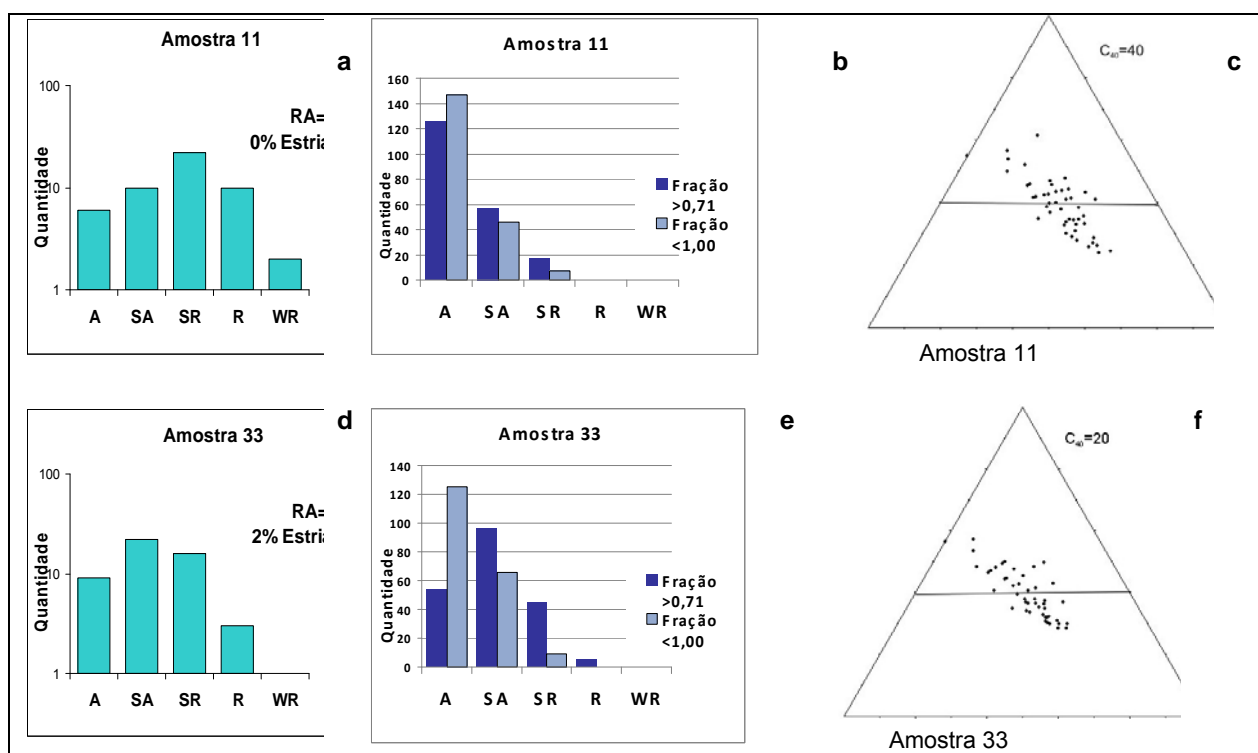


Figura 30 – Gráficos a-e c mostram os graus de arredondamento e diagrama ternário com índice C_{40} da amostra 11. Os gráficos d-f mostram os graus de arredondamento e diagrama ternário com índice C_{40} da amostra 33.

4.3.2 – Depósitos e geoformas subglaciais

4.3.2.1 – Depósitos subglaciais

Os depósitos subglaciais (Figura 31) dominam o ambiente de deglaciação da geleira Wanda. São caracterizados por uma composição de areia e cascalho (Tabela B2 em anexo). As amostras 6, 9 e 36 têm baixa proporção de finos (Tabela B2 em anexo), esses depósitos sofreram ação de retrabalhamento pela água de degelo, predominando, assim, cascalhos. A distribuição do tamanho dos grãos é multimodal ou bimodal (Figura A1 em anexo), típica de transporte ativo. A maioria das amostras é mal selecionada (Tabela B2 em anexo).

Blocos erráticos, em amostras subglaciais são indicativos da direção do fluxo de gelo, eles foram transportados até a estagnação do mesmo. Observa-se nas amostras a presença de rochas estriadas, feições *stoss and lee* (Figura 31p) e micro-estrias, sulcos e grãos facetados caracterizando erosão subglacial. A baixa proporção de clastos estriados e facetados, observada nas amostras 2, 6, 9, 27 e 36, sugere um transporte limitado na base da geleira e a possibilidade de retrabalhamento de parte dos clastos por outros processos, particularmente glaciofluvial.

O grau de arredondamento dos grãos, conforme observado no histograma, no diagrama ternário e pelo índice RA (Figura 32, 33 e 34), é típico de sedimentos transportados subglacialmente. As amostras 1, 9 e 36 apresentam maior angularidade dos grãos (Figura 32 e 33), ausência de sulcos e ranhuras, sinal que foram fragmentados pela ação do gelo. Já na amostra 3 (Figura 32 e 33), os grãos são arredondados e a bem arredondados devido a atividade erosiva pela água de degelo.

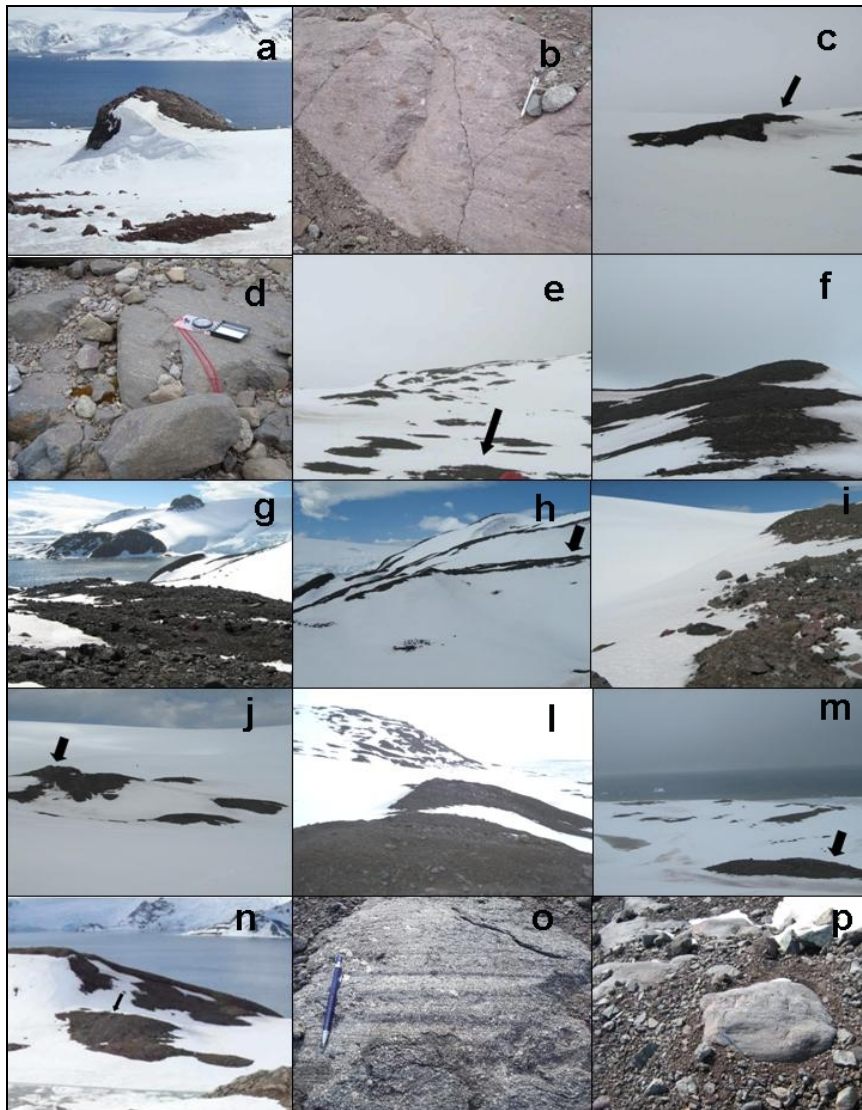


Figura 31 – Depósitos subglaciais expostos no ambiente de deglaciação da geleira Wanda. (a) Depósito subglacial (localizado na amostra 1) na área mais central da geleira, serviu como um divisor de fluxo recentemente; (b) Rocha estriada (no depósito da fotografia a) em diversos pontos com blocos soltos, indicando transporte de alta energia quando a geleira passava sobre esse ponto e com posterior atividade intempérica. Estrias possuem declinação de N40°E; (c) Depósito subglacial (no local da amostra 2) com o embasamento rochoso estriado; (d) Estrias encontradas no embasamento rochoso (no local da amostra 2) com orientação de N30°E e N40°E; (e) Depósito subglacial (no local da amostra 3); (f) Depósito subglacial (no local da amostra 5) serviu como um divisor de fluxos quando a geleira possuía maior volume e extensão; (g) No local da amostra 5 subglacial localizada na parte mais alta do cordão morâinic lateral oriental; (h) No local da amostra 6 subglacial localizada junto à vertente leste do bloco elevado da moraina lateral oriental; (i) Observa-se que o material fino foi levado adiante pelo fluxo de água de degelo, selecionando a amostra; (j) No local da amostra 8, subglacial, apresenta embasamento estriado com orientação das estrias de N 20° E; (l) No local da amostra 9, subglacial, localizada abaixo da amostra 1. Possui embasamento rochoso estriado com orientação das estrias de N30°E; (m) Depósito subglacial (amostra 10) localizado numa posição abaixo da amostra anterior, junto à área proglacial. Orientação das estrias de N45°E; (n) Depósito subglacial (amostra 36); (o) Orientação das estrias, no local da amostra 36, de N35°E; (p) Feição *stoss and lee* localizada no local da amostra 5 (Fotografias de Vieira e Rosa, 2007).

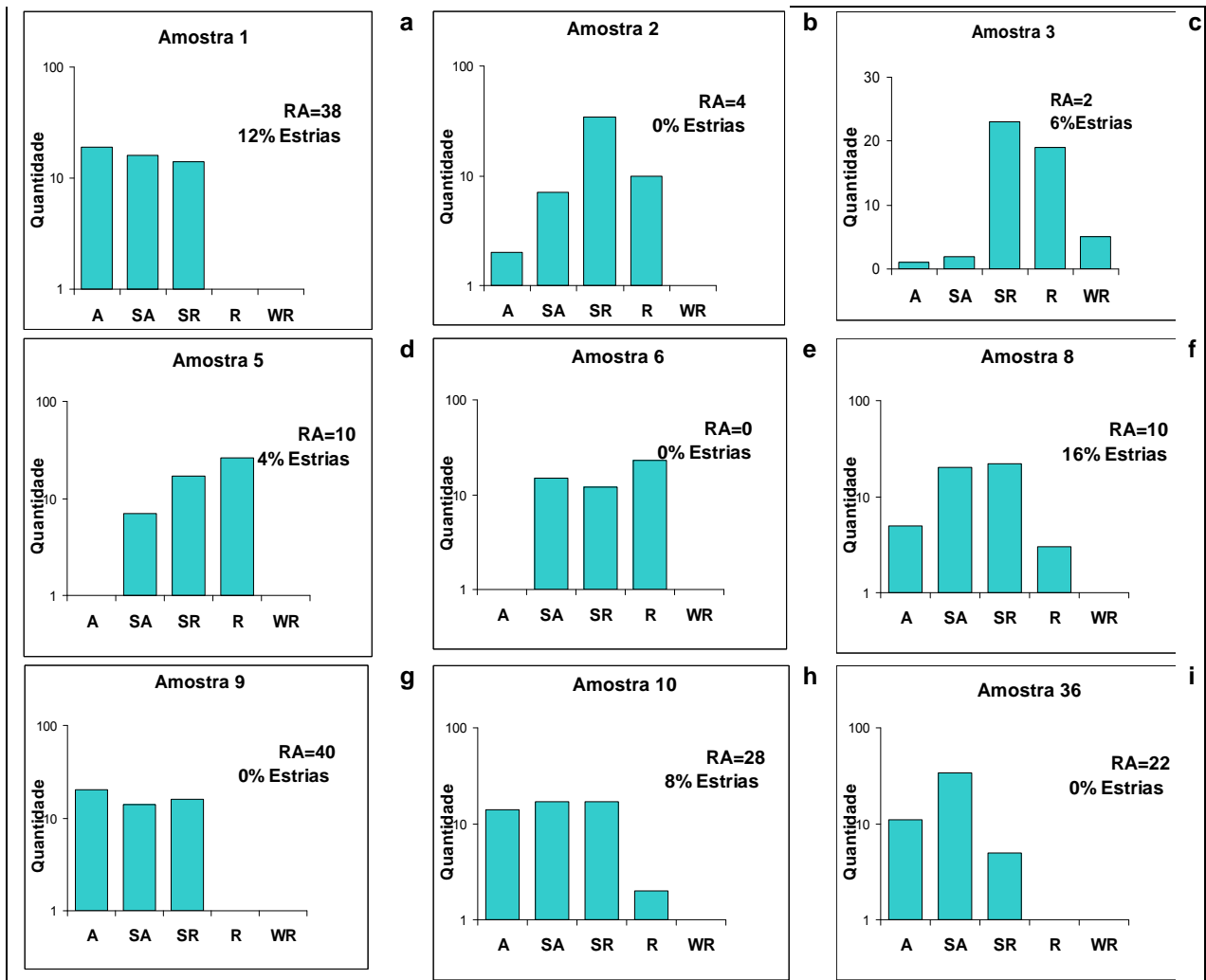


Figura 32 – Graus de arredondamento de cada depósito conforme análise de amostras de 10 g.

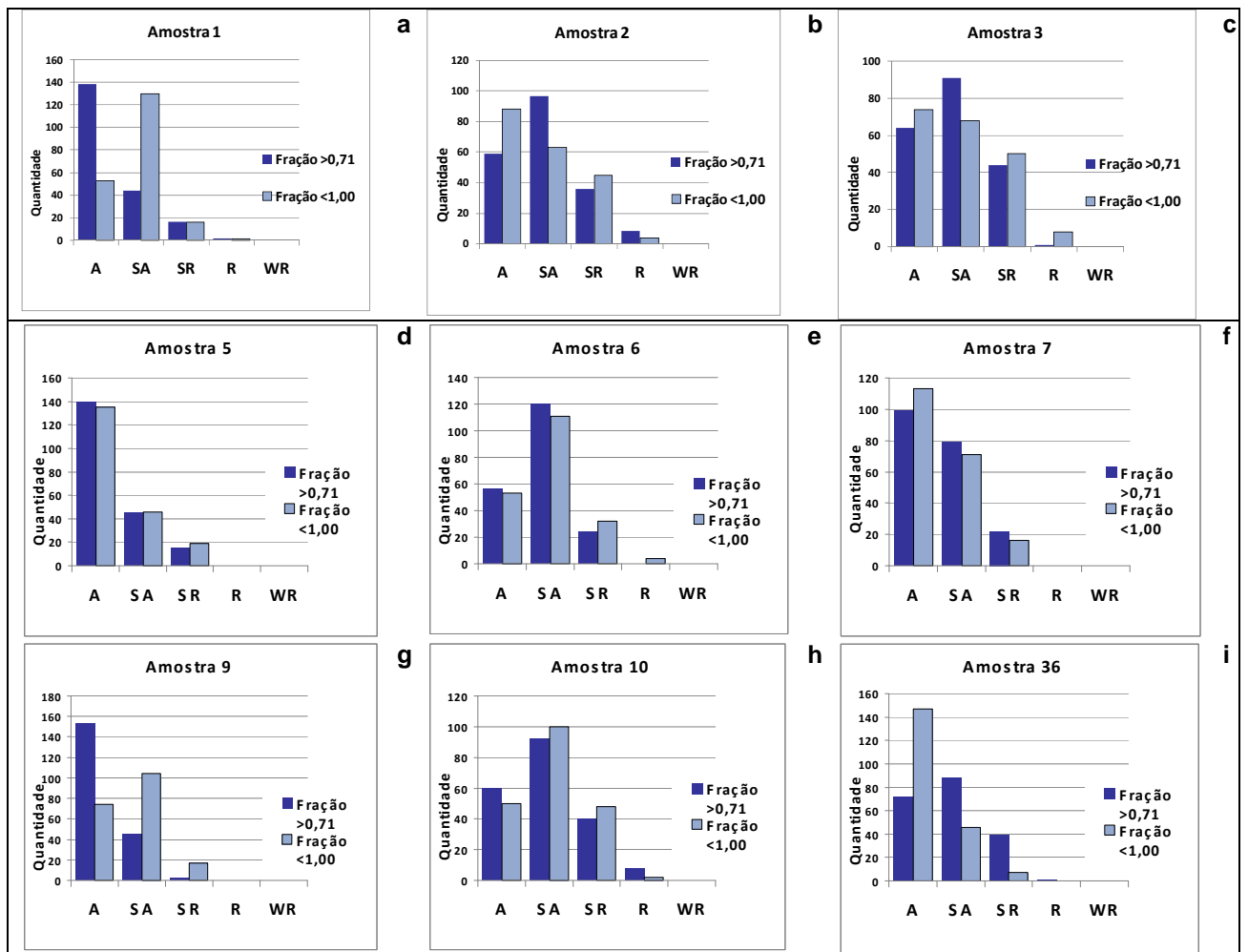


Figura 33 – Graus de arredondamento de cada depósito conforme análise de amostras de 100 g.

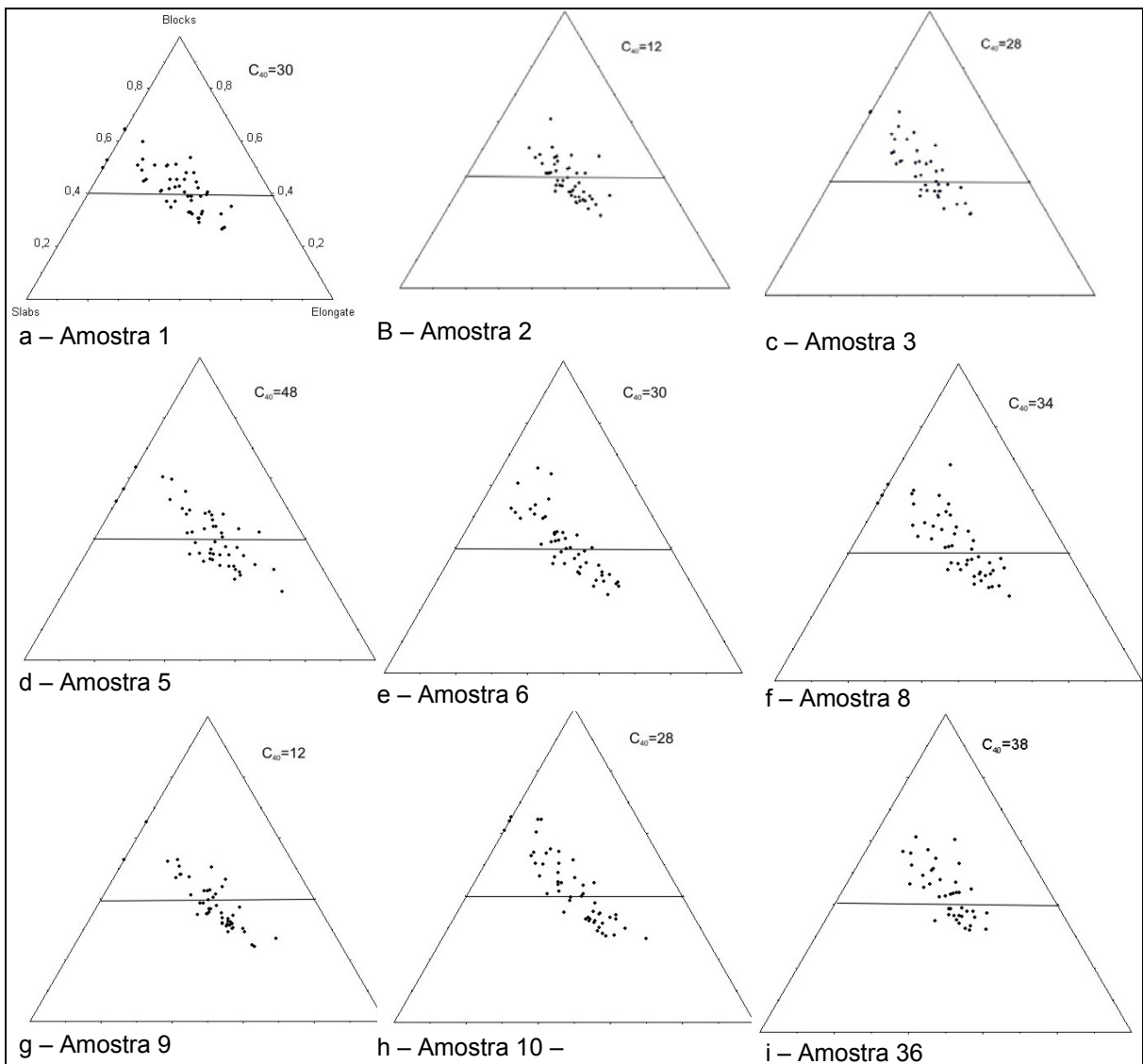


Figura 34 – Diagramas ternários e índices C_{40} . As Figuras a, d, f, h e i demonstram predomínio de grãos com características de transporte ativo. Já as Figuras b, c, e, g indicam mistura de diferentes origens de transporte ou grãos subglaciais imaturos.

4.3.2.2 – Depósito de pavimento de clastos

O depósito de pavimento de clastos (amostra 35) está localizado na área proglacial da geleira Wanda, na linha de praia. Observa-se um grande selecionamento na amostra com uma elevada concentração de partículas tamanho seixo, os quais possuem superfícies semiplanas e estriadas (Figura 36). A ação da maré carrega os sedimentos finos do depósito.



Figura 35 – Depósito de pavimento de clastos com grande concentração de seixos (Fotografia de Vieira, 2007).

Quanto às características morfoscópias, os grãos possuem muitos sulcos, microestriações e facetamento caracteriza processos erosivos subglaciais.

O baixo índice RA dos 50 clastos indicam um bom grau de arredondamento dos grãos, predominando aqueles arredondados (Figura 36a). A esfericidade predominante é média e a textura superficial é mamelonada fosca (Figuras A3 e A5 em anexo). Os baixos índices C_{40} (Figura 36b) e resultados do diagrama triangular, mostram que a maioria dos grãos possui raio c/a maior que 0,4, e sugere transporte ativo com tendência para grãos mais esféricos.

Pavimentos de clastos são sujeitos à força da maré, ondas, correntes de tempestades e repetida abrasão por grunhões e pedaços de *icebergs*; estes processos são responsáveis pelo desenvolvimento de bordas arredondadas, esfericidade e superfície polida e estriada (Eyles, 1994). Além disso, evidencia deposição subglacial por geleiras temperadas (Vieira *et al.*, 2005).

A concentração do tipo pavimento de clastos é formada pela deposição de *till* de alojamento em substratos pouco deformáveis. Nessas condições, os clastos em movimento

sob a geleira sulcam o substrato, acumulando sedimentos à jusante do obstáculo e que terminam por criar resistência ao avanço do gelo, retardando o movimento para frente. Como resultado, há o congestionamento de outros clastos atrás do primeiro e, assim, sucessivamente, formando um pavimento (Rocha-Campos e Santos, 2001).

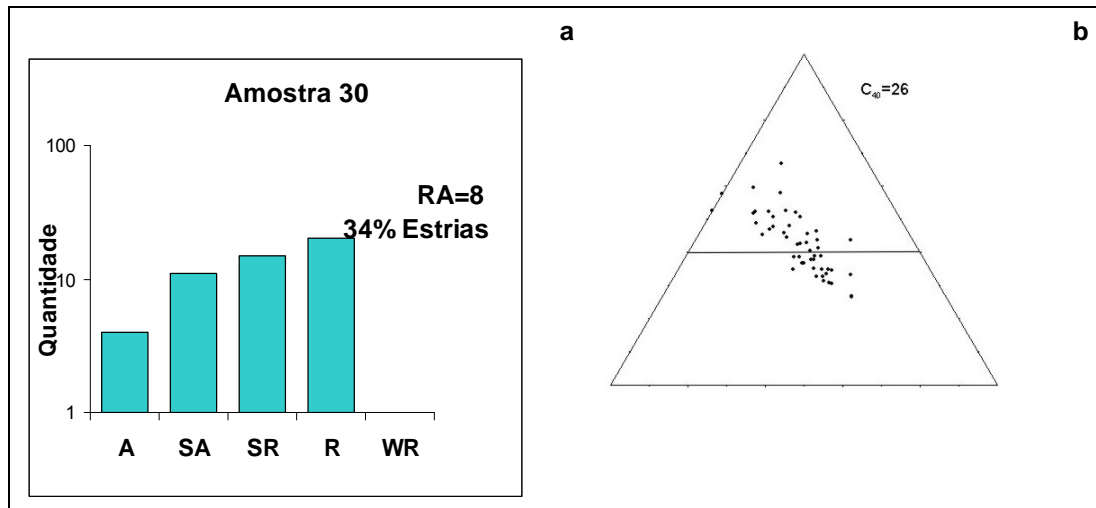


Figura 36 – Histograma de arredondamento dos grãos (a), diagrama ternário e o índice C_{40} (b).

4.3.2.3 – Geoformas erosivas subglaciais

O embasamento rochoso, na parte ocidental da área de deglaciação, situado a 135 metros de altitude, possui feições (Figuras 37a e b) erodidas subglacialmente e lateralmente pelo fluxo de gelo. Essas geoformas foram formadas quando a geleira possuía maior volume e extensão.

As amostras são pobremente selecionadas, granulometria predominantemente grossa (Tabela B1 em anexo). Estão sujeitas a movimentos laterais de vertente e apresentam-se bem fragmentadas. Observa-se a presença de líquens e musgos, o que sugere a estabilidade do depósito. Morfoscopicamente os grãos possuem micro-estriações indica erosão pela base da geleira. Porém, pelo elevado índice RA e segundo os histogramas (Figura 38), dos 50 clastos, observa-se predomínio dos grãos angulares a subangulares. A esfericidade varia entre de

pobre a média (Figura A3 em anexo) e a textura superficial é sacaróide fosco (Figura A5 em anexo).



Figura 37 – Feições erosivas correspondentes ao local das amostras 25 e 26 (figura a) e 27 (figura b) formadas quando a geleira possuía maior volume e extensão (Fotografias de Vieira, 2007). As flexas (a) indicam as feições erosivas.

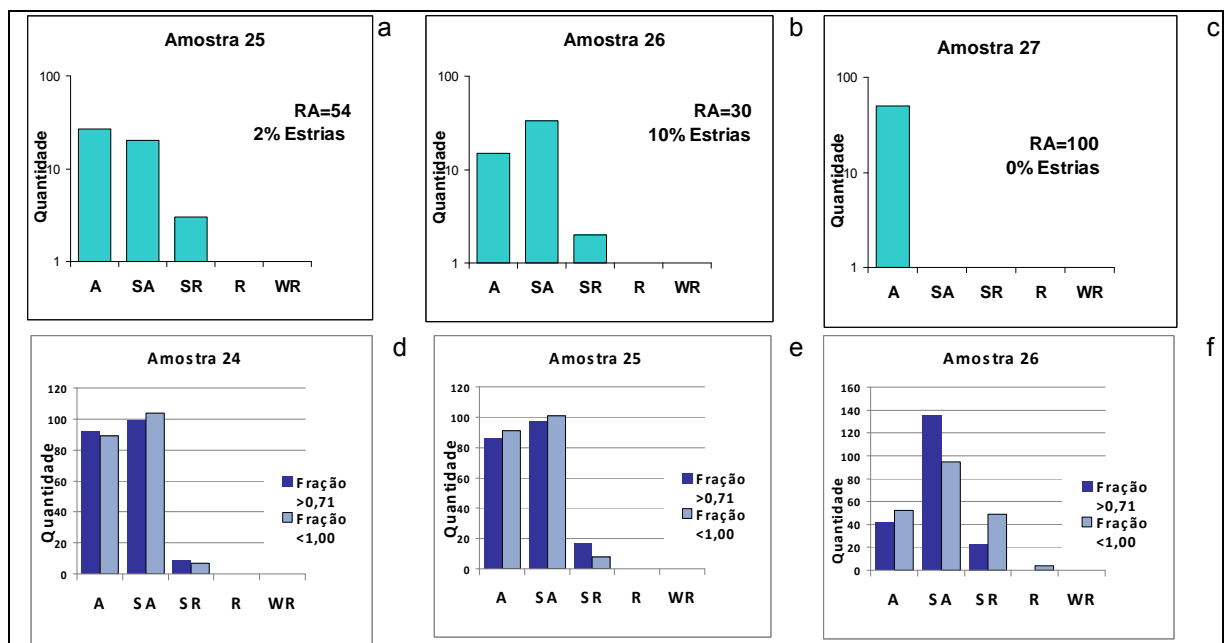


Figura 38 – Os gráficos a-c mostram o gráfico dos graus de arredondamento de 50 grãos com eixo a > 20 mm analisados em cada amostra e índices de RA das amostras 25, 26 e 27. Os gráficos das d-f mostram grau de arredondamento em 100 g cada amostra.

Os altos relativos índices de C_{40} e predomínio de grãos com menores raios c/a (conforme diagramas ternários da Figura 39) indicam grãos mais alongados e imaturos. A alta angularidade e pouca esfericidade podem resultar da grande quebra que sofrem os grãos por processos de intemperismo físico pós-deposicional.

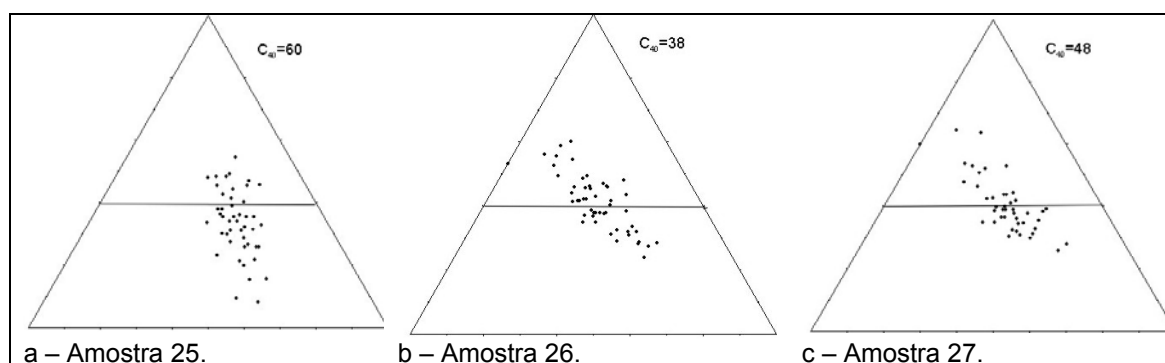


Figura 39 – Diagramas ternários e índices C_{40} mostram tendência para os grãos serem mais alongados e indica imaturidade dos grãos.

4.3.3 – Depósitos subglaciais glaciofluviais – *Flutes* e *kames*

4.3.3.1 – *Flutes*

Estes depósitos possuem forma de uma crista alongada alinhados paralelamente ao fluxo de gelo (Figura 40). *Flutings* possuem uma secção transversa uniforme que geralmente se inicia por um obstáculo rochoso (Bennett e Glasser, 1996). Ocorrem agrupados em cristas subparalelas (Gordon *et al.*, 1992). Eles são compostos por *till* de alojamento e também contêm areias e cascalhos (Bennett e Glasser, 1996). Estão localizados na área proglacial da geleira Wanda em um ambiente recentemente exposto, predominantemente deposicional e situados entre 5 a 17 metros de altitude. Estes depósitos indicam a direção local do fluxo de gelo, a presença de gelo pouco espesso e de base úmida (Bennett e Glasser, 1996).



Figura 40 – Localização dos *flutes* na área proglacial da geleira Wanda. a) Amostras 14, 15 e 16 localizadas em porções distintas do mesmo cordão de *flutes*; b) Amostras de *flutes* 17, 18 e 19 na parte mais central da área proglacial da geleira Wanda; c) Depósito de *flutes* (amostra 20); d) Localização das cristas de *flutes* das amostras 20, 31, 32 e 33; e) Depósitos de *flutes* (amostras 32 e 34) localizados próximos à moraina frontal; f) Rocha stoss and lee encontrada no depósito de *flutes* da amostra 34. Fotografias de Vieira, 2007.

A distribuição do tamanho dos grãos (Figura A1 em anexo) é bimodal e multimodal, típicos de transporte subglacial. Já a amostra 19 possui distribuição unimodal decorrente da lavagem sofrida pela água de degelo pós-deposicional. Por estarem num ambiente recentemente exposto, apresentam intemperismo incipiente. Estão localizados numa área lamosa, onde há predomínio de frações cascalho e areia (Tabela B2 em anexo). Os grãos são pobremente mal selecionados (Tabela B1 em anexo).

O baixo índice RA (Figuras 41 e 42) indica que ocorreu um bom arredondamento dos grãos, predominando subangulares a subarredondados (principalmente nos grãos mais grossos), típico de sedimentos subglaciais.

Observam-se nas amostras características de modificação erosiva subglacial tais como rochas facetadas, fraturadas, com sulcos e estriações. Além disso, a amostra de *flutes* número 34 apresenta blocos do tipo *stoss and lee* (Figura 40f).

A esfericidade é predominantemente média (Figura A3 em anexo) e a textura superficial mamelonada fosca nos grãos mais grossos e sacaróide nos sedimentos mais finos (Figura A5 em anexo).

Os baixos índices C_{40} e resultados do diagrama triangular (Figura 43) sugerem transporte ativo com os grãos tornando-se mais esféricos. Já a amostra 19 possui características intermediárias dos grãos, podendo indicar imaturidade textural dos grãos devido, provavelmente, a pouca distância de transporte desde sua origem até sua deposição, causa pouco desgaste dos grãos. Essa imaturidade textual também é evidenciada pela angularidade e ausência de estrias nos grãos examinados.

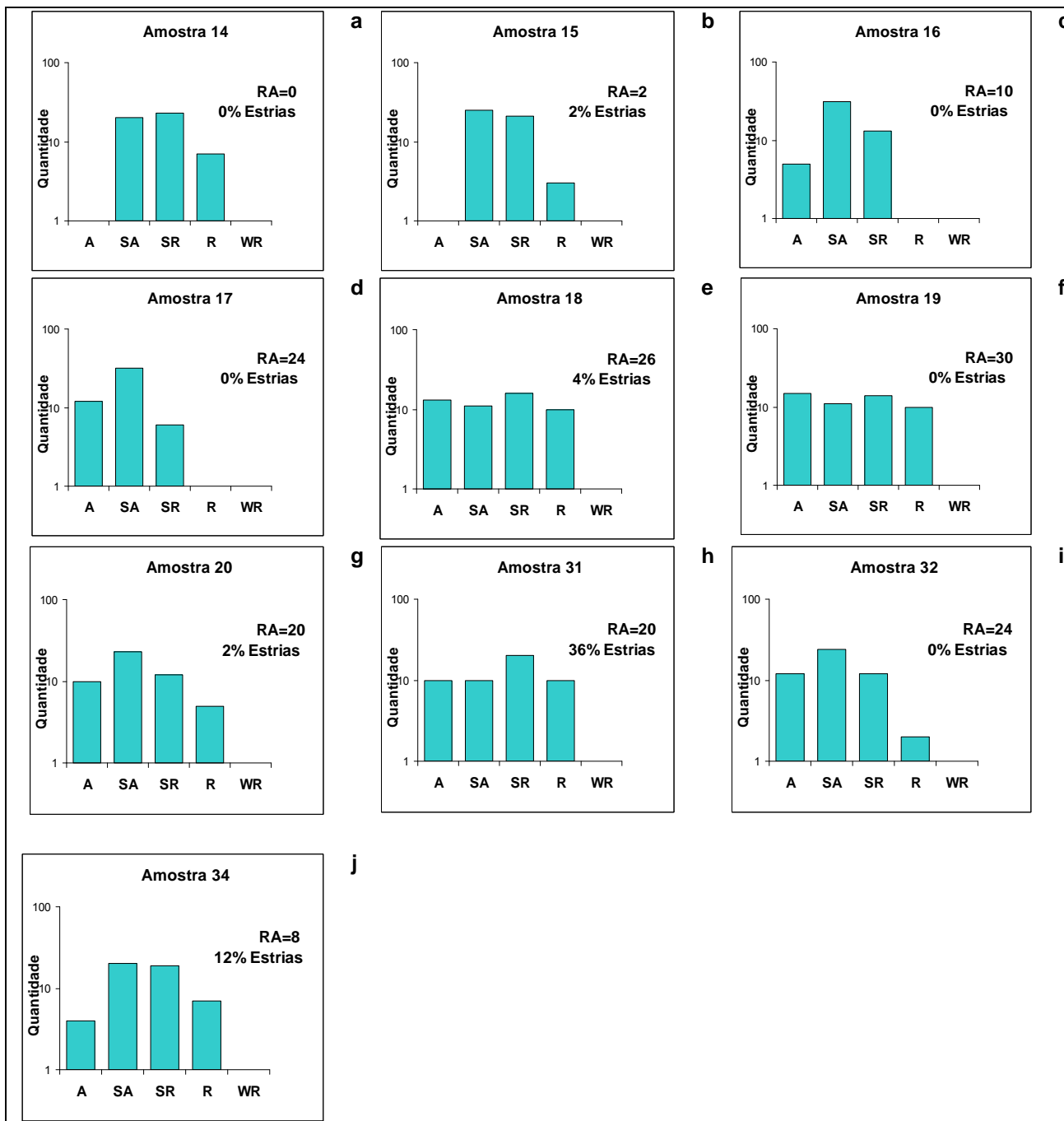


Figura 41 – Os gráficos mostram graus de arredondamento de 50 grãos com eixo $a > 20$ mm analisados de cada amostra e índices de RA, também mostram o arredondamento em 100 g coletados para cada amostra.

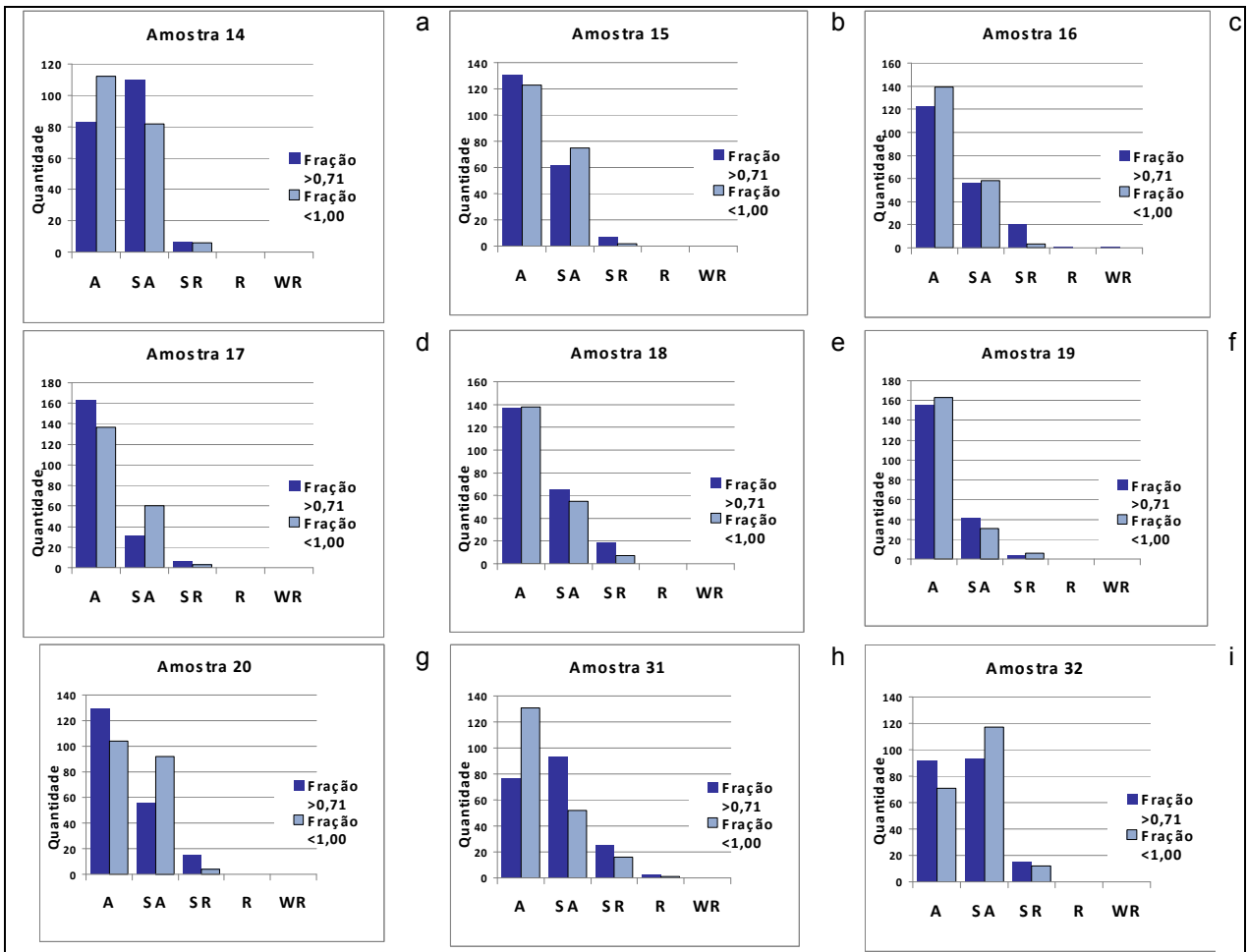


Figura 42 – Os gráficos mostram graus de arredondamento em 100 g coletados para cada amostra.

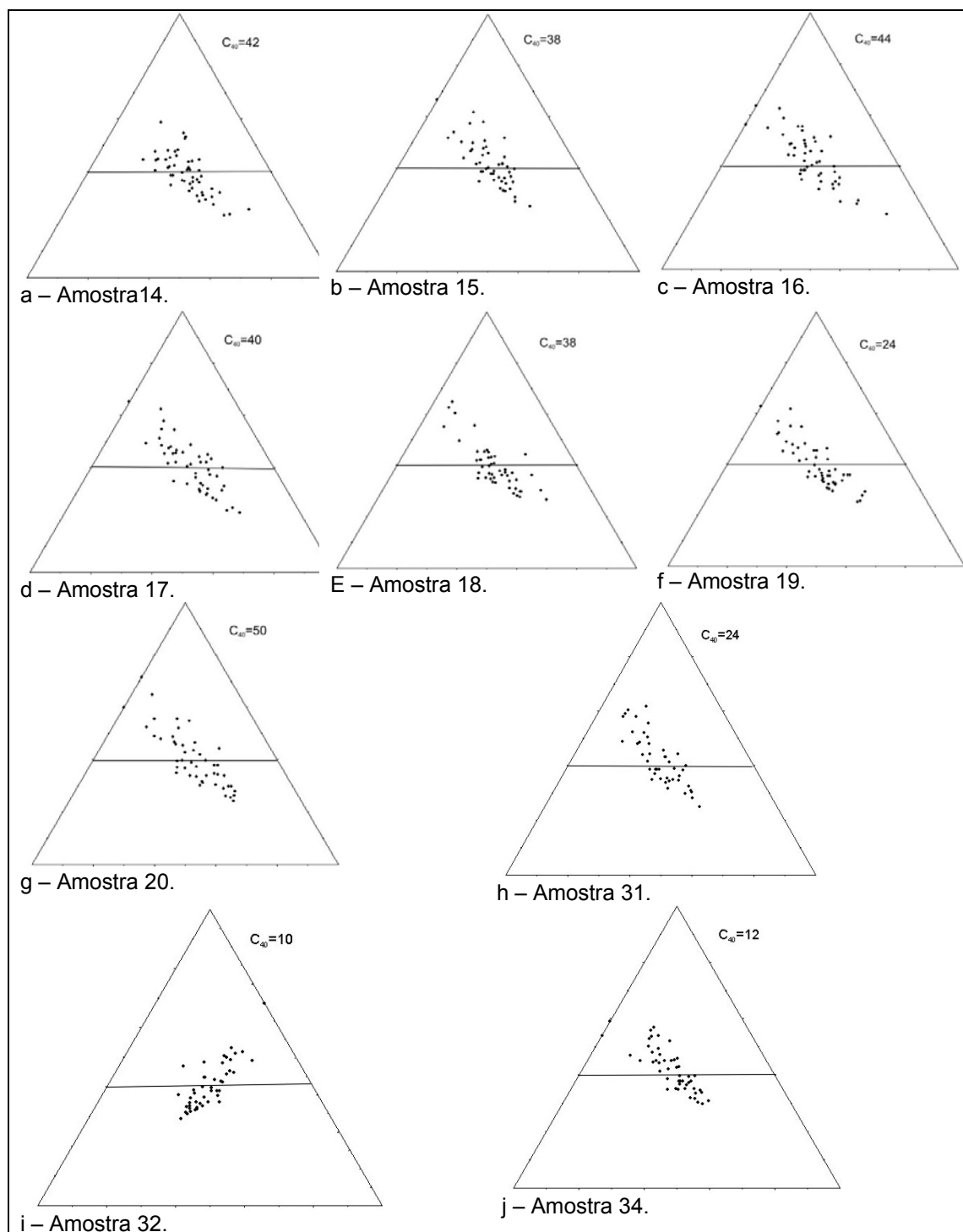


Figura 43 – Diagramas ternários e índices C_{40} . As Figuras b, d, e, f, h, i e j demonstram o predomínio de grãos com características de transporte ativo. Já as Figuras a, c e g indicam mistura de diferentes origens de transporte ou grãos subglaciais imaturos.

4.3.3.2 – Terraço de *kame*

Terraços de *kame* são depósitos glaciofluviais. Apresentam-se como feições deposicionais levemente inclinados nos lados dos vales glaciais. Eles são depositados por correntes de água de degelo fluindo entre margens glaciais e as paredes de vales adjacentes. Sua formação documenta a redução periódica da superfície glacial. São compostos predominantemente de areia e cascalho fluvial (Benn e Evans, 1998).

O depósito (Figura 44) está localizado a 23 metros de altitude numa área encharcada e lavada pela água de degelo sazonal da neve, junto ao cordão morânico oriental.

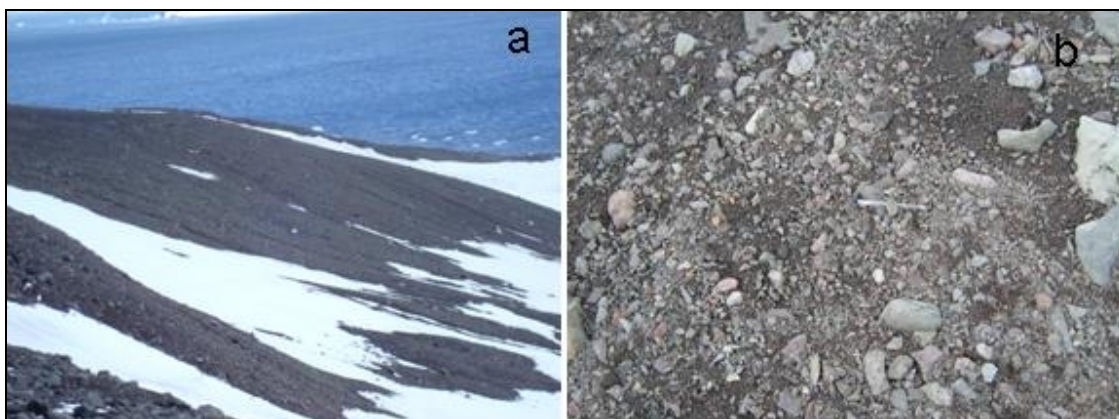


Figura 44 – Localização do terraço de *kame* próximo à costa (a – Fotografia de Vieira, 2007 e b Fotografia de Rosa (2007)).

A amostra possui distribuição unimodal do tamanho dos grãos, com poucos finos e predomínio de cascalho e areia, apresenta-se pobremente selecionada (Tabela B2 em anexo).

Observa-se a ausência de estrias nos grãos, mas apresenta muitos sulcos e pontas. Pelo baixo índice RA, existe um bom grau de arredondamento dos grãos, predominando os subangulares a subarredondados (Figuras 45a e b). De acordo com a classificação que interpreta os ambientes deposicionais e segundo as características de arredondamento dos grãos (Hubbert e Glasser, 2005) (Tabela A7 em anexo), esse depósito é interpretado como glaciofluvial.

O grau de esfericidade predominante é médio a pobre (Figura A3 em anexo) e a textura superficial é mamelonada fosca nos grãos maiores e sacaróide nos sedimentos mais finos (Figura A5 em anexo).

Pelo baixo índice C_{40} da amostra 24 e resultados do diagrama triangular (Figura 45c) a maioria dos grãos têm raio c/a maior que 0,4, o que sugere transporte ativo com tendência para grãos mais esféricos. O aumento de esfericidade deve-se a modificação por água de degelo.

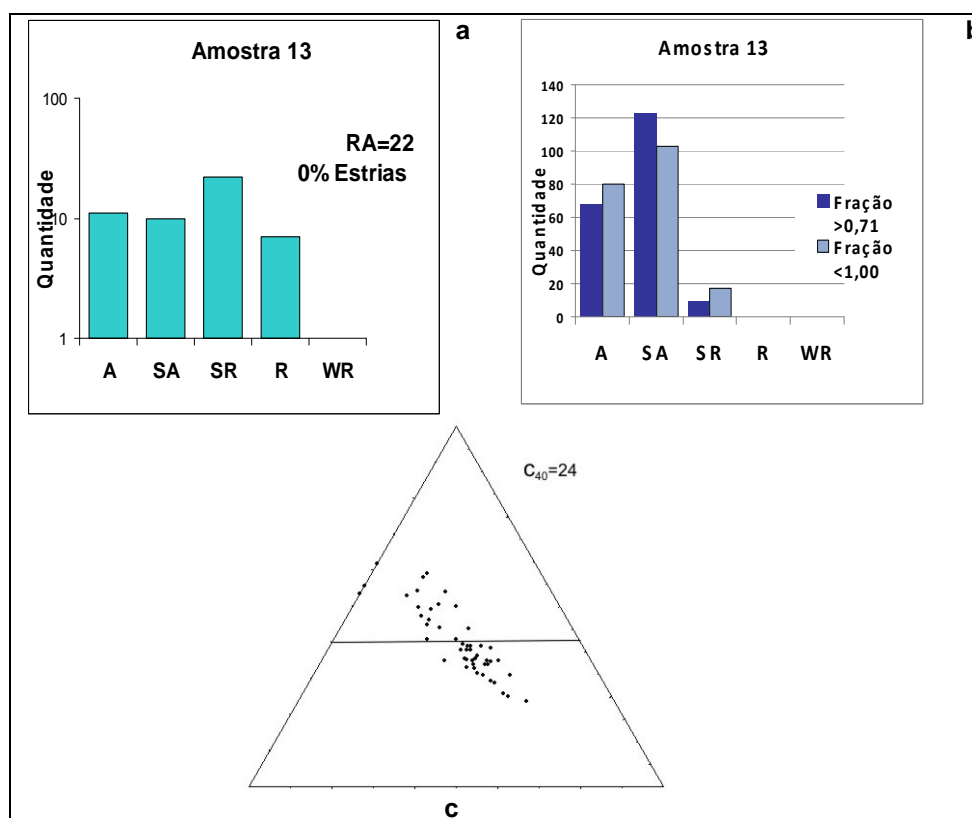


Figura 45 – Gráfico a e b mostram o grau de arredondamento da amostra 13. De acordo com o gráfico c, os grãos têm tendência a serem mais esféricos.

CAPÍTULO 5 – DISCUSSÃO

5.1 – INTRODUÇÃO

Através dos estudos geomorfológicos e sedimentológicos das geleiras Wanda e Ecology, juntamente com fotografias aéreas e imagens de satélites, realizou-se uma reconstrução das características e da evolução do ambiente de deglaciação desde 1956 e identificou-se as prováveis direções dos fluxos de gelo durante os diferentes estágios de retração.

Inicialmente este capítulo proporá os modelos evolutivos com seus respectivos depósitos e geformas formados e expostos durante cada estágio de retração. E, finalmente, serão comparadas as características geomorfológicas, sedimentológicas e os distintos estágios de retração entre as duas geleiras estudadas neste trabalho.

5.2 – FASES DE RETRAÇÃO E RECONSTRUÇÃO DA EVOLUÇÃO DO AMBIENTE DE DEGLACIAÇÃO DA GELEIRA ECOLOGY

A retração da geleira Ecology ocorreu em seis fases distintas desde meados da década de 1950, com maior retração nas últimas fases (Tabela 1). De acordo com o mapa da retração da frente da geleira (Figura 46) e aquele da evolução do ambiente de deglaciação (Figura 47), em cada uma dessas fases houve a formação e exposição de depósitos e geformas. Conforme as estriações em geformas na área proglacial de geleira Ecology a direção predominante do fluxo de gelo foi de N27°E. A parte norte da área proglacial teve maior retração do que aquela ao sul.

Em 1956 (Figura 47a) já existia pavimento de clastos na área costeira e a moraina latero-frontal representada pela amostra 20 já era aparente. Na segunda fase (Figura 47b), 1956-1979, ocorreu a exposição da moraina lateral formada no estágio anterior. Na terceira fase, 1979-1988, quando o recuo foi maior, tem-se a exposição das amostras subglaciais 16, 18 e 19 (Figura 47c). Na quarta fase (1988-1995) (Figura 47d) formou-se a moraina latero-frontal representada pela amostra 4 e foram expostos os locais das amostras subglaciais e *eskers* 3, 8, 9, 10, 11, 15 e 16. Em um quinto estágio, entre 1995 a 2000 (Figura 47e), tem-se a exposição da moraina latero-frontal representada pela amostra 4 e nos locais das amostras subglaciais e *eskers* 5, 6, 7, 12 e 13. As amostras 1 e 2 foram expostas na fase mais recente (Figura 47f).

Tabela 1 – Retrações das geleiras Wanda e Ecology no período 1956-2000 (Arigony-Neto, 2001).

Geleiras	Comprimento (m)	Largura (m)	Área (km ²) em 2000	Perda em área (km ²)			
				1956-1979	1979-1988	1988-1995	1995-2000
Ecology	3930	1510	5,55	0,01	0,38	0,48	0,48
Wanda	1500	1100	1,63	-	0,25	0,09	0,30

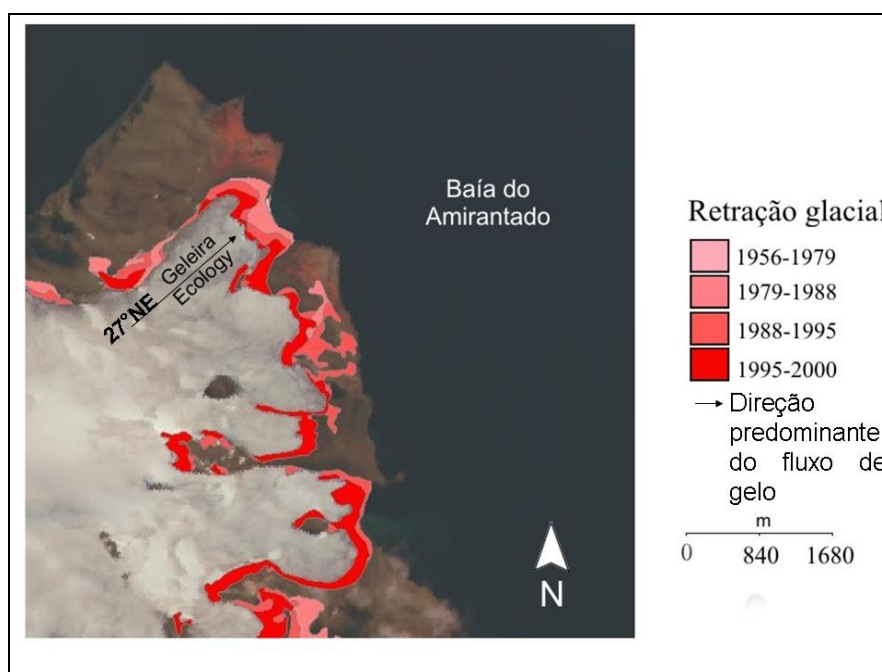


Figura 46 - Retração desde 1956 da geleira Ecology e orientação do fluxo de gelo predominante (N27°E).

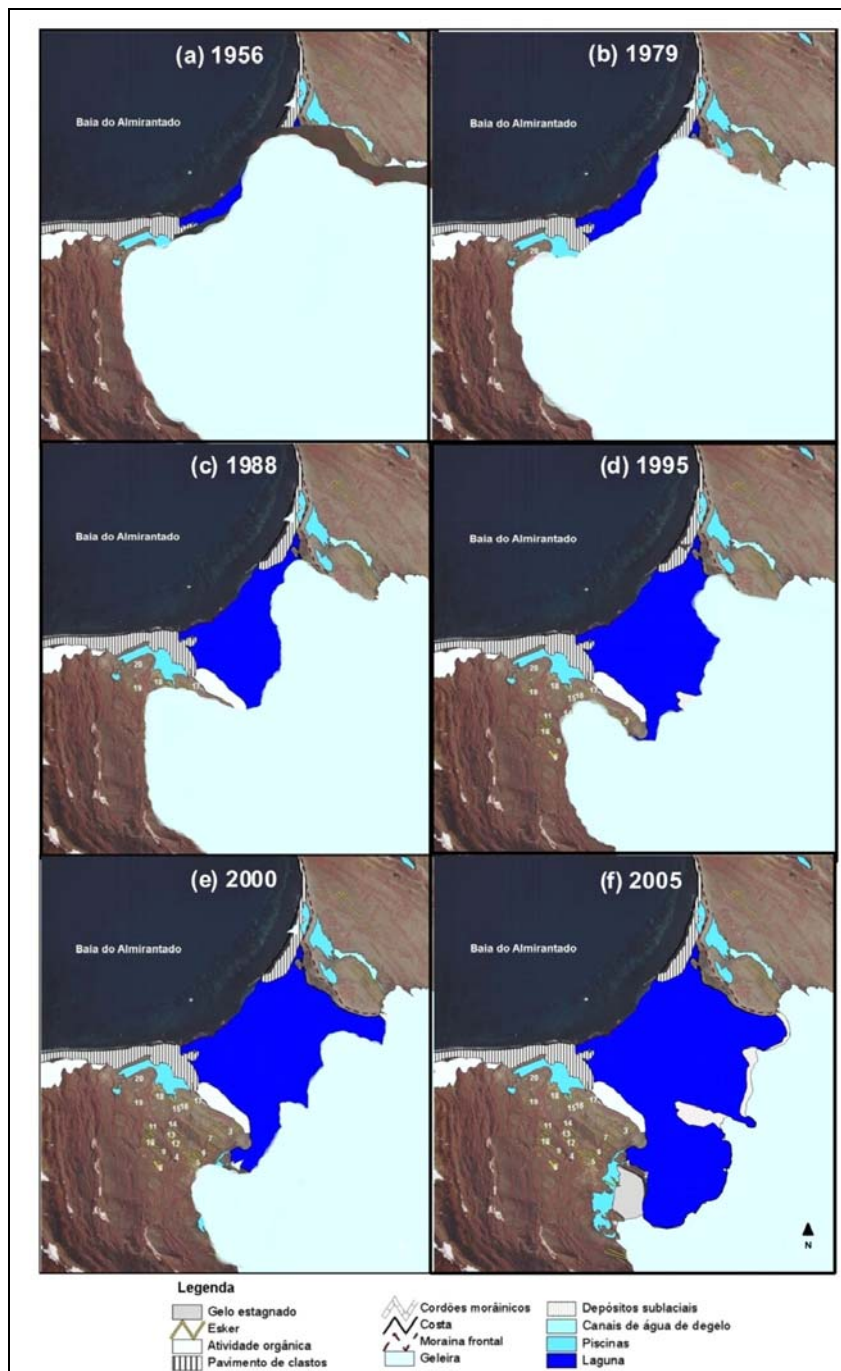


Figura 47 – Reconstrução do ambiente de deglaciação da geleira Ecology segundo fases de retração e os depósitos expostos na área proglacial norte representados pelo número de cada amostra. A área ao sul não foi amostrada pela dificuldade de acesso.

5.3 – FASES DE RETRAÇÃO E RECONSTRUÇÃO DA EVOLUÇÃO DO AMBIENTE

DE DEGLACIAÇÃO DA GELEIRA WANDA

Os depósitos subglaciais e os cordões morânicos laterais foram formados em distintas fases. O registro sedimentar indica que houve uma retração da geleira e perda de volume e extensão, e que a deglaciação ocorreu com mudanças na direção do fluxo de gelo (Figura 48) (Rosa *et al.*, 2008). A figura 49 mostra a formação dos depósitos expostos com cada fase de deglaciação. Essas mudanças locais na orientação do fluxo de gelo decorrem, provavelmente, de mudanças na topografia local e na espessura da geleira (indicada pela progressiva retração da altura dos cordões morânicos frontais).

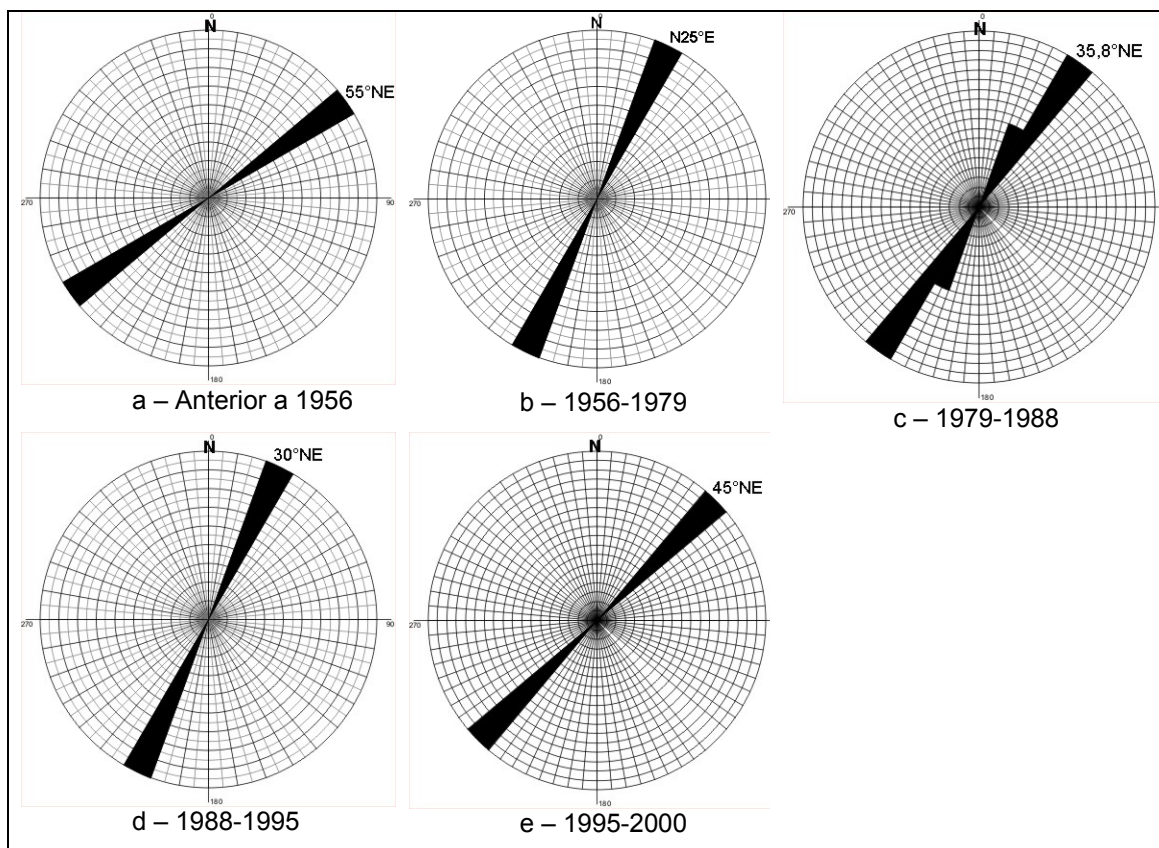


Figura 48 – Diagramas ROSE (a-e) mostram a orientação do fluxo de gelo em diferentes fases de retração da geleira Wanda conforme sugeridas pelas estriações.

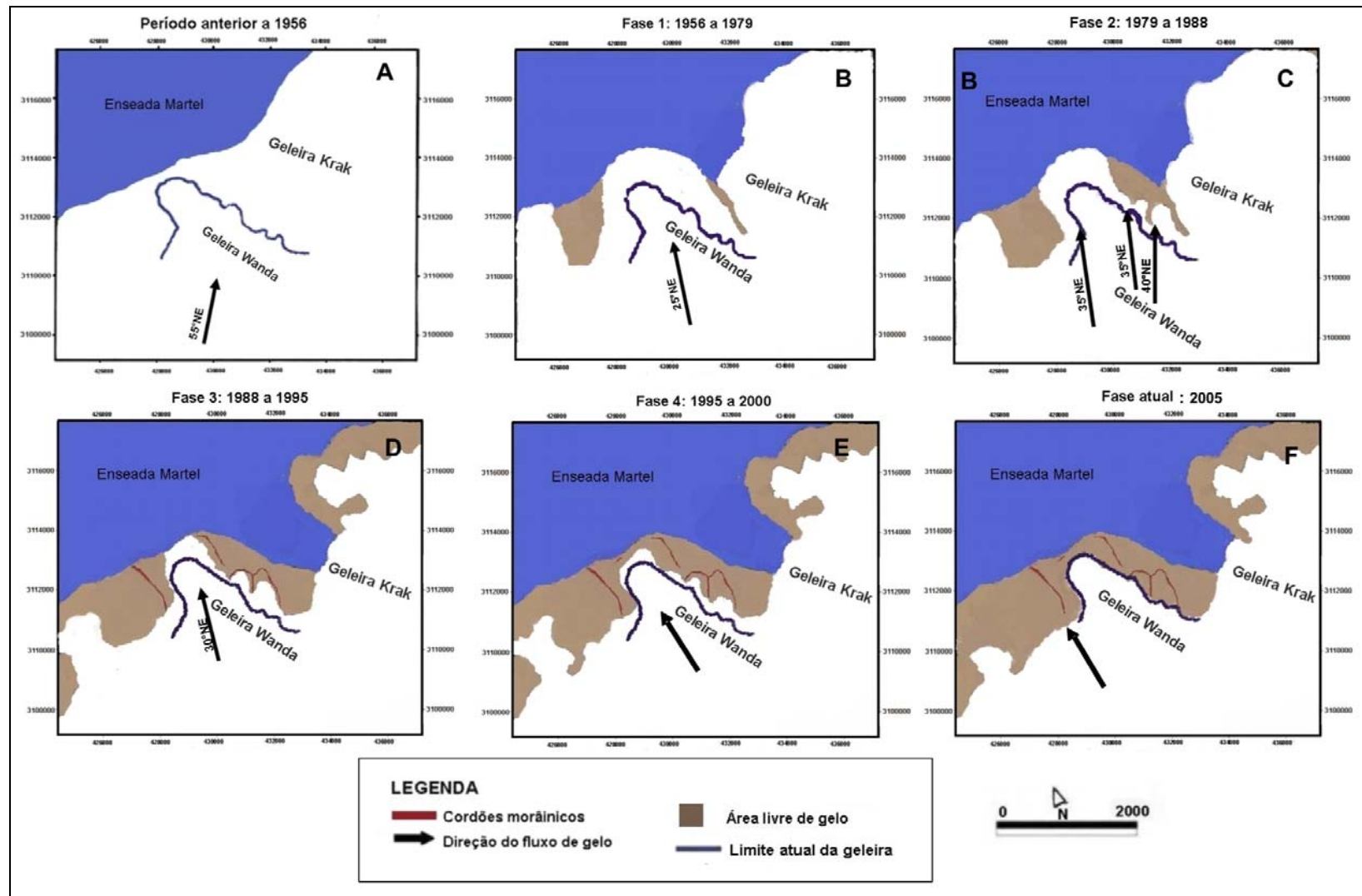


Figura 49 – Seqüência da retração da geleira Wanda durante as últimas cinco décadas (1956-2005).

5.3.1 – Fase anterior a 1956

Nesta fase a geleira Wanda unia-se com a geleira Krak a leste e com Dragão a oeste (Figura 49a), com um fluxo de gelo originado do interior do campo de gelo *Kraków* e com direção predominante N55°E (Figura 48a), identificados pelas estriações. Estas estrias são observadas no embasamento rochoso localizado sob o depósito morânico, posteriormente formado à separação com a geleira Krak.

5.3.2 – Estágio 1: 1956 a 1979

Nesta fase a geleira Wanda diminui de espessura (evidenciado pela exposição de depósitos morânicos e subglaciais) e se separa das geleiras Dragão e Krak (Figura 49b). Com a separação da geleira Krak ocorre a formação de uma moraina lateral mais oriental (Figura 50a e b). Neste estágio havia apenas uma direção de fluxo para a geleira Wanda, deslocando-se para 25°NE (Figura 48b), conforme as estriações do embasamento rochoso no local das amostras 5 e 8 (Figura 51 a e b respectivamente). Essas amostras, coletadas sobre os blocos rochosos, descrevem, pelo menos, dois momentos: um primeiro com atividade subglacial, quando a geleira cobria os blocos, com estrias de direção N30°E (amostra 5) e N20°E (amostra 8).

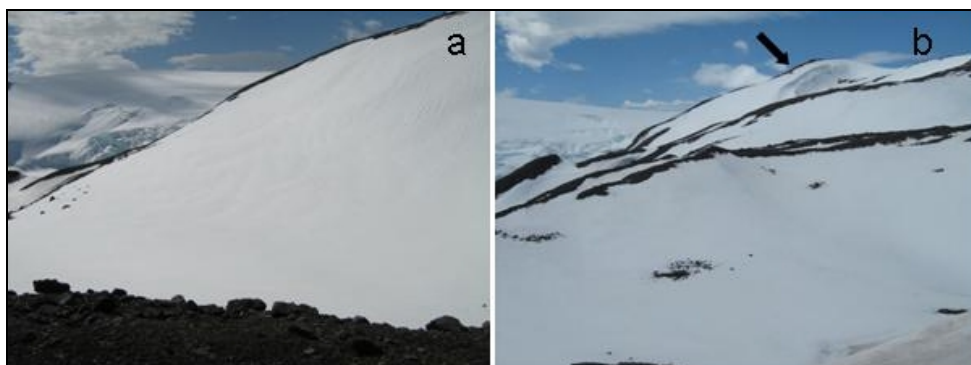


Figura 50 – Cordão morânico no limite mais oriental da geleira Wanda (Fotografias de Rosa, 2007).

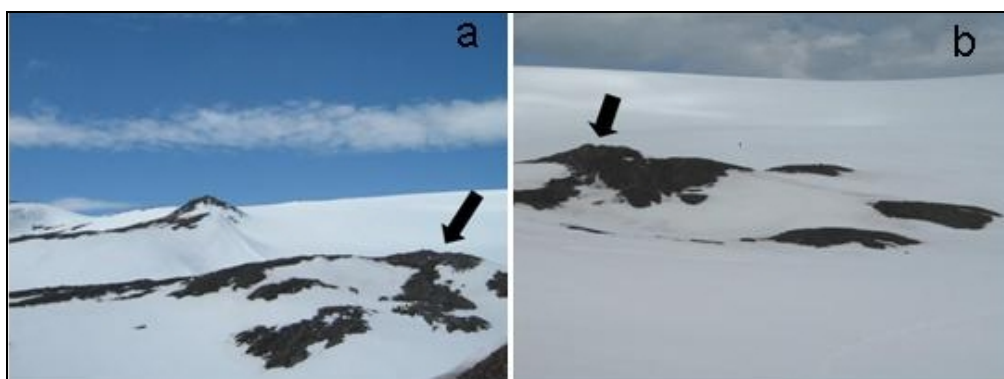


Figura 51 – Fotografia a mostra o bloco rochoso subglacial (amostra 5) localizado no setor elevado da moraina oriental a 101 metros de altitude. Fotografia b mostra o depósito subglacial (amostra 8) sob a moraina lateral (Fotografias de Rosa, 2007).

5.3.3 – Estágio 2: 1979 a 1988

Nesta fase o fluxo de gelo seguia três direções principais (Figura 49c). Na parte mais ocidental predominava a direção predominante N35°E (Figura 48c) e era mais espesso, pois cobria as áreas das amostras 1, 2, 36 e 22. Esse foi um estágio com maior espessura e extensão da geleira. Dentro do processo de retração nesta fase, o fluxo na parte mais ocidental erodiu o embasamento rochoso onde se encontram as amostras 1, 2, 3, 22 e 36 (Figura 32) e também formou as morainas laterais 7, 12, 23, 24 e 35 (Figura 22), concomitantemente com a moraina, ocorreu a formação terraço de *kame* (Figura 45). No estágio 2, a geleira sofre diminuição do seu volume e as elevações transformaram-se em divisores de origem glacial e mudando a orientação do fluxo de gelo com o encaixe na topografia local.

5.3.4 – Estágio 3: 1988 a 1995

Nesta fase ainda havia três direções de fluxos (Figura 49d), mas a parte mais oriental da geleira perde espessura e recua. O fluxo na parte mais ocidental possuía direção N30°E (Figura 48d), evidenciado pela orientação das estrias no embasamento rochoso. Essas estrias foram formadas durante este estágio e expostas subsequentemente.

Sugere-se que a mudança da direção do fluxo de gelo, em relação a fase anterior, decorra ao encaixe da geleira, já menos espessa, na topografia local. Durante este estágio ocorreu a exposição da primeira amostra (Figura 32) e do pavimento de clastos (Figura 36).

5.3.5 – Estágio 4: 1995 a 2000

No quarto estágio (Figura 49e) a geleira Wanda tinha apenas uma direção do fluxo de gelo. Cordões morânicos laterais e frontais indicam retração e diminuição de espessura. Na parte oriental da geleira ocorreu retração, deixando como registro cordões morânicos laterais de recessão e as morainas laterais e latero-frontais localizadas na área proglacial (Figura 30). Atualmente, ela se comunica com a baía do Almirantado através de uma laguna. Evidenciado pela reduzida altura do cordão morânico frontal recessivo, a geleira teve uma rápida (conforme Tabela 1) retração da sua frente de gelo e perda de espessura neste estágio. Em seguida, dando seqüência ao recuo da geleira, tem-se a exposição de *flutes* na área proglacial (Figura 41). Nesses depósitos, blocos rochosos possuem estriações com orientação N45°E (Figura 48e).

No estágio atual (Figura 49f), o processo de retração da frente de gelo continua, observa-se diminuição de sua espessura e ocorre exposição de pequenos cordões morânicos latero-frontais e *flutes*.

5.4 – COMPARAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS SEDIMENTARES E GEOMORFOLÓGICAS E DA RETRAÇÃO DAS GELEIRAS WANDA E ECOLOGY

As duas geleiras apresentaram um processo de rápida retração nas últimas décadas (desde 1956), sem aparentes períodos de reavanços. Ambas são geleiras de descarga que possuem suas terminações atualmente em terra. No entanto, é possível observar que ocorrem diferenças nos processo de deglaciação, conforme tabela 1. Na Ecology ocorreu uma maior

retração da geleira, uma perda de 1,35 km² nas últimas cinco décadas, enquanto que a geleira Wanda observa-se uma menor retração, 0,64 km² no período estudado, mas uma grande diminuição da espessura observada pela progressiva redução na altura dos cordões morainicos frontais (máximo 1 m).

Quanto às características sedimentares, a alta proporção de finos, nas amostras, indica forte abrasão na base das geleiras durante o transporte, sugere presença de água de degelo subglacial e evidencia regime termal basal úmido. A água subglacial é produzida na base de uma geleira no ponto de fusão sob pressão pelo calor derivado da fricção de deslizamento basal e pelo calor do fluxo geotermal (Boulton, 1974; Benn e Evans, 1998). A água de degelo também pode derivar do derretimento supraglacial, o qual atinge a base através de fendas e *moulins* (Hambrey, 1994). Geleiras de base úmida movimentam-se por deslizamento basal e por fusão e recongelamento sob pressão, carrega alta carga de detritos rochosos basais (Hambrey, 1994). Processos como abrasão, transporte pela água de degelo e arrancamento glacial são mais efetivos sob geleiras de base úmida, onde a água de degelo é produzida em grande quantidade (Bennett e Glasser, 1996; Benn e Evans, 1998).

Elas possuem base úmida, conforme indicado pela presença de estrias, rochas *stoss and lee*, pavimento de clastos, *till* de alojamento e muitos sedimentos finos. Adicionalmente, o efeito abrasivo, observado pela presença de estrias, pode indicar alta velocidade de deslizamento basal e grande disponibilidade de detritos basais no contato com o embasamento.

De acordo com os índices de RA (Figura 52), que mede a porcentagem dos clastos angulares e muito angulares numa amostra, e identifica a proporção de clastos que tiveram suas bordas arredondadas durante o transporte, verifica-se que a maioria das amostras da geleira Wanda apresentam grãos menos arredondadas do que da geleira Ecology.

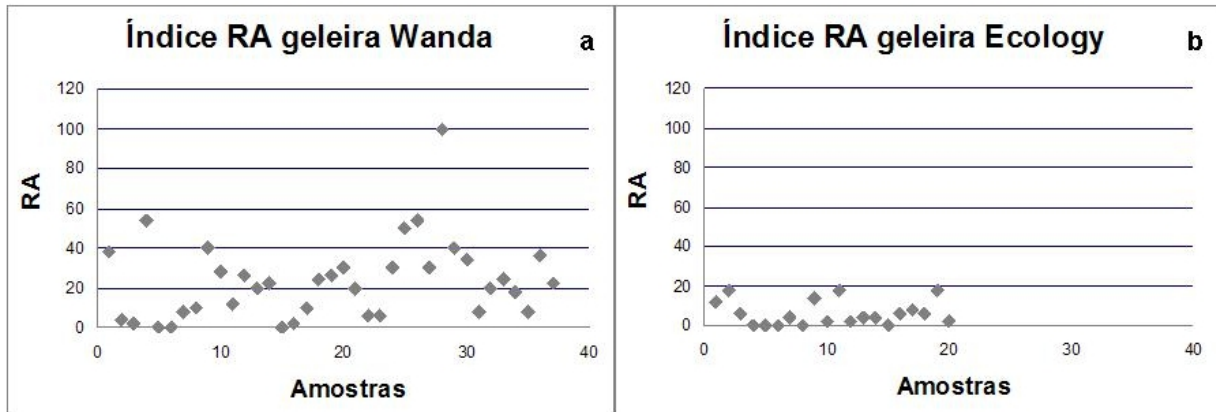


Figura 52 – Índices RA das amostras da geleira Wanda (a) e Ecology (b).

Portanto, observa-se que os sedimentos das amostras da geleira Ecology foram mais modificados. Estes resultados refletem as diferenças dos ambientes de deglaciação entre as duas geleiras, a geleira Wanda encontra-se num terreno mais íngreme e a distância de transporte dos sedimentos até sua deposição e ocorrendo menor encharcamento destes. Ela também possui uma área deglaciada menos extensa do que da geleira Ecology, o que implica em uma menor modificação pós-deposicional dos grãos. Além disso, pode-se afirmar que o processo de retração frontal foi mais acelerado na geleira Ecology (conforme dados apresentados no trabalho) do que da geleira Wanda a qual teve sua retração da extensão relativamente mais lenta. No entanto, esta última diminuiu mais em espessura sofrendo um adelgaçamento de sua massa de gelo.

De acordo com os gráficos dos índices C_{40} (Figura 53), a maioria das amostras possui índices menores que 40, indicando a maior modificação do grão durante o transporte, tipicamente ativo. As amostras com grãos com altos índices C_{40} caracterizam transporte passivo, com pouco desgaste. Misturas de detritos transportados ativa e passivamente são aquelas amostras com índices C_{40} intermediários.

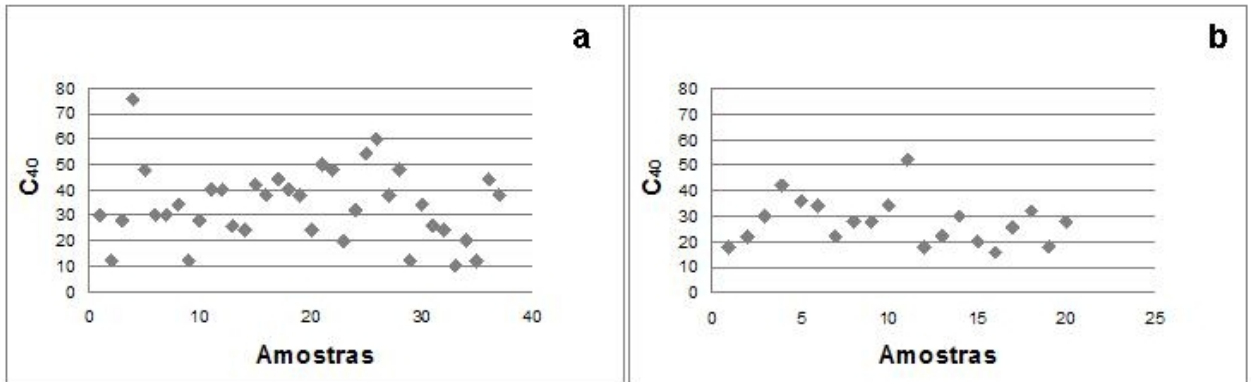


Figura 53 – Índices C₄₀ das amostras das geleiras Wanda (a) e Ecology (b).

As amostras com menor co-variância entre RA e C₄₀ (Figura 54) são aquelas com maiores arredondamentos e esfericidades e são características de sedimentos transportados subglacialmente, representadas no gráfico por pontos vermelhos. Dessa forma, verifica-se a predominância de sedimentos com características subglaciais nas duas geleiras, pois o decréscimo dos índices de co-variância indica modificação durante o transporte ativo. Graus de covariâncias entre RA e C₄₀ maiores são indicativos de sedimentos de origem supraglacial, característicos de depósitos de morainas laterais e frontais. A geleira Wanda apresenta grãos mais facetados, fraturados e angulosos. Já a geleira Ecology possui, na maioria dos grãos, estrias e sulcos bastante fracos, indicando um maior tempo de retrabalhamento pós-deposicional.

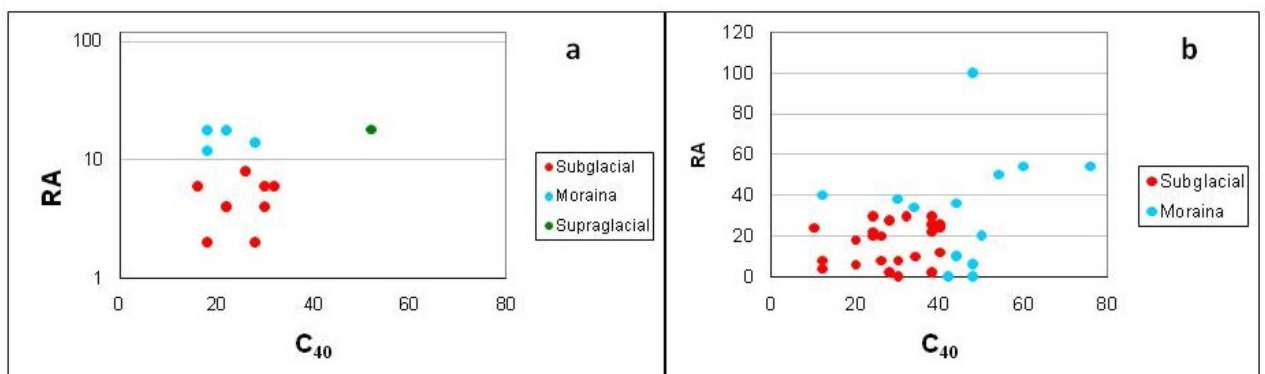


Figura 54 – Índice de co-variância da geleira Ecology (a) e Wanda (b).

Quanto mais arredondados forem os grãos mais os sinais de textura superficial, tais como ranhuras e sulcos, mostram-se fracos, ou seja, o arredondamento e a esfericidade foram modificados pela modificação por água de degelo. Dessa forma, pode-se interpretar que sedimentos glaciofluviais subglaciais não preservam totalmente suas características primárias erosivas.

A análise granulométrica mostra que os sedimentos da geleira Wanda são mais lamosos e da Ecology mais lavados e retrabalhados. Os sedimentos da geleira Ecology são melhores selecionados.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES

6.1 – CONCLUSÕES

As feições erosivas e deposicionais resultantes dos processos de deglaciação das geleiras Wanda e Ecology, conforme os mapas geomorfológicos propostos, formam um ambiente de deglaciação diversificado composto por depósitos morânicos, subglaciais e glaciofluviais. A morfologia dessas áreas de deglaciação, observada em campo e mapeada por fotografias aéreas, consiste em *flutes*, terraços de *kame*, cordões morânicos, pavimento de clastos, rochas estriadas e *eskers*. Os depósitos subglaciais dominam os ambientes de sedimentação.

O recuo das geleiras expôs uma paisagem susceptível à rápida mudança pós-deposicional. Terrenos recentemente deglaciados, principalmente os depósitos morânicos sofrem processos de retrabalhamento por fluxos de água de degelo da neve sazonal, por processos eólicos e marinhos.

A geleira Ecology possui sua área frontal com muitas fendas e com cobertura de detritos. Na geleira Wanda observa-se grande quantidade de poças na área proglacial entre os depósitos morânicos e *flutes* derivados de fluxos glaciofluviais. Por outro lado, a cobertura de detritos e fendas na geleira são limitadas. Os depósitos de *flutes* aparecem em áreas próximas à margem da geleira, na área proglacial. Nesses depósitos são encontradas feições *stoss in lee*, rochas estriadas, clastos com maior grau de arredondamento e retrabalhamento pela ação da água de degelo.

Dados geomorfológicos e sedimentológicos indicam que os sedimentos sofreram transporte ativo, passivo e mistura entre os dois tipos. Quanto às características sedimentológicas, algumas amostras mostram imaturidade textural, com baixa proporção de

finos e pouca modificação dos sedimentos, isso pode ser resultado de uma curta distância de transporte desde sua origem ou interação de grãos com distintos modos de transporte glacial. Nos dois ambientes de deglaciação estudados predominam sedimentos desgastados e transportados subglacialmente, com a presença de água de degelo.

Comparativamente, os dados microfscópicos demonstram que os grãos das amostras da geleira Ecology são mais arredondados e melhor selecionados. Na geleira Wanda predomina material mais lamoso e mal selecionado, indicando pouca distância de transporte, menos água de degelo basal e pouca modificação pós-deposicional, devido à exposição recente dos depósitos.

Esses resultados refletem as diferenças dos ambientes de deglaciação das duas geleiras, basicamente, a geleira Wanda encontra-se num terreno mais íngreme e, por conseqüência, o transporte dos sedimentos a sua deposição e o encharcamento dos sedimentos são menores. Ela também possui uma área deglaciada menos extensa do que da geleira Ecology resultando em uma menor modificação pós-deposicional dos grãos. Além disso, a retração da frente da geleira Ecology foi mais rápida. No entanto, a geleira Wanda sofreu um maior adelgaçamento da massa de gelo.

A abundante quantidade de sedimentos finos nos depósitos das duas geleiras evidencia a presença de água de degelo no contato gelo-embasamento. Essa característica é típica de geleira com regime termo basal úmido. Quanto maior o volume de água subglacial, maior será o desgaste dos materiais grossos, reduzindo o tamanho e aumentando a proporção de sedimentos finos (Bennett e Glasser, 1996). Adicionalmente, o maior volume de sedimentos em contato com a base da geleira, por sua vez, proporcionará mais quebra e abrasão dos grãos. Desta forma, a grande proporção de sedimentos finos, presença de rochas estriadas, pavimento de clastos, *stoss and lee* e depósitos subglaciais sugerem que as geleiras possuem regimes termais basais úmidos.

Por meio dos estudos da geomorfologia e da sedimentologia glacial da área de estudo foi realizada a reconstrução da evolução do ambiente de deglaciação das geleiras Wanda e Ecology ao longo das últimas cinco décadas (desde 1956).

A geleira Wanda passou por distintas fases de retração no período, ocorrendo mudanças na orientação principal do fluxo de gelo. Cada fase foi acompanhada pela formação de depósitos e geoformas. Desde a década de 1979 ocorre a aceleração de seu recuo, concomitantemente a diminuição da sua espessura de gelo.

O modelo para a área de deglaciação da geleira Ecology mostra que a retração também acelerou nas últimas cinco décadas, sendo maior na parte norte da zona proglacial. Na parte sul da área proglacial observam-se morainas frontais não muito elevadas, o que indica pouco tempo de estabilização da frente de gelo. Cada fase de retração deixou feições geomorfológicas, tais como morainas frontais e laterais, depósitos subglaciais e estriações observadas em blocos rochosos. Estas últimas indicam a orientação predominante de fluxo de gelo N27°E.

As duas geleiras estão recuando rapidamente desde 1956, sem períodos de reavanço. Ambas são geleiras de descarga e que possuem suas terminações atualmente em terra. No entanto, é possível observar diferenças nos processo de deglaciação. Na geleira Ecology ocorreu maior retração (1,35 km²) do que na geleira Wanda (0,64 km²). Nesta, porém, ocorreu uma diminuição acentuada da espessura do gelo, evidenciada pela exposição de cordões morainicos frontais de pouca altura.

6.2 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros na área sugere-se o monitoramento e a reconstrução da deglaciação de outras geleiras da baía do Almirantado. Além disso, as análises poderiam ser ampliadas, por exemplo, com a quantificação das taxas de sedimentação nas zonas subaéreas e submarinas. Permitindo, então, estudar os efeitos da variabilidade climática na circulação, transporte e deposição sedimentar na baía.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAM, W.G.; KNIGHT, P.G. Identification of basal layer debris in ice-marginal moraines, Russell Glacier, West Greenland. **Quaternary Science Reviews**, 22, p.1407-1414. 2003.
- AHLERT, S.; SIMÕES, J.C. O sensoriamento remoto como recurso no estudo da Antártica. In: **Quarta jornada de educação em sensoriamento remoto no âmbito do Mercosul**, 2004, São Leopoldo, 2004. v. único. p. 1-5.
- AQUINO, F.E. **Sedimentação moderna associada à geleira de maré Lange, ilha Rei George, Antártica**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de mestrado. 106 p. 1999.
- ARIGONY-NETO, J. **Determinação e interpretação de características glaciológicas e geográficas com sistema de informações geográficas na Área Antártica Especialmente Gerenciada baía do Almirantado, ilha Rei George, Antártica**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de mestrado. 84 p. 2001.
- ARIGONY-NETO, J.; SAURER, H.; JAÑA, R.; RAU, F.; SIMÕES, J.C.; GOSSMANN, H. Monitoring snow parameters on the Antarctic Peninsula using satellite data: A new methodological approach. **EARSel e Proceedings**, Paris, v. 5, n. 1, p. 100-110, 2006.
- BALLANTYNE, C.K., Paraglacial geomorphology. **Quaternary Science Reviews**, 21, p. 1935-2017. 2002.
- BARRETT, P.J. The shape of rock particles, a critical review. *Sedimentology*, 27, p. 291-303, 1980.
- BENN, D.I.; BALLANTYNE, C.K. Reconstructing the transport history of glaciogenic sediments - a new approach based on the covariance of clast form indices. **Sedimentary Geology**, 91 (1-4), p. 215-227. 1994.
- BENN, D.I.; BALLANTYNE, C.K. The description and representation of particle shape. **Earth Surface Processes and Landforms**, 18 (7), p. 665-672. 1993.

- BENN, D.I.; EVANS, D.J.A. *Glaciers & Glaciation*. London: Arnold, 734 p. 1998.
- BENNETT M.R.; GLASSER, N.F. **Glacial Geology - Ice Sheets and Landforms**. Inglaterra: John Wiley & Sons Ltd, 364 p. 1996.
- BENNETT M.R.; HAMBREY M.J.; HUDDART, D. Modification of clast shape in High-Arctic environments. **Journal of Sedimentary Research**, 67 (3), p. 550-559. 1997.
- BIGARELLA, J.J. **Contribuição ao estudo da planície litorânea do Estado do Paraná**. Arquivos Biologia Tecnologia, 1, p. 75-11. 1946.
- BINJANTA, R. The local surface energy balance of the Ecology glacier, King George Island, Antártica: measurement and modeling. **Antarctic Science**, 7 (3), p. 315-325. 1995.
- BIRKENMAJER, K. Quaternary geology at Arctowski Station, King George Island, South Shetland Islands (West Antarctica). **Studia Geologica Polonica**, 110, p. 91-104. 1997.
- BIRKENMAJER, K. Raised marine features and glacial history in the vicinity of H. Arctowski Station, King George Island (South Shetland Islands, Antarctica). **Quaternary Science Reviews**, 29 (2), p. 109-117. 1981.
- BIRKENMAJER, K. Retreat of Ecology Glacier, Admiralty Bay, King George Island (South Shetland Islands, West Antarctica), 1956-2001. **Bulletin of Polish Academy of Sciences: Earth Sciences**, 50 (1), p. 5-19. 2002.
- BIRKENMAJER, K. Tertiary glaciation in the South Shetland Islands, West Antarctica: evaluation of data. In: Thomson, M.R.A., Crame, J.A. e Thomsom, J.W. (Eds), **Geological Evolution of Antarctica**. Cambridge University Press, p. 629-632. 1991.
- BOULTON, G.S. Boulder shapes and grain size distributions of debris as indicators of transport paths through a glacier and till genesis. **Sedimentology**, 25, p. 773-799. 1978.
- BOULTON, G.S. On the origin and transport of englacial debris in Svalbard glaciers. **Journal of Glaciology**, 9, p. 213-229. 1970.

- BOULTON, G.S. Processes and patterns of glacial erosion. In: Coates, D. (Ed). **Glacial Geomorphology**, p. 41-87. Binghampton, New York. 1974.
- BOULTON, G.S. Processes of glacier erosion of different substrata. **Journal of Glaciology**, 23 (89), p. 15-28. 1979.
- BOULTON, G.S. The role of thermal regime in glacial sedimentation. In: Price, R.J. e Sugden, D.E. (Eds). **Polar Geomorphology**, IBG Special Publications, 4, p. 1-19. 1972.
- BOULTON, G.S.; DONGELMANS, P.; PUNKARI, M.; BROADGATE, M. Paleoglaciology of an ice sheet through a glacial cycle: the European ice sheet through the Weichselian. **Quaternary Science Reviews**, 20, p 591-625. 2001.
- BOULTON, G.S.; SMITH, G.D.; JONES, A.S.; NEWSOME, J. Glacial geology and glaciology of the last mid-latitude ice sheets. **Journal of Geological Society of London**, 142, p. 447-474. 1985.
- BRAUN, M. **Ablation on the ice cap of King George Island (Antarctica)**. Tese de doutorado, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br, 165 p. 2001.
- BRAUN, M.; SAURER, H.; GOßMANN, H. Climate, energy fluxes and ablation rates on the ice cap of King George Island. **Pesquisa Antártica Brasileira**, 4, p. 87-104. 2004.
- BREMER, U.F. **Morfologia e Bacias de Drenagem da Cobertura de Gelo da ilha Rei George, Antártica**. Dissertação (Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1998.
- BREMER, U.F.; ARIGONY NETO, J.; SIMÕES, J.C. Teledecação de mudanças nas bacias de drenagem da ilha Rei George, Ilhas Shetlands do Sul, Antártica, entre 1956 e 2000. **Pesquisa Antártica Brasileira**. 4, p. 37-48. 2004.
- CLARK, C.D.; KNIGHT, J.K.; GRAY, J.T. Geomorphological reconstruction of the Labrador Sector of the Laurentide Ice Sheet. **Quaternary Science Reviews**, 19, p. 1343-1366. 2000.
- COLGAN. P.M.; PRINCIPATO, S. Distribution of glacial landforms and sediments in Wisconsin and the Upper Peninsula of Michigan, an application of GIS to glacial geology, GSA, **Abstracts with Programs**, 30 (2), p. 11. 1998.

- CUFFEY, K.M.; CONWAY, H.; GADES, A.M.; HALLET, B.; LORRAIN, R.; SEVERINGHAUS, J.P.; STEIG, E.J.; VAUGHN, B.; WHITE, J.W.C. Entrainment at cold glacier beds. **Geology**, 28 (4), p. 351-354. 2000.
- CURL, J. **Glacial History of South Shetlands Islands, Antarctic**, Columbus, Institute of Polar Studies, 63, 129 p. 1980.
- DOMACK, E.W.; ISHMAN, S. Oceanographic and physiographic controls on modern sedimentation within Antarctic fjords. **Geological Society of America Bulletin**, 105, p.1175-1189. 1993.
- DREIMANIS, A.; VAGNERS, U.J. Bimodal distributions of rock and mineral fragments in basal tills. In: Goldthwait, R.P. (Ed). **Tills: A symposium**, p. 237-250. 1987.
- DREWRY, D. **Glacial Geologic Processes**. Londres: Edward Arnold, 276 p. 1986.
- ETIENNE, J.L.; GLASSER, N.F.; HAMBREY, M.J. Proglacial Sediment-Landform Associations of a Polythermal Glacier: Storglaciären, Northern Sweden. **Geografiska Annaler, Series A: Physical Geography**, 85(2), p. 149-164. 2003.
- EVANS, D.J.A.; TWIGG, D.R. The active temperate glacial landsystem: a model based on Breiðamerkurjökull and Fjallsjökull, Iceland. **Quaternary Science Reviews**, 21 (20-22), p. 2143-2177. 2002.
- EYLES, C.H. Intertidal boulder pavements in the northeastern Gulf of Alaska and their geological significance. **Sedimentary Geology**, 88, p. 161-173. 1994.
- FERRANDO, F.J.A.; VIEIRA, R.; ROSA, K.K. Respuesta de la criosfera al calentamiento global: Procesos y evidencias en el glaciar Wanda, Isla Rey Jorge, Antártica. **Revista Geográfica de Chile, Universidad de Chile, Santiago, no prelo**.
- FOLK, R.L.; WARD, W.C. Petrol Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters. **Journal Sedimentology**, 3 (27), p. 3-26. 1957.
- GLASSER, N.F.; HAMBREY, M.J. Sedimentary facies and landform genesis at a temperate outlet glacier: Soler Glacier, North Patagonian Icefield. **Sedimentology**, 49 (1), p. 43-64. 2002.

- GLASSER, N.F.; HAMBREY, M.J. Styles of sedimentation beneath Svalbard valley glaciers under changing dynamic and thermal regimes. **Journal of the Geological Society**, London, 158 (4), p. 697-707. 2001.
- GORDON, J.E., WHALLEY, W.B., GELLATLY, A.E e VERE, D.M. The formation of glacial flutes: assessment of models with evidence from Lynsdalen, North Norway. **Quaternary Science Reviews**, 11, p. 709-732. 1992.
- GRAHAM, D.J.; MIDGLEY, N.G. Graphical representation of particle shape using Triangular diagrams: in Excel spreadsheet method. **Earth Surface processes and Landforms**, 25, p. 1973 -1477. 2000.
- GRUBER, N.L.S. **Contribuição ao estudo da sedimentação glaciomarinha da Baía do Almirantado, Ilha Rei Jorge, Antártica**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, 1989. 174p.
- HALDORSEN, S. Grain size distribution of subglacial till and its relation to glacial crushing and abrasion. **Boreas**, 10, p. 91-105. 1981.
- HALL, B.L. Na overview of Last Pleistocene glaciation in the South Shetland Islands, Antarctic in the South Shetland Islands, Antarctic Peninsula Climate Variability, **Antarctic Research Series**, 79, p. 103-113. 2003.
- HAMBREY, M. **Glacial Environments**. London: UCL Press, 296 p. 1994.
- HARBOR, J. Glacial Geomorphology: Modeling Processes and Landforms. **Geomorphology**, 7, p.129-140. 1993.
- HÄTTESTRAND, C.; CLARK, C. Reconstructing the pattern and style of deglaciation of Kola Peninsula, NE Fennoscandian Ice Sheet. In: **Glaciology and Earth's Changing Environment**, Blackwell Publishing Ltd (ed. P.G. Knight), p. 199-201. 2006.
- HÄTTESTRAND, C.; KOLKA, V.; STROEVEN, A. The Keiva ice marginal zone on the Kola Peninsula, NW Russia – a key component for reconstructing the palaeoglaciology of the northeastern Fennoscandian ice sheet. **Boreas**, 36, p. 352-370. 2007.

- HJORT, C.; BJÖRCK, S.; INGÓLFSSON, Ó.; MÖLLER, P. Holocene deglaciation and climate history of the northern Antarctic Peninsula region: a discussion of correlations between the Southern and Northern Hemisphere. **Annales of Glaciology**, 27, p. 110-112. 1998.
- HUBBERD, B.; GLASSER, N. **Field Techniques in glaciology and glacial geomorphology**. Inglaterra: John Wiley & Sons Ltd, 400 p. 2005.
- HUMLUM, O. Changes in texture and fabric of particles in glacial traction with distance from source, Myrdalsjokull, Iceland. **Journal of Glaciology**, 31 (108), p. 150-156. 1985.
- INGÓLFSSON, Ó.; HJORT, C.; BJÖRCK, S.; SMITH, L. Late Pleistocene and Holocene glacial history of James Ross Island, Antarctica Peninsula. **Boreas**, 11, p. 209-222. 1992.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)**. IPCC Fourth Assessment Report - Climate Change 2007. 2007.
- KEJNA, M; LÁSKA, K.; CAPUTA, Z. Recession of the Ecology Glacier in the period 1961 - 1996. In: Glowacki; Bednarek (Eds). **Polish Polar Studies**. 25th International Polar Symposium, Warszawa, p. 121-128. 1998.
- KLEMAN, J. Preservation of landforms under ice sheet and ice caps. **Geomorphology**, 9, p. 19-32, 1994.
- KLEMAN, J., HÄTTESTRAND; C.; BORGSTRÖM, I.; STROEVEN, A.P. Fennoscandian paleoglaciology reconstructed using a glacial geological inversion model. **Journal of Glaciology**, 43, p. 283-299. 1997.
- KLEMAN, J.; BORGSTRÖM, I. Reconstruction of paleo-ice sheets - The use of geomorphological data. **Earth Surface Processes and Landforms**, 21, p. 893-909. 1996.
- KLEMAN, J.; HÄTTESTRAND, C. Frozen-based Fennoscandian and Laurentide ice sheets during the last glacial maximum. **Nature**, 402, p. 63-66. 1999.
- KLEMAN, J; HÄTTESTRAND, C; STROEVEN, A.P.; JANSSON, K.J.; DE ANGELIS, H.; BORGSTROM, I. Reconstruction of paleo-ice sheets-inversion of their glacial geomorphological record. In: Knight, P.G. (Ed). **Glacier Science and Environmental Change**. Oxford: Blackwell Publishing Ltd. 2006.

- KRÜGER, J. Structures and textures in till indicating subglacial deposition. **Boreas**, 8, p. 323-340. 1979.
- KRUMBEIN, W.C. Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. **Journal of Sedimentary Petrology**, 11, p. 64-72. 1941.
- KRUMBEIN, W.C.; PETTIJOHN, F.J. **Manual of sedimentary petrography**. New York: Appleton-Century-Crofts, 549 p. 1938.
- LEWIS, D.W.; MCCONCHIE, D. **Analytical sedimentology**. New York: Chapman & Hall, 197p. 1994.
- LIAN, B.L.; HICOCK, S.R. Thermal conditions beneath parts of the last Cordilleran Ice Sheet near its centre as inferred from subglacial till associated sediments and bedrock. **Quaternary International**, 68-71, p. 147-162. 2000.
- LISTER, H. Particle size, shape and load in a cold and temperate valley glacier. **Annals of Glaciology**, 2, p. 39-44. 1981.
- MARTIANOV, V.; RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. Ten years of climate observations at the Arctowski and Bellingshausen stations (King George Is., South Shetlands, Antarctica). In: Breymeyer, A. (Ed). **Global change regional research centres: scientific problems and concept developments**. Warsaw, p. 80-87. 1989.
- MARTINI, I.P.; BROOKFIELD, M.E.; SADURA, S. **Principles of Glacial Geomorphology and Geology**. Upper Saddle River, Prentice Hall, 381 p. 2001.
- MAUSBACHER, R.; MULLER, J.; MUNNICH, M.; SCHMIDT, R. Evolution of postglacial sedimentation in Antarctic lakes (King George Island). **Geomorphology**, 33, p. 219-234. 1989.
- MEIER, M.F., POST, A. Fast tidewater glaciers. **Journal of Geophysical Research**, 92, p. 9051-9058. 1987.
- MONAGHAN, A.J.; BROMWICH, D.H.; CHAPMAN, W.; COMISO, J. C. Recent variability and trends of Antarctic near-surface temperature. **Journal of Geophysical Research**. 113. doi:10.1029/2007JD009094. 2008.

- MOON, T., JOUGHIN, I.J. Changes in ice front position on Greenland's outlet glaciers from 1992 to 2007. **Journal of Geophysical Research**, v. 113. doi:10.1029/2007JF000927. 2008.
- POWELL, R.D. Grounding-line systems as second-order controls on fluctuations of tidewater termini of temperate glaciers. J.B. Anderson, G.M. Ashley (eds) *Glacial marine sedimentation: Paleoclimate significance*; Special Paper 261, p. 74-94, Denver: **Geological Society of America**. 1991.
- PUNKARI, M. Glacial flow systems in the zone of confluence between the Scandinavian and Novaya Zemlya ice sheets. **Quaternary Science Reviews**, 14, p. 589-603. 1995.
- RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S; MIETUS, M.; PIASECKI, J. Weather and climate. In: **The maritime Antarctic coastal Ecosystem of Admiralty Bay**. Department of Antarctic Biology, Polish Academy of Sciences, Warsaw, p. 19-25. 1993.
- RITTENHOUSE, G. A visual method of estimating two-dimensional sphericity. **Journal of Sedimentary Petrology**, 13 (2), p. 79-81. 1943.
- ROCHA-CAMPOS, A.C. e SANTOS, P.R. Ação geológica do gelo. In: Teixeira, W.; Toledo, M.C.M.; Fairchild, T.R.; Taioli, F. (Organiz.). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Editora USP, 2000. 558 p.
- ROSA, K.K. **Dinâmica glacial e características sedimentares resultantes na zona proglacial da geleira Ecology - Baía do Almirantado, ilha Rei George - Antártica**. Trabalho de graduação, Departamento de Geografia, Instituto de Geociências - UFRGS, 81 p. 2006.
- ROSA, K.K.; VIEIRA, R.; SIMÕES, J.; FERRANDO, F. **Interpretación de la evolución del ambiente de deglaciación del Glaciar Wanda, Isla Rey George, Antártica**. IV Simposio latinoamericano sobre investigaciones Antárticas y VII Reunión Chilena de investigación Antártica. Valparaíso, 3-5 de septiembre, 2008.
- ROSA, K.K.; VIEIRA, R.; SIMÕES, J.C. Dinâmica glacial e características sedimentares resultantes na zona proglacial da geleira Ecology - baía do Almirantado, ilha rei George Antártica. São Paulo: **Revista Brasileira de Geomorfologia**, p. 51-60. 2007.

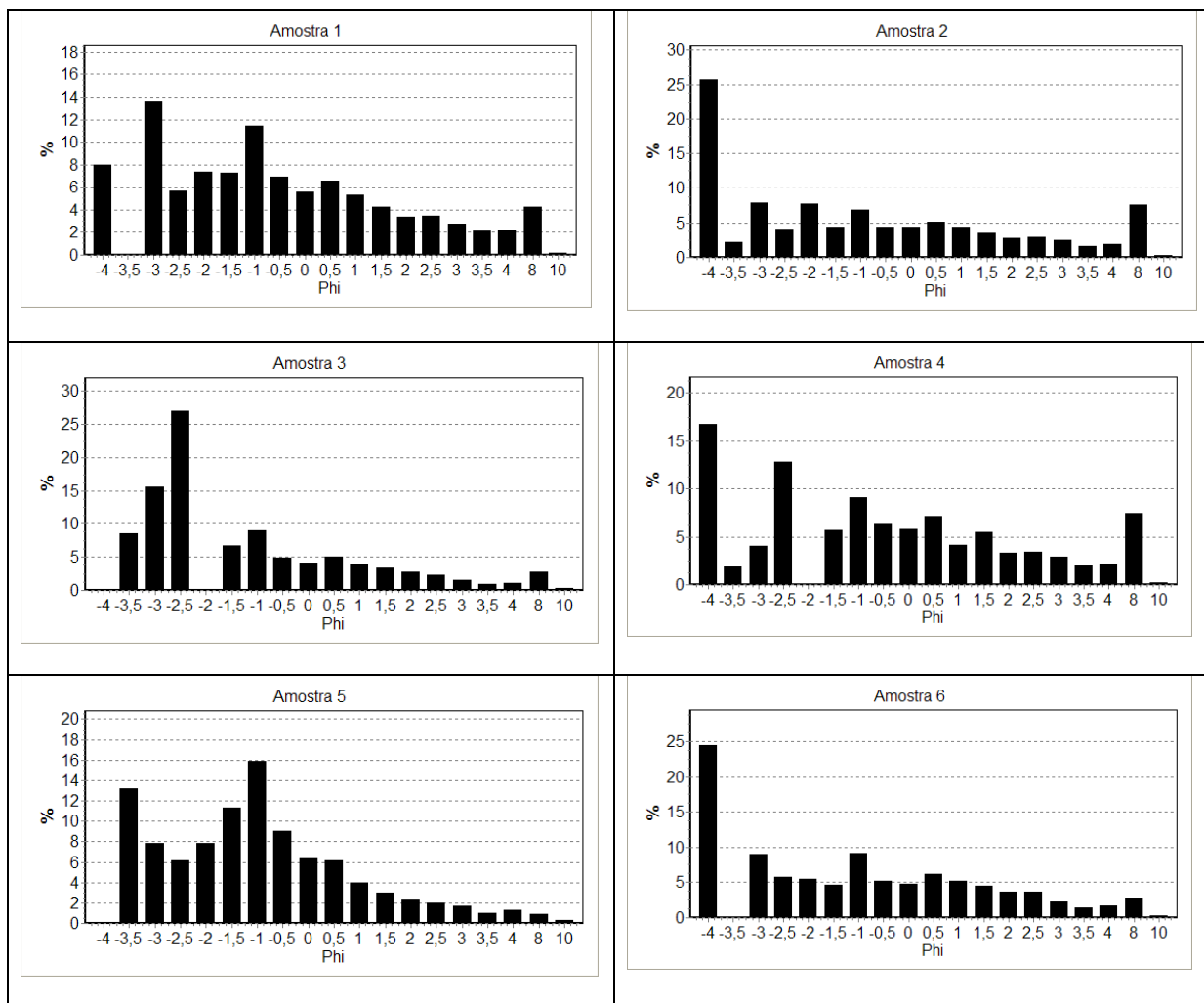
- SHARP, M. Modification of clasts in lodgement tills by glacial erosion. **Journal of Glaciology**, 28, p. 475-481. 1982.
- SHEPARD, F.P. Petrol Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. **Journal of Sedimentary Research**, 24 (3), p. 151-158. 1954.
- SIMÕES, J. C. Glossário da língua portuguesa da. neve, do gelo e termos correlatos. **Pesquisa Antártica Brasileira**. 4, p. 119-154. 2004.
- SIMÕES, J.C. e BREMER, U.F. Investigations of King George Island ice cover using ERS-1/SAR and SPOT imagery. **Revista SELPER**, 11 (1-2), 56-60. 1995.
- SIMÕES, J.C.; BREMER, U.F.; AQUINO, F.E.; FERRON, F.A. Morphology and variations of glacial drainage basins in King George Island icefield, Antarctica. **Annals of Glaciology**, 29, p. 220-224. 1999.
- STOKES, C.R.; CLARK, C.D. The Dubawnt Lake palaeo-ice stream: evidence for dynamic ice sheet behaviour on the Canadian shield and insights regarding the controls on ice-stream location and vigour, **Boreas**, 32, p. 263-279. 2003.
- SUGDEN, D.E.; JOHN, B.S. **Glaciers and Landscape**. London: Edward Arnold Ltda, 376 p. 1976.
- SUGUIO, K. **Geologia sedimentar**. São Paulo: Edgard Blücher, 400 p. 2003.
- TOMAZELLI, L.J. **Ambientes de sedimentação**. Porto Alegre: Gráfica da UFRGS, 102 p. 2002.
- TURNER, J.; COLWELL, S.R.; MARSHALL, G.J.; LACHLAN-COPE, T.A.; CARLETON, A.M.; JONES, P.D.; LAGUN, V.; REID, P.A.; IAGOVKINA, S. Antarctic climate change during the last 50 years. **International Journal of Climatology**. 25, p. 279-294. 2005.
- VIEIRA, R.; ROSSATO, M.S.; AQUINO, F.E.; SIMÕES, J.C. Feições morfológicas associadas ao ambiente de deglaciação da geleira Ecology, ilha Rei George, Antártica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 6 (2), p. 51-60. 2005.

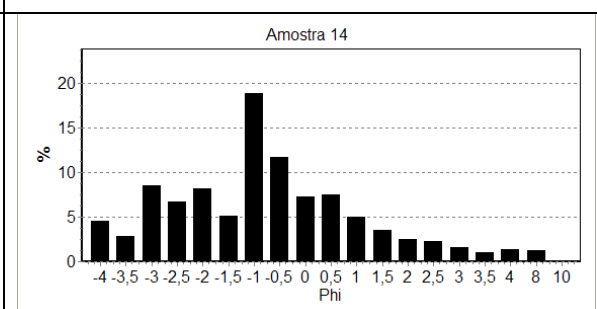
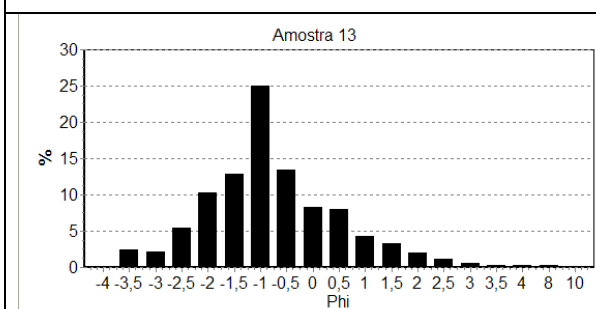
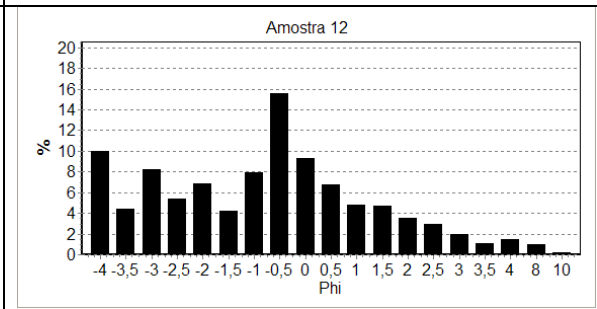
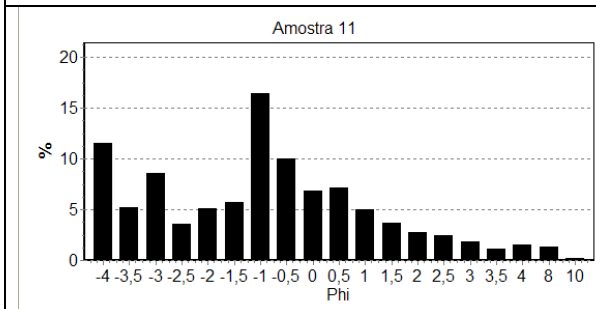
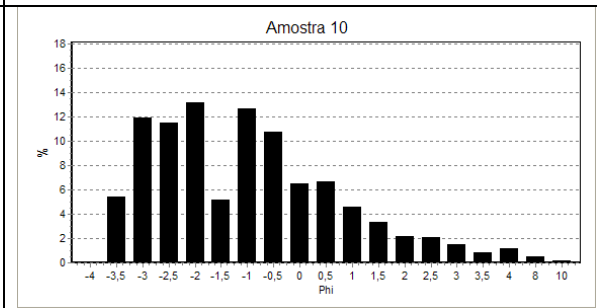
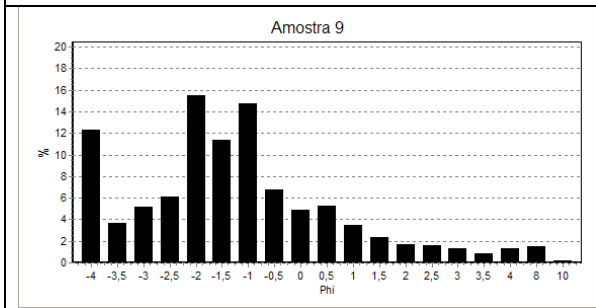
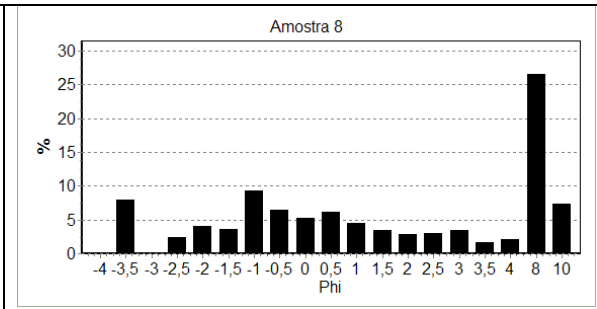
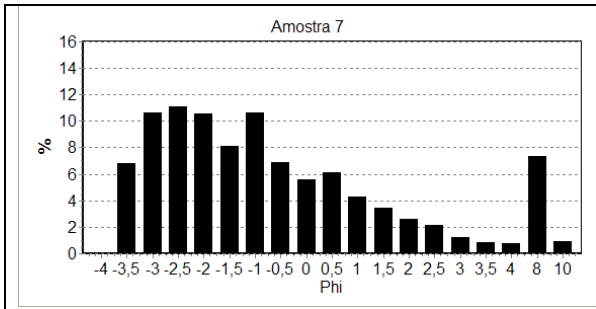
WENTWORTH, C.K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal of Geology**, 30, p. 377-392. 1922.

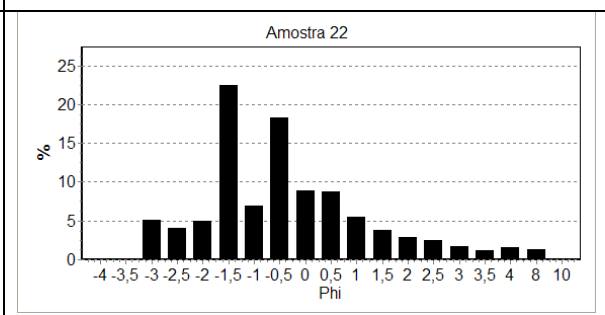
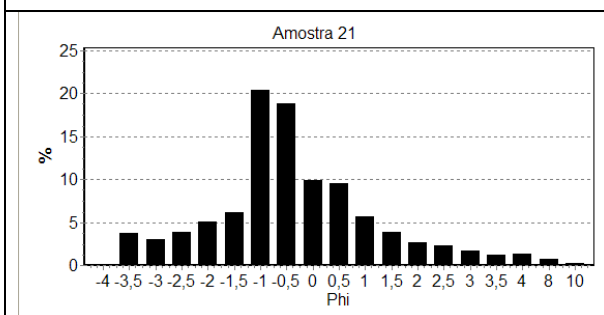
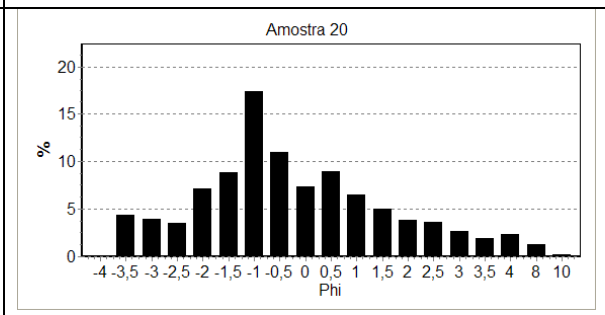
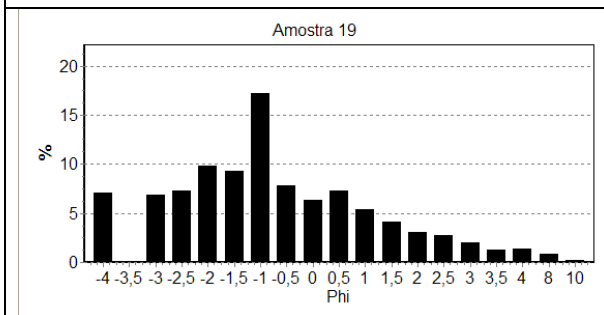
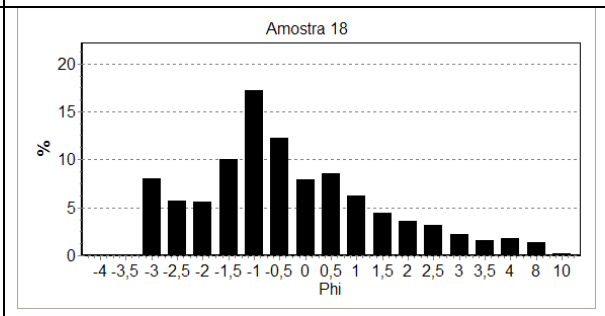
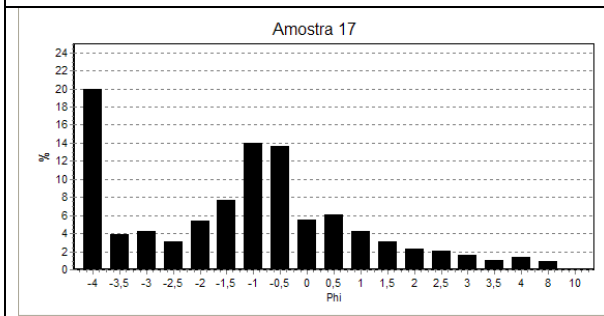
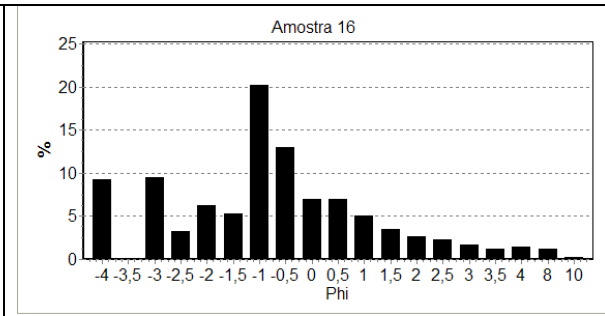
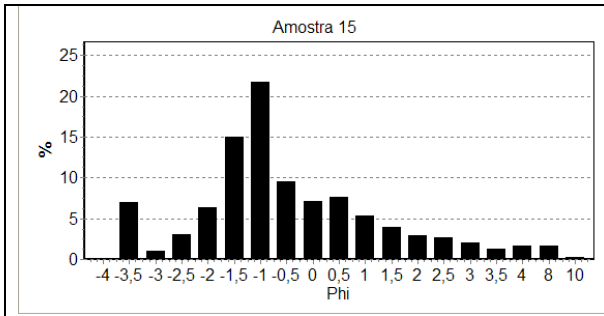
YOON, H.H.; PARK, B.K.; KIM, Y.; KIM, D. Glaciomarine sedimentation and its paleoceanographic implications along the fjord margins in the South Shetland Islands, Antarctica during the last 6000 years. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, 157, p. 189-211. 2000.

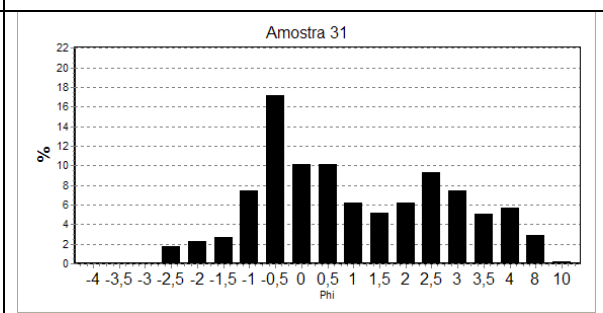
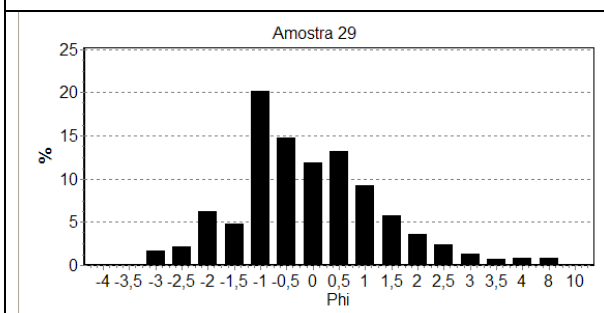
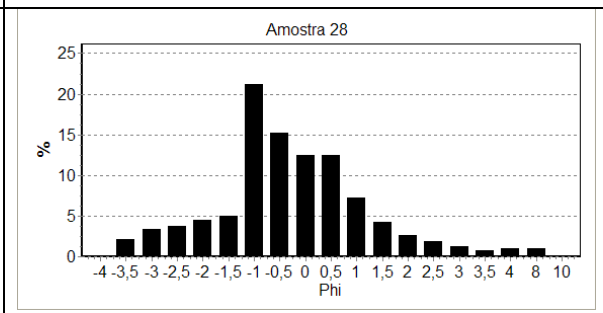
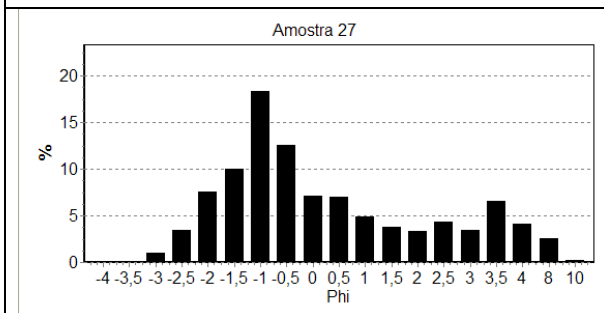
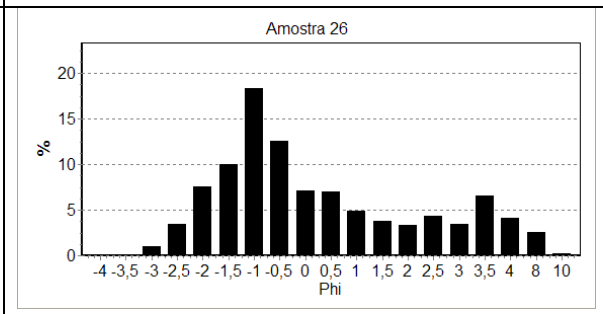
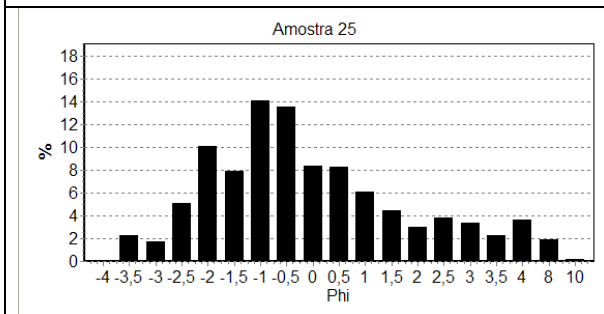
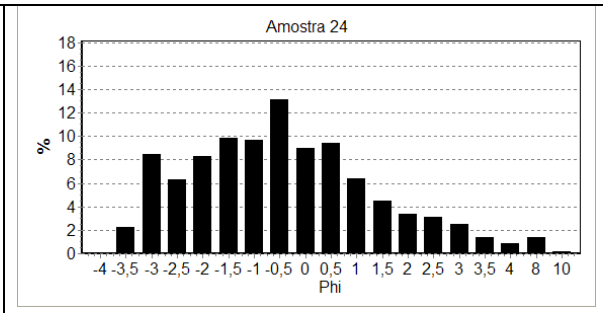
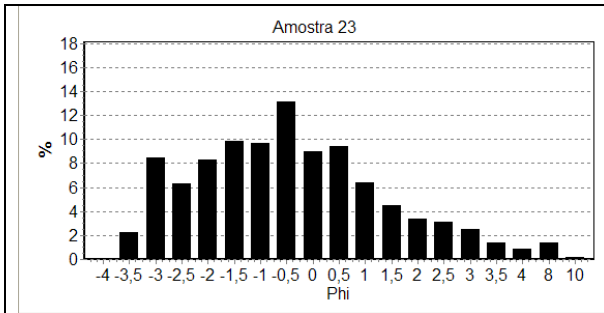
ANEXO A – GRÁFICOS DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE SEDIMENTOS

Figura A1 – Gráficos da distribuição granulométrica de sedimentos na geleira Wanda. Os tamanhos das partículas podem ser divididos em -0,5 a 4 phi areia, 4,5 phi a 8,5 silte e 8,5 a >10 phi argila.









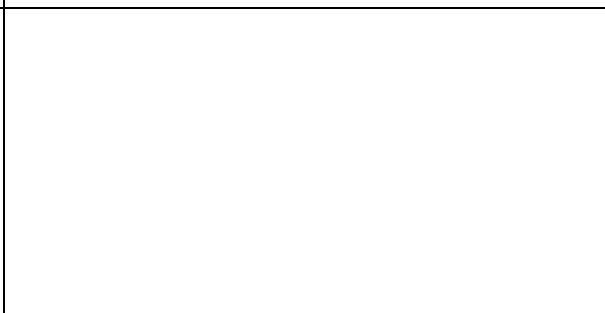
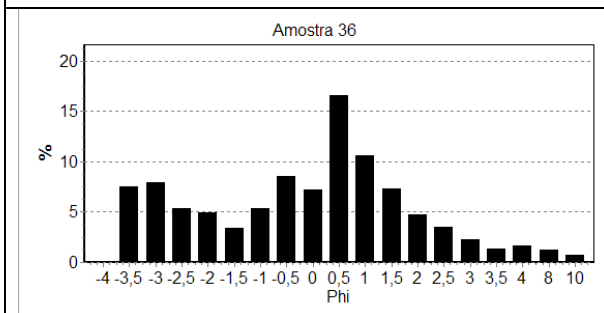
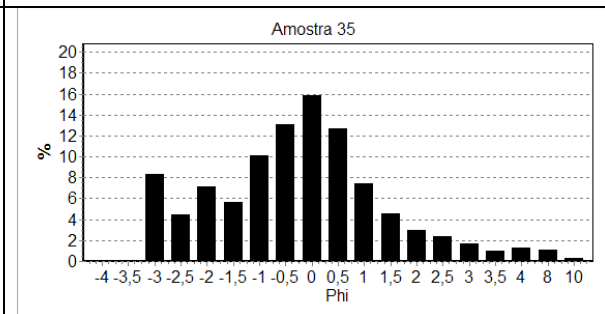
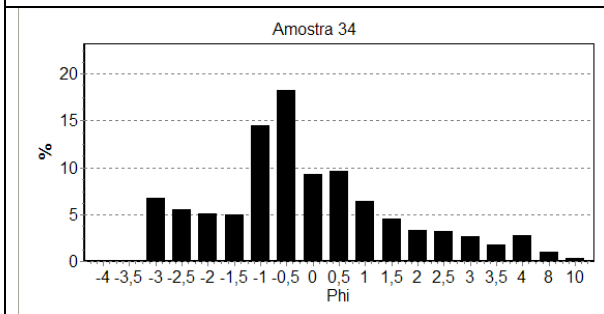
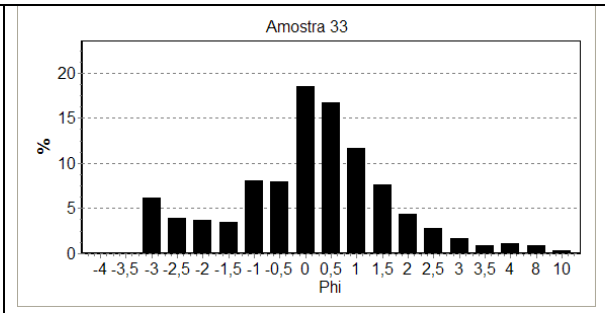
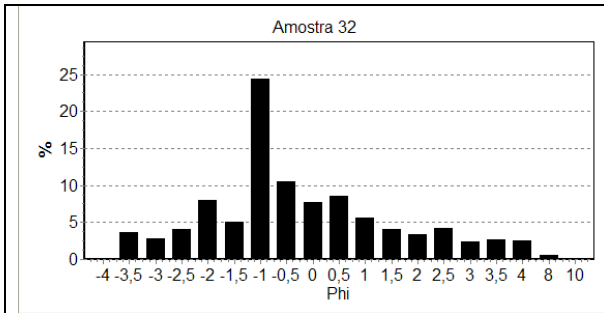
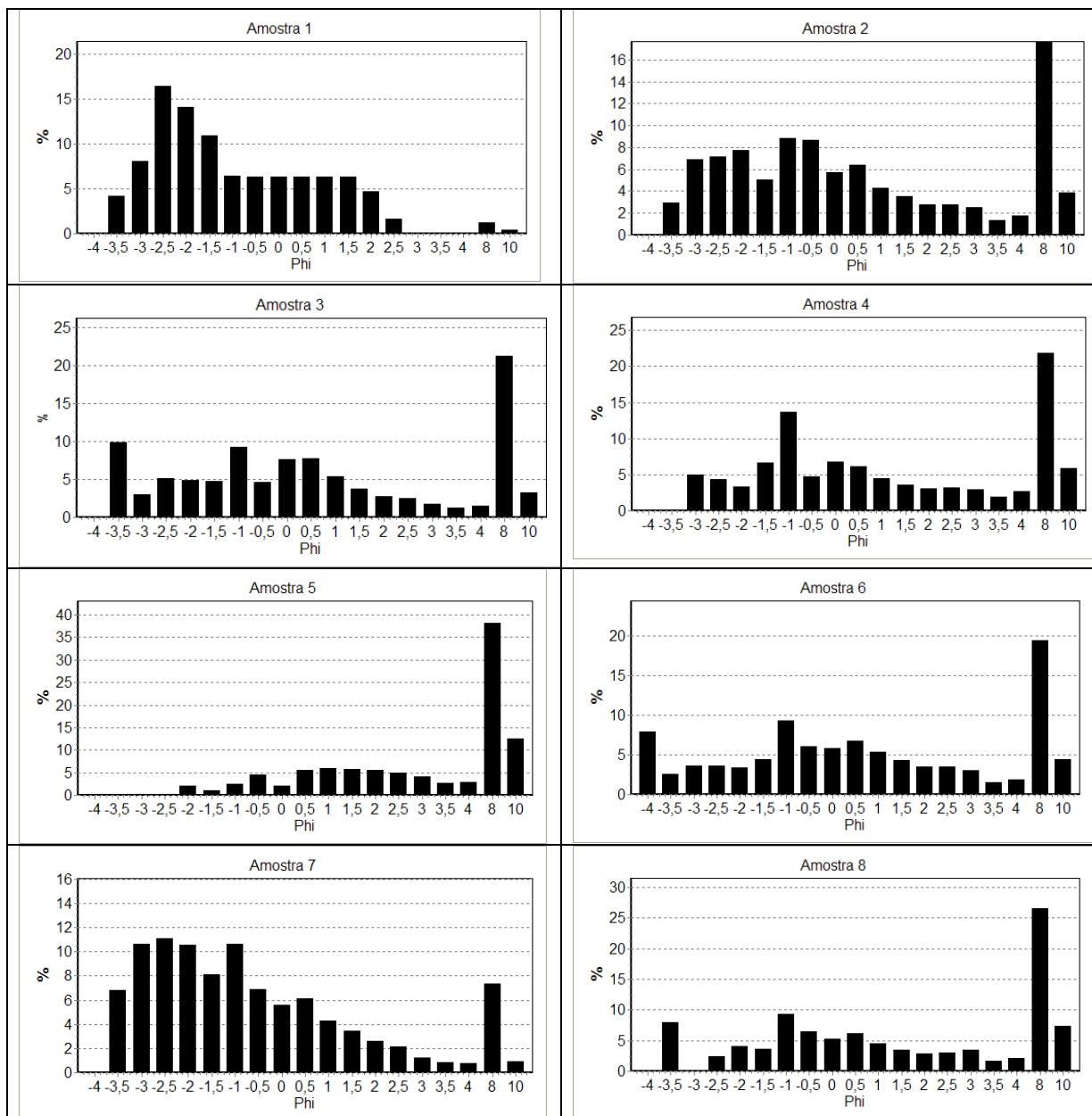
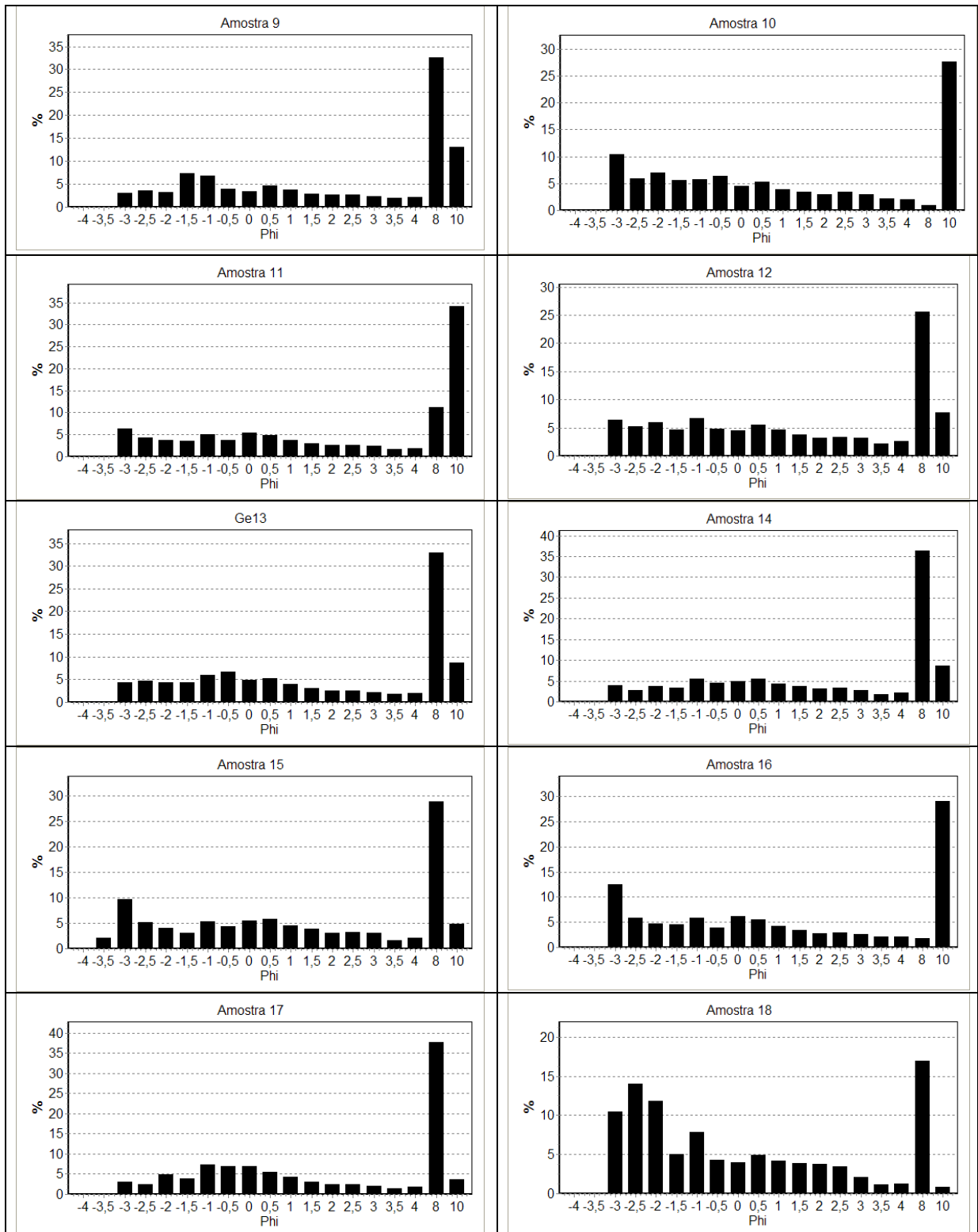
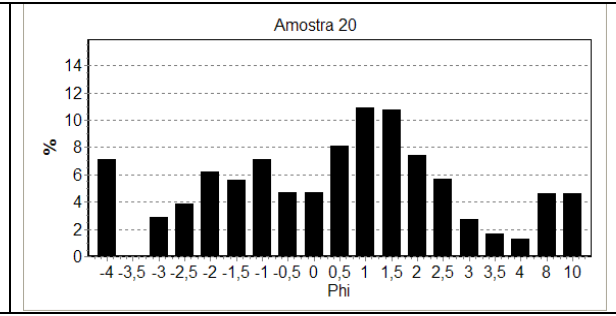
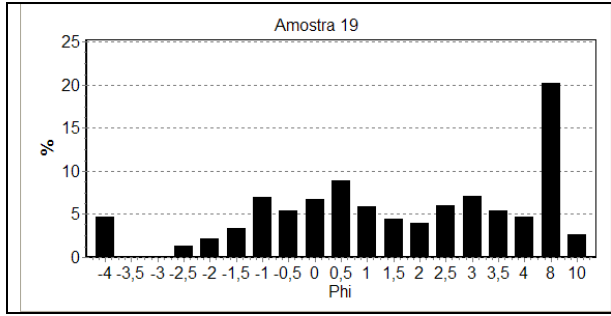


Figura A2 – Gráficos da distribuição granulométrica de sedimentos na geleira Ecology. Os tamanhos das partículas podem ser divididos em -0,5 a 4 phi areia, 4,5 phi a 8,5 silte e 8,5 a >10 phi argila.







ANEXO B – CARACTERÍSTICAS DO SELECIONAMENTO DE SEDIMENTOS

Tabela B1 – Características de selecionamento de sedimentos da geleira Ecology.

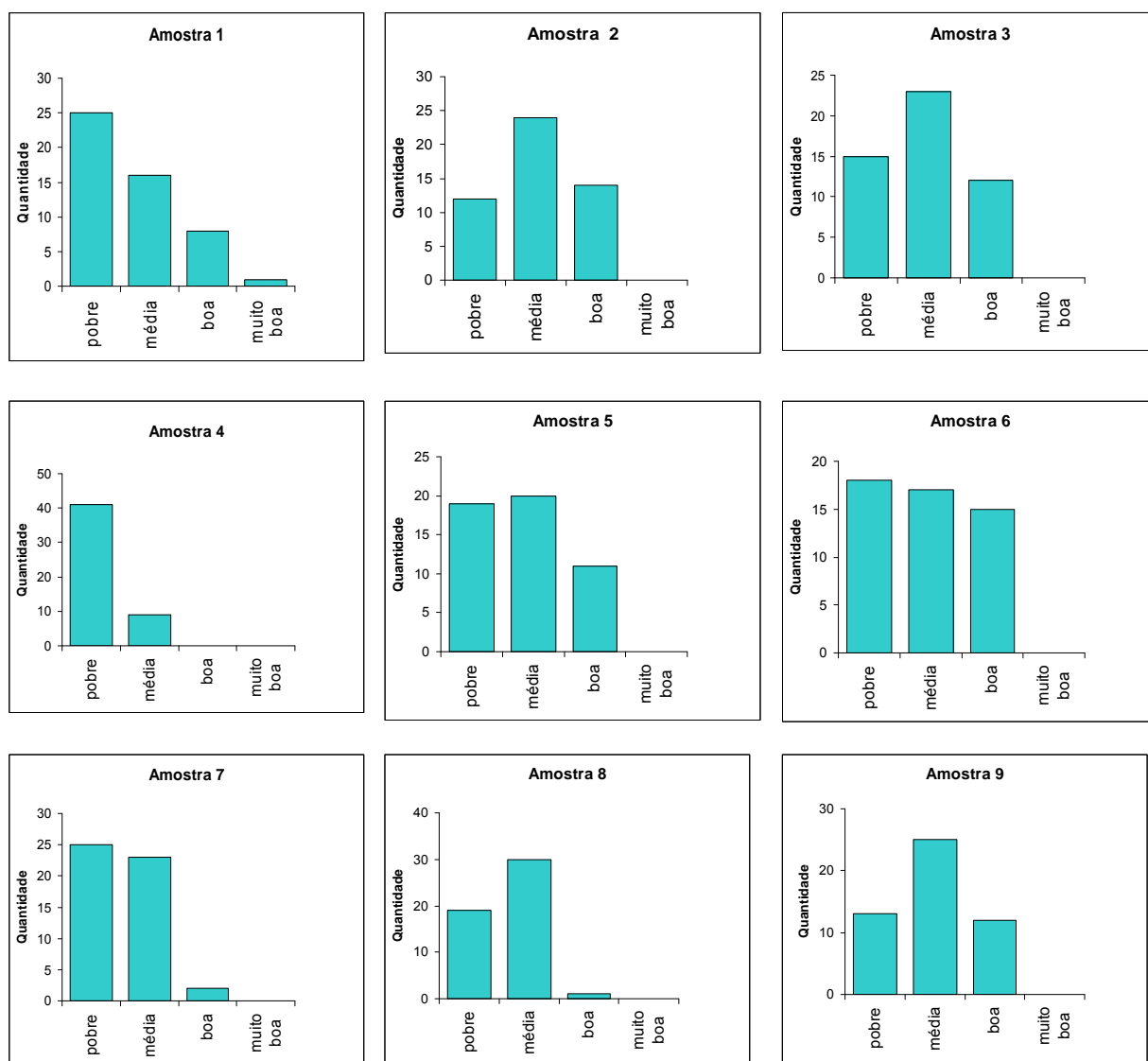
Amostra	Classificação granulométrica	Classificação	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila
Ge01	Granulo	Pobrememente selecionado	60,27	38,12	1,185	0,42
Ge02	Areia grossa	Muito pobrememente selecionado	38,59	39,86	17,66	3,88
Ge03	Areia grossa	Muito pobrememente selecionado	36,83	38,71	21,20	3,25
Ge04	Areia média	Muito pobrememente selecionado	32,88	39,42	21,81	5,88
Ge05	Silte grosso	Muito pobrememente selecionado	5,579	43,86	38,09	12,47
Ge06	Areia média	Muito pobrememente selecionado	34,59	41,56	19,41	4,44
Ge07	Areia muito grossa	Muito pobrememente selecionado	57,84	33,91	7,34	0,91
Ge08	Areia média	Muito pobrememente selecionado	27,25	38,90	26,51	7,35
Ge09	Areia fina	Extremamente mal selecionado	24,13	30,17	32,60	13,09
Ge10	Areia fina	Extremamente mal selecionado	34,67	36,87	0,86	27,60
Ge11	Areia muito fina	Extremamente mal selecionado	22,81	31,82	11,16	34,21
Ge12	Areia média	Extremamente mal selecionado	28,97	37,77	25,53	7,73
Ge13	Areia fina	Muito pobrememente selecionado	23,61	34,65	32,99	8,75
Ge14	Areia fina	Muito pobrememente selecionado	19,04	35,96	36,30	8,71
Ge15	Areia média	Muito pobrememente selecionado	29,20	37,17	28,86	4,77
Ge16	Areia fina	Extremamente mal selecionado	33,53	35,58	1,767	29,12
Ge17	Areia fina	Muito pobrememente selecionado	21,70	36,86	37,79	3,65
Ge18	Areia grossa	Muito pobrememente selecionado	49,14	33,11	16,96	0,80
Ge19	Areia média	Muito pobrememente selecionado	18,51	58,62	20,26	2,62

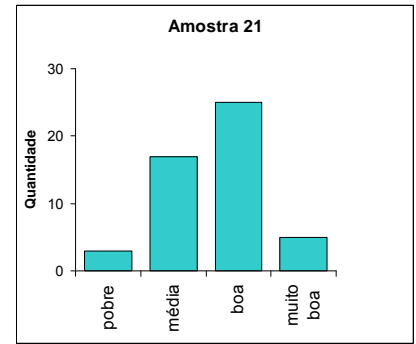
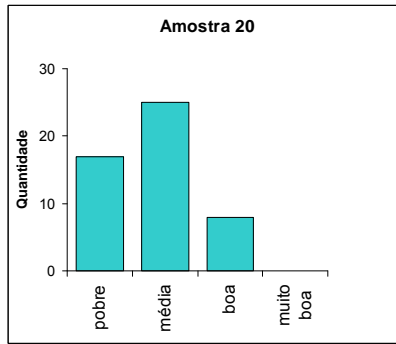
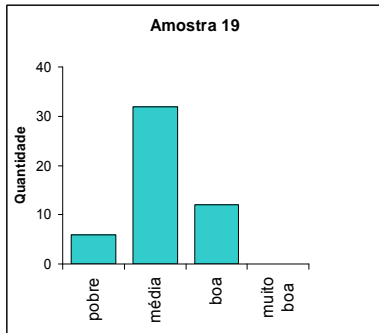
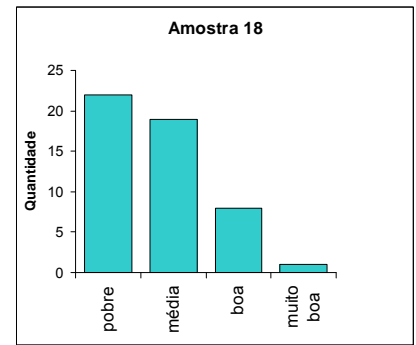
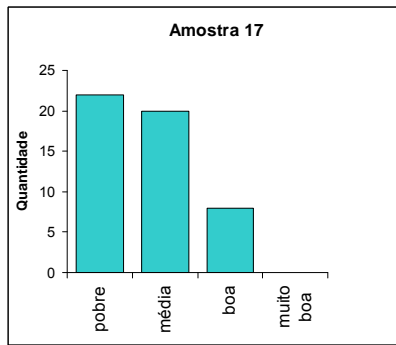
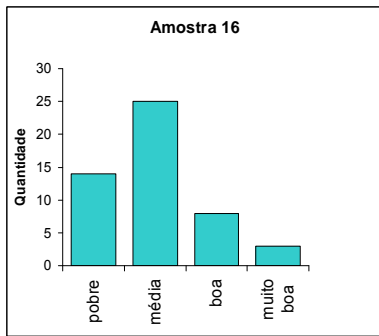
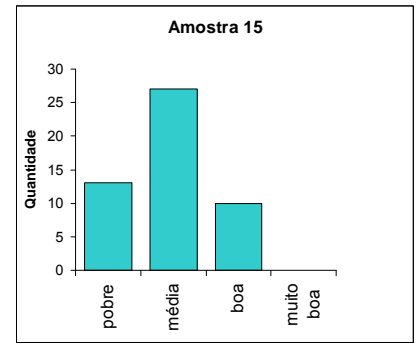
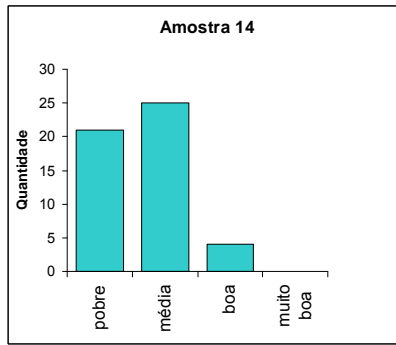
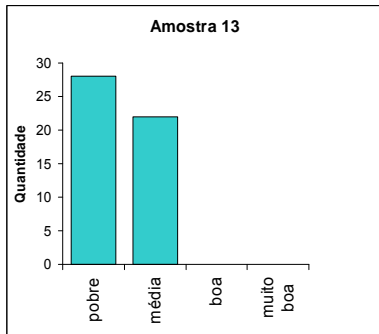
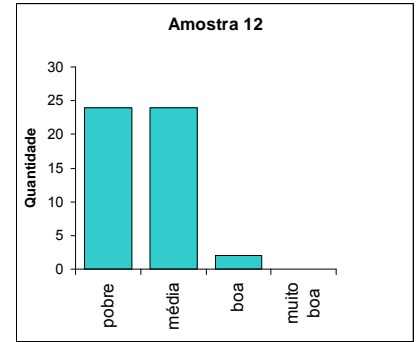
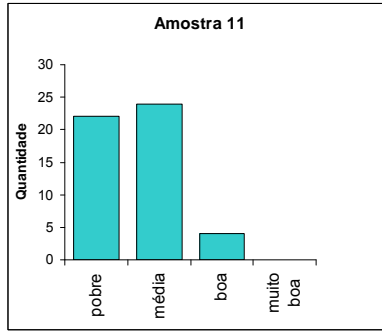
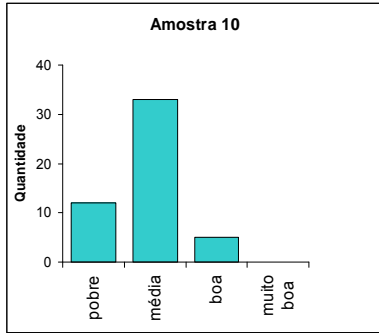
Tabela B2 – Tabela de características de selecionamento de sedimentos da geleira Wanda.

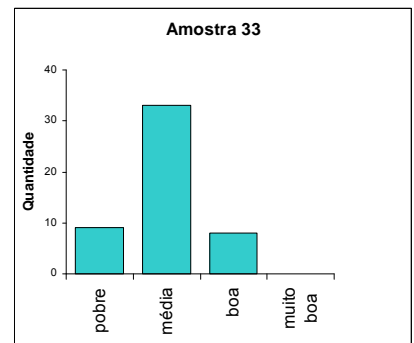
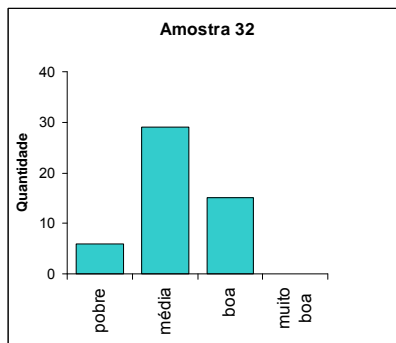
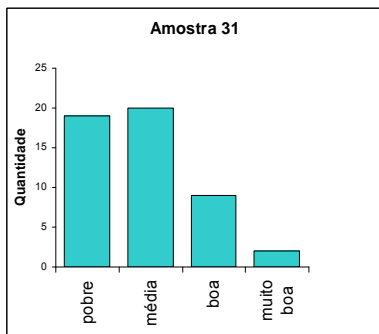
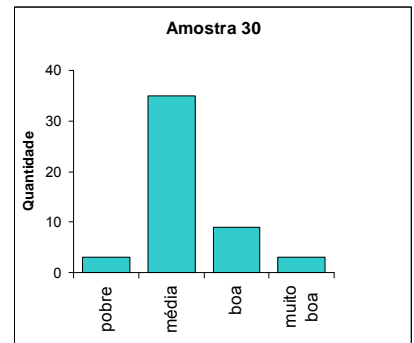
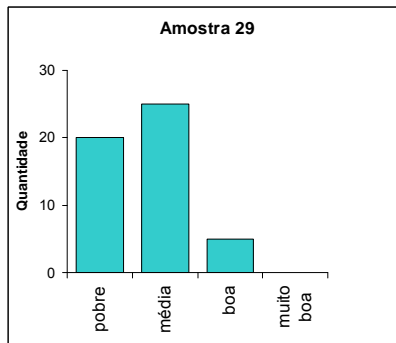
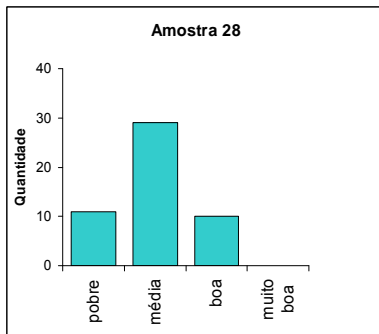
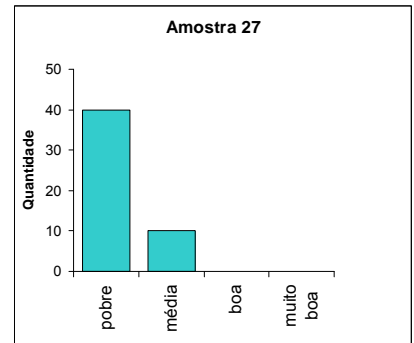
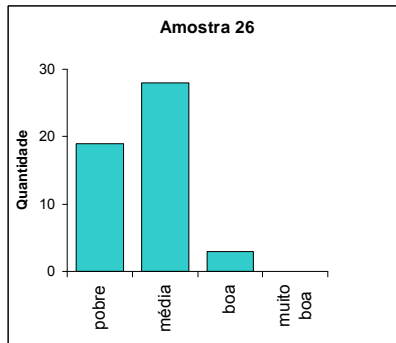
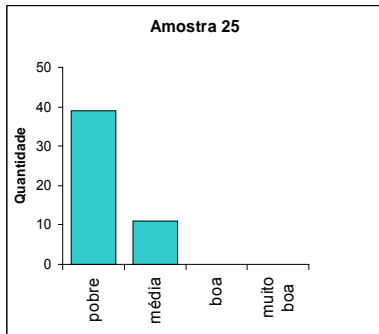
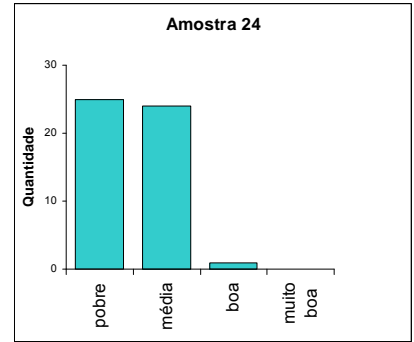
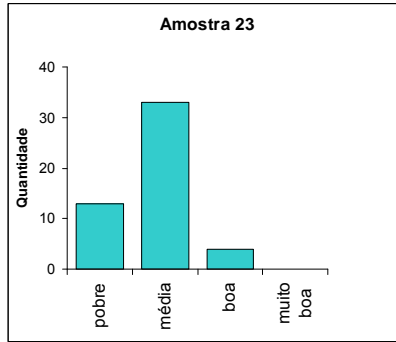
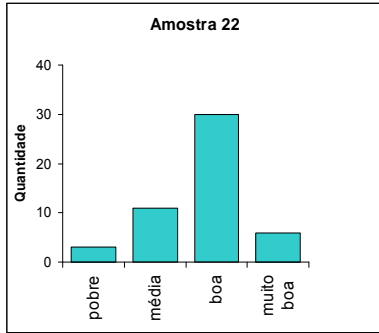
Amostra	Classificação granulométrica	Classificação	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila
GW01	Areia muito grossa	Muito pobremente selecionado	53,15	42,45	4,26	0,14
GW02	Areia muito grossa	Muito pobremente selecionado	58,94	33,28	7,56	0,22
GW03	Granulo	Muito pobremente selecionado	66,92	30,06	2,76	0,26
GW04	Areia muito grossa	Muito pobremente selecionado	50,01	42,45	7,38	0,16
GW05	Granulo	Pobremente selecionado	62,06	36,73	0,94	0,28
GW06	Areia muito grossa	Pobremente selecionado	58,44	38,55	2,77	0,24
GW07	Granulo	Pobremente selecionado	59,47	38,96	1,42	0,14
GW08	Areia muito grossa	Pobremente selecionado	51,13	46,68	1,99	0,20
GW09	Granulo	Pobremente selecionado	68,79	29,46	1,51	0,23
GW10	Granulo	Pobremente selecionado	59,81	39,48	0,53	0,18
GW11	Granulo	Pobremente selecionado	56,04	42,41	1,37	0,18
GW12	Granulo	Pobremente selecionado	46,93	51,94	0,97	0,16
GW13	Granulo	Pobremente selecionado	58,22	41,55	0,23	0,00
GW14	Granulo	Pobremente selecionado	54,64	43,92	1,28	0,16
GW15	Areia muito grossa	Pobremente selecionado	54,16	44,04	1,60	0,20
GW16	Granulo	Pobremente selecionado	53,78	44,82	1,20	0,20
GW17	Granulo	Pobremente selecionado	58,12	40,82	0,92	0,13
GW18	Areia muito grossa	Pobremente selecionado	46,65	51,78	1,37	0,20
GW19	Granulo	Pobremente selecionado	57,52	41,42	0,88	0,18
GW20	Areia muito grossa	Pobremente selecionado	45,29	53,24	1,29	0,18
GW21	Areia muito grossa	Pobremente selecionado	42,13	56,94	0,75	0,19
GW22	Areia muito grossa	Pobremente selecionado	43,47	55,10	1,27	0,16
GW23	Areia muito grossa	Pobremente selecionado	44,83	53,66	1,34	0,17
GW24	Granulo	Pobremente selecionado	70,45	28,43	0,92	0,20
GW25	Areia muito grossa	Pobremente selecionado	41,11	56,84	1,90	0,15
GW26	Areia grossa	Muito pobremente selecionado	41,86	55,58	2,23	0,33
GW27	Areia grossa	Muito pobremente selecionado	40,29	57,00	2,51	0,20
GW28	Areia muito grossa	Pobremente selecionado	39,83	59,00	0,98	0,18
GW29	Areia muito grossa	Pobremente selecionado	35,24	63,73	0,86	0,16
GW31	Areia grossa	Pobremente selecionado	14,23	82,61	2,93	0,23
GW32	Areia muito grossa	Pobremente selecionado	47,83	51,48	0,54	0,16
GW33	Areia muito grossa	Pobremente selecionado	25,30	73,50	0,90	0,30
GW34	Areia muito grossa	Pobremente selecionado	36,93	61,78	0,96	0,33
GW35	Areia muito grossa	Pobremente selecionado	35,67	62,90	1,10	0,32
GW36	Areia muito grossa	Muito pobremente selecionado	34,48	63,64	1,21	0,68

ANEXO C – GRÁFICOS DE ESFERICIDADE

Figura A3 – Gráficos de esfericidade dos sedimentos da Wanda.







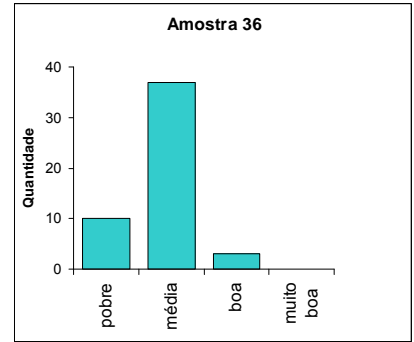
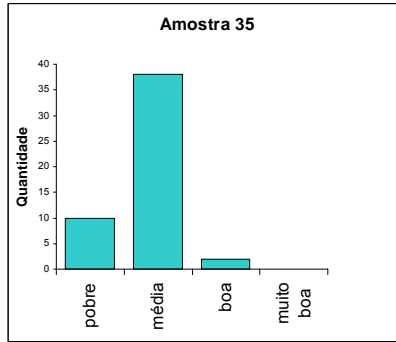
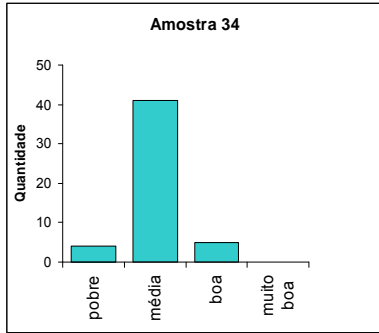
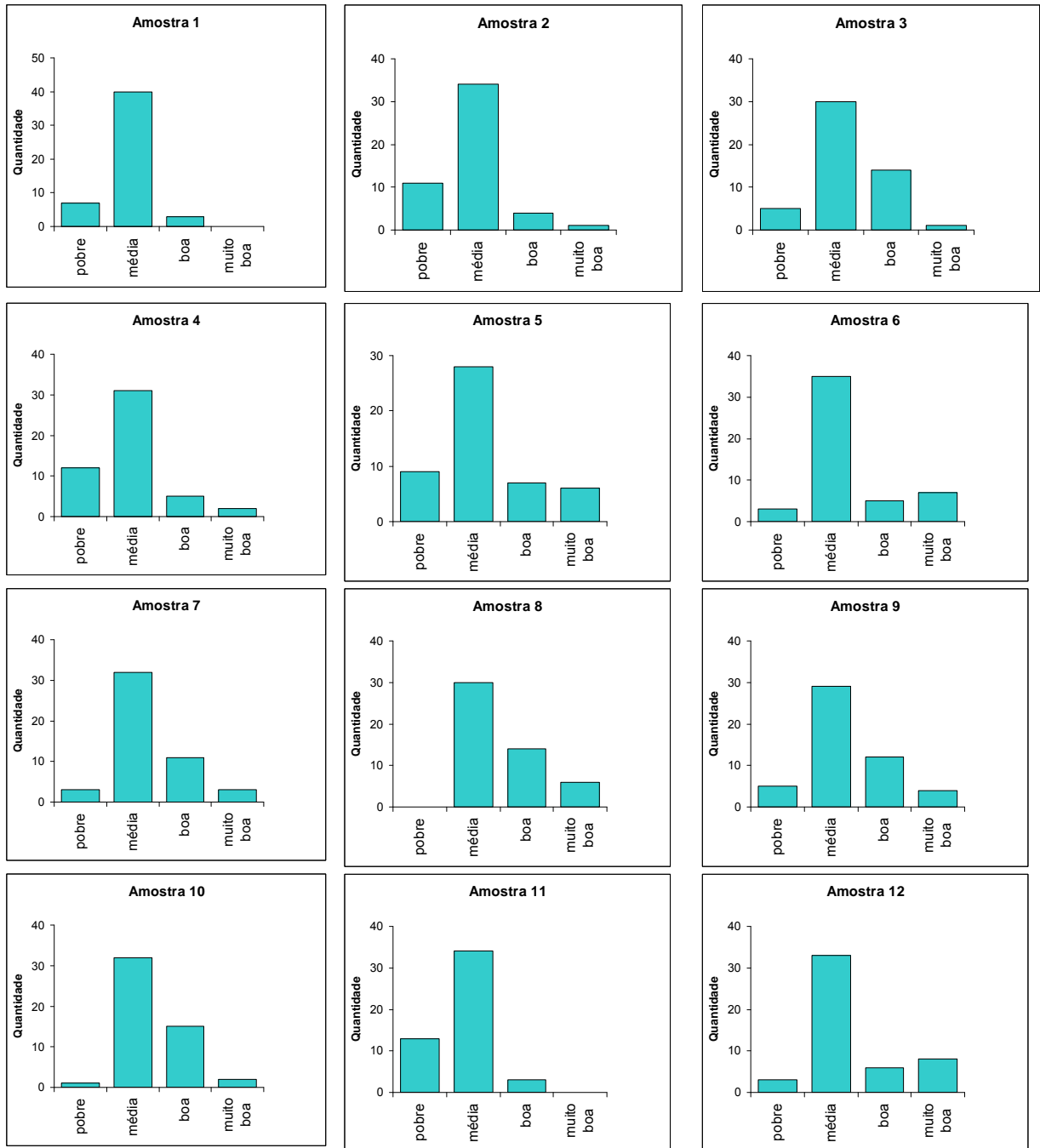
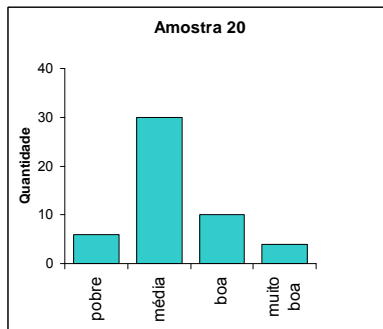
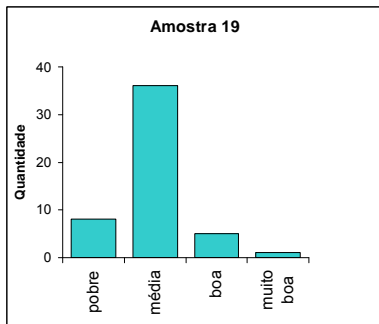
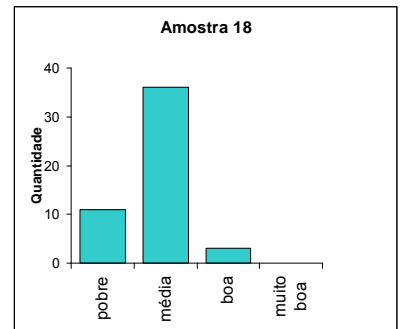
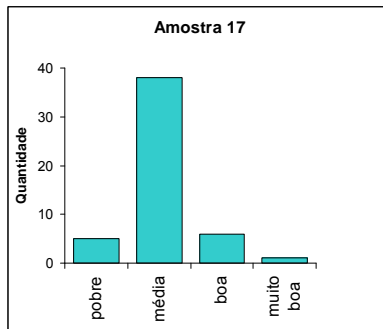
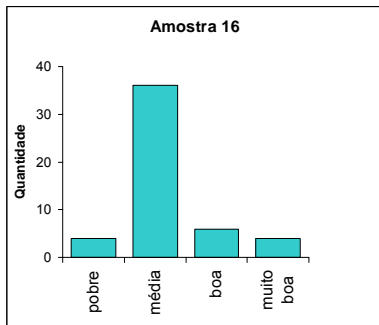
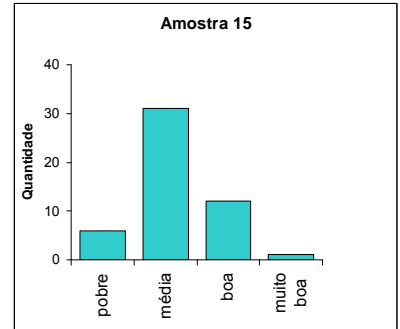
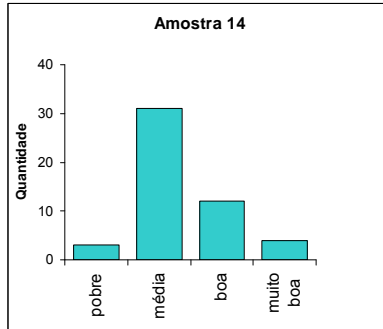
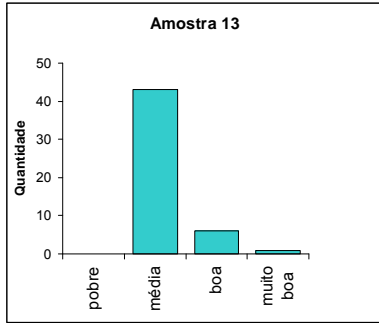


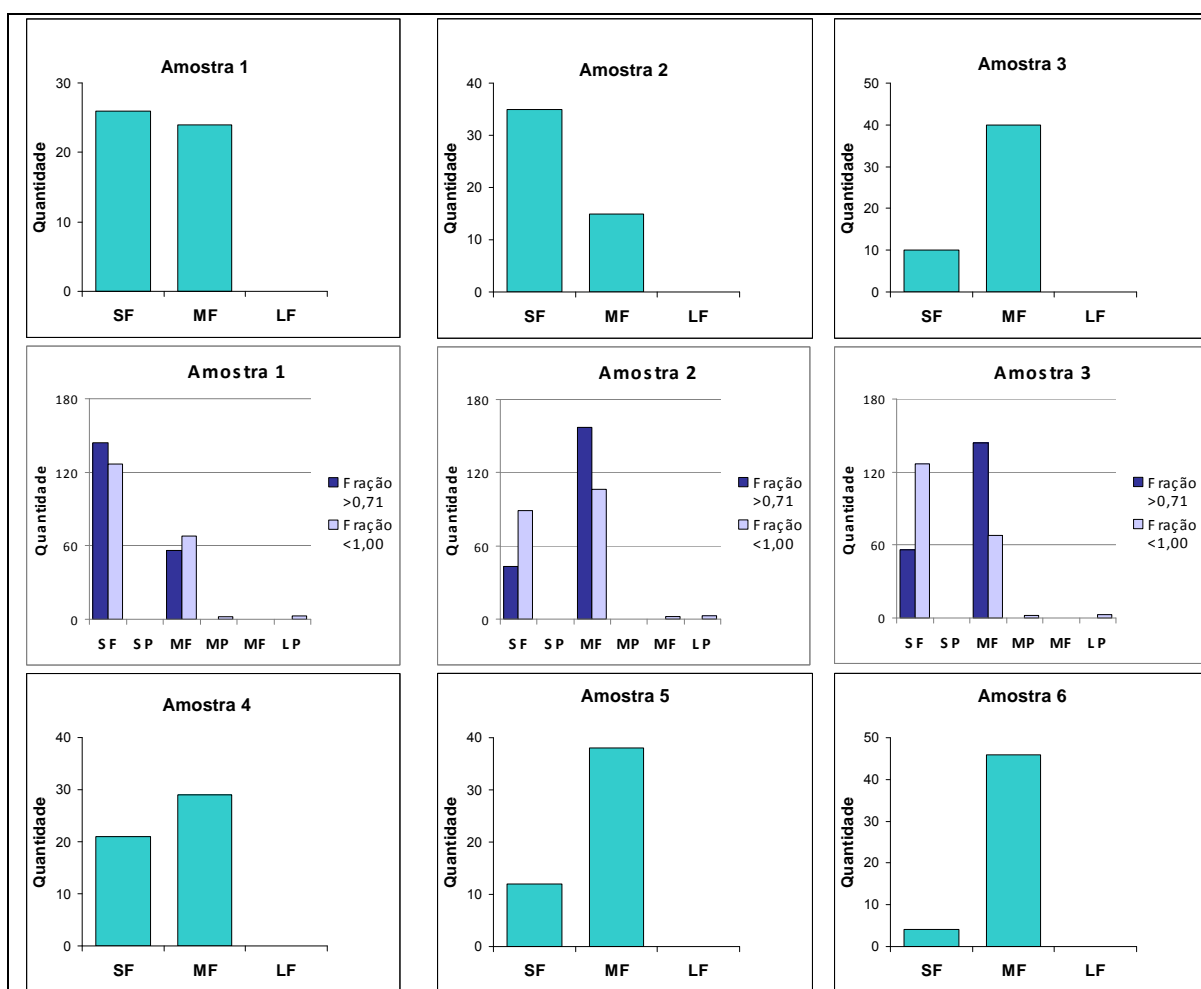
Figura A4 – Gráficos de esfericidade dos sedimentos da geleira Ecology.

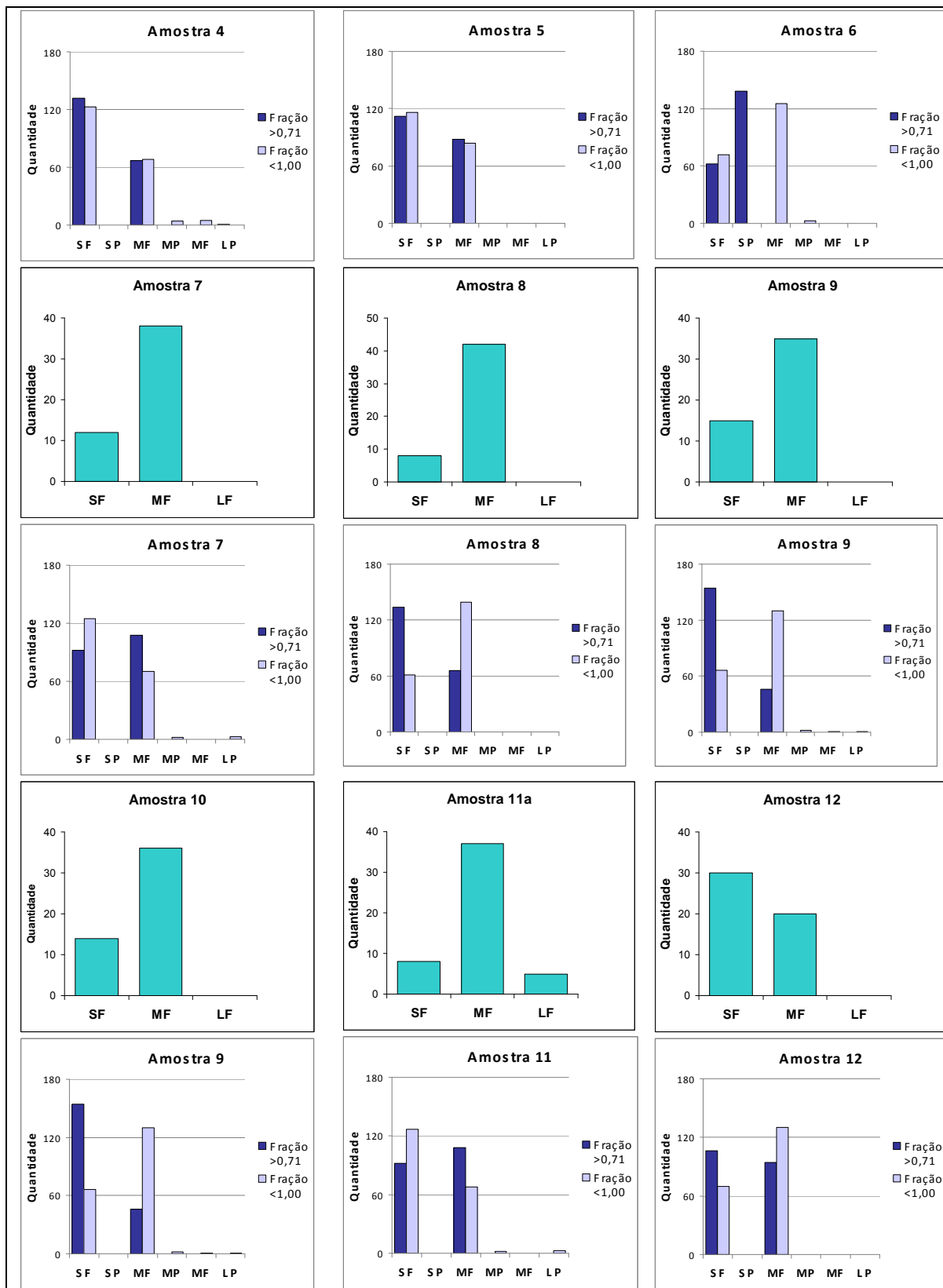


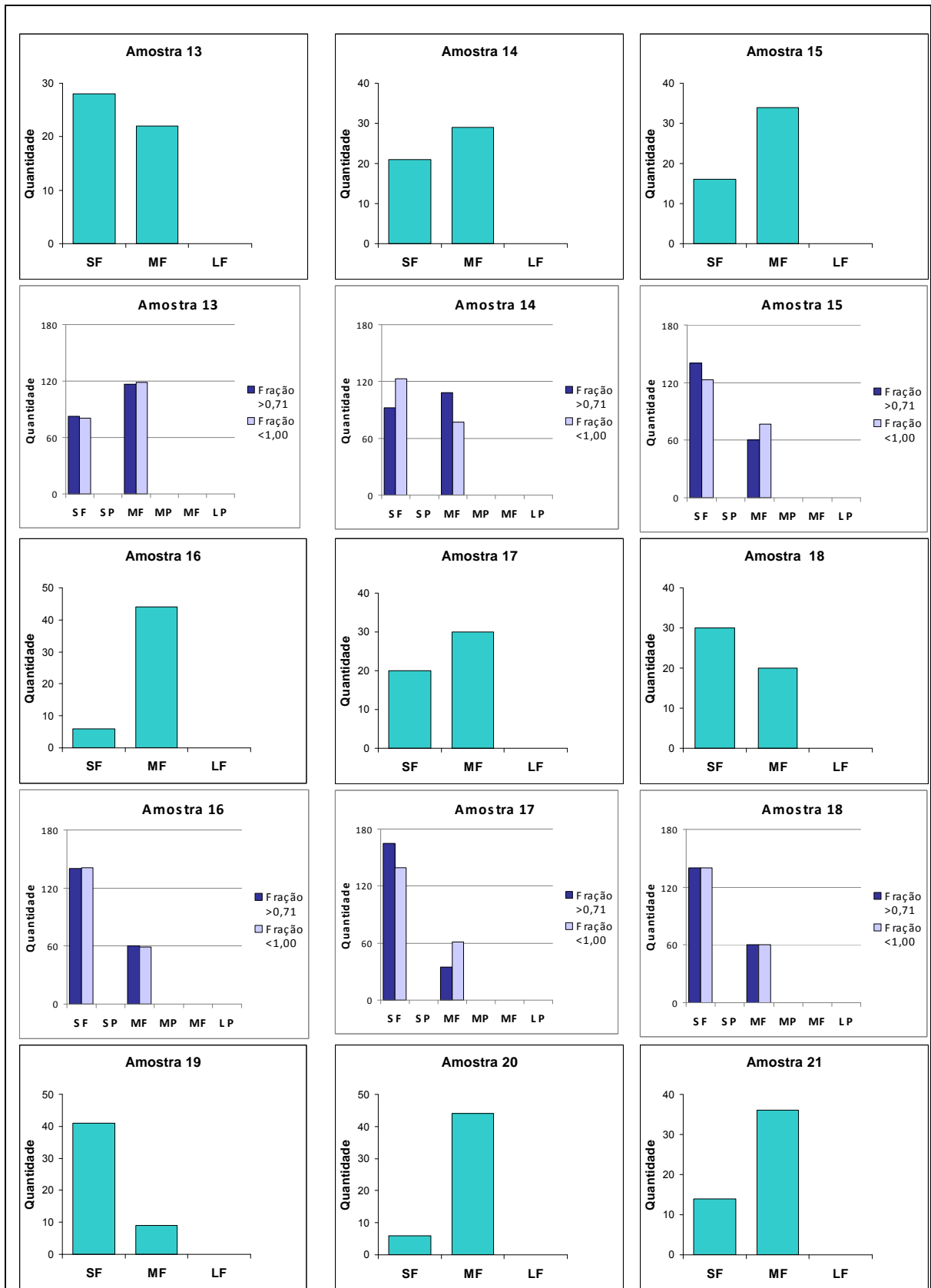


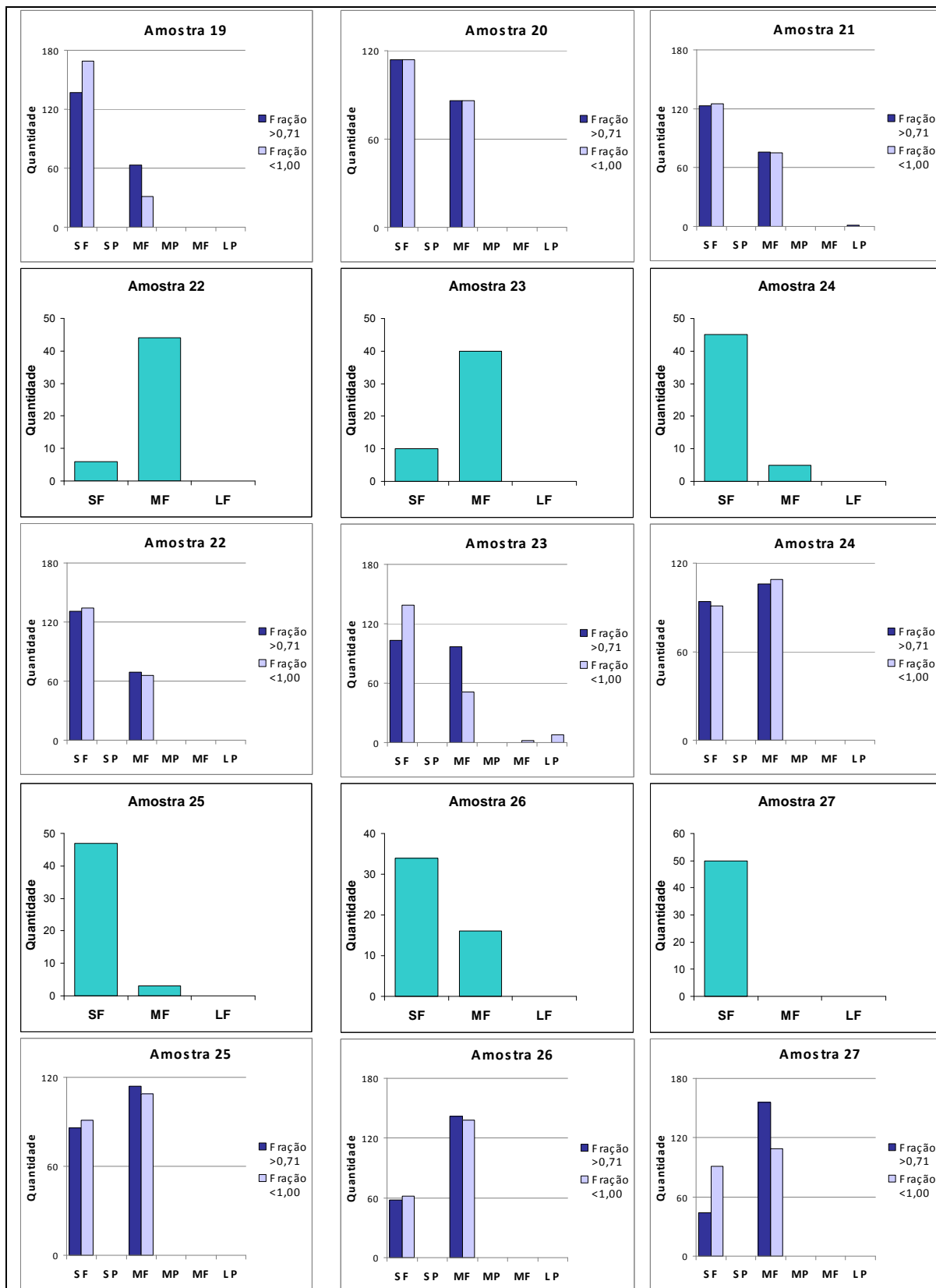
ANEXO D – GRÁFICOS DE TEXTURA SUPERFICIAL DE SEDIMENTOS

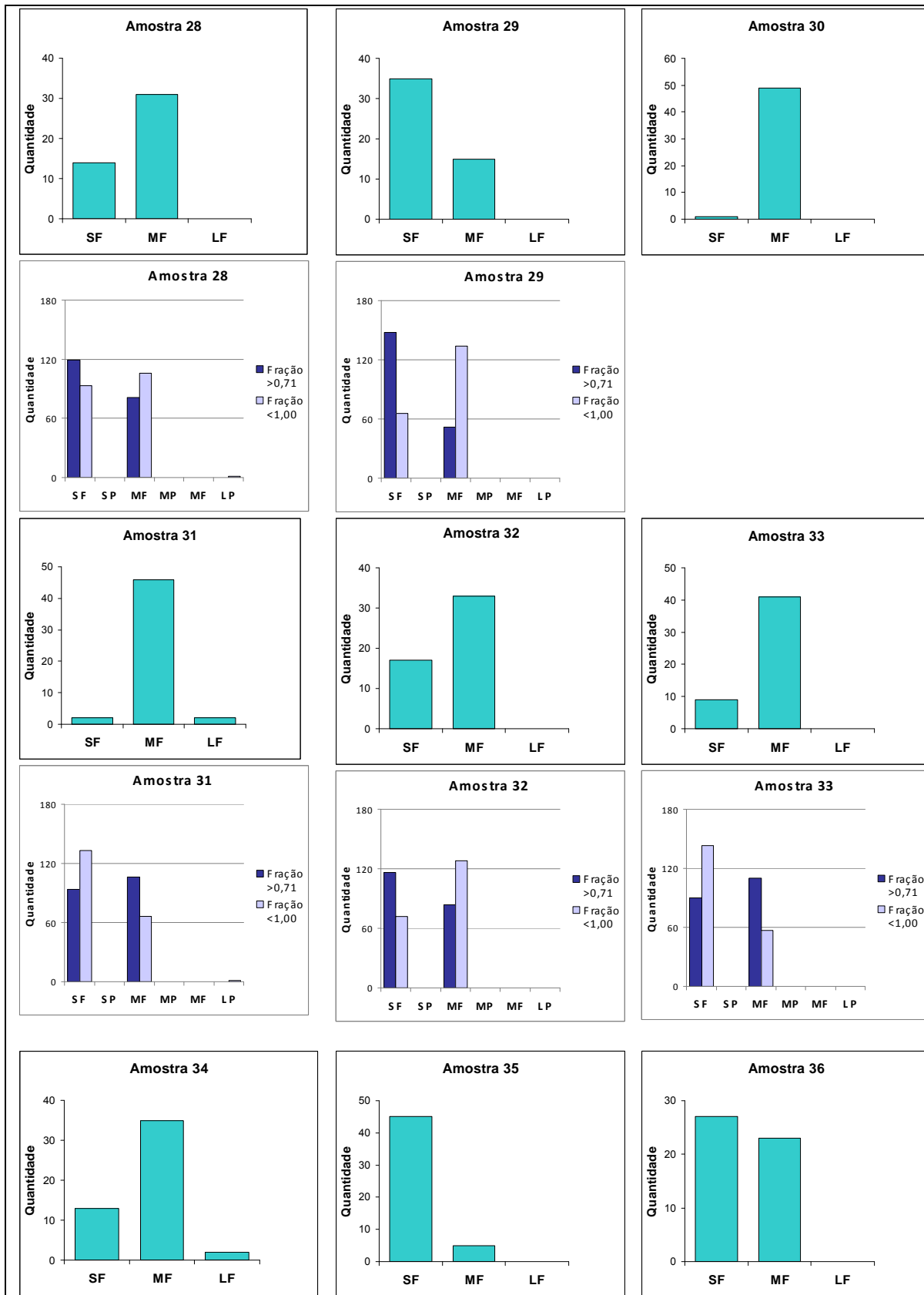
Figura A5 – Gráficos de textura superficial de sedimentos da geleira Wanda. Para representar a textura superficial foram usados os seguintes códigos: SF: sacaróide fosco, SP: sacaróide polido, MF: mamelonado fosco, MP: mamelonado polido, LF: liso fosco e LP: liso polido.











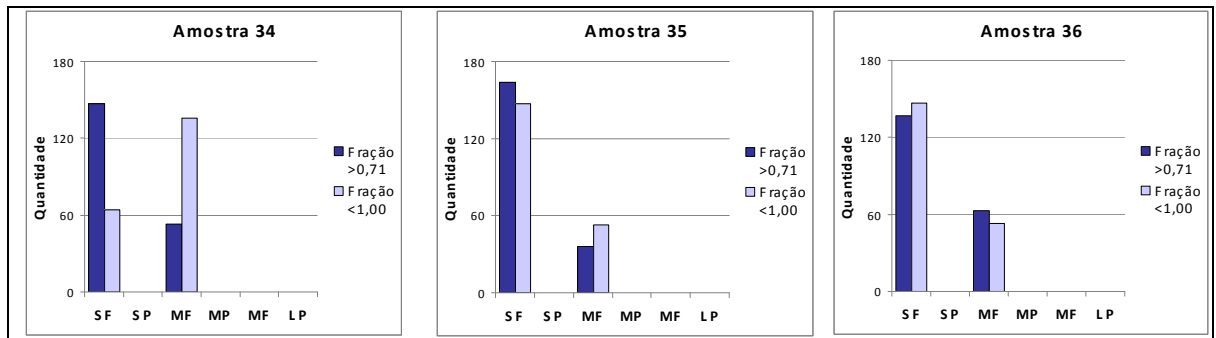
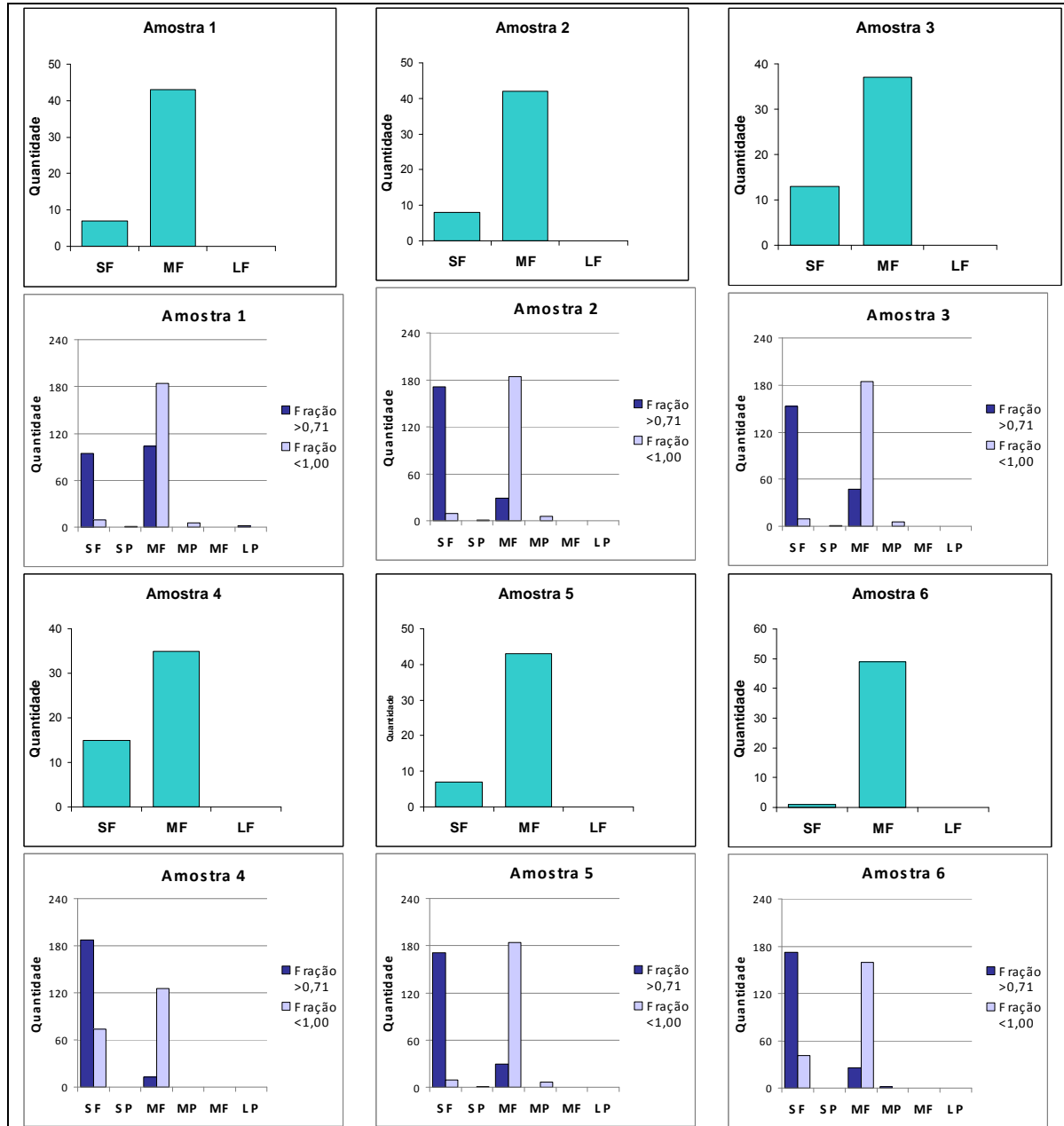
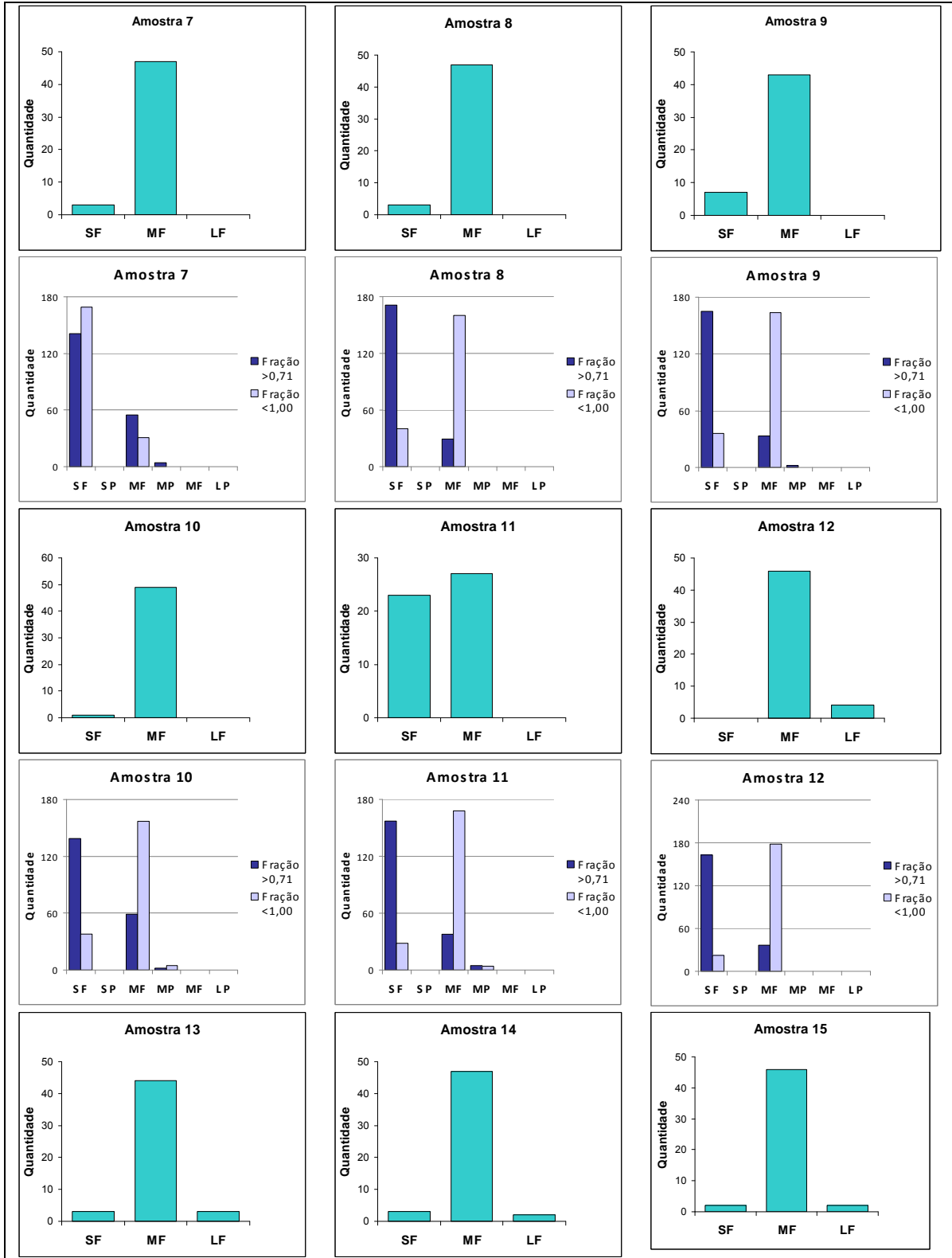
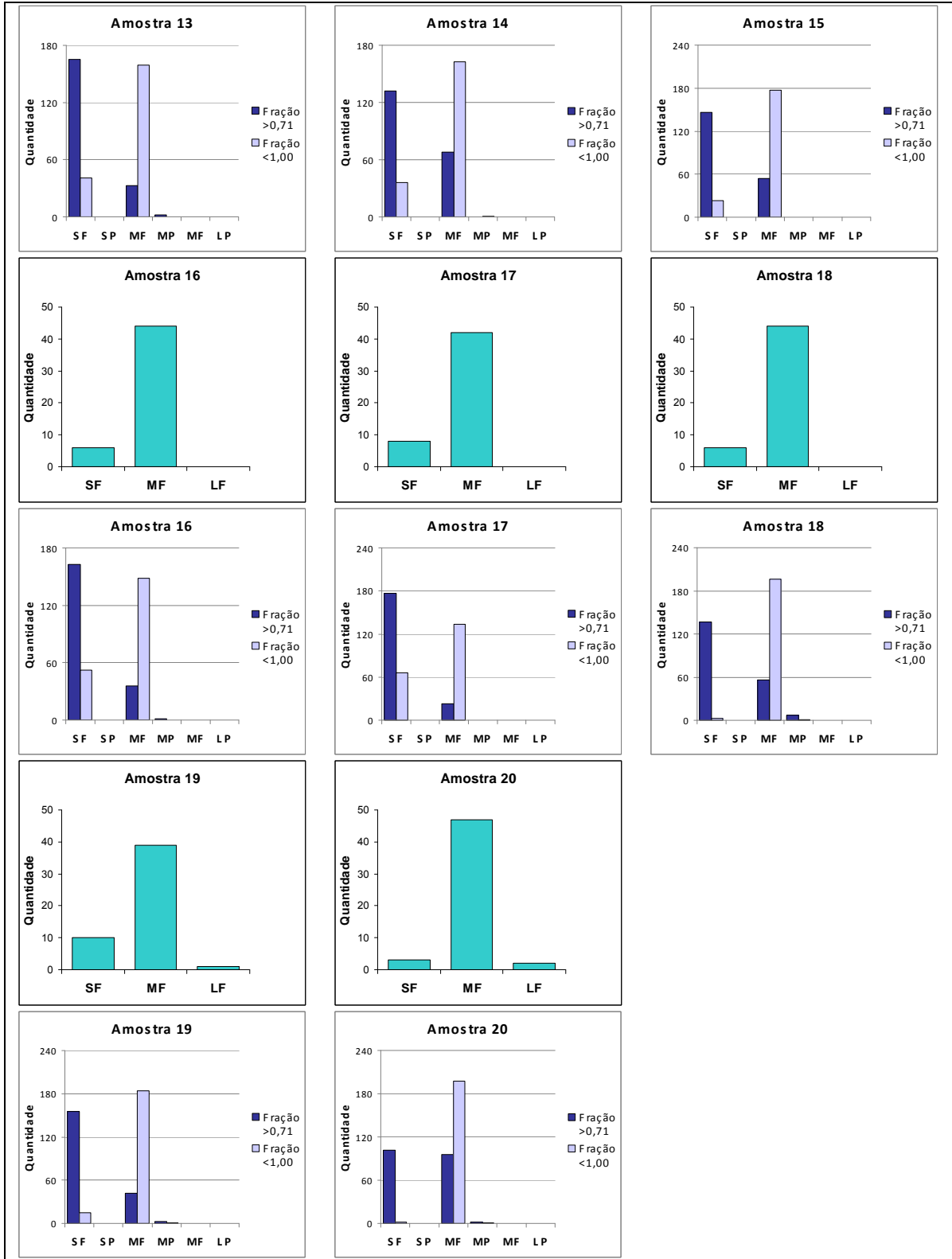


Figura A6 – Gráficos de textura superficial de sedimentos da geleira Wanda. Para representar a textura superficial foram usados os seguintes códigos: SF: sacaróide fosco, SP: sacaróide polido, MF: mamelonado fosco, MP: mamelonado polido, LF: liso fosco e LP: liso polido.

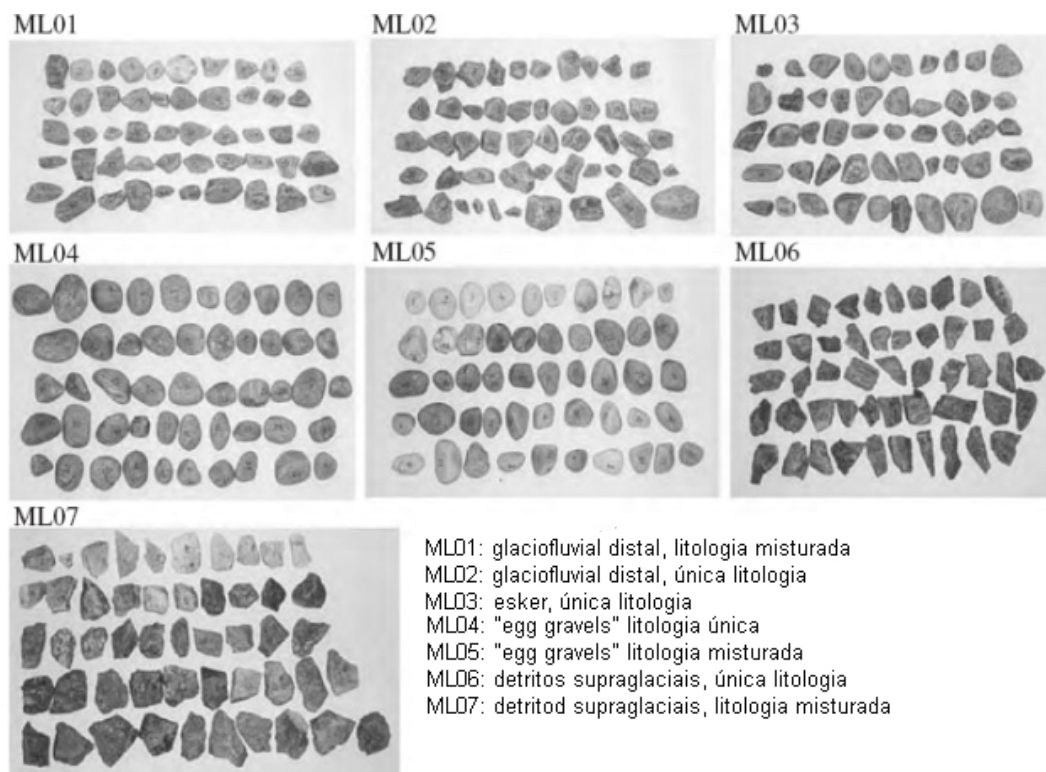






ANEXO E – CLASSIFICAÇÃO DO AMBIENTE DEPOSICIONAL

Figura A7 – Classificação do ambiente deposicional conforme Glasser (2005).



Arredondamento do clasto e seu relacionamento com o ambiente deposicional. As fotos mostram amostras de 50 clastos coletadas em campo da geleira Lovénbreen em Svalbard por N. F. Glasser.

ANEXO F – HISTOGRAMAS DE RANHURAS E SULCOS

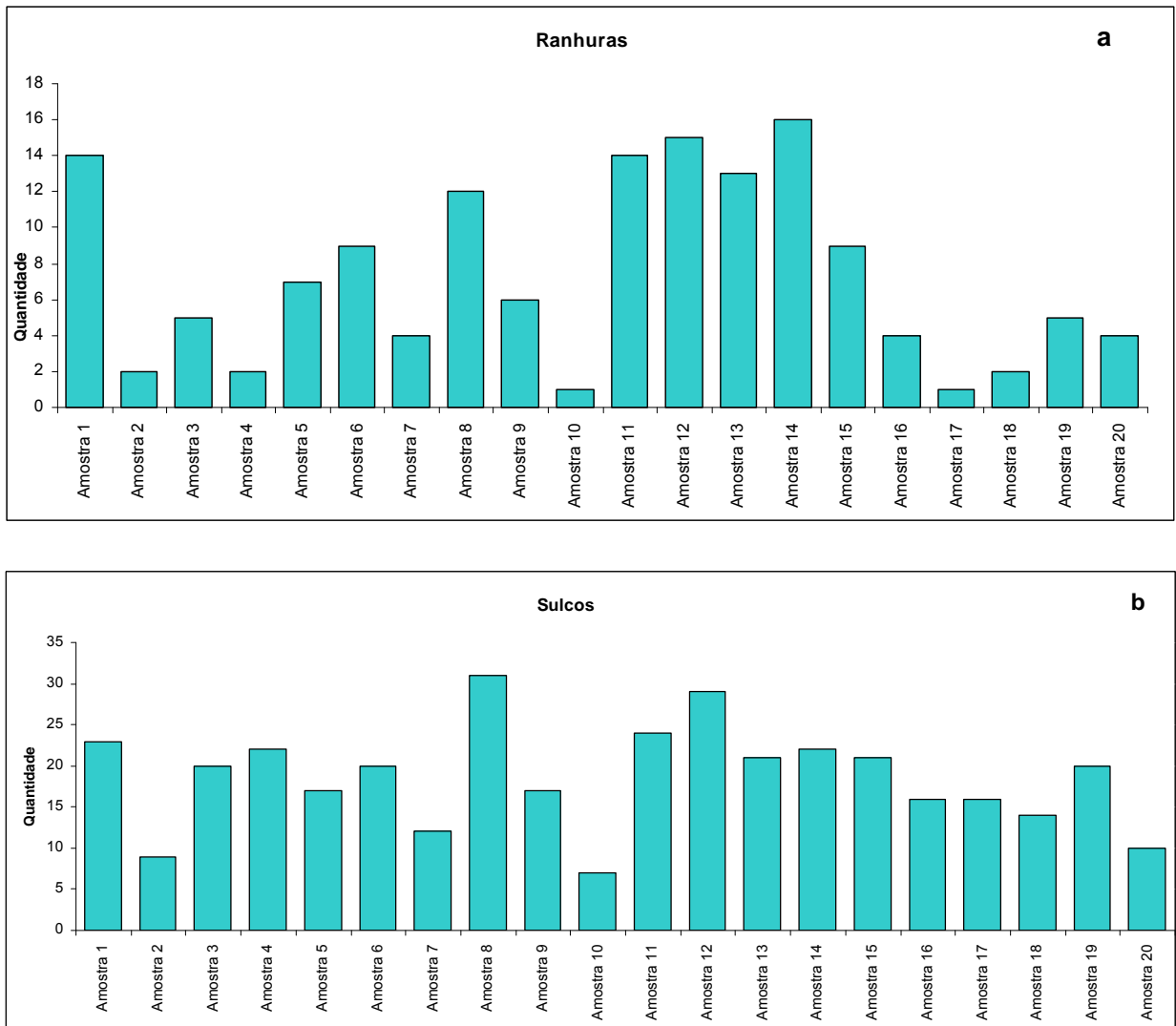


Figura A8 – Histograma de ranhuras (a) e sulcos (b) da geleira Ecology.

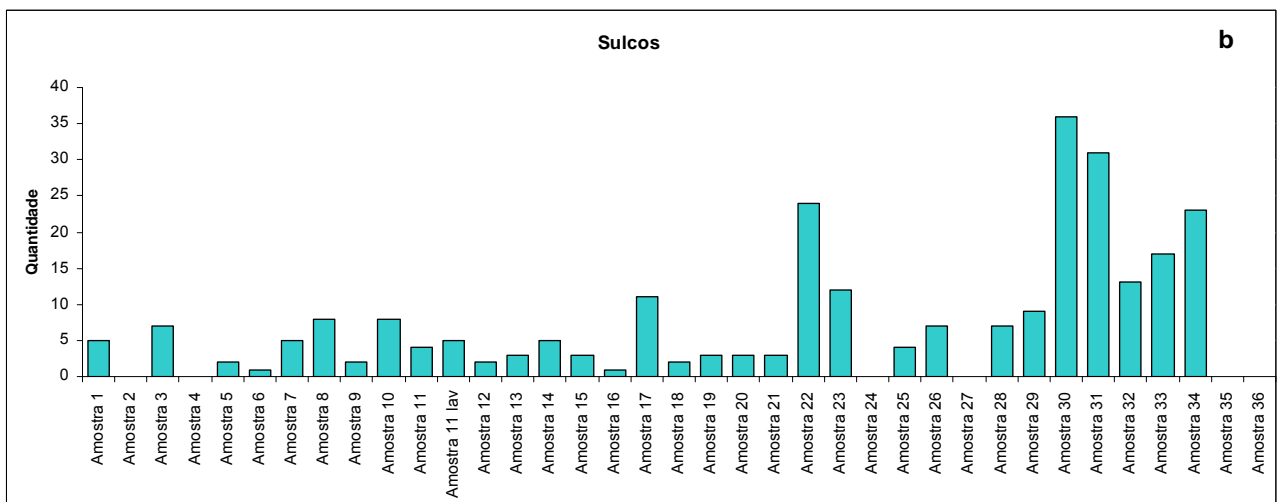
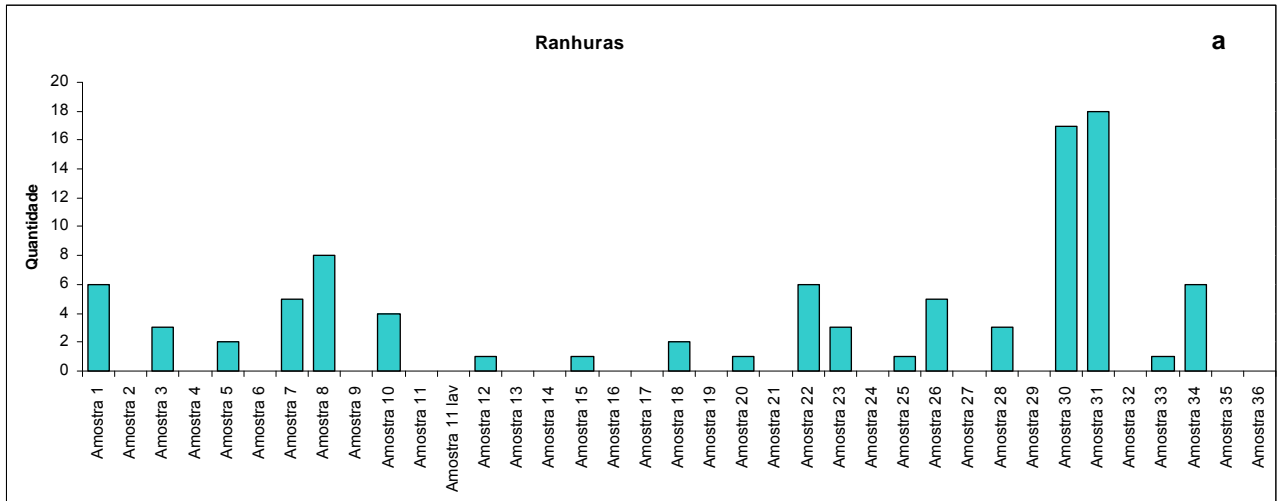


Figura A9 – Histograma de ranhuras (a) e sulcos (b) da geleira Wanda.

ANEXO G – COORDENADAS GEOGRÁFICAS DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM

Tabela G1 – Coordenadas geográficas dos pontos de amostragem na geleira Ecology.

Amostra	Código	Latitude	Longitude
1	RK07GE01	62°10'12.8"S	58°28'13.8"W
2	RK07GE02	62°10'03.1"S	58°29'08.0"W
3	RK07GE03	62°10'02.5"S	58°28'02.6"W
4	RK07GE04	62°09'59.6"S	58°28'00.6"W
5	RK07GE05	62°09'59.8"S	58°27'55.3"W
6	RK07GE06	62°10'01.5"S	58°27'53.4"W
7	RK07GE07	62°10'02.1"S	58°27'50.6"W
8	RK07GE08	62°10'04.4"S	58°27'53.2"W
9	RK07GE09	62°10'06.2"S	58°27'50.6"W
10	RK07GE10	62°10'06.4"S	58°27'49.5"W
11	RK07GE11	62°10'08.1"S	58°27'45.1"W
12	RK07GE12	62°10'01.8"S	58°27'49.5"W
13	RK07GE13	62°10'02.2"S	58°27'46.4"W
14	RK07GE14	62°10'02.9"S	58°27'46.9"W
15	RK07GE15	62°10'03.4"S	58°27'41.0"W
16	RK07GE16	62°10'04.3"S	58°27'39.4"W
17	RK07GE17	62°10'04.8"S	58°27'38.9"W
18	RK07GE18	62°10'02.0"S	58°27'40.4"W
19	RK07GE19	62°10'02.0"S	58°27'37.6"W
20	RK07GE20	62°10'01.9"S	58°27'35.9"W

Tabela G2 – Coordenadas geográficas dos pontos de amostragem na geleira Wanda.

Amostra	Código	Latitude	Longitude
01	RK07GW01	62°06'24.4''S	58°20'43.9''W
02	RK07GW02	62°06'38.85''S	58°21'08.7''W
03	RK07GW03	62°06'39.2''S	58°21'12.2''W
04	RK07GW04	62°06'47.8''S	58°21'35.5''W
05	RK07GW05	62°06'29.7''S	58°20'27.9''W
06	RK07GW06	62°06'28.2''S	58°20'23.7''W
07	RK07GW07	62°06'23.2''S	58°20'32.4''W
08	RK07GW08	62°06'24.0''S	58°20'33.3''W
09	RK07GW09	62°06'24.6''S	58°20'47.2''W
10	RK07GW10	62°06'22.9''S	58°20'50.3''W
11	RK07GW11	62°06'20.8''S	58°20'47.7''W
12	RK07GW12	62°06'13.9''S	58°20'47.1''W
13	RK07GW11	62°06'18.8''S	58°20'37.7''W
14	RK07GW14	62°06'19.5''S	58°20'55.8''W
15	RK07GW15	62°06'17.5''S	58°20'56.9''W
16	RK07GW16	62°06'16.7''S	58°06'16.7''W
17	RK07GW17	62°06'19.7''S	58°20'58.9''W
18	RK07GW18	62°06'20.4''S	58°21'00.0''W
19	RK07GW19	62°06'20.8''S	58°21'01.2''w
20	RK07GW20	62°06'20.9''S	58°21'03.7''W
21	RK07GW21	62°06'25.2''S	58°20'30.9''W
22	RK07GW22	62°06'34.1''S	58°21'15.3''W
23	RK07GW23	62°06'32.8''S	58°21'23.0''W
24	RK07GW24	62°06'33.5''S	58°21'26.0''W
25	RK07GW25	62°06'32.0''S	58°21'31.4''W
26	RK07GW26	62°06'36.1''S	58°21'35.5''W
27	RK07GW27	62°06'38.4''S	58°21'41.8''W
28	RK07GW28	62°06'22.5''S	58°20'05.5''W
29	RK07GW29	62°06'22.0''S	58°20'05.0''W
30	RK07GW30	62°06'13.3''S	58°21'02.9''W
31	RK07GW31	62°06'21.4''S	58°21'35.06''W
32	RK07GW32	62°06'21.0''S	58°21'32.1''W
33	RK07GW33	62°06'20.08''S	58°21'29.0''W
34	RK07GW34	62°06'20.5''S	58°21'27.1''W
35	RK07GW35	62°06'22.04''S	58°21'42.8''W
36	RK07GW36	62°06'28.4''S	58°20'32.2''W