

DAVI FEITAL GJORUP

**SOLOS E GEOAMBIENTES DA PORÇÃO NORTE DA
ILHA SEYMOUR (MARAMBIO), ANTÁRTICA**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Solos e Nutrição de
Plantas, para obtenção do título de
Magister Scientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2013

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e Classificação da
Biblioteca Central da UFV**

T

G539s
2013 Gjorup, Davi Feital, 1984-
 Solos e geoambientes da porção norte da ilha Seymour
(Marambio), Antártica / Davi Feital Gjorup. - Viçosa, MG, 2013.
 vi, 109f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Solos - Formação. 2. Solos - Classificação. 3. Solos - Análise. 4.
Antártida. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Solos.
Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. II. Título.

CDD 22. ed. 631.4

DAVI FEITAL GJORUP

**SOLOS E GEOAMBIENTES DA PORÇÃO NORTE DA
ILHA SEYMOUR (MARAMBIO), ANTÁRTICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Aprovada: 29 de julho de 2013.

Bruno Araujo Furtado de Mendonça

Elpídio Inácio Fernandes Filho

Felipe Nogueira Bello Simas
(Coorientador)

Carlos Ernesto G. R. Schaefer
(Orientador)

SUMÁRIO

RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	v
INTRODUÇÃO GERAL.....	01
CAPÍTULO 1.....	03
Geoambientes da porção norte da Ilha Seymour/Marambio, Antártica Peninsular.	
Resumo.....	04
1. Introdução.....	06
2. Materiais e Métodos.....	09
2.1. Caracterização geral da Ilha Seymour/Marambio	09
2.2. Coleta e descrição dos solos.....	15
2.3. Análises químicas e texturais dos solos.....	16
2.4. Identificação e Mapeamento dos Geoambientes.....	17
3. Resultados e Discussão.....	18
3.1. Descrição geral da paisagem.....	18
3.2. Unidades geoambientais.....	20
3.2.1. Superfície De Cimeira Residual da Meseta.....	29
3.2.2. Superfície Estrutural da Submeseta.....	31
3.2.3. Encostas Estruturais da Meseta.....	33
3.2.4. Encostas Estruturais Fortemente Dissecadas.....	35
3.2.5. Encostas Fortemente Ravinadas (Badlands).....	37
3.2.6. Colinas Estruturais Pouco Dissecadas.....	39
3.2.7. Encostas de Cuesta da Formação Sobral.....	42
3.2.8. Planícies Fluvio-Glaciais.....	44
3.2.9. Sopés de Encostas Suavizados.....	46
3.2.10. Terraços Marinhos.....	48
3.2.11. Leques Aluviais.....	51
3.2.12. Planície de Maré com Criogenic Mounds.....	52
3.2.13. Praias.....	54
4. Conclusões.....	55
5. Referências Bibliográficas.....	57
CAPÍTULO 2.....	62
Gênese e classificação dos solos em uma topossequência da porção norte da Ilha Seymour/Marambio, Antártica Peninsular.	
Resumo.....	63
1. Introdução.....	65
2. Materiais e Métodos.....	67
2.1. Caracterização geral da Ilha Seymour/Marambio.....	67
2.2. Coleta e descrição dos solos.....	70
2.3. Análises químicas e texturais dos solos.....	72
2.4. Análises mineralógicas.....	73
3. Resultados e Discussão.....	74
3.1. Caracterização e classificação dos solos.....	74
3.2. Propriedades morfológicas e físicas dos solos.....	79
3.3. Características Químicas dos solos.....	85
3.4. Mineralogia dos solos.....	92
4. Conclusões.....	100
5. Referências Bibliográficas.....	102
CONCLUSÕES GERAIS.....	108
Glossário Sucinto de Termos.....	109

RESUMO

GJORUP, Davi Feital, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2013. **Solos e geoambientes da porção norte da ilha Seymour (Marambio), Antártica.** Orientador: Carlos Ernesto G. R. Schaefer. Coorientador: Felipe Nogueira B. Simas.

A Ilha Seymour/Marambio (ISM) se localiza no norte do Mar de Weddell, na região da Península Antártica, em uma transição climática entre os domínios da Antártica Marítima e da Antártica Continental, apresentando um clima pseudo-continental ou subpolar semiárido. A ISM é predominantemente composta por rochas sedimentares originadas entre o Cretáceo e o Terciário. Os objetivos deste trabalho foram identificar, mapear e caracterizar as unidades geoambientais que compõem a paisagem da porção norte da Ilha Seymour/Marambio, Antártica Peninsular; e estudar os atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos dos solos ao longo de uma topossequência, e discutir os processos e fatores envolvidos na sua pedogênese. A estratificação geoambiental foi feita com base nos atributos pedo-lito-geomorfológicos da paisagem tratados de forma integrada, onde foram agrupados sob uma mesma denominação setores com características similares em relação aos atributos de interesse. Para o estudo dos solos foram descritos e coletados nove perfis ao longo de uma topossequência abrangendo diferentes materiais de origem e geoformas. As amostras foram submetidas a fracionamento textural, análises químicas de rotina, extrações químicas com Oxalato de Amônio e Ditionito-Citrato-Bicarbonato, e difração de Raios-X. A aplicação da metodologia de estratificação permitiu a identificação de 13 unidades geoambientais, representativas de ambientes periglaciais situados na zona de transição climática. Nota-se forte controle da geologia sobre a distribuição dos ambientes, influenciando o estabelecimento do relevo e os atributos dos solos. Constatou-se presença generalizada de permafrost ao longo da área de estudo, em geral nos primeiros 100 cm de profundidade, determinando uma predominância de solos das ordens Gelisols (Soil Taxonomy) e Cryosols (WRB). Outras feições comuns em solos afetados por congelamento, relacionadas com a crioturbação e acumulação de matéria orgânica, não foram observadas. A análise dos atributos dos solos permitiu identificar dois grupos de solos: os Sulfatados Ácidos e os Não Sulfatados Alcalinos. Os solos sulfatados ácidos são os mais desenvolvidos da área de estudo, evidenciando significativa alteração morfológica, física e mineralógica. As características destes solos apontam para baixo pH, alta saturação por alumínio, alta acidez potencial. A acidez favorece o intemperismo de silicatos primários, que não são observados na fração argila. Os principais minerais secundários são relacionados com

a oxidação dos sulfetos, podendo ser listados sulfatos solúveis, sulfatos insolúveis, hidróxidos de ferro mal cristalizados e óxidos de ferro cristalinos. O peculiar desenvolvimento de cor amarelada nos solos sulfatados ácidos é creditado à presença de óxidos e sulfatos de ferro. A presença de minerais silicatados do tipo 2:1 (esmectita e illita) na fração argila destes solos é atribuída ao pedoambiente ácido (favorável ao intemperismo dos silicatos primários) e com baixa lixiviação. Os solos Não Sulfatados Alcalinos não apresentam sinais de transformações expressivas. Os dados químicos apontam para altos valores de pH, alumínio trocável nulo e baixa acidez potencial. A transformação mais importante na gênese destes solos é o intemperismo físico na forma de crioclastia e haloclastia. Nota-se a presença de minerais primários facilmente intemperizáveis na fração argila, confirmando o baixo grau de transformações químicas. A geoforma é determinante para a disponibilidade de bases nestes solos, na medida em que favorece ou dificulta a lixiviação. Conclui-se que os principais processos atuantes na gênese dos solos da área de estudo são a sulfurização e o halomorfismo.

ABSTRACT

GJORUP, Davi Feital, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2013. **Soils and Geoenvironments of the northern part of Seymour (Marambio) island, Antarctica.** Adviser: Carlos Ernesto G. R. Schaefer. Co-adviser: Felipe Nogueira B. Simas.

The Seymour/Marambio island (ISM) is located in the northern sector of the Weddell Sea, at the Antarctic Peninsular area, representing a transitional zone between Maritime and Continental Antarctica, with a subpolar, semiarid climate. The ISM is predominantly composed by marine sedimentary rocks of Cretaceous to Eocene age. The aims of this work were: identifying, mapping and characterization of the geoenvironmental units at the northern part of ISM landscape, as well as studying chemical, physical, mineralogical and morphological attributes, across a selected, representative toposequence. Also, pedogenetic processes and factors were discussed. The geoenvironmental stratification was based on pedo-lito-geomorphological attributes, in an integrated landscape approach, in which sectors with similar attributes were grouped together. For the soil study, nine profiles were described, collected and analysed, following a toposequence according to different parent materials and landforms. Samples were subjected to textural analysis, routine chemical analysis, chemical extractions by ammonium oxalate and CBD, as well as X ray diffraction. Thirteen geoenvironments were identified, representing periglacial environments at this transitional climatic zone. The geology exerts a control on the geoenvironments, with great influence on landforms and soils. Permafrost is continuous and widespread, generally at depths of less than 100 cm, so the Gelisols order (Soil Taxonomy), or Cryosols (WRB), are the dominant soils. Cryoturbation and organic matter accumulation were not observed. Soils were separated into two groups: acid-sulphate soils and alkaline soils, unaffected by sulphates. The first are the best developed in the study area, meaning a significant physico-chemical and mineralogical alteration. Low pH and high Al saturation and potential acidity are typical. This accounts for primary mineral dissolution, and its absence in the clay fraction. Secondary minerals are those related to sulphide oxidation: soluble and insoluble sulphates, low crystalline Fe-hydroxides and little crystalline Fe phases. The peculiar yellowish colour of these soils are attributed to the presence of Fe-oxides and Jarosite. The presence of 2:1 clays (smectite and illite) in the Clay fraction despite the acidity is due to low leaching. The alkaline soils, non affected by sulphates do not showed any marked weathering or transformation, with high pH, low potential acidity and zero Al saturation. The main process is cryoclastic and haloclastic weathering. Primary minerals are present even in

the clay fraction, corroborating its low weathering degree and chemical alteration. The landform is determinant for the chemical status of these soils, by favoring or reducing leaching. Sulphurization and halomorphism are the dominant soil-forming processes in Seymour-Marambio island.

INTRODUÇÃO GERAL

A Antártica representa um campo promissor para pesquisas a respeito de solos e ecossistemas terrestres de altas latitudes. A relativa escassez de estudos, aliadas às peculiaridades inerentes aos ambientes Antárticos, configuram esta região como uma fronteira do conhecimento sem paralelo no globo. Os esforços para ampliar o conhecimento sobre estes ecossistemas são relativamente recentes, e têm se intensificado nas últimas décadas (VIEIRA et al, 2010).

O interesse científico acerca dos solos Antárticos se justifica pelas condições únicas de formação a que estão sujeitos (SIMAS, 2006). Apesar de os solos se distribuírem em uma porção muito pequena da Antártica, ao longo de áreas livres de gelo dispersas, ainda existem lacunas no conhecimento pedológico do continente. As pesquisas pedológicas se concentraram historicamente em regiões específicas, como os vales secos continentais e as ilhas da Antártica Marítima, e os dados apontam para a grande variabilidade de condições pedogenéticas existente no continente.

A grande variabilidade pedológica observada se associa à variação de diferentes fatores, onde o clima se destaca. O clima é um importante fator de formação dos solos em qualquer ambiente, mas na Antártica ele é determinante no estabelecimento das condições pedogenéticas, se observando clara relação entre o clima e os atributos dos solos (CAMPBELL e CLARIDGE, 1987). As regiões mais estudadas do ponto de vista pedológico representam áreas de climas bastante diferenciados, das condições relativamente menos geladas e mais úmidas da Antártica Marítima às extremamente frias e secas da Antártica Continental. Nas áreas de clima transicional, ainda são escassos estudos a respeito da formação dos solos.

O presente trabalho pretende contribuir para o avanço no conhecimento acerca de solos e ecossistemas terrestres em ambientes periglaciais localizados na área de clima transicional no setor oriental da Península Antártica. A área selecionada para o estudo – porção norte da Ilha Seymour/Marambio – constitui uma importante área livre de gelo neste setor climático transicional, sendo representativa dos ambientes periglaciais inseridos nestas condições.

A paisagem da porção norte da Ilha Seymour/Marambio foi estratificada, com base numa análise integrada dos fatores pedo-lito-geomorfológicos, com o objetivo de identificar, mapear e caracterizar as unidades geoambientais que compõem a paisagem neste setor. Esta parte do estudo permitiu caracterizar os ambientes que compõem a paisagem, analisar as dinâmicas a que estes ambientes estão sujeitos,

além de apresentar a distribuição espacial de cada unidade. O inventário de informações ambientais produzido nesta etapa do estudo é representativo de condições ambientais mais amplas das áreas livres de gelo na área de transição climática.

Os solos da porção norte da Ilha Seymour/Marambio foram estudados a partir de uma topossequência abrangente, que vai do ponto culminante da Ilha até cotas próximas ao nível do mar, com o intuito de estudar as propriedades morfológica, químicas, físicas e mineralógicas dos solos; discutir os fatores e processos envolvidos na sua gênese; e classificar estes solos de acordo com os sistemas de classificação Soil Taxonomy e WRB/FAO. O estudo dos solos permitiu identificar os grupos de solos mais expressivos da área de estudo, e discutir os principais processos envolvidos na sua formação.

Capítulo 1

GEOAMBIENTES DA PORÇÃO NORTE DA ILHA SEYMOUR/MARAMBIO, ANTÁRTICA PENINSULAR.

RESUMO

GJORUP, Davi Feital, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2013. **Geoambientes da porção norte da Ilha Seymour/Marambio, Antártica Peninsular.** Orientador: Carlos Ernesto G. R. Schaefer. Coorientador: Felipe Nogueira B. Simas. Cap. 1 (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

A Ilha Seymour/Marambio (ISM) se localiza no norte do Mar de Weddell, a aproximadamente 100 km do extremo norte da Península Antártica. Ela se insere em uma transição climática entre os domínios da Antártica Marítima e da Antártica Continental, apresentando um clima pseudo-continental ou subpolar semiárido. A área selecionada para este estudo se situa no extremo norte da ISM, abrangendo uma área de 17,5 km². A ISM é predominantemente composta por rochas sedimentares originadas entre o Cretáceo e o Terciário. Na área de estudo, as litologias mais importantes pertencem à formação Sobral (Paleoceno), à formação La Meseta (Eoceno) (de expressiva distribuição na área de estudo, e marcada por uma grande variabilidade de litologias), além de depósitos de origem glacial da Formação Weddell Sea (Plio-Pleistocênicos) ocupando o topo da paisagem. Também são importantes depósitos recentes (Holoceno) dispersos pela área de estudo. O objetivo deste capítulo foi identificar, mapear e caracterizar as unidades geoambientais que compõem a paisagem da porção norte da Ilha Seymour/Marambio, com vistas a ampliar o conhecimento acerca dos ecossistemas terrestres periglaciais inseridos na transição climática entre a Antártica Marítima e a Antártica Continental e gerar subsídios ao gerenciamento ambiental desta área. Para realizar a estratificação geoambiental da área de estudo, recorreu-se a uma metodologia pedogeomorfológica. As unidades foram identificadas, mapeadas e caracterizadas segundo seus atributos pedo-lito-geomorfológicos, tratados de forma integrada. Desta forma, foram agrupados sob uma mesma denominação setores com características similares em relação aos atributos de interesse. Foram descritos e amostrados 23 perfis de solo, possibilitando uma caracterização pedológica dos ambientes, e representando toda a variabilidade litológica e geomorfológica da área de estudo. Os solos foram classificados de acordo com o sistema norte-americano de classificação dos solos (Soil Taxonomy) e com a base internacional de classificação dos solos (WRB/FAO). Amostras de todos os horizontes pedogenéticos foram coletadas e caracterizadas através de análises físicas e químicas de rotina. A aplicação da metodologia utilizada permitiu a identificação de 13 unidades geoambientais na porção norte da ISM, se destacando a Superfície de Cimeira Residual da Meseta, as Encostas Estruturais da Meseta, as Colinas Estruturais Pouco Dissecadas, as Encostas de Cuesta da Formação Sobral, as

Planícies Fluvio-Glaciais, os Terraços Marinhos e os Leques Aluviais. A área de estudo mostrou grande variabilidade de ambientes, representativos de ambientes periglaciais situados em área de transição climática entre a Antártica Marítima e a Antártica Continental. Nota-se forte controle da geologia sobre a distribuição dos ambientes. O relevo apresenta caráter estrutural, e os atributos dos solos são muito influenciados pela natureza do material de origem. A presença ou ausência de sulfetos nos materiais originais é decisiva na determinação dos atributos dos solos. A geoforma influencia principalmente na composição de bases e sais, favorecendo ora a retirada ora a concentração de elementos solúveis.

1. Introdução

A Antártica é o quinto maior continente da terra, com uma área aproximada de 14 milhões de quilômetros quadrados. O continente é quase completamente coberto por gelo, que representa 90% do volume de gelo do planeta, influenciando no clima de todo o globo (CAMPBELL & CLARIDGE, 1987). Para Bokheim & Hall (2002), a Antártica age como um dissipador de calor, e exerce uma forte influência nos sistemas atmosférico e criosférico da terra.

Bokheim & Hall (2002) destacam que a Antártica é o continente com a maior altitude média (cerca de 3.000 m), e que experimenta a menor temperatura média do ar (cerca de -40°C). Beyer et al (1999) afirmam que a região polar sul é a que apresenta o clima mais frio da terra, devido a uma conjunção de altas latitudes e altitudes, associadas a uma baixa recepção de energia solar. Campbell & Claridge (1987) citam que as regiões polares recebem cerca de 15 % da radiação solar anual recebida no equador. Estes autores apontam as temperaturas muito baixas e a aridez como características peculiares do clima na Antártica. No continente são observadas as mais baixas temperaturas do planeta, e devido à frequência de temperaturas negativas, a precipitação de água líquida é bastante rara. Assim, na Antártica se observa uma aridez severa, com baixa disponibilidade de água líquida para a operação de processos biológicos, geomórficos e pedogenéticos.

No entanto, observa-se notável variabilidade de ecossistemas na Antártica, variando de áreas permanentemente cobertas por cobertura glacial até áreas livres de gelo (periglaciais), com desenvolvimento de solo e colonização vegetal. Nos ambientes periglaciais a ação do congelamento tem grande importância na evolução da paisagem, devendo ser considerados dois critérios: ciclos de congelamento-descongelamento do solo e presença de permafrost (FRENCH, 2007). A maioria das ilhas antárticas e subantárticas que apresentam paisagens livres de gelo se inserem no contexto periglacial (HALL, 2002).

Bokheim & Hall (2002) propõem uma divisão dos ambientes livres de gelo da Antártica em três regiões eco-climáticas: (1) a Península Antártica e suas ilhas (localizadas a uma latitude de cerca de $61-72^{\circ}\text{S}$), (2) a Antártica Marítima de Leste (cerca de $66-71^{\circ}\text{S}$) e (3) as Montanhas Transantárticas (cerca de $72-87^{\circ}\text{S}$). Estas regiões ou sub-regiões diferem não apenas no clima, mas também na vegetação, solo, características do permafrost e processos periglaciais.

A maior parte dos estudos na Antártica foi realizada na Antártica continental. Os ambientes ocorrentes nesta região são predominantemente caracterizados como desertos gelados, com prevalência de temperaturas negativas ao longo de todo o ano, restringindo a existência de água líquida. A precipitação observada nestes ambientes é muito baixa, limitando ainda mais a participação da água nestes sistemas. Nestas condições, a atividade biológica é desfavorecida, com colonização biótica muito restrita.

Os estudos brasileiros na Antártica, por sua vez, têm se concentrado historicamente na região da Antártica Marítima (SIMAS, 2006; MICHEL, 2005; ALBUQUERQUE FILHO, 2005; FRANCELINO et al, 2011; SCHAEFER et al, 2008). No contexto do continente Antártico como um todo, esta região é caracterizada por maiores temperaturas, precipitações mais abundantes e maior participação da água líquida nos processos pedogenéticos e morfogenéticos. Esta é, ainda, a região onde a atividade biológica é mais favorecida em toda a Antártica.

Entre os dois extremos climáticos polares ocorre uma área de transição climática na Antártica Peninsular, onde os estudos ecológicos e pedológicos ainda são incipientes. De acordo com Campbell & Claridge (1987), o clima na Península Antártica é um pouco mais quente e úmido que no restante da Antártica, devido a uma maior atuação de ciclones oceânicos. Entretanto, segundo estes autores, na costa leste da península (onde se situa a Ilha Seymour/Marambio), o clima é cerca de 4-6 °C mais frio que na costa oeste, e similar ao setor oriental do litoral do continente. Segundo Bokheim & Hall (2002), a Península Antártica e suas ilhas compreendem cerca de 14% das áreas livres de gelo da antártica, com 8.000 km², onde se destaca a Ilha Seymour, a única totalmente desprovida de geleiras. Em função da escassez de estudos na área de transição climática, pouco se sabe a respeito dos ecossistemas terrestres nesta parte da Antártica. A Ilha Seymour/Marambio representa importante área livre de gelo inserida na transição climática, e portanto apresenta grande potencial para estudos que se proponham a investigar ecossistemas periglaciais localizados na área de clima transicional.

Além disso, a Ilha Seymour/Marambio não se enquadra em nenhuma categoria de área protegida, como Área Antártica Especialmente Protegida, ou Área Antártica Especialmente Gerenciada, como previsto no Anexo V do Protocolo ao Tratado da Antártica sobre Proteção ao Meio Ambiente (SECIRM, 2001). Entende-se que estudos a respeito dos ecossistemas terrestres na Ilha sejam de fundamental importância para se avaliar a importância da sua inclusão na rede de áreas protegidas na Antártica.

Para a definição de estratégias de gestão ambiental, entre elas a elaboração dos Planos de Gerenciamento das Áreas Antárticas Especialmente Protegidas ou Gerenciadas, é necessário o conhecimento dos fatores que compõem a paisagem. Os estudos que visem compreender o funcionamento da paisagem devem tratar os fatores de forma integrada, estabelecendo sua importância e as interações entre eles.

Desta forma, faz-se necessária a elaboração de estudos que permitam inventariar o maior número de informações a respeito dos ecossistemas terrestres periglaciais na Ilha Seymour/Marambio. A metodologia de estratificação ambiental permite a identificação, mapeamento e caracterização dos fatores considerados de interesse no estudo destes ecossistemas. Através de estudos desta natureza, é possível estudar de forma rápida e com bom nível de detalhamento os principais fatores que definem a paisagem da Ilha, além de estabelecer as relações entre estes fatores. O uso de ferramentas de análise espacial, em conjunto com dados de campo e levantamento de dados secundários, tem grande importância nestes estudos.

Assim, o objetivo deste capítulo foi identificar, mapear e caracterizar as unidades geoambientais que compõem a paisagem da porção norte da Ilha Seymour/Marambio, com vistas a ampliar o conhecimento acerca dos ecossistemas terrestres periglaciais inseridos na transição climática entre a Antártica Marítima e a Antártica Continental e gerar subsídios ao gerenciamento ambiental desta área.

2. Materiais e Métodos

2.1. Caracterização geral da Ilha Seymour/Marambio

A Ilha Seymour/Marambio (ISM) é parte do grupo de Ilhas James Ross, e se localiza no norte do Mar de Weddell, a aproximadamente 100 km do extremo norte da Península Antártica (NOZAL et al, 2007). Se distribuindo ao redor das coordenadas 64°17' S e 56°46' W, a Ilha mede aproximadamente 18,5 km no sentido NE-SW por 8,3 km em sua maior largura. A área selecionada para este estudo se situa no extremo norte da ISM, abrangendo uma área de 17,5 km² (1750 ha) (Figura 1).



Figura 1 - Localização da ISM e da área de estudo.

A Ilha Seymour/Marambio (ISM) se insere em uma transição entre os domínios climáticos da Antártica Marítima e da Antártica Continental. Boiaski et al (2006) observam que na ISM as temperaturas mínimas são observadas em junho-julho, enquanto as máximas ocorrem em dezembro-janeiro, com uma temperatura média anual de -8,3 °C, valor menor que na antártica marítima (onde se observam valores entre -3,6 e -1,7 °C. Boiaski et al (2006) caracterizam o clima na ISM como “pseudo-continental”, com direção predominante do vento sudoeste. Este comportamento pode ser explicado, segundo os autores, pelo ar frio que escoar do continente acompanhando a configuração topográfica da península antártica, e pela cobertura de

gelo sobre o Mar de Weddell que se estabelece ao longo da maior parte do ano (BOIASKI et al, 2006).

Gutiérrez, Nozal & Montes (2011) afirmam que as precipitações na ISM não superam os 250 mm anuais, dos quais no máximo 20 % são em forma líquida. Conforme a classificação destes autores (baseada em REYNOLDS, 1981), o clima na ISM é denominado subpolar semiárido.

De acordo com Sadler (1988) a ISM é majoritariamente composta por rochas sedimentares originadas entre o Cretáceo e o Terciário. Também são observados diques de basalto pliocênicos encaixados entre os sedimentos na porção sudeste da ilha. Além disso, depósitos superficiais quaternários de diferentes naturezas são observados (SADLER,1988).

Os sedimentos mais antigos (Cretáceos), da formação López de Bertodano, ocorrem em uma ampla área ao sul da ilha, fora da área de estudo. A formação Sobral (Paleoceno) ocorre no norte e sudeste da ISM. Dentro da área de estudo, esta formação representa um maciço cuestiforme no extremo norte. Algumas litologias da Formação Sobral são marcadas pela presença de arenitos glauconíticos (SADLER,1988). A Formação Cross Valley, também do Paleoceno, ocorre no centro da ilha e em uma área muito restrita a nordeste da área estudada, não se observando desenvolvimento de solos sobre suas litologias na área selecionada para este estudo. A formação La Meseta (Eoceno) ocorre no norte da ISM, sendo de expressiva distribuição na área de estudo (Figura 2). Esta formação é marcada por uma grande variabilidade de litologias, que abrangem argilitos, siltitos e arenitos, com abundantes estratos fossilíferos (SADLER,1988). Ela apresenta uma estrutura monoclinal, mergulhando suavemente a sudeste (SADLER, 1988). Segundo Campbell & Claridge (1987), na Ilha Seymour conglomerados estuarinos e de água doce contém fósseis do Oligoceno ao Mioceno recente.

Um depósito de origem glacial (denominado Formação Weddell Sea) ocupa o topo da paisagem, estratigraficamente sobre a formação La Meseta. A Formação Weddell Sea é formada por um lençol de Till terrestre de aproximadamente 4 m de espessura, contendo abundantes erráticos e fósseis retrabalhados em uma matriz de argila siltosa, apresentando uma origem pós-Pleistoceno superior (GAZDZICKI et al, 2004).

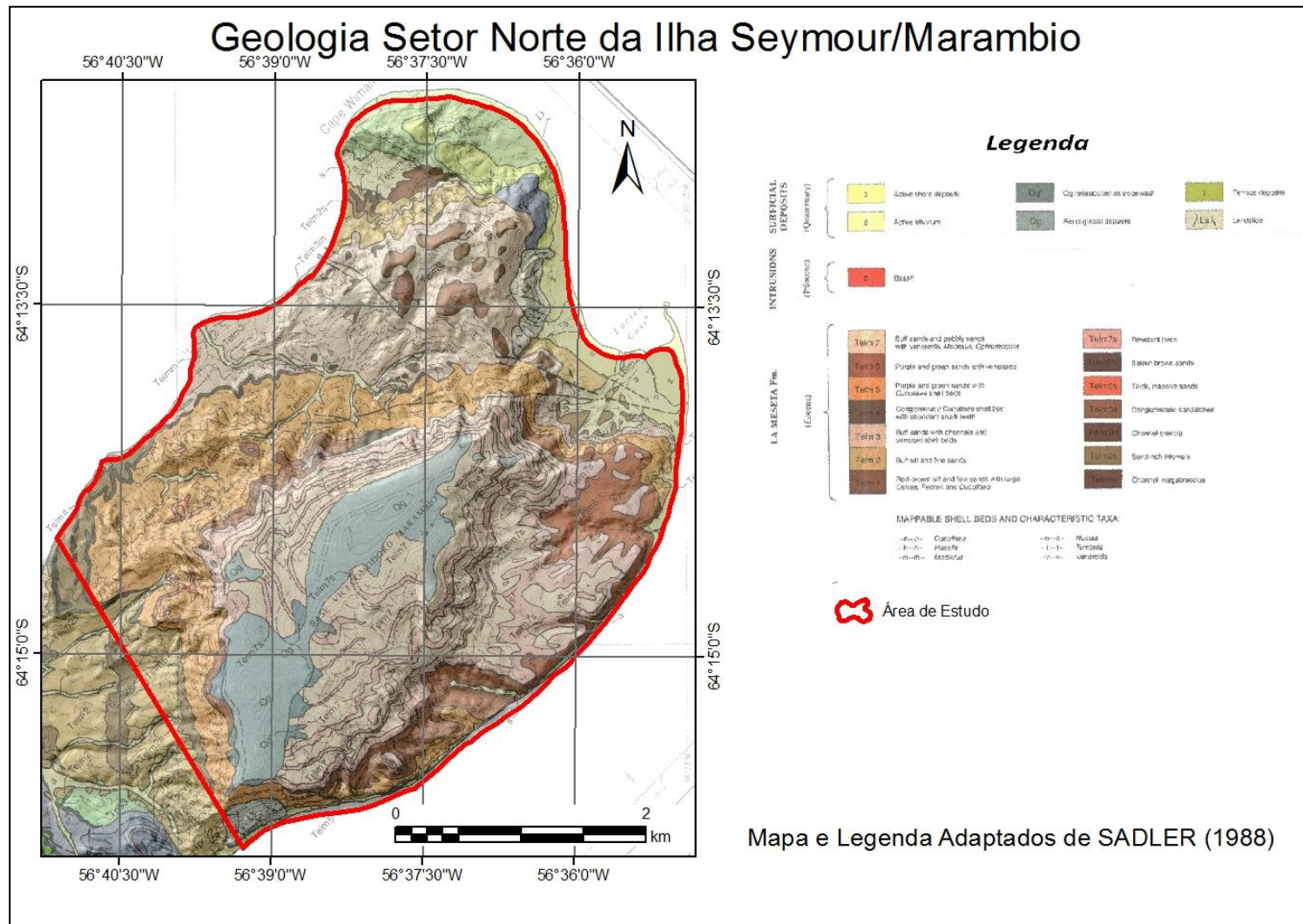


Figura 2 - Mapa Geológico da Área de Estudo.

Além das unidades listadas, ocorrem também na área de estudo depósitos superficiais quaternários de diferentes naturezas, podendo ser citados depósitos marinhos e fluvioglaciais holocênicos que ocupam áreas rebaixadas dispersas pela área de estudo.

A ação periglacial na ISM é controversa. Para alguns autores, a ISM experimenta processos típicos de ambiente periglacial, com alternância de congelamento e descongelamento da água, além da presença generalizada de permafrost e de feições geomorfológicas criogênicas (OMOTO, 1994). Gutiérrez, Nozal & Montes (2011) situam a ISM na zona de permafrost contínuo e perene, concluindo que do ponto de vista morfodinâmico a ilha está inserida no domínio periglacial. A ausência de cobertura glacial e de geleiras sobre a ISM (um dos traços morfológicos distintivos da Ilha) não seria um impeditivo para esta situação. Omoto (1994) lista uma série de feições geomorfológicas periglaciais nas colinas ao redor da meseta.

Por outro lado, Souza (2011) afirma que a erosão tipicamente periglacial é limitada na ISM, em função do seu contexto climático, restringindo-se ao entalhe promovido pelo derretimento de neve. Embora a Ilha apresente formas erosivas bastante evoluídas, estas seriam devidas mais à erodibilidade natural do substrato e a outros agentes, do que aos agentes periglaciais clássicos.

De acordo com Souza (2011), o vento é um fator de fundamental importância no desencadeamento de intemperismo e evolução da paisagem na ISM. O vento participaria no transporte, seleção, arredondamento e redistribuição de diversos materiais. Além disso, segundo a autora, o vento estaria atuando como um fator limitante para o estabelecimento de vegetação na Ilha. Gutiérrez, Nozal & Montes (2011) também afirmam que a ação do vento é evidente na ISM, observando-se pequenas acumulações névo-eólicas e pavimentos (em alguns casos com ventifactos). Além disso, os mesmos autores mencionam que deve-se levar em conta que o volume total de material erodido por deflação, e perdido para o mar, é alto. Omoto (1994) afirma que na Ilha o efeito erosivo do vento e da neve é evidente.

Segundo Gutiérrez, Nozal & Montes (2011), durante o inverno o solo da ISM fica coberto de neve e congelado até a superfície. No verão, entretanto, se observa a fusão da camada mais superficial, constituindo a camada ativa. Geralmente o degelo começa em novembro, se prolongando até o final de fevereiro. A espessura da camada ativa é muito variável, tendo-se valores medidos entre 0,3 e 2,1 m

(GUTIÉRREZ, NOZAL & MONTES, 2011). O escoamento superficial de água está relacionado com o derretimento da camada ativa, embora em algumas situações este fluxo possa se originar pela fusão de nichos de nivação.

Omoto (1994) afirma que a Ilha Seymour pode ser dividida em duas unidades geomorfológicas: um platô proeminente denominado “Meseta”, e encostas montanhosas ou colinosas intensamente erodidas por ravinas formadas por canais de degelo.

Nozal et al (2007) examinaram a ISM do ponto de vista geomorfológico, mapeando e descrevendo de forma sintética os grandes conjuntos de relevo da ilha. Os autores listam sete unidades de relevo na ISM, das quais seis ocorrem na área selecionada para estudo (Figura 3). A superfície culminante da Meseta tem caráter residual, e a partir dela se desenvolveram as outras unidades. Planos subestruturais são observados nas encostas da Meseta, e foram formados por degradação da superfície superior, em níveis mais competentes da litologia. Uma grande área é denominada vertentes da Meseta e relevos estruturais, onde dominam as formas estruturais alternadas com depósitos fluviais. Próximo à costa se observam os arrasamentos marinhos antigos e depósitos costeiros atuais. No extremo norte da área de estudo observa-se o que os autores denominaram de relevos em cuestras, ressaltos e diques sobre as formações López de Bertodano e Sobral. A leste ocorre o piemonte e planos estruturais da submeseta, mais ou menos dissecados, ligeiramente inclinados em direção à costa. Não obstante o predomínio das formas de erosão, na área de estudo se observam também formas de acumulação, como planícies fluviais e marinhas.

Gutiérrez, Nozal & Montes (2011) apontam que a superfície culminante da ilha aparece recoberta pelos depósitos de origem glacial da Formação Weddell Sea, indicando uma ascensão isostática posterior ao derretimento da cobertura glacial. O relevo atual do resto da ilha tem se desenvolvido a partir da superfície da Meseta, que atualmente apresenta um caráter residual. Assim, a morfologia atual é um resultado da atuação de processos erosivos quaternários, como morfogênese fluvial e marinha, num contexto periglacial. A morfogênese fluvial seria o principal agente modelador na ISM, se desenvolvendo em toda a ilha. Junto a esta morfogênese atua também o sistema nival-periglacial, o principal gerador de gelificação das rochas.

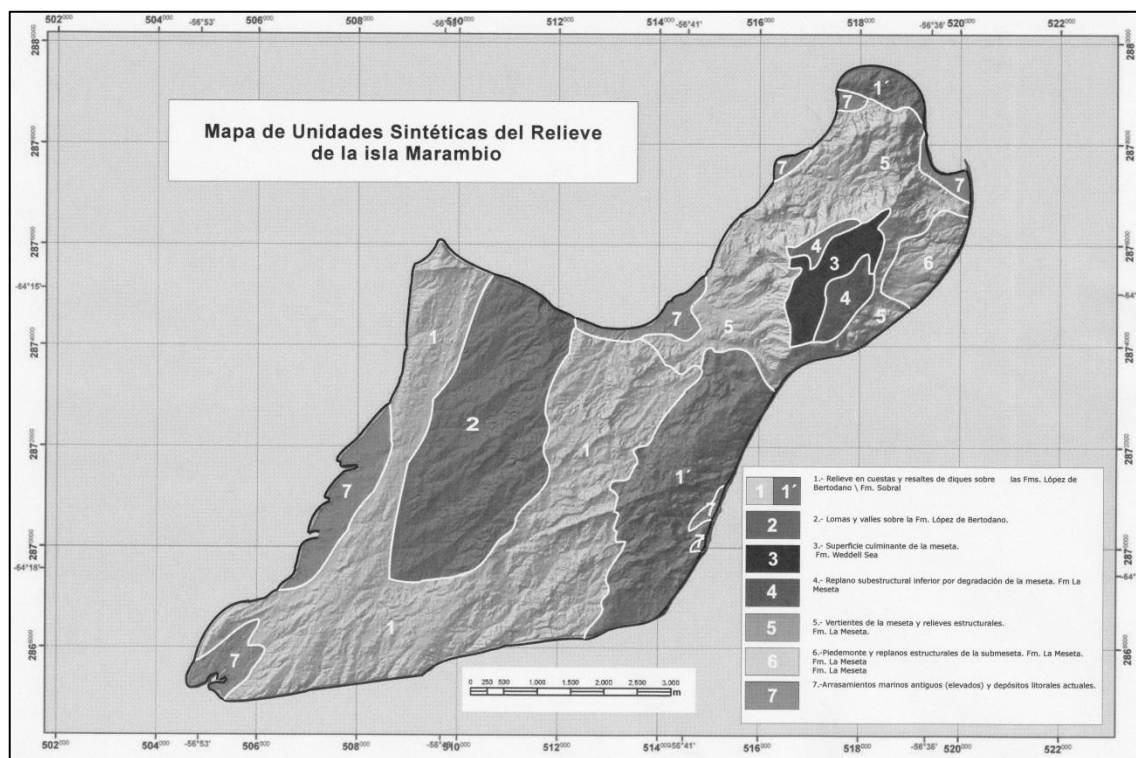


Figura 3 - Mapa de Unidades de Releva da ISM segundo NOZAL et al (2007).

2.2. Coleta e descrição dos solos

Os dados de campo foram levantados em uma campanha de campo entre 23 de janeiro e 20 de fevereiro de 2012, durante a XXX Operantar.

A partir da base cartográfica disponível, os sítios de amostragem foram selecionados levando-se em consideração dados geológicos e geomorfológicos. Foram descritos e coletados 23 perfis de solo (Figura 4), possibilitando uma caracterização pedológica dos ambientes, representando toda a variabilidade litológica e geomorfológica da área de estudo.

Os perfis representativos foram descritos segundo Santos et al (2005) e Bockheim et al (2006), com registro da temperatura dos horizontes. Foram coletadas amostras de cada horizonte pedogenético, para posterior caracterização física, química e mineralógica.

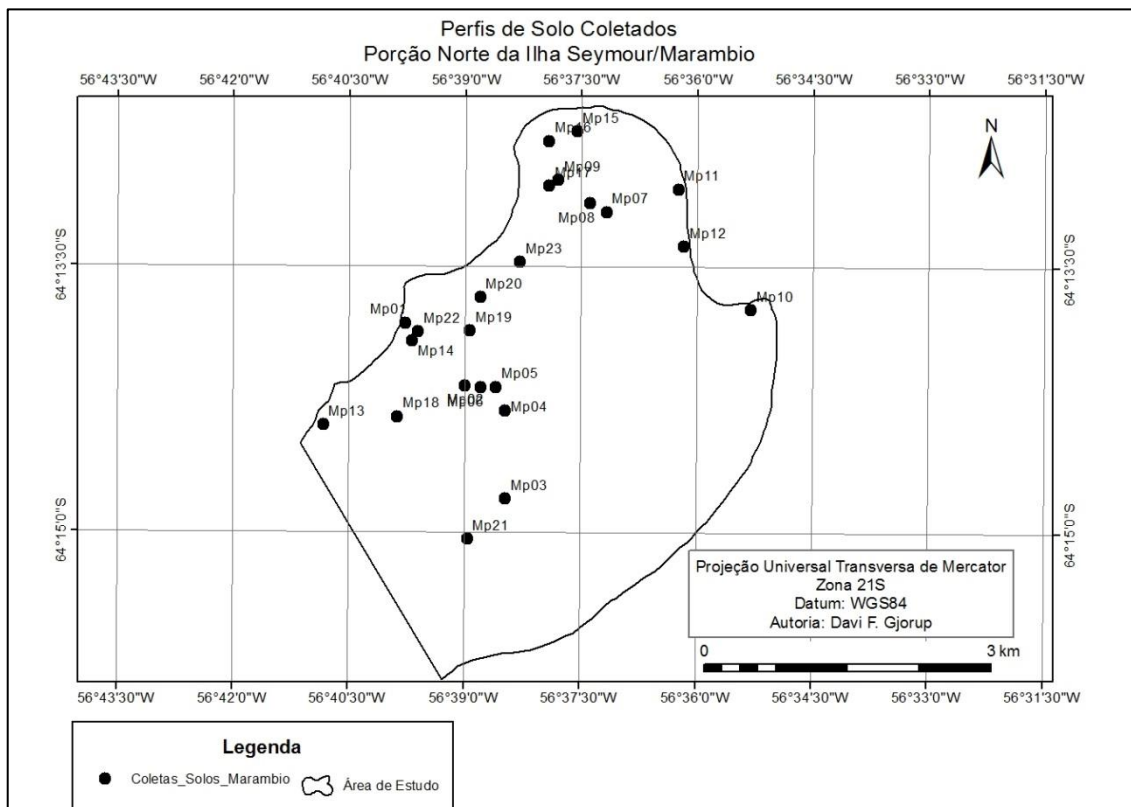


Figura 4 - Coletas de solos na porção norte da ISM.

Devido à impossibilidade de classificar solos criogênicos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, os solos foram classificados de acordo com o sistema norte-americano de classificação dos solos (SOIL SURVEY STAFF, 2010) e com a base internacional de classificação dos solos (IUSS, 2006).

A cor de cada horizonte foi determinada no laboratório, em função das dificuldades encontradas em campo, sendo obtida a cor úmida de cada horizonte dos solos estudados, através da Munsell Soil Color Charts (MÜNSELL COLOR, 2000).

2.3. Análises químicas e texturais dos solos

As amostras foram analisadas nos laboratórios de análises de solos do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa. A fração terra fina (< 2 mm) do solo foi submetidas às seguintes análises, de acordo com EMBRAPA (1997) e/ou SOIL SURVEY STAFF (1996):

Análises Químicas:

- Fósforo disponível, potássio e sódio, extraídos através do Mehlich-1 (HCl 0,05 M + H₂SO₄ 0,0125 M, relação solo:extrato 1:10). Fósforo determinado através de espectrofotômetro, potássio e o sódio determinados através de fotômetro de emissão de chama.
- Cálcio, Magnésio e Alumínio extraídos com solução de KCl 1 M, sendo estes cátions determinados através de espectroscopia de absorção atômica.
- Acidez potencial determinada por titulometria, após o uso de acetato de cálcio 0,5 M tamponado a pH 7.
- pH em água e em KCl (1 mol·L⁻¹) determinados potenciometricamente, em suspensão com relação solo:água na relação 1:2,5.
- Carbono Orgânico por oxidação via úmida, com dicromato de potássio em meio sulfúrico com aquecimento (método Walkley-Black). A percentagem de matéria orgânica no solo foi obtida através da multiplicação do Carbono Orgânico pelo fator 1,724.

A partir dos dados assim obtidos foi possível o cálculo de diferentes índices, calculados como segue: Soma de bases (S=Ca+Mg+K+Na); Capacidade de troca catiônica (T=S+Al+H); Saturação por bases (V%=100 S/T); Saturação por alumínio (m%=100 Al/(S+Al)); Atividade da argila = 100 T/% argila.

Análises físicas:

- Determinação da percentagem em peso de cascalho para cada horizonte.
 - Análise granulométrica: dispersão com NaOH 0,1 mol/l e agitação, areia grossa e areia fina separadas por tamisação, fração argila separada pelo método da pipeta, e fração silte obtida pela diferença.

2.4. Identificação e Mapeamento dos Geoambientes

Para realizar a estratificação geoambiental da área de estudo, recorreu-se a uma metodologia pedogeomorfológica (TRICART e KIEWIETDEJONGE, 1992). As unidades foram identificadas, mapeadas e caracterizadas segundo seus atributos pedo-lito-geomorfológicos, tratados de forma integrada, tendo como produto uma síntese ambiental. Desta forma, foram agrupados sob uma mesma denominação setores com características similares em relação aos atributos de interesse.

A unidade de paisagem adotada na estratificação ambiental da área de estudo foi o *geoambiente*. Este é definido, no presente trabalho, como um setor da paisagem que possui certa homogeneidade de atributos pedológicos, geológicos e geomorfológicos. A identificação, espacialização e caracterização dos geoambientes se baseou numa análise integrada dos atributos pedo-lito-geomorfológicos da paisagem. A partir da sobreposição dos dados espacializados a respeito dos atributos da paisagem (mapa geológico baseado em SADLER, 1988; mapa geomorfológico obtido a partir da interpretação do MDE e imagem orbital; e perfis georreferenciados), foram agrupados em uma mesma categoria setores com características pedo-lito-geomorfológicas semelhantes, ainda que seja admissível certa variabilidade dentro de cada unidade.

Foram confeccionados mapas temáticos em escala 1:10.000. Todos os mapas foram gerados a partir da extensão ArcMap do *software* ArcGIS 10.0 (ESRI, 2010). Os temas de interesse foram mapeados através de interpretação visual de imagem orbital Geoeye (bandas 1, 2 e 3), de 0,5 m de resolução espacial, tomada em Setembro de 2010, em conjunto com outros dados, sendo as feições vetorizadas em tela em arquivos *Shapefile*. Na confecção de todos os mapas, optou-se pela adoção do sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), zona 21 S, e do Datum WGS84.

A metodologia de estratificação ambiental empregada é apropriada para a realização de inventários de meio físico rápidos de áreas desconhecidas, com bom nível de detalhamento. O emprego de análise espacial, baseada em dados de campo em conjunto com dados secundários permite a identificação, espacialização e caracterização de unidades da paisagem abordadas de forma integrada. Assim, esta metodologia possibilita a organização dos dados de uma forma sintética, favorecendo a investigação das relações existentes entre os diferentes atributos do meio.

3. Resultados e Discussão

3.1. Descrição geral da paisagem

A ISM apresenta total ausência de cobertura de gelo ou neve permanente, sendo este um traço distintivo desta Ilha em relação às terras do entorno (como as Ilhas Snow Hill e James Ross, extensamente cobertas por coberturas glaciais) (OMOTO, 1994). A Ilha se situa na zona de permafrost contínuo e perene (GUTIÉRREZ, NOZAL & MONTES, 2011), estando portanto integralmente sujeita a processos morfogenéticos periglaciais. Estes processos atuam sobre um substrato predominantemente sedimentar, composto principalmente por rochas pelíticas e psamíticas. O controle estrutural sobre as formas do relevo é evidente, notando-se pontos e cristas proeminentes concordantes com estratos resistentes das rochas. O controle tectônico também é claro, e linhas de falha geralmente limitam compartimentos altimétricos de relevo.

A parte culminante da Ilha corresponde a uma superfície plana residual, coincidente com depósitos de Till da Formação Weddell Sea. Desta superfície de cimeira para baixo os processos geomorfogênicos periglaciais (responsáveis pela desagregação das rochas) e fluvio-marinhos (responsáveis pela mobilização dos sedimentos) promoveram um rebaixamento generalizado da superfície, atuando sobre um grande número de litofácies de quatro diferentes Formações. A estrutura e resistência dos diferentes tipos litológicos determinam os processos erosivos atuantes, resultando em um relevo com forte caráter estrutural. Assim, as cristas e afloramentos rochosos proeminentes coincidem com estratos resistentes das rochas. Os vales mais importantes por sua vez exibem um controle estrutural, sendo limitados por linhas de falhas e coincidindo com litologias mais friáveis.

São observados depósitos superficiais recentes de diferentes naturezas, podendo-se destacar depósitos de tálus, depósitos fluviais e depósitos marinhos.

Os solos se desenvolvem, em quase toda a área de estudo, sobre material inconsolidado oriundo da desagregação mecânica (crioclastia) das rochas sedimentares. Dada a grande friabilidade destas rochas e aprofundamento dos regolitos, os solos em geral são profundos. O principal limitante da profundidade destes solos é a ocorrência de permafrost. Em geral, o permafrost ocorre em profundidades menores que o contato lítico subjacente aos solos, observando-se no entanto grande variabilidade na profundidade de ocorrência do permafrost (35 – 110 cm).

São observados pequenos canais de drenagem alimentados pelo derretimento sazonal da camada ativa. O permafrost constitui um impedimento ao livre movimento descendente da água, gerando fluxos laterais que afloram na forma de pequenos cursos d'água nas ravinas. Os fluxos laterais são grandemente favorecidos nas encostas, em função da declividade. Estes fluxos são responsáveis pelo transporte de soluções ricas, tendo papel importante na redistribuição dos sais entre os geoambientes. Assim, notam-se ambientes eminentemente exportadores de sais, ambientes que recebem sais, e ambientes praticamente livres dos fluxos ricos em sais.

É notável no universo pedológico da área de estudo solos sulfatados ácidos, originados pelo processo de sulfurização. Estes solos são formados através da oxidação de sulfetos presentes no material de origem destes solos, e são facilmente identificados através de características morfológicas e químicas. Entre as principais características dos solos sulfatados ácidos podem ser listadas desenvolvimento de cor (matizes amarelados com croma relativamente elevado), valores de pH baixos (podendo apresentar $\text{pH} < 3$), saturação por bases baixa, acidez potencial alta, e saturação por alumínio elevada.

Tatur et al (1993) afirmam que a composição mineral da rocha é o principal fator na determinação da mineralização na zona intemperizada na ISM. Segundo estes autores, a oxidação de sulfetos mediada microbiologicamente é responsável pela geração de drenagem ácida e diversos minerais sulfatos (pouco ou muito solúveis), e compostos mal cristalizados de Fe.

A ocorrência de solos sulfatados ácidos depende de material de origem com potencial ácido. PONS et al (1982) apontam que materiais sedimentares com potencial ácido contém pirita em excesso em relação a substâncias acido-neutralizantes. Na área de estudo, observa-se íntima relação entre solos sulfatados ácidos desenvolvidos a partir das litofácies Telm2, Telm2s, Telm3 e Telm5 da Formação La Meseta (Figura 2), além de sedimentos recentes remobilizados a partir de áreas com estas litologias. Porebski (1995) atribui origem marinha rasa a estas litofácies. Segundo este autor, a unidade Telm2 se origina por deposição em ambiente estuarino influenciado por maré. A unidade Telm3 teria sua origem relacionada a ambiente estuarino em canal de maré de alta energia relacionado a dois pulsos transgressivos, e sua localização é controlada por falhas. A unidade Telm5 se formou em ciclos de transgressão-regressão marinha, em ambiente estuarino de baixa energia.

PONS et al (1982) caracterizam o ambiente de formação de materiais sedimentares com potencial ácido, afirmando que a formação destes materiais requer os ingredientes para a formação da pirita, incluindo sulfato, ferro, agentes redutores, matéria orgânica e aeração limitada. Estes autores concluem que ambientes inter-maré são particularmente favoráveis à piritização do ferro.

3.2. Unidades geoambientais

A aplicação da metodologia utilizada permitiu a identificação de 13 unidades geoambientais na porção norte da ISM. As unidades geoambientais foram identificadas, mapeadas e caracterizadas segundo os parâmetros pedo-lito-geomorfológicos, com pode ser visto na Figura 5 e na Tabela 1. A seguir encontra-se a caracterização de cada unidade.

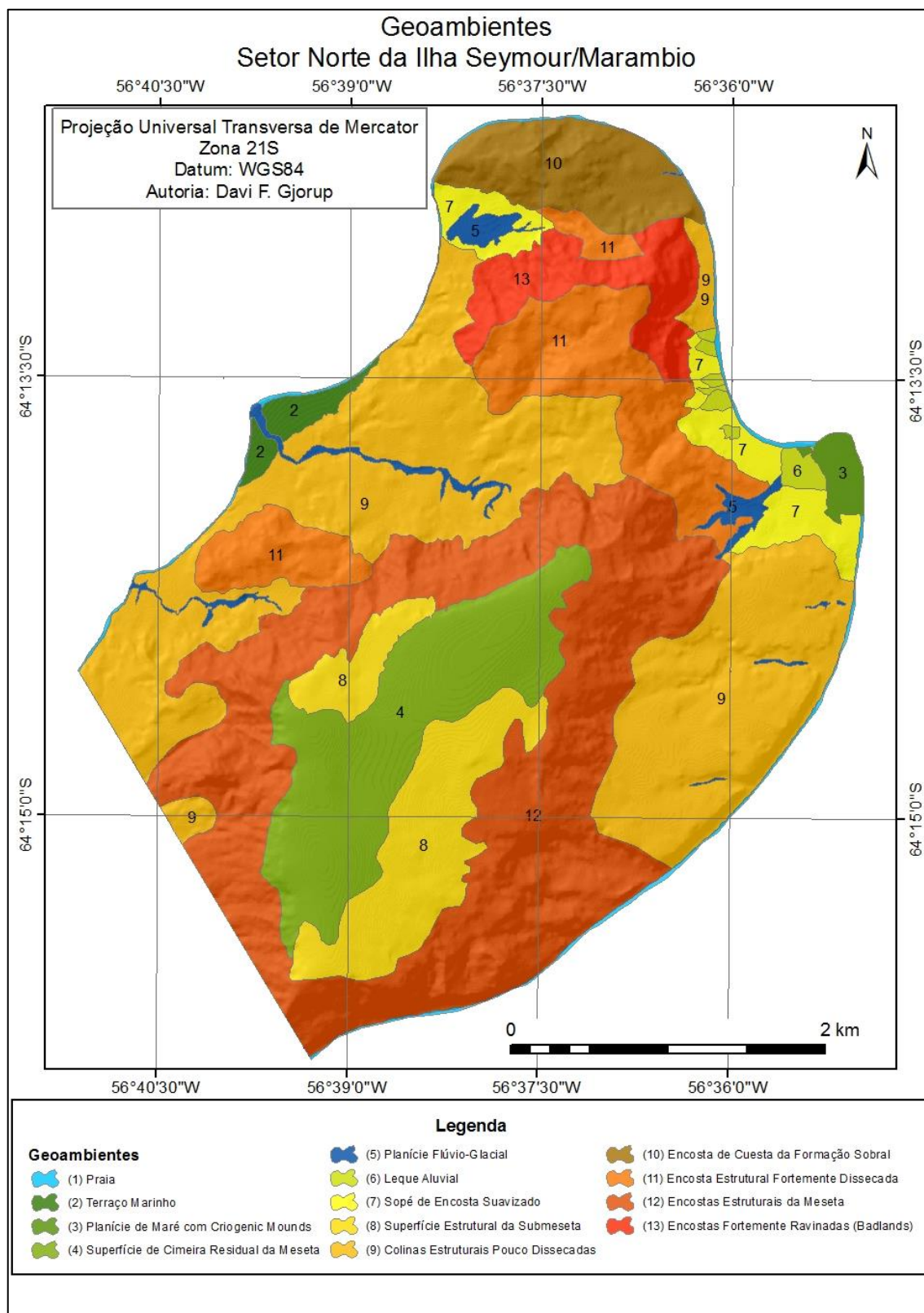


Figura 5 - Geoambientes da porção norte da ISM.

Tabela 1 - Quadro-síntese dos Geoambientes.

Unidade geoambiental	Área Mapeada	Área Relativa	Posição na paisagem	Geoforma associada	Litologias associadas	Solos Associados	Perfis	Obs
Superfície de Cimeira Residual da Meseta	1,82 km ²	10,4 %	Topo geral da paisagem Cota ~ 200 m	Topo Tabuliforme Patamar residual alto, plano, não dissecado	Formação Weddell Sea - Till	Typic Haplothel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric, Aridic) ²	MP03; MP21	Setor com caráter residual, a partir do qual foram moldadas todas as outras unidades geomorfológicas. Início Permafrost: 35 cm prof.
Superfície Estrutural da Submeseta	1,34 km ²	7,7 %	Patamar elevado, lateral à meseta Cota ~ 170 m	Ombreira horizontalizada sustentada por litologias competentes, pouco dissecada	La Meseta (Telm7 e Telm7s) – Arenitos Resistentes	Typic Psammorthel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric, Arenic) ²	MP04	Início Permafrost: 56 cm prof.
Encostas Estruturais da Meseta	4,74 km ²	27,2 %	Periferia da superfície de Cimeira, faz o contato entre o topo e as partes mais rebaixadas da paisagem Cota 50 – 190 m	Encostas íngremes e dissecadas, de grande amplitude altudinal Tálus nas porções mais baixas	La Meseta (Telm5, Telm6, Telm7, Telm7s) – Siltes e areias com estratos conchíferos resistentes, e arenitos resistentes	Typic Psammorthel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric, Arenic) ²	MP5; MP6	Início Permafrost: 60-65 cm prof.
Encostas Estruturais Fortemente Dissecadas	1,64 km ²	9,4 %	Setores montanhosos, associados a falhas e/ou litologias resistentes Cotas 15 – 150 m	Encostas muito dissecadas, com topos estruturais não tabuliformes e vales encaixados	La Meseta (Telm2, Telm3, Telm3s, Telm5, Telm6) - Argilitos; Arenitos e siltitos com estratos fossilíferos, areias conglomeráticas conchíferas;	Typic Haplothel ¹ ; Typic Psammorthel ¹ - Cambic Cryosol (Dystric) ² ; Haplic Cryosol (Hypereutric, Aridic, Arenic) ²	MP2; MP7	Início Permafrost: 45-50 cm prof.
Encostas Fortemente Ravinadas (Badlands)	0,69 km ²	4,0 %	Encostas muito íngremes entre os topos montanhosos e os depósitos recentes Cotas 10 - 140 m	Encostas muito íngremes e dissecadas, com ocorrência de escarpas e pequenos tálus	Cross Valley (Tpcv) La Meseta (Telm2, Telm3, Telm3s) - Argilitos; Arenitos e siltitos com estratos fossilíferos	Typic Haplothel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric) ²	MP8	Início Permafrost: 70 cm prof.
Colinas Estruturais Pouco Dissecadas	5,09 km ²	29,2 %	Piemontes da meseta, em altitudes moderadas Cotas 10-75 m	Sucessão de colinas estruturais de topos concordantes, moderadamente dissecadas	La Meseta (Telm 2, Telm3, Telm4, Telm5, Telm5s, Telm6, Telm7, Telm7s) – Argilitos, Arenitos e siltitos com estratos fossilíferos, Arenitos resistentes	Typic Psammorthel ¹ ; Typic Haplothel ¹ ; Glacic Psammoturbel ¹ - Haplic Cryosol (Epieutric, Arenic) ² ; Haplic Cryosol (Eutric, Arenic) ² ; Cambic Cryosol (Eutric, Epiarenic) ² ; Cambic Cryosol (Hypereutric, Aridic, Arenic) ² ; Glacic Turbic Cryosol (Eutric, Aridic) ² ; Cambic Cryosol (Hypereutric, Arenic) ² ; Haplic Cryosol (Hypereutric, Arenic) ²	MP13; MP14; MP18; MP19; MP20; MP22; MP23	Domínio de solos sulfatados. Ocorrência de solos não sulfatados em litologias específicas. Início Permafrost: 42-70 cm prof.
Encostas de Cuesta da Formação Sobral	0,79 km ²	4,5 %	Setor montanhoso no extremo norte da ilha Cotas 0 – 90 m	Encostas cuestiformes	Sobral (Tps3, Tps4)	Xeric Haplocrypt ¹ ; Lithic Cryorthent ¹ - Endoleptic Cambisol (Hypereutric, Yermic) ² ; Haplic Leptosol (Hypereutric, Aridic, Skeletic) ²	MP15; MP16	Setor onde não se encontram permafrost nos solos. Contato lítico
Planícies Fluvio-Glaciais	0,27 km ²	1,5 %	Fundo dos vales dissecados de baixo gradiente. Cotas < 40 m	Planícies ativas de deposição fluvial. Canais anastomosados de grande relação largura/profundidade.	Sedimentos fluvio-glaciais atuais	Sedimentos fluvio-glaciais atuais	-	Forte acumulação de sais nas bordas das planícies
Sopés de Encostas Suavizados	0,58 km ²	3,4 %	Sopés de encostas, sobre litologias menos competentes Cotas < 20 m	Superfícies de arrasamento pouco declivosas. Litologias menos resistentes extremamente erodidas, às vezes cobertas por sedimentos.	La Meseta (Telm1, Telm2, Telmm). Sedimentos de encosta recentes	Typic Haplothel ¹ - Haplic Cryosol (Eutric) ²	MP09; MP17	Setores extremamente erodidos, situados sobre litologias muito pouco resistentes. Erosão das litologias até pouco acima do nível de base, ou até abaixo deste (com deposição de sedimentos). Início Permafrost: 39-60 cm prof.
Terraços Marinhos	0,16 km ²	1,0 %	Próximos à costa em setores soerguidos. Localizados na foz de grande canal fluvio-glacial Cotas < 20 m	Terraços soerguidos horizontalizados, de dissecção recente bem encaixada	Sedimentos marinhos recentes	Typic Haploglept ¹ - Haplic Cambisol (Ruptic, Hypereutric, Gelic, Aridic) ²	MP1	Permafrost profundo (110 cm). Ocorrência de sulfuração nos horizontes superficiais. Início Permafrost: 110 cm prof.
Leques Aluviais	0,12 km ²	0,7 %	Setores suavizados de baixa altitude a jusante de encostas declivosas Cotas < 10 m	Leques aluviais (cones de dejeção) coalescentes	Sedimentos fluviais atuais sobre sedimentos marinhos recentes	Typic Psammorthel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric, Arenic) ²	MP12	Acumulação superficial de sais. Início Permafrost: 52 cm prof.
Planície de Maré com Criogenic Mounds	0,14 km ²	0,8 %	Planície de maré próxima à costa Cotas < 5 m	Planície ativa com dois níveis. Um nível inundável pela maré e um nível não inundável, constituído por pequenas elevações convexas (criogenic mounds)	Sedimentos marinhos recentes/atuais	Typic Haplothel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric, Arenic) ²	MP10	Formação de "criogenic mounds" Início Permafrost: 79 cm prof.
Praias	0,18 km ²	1,1 %	Linha da costa em todo o perímetro da área de estudo, em geral sob uma linha de falésias Cotas ~ 0 m	Praias de pequena declividade, contato entre o ambiente marinho e insular. Associada a penhascos de erosão marinha (falésias)	Sedimentos marinhos atuais	Sedimentos marinhos atuais	-	

¹Classificação pela Soil Taxonomy. ²Classificação pelo sistema WRB/FAO

Tabela 2 - Atributos químicos do solo.

Horizonte		pH		ΔpH	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³	H+Al	SB	(t)	T	V	m	ISNa	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu
Símbolo	Prof. (cm)	H ₂ O	KCl		mg/dm ³			cmol _c /dm ³						%			dag/kg	mg/L	mg/dm ³				
Superfície Culminante Residual da Meseta																							
MP21 - Typic Haplorthel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric, Aridic) ²																							
Af	0-10	8,02	7,26	-0,76	118,1	1118	1638,8	10,82	3,18	0,00	0,6	23,99	23,99	24,59	97,6	0,0	29,70	0,89	37,6	3,75	308,9	52,7	1,87
B1f	10-17	8,24	7,71	-0,53	103,5	1704	1941,4	10,98	2,64	0,00	0,3	26,42	26,42	26,72	98,9	0,0	31,95	0,51	43,8	2,69	271,0	16,9	1,62
B2f	17-35	8,06	7,62	-0,44	88,8	653	428,4	15,11	3,00	0,00	0,5	21,64	21,64	22,14	97,7	0,0	8,61	0,51	45,1	2,85	262,3	34,0	1,42
Cf	35-40+	7,79	7,44	-0,35	90,2	572	347,7	13,31	4,60	0,00	1,0	20,88	20,88	21,88	95,4	0,0	7,24	0,76	39,8	2,10	288,8	8,5	1,44
MP03 - Typic Haplorthel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric, Aridic) ²																							
A	0-7	8,67	8,13	-0,54	8,6	37	1171,6	4,78	2,32	0,00	0,3	12,28	12,28	12,58	97,6	0,0	41,48	0,90	38,6	0,00	25,2	24,0	0,53
B	7-22	7,72	7,10	-0,62	98,0	638	874,6	3,82	0,61	0,00	0,6	9,86	9,86	10,46	94,3	0,0	38,57	0,38	51,5	2,79	607,3	21,0	1,66
C	22-35	7,84	7,54	-0,30	81,2	1135	1369,6	7,42	0,59	0,00	0,6	16,86	16,86	17,46	96,6	0,0	35,32	0,51	48,9	7,07	500,0	24,7	2,08
Cf	35-42+	7,26	6,48	-0,78	113,0	986	2062,7	3,47	2,42	0,00	1,1	17,38	17,38	18,48	94,0	0,0	51,60	0,38	53,5	3,78	559,5	11,3	1,51
Superfície Estrutural da Submeseta																							
MP04 - Typic Psammorthel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric, Arenic) ²																							
A	0-10	7,56	6,83	-0,73	84,1	170	145,9	4,66	2,07	0,00	0,8	7,79	7,79	8,59	90,7	0,0	8,14	0,38	54,1	5,99	623,1	34,4	0,90
AB	10-18	7,80	6,72	-1,08	38,2	137	76,6	3,60	1,41	0,00	0,5	5,69	5,69	6,19	91,9	0,0	5,85	0,38	45,5	7,09	429,5	27,2	0,86
B1	18-44	7,18	6,46	-0,72	38,0	190	94,4	4,21	1,68	0,00	0,6	6,79	6,79	7,39	91,9	0,0	6,04	0,38	49,7	4,52	653,6	22,1	0,87
B2	44-56	7,58	7,01	-0,40	72,3	196	102,3	3,86	1,99	0,00	0,3	6,79	6,79	7,09	95,8	0,0	6,55	0,51	48,9	16,67	541,0	29,8	0,75
Cf	56-64 +	7,41	6,97	-0,44	73,5	291	280,5	2,80	5,29	0,00	0,5	10,05	10,05	10,05	95,3	0,0	12,13	0,38	45,5	3,04	619,1	17,2	0,70
Encostas Estruturais da Meseta																							
MP05 - Typic Psammorthel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric, Arenic) ²																							
A	0-6	7,70	7,49	-0,21	25,3	192	157,8	3,87	0,73	0,00	0,3	5,78	5,78	6,08	95,1	0,0	11,87	0,38	31,6	5,02	509,3	51,3	0,97
B1	6-15	4,90	4,62	-0,28	21,0	53	35,0	2,94	0,97	0,10	2,3	4,20	4,30	6,50	64,6	2,3	3,54	0,26	29,5	3,83	962,8	5,2	1,15
B2	15-60	7,01	6,81	-0,20	19,8	111	52,8	3,73	0,98	0,00	0,8	5,22	5,22	6,02	86,7	0,0	4,40	0,51	47,2	9,50	846,1	17,5	0,97
Bf	60-65 +	7,20	7,19	-0,01	27,7	155	122,1	3,45	1,94	0,00	0,5	6,32	6,32	6,82	92,7	0,0	8,40	0,13	50,1	8,38	1013,4	9,6	1,12
MP06 - Typic Psammorthel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric, Arenic) ²																							
A	0-5	8,16	7,82	-0,34	38,3	73	110,2	5,26	1,50	0,00	0,3	7,43	7,43	7,73	96,1	0,0	6,45	0,51	34,9	2,50	409,5	224,5	0,99
B	5-25	8,59	8,03	-0,56	39,4	67	98,3	4,82	1,36	0,00	0,3	6,78	6,78	7,08	95,8	0,0	6,30	0,38	34,6	0,96	218,5	174,9	0,72
C	25-65	8,16	7,68	-0,48	31,1	139	78,5	4,66	1,67	0,00	0,5	7,03	7,03	7,53	93,4	0,0	4,85	0,64	13,2	3,11	817,4	24,8	1,46
Cf	65-74 +	5,97	5,47	-0,50	41,5	129	132,0	7,01	1,76	0,00	1,4	9,67	9,67	11,07	87,4	0,0	5,93	0,64	41,8	1,67	589,3	2,9	1,29
Encostas Fortemente Ravinadas (Badlands)																							
MP08 - Typic Haplorthel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric) ²																							
A	0-8	8,31	7,91	-0,40	36,7	109	330,0	5,38	1,82	0,00	0,3	8,91	8,91	9,21	96,7	0,0	16,10	1,15	33,7	1,27	96,0	58,4	0,70
B1	8-37	8,39	7,95	-0,44	68,8	121	280,5	11,30	6,18	0,00	0,2	19,01	19,01	19,21	99,0	0,0	6,42	1,28	30,5	0,09	104,4	53,3	0,67
B2	37-70	8,01	7,69	-0,32	51,4	117	577,6	11,06	5,41	0,00	0,3	19,28	19,28	19,58	98,5	0,0	13,03	1,66	30,8	3,97	889,3	41,1	1,65
B3f	70-79	8,10	7,87	-0,23	7,7	59	478,5	18,29	7,11	0,00	0,2	27,63	27,63	27,83	99,3	0,0	7,53	1,41	36,9	0,0	75,6	74,6	0,40
B4f	79-100 +	7,79	7,50	-0,29	178,5	170	775,6	26,46	8,52	0,00	0,3	38,78	38,78	39,08	99,2	0,0	8,70	1,92	32,7	2,62	600,5	27,4	1,73

* pH em H₂O e KCL – Relação 1:2,5 ; ΔpH=(pH KCL - pH H₂O); P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich 1; Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio; ISNa - Índice de Saturação de Sódio; Mat. Org. (MO) = C.Org x 1,724 - Walkley-Black; P-rem = Fósforo Remanescente. ¹Classificação pela Soil Taxonomy. ²Classificação pelo sistema WRB/FAO.

Tabela 3 - Atributos químicos do solo.

Horizonte		pH		ΔpH	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³	H+Al	SB	(t)	T	V	m	ISNa	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu
Símbolo	Prof. (cm)	H ₂ O	KCl		mg/dm ³			cmol _e /dm ³							%		dag/ kg	mg/L	mg/dm ³				
Encostas Estruturais Fortemente Dissecadas																							
MP02 - Typic Haplorthel ¹ - Cambic Cryosol (Dystric) ²																							
A	0-4	8,60	8,06	-0,54	91,1	57	134,0	4,90	1,53	0,00	0,5	7,16	7,16	7,66	93,5	0,0	8,14	0,38	41,3	0,23	105,7	152,1	0,83
A2	4-12	8,58	7,83	-0,75	30,7	65	98,3	5,79	1,88	0,00	0,3	8,27	8,27	8,57	96,5	0,0	5,17	0,38	38,7	1,37	270,8	154,3	1,17
B	12-25	8,20	7,09	-1,11	26,5	87	82,5	4,67	2,26	0,00	0,3	7,51	7,51	7,81	96,2	0,0	4,78	0,38	35,9	1,19	198,7	6,7	1,15
B2	25-37	4,40	3,50	-0,90	23,7	49	78,5	3,17	0,82	2,54	6,4	4,46	7,00	10,86	41,1	36,3	4,88	0,51	25,4	3,08	277,1	4,3	1,99
BC	37-45	3,34	3,00	-0,34	30,2	30	54,8	4,12	0,37	2,63	6,9	4,81	7,44	11,71	41,1	35,3	3,20	0,38	30,9	1,89	441,8	1,8	1,50
C	45-50	3,40	3,10	-0,30	21,5	24	40,9	3,04	0,38	2,15	4,8	3,66	5,81	8,46	43,3	37,0	3,06	0,13	38,7	1,77	279,6	1,6	1,19
Cff	50-54+	3,78	-----	-----	17,9	37	64,7	2,89	0,46	0,88	3,2	3,72	4,60	6,92	53,8	19,1	6,12	0,26	47,2	2,47	274,3	4,8	1,21
MP07 - Typic Psammorthel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric, Aridic, Arenic) ²																							
A	0-4	8,47	8,34	-0,13	5,6	153	1419,1	9,38	5,35	0,00	0,3	21,29	21,29	21,59	98,6	0,0	28,98	0,64	42,5	0,62	18,8	26,9	0,53
C1	4-21	8,26	8,17	-0,09	7,3	103	379,5	7,42	1,81	0,00	0,3	11,14	11,14	11,44	97,4	0,0	14,81	0,90	41,4	0,00	17,0	13,7	0,47
C2	21-35	8,21	7,96	-0,25	11,7	101	429,0	13,00	1,57	0,00	0,3	16,70	16,70	17,00	98,2	0,0	11,17	0,77	34,3	0,00	6,2	87,9	0,55
C3	35-45	8,30	8,38	0,08	7,7	149	577,6	17,26	3,21	0,00	0,2	23,36	23,36	23,56	99,2	0,0	10,75	1,15	33,2	0,00	6,1	75,4	0,50
Cf	45-50 +	8,44	8,60	0,16	17,3	93	330,0	6,75	1,40	0,00	0,2	9,82	9,82	10,02	98,0	0,0	14,61	0,77	39,7	0,00	4,4	70,7	0,52
Sopés de Encostas Suavizados																							
MP17 - Typic Haplorthel ¹ - Haplic Cryosol (Eutric) ²																							
A	0-3	3,25	3,01	-0,24	168,1	7	549,5	9,54	1,92	4,59	15,5	13,87	18,46	29,37	47,2	24,9	12,94	1,90	16,1	6,33	1433,1	15,8	2,22
B	3-39	3,10	3,02	-0,08	19,2	5	731,0	12,77	3,70	4,59	17,2	19,66	24,25	36,86	53,3	18,9	13,11	2,15	11,0	15,85	1389,7	38,8	3,27
Cf	39-55 +	4,27	4,04	-0,23	36,2	110	4764,6	18,30	11,46	0,20	6,6	50,76	50,96	57,36	88,5	0,4	40,65	3,30	22,5	8,42	1063,1	73,1	2,54
MP09 - Typic Haplorthel ¹ - Haplic Cryosol (Eutric) ²																							
A	0-20	7,69	7,60	-0,09	89,3	101	1320,1	9,86	10,22	0,00	0,3	26,08	26,08	26,38	98,9	0,0	22,01	1,54	29,4	9,37	1083,5	106,1	2,25
C1	20-32	3,70	3,38	-0,32	18,1	59	1023,1	10,58	12,52	3,41	11,6	27,70	31,11	39,30	70,5	11,0	14,30	1,79	34,7	4,62	664,2	11,6	2,01
C2	32-60	3,24	3,07	-0,17	19,1	31	1122,1	14,78	8,35	4,98	14,6	28,09	33,07	42,69	65,8	15,1	14,75	1,79	17,0	6,52	671,9	17,3	2,65
Cf	60 +	2,99	3,09	0,10	26,9	31	775,6	11,17	9,05	10,93	27,7	23,67	34,60	51,37	46,1	31,6	9,75	2,05	13,6	34,45	1127,1	53,6	6,43
Terraços Marinhos																							
MP01 - Typic Haplogelept ¹ - Haplic Cambisol (Ruptic, Hypereutric, Gelic, Aridic) ²																							
A	0-4	3,60	3,65	0,05	58,6	6	2755,8	,46	11,08	3,80	8,9	29,54	33,34	38,44	76,8	11,4	35,94	0,77	42,8	4,49	473,9	45,5	1,51
B	4-28	3,48	3,43	-0,05	48,2	4	1864,7	7,05	7,01	3,90	9,0	22,18	26,08	31,18	71,1	15,0	31,09	0,77	39,5	3,54	589,5	30,8	1,39
C1	28-45	3,45	3,32	-0,13	27,6	4	1666,7	8,66	13,65	3,80	9,0	29,57	33,37	38,57	76,7	11,4	21,72	1,02	36,8	5,01	615,5	44,9	1,72
C2	45-110	3,80	3,58	-0,22	22,3	18	2607,3	3,26	11,84	0,98	7,2	26,49	27,47	33,69	78,6	3,6	41,27	1,15	33,6	7,23	1496,4	43,1	2,15
CBf	110-145	6,71	6,77	0,06	60,0	539	3943,9	3,55	11,75	0,00	1,0	33,83	33,83	34,83	97,1	0,0	50,69	1,41	31,3	7,55	2159,5	80,4	1,74
2Bf	145-190	7,37	7,16	-0,21	98,6	440	3844,9	1,76	13,25	0,00	0,5	32,86	32,86	33,36	98,5	0,0	50,87	1,54	41,2	8,76	2383,1	69,4	1,33
3Bf	190-220	7,10	6,92	-0,18	81,2	539	4637,0	2,31	13,56	0,00	0,8	37,41	37,41	38,21	97,9	0,0	53,89	1,54	43,1	7,66	2056,3	71,7	1,67

* pH em H₂O e KCL – Relação 1:2,5 ; ΔpH=(pH KCL - pH H₂O); P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich 1; Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio; ISNa - Índice de Saturação de Sódio; Mat. Org. (MO) = C.Org x 1,724 - Walkley-Black; P-rem = Fósforo Remanescente.¹Classificação pela Soil Taxonomy. ²Classificação pelo sistema WRB/FAO.

Tabela 4 - Atributos químicos do solo.

Horizonte		pH		ΔpH	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³	H+Al	SB	(t)	T	V	m	ISNa	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu
Símbolo	Prof. (cm)	H ₂ O	KCl		mg/dm ³			cmol _e /dm ³							%			dag/kg	mg/L	mg/dm ³			
Colinas Estruturais Pouco Dissecadas																							
MP13 - Typic Psammorthel ¹ - Haplic Cryosol (Epieutric, Arenic) ²																							
A	0-7	8,23	7,80	-0,43	25,6	35	80,5	4,53	1,17	0,00	0,5	6,14	6,14	6,64	92,5	0,0	5,70	0,38	47,0	2,23	137,1	33,5	0,96
C	7-65	4,20	3,60	-0,60	19,6	33	52,8	1,99	0,44	1,07	2,6	2,74	3,81	5,34	51,3	28,1	6,03	0,13	49,6	0,35	165,8	0,6	0,76
Cf	65+	2,90	2,99	0,09	19,6	14	44,9	3,90	0,52	2,34	4,8	4,66	7,00	9,46	49,3	33,4	2,79	0,26	45,5	0,91	250,7	4,0	0,77
MP18 - Typic Psammorthel ¹ - Haplic Cryosol (Eutric, Arenic) ²																							
A	0-8	6,01	5,06	-0,95	16,5	31	57,0	1,14	0,39	0,00	1,6	1,86	1,86	3,46	53,8	0,0	13,32	0,25	45,6	0,96	135,5	1,9	0,84
B1	8-38	5,65	3,95	-1,7	17,3	9	40,8	0,59	0,22	0,20	2,1	1,01	1,21	3,11	32,5	16,5	14,66	0,38	50,3	1,09	121,9	0,5	0,81
B2	38-70	5,28	4,59	-0,69	17,7	15	77,1	1,52	0,22	0,10	1,8	2,12	2,22	3,92	54,1	4,5	15,10	0,25	47,9	1,88	442,5	0,6	0,91
Bf	70 +	6,59	6,73	0,14	17,9	39	131,6	7,84	0,23	0,00	1,3	8,74	8,74	10,04	87,1	0,0	6,55	0,25	45,3	2,05	328,3	1,2	1,09
MP19 - Typic Haplorthel ¹ - Cambic Cryosol (Eutric, Epiarenic) ²																							
A	0-5	8,10	7,84	-0,26	23,0	77	1195,0	7,71	2,38	0,00	0,3	15,49	15,49	15,79	98,1	0,0	33,54	0,51	40,3	3,52	179,4	36,8	1,11
B	5-13	8,16	7,41	-0,75	37,6	73	529,3	4,76	1,49	0,00	1,1	8,74	8,74	9,84	88,8	0,0	26,33	0,38	46,8	2,81	141,1	5,0	0,99
C1	13-29	4,62	3,61	-1,01	16,3	112	650,3	3,49	1,14	1,27	4,5	7,75	9,02	12,25	63,3	14,1	31,35	0,51	34,2	2,07	125,5	1,3	0,53
C2	29-42	3,50	3,18	-0,32	11,2	84	690,7	4,58	0,48	2,34	9,2	8,27	10,61	17,47	43,3	22,1	28,30	1,27	24,8	1,79	306,6	4,1	1,05
Cf	42 +	3,46	3,08	-0,38	33,9	29	751,2	2,23	0,66	1,66	6,1	6,23	7,89	12,33	50,5	21,0	41,40	0,38	36,4	2,05	196,7	5,1	1,00
MP20 - Typic Psammorthel ¹ - Cambic Cryosol (Hypereutric, Aridic, Arenic) ²																							
A	0-10	8,55	8,00	-0,55	39,2	7	670,5	8,15	2,13	0,00	0,2	13,22	13,22	13,42	98,5	0,0	22,05	0,76	30,4	1,02	177,4	1000,	0,82
C1	10-29	8,26	7,58	-0,68	29,3	815	952,9	3,59	1,35	0,00	0,6	11,16	11,16	11,76	94,9	0,0	37,12	0,51	37,4	1,79	342,6	5,8	0,83
C2	29-54	7,42	7,00	-0,42	38,2	936	1114,3	3,43	1,15	0,00	1,3	11,81	11,81	13,11	90,1	0,0	41,02	0,63	28,7	3,94	258,6	23,4	1,17
Cf	54 +	3,39	3,29	-0,10	20,0	15	1336,2	10,79	0,82	1,37	5,5	17,46	18,83	22,96	76,0	7,3	30,85	0,38	29,2	2,95	577,4	7,7	1,15
MP23 - Glacic Psammoturbel ¹ - Glacic Turbic Cryosol (Eutric, Aridic) ²																							
A	0-7	7,68	7,74	0,06	19,3	94	226,7	8,20	3,74	0,00	0,2	13,17	13,17	13,37	98,5	0,0	7,48	0,89	4,3	15,06	847,0	72,4	1,92
C	7-55	3,57	3,47	-0,10	19,3	249	690,7	10,09	5,23	1,46	6,8	18,96	20,42	25,76	73,6	7,1	14,71	0,76	14,8	7,06	2165,0	66,8	1,77
F	55-60 +	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MP22 - Typic Psammorthel ¹ - Cambic Cryosol (Hypereutric, Arenic) ²																							
A	0-5	7,82	7,32	-0,50	29,1	88	137,7	2,45	1,28	0,00	1,0	4,56	4,56	5,56	82,0	0,0	13,13	0,38	45,5	3,79	417,7	36,2	0,93
B	5-25	7,80	7,24	-0,56	31,3	77	89,2	2,75	1,30	0,00	1,0	4,64	4,64	5,64	82,3	0,0	8,36	0,38	29,2	4,47	370,5	18,2	0,84
C	25-70	7,69	7,20	-0,49	38,1	79	61,0	2,39	0,98	0,00	1,1	3,84	3,84	4,94	77,7	0,0	6,91	0,38	49,9	5,95	465,6	47,4	0,60
Cf	70 +	7,79	7,62	-0,17	122,6	104	50,9	2,51	0,82	0,00	0,5	3,82	3,82	4,32	88,4	0,0	5,79	0,63	40,1	5,88	735,2	21,9	0,50
MP14 - Typic Psammorthel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric, Arenic) ²																							
A	0-15	7,99	8,00	0,01	23,3	57	577,6	3,70	5,81	0,00	0,0	12,17	12,17	12,17	100	0,0	20,64	0,64	41,3	1,62	142,1	112,5	0,84
C	15-65	5,40	5,06	-0,34	14,2	79	874,6	3,71	3,54	0,00	2,4	11,25	11,25	13,65	82,4	0,0	33,80	0,64	30,6	0,67	488,4	4,2	0,98
Cf	65 +	2,94	2,87	-0,07	98,6	16	155,8	3,51	12,67	4,20	14,2	16,9	21,10	31,10	54,3	19,9	3,21	2,69	33,0	12,02	1429,0	48,3	1,05

* pH em H₂O e KCL – Relação 1:2,5 ; ΔpH=(pH KCL - pH H₂O); P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich 1; Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio; ISNa - Índice de Saturação de Sódio; Mat. Org. (MO) = C.Org x 1,724 - Walkley-Black; P-rem = Fósforo Remanescente. ¹Classificação pela Soil Taxonomy. ²Classificação pelo sistema WRB/FAO.

Tabela 5 - Atributos químicos do solo.

Horizonte		pH		ΔpH	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³	H+Al	SB	(t)	T	V	m	ISNa	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	
Símbolo	Prof. (cm)	H ₂ O	KCl		mg/dm ³				cmol _c /dm ³						%			dag/ kg	mg/L	mg/dm ³				
MP11 - Typic Haplorthel ¹ - Cambic Cryosol (Hypereutric, Arenic) ²																								
A	0-18	7,59	7,32	-0,27	104,5	43	94,4	19,88	3,80	0,00	0,2	24,20	24,20	24,40	99,2	0,0	1,70	0,77	49,6	0,26	102,8	45,4	0,64	
B	18-80	7,65	7,48	-0,17	52,1	63	157,8	28,64	4,72	0,00	0,2	34,21	34,21	34,41	99,4	0,0	2,01	0,51	34,2	0,31	145,3	36,09	0,66	
C	80-100	7,76	7,58	-0,18	57,1	53	193,4	24,03	12,28	0,00	0,0	37,29	37,29	37,29	100	0,0	2,25	0,64	22,3	0,26	136,9	36,0	0,54	
Cf	100-110+	7,74	7,60	-0,14	60,3	87	280,5	22,56	11,66	0,00	0,0	35,66	35,66	35,66	100	0,0	3,42	0,64	21,1	0,34	183,3	33,5	0,61	
Leques Aluviais																								
MP12 - Typic Psammorthel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric, Arenic) ²																								
A	0-20	8,15	7,67	-0,48	57,2	57	676,6	8,07	9,38	0,00	0,3	20,54	20,54	20,84	98,6	0,0	14,32	1,66	28,3	5,04	1218,	69,7	1,66	
AC	20-21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2C	21-52	8,29	7,97	-0,32	45,2	51	177,6	3,61	1,67	0,00	0,0	6,18	6,18	6,18	100	0,0	12,49	0,38	40,3	2,53	372,5	31,0	0,94	
2Cf	52 +	7,90	7,66	-0,24	37,8	157	478,5	4,91	2,36	0,00	0,5	9,75	9,75	10,25	95,1	0,0	21,34	0,64	47,1	4,32	330,3	21,5	1,24	
Planície de Maré com Criogenic Mounds																								
MP10 - Typic Haplorthel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric, Arenic) ²																								
C1	0-50	8,00	7,31	-0,69	36,4	440	1270,6	1,97	11,58	0,00	0,2	20,20	20,20	20,40	99,0	0,0	27,35	0,77	16,1	8,31	804,6	59,8	1,87	
C2	50-79	7,63	7,15	-0,48	107,4	241	1765,7	1,70	5,98	0,00	0,5	15,98	15,98	16,48	97,0	0,0	48,04	0,64	31,2	8,08	1245,	41,2	2,16	
C3f	79-82 +	7,30	7,09	-0,21	103,9	191	775,6	1,08	1,59	0,00	0,5	6,53	6,53	7,03	92,9	0,0	51,64	0,13	29,3	3,92	530,6	5,4	1,08	
Encostas de Cuesta da Formação Sobral																								
MP15 - Xeric Haplocrypt ¹ - Endoleptic Cambisol (Hypereutric, Yermic) ²																								
A	0-13	8,67	8,13	-0,54	8,6	37	1171,6	4,78	2,32	0,00	0,3	12,28	12,28	12,58	97,6	0,0	41,48	0,90	38,6	0,00	25,2	24,0	0,53	
B	13-45	7,95	7,58	-0,37	104,1	73	165,9	22,82	1,61	0,00	0,3	25,34	25,34	25,64	98,8	0,0	2,85	0,51	42,9	1,09	276,9	58,6	0,83	
C	45-55	7,69	7,45	-0,24	32,7	84	267,1	20,53	1,41	0,00	0,3	23,31	23,31	23,61	98,7	0,0	4,98	1,01	41,2	1,60	263,2	46,4	0,79	
R	55-63 +	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MP16 - Lithic Cryorthent ¹ - Haplic Leptosol (Hypereutric, Aridic, Skeletic) ²																								
A	0-13	7,88	7,50	-0,38	180,9	77	610,0	6,12	1,98	0,00	0,5	10,95	10,95	11,45	95,6	0,0	24,22	1,01	41,9	1,04	92,4	25,9	0,65	
Cr	13-50 +	7,59	7,36	-0,23	156,4	100	388,1	18,50	2,19	0,00	0,5	22,64	22,64	23,14	97,8	0,0	7,45	0,89	53,4	1,17	76,4	45,2	0,98	

* pH em H₂O e KCL – Relação 1:2,5; ΔpH=(pH KCL - pH H₂O); P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich 1; Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio; ISNa - Índice de Saturação de Sódio; Mat. Org. (MO) = C.Org x 1,724 - Walkley-Black; P-rem = Fósforo Remanescente.¹Classificação pela Soil Taxonomy. ²Classificação pelo sistema WRB/FAO.

Tabela 6 - Atributos físicos do solo.

Horizonte		Cor	T	Granulometria (dag/kg)				Silte /Arg	Classe Textural	Cascalho dag/kg
	Prof. (cm)		°C	AG	AF	Silte	Arg			
Superfície Culminante Residual da Meseta										
MP21 - Typic Haplorthel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric, Aridic) ²										
Af	0-10	10YR 5/2 Grayish Brown	-0,2	11	49	27	13	2,0	Franco-Arenosa	-
B1f	10-17	10YR 5/1 Gray	0,0	9	43	39	9	4,3	Franco	0,0
B2f	17-35	10YR 5/1 Gray	-0,1	9	49	41	1	41	Franco-Arenosa	0,0
Cf	35-40+	10YR 5/1 Gray	-0,1	9	51	38	2	19	Franco-Arenosa	0,0
MP03 - Typic Haplorthel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric, Aridic) ²										
A	0-7	10YR 4/3 Brown	6,0	18	55	12	15	0,8	Franco-Arenosa	15,4
B	7-22	10YR 5/2 Grayish Brown	5,6	20	56	17	7	2,4	Franco-Arenosa	6,3
C	22-35	10YR 4/2 Dark Grayish Brown	1,6	22	62	14	2	7,0	Areia-Franca	13,4
Cf	35-42+	10YR 5/3 Brown	0,0	19	65	12	4	3,0	Areia-Franca	3,4
Superfície Estrutural da Submeseta										
MP04 - Typic Psammorthel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric, Arenic) ²										
A	0-10	7,5YR 4/1 Dark Gray	10,2	70	22	5	3	1,6	Areia	15,6
AB	10-18	7,5YR 4/1 Dark Gray	7,0	66	28	5	1	5,0	Areia	0,0
B1	18-44	7,5YR 4/1 Dark Gray	3,3	80	17	1	2	0,5	Areia	0,0
B2	44-56	7,5YR 4/1 Dark Gray	0,9	64	29	4	3	1,3	Areia	0,0
Cf	56-64 +	7,5YR 4/1 Dark Gray	0,2	73	23	2	2	1,0	Areia	0,0
Encostas Estruturais da Meseta										
MP05 - Typic Psammorthel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric, Arenic) ²										
A	0-6	10YR 4/2 Dark Grayish Brown	14,0	27	68	3	2	1,5	Areia	27,9
B1	6-15	10YR 4/6 Dark Yellowish Brown	10,7	18	77	2	3	0,7	Areia	1,0
B2	15-60	10YR 4/1 Dark Gray	3,4	6	90	2	2	1,0	Areia	0,0
Bf	60-65 +	10YR 5/1 Gray	0,2	3	94	3	0	-	Areia	0,0
MP06 - Typic Psammorthel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric, Arenic) ²										
A	0-5	10YR 3/2 Very Dark Grayish B.	12,2	26	60	8	6	1,3	Areia-Franca	55,5
B	5-25	10YR 4/3 Brown	6,5	35	52	9	4	2,2	Areia	52,0
C	25-65	10YR 3/3 Dark Brown	2,1	3	82	11	4	2,7	Areia-Franca	6,5
Cf	65-74 +	10YR 5/2 Grayish Brown	0,2	1	87	8	4	2,0	Areia	0,0
Encostas Fortemente Ravinadas (Badlands)										
MP08 - Typic Haplorthel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric) ²										
A	0-8	7,5YR 4/3 Brown	6,4	18	51	17	14	1,2	Franco-Arenosa	42,1
B1	8-37	7,5YR 3/3 Dark Brown	3,0	13	49	24	14	1,7	Franco-Arenosa	50,5
B2	37-70	7,5YR 4/3 Brown	0,1	1	53	29	17	1,7	Franco-Arenosa	0,0
B3f	70-79	7,5YR 5/4 Brown	-0,4	15	46	38	1	38,0	Franco-Arenosa	46,1
B4f	79-100 +	7,5YR 3/2 Dark Brown	-0,6	0	54	27	19	1,4	Franco-Arenosa	0,0
Encostas Estruturais Fortemente Dissecadas										
MP02 - Typic Haplorthel ¹ - Cambic Cryosol (Dystric) ²										
A	0-4	10YR 4/3 Brown	10,0	38	47	9	6	1,5	Areia-Franca	43,5
A2	4-12	10YR 4/4 Dark Yellowish Brown	7,1	20	64	9	7	1,3	Areia-Franca	19,8
B	12-25	10YR 5/6 Yellowish Brown	3,9	2	80	12	6	2,0	Areia-Franca	0,0
B2	25-37	10YR 4/3 Brown	2,2	5	71	12	12	1,0	Franco-Arenosa	0,0
BC	37-45	10YR 4/6 Dark Yellowish Brown	1,2	41	44	9	6	1,5	Areia-Franca	0,9
C	45-50	10YR 4/2 Dark Grayish Brown	0,1	52	40	2	6	0,3	Areia	0,0
Cff	50-54+	10YR 5/2 Grayis Brown	0,2	56	38	2	4	0,5	Areia	0,0
MP07 - Typic Psammorthel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric, Aridic, Arenic) ²										
A	0-4	10YR 4/2 Dark Grayish Brown	6,4	45	32	15	8	1,9	Franco-Arenosa	38,5
C1	4-21	10YR 4/1 Very Dark Grayish B.	3,1	62	19	13	6	2,1	Areia-Franca	5,3
C2	21-35	10YR 4/2 Dark Grayish Brown	1,6	61	20	15	4	3,7	Areia-Franca	24,5
C3	35-45	10YR 5/2 Grayish Brown	0,5	51	25	23	1	23,0	Areia-Franca	3,9
Cf	45-50 +	10YR 5/1 Gray	0,0	68	15	15	2	7,5	Areia-Franca	7,3
Terraços Marinheiros										
MP01 - Typic Haplogelept ¹ - Haplic Cambisol (Ruptic, Hypereutric, Gelic, Aridic) ²										
A	0-4	7,5YR 4/2 Brown	5,4	4	64	27	5	5,4	Franco-Arenosa	0,7
B	4-28	7,5YR 4/4 Brown	3,3	0	67	20	13	1,5	Franco-Arenosa	0,0
C1	28-45	7,5YR 5/2 Brown	2,5	2	63	24	11	2,2	Franco-Arenosa	0,0
C2	45-110	7,5YR 4/2 Brown	0,4	0	69	28	3	9,3	Franco-Arenosa	0,0
CBf	110-145	7,5YR 4/3 Brown	-1,0	0	69	27	4	6,7	Franco-Arenosa	0,0
2Bf	145-190	7,5YR 4/2 Brown	-1,0	1	68	22	9	2,4	Franco-Arenosa	0,0
3Bf	190-220+	7,5YR 4/1 Dark Gray	-0,7	0	70	26	4	6,5	Franco-Arenosa	0,0
MP11 - Typic Haplorthel ¹ - Cambic Cryosol (Hypereutric, Arenic) ²										
A	0-18	10YR 4/4 Dark Yellowish Brown	6,5	40	34	24	2	12,0	Areia-Franca	1,0
B	18-80	10YR 4/6 Dark Yellowish Brown	4,1	41	35	21	3	7,0	Areia-Franca	0,0
C	80-100	10YR 4/3 Brown	0,3	37	33	29	1	29,0	Franco-Arenosa	0,0
Cf	100-110+	10YR 3/4 Dark Yellowish Brown	-0,2	34	37	28	1	28,0	Franco-Arenosa	0,0

*T= Temperatura; AG = Areia grossa (2 - 0,20 mm); AF = Areia fina (0,20 - 0,05 mm); Arg. = Argila. ¹Classificação pela Soil Taxonomy. ²Classificação pelo sistema WRB/FAO.

Tabela 7 - Atributos físicos do solo.

Horizonte		Cor	T	Granulometria (dag/kg)				Silte /Arg	Classe Textural	Cascalho dag/kg
	Prof. (cm)		°C	AG	AF	Silte	Arg			
Sopés de Encostas Suavizados										
MP17 - Typic Haplorthel ¹ - Haplic Cryosol (Eutric) ²										
A	0-3	10YR 3/2 Very Dark Grayish Brown	11,2	1	32	39	28	1,4	Franco-Argilosa	0,0
B	3-39	10YR 4/4 Dark Yellowish Brown	1,8	1	18	56	25	2,2	Franco-Siltosa	0,0
Cf	39-55 +	10YR 4/1 Dark Gray	-0,9	3	19	56	22	2,5	Franco-Siltosa	0,0
MP09 - Typic Haplorthel ¹ - Haplic Cryosol (Eutric) ²										
A	0-20	10YR 3/2 Very Dark Grayish Brown	6,0	5	55	25	15	1,7	Franco-Arenosa	1,2
C1	20-32	10YR 4/4 Dark Yellowish Brown	2,2	0	24	49	27	1,8	Franco-Argilosa	0,0
C2	32-60	10YR 3/4 Dark Yellowish Brown	1,2	0	21	49	30	1,6	Franco-Argilosa	0,0
Cf	60 +	10YR 3/3 Dark Brown	-	1	26	61	12	5,1	Franco-Siltosa	1,0
Leques Aluviais										
MP12 - Typic Psammorthel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric, Arenic) ²										
A	0-20	10YR 3/2 Very Dark Grayish Brown	6,8	2	37	35	26	1,3	Franco	1,4
AC	20-21	-	2,8	-	-	-	-	-	-	-
2C	21-52	10YR 5/2 Grayish Brown	1,1	24	72	3	1	3,0	Areia	0,0
2Cf	52 +	10YR 5/2 Grayish Brown	0,1	11	85	2	2	1,0	Areia	0,0
Planície de Maré com Criogenic Mounds										
MP10 - Typic Haplorthel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric, Arenic) ²										
C1	0-50	10YR 4/3 Brown	2,4	4	71	16	9	1,8	Franco-Arenosa	0,0
C2	50-79	10YR 5/3 Brown	0,7	14	67	13	6	2,2	Areia-Franca	0,0
C3f	79-82 +	10YR 4/2 Dark Grayish Brown	-0,8	32	65	2	1	2,0	Areia	0,0
Encostas de Cuesta da Formação Sobral										
MP15 - Xeric Haplocryept ¹ - Endoleptic Cambisol (Hypereutric, Yermic) ²										
A	0-13	10YR 5/4 Yellowish Brown	8,1	43	31	18	8	2,2	Franco-Arenosa	15,7
B	13-45	10YR 4/6 Dark Yellowish Brown	2,6	30	52	16	2	8,0	Areia-Franca	0,0
C	45-55	10YR 4/3 Brown	1,6	42	43	14	1	14,0	Areia	47,0
R	55-63 +	-	0,5	-	-	-	-	-	-	-
MP16 - Lithic Cryorthent ¹ - Haplic Leptosol (Hypereutric, Aridic, Skeletic) ²										
A	0-13	10YR 4/3 Brown	5,5	49	26	15	10	1,5	Franco-Arenosa	45,0
Cr	13-50 +	-	2,1	52	24	22	2	11,0	Areia-Franca	69,4
Colinas Estruturais Pouco Dissecadas										
MP13 - Typic Psammorthel ¹ - Haplic Cryosol (Epieutric, Arenic) ²										
A	0-7	5Y 5/2 Olive Gray	6,6	43	48	4	5	0,8	Areia	14,7
C	7-65	5Y 6/3 Pale Olive	2,0	52	40	3	5	0,6	Areia	0,0
Cf	65+	5Y 6/2 Light Olive Gray	0,0	51	44	2	3	0,7	Areia	0,0
MP18 - Typic Psammorthel ¹ - Haplic Cryosol (Eutric, Arenic) ²										
A	0-8	2,5YR 5/2 Grayish Brown	3,4	68	28	3	1	3,0	Areia	9,0
B1	8-38	2,5YR 5/1 Gray	1,2	74	24	0	2	0,0	Areia	0,0
B2	38-70	2,5YR 5/2 Grayish Brown	0,4	72	26	1	1	1,0	Areia	0,0
Bf	70 +	2,5YR 5/2 Grayish Brown	0,1	66	31	3	0	-	Areia	0,6
MP19 - Typic Haplorthel ¹ - Cambic Cryosol (Eutric, Epiarenic) ²										
A	0-5	10YR 4/2 Dark Grayish Brown	0,1	21	62	8	9	0,9	Areia-Franca	38,6
B	5-13	10YR 6/3 Pale Brown	0,2	2	84	7	7	1,0	Areia-Franca	4,5
C1	13-29	10YR 6/6 Brownish Yellow	0,1	1	83	7	9	0,8	Areia-Franca	0,0
C2	29-42	10YR 4/3 Brown	0,1	1	74	14	11	1,3	Franco-Arenosa	0,0
Cf	42 +	10YR 5/1 Gray	0,0	1	87	9	3	3,0	Areia	0,0
MP20 - Typic Psammorthel ¹ - Cambic Cryosol (Hypereutric, Aridic, Arenic) ²										
A	0-10	10YR 4/3 Brown	0,0	26	50	13	11	1,2	Franco-Arenosa	0,0
C1	10-29	10YR 4/4 Dark Yellowish Brown	0,1	1	87	8	4	2,0	Areia	0,0
C2	29-54	10YR 4/6 Dark Yellowish Brown	0,1	0	90	5	5	1,0	Areia	0,0
Cf	54 +	10YR 5/2 Grayish Brown	0,0	1	89	8	2	4,0	Areia	0,0
MP23 - Glacic Psammoturbel ¹ - Glacic Turbic Cryosol (Eutric, Aridic) ²										
A	0-7	10YR 4/6 Dark Yellowish Brown	-0,1	3	75	14	8	1,7	Franco-Arenosa	-
C	7-55	10YR 6/4 Light Yellowish Brown	-0,4	0	75	24	1	24,0	Areia-Franca	0,0
F	55-60 +	-	0,0	-	-	-	-	-	-	-
MP22 - Typic Psammorthel ¹ - Cambic Cryosol (Hypereutric, Arenic) ²										
A	0-5	10YR 4/2 Dark Yellowish Brown	3,2	39	55	4	2	2,0	Areia	11,8
B	5-25	10YR 4/4 Dark Yellowish Brown	1,0	36	59	3	2	1,5	Areia	0,0
C	25-70	10YR 4/1 Dark Gray	0,6	41	57	2	0	-	Areia	0,0
Cf	70 +	10YR 4/1 Dark Gray	0,0	78	17	3	2	1,5	Areia	0,0
MP14 - Typic Psammorthel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric, Arenic) ²										
A	0-15	10YR 4/3 Brown	6,1	40	51	5	4	1,2	Areia	49,2
C	15-65	10YR 4/4 Dark Yellowish Brown	2,1	39	48	5	8	0,6	Areia-Franca	0,0
Cf	65 +	10YR 4/1 Dark Gray	-0,1	11	78	6	5	1,2	Areia	0,0

*T= Temperatura; AG = Areia grossa (2 - 0,20 mm); AF = Areia fina (0,20 - 0,05 mm); Arg. = Argila. ¹Classificação pela Soil Taxonomy. ²Classificação pelo sistema WRB/FAO.

3.2.1. Superfície de Cimeira Residual da Meseta

Este geoambiente se localiza na parte mais elevada da ISM, sobre o grande topo residual da Meseta. Ele corresponde a uma extensa superfície plana (10 % da área mapeada) (Figura 5), situada em cotas de aproximadamente 200 m, as mais altas observadas na Ilha. A geoforma típica é de um topo residual tabuliforme, não dissecado, que marca um nível de erosão-deposição glacial (Figura 6).

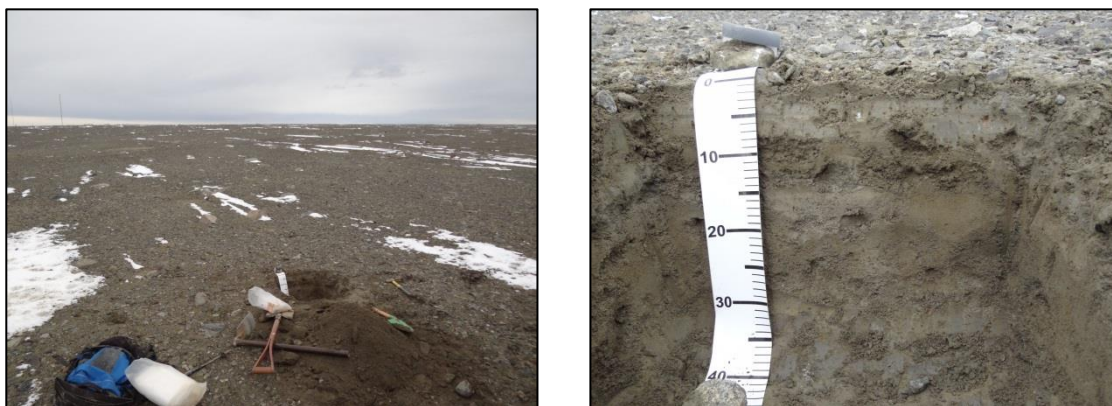


Figura 6 Aspecto da paisagem e do solo na Superfície de Cimeira da Meseta.

A origem desta geoforma está intimamente ligada à ação glacial pretérita na ilha, com o nivelamento generalizado da paisagem e deposição de material glacial (Till), proveniente da Península Antártica e outras ilhas (GAZDZICKI et al, 2004). Posteriormente à extinção da cobertura glacial, a ISM sofreu um soerguimento isostático por alívio de carga (OMOTO, 1994), responsável pela elevação deste patamar às cotas observadas atualmente. Uma vez expostos às condições de intemperismo e morfogênese periglaciais subaéreas diversos setores foram retrabalhados, sendo expostas as litologias subjacentes e originando os diversos tipos de encostas estruturais observadas. Um grande setor, no entanto, permaneceu protegido da erosão, mantendo o nivelamento e os materiais oriundos da fase glacial. Este setor coincide com a área de ocorrência deste geoambiente, apresentando caráter residual.

Tendo origem em deposição glacial, o substrato litológico que domina neste geoambiente é constituído por Till da Formação Weddell Sea, com origem no fim do Plioceno ou início do Pleistoceno. Este material é constituído por erráticos diversificados (plutônicos, metamórficos, vulcânicos ou ainda retrabalhados das litologias sedimentares subjacentes) inseridos em uma matriz argilo-siltosa (GAZDZICKI et al, 2004).

O relevo é plano, e a dissecação é inexpressiva neste ambiente. Devido à altitude elevada associada ao relevo plano, a ação eólica é evidente.

Foram coletados dois solos no domínio deste ambiente. Um representa a área central, totalmente desenvolvido a partir do Till (MP21), ao passo em que o outro foi coletado na borda do ambiente, já próximo à transição para litologias da Formação La Meseta em área pouco dissecada (MP03). Ambos foram classificados como Typic Haplorthel pelo sistema norte-americano de classificação dos solos, e como Haplic Cryosol (Hypereutric, Aridic) pelo sistema WRB/FAO. A classificação aponta para solos com permafrost (que ocorre a 35 cm de profundidade nos dois solos), associado a um conteúdo de C orgânico muito baixo (C Org. < 0,52 dag/kg) e influência eólica no horizonte superficial (Tabela 2).

Os solos se desenvolvem a partir do Till, e apresentam características distintas em relação aos solos desenvolvidos a partir de outras litologias. O pavimento epipedregoso é diversificado, em termos de tamanho, forma e composição dos clastos. Ele é formado em função da erosão eólica, que retira preferencialmente material fino, sendo concentrados clastos (das frações cascalho, calhau e matacão) superficialmente. No entanto, a concentração superficial de material grosseiro é apenas moderada, o que pode indicar uma certa resistência dos solos desenvolvidos do Till à ação erosiva eólica.

A influência do Till também se expressa nas características granulométricas da fração fina dos solos. A classe textural Franco-Arenosa é a mais comum destes solos (Tabela 6), e a maior contribuição de material fino (argila e silte) é associada à matriz argilo siltosa do Till. Uma baixa relação Areia Grossa/Areia Fina é característica dos solos deste ambiente. Os teores das frações Areia Grossa e Silte variou bastante entre os dois solos analisados, sendo que nas bordas do ambiente (MP03) observa-se menor teor de silte e mais de areia grossa comparado ao centro da área (MP21) (Tabela 6), em função de uma maior influência de material da formação La Meseta. MP03 apresentou textura Areia-Franca nos horizontes basais, denotando maior influência de materiais areníticos da formação La Meseta na parte mais profunda do perfil. A cor dos horizontes basais de MP03, tendendo a marrom, também aponta para a influência de materiais da Formação La Meseta.

Em termos de atributos químicos, os solos deste ambiente se caracterizam por reação básica (pH 7,2 - 8,6), alumínio trocável nulo, saturação por bases sempre maior que 90% (Tabela 2), características que apontam para o baixo desenvolvimento destes solos. Nota-se um pequeno incremento de matéria orgânica no topo do

permafrost ou na base do horizonte sobrejacente, o que pode indicar um processo incipiente de crioturbação.

Estes solos apresentam uma riqueza de bases muito móveis, como K e Na. Este dado indica uma lixiviação muito baixa no sistema, em função de fatores inerentes à paisagem. A ocorrência generalizada de permafrost raso, funcionando como um impedimento ao livre fluxo descendente da água, em conjunto com um relevo plano, que não favorece fluxos laterais subsuperficiais, e com uma alta taxa de evaporação de fato tornam estes solos sistemas bastante conservadores. Analisando a variação interna destes elementos nota-se que o solo do centro do ambiente (MP21) apresenta maior teor destas bases que o solo da borda (MP03) (Tabela 2), que se encontra em uma área de transição para a encosta, e portanto mais sujeita a fluxos laterais subsuperficiais.

3.2.2. Superfície Estrutural da Submeseta

Este geoambiente se localiza em planos estruturais elevados, laterais à meseta. Estes patamares são horizontalizados, com uma dissecação pouco desenvolvida, situados a cotas próximas a 170 m. Os patamares são sustentados por estratos mais competentes da formação La Meseta representados por arenitos resistentes. As litofácies mais (Telm7s) e menos (Telm7) resistentes formam um par rítmico ao longo das encostas da meseta, e setores mais resistentes sustentam superfícies menos resistentes situadas encosta acima. Os estratos resistentes impedem que a dissecação bem desenvolvida das encostas atinjam os patamares estruturais, contribuindo para a dissecação incipiente observada. Os estratos mais friáveis nivelam-se com os estratos resistentes, dando origem aos patamares. Este ambiente parece constituir um impedimento à erosão remontante, protegendo o setor de cimeira da ação erosiva.

O solo representativo deste geoambiente é o MP04, classificado como Typic Psammorthel pelo sistema americano de classificação dos solos, e como Haplic Cryosol (Hypereutric, Arenic) pelo sistema mundial. A classificação aponta para um alto conteúdo de areia neste solo.

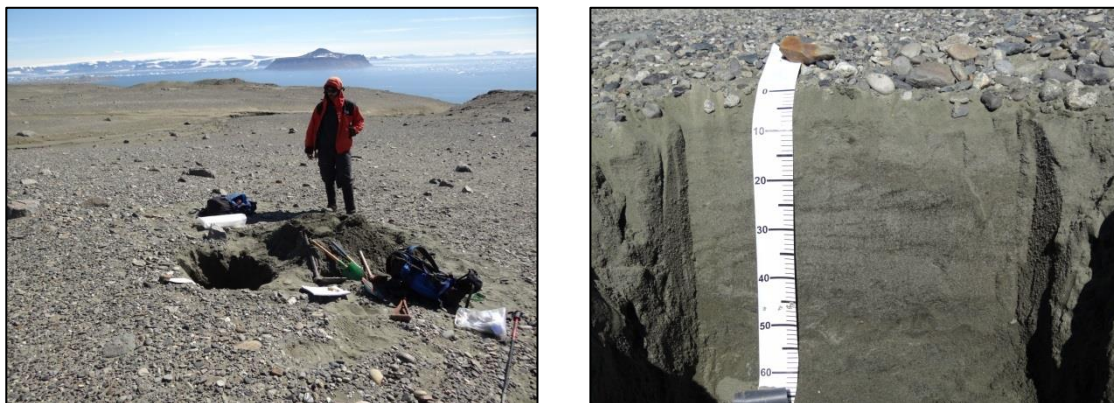


Figura 7 Aspecto da paisagem e do solo na Superfície Estrutural da Submeseta.

Os atributos texturais deste solo são diretamente associados às litologias areníticas da formação La Meseta. A classe textural Areia ocorre em todos os horizontes, com teores muito baixos de argila e silte (que somados alcançam no máximo $8 \text{ dag} \cdot \text{kg}^{-1}$) (Tabela 6). A relação Areia Grossa/Areia Fina apresenta valores elevados, como influência direta do material de origem arenítico.

Apesar de os solos se desenvolverem a partir de litologias areníticas da formação La Meseta, é notável a influência do Till na composição do pavimento epipedregoso. Este pavimento é bem desenvolvido, e apresenta uma composição herdada do till, com clastos de natureza vulcânica, plutônica e metamórfica (Figura 7). Este material é encontrado apenas em superfície, e os horizontes subsuperficiais se desenvolvem diretamente a partir dos arenitos da Formação La Meseta não apresentando fração grosseira. A ocorrência de pavimento epipedregoso herdado do Till aponta para a hipótese de degradação da superfície superior por erosão eólica. CAMPBELL & CLARIDGE (1987) afirmam que os pavimentos desérticos se formam como resultado da deflação pelo vento, formando uma cobertura protetora. De fato, o ambiente se situa em cotas elevadas, favoráveis à maior ação do vento. A maior susceptibilidade do material da formação La Meseta à erosão eólica em relação ao material da Formação Weddell Sea determinou um desenvolvimento muito maior do pavimento epipedregoso nos Patamares Estruturais em comparação à Superfície De Cimeira.

As características químicas deste solo apontam para a predominância de reações alcalinas, e alta saturação por bases ($V > 90 \%$ em todos os horizontes). O índice de saturação por sódio é baixo, não ultrapassando os 12% , o que indica uma retirada de bases mais móveis do sistema (Tabela 2). Nota-se um pequeno incremento de sódio em superfície e um maior incremento sobre o permafrost, indicando os fluxos ascendentes de solução, devidos à alta evaporação, e

principalmente os fluxos laterais subsuperficiais gerados sobre o permafrost. Este geoambiente favorece a ocorrência de fluxos subsuperficiais em direção aos canais que drenam as encostas da Meseta, que atuam como canais de exportação de cátions móveis como o Na. A textura rica em Areia Grossa e a baixa CTC favorecem a exportação de bases.

3.2.3. Encostas Estruturais da Meseta

Este ambiente se localiza no entorno do grande topo residual da meseta, fazendo o contato entre o topo e as partes mais rebaixadas da paisagem. Dessa forma, o geoambiente apresenta uma grande variação altitudinal, que abrange cotas de 50 a 190 m. O ambiente é constituído por encostas longas e declivosas, dissecadas por um grande número de ravinas (Figura 8). Na encosta se observam lentes resistentes que marcam linhas de afloramentos. Nas partes mais baixas ocorrem depósitos de tálus, que sofrem um processo atual de dissecação. Além disso se observam pequenos setores escarpados com exposição de rochas alteradas, principalmente nas ravinas. Este geoambiente apresenta grande expressão espacial, sendo o segundo ambiente mais extenso, correspondendo a 27 % da área mapeada (Figura 5).

O padrão da drenagem nas encostas da meseta é essencialmente radial centrífugo, constituído por uma série de canais encaixados de alto gradiente alimentados pelo derretimento da camada ativa. Estes canais mostram sinais de erosão atual, com dissecamento ativo das encostas e dos tálus.

Foram coletados dois solos distintos na área de abrangência deste geoambiente. Um solo representa o setor erosivo da encosta (MP05), coletado entre os terços médio e superior, a uma cota de 135 m. Outro solo foi coletado no terço inferior (MP06), sobre um depósito de tálus de sopé da encosta, a uma cota de 61 m. Ambos os solos apresentam contribuição de material depositado nas encostas, embora em escalas diferenciadas.

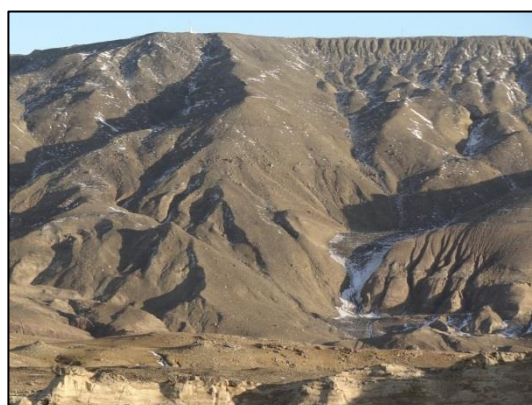
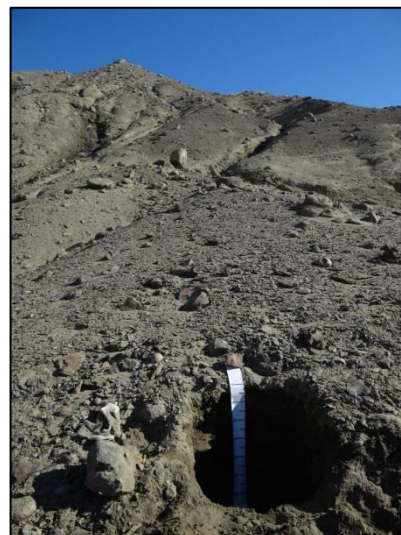


Figura 8 Aspecto da paisagem nas Encostas Estruturais da Meseta.

O MP05 se localiza em um setor muito declivoso da encosta, abaixo de uma linha de afloramentos. Nota-se a influência de material transportado no horizonte superficial (0-6 cm), com um conteúdo de fração grosseira elevado, apresentando epipedregosidade. Os clastos superficiais são bastante diversos em termos de tamanho, forma e grau de alteração, em função do transporte gravitacional pouco seletivo. Ocorrem inclusive grandes blocos (*boulders*) transportados da linha de afloramentos resistentes. O MP06 apresenta influência de material transportado até profundidades maiores (0-25 cm), reflexo da posição deposicional em tálus. O material transportado, representado pelos horizontes A e B, apresenta um conteúdo superior a 50 % em peso de fração grosseira, apresentando endopedregosidade. Os horizontes inferiores de ambos os perfis não apresentam fração grosseira e aparentam se desenvolver de alteração *in situ* das litologias da Formação La Meseta.

As características texturais destes solos apontam para um baixo conteúdo de argila e silte, com a dominância da classe textural Areia e ocorrência da classe Areia Franca (Tabela 6). A fração dominante nestes solos é Areia Fina. MP06 apresenta um conteúdo de argila + silte um pouco maior que MP05, em função do aporte de material

fino em ambiente de tálus. Os atributos texturais destes solos são relacionados com desenvolvimento a partir de litologias areníticas da Formação La Meseta.

Os atributos químicos destes solos evidenciam a ocorrência de horizontes ácidos (pH 4,9-5,9) num contexto geral alcalino (pH 7,0-8,6) (Tabela 2). Os horizontes de reação ácida apresentam características de maior desenvolvimento pedogenético, como desenvolvimento de cor (maior croma), menor soma de bases e saturação por bases, e maior saturação por alumínio e acidez potencial. Estes horizontes são muito pouco espessos, com cerca de 10 cm de espessura, e não se desenvolvem mais em função da instabilidade do ambiente e ocorrência de erosão. A ocorrência destes horizontes ácidos é atribuída a um processo de sulfurização incipiente, especialmente no solo MP05.

Estes solos apresentam baixos teores de cátions móveis. O índice de saturação por sódio em geral fica entre 5 e 8 %, sendo as outras bases responsáveis por grande parte da soma de bases. Este comportamento indica uma exportação de sódio através de fluxos laterais subsuperficiais que afloram na forma dos cursos d'água nas ravinas. Estes fluxos são favorecidos pela alta declividade associada ao permafrost raso, impedindo fluxos verticais descendentes.

3.2.4. Encostas Estruturais Fortemente Dissecadas

Este geoambiente corresponde a setores montanhosos situados a norte e a oeste da meseta. Ele é constituído por encostas íngremes intercalando vales encaixados a elevações proeminentes. O geoambiente apresenta uma grande variabilidade altudinal, ocorrendo em cotas de 15 a 150 m, abrangendo um pouco mais que 9 % da área mapeada.

O controle estrutural é claro na conformação do relevo deste geoambiente. O controle tectônico sobre a ocorrência de Encostas Estruturais Fortemente Dissecadas é confirmado pela coincidência de linhas de falha com as áreas de ocorrência do geoambiente. Controle estrutural devido a resistência diferencial de litologias também é observado. A ocorrência da litofácia Telm3s (Areias conglomeráticas conchíferas) corresponde, invariavelmente, a áreas de topo, ao passo em que a ocorrência de Telm3 (Areias com estratificação cruzada) corresponde às áreas fortemente dissecadas e rebaixadas. Este mecanismo também é observado na área de ocorrência da litofácia Telm5, onde estratos conchíferos resistentes delimitam áreas

elevadas (Figura 9). Nos locais onde a erosão em canais ultrapassa a camada de rochas resistentes, atingindo substratos mais friáveis, formam-se vales encaixados.

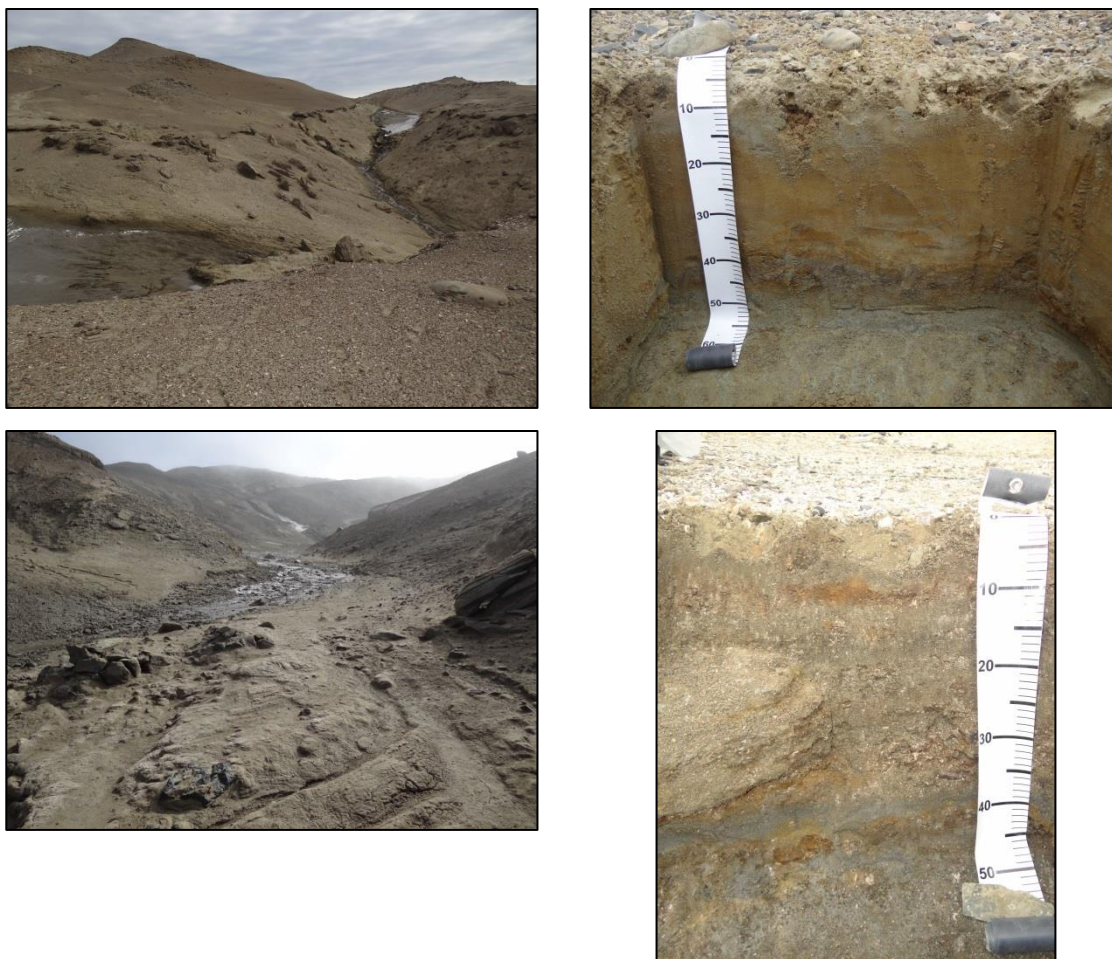


Figura 9 Aspecto da paisagem e dos solos das Encostas Estruturais Fortemente Dissecadas

Os solos coletados neste ambiente diferem muito entre si. Foi coletado um solo no terço superior de uma encosta estrutural fortemente dissecada, sobre litologia Telm5 (siltes e areias conchíferos) (MP02), e um solo em topo sobre litologia Telm3s (areias conglomeráticas conchíferas) (MP07). Os dois solos apresentaram concentração superficial de material grosseiro, constituindo pavimento epipedregoso. A origem deste pavimento é atribuída à erosão eólica diferencial, que retira preferencialmente material fino, concentrando clastos superficialmente. Os dois solos se situam em cotas elevadas, sujeitas à ação do vento.

O MP02 exhibe características que sugerem a ocorrência de solo sulfatado ácido e tiomórfico. Horizontes muito ácidos (pH 3,0-3,5) são observados a partir de 25 cm de profundidade, apresentando também baixa soma de bases e um forte incremento de H+Al no complexo de troca em relação aos horizontes não sulfatados (Tabela 3). A ocorrência do processo de sulfurização, que dá origem aos solos sulfatados, depende da presença de sulfetos submetidos a condições oxidantes.

Todos os solos desenvolvidos a partir da litofácies Telm5 da Formação La Meseta, independentemente da geoforma associada, apresentam características semelhantes. Este solo exibe caracteres de solo bem desenvolvido no contexto da área de estudo, apresentando um horizonte “Cambic”, com maior croma e desenvolvimento de estrutura fraca, pequena, em blocos angulares. Apesar das características químicas bastante diferenciadas, este solo foi classificado como Typic Haplothel pela Soil Taxonomy e como Cambic Cryosol (Dystric) pelo sistema WRB/FAO, não sendo possível uma distinção taxonômica entre os solos ácidos sulfatados dos solos alcalinos. A consideração da ocorrência de horizonte sulfúrico pelos sistemas de classificação permitiria uma distinção a nível de subgrupo.

O MP07, classificado como Typic Psammorthel pela Soil Taxonomy e como Haplic Cryosol (Hypereutric, Aridic, Arenic) pelo sistema WRB/FAO apresenta características químicas bastante diferenciadas quando comparado ao MP02, com reação alcalina (pH próximo ou maior que 8,0 em todos os horizontes) e baixa acidez potencial. Este solo apresenta Soma de Bases alta (até $23\text{cmol}_c\cdot\text{dm}^{-3}$), sendo importantes os cátions Ca e Na (Tabela 3). O Na, um cátion bastante móvel, se concentra superficialmente, em função da associação de baixa percolação vertical (permafrost a 45 cm de profundidade), baixa declividade e alta evaporação, que gera fluxos ascendentes de solução rica em Na. O índice de saturação por sódio é mais de duas vezes maior no horizonte superficial, e nota-se inclusive a formação de crostas salinas em superfície. Os teores de Ca são altos, respondendo por mais da metade da soma de bases, e se tornam maiores em profundidade, até o horizonte que antecede o permafrost. Dado o alto conteúdo conchífero deste solo, atribui-se a alta presença de Ca ao intemperismo das conchas.

Portanto, os solos deste ambiente são bastante diversificados, sendo os dois solos coletados diferentes em termos de características químicas. Os processos que originaram estes solos são os mais representativos da área de estudo, a sulfurização (MP02) e a salinização (MP07).

3.2.5. Encostas Fortemente Ravinadas (Badlands)

Este geoambiente é constituído por encostas muito íngremes e intensamente dissecadas, com um forte caráter erosivo (Figura 10). Formam-se canais de drenagem de pequeno comprimento e alta declividade, cuja intensa atividade erosiva de verão é atestada pelos cones de dejeção formados a jusante, em zonas de baixa

declividade. Entre estes canais se observam cristas proeminentes. Acima da zona de cristas e canais alternados é comum a ocorrência de escarpa, que marca o início da área de contribuição da rede de drenagem local. Esta escarpa dá origem a depósitos de tálus de menor declividade relativa, embutidos nas encostas das cristas, representando setores de menor declividade e maior estabilidade, ainda que bastante declivosos. Estes tálus sofrem forte erosão hídrica onde são cortados pelos canais.

Este geoambiente apresenta uma grande variabilidade altitudinal, ocorrendo de cotas superiores a 140 m, no contato com os topos das Encostas Estruturais Fortemente Dissecadas, a inferiores a 20 m, no contato com os depósitos recentes próximos ao nível do mar. Este grande desnível ocorre em uma curta distância, em encostas altamente declivosas.

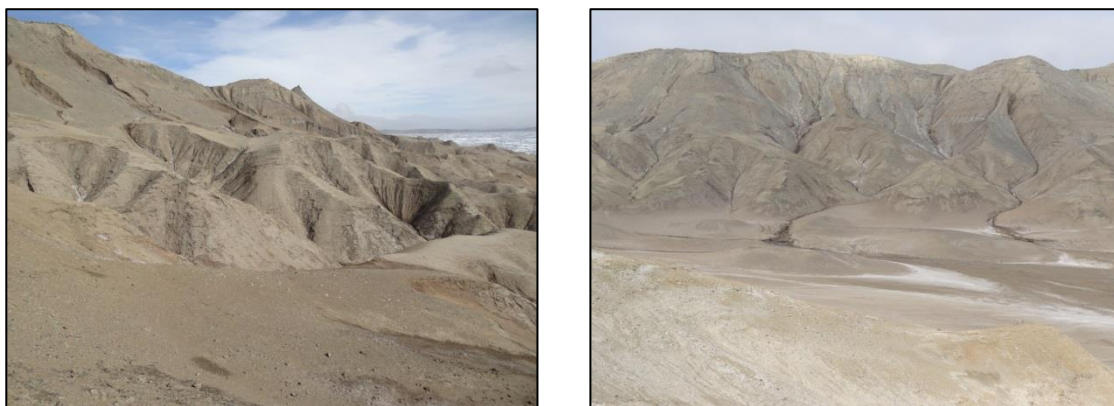


Figura 10 **Aspecto da paisagem nas Encostas Fortemente Ravinadas (Badlands).**

Em função da ocorrência de encostas muito íngremes e energéticas, não se observa formação de solos em grande parte da extensão do geoambiente, sendo comuns os afloramentos de sedimentos das formações La Meseta e Cross Valley. O desenvolvimento de solos ocorre em depósitos de tálus mais estáveis, ainda que apresentando forte declividade. Assim, os solos não se desenvolvem da rocha em si, e sim de depósitos de cobertura mais recentes.

O solo representativo deste ambiente foi coletado em um depósito de tálus (MP08), e o desenvolvimento a partir deste material conferiu a este solo características típicas, tais como endopedregosidade. O material grosseiro tem uma distribuição errática ao longo do perfil, testemunhando o caráter deposicional do material. É constituído por fragmentos de rocha angulosos e pouco alterados (típicos de depósitos de tálus), inseridos em matriz rica em argila (até $19 \text{ dag} \cdot \text{kg}^{-1}$) (Tabela 6), comparada aos outros solos da área de estudo. A classe textural dominante neste solo é Franco-Arenosa, e a maior contribuição de material fino (silte e argila) é

atribuída a provável deposição de material erodido da litofácies Telm2 (Arenitos e argilitos).

A ausência de um pavimento desértico desenvolvido aponta para uma erosão eólica pouco atuante neste ambiente, sendo mais importantes a erosão hídrica e gravitacional em função da alta declividade.

Os atributos químicos do MP08 indicam um acúmulo subsuperficial de cátions muito móveis, como K e Na, sobre o permafrost. Esta característica indica a provável ocorrência de fluxos laterais subsuperficiais de solução rica, favorecidos pela alta declividade associada a ocorrência de permafrost raso neste ambiente. O ambiente seria, portanto, exportador de sais para ambientes de acúmulo situados a jusante. De fato, nota-se crostas salinas ao longo dos pequenos canais que drenam o ambiente.

3.2.6. Colinas Estruturais Pouco Dissecadas

Este geoambiente ocupa vastas áreas de altitudes moderadas (cotas entre 10 e 75 m) situadas em torno da meseta. Este é o geoambiente de maior expressão espacial na área de estudo, respondendo por quase 30 % (5,09 km²) da área mapeada (Figura 5), e constituído por uma sucessão de colinas estruturais de topos mais ou menos concordantes, que se intercalam a planícies de deposição fluvio-glacial nas áreas rebaixadas.



Figura 11 Aspecto da paisagem e dos solos nas Colinas Estruturais Pouco Dissecadas.

As colinas apresentam uma baixa amplitude altudinal (10 – 75 m de amplitude total na área de ocorrência), e são sustentadas por estratos resistentes, em geral contendo abundantes fósseis conchíferos, que coincidem e limitam as áreas dos

topos. Nos setores onde a dissecação superou o estrato resistente expondo o substrato mais friável subjacente formam-se ravinas e vales rebaixados, abrigando ou não cursos d'água. É rara a ocorrência de afloramentos neste setor da paisagem, salvo estratos resistentes que ocasionalmente afloram nas bordas dos topos. Tatur et al (1993) afirmam que na área de rochas paleógenas na ISM, ocorre um caso especial de mineralização, em que bancos de areia são endurecidos e cimentados por hidróxidos de Fe. Ainda segundo este autor, estes bancos teriam sido formados em depressões concentradoras de soluções ácidas ricas em Fe, sendo expostos por um processo posterior de erosão das areias soltas ao redor, numa inversão do relevo. Esta parece ser uma possível explicação para a origem dos estratos resistentes de altitudes semelhantes que sustentam as colinas.

Este ambiente abrange uma grande variedade de litofácies da Formação La Meseta, que desenvolveram um relevo similar. Podem ser listadas as litofácies Telm2, Telm2s, Telm3, Telm4, Telm5, Telm5s, Telm6 e Telm7 (Figura 2). Dessa forma, o substrato relacionado à ocorrência de colinas estruturais abrange de Argilitos a Arenitos resistentes. Merece menção o relevo diferenciado desenvolvido na área de ocorrência de Telm4 (Estrato espesso conchífero, de textura grossa e alto conteúdo de dentes e ossos fosfáticos), que corresponde a uma crista com afloramentos que corta vasta extensão das colinas.

Os atributos dos solos coletados neste geoambiente apontam para um domínio de solos sulfatados ácidos. Dos sete perfis coletados na área de abrangência das Colinas (MP13, MP14, MP18, MP19, MP20, MP22, MP23), apenas dois não apresentaram características químicas de solos sulfatados (MP18, MP22). Os solos sulfatados se desenvolveram a partir das litofácies Telm2s, Telm3 e Telm5. Neste ambiente, estas parecem ser as litologias que contém sulfetos, necessários à ocorrência do processo de sulfurização.

Com o soerguimento isostático da ilha (OMOTO, 1994), sedimentos marinhos contendo sulfetos foram expostos a condições oxidantes. Através do processo de sulfurização formaram-se solos com horizontes apresentando pH extremamente baixo, e uma cor amarelada (croma 4-6) (Tabelas 4 e 7) atribuída à presença de jarosita (um sulfato de ferro formado como produto da oxidação dos sulfetos – $\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$) e óxidos amorfos de Fe. O pH baixo favorece o intemperismo dos silicatos, com liberação de Al e consequente enriquecimento deste cátion no complexo de troca dos solos. Dessa forma, a acidez trocável e a saturação por Al dos solos

sulfatados é sensivelmente maior que dos solos não-sulfatados, ao passo em que a saturação por bases é menor (Tabela 4).

A comparação dos dados químicos dos solos sulfatados e não sulfatados dentro do geoambiente evidencia as diferenças:

- pH: Horizontes sulfatados: 2,9-4,6. Horizontes não sulfatados: 5,3-8,5.

-Acidez Potencial (H+Al): Horizontes sulfatados: 2,6-14,2 $\text{cmol}_c\cdot\text{dm}^{-3}$. Horizontes não sulfatados: 0,5-2,1 $\text{cmol}_c\cdot\text{dm}^{-3}$.

Os valores de pH mais altos observados neste geoambiente ocorreram em horizontes superficiais de solos sulfatados, atingindo valores maiores que 8, nos perfis MP19 e MP20. Estes horizontes apresentam alto conteúdo de Na, e o índice de saturação de sódio varia de 22 a 41 %, sendo possível a identificação de um processo de sodificação, que é acompanhado por elevação de pH (KÄMPF e CURTI, 2012). Nos horizontes superficiais, livres da formação de ácido sulfúrico pelo processo de sulfurização, a presença do sódio se expressa como altos valores de pH. Por outro lado, os menores valores de pH ocorreram em horizontes sulfatados do MP13 e MP14, coincidentes com conteúdos de Na baixos, e índices de saturação por sódio que não ultrapassam os 3,5 %.

A ocorrência de solos sulfatados é condicionada pela natureza do material de origem. Assim, os solos desenvolvidos a partir das litofácies que contém sulfetos (Telm2s, Telm3 e Telm5) apresentam características de solos sulfatados ácidos. Dada a distribuição ampla destas litologias (Figura 2) neste geoambiente, este se torna um domínio de solos sulfatados. Ocorrências localizadas de litofácies que não contém sulfetos (Telm4 e Telm5s) coincidem com solos não-sulfatados no domínio do geoambiente.

Mesmo apresentando distrofia nos horizontes sulfatados, onde as bases são substituídas por Al e H no complexo de troca, todos estes solos apresentaram alta saturação por bases em espessuras suficientes para ser classificados como apresentando o caráter “Eutric” (IUSS, 2006). Em geral se nota uma saturação por bases maior em direção à superfície, podendo ocorrer caráter “Epieutric”.

A análise dos atributos texturais dos solos deste geoambiente permite observar que os perfis que apresentam horizontes sulfatados coincidem com os solos de textura mais fina no contexto pedológico das Colinas, com classe textural variando de Areia a Franco-Arenosa (Tabela 7). Os solos não sulfatados apresentam classe

textural Areia, nunca apresentando mais que $2 \text{ dag} \cdot \text{kg}^{-1}$ de argila. A presença de material fino (argila e silte) no material de origem dos solos sulfatados é importante por favorecer condições redutoras no ambiente de deposição do material, condição necessária à deposição de sulfetos. Sedimentos muito arenosos não favorecem a formação de sulfetos no ambiente de deposição. Além disso, o próprio processo de sulfurização, na medida em que favorece maiores transformações nestes solos, pode ser responsável por uma maior produção de argila.

No entanto, os horizontes ácidos sulfatados coincidem com os horizontes de textura mais grosseira dentro de cada solo, em geral contendo menos de $5 \text{ dag} \cdot \text{kg}^{-1}$ de argila. Durante o processo de pedogênese, sedimentos contendo sulfetos tendem a expressar mais características de solos sulfatados nos horizontes mais oxidantes, que coincidem com os horizontes de textura mais grosseira.

3.2.7. Encostas de Cuesta da Formação Sobral

Este geoambiente se desenvolve sobre litologias da formação Sobral, aflorantes no extremo norte da Ilha Seymour/Marambio, abrangendo cotas de 0 a 90 m. Conforme descrito por Nozal et al (2007), os afloramentos de Sobral tendem a apresentar uma forma cuestiforme, fato confirmado na área de estudo. A ocorrência deste geoambiente corresponde a uma cuesta com mergulho em direção leste.

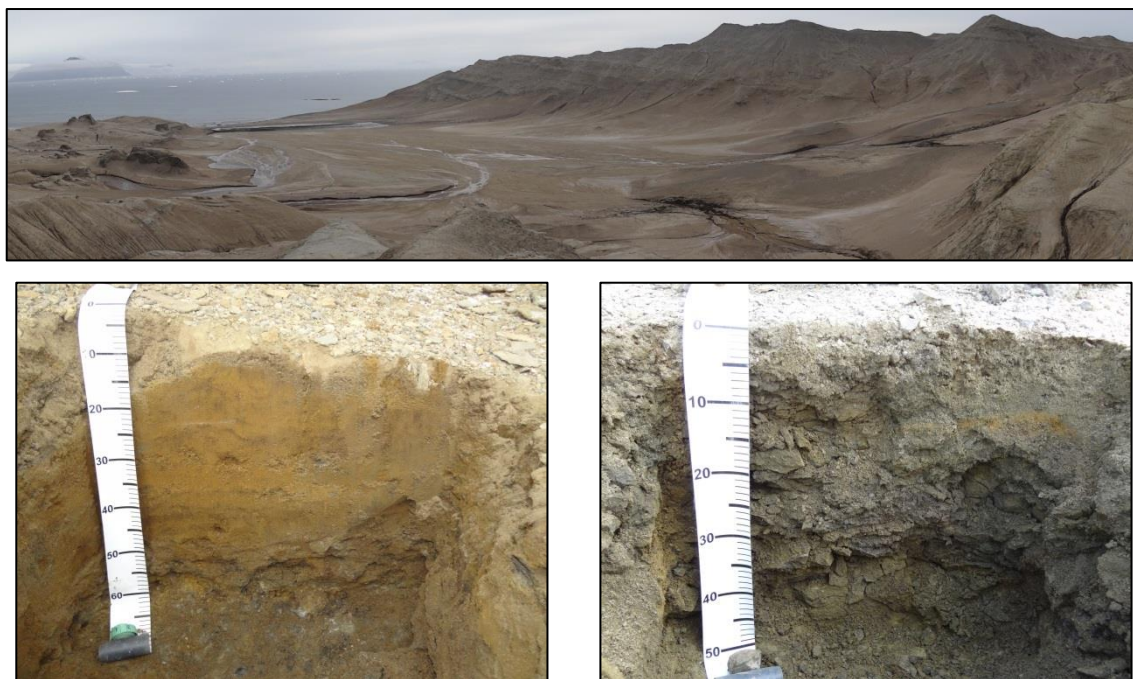


Figura 12 Aspecto da paisagem e dos solos nas Encostas de Cuesta da Formação Sobral

O geoambiente possui dois setores diferenciados. O primeiro é constituído pelas encostas íngremes da frente de cuesta, dominando afloramentos da litofácia Tps3, contendo estratos de arenitos resistentes, glauconíticos, que formam linhas de afloramentos (SADLER, 1988). Este setor se desenvolve nas encostas sul, oeste e norte do maciço, em áreas com maior expressão da erosão. O segundo setor corresponde à encosta leste, menos íngreme, e que acompanha o mergulho das camadas. Nele predomina a ocorrência da litofácia Tps4 embora ocorra a Tps3 em áreas mais dissecadas.

A resistência das rochas da Formação Sobral à desagregação mecânica e transformação química aparenta ser maior que o normal para outras litologias na área de estudo. De fato, Sadler (1988) chama a atenção para as camadas de arenitos grossos, endurecidos e glauconíticos que marcam a ocorrência da litofácia Tps3, que comumente marcam linhas de pequenos rochedos. Rochedos de arenitos marcam também a ocorrência de Tps4. As vertentes das encostas de cuesta evidenciam aprofundamento da dissecação muito menos expressivo que em outros geoambientes de encosta da área de estudo.

Aparentemente os solos se desenvolvem diretamente da rocha subjacente, com uma contribuição pouco expressiva de materiais transportados. O desenvolvimento a partir de um material de origem resistente conferiu a estes solos características singulares no contexto da área de estudo. Estes solos são embasados por rocha, apresentando contato lítico ou lítico fragmentário. Ao contrario do normal para os solos encontrados em outros geoambientes na área de estudo, estes solos não se desenvolvem integralmente sobre material pré-inconsolidado pela ação da crioclastia.

Outra característica distintiva dos solos deste geoambiente é a ausência de permafrost. Esta característica é confirmada pela observação de temperaturas positivas até o contato lítico. Este comportamento é atribuído à alta resistência do material de origem, responsável pela manutenção de rocha inalterada até profundidades menores que a ocorrência de permafrost.

A ausência de permafrost determinou uma classificação bastante distinta para estes solos, que diferem dos outros na área de estudo já em nível de ordem. Assim, os solos são classificados como:

-MP15: Xeric Haplocryept (Classificação pela Soil Taxonomy); Endoleptic Cambisol (Hypereutric, Yermic) (Classificação pela WRB/FAO);

-MP16: Lithic Cryorthent (Classificação pela Soil Taxonomy); Haplic Leptosol (Hypereutric, Aridic, Skeletic) (Classificação pela WRB/FAO)

A análise dos atributos texturais dos solos deste geoambiente apontam para um alto conteúdo de material grosseiro, especialmente nos horizontes basais, ao passo em que a textura se torna mais fina em direção à superfície (Tabela 7). Esta característica aponta a favor da ideia de solos desenvolvidos *in situ* a partir de substrato resistente. Assim, os horizontes são mais desenvolvidos mais próximos da superfície, e se tornam menos desenvolvidos em profundidade, com grande contribuição de material da rocha. É observado o desenvolvimento de um “Cambic Horizon” em MP15, desenvolvido em ambiente de topo mais estável. Já em MP16, desenvolvido em encosta de frente de cuesta, não se nota o desenvolvimento de horizonte B, com horizonte Cr esquelético presente a pequena profundidade.

Os atributos químicos deste solo apontam para predominância de reações alcalinas. Diversos elementos se concentram em profundidade (P, K, Ca, Zn, Fe, Mn), corroborando com a ideia de menor desenvolvimento dos horizontes mais profundos. O Na se concentra em superfície, e o índice de saturação por sódio nos horizontes superficiais apresenta grande contraste com os horizontes subsuperficiais (Tabela 5). Este comportamento é mais drástico no topo do ambiente, e é explicado pelo impedimento ao fluxo subsuperficial exercido pelo contato lítico associado a baixa declividade e alta evaporação. No entanto, se observa este comportamento também nas encostas. A ocorrência de acúmulo de Na em ambiente de encosta é exclusivo deste geoambiente, se observando inclusive a formação de crostas salinas.

3.2.8. Planícies Fluvio-Glaciais

Este geoambiente se localiza em partes rebaixadas da paisagem, coincidindo com a área de deposição de cursos d'água de baixo gradiente. Ele é marcado por uma declividade baixa, e sua localização coincide sempre com cotas abaixo de 40 m. Em função da baixa declividade, a ocorrência mais comum das Planícies Fluvio-Glaciais se dá inserida entre as Colinas Estruturais. No entanto, ocorrem planícies inseridas em outros domínios, como em partes deprimidas das Encostas Estruturais Fortemente Dissecadas e Sopés de Encostas Suavizados.

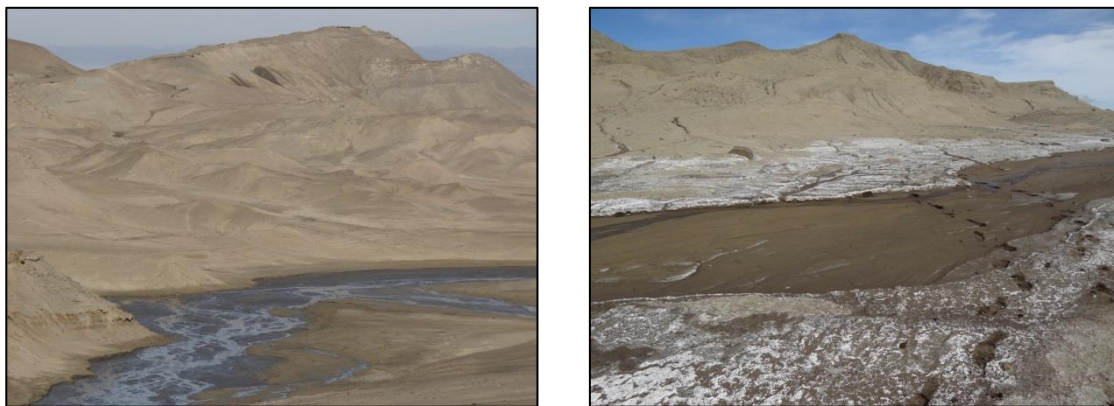


Figura 13 **Aspecto da paisagem de ocorrência das Planícies Fluvio-Glaciais**

Os rios que se localizam sobre as planícies são constituídos por canais anastomosados que mudam constantemente de curso, apresentando uma grande relação largura/profundidade. O regime hídrico nestes rios é marcadamente sazonal, correndo apenas durante os meses de degelo. A principal fonte de alimentação destes rios é o degelo da camada ativa que se forma no inverno, embora deva ser considerado também o derretimento da neve. Sobreposta à superfície pouco permeável do permafrost, a água flui por fluxos subsuperficiais laterais até aflorar nas ravinas das encostas, que se unem nas áreas mais baixas para formar os rios de planície. Além da variação anual no regime hídrico destes rios, nota-se uma grande variação de vazão entre os dias ensolarados e sem sol.

Em função do constante aporte e remobilização dos sedimentos, não se observa a formação de solos no domínio das Planícies Fluvio-Glaciais. O substrato é composto por sedimentos fluvio-glaciais recentes e atuais, provenientes da decomposição e mobilização das litologias situadas nas áreas de contribuição das bacias. A maior parte das planícies mapeadas encontra-se inserida em bacias integralmente inseridas no domínio da Formação La Meseta. Este geoambiente possui um caráter fortemente deposicional, e está sujeito ao aporte sazonal de sedimentos e solução rica proveniente das encostas situadas a montante.

O aporte de solução proveniente das encostas dá origem a crostas salinas situadas nas margens dos cursos d'água. A água rica em bases se concentra nas planícies, e flui por capilaridade para as margens, em função de um gradiente de umidade. Aí, a alta evaporação promove um fluxo ascendente da água, e quando ultrapassado o seu produto da solubilidade, os sais se precipitam, concentrando-se superficialmente. Formam-se crostas salinas esbranquiçadas de grande escala (vide Figura 13).

3.2.9. Sopés de Encostas Suavizados

Este geoambiente se situa abaixo de encostas estruturais íngremes, e representa setores arrasados por erosão, formando níveis baixos (cotas menores que 20 m) e de baixa declividade. A ocorrência de setores arrasados e muito erodidos coincide com a ocorrência de litofácies frágeis, friáveis e facilmente erodíveis da formação La Meseta, podendo ser listadas como as mais importantes Telm1, Telm2 e Telmm.

De acordo com Sadler (1988), a base da formação La Meseta é formada por areias finas e siltes, contendo conchas, representada pela litofacie Telm1. Setores friáveis deste material que contém blocos das formações Sobral e Cross Valley inseridos na matriz representam Telmm. E a litofacie com grande conteúdo de argila e pobre em conchas, caracterizada por relevo baixo, é denominada Telm2.

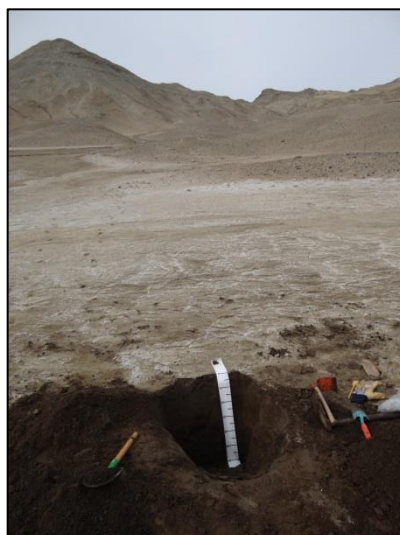


Figura 14 Aspecto da paisagem nos Sopés de Encostas Suavizados

A ação erosiva sobre estas litologias deu origem a um relevo rebaixado e pouco íngreme, pouco mais alto que os níveis de base locais. Alguns setores apresentam as litofácies alteradas *in situ*, extremamente rebaixadas e erodidas (representados por MP17). Em outros setores estas litologias são recobertas por sedimentos de encosta com baixa declividade, que formam suaves rampas no pé de encostas íngremes (representados por MP09).

Embora a origem deste geoambiente seja marcada por forte erosão, responsável pelo arrasamento da paisagem, atualmente o ambiente mostra um caráter misto, com setores erosivos e setores deposicionais intercalados.

Ambos os solos (MP09 e MP17) são classificados como Typic Haplorthel pela Soil Taxonomy e como Haplic Cryosol (Eutric) pelo sistema WRB/FAO.

O MP09 se desenvolve em um depósito de encosta suavizado, situado ao lado de planície flúvio-glacial. Dada a curta distância e pequena diferença de altura para a planície, este solo está sujeito ao aporte de solução rica e consequente salinização. De fato, a observação das características químicas deste solo aponta para um alto conteúdo de Na em todo o perfil (às vezes superando os $1000 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) (Tabela 3), com maior concentração em superfície no topo do permafrost. Também se observa formação de crosta salina superficial. Portanto, o ambiente está sujeito ao aporte de sais pelas águas fluviais, e as bases se concentram superficialmente devido à alta evaporação, e subsuperficialmente devido ao impedimento à percolação representado pelo permafrost. Mesmo com alta presença de sódio, o perfil exhibe valores de pH muito baixos, em função de um drástico processo de sulfurização. Apenas o horizonte superficial, apresentando um índice de saturação por sódio de 22 % apresenta reação alcalina. Os horizontes subsuperficiais, com índices de saturação por sódio sempre menores que 15 % expressam muito bem características químicas de solos sulfatados ácidos. Assim, o horizonte Cf, que melhor expressa estas características, apresenta um pH menor que 3, associado a uma saturação por alumínio maior que 30 % e uma acidez potencial de $27 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$, a maior observada entre os solos estudados (Tabela 3). A análise textural deste solo aponta para uma textura fina, variando de Franco-Arenosa a Franco-Argilosa (Tabela 6).

O perfil MP17, desenvolvido da alteração da litofácies *Telm2 in situ*, apresenta algumas características semelhantes. Ele também exhibe características de solo sulfatado ácido, com pH baixo (3,1-4,2), alta acidez potencial (até $17 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) e alta saturação por alumínio (até 25 %) (Tabela 3). No entanto, neste solo se verifica uma concentração subsuperficial de Na, com o permafrost apresentando um índice de saturação por sódio de 40 %, e o maior valor de pH observado ao longo do perfil. Portanto, é possível concluir que este solo é menos influenciado pelo aporte fluvial de solução rica, sendo esta influência mais importante apenas em profundidade. A textura muito fina deste solo (com teor de argila variando de 22 a $28 \text{ dag} \cdot \text{kg}^{-1}$, o solo com maior contribuição de argila entre os solos amostrados) e a alta CTC ($> 24 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) impede fluxo ascendente de solução rica, retendo as bases na área de influência direta do aporte, em profundidades maiores.

As características químicas e texturais são semelhantes nos dois solos amostrados no geoambiente, apesar de se desenvolverem a partir de materiais

diferentes (rochas pelíticas e sedimentos de encostas). A convergência de características é explicada pela grande importância de litofácies Telm2 na área de contribuição dos depósitos de encosta. Na verdade, trata-se do mesmo material, ora aflorando como rocha *in situ*, ora como sedimento remobilizado das encostas.

A análise destes dois solos permite mais uma vez relacionar a ocorrência de solos sulfatados ácidos a solos com textura rica em argila e silte. Estes dois solos, desenvolvidos de material de origem rico em fração fina (em última análise, de rochas pelíticas representadas pela litofácies Telm2) são os que apresentam maior contribuição de argila e silte, e têm em comum as características de solos sulfatados ácidos. Esta relação se explica pela condição redutora predominante no ambiente de deposição de material fino que deu origem a Telm2, favorável à acumulação de sulfetos.

3.2.10. Terraços Marinhos

Este geoambiente se situa próximo à costa, e a área mapeada dentro da área de estudo se situa junto à foz de um rio. Ele é caracterizado por apresentar baixa declividade e se situar em cotas baixas (cotas menores que 20 m). Ele é constituído por terraço horizontalizado, soerguido. A exposição deste setor representa as fases finais do soerguimento isostático experimentado pela Ilha. Ele possui pequena expressão espacial, correspondendo a 1 % da área mapeada (Figura 5).

O substrato é composto por sedimentos estuarinos recentes, exibindo uma clara estratificação cruzada, até pelo menos a profundidade de 200 cm (vide Figura 16). São observadas inúmeras camadas de pequena espessura de diferentes composições. Desta forma, nota-se a influência de material marinho intercalado a material transportado da área de contribuição do rio, integralmente inserida na formação La Mesta.

O nível do terraço sofre atualmente uma dissecação localizada, formando-se cânions abrigando pequenos cursos d'água. Dada a curta distância para a linha da costa, estes cânions se desenvolvem por erosão remontante dissecando profundamente o substrato altamente friável representado pelos sedimentos estuarinos recentes. Um curso d'água maior proveniente das colinas estruturais também diseca o nível dos terraços, formando um vale mais desenvolvido abrigando um setor de planície fluvio-glacial, que separa o domínio dos terraços em duas unidades mapeadas.

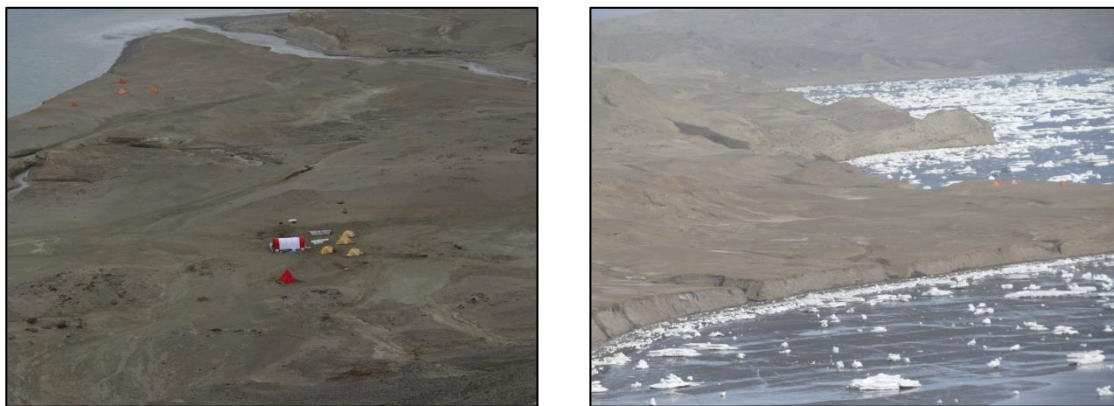


Figura 15 Aspecto da paisagem nos Terraços Marinhos.



Figura 16 Aspecto do solo nos Terraços Marinhos

O solo coletado neste ambiente (MP01) apresenta alto conteúdo de sódio ($1600 - 4600 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), que corresponde a um índice de saturação por sódio de 21 a 54 % (Tabela 3). Este é o solo mais sódico dentre os solos estudados. O alto conteúdo de sódio pode ter origem marinha e se relacionar com a recente emersão do material do terraço, com consequente baixa lixiviação deste material. A distribuição deste elemento ao longo do perfil mostra pequeno acúmulo em superfície, níveis moderados nos horizontes medianos, e teores muito altos no permafrost. O solo sofre um processo atual de exportação de sódio, fato confirmado pelos menores teores nos horizontes sujeitos à percolação da água (acima do permafrost). O permafrost, imune à ação da água percolante, mantém altos níveis de sódio. Apesar dos altos níveis de sódio, não se notam crostas salinas superficiais neste ambiente. Além disso, o acúmulo de sódio no horizonte superficial é modesto em termos de índice de saturação por sódio. O maior teor absoluto de sódio no horizonte superficial é mais devido à maior CTC que a um acúmulo de fato. Assim, é possível concluir que a profunda dissecação do terreno, até níveis mais baixos que o permafrost, é

responsável pela geração de fluxos subsuperficiais exportadores de sais, mesmo em um ambiente com baixa declividade.

Este solo apresenta eutrofia, apresentando inclusive caráter “Hypereutric” pela classificação WRB/FAO. O sódio representa cerca de metade das bases saturando todos os horizontes.

O solo (MP01) apresenta características de solos sulfatado ácido até a profundidade de 110 cm. Nesta faixa de profundidades, o pH varia em torno de 3,5, a acidez potencial é maior que $7 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$, e o índice de saturação por sódio é menor que 40 %. Os horizontes que coincidem com o permafrost, a partir de 110 cm de profundidade, já exibem pH mais elevado, próximo a 7, ao passo em que a acidez potencial cai para menos de $1 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ e o índice de saturação por sódio ultrapassa os 50% (Tabela 3). O processo de sulfurização neste solo aparenta ser bastante drástico, suficiente para a expressão de pH muito baixo mesmo em um sistema com alta saturação por sódio.

As características texturais deste solo apontam para um componente fino (argila e principalmente silte) importante, com a classe textural Franco-Arenosa dominando em todos os horizontes (Tabela 6). Esta pode ser considerada uma característica física inerente aos solos ácidos sulfatados encontrados na área de estudo.

Uma vez que o rio responsável pela deposição de parte dos sedimentos que compõe o terraço corta vastas áreas coincidentes com as litofácies Telm3 e Telm5, áreas estas dominadas por solos sulfatados ácidos, é possível estabelecer uma relação entre o material erodido destas litologias (que contém sulfetos) com o material de origem do MP01. Além disso, deve ser considerado o aporte marinho recente, anterior ao soerguimento e emersão do Terraço.

O perfil MP01 apresenta permafrost profundo, a partir de 110 cm de profundidade. Além disso, não existem indícios de crioturbação expressiva neste solo, sendo as camadas dos sedimentos muito bem preservadas. Desta forma, é impossível sua classificação como Criosol ou Gelisol, sendo este solo classificado como Typic Haploglept pela Soil Taxonomy e como Haplic Cambisol (Ruptic, Hypereutric, Gelic, Aridic) pelo sistema WRB/FAO.

3.2.11. Leques Aluviais

Este geoambiente coincide com leques aluviais, ou cones de dejeção, constituídos por sedimentos fluviais. Estas formas se desenvolvem em setores de baixa declividade situados imediatamente a jusante de setores de alta declividade (Encostas Fortemente Ravinadas (Badlands)) (Figura 17). A erosão ativa nas zonas de Encostas Fortemente Ravinadas (Badlands) mobilizam sedimentos que se depositam ao atingir áreas menos declivosas, onde os canais encaixados responsáveis pela erosão transicionam para canais mal definidos, que mudam constantemente de curso, resultando na forma típica dos Leques Aluviais. A grande amplitude lateral dos leques resulta na coalescência de diversas unidades. Desta forma, os leques são formados por material erodido e transportado das ravinas por canais fluviais de pequena escala, que se depositam à entrada do plano costeiro (OMOTO, 1994).

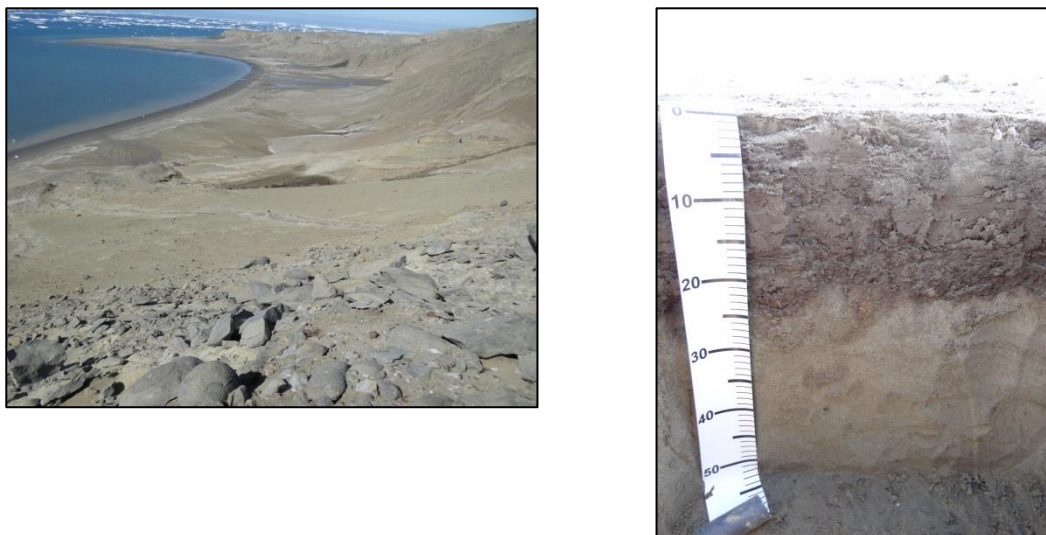


Figura 17 Aspecto da paisagem e do solo nos Leques Aluviais.

Este ambiente se localiza invariavelmente em baixas altitudes (cotas menores que 10 m), e apresenta uma baixa declividade em direção às praias. Ele apresenta uma expressão espacial muito pequena, correspondendo a menos de 1 % da área mapeada (Figura 5). Os leques aluviais são constituídos por sedimentos bastante recentes, provenientes de ravinamentos nas encostas próximas, que recobriram sedimentos marinhos anteriores. Toda a zona plana localizada entre a costa e as encostas ao longo de Larsen Cove (enseada na porção NE da ISM) é embasada por sedimentos marinhos costeiros arenosos, e não tem uma relação direta com as litologias aflorantes na Ilha. Os sedimentos posteriores dos leques aluviais por sua vez são oriundos das litologias aflorantes nas encostas.

O perfil de solo (MP12) mostra uma clara descontinuidade no material de origem, que é evidenciada pelo contraste de atributos químicos, físicos e morfológicos (Figura 17) entre o horizonte superficial e os subsuperficiais. O horizonte superficial corresponde à parte do solo efetivamente desenvolvida a partir dos sedimentos fluviais, e apresenta uma textura sensivelmente mais fina (classe textural Franco), assim como uma maior CTC e riqueza de bases em comparação aos horizontes subsuperficiais, desenvolvidos a partir de sedimentos marinhos enterrados (classe textural Areia)

A localização em planície, marcada por deposição e aporte de águas fluviais determina uma acumulação de sais que é comprovada pela acumulação de crostas salinas superficiais. Nota-se também uma acumulação de Na, Ca e Mg no horizonte superficial. Tendo-se em vista o aporte fluvial destes sais, conclui-se que estes são provenientes das encostas dissecadas (Encostas Fortemente Ravinadas (Badlands)), onde o intemperismo libera uma solução rica. O transporte desta solução é favorecido pela alta declividade das encostas associada ao impedimento ao livre fluxo vertical, representado pelo permafrost localizado a pequena profundidade, gerando-se um fluxo lateral que aflora na forma dos pequenos canais de drenagem. Ao atingir a área de planície, com consequente diminuição da velocidade e aumento da área superficial do escoamento, a elevada evaporação favorece a precipitação de sais na forma de crostas superficiais e nas camadas superiores do solo.

3.2.12. Planície de Maré com Criogenic Mounds

Este geoambiente se desenvolve em uma planície de maré composta por dois níveis. O nível inferior representa a área efetivamente inundável, sujeita ao aporte atual de material marinho. O nível superior é composto por elevações isoladas convexas, remodeladas pelo vento. O ambiente se localiza em cotas muito baixas (menores que 5 m), e apresenta declividade quase nula. Ele possui uma expressão espacial muito pequena (menos de 1 % da área mapeada). O substrato é composto por sedimentos marinhos recentes/atuais arenosos.

Omoto (1994) se refere a esta área como “delta inter-maré emergido”, e afirma que a topografia é caracterizada por uma série de montes. O autor alega que estes montes lembram o padrão de cunhas de gelo aleatórias, identificando ainda algumas feições termocársticas. Ele atribui origem marinha aos sedimentos que dão origem aos montes.

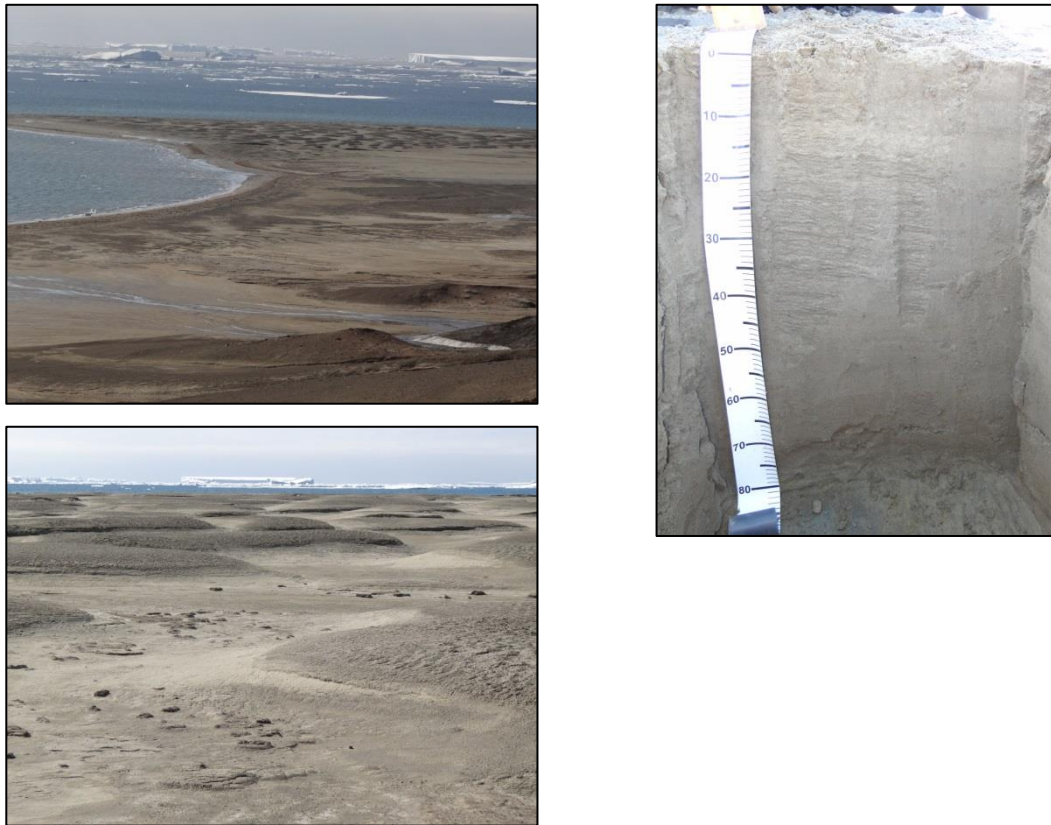


Figura 18 **Aspecto da paisagem e do solo na Planície de Maré com Criogenic Mounds.**

O solo que se desenvolve sobre os montes (MP10) mostra uma textura que se torna progressivamente mais grossa em profundidade, com classes texturais variando de Franco-Arenosa em superfície a Areia no permafrost, situado a 79 cm de profundidade (Tabela 6). A fração predominante em todos os horizontes é a areia fina, que no entanto diminui em profundidade. Não é observada fração grosseira neste solo (cascalho).

Os dados químicos apontam para reações alcalinas, com pH variando de 8,0 em superfície a 7,3 no permafrost (Tabela 3). Acompanhando o teor de argila e a CTC, os teores da maioria das bases decrescem em profundidade, como K, Ca e Mg. O Na foge a esta regra, com concentração na porção mediana do perfil. Este solo é bastante influenciado pela presença de sódio, com índice de saturação por sódio variando de 27 a 51 % (Tabela 3). A origem do sódio é marinha, estando o ambiente sujeito inclusive ao aporte atual, dada a proximidade com o mar e o alagamento periódico por água marinha.

3.2.13. Praias

Este geoambiente se localiza na linha da costa ao longo de toda a área de estudo, a altitudes muito baixas (cotas próximas a 0 m), e apresenta baixa declividade e pequena expressão espacial. É composto principalmente por sedimentos marinhos atuais, com pequena contribuição de sedimentos insulares. Este ambiente faz o contato entre o mar e a ilha, e representa o estágio atual de erosão marinha sobre a ilha. Os sedimentos são constantemente remobilizados, não se observando a formação de solos.



Figura 19 Aspecto da paisagem nas Praias.

Acima das praias se observa uma linha de falésias de grande altura, muito inclinadas (ângulo próximo a 90°) que não foram mapeadas como um geoambiente separado em função da área mapeável muito pequena (Figura 19). As falésias evidenciam a erosão marinha ativa a que as litologias expostas na Ilha estão expostas após o soerguimento, sendo observáveis desabamentos recentes. A própria forma das falésias, apresentando alto ângulo mesmo sobre litologias muito friáveis aponta para uma erosão ativa.

Os sedimentos mais próximos às falésias são mais grossos, apresentando clastos, e evidenciam maior influência das litologias insulares. Em direção ao mar os sedimentos se tornam mais finos, influenciados pela deposição marinha.

4. Conclusões

A área de estudo mostrou grande variabilidade de ambientes, em função da variabilidade dos fatores pedo-lito-geomorfológicos considerados. Foi possível a identificação de 13 unidades geoambientais. Estas unidades são representativas de ambientes periglaciais situados em área de transição climática entre a Antártica Marítima e a Antártica Continental.

A variabilidade litológica na área de estudo exerce grande influência sobre o estabelecimento do relevo e dos solos.

Nota-se uma geomorfologia diversificada, que representa o setor mais acidentado da Ilha Seymour/Marambio. A geomorfologia exibe um forte controle estrutural, sendo muito influenciada pela natureza do substrato. A composição, estrutura e resistência das diferentes litologias são determinantes na conformação do relevo.

O relevo da área de estudo mostra uma natureza eminentemente erosiva, sendo que as unidades com caráter erosivo representam mais de 90 % da área mapeada. No entanto, setores deposicionais localizados (que em conjunto representam menos de 8 % da área mapeada) contribuem para a grande variabilidade ambiental, sendo representados por 6 das 13 unidades identificadas.

A formação dos solos é determinada direta ou indiretamente pela litologia. Nota-se relação entre as características granulométricas dos solos e do material de origem, indicando herança geológica. As características químicas com maior relação com o material de origem são relacionadas com solos sulfatados ácidos. As litologias e sedimentos contendo sulfetos condicionaram a ocorrência destes solos, sendo notável a coincidência de solos sulfatados ácidos desenvolvidos a partir das litologias Telm2, Telm2s, Telm3 e Telm5, além de sedimentos remobilizados a partir destas litologias.

A geoforma influenciou no desenvolvimento dos solos, afetando principalmente o conteúdo de sais. As geoformas associadas aos geoambientes têm influência sobre a mobilidade de soluções ricas em bases móveis, dando origem a ambientes relacionados a mecanismos de mobilização de sais e ambientes menos influenciados por tais mecanismos. São observados três padrões de controle geomorfológico sobre as características químicas dos solos:

- Nas áreas planas elevadas, nota-se um enriquecimento superficial em bases mais solúveis nos solos, em função das baixas perdas por fluxos subsuperficiais, sendo a elevada evaporação a principal forma de perda de água pelos solos. Com resultado, os sais se concentram superficialmente.

- Nas encostas nota-se um menor teor de bases solúveis, e é rara a ocorrência de crostas salinas superficiais. Estes pedosistemas funcionam como exportadores de bases por fluxos subsuperficiais, em função da alta declividade associada à baixa permeabilidade do permafrost, localizado a baixa profundidade. Um maior conteúdo de bases móveis coincide com o permafrost ou o horizonte imediatamente superior.

- Nas áreas planas rebaixadas nota-se forte acúmulo de bases móveis, e é comum a ocorrência de crostas salinas superficiais. Estes pedosistemas recebem aporte de sais provenientes das encostas através de fluxos superficiais e laterais, e em função da alta evaporação ocorre a acumulação de bases e sais. Os sais se acumulam ao longo do perfil, notando-se alguma concentração superficial.

5. Referências Bibliográficas

- ALBUQUERQUE FILHO, M. R. **Geoquímica de solos da Península Keller, Ilha Rei George, Antártica, como subsídio ao monitoramento ambiental**. Viçosa, 2005. 149 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de plantas) – Programa de Pós Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Universidade Federal de Viçosa, 2005.
- BEYER, L.; BOCKHEIM, J. G.; CAMPBELL, I. B.; CLARIDGE, G. G. C. Genesis, properties and sensitivity of Antarctic Gelisols. **Antarctic Science**. United Kingdom, v. 11, n. 4, p. 387-398, 1999.
- BOIASKI, N. T. et al. Variabilidade da temperatura do ar na Península Antártica. In: **XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2006, Florianópolis.
- BOCKHEIM, J. G.; BALKS, M. R.; McLEOD, M. **ANTPAS Guide for Describing, Sampling, Analyzing, and Classifying Soils of the Antarctic Region**. ANT PAS soil description manual – version 1 July 2006. Disponível em: <http://erth.waikato.ac.nz/antpas/pdf/Soil_Description_Manual-Draft_1.pdf>. Acesso em: 13/03/2012.
- BOCKHEIM, J. G.; HALL, K. Permafrost, active-layer dynamics and periglacial environments of continental Antarctica. In: **Periglacial Research**. South African Journal of Science. n 98, p. 82-90. Janeiro-Fevereiro 2002.
- CAMPBELL, I. B.; CLARIDGE, G. G. C. **Antarctica: Soils, Weathering Processes and Environment**. Amsterdam: Elsevier, 1987. 405 p. (Developments in Soil Science, 16).
- ELLIOT, D. H. Tectonic setting and evolution of the James Ross Basin, northern Antarctic Peninsula. In: FELDMANN, R. M.; WOODBURN, M. O. (eds). **Geology and Paleontology of Seymour Island, Antarctic Peninsula**. USA: The Geological Society of America, 1988. 566 p. (Memoir, Geological Society of America, 169).
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. 2ª ed. Rio de Janeiro, RJ, 1997. 212p. (Documentos, 1).
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE – ESRI. **ArcMap GIS 10.0**. 2010.

- FRANCELINO, M. R.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SIMAS, F. N. B.; FERNANDES FILHO, E. I.; SOUZA, J. J. L. L. de; COSTA, L. M. da. Geomorphology and soils distribution Under paraglacial conditions in an ice-free area of Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. **Catena**, n. 85, p. 194-204, 2011.
- FRENCH, H. M. The **periglacial environment**. 3a ed. West Sussex: John Wiley & Sons, 2007.
- GAZDZICKI, A.; TATUR, A.; HARA, U.; Del VALLE, R. A. The Weddell Sea Formation: post-Late Pliocene terrestrial glacial deposits on Seymour Island, Antarctic Peninsula. **Polish Polar Research**. v. 25, n. 3-4, p.189-204, 2004.
- GEE, W. & BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. **Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods**. Wisconsin, Soil Science Society of America, 1986. p. 383-412.
- GOUDIE, A. S. (ed.) **Enciclopedia of Geomorphology**. International Association of Geomorphologists, 2004. V. 1.
- GUTIÉRRES, M.; NOZAL, F.; MONTES M. J. Talus flatirons em la Isla Seymour (Mar de Weddel, Antártida). Consideraciones sobre su génesis. In: **Revista Cuaternario y Geomorfología**. n. 25, v. 1-2, p. 9-19. 2011.
- HALL, K. Review of Present and Quaternary periglacial processes and landforms of the maritime and sub-Antarctic region. In: **Periglacial Research**. South African Journal of Science. n 98, p. 71-81. Janeiro-Fevereiro 2002.
- HARRIS, C.; MURTON, J. B. (eds). **Cryospheric Systems: Glaciers and Permafrost**. Geological Society, London, 2005.
- IUSS Working Group WRB. **World reference base for soil resources 2006**. International Society for Soil Science (ISSS). International Soil Reference and Information Centre (ISRIC) and Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). World Soil Resources Reports 103. Roma: FAO, 2006. 145 p.
- KÄMPF, N; CURI, N. Formação e evolução do solo (pedogênese). In: KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, p. (eds.). **Pedologia; fundamentos**. Viçosa, MG, SBCS, 2012. P. 207-302.
- MICHEL, R. F. M. **Solos criogênicos e Ornitogênicos da área de entorno da Ponta Ilano, Antártica Marítima**. Viçosa, MG, 2005. 162 p. Dissertação (Mestrado em

Solos e Nutrição de Plantas) – Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, 2005.

MÜNSELL COLOR. **Munsell Soil Color Charts**. Grand Rapids: Munsell Color, 2000.

NOZAL, F. et al. Unidades del Relieve de la isla Marambio, Antártida. In: **VI Argentine and III Latin-American Symposium on Antarctic Research**. 10 a 14 de setembro de 2007. Dirección Nacional del Antártico/Instituto Antártico Argentino.

OMOTO, K. Coastal landform and radiocarbon age of cryogenic mounds observed at Larsen Cove, Seymour Island, east of Antarctic Peninsula. **Proc. of the Inst. Of Natural Sciences**. V. 30, p. 11-22. The Institute of Natural Science. Nihon University, 1994.

PANSU, M.; GAUTHEYROU, J. Soluble Salts. In: **Handbook of Soil Analysis**. Mineralogical, Organic and Inorganic Methods. Springer, 2006. Cap. 18, p. 605-628.

PONS, L. J.; VAN BREEMEN, N.; DRIESSEN, P. M. Physiography of coastal sediments and development of potential soil acidity. In: KITTRICK, J. A.; FANNING, D. S.; HOSSNER, L. R. **Acid Sulfate Weathering**. Wisconsin: Soil Science Society of America, 1982, p. 1-18. (SSSA Special Publication Number 10).

POREBSKI, S. J. Facies architecture in a tectonically-controlled incised-valley estuary: La Meseta Formation (Eocene) of Seymour Island, Antarctic Peninsula. In: BIRKENMAJER, K. (ed.). *Studia Geologica Polonica*. Kraków, v. 107, p. 7 – 97, 1995.

SADLER, P. M. Geometry and stratification of uppermost Cretaceous and Paleogene units on Seymour Island, northern Antarctic Peninsula. In: FELDMANN, R. M.; WOODBURN, M. O. (eds). **Geology and Paleontology of Seymour Island, Antarctic Peninsula**. USA: The Geological Society of America, 1988. 566 p. (Memoir, Geological Society of America, 169).

SANTOS, R. D. et al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5a ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005.

SCHAEFER, C. E. G. R.; SIMAS, F. N. B.; GILKES, R. J.; MATHISON, C.; COSTA, L. M. da; ALBUQUERQUE, M. A. Micromorphology and microchemistry of

selected Cryosols from maritime Antarctica. **Geoderma**, v. 144, p. 104-115, 2008.

SECIRM – Secretaria Interministerial Para os Recursos do Mar. **Tratado Antártico e Protocolo de Madri**. Brasília, 2001.

SIMAS, F. N. B. **Solos da baía do almirantado, Antártica Marítima: Mineralogia, Gênese, Classificação e Biogeoquímica**. Viçosa, MG, 2006. 165 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, 2006.

SIMAS, F. N. B.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MELO, V. F.; GUERRA, M. B. B.; SAUNDERS, M.; GILKES, R. J. Clay-Sized Minerals in Permafrost-Affected Soils (Cryosols) from King George Island, Antarctica. **Clays and Clay Minerals**. The clay minerals society, v. 54, n. 6, p. 721-736, 2006.

SIMAS, F. N. B.; SCHAEFER, C. E. G. R.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; FRANCELINO, M. R.; FERNANDES FILHO, E. I., Da COSTA, L. M. Genesis, properties and classification of Cryosol of Admiralty Bay, maritime Antarctica. **Geoderma**. Elsevier, v. 114, p. 116-122, 2008.

SLAYMAKER, O. Proglacial, periglacial or paraglacial?. In: KNIGHT, J. & HARRISON, S. (eds) **Periglacial and Paraglacial Processes and Environments**. Geological Society, 2009, London, Special Publications, 320, p. 71- 84.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to Soil Taxonomy**. 11a ed. Washington, D.C.: USDA-NRCS, 2010.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil Survey Investigations Report (SSIR) nº 42. Soil Survey Laboratory Methods Manual**. Version 3.0. USDA-NRCS, 1996. 716 p.

SOUZA, K. K D. **Gênese, mineralogia e classificação de solos desenvolvidos em semideserto polar - Ilha Seymour (Marambio), Península Antártica**. Viçosa, 2011. 50 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Programa de Pós Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Universidade Federal de Viçosa, 2011.

TATUR, A.; BARCZUK, A.; DEL VALLE, R.; SLETTEN, R.; KICINSKA, E. Surface mineralization on Seymour Island, Antarctica. In: **Polish Polar Research**, v. 14, n. 2, p.153-168, 1993.

TRICART, J.; KIEWIETDEJONGE, C. **Ecogeography and rural management**. New York: John Wiley & Sons, 1992. 267 p.

VIEIRA, G. V.; BOCKHEIM, J.; GUGLIELMIN, M.; BALKS, M.; ABRAMOV, A. A.; BOELHOUWERS, J.; CANNONE, N.; GANZERT, L.; GILICHINSKI, D. A.; GORYACHKIN, S.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, J.; MEIKLEJOHN, I.; RAFFI, R.; RAMOS, M.; SCHAEFER, C.; SERRANO, E.; SIMAS, F.; SLETTEN, R.; WAGNER, D. Thermal State of Permafrost and Active-layer Monitoring in the Antarctic: Advances During the International Polar Year 2007–2009. **Permafrost and periglacial processes**, v. 21, p. 182-197, 2010.

Capítulo 2

GÊNESE E CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS EM UMA TOPOSSEQUÊNCIA DA PORÇÃO NORTE DA ILHA SEYMOUR/MARAMBIO, ANTÁRTICA PENINSULAR.

RESUMO

GJORUP, Davi Feital, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2013. **Gênese e classificação dos solos em uma topossequência da porção norte da Ilha Seymour/Marambio, Antártica Peninsular.** Orientador: Carlos Ernesto G. R. Schaefer. Coorientador: Felipe Nogueira B. Simas. Cap. 2 (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

A Ilha Seymour/Marambio (ISM) se localiza no norte do Mar de Weddell, na região da Península Antártica, em uma transição climática entre os domínios da Antártica Marítima e da Antártica Continental, apresentando um clima pseudo-continental ou subpolar semiárido. A ISM é predominantemente composta por rochas sedimentares originadas entre o Cretáceo e o Terciário. O presente capítulo teve como objetivos estudar as propriedades químicas, físicas e mineralógicas dos solos de uma topossequência na porção norte da Ilha Seymour/Marambio, Antártica Peninsular; discutir os fatores e processos envolvidos na formação destes solos; e classificar estes solos de acordo com os sistemas de classificação Soil Taxonomy e WRB/FAO. Para tanto, foram descritos e amostrados 9 perfis de solo ao longo de uma topossequência na porção noroeste da ISM, abrangendo diferentes materiais de origem e geoformas. Amostras dos horizontes pedogenéticos foram submetidas a fracionamento textural, análises químicas de rotina, extrações químicas com Oxalato de Amônio e Ditionito-Citrato-Bicarbonato, e difração de Raio-X. Constatou-se a presença generalizada de permafrost ao longo da área de estudo, em geral dentro dos primeiros 100 cm de profundidade. A ocorrência predominante das ordens Gelisols e Cryosols reflete a ampla ocorrência desta feição. Outras feições comuns em solos afetados por congelamento, associadas à crioturbação e acumulação de matéria orgânica estão ausentes em função do contexto climático frio e seco vigente na ISM. A análise dos atributos dos solos permitiu identificar dois grupos de solos: os Sulfatados Ácidos e os Não Sulfatados Alcalinos. Os solos Sulfatados Ácidos se desenvolvem a partir de materiais de origem contendo sulfetos sob condições oxidantes. São os solos mais desenvolvidos na área de estudo, e apresentam significativa alteração morfológica, física, química e mineralógica. A oxidação dos sulfetos gera acidez, sendo observados baixos valores de pH. As condições ácidas favorecem o intemperismo de silicatos, não sendo observados silicatos primários intemperizáveis na fração argila. Alta saturação por alumínio, alta acidez potencial, assim como menor saturação por bases ocorrem em função do baixo pH e disponibilização de Al em solução. Os principais minerais secundários são diretamente ligados à oxidação dos sulfetos, podendo ser citados sulfatos solúveis como a

rozenita, sulfatos insolúveis como a jarosita, hidróxidos mal cristalizados de ferro como a ferrihidrita, e óxidos de ferro como a goethita. A presença de alguns destes minerais faz com que estes solos apresentem considerável desenvolvimento de cor. Minerais silicatados de tipo 2:1 (esmectita e illita) são observados na fração argila, em função de condições ácidas favoráveis à transformação dos silicatos primários aliadas à baixa lixiviação. Os solos Não Sulfatados Alcalinos apresentam pouca transformação química e mineralógica, e altos valores de pH. O intemperismo físico, na forma de crioclastia e haloclastia é a transformação mais importante na gênese destes solos. A presença de minerais primários facilmente intemperizáveis na fração argila destes solos confirma a importância das transformações físicas e o baixo grau de transformação química. Estes solos apresentam alto conteúdo de bases, em função da baixa lixiviação relacionada ao clima seco e frio. Nota-se forte influência da geoforma no teor de bases destes solos, na medida em que favorece ou dificulta a lixiviação. A aplicação dos diferentes sistemas de classificação não é eficiente na diferenciação dos grupos de solos. Sugere-se a consideração da presença do horizonte “sulfuric” para a subordem dos Orthel (Soil Taxonomy); ou “thionic” para a ordem dos Cryosols (WRB), a fim de favorecer uma melhor diferenciação taxonômica destes solos. Os principais processos envolvidos na gênese destes solos são a sulfurização e o halomorfismo, uma vez que as condições climáticas desfavorecem os processos de crioturbação e acúmulo de matéria orgânica.

1. Introdução

Os solos na Antártica se concentram nos poucos setores livres de gelo, que representam menos de 2% da área do continente. Estas áreas se distribuem de forma dispersa, principalmente nas bordas do continente, nas montanhas transantárticas e nos vales secos (CAMPBELL & CLARIDGE, 1987). Assim, se observa uma grande variabilidade de condições de formação dos solos, em função da variabilidade de fatores como clima, latitude e continentalidade associados a estas áreas.

Bokheim & Hall (2002) propõem uma divisão dos ambientes livres de gelo da Antártica em três regiões eco-climáticas, separando a Península Antártica e suas ilhas (localizadas a uma latitude de cerca de 61-72°S), a Antártica Marítima de Leste (cerca de 66-71°S) e as Montanhas Transantárticas (cerca de 72-87°S). Estas regiões ou sub-regiões diferem não apenas no clima, mas também na vegetação, solo, características do permafrost e processos periglaciais.

A maior parte dos estudos pedológicos no continente Antártico foi realizada na Antártica oriental (CAMPBELL e CLARIDGE, 1987; VIEIRA et al, 2007). Os ambientes ocorrentes nesta região são predominantemente caracterizados como desertos gelados, com prevalência de temperaturas negativas e baixa precipitação ao longo de todo o ano restringindo a existência de água líquida. Nestas condições, a atividade biológica é desfavorecida, e praticamente inexistente a colonização biótica. Em ambientes com estas características, a formação dos solos é extremamente lenta, e marcada por transformações químicas pouco expressivas, mantendo-se grande relação entre os atributos dos solos e a natureza do material de origem. Os processos mais importantes se relacionam às transformações físicas e acúmulo de sais nos solos.

Os estudos brasileiros acerca de solos antárticos têm se concentrado historicamente na região da Antártica Marítima (SIMAS, 2006; MICHEL, 2005; ALBUQUERQUE FILHO, 2005; FRANCELINO et al, 2011; SCHAEFER et al, 2008). No contexto do continente Antártico, a Antártica Marítima é caracterizada por maiores temperaturas, precipitações mais abundantes e maior participação da água líquida nos processos pedogenéticos e morfogenéticos (SIMAS et al 2008). Esta é, ainda, a região onde a atividade biológica é mais favorecida em toda a Antártica. Nestas condições, as transformações físico-químicas envolvidas na formação do solo são mais expressivas, sendo de especial importância (embora espacialmente restritos) os processos relacionados às áreas de intensa colonização por aves. Nestes

pedoambientes os teores de C orgânico são comparativamente altos, e o intemperismo químico é relativamente acelerado.

Entre as duas áreas mais intensamente estudadas se insere uma ampla área de transição climática. Campbell & Claridge (1987) chamam a atenção para a importância do fator clima na formação dos solos na Antártica, enfatizando que este é um importante fator de formação dos solos em qualquer parte do globo, mas na Antártica percebe-se uma notável relação entre a variação dos atributos dos solos e o clima. A disponibilidade de água líquida seria uma das condições mais importantes controlada pelo clima na formação do solo

A formação de solos em condições climáticas transicionais na Antártica é ainda pouco conhecida, constituindo uma lacuna ao conhecimento, e esforços para ampliar sua compreensão são necessários para um maior entendimento pedológico no continente. Os processos intempéricos e pedogenéticos ocorrem em condições únicas, exibindo peculiaridades inerentes às condições climáticas experimentadas.

A Ilha Seymour/Marambio (ISM) representa importante área livre de gelo situada na área de transição climática, e detém grande potencial para o estudo sobre formação dos solos em um contexto de subdeserto polar. Além disso, a ISM apresenta uma configuração geológica e geomorfológica peculiar, onde devem ser ressaltadas a atuação limitada de agentes periglaciais, a ausência de cobertura glacial e a presença de rochas e sedimentos sulfetados, com importantes reflexos na formação dos solos.

O presente capítulo teve como objetivos estudar as propriedades químicas, físicas e mineralógicas dos solos de uma topossequência na porção norte da Ilha Seymour/Marambio, Antártica Peninsular; discutir os fatores e processos envolvidos na formação destes solos; e classificar estes solos de acordo com os sistemas de classificação Soil Taxonomy e WRB/FAO.

2. Materiais e Métodos

2.1. Caracterização geral da Ilha Seymour/Marambio

A Ilha Seymour/Marambio (ISM) é parte do grupo de Ilhas James Ross, e se localiza no norte do Mar de Weddell, a aproximadamente 100 km a sudeste do extremo norte da Península Antártica (NOZAL et al, 2007), distribuindo-se ao redor das coordenadas 64°17' S e 56°46' W, e medindo aproximadamente 18,5 km (sentido nordeste-sudoeste) por 8,3 km em sua maior largura. A área selecionada para este estudo se situa no extremo norte da ISM, abrangendo uma área de 17,5 km² (1750 ha) (Figura 20). A presente seleção da área deve-se ao fato de o setor sul ter sido estudado por SOUZA (2011), ficando o setor norte sem estudos pedológicos.

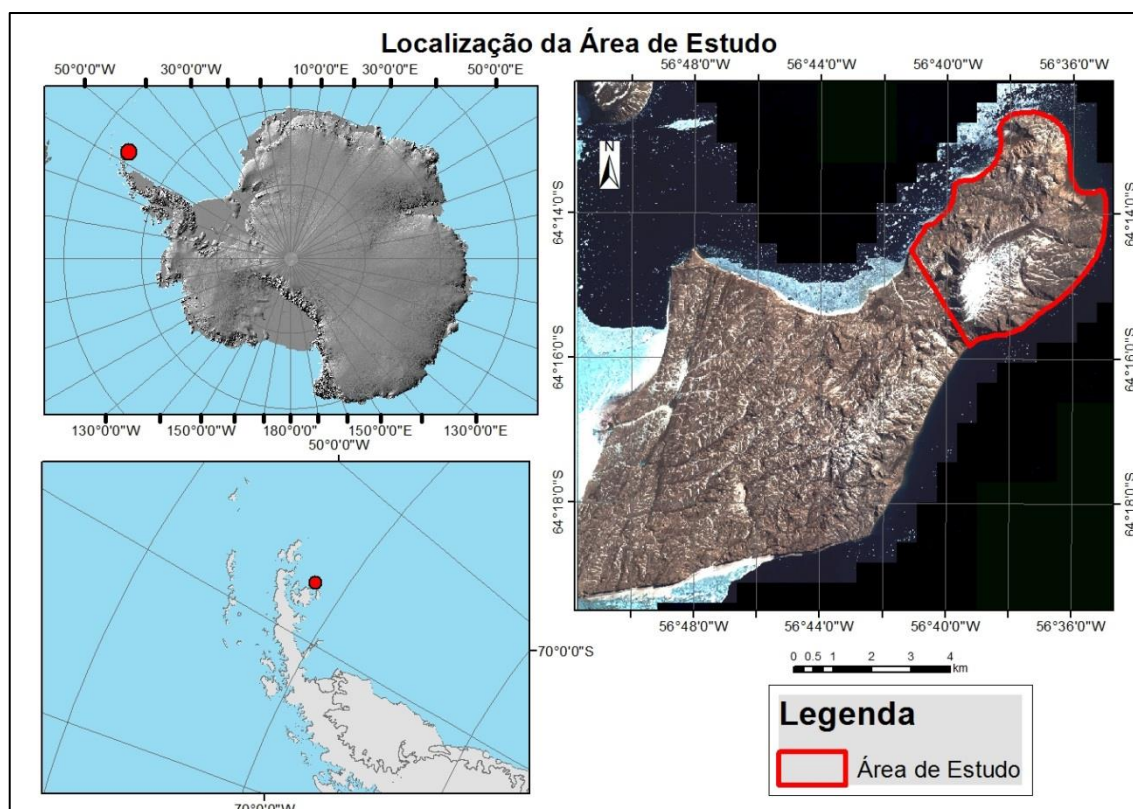


Figura 20- Localização da área de estudo.

A Ilha Seymour/Marambio (ISM) localiza-se numa transição entre os domínios climáticos da Antártica Marítima e da Antártica Continental (TATUR et al, 1993). De acordo com Boiaski et al (2006), as temperaturas mínimas na ISM são observadas em junho-julho, enquanto as máximas ocorrem em dezembro-janeiro, registrando uma temperatura média anual de -8,3 °C. Estes autores caracterizam o clima na ISM como “pseudo-continental”, com direção predominante do vento sudoeste. Este

comportamento pode ser explicado pelo ar frio que escoar do continente acompanhando a configuração topográfica da península antártica, e pela cobertura de gelo sobre o Mar de Weddell que se estabelece ao longo da maior parte do ano (BOIASKI et al, 2006). Segundo Gutiérrez, Nozal & Montes (2011), as precipitações na ISM não superam os 250 mm anuais, dos quais no máximo 20% são em forma líquida. Conforme a classificação destes autores (baseada em REYNOLDS, 1981), o clima na ISM é denominado subpolar semiárido.

Hall (2002), referindo-se a ilhas sub-antárticas e da antártica marítima, explica que estas sofrem ação climática de ciclones que se movem para o leste. Massas úmidas trazendo calor do norte, e massas secas e frias do continente podem periodicamente afetar as ilhas. Entende-se, portanto, que comparativamente às ilhas da Antártica marítima, o clima na ISM é mais influenciado por massas de ar oriundas do continente, devido à ação orográfica da península antártica. Além disso, a duradoura cobertura de gelo sobre o mar de Weddell também contribui para esta diferenciação, minimizando o efeito oceânico sobre o clima. Dessa forma, observa-se um clima mais seco e frio, com consequências na formação dos solos.

A área selecionada para o desenvolvimento do presente estudo se situa na porção noroeste da ISM. Esta porção da ISM apresenta condições geológicas e geomorfológicas peculiares no contexto da Ilha. O relevo se apresenta mais acidentado e declivoso quando comparado a outras áreas da ilha. Uma feição geomorfológica notável da área de estudo é representada pelo grande topo residual do maciço denominado “meseta”, testemunho de um nível de erosão-deposição glacial e originado da ascensão isostática Quaternária experimentada pela ISM. Também são importantes os diversos tipos de encostas estruturais, intercaladas a ravinas de erosão, de distribuição generalizada na área de estudo, originadas do progressivo remodelamento periglacial de superfícies superiores. São também importantes diversos tipos de depósitos recentes, que embora espacialmente limitados, são responsáveis por expressiva diferenciação local dos solos.

A geologia da área de estudo é representada por diferentes litofácies das formações Weddell Sea e La Meseta. A Formação Weddell Sea corresponde a depósitos glaciais Plio-Pleistocênicos, constituída de Till terrestre contendo erráticos em uma matriz argilo-siltosa, com origem na Península Antártica (GAZDZICKI et al, 2004). A posição deste depósito coincide com o platô residual de topo da ISM, em cotas próximas a 200 m. A Formação La Meseta (Eoceno) é a unidade geológica mais abrangente na área de estudo, coincidindo com a maior parte das encostas

estruturais. Ela apresenta uma estrutura monoclinal, mergulhando suavemente a sudeste. De acordo com SADLER (1988), a Formação La Meseta tem uma forma geral lenticular, e pode ser considerada um pequeno vale ou um largo canal preenchido. É notável a presença de rochas contendo sulfetos na formação La Meseta, principalmente nas litofácies basais (depositadas em ambiente intermaré ou submaré, conforme SADLER, 1988). Estratos fossilíferos e conchíferos são de distribuição comum ao longo das rochas da formação La Meseta.

De acordo com TATUR et al (1993), a composição mineral da rocha é o principal fator que determina a mineralização na zona intemperizada das rochas na Ilha Seymour. Segundo este autor, na ISM, nota-se a mineralização de sais formada por oxidação de sulfetos de ferro concentrados nas argilas e siltes dos sedimentos paleógenos. O intemperismo das litologias contendo sulfetos gera materiais com forte reação ácida que pode conter jarosita, hidróxidos de Fe e gipsita.

A área de estudo é quase totalmente desprovida de vegetação, tendo se encontrado estabelecimentos pontuais e muito localizados de musgos e líquens durante a campanha de campo. Observa-se, portanto, uma fraca acumulação de matéria orgânica nos solos em geral.

A ISM experimenta processos típicos de ambiente periglacial, com grande importância da alternância de congelamento e descongelamento da água. Gutiérrez, Nozal & Montes (2011) situam a ISM na zona de permafrost contínuo e perene, e concluem que do ponto de vista morfodinâmico, a Ilha está inserida no domínio periglacial. A ausência de cobertura glacial e de geleiras sobre a ISM (um dos traços morfológicos distintivos da Ilha) não seria um impeditivo para esta situação. Entretanto, como exposto por Souza (2011), a erosão tipicamente periglacial é limitada na ISM, em função do seu contexto climático, restringindo-se ao entalhe promovido pelo derretimento de neve.

Ainda de acordo com Souza (2011), o vento é um fator de fundamental importância no processo erosivo e evolução da paisagem na ISM. O vento participaria no transporte, seleção, arredondamento e redistribuição de diversos materiais. Além disso, segundo a autora, o vento estaria atuando como um fator limitante para o estabelecimento de vegetação na Ilha. Gutiérrez, Nozal & Montes (2011) também afirmam que a ação do vento é evidente na ISM, observando-se pequenas acumulações névo-eólicas e pavimentos (em alguns casos com ventifactos). Além disso, os mesmos autores mencionam que deve-se levar em conta que o volume total de material erodido por deflação, e perdido para o mar, é alto.

Segundo Gutiérrez, Nozal & Montes (2011), durante o inverno o solo da ISM fica coberto de neve e congelado até a superfície. No verão, entretanto, se observa a fusão da camada mais superficial, constituindo a camada ativa. Geralmente o degelo começa em novembro, se prolongando até o final de fevereiro. A espessura da camada ativa é muito variável, tendo-se valores medidos entre 0,3 e 2,1 m (GUTIÉRREZ, NOZAL & MONTES, 2011). O escoamento superficial de água está relacionado com o derretimento da camada ativa, embora em algumas situações este fluxo possa se originar pela fusão de nichos de nivação, acumulados nas porções mais côncavas e protegidas das encostas.

2.2. Coleta e descrição dos solos

Para o estudo dos atributos e da gênese dos solos na porção norte da ISM, foram coletados 9 perfis de solo ao longo de uma topossequência (Figuras 21 e 22) localizada na encosta Oeste da Meseta, porção norte da Ilha Seymour/Marambio. É impossível a inclusão de toda a topossequência em uma seção única do relevo, em função da grande variabilidade lateral dos solos. Ao longo desta topossequência foram amostrados solos desenvolvidos a partir de diferentes materiais de origem, que abrangem diferentes litofácies das formações Weddell Sea e La Meseta, além de depósitos superficiais recentes. As rochas sedimentares tem origem entre o Eoceno e o Pleistoceno (SADLER, 1988; GAZDZICKI et al, 2004), enquanto os depósitos superficiais tem origem mais provável no Holoceno. Esta topossequência tem uma amplitude altimétrica de cerca de 200 m, sendo amostrados solos em diferentes posições na paisagem, desde o ponto culminante da Ilha (cota 200 m) até cotas próximas ao nível do mar.

Os perfis foram amostrados e descritos segundo as recomendações de SANTOS et al (2005) e BOCKHEIM et al (2006), sendo registrada a temperatura dos horizontes. Os solos foram classificados através dos sistemas Soil Taxonomy (SOIL SURVEY STAFF, 2010) e WRB/FAO (IUSS, 2006).

Foram coletadas amostras de cada horizonte pedogenético identificado. As amostras foram secas ao ar e por tamisação foram separadas as frações grosseira (> 2 mm) e Terra Fina Seca ao Ar (TFSA, < 2 mm). Foi obtida a cor úmida de cada amostra através da Munsell Soil Color Charts (MÜNSELL COLOR, 2000).

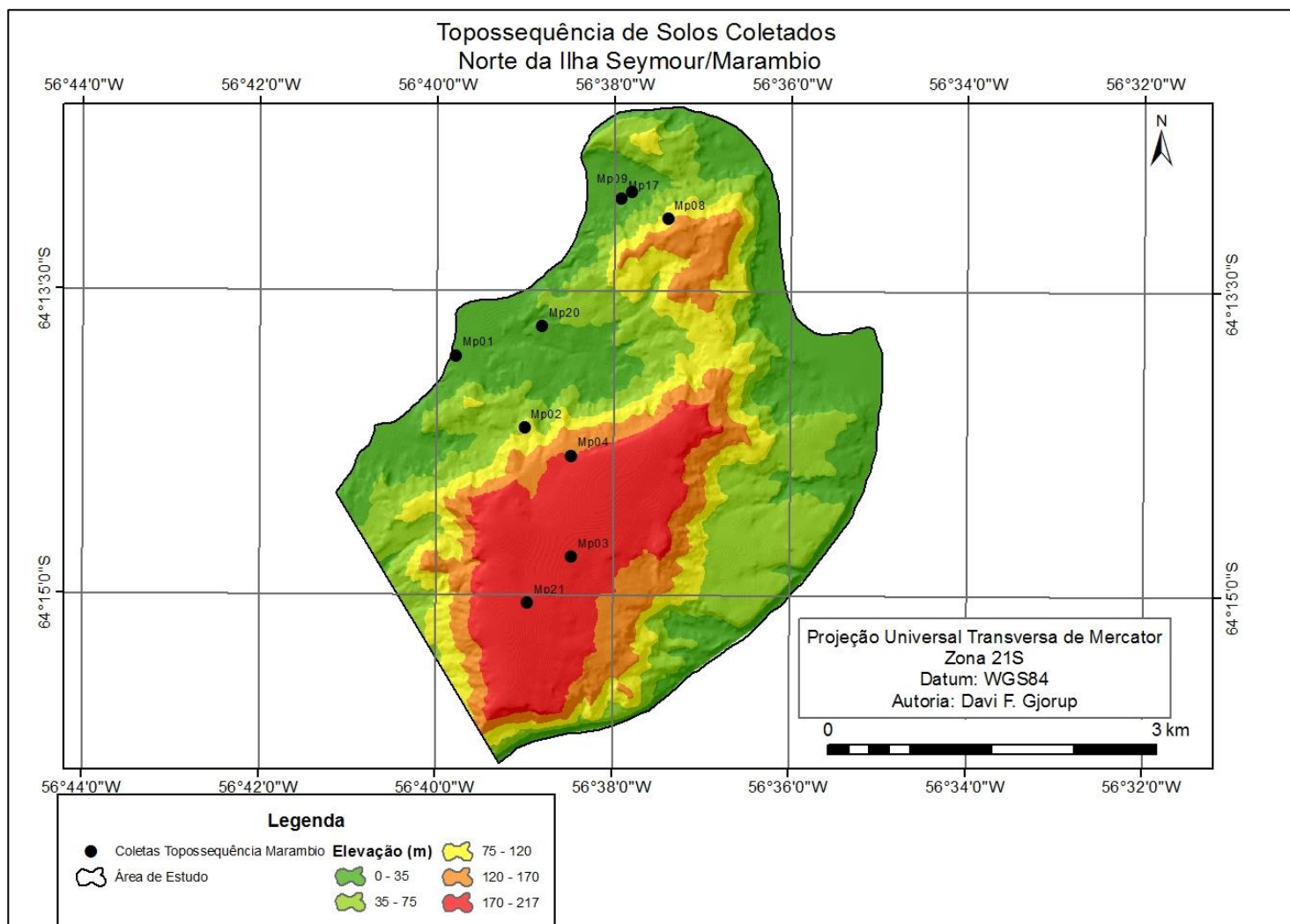


Figura 21 Modelo Digital de Elevação da área de estudo, com localização dos pontos de coleta.

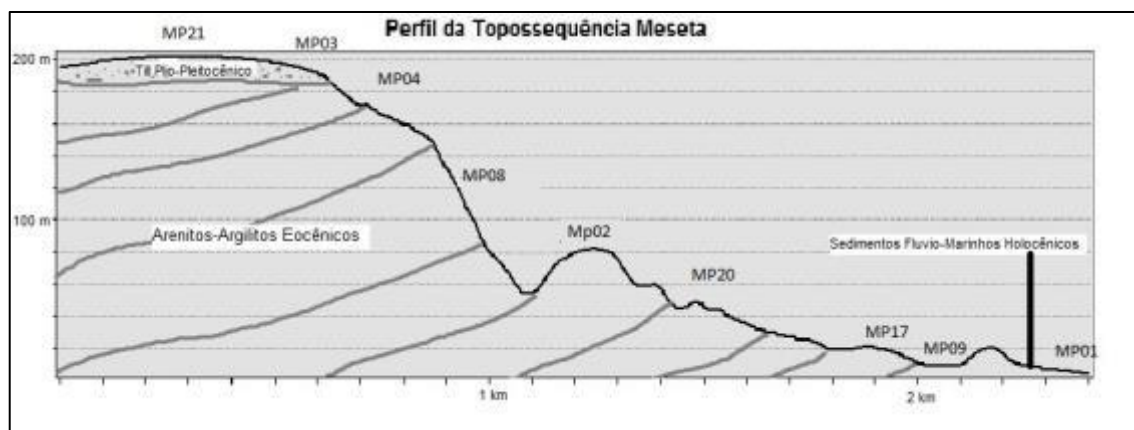


Figura 22 Perfil esquemático da topossequência, ilustrando a distribuição dos solos.

2.3. Análises químicas e texturais dos solos

As amostras foram analisadas nos laboratórios de análises de solos do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa. A fração terra fina (< 2 mm) do solo foi submetida às seguintes análises, de acordo com EMBRAPA (1997) e/ou SOIL SURVEY STAFF (1996):

Análises Químicas:

- Fósforo disponível, potássio e sódio, extraídos através do Mehlich-1 (HCl 0,05 M + H₂SO₄ 0,0125 M, relação solo:extrato 1:10). Fósforo determinado através de espectrofotômetro, potássio e o sódio determinados através de fotômetro de emissão de chama.
- Cálcio, Magnésio e Alumínio extraídos com solução de KCl 1 M, sendo estes cátions determinados através de espectroscopia de absorção atômica.
- Acidez potencial determinada por titulometria, após o uso de acetato de cálcio 0,5 M tamponado a pH 7.
- pH em água e em KCl (1 mol/l) determinados potenciométricamente, em suspensão com relação solo:água na relação 1:2,5.
- Carbono Orgânico por oxidação via úmida, com dicromato de potássio em meio sulfúrico com aquecimento (método Walkley-Black). A percentagem de matéria orgânica no solo foi obtida através da multiplicação do Carbono Orgânico pelo fator 1,724.

A partir dos dados assim obtidos foi possível o cálculo de diferentes índices, calculados como segue: Soma de bases (S=Ca+Mg+K+Na); Capacidade de troca

catiônica ($T=S+Al+H$); Saturação por bases ($V\%=100\ S/T$); Saturação por alumínio ($m\%=100\ Al/(S+Al)$); Atividade da argila = $100\ T/\%$ argila.

Análises físicas:

- Determinação da percentagem em peso de cascalho para cada horizonte.
- Fracionamento textural: dispersão com NaOH 0,1 mol/l e agitação, areia grossa e areia fina separadas por tamisação, fração argila separada pelo método da pipeta, e fração silte obtida pela diferença.

2.4. Análises mineralógicas

A caracterização mineralógica dos solos coletados baseou-se na identificação dos minerais das frações areia, silte e argila de horizontes selecionados em cada perfil, através da difratometria de raios-X. Foram efetuadas também extrações com Ditionito-Citrato-Bicarbonato e Oxalato de Amônio.

Nas extrações sequenciais, amostras de argila natural foram submetidas a tratamento com Oxalato de Amônio 0,2 mol/l e pH 3 (para extração de compostos de baixa cristalinidade) (SCHWERTMANN, 1973) e Ditionito-Citrato-Bicarbonato (DCB) (para extração dos óxidos livres) (MEHRA e JACKSON, 1960). O ferro, alumínio e silício extraídos pelo oxalato de amônio foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica. O ferro, o alumínio e o manganês extraídos pelo DCB foram determinados por espectroscopia de absorção atômica.

Para a identificação de minerais de argila 2:1 foi necessário proceder à desferrificação das amostras, através do DCB, além dos tratamentos de saturação com K e Mg, tratamento térmico com aquecimento a 350 e 500 °C, e solvatação com glicerol.

Todas as lâminas foram analisadas em difratômetro de raio-X com radiação de Co K α , sendo as desferrificadas no intervalo entre 4 a 45 °2 θ , e as argilas naturais no intervalo de 4 a 80 °2 θ . Os difratogramas assim obtidos foram interpretados através das tabelas de identificação propostas por CHEN (1977).

3. Resultados e Discussão

3.1. Caracterização e classificação dos solos

Ao longo da área de estudo se observa a presença generalizada de permafrost, geralmente dentro dos primeiros 100 cm de profundidade a partir da superfície do solo (Tabela 9). Desta forma é alta a proporção das ordens Gelisols e Cryosols dentre os solos estudados, pelos sistemas Soil Taxonomy e WRB/FAO respectivamente. Mesmo no único solo que não se enquadra taxonomicamente nestas classes (MP01) é observado permafrost, porém a maior profundidade de ocorrência inferida desta feição (110 cm), associada à ausência de sinais de crioturbação, impossibilita sua inclusão nas classes citadas, se enquadrando como Typic Haploglept (Soil Taxonomy) ou Haplic Cambisol (Ruptic, Hypereutric, Gelic, Aridic) (WRB).

No entanto, não são observadas outras feições comuns em solos com presença de permafrost e sujeitos a ciclos de congelamento-descongelamento, associadas à crioturbação. Desta forma, são incomuns horizontes quebrados ou irregulares, orientação vertical de rochas ao longo do perfil e solos com padrões (*patterned ground*). Tais feições são comuns na Antártica Marítima, sendo reportados por diversos autores (SIMAS, 2006; MICHEL, 2005; RESCK, 2011). Os atributos químicos e físicos de alguns solos estudados apontam para a possibilidade de um processo incipiente de crioturbação, como enriquecimento de silte e argila (MP09, MP17), ou de matéria orgânica (MP04, MP08, MP20) no topo do permafrost. Da mesma forma, não foi observada acumulação expressiva de matéria orgânica em nenhum solo estudado, feição comum nos Criosolos da Antártica Marítima (SIMAS, 2006; MICHEL, 2005; RESCK, 2011).

Dado o contexto climático em que se insere a ISM, mais seco e mais frio que a Antártica Marítima, a gênese de feições relacionadas à crioturbação podem ser desfavorecidas pela prevalência de temperaturas menores que 0 °C ao longo do ano e ausência de água líquida, restringindo os ciclos de congelamento-descongelamento. As mesmas condições desfavorecem a colonização biótica na área de estudo, resultando em fraca acumulação orgânica nos processos atuais de formação dos solos.

Pelo exposto, nenhum solo estudado se enquadra nas subordens dos Histels (caracterizados por acumulação de material orgânico) ou dos Turbels (caracterizados por horizontes exibindo sinais de crioturbação) pelo sistema de classificação Soil Taxonomy (SOIL SURVEY STAFF, 2010). Da mesma forma, estes solos não

apresentam os prefixos qualificadores Turbic, Follic ou Histic, pelo sistema de classificação WRB/FAO (IUSS, 2006).

A presença de horizontes sulfúricos, caracterizados por apresentar acidez elevada ($\text{pH} < 3,5$) e evidências de oxidação de sulfetos (sulfatos e hidróxidos de Fe) (SOIL SURVEY STAFF, 2010), é uma feição peculiar na área de estudo. Eles definem um grupo importante de solos encontrados na porção norte da ISM, separando solos ácidos sulfatados bem desenvolvidos de solos alcalinos pouco desenvolvidos. No entanto, a aplicação de qualquer um dos sistemas de classificação não considera a presença destas feições. Como resultado, é impossível a distinção taxonômica destes grupos de solos. A expressão de características sulfatadas ácidas, extremamente importante nesta região, não é contemplada para solos com permafrost em nenhum dos sistemas de classificação. Sugere-se, desta forma, a inclusão da consideração da presença de horizontes sulfúricos na classificação dos solos com permafrost, como estratégia para melhor distinção de grupos de solos com atributos tão diferenciados. Com a consideração da presença de horizonte Sulfuric seria possível a distinção dos solos sulfatados ácidos a nível de subordem através da Soil Taxonomy, que passariam a apresentar o caráter “Sulfuric”, diferenciando-se dos solos alcalinos que manteriam o qualificativo “Typic”. Da mesma forma, a consideração da presença de horizonte Thionic pelo sistema WRB permitiria a inclusão do sufixo qualificador “Thionic” para os solos sulfatados ácidos, permitindo melhor distinção.

Baseado nos seus atributos morfológicos, químicos, físicos e mineralógicos, assim como no material de origem, foi possível o agrupamento dos solos estudados em categorias: (1) Solos sulfatados ácidos sobre rochas da Formação La Meseta; (2) Solos pouco desenvolvidos sobre rochas da Formação La Meseta; (3) Solos pouco desenvolvidos sobre Till da Formação Weddell Sea.

As principais características de cada grupo de solos são apresentadas na Tabela 8:

Tabela 8 - Síntese dos grupos de solos.

Grupo de solos	Localização	Material de origem	Mineralogia	Cor	Perfis
Solos pouco desenvolvidos sobre Till da Formação Weddell Sea	Topo tabuliforme em cotas elevadas	Till da formação Weddell Sea	K-feldspato, plagioclásio, halita	Cores acinzentadas homogêneas ao longo do perfil	MP21; MP03
Solos pouco desenvolvidos sobre rochas da Formação La Meseta	Encostas declivosas	Rochas não sulfídicas da formação La Meseta	K-feldspato, plagioclásio, quartzo	Cores acinzentadas/marrons homogêneas ao longo do perfil	MP04; MP08
Solos sulfatados ácidos sobre rochas da Formação La Meseta	Colinas e depósitos recentes em altitudes moderadas.	Rochas sulfídicas da formação La Meseta e sedimentos recentes sulfídicos	Sulfatos solúveis, sulfatos insolúveis, hidróxidos de ferro	Desenvolvimento expressivo de cor em função de oxidação (croma 4 – 6) em horizontes superiores	MP02; MP20; MP17; MP09; MP01

Solos pouco desenvolvidos sobre Till da Formação Weddell Sea

Estes são solos desenvolvidos a partir de depósitos glaciais (Till), pertencentes à formação Weddell Sea. Estes solos são muito pouco transformados, apresentando forte vínculo entre a natureza dos solos e dos depósitos que lhe deram origem. O ambiente de ocorrência destes solos coincide com uma grande superfície plana e tabular, que se torna suavemente ondulada e dissecada nas bordas, situada a aproximadamente 200 m de altitude, coincidindo com as cotas mais altas observadas na ISM. Estes solos são caracterizados pela ocorrência de permafrost situado a baixa profundidade (35 cm a partir da superfície do solo). A associação de relevo plano com permafrost raso dificulta muito a percolação de água e a lixiviação, condicionando diversos atributos dos solos.

Solos da Formação La Meseta:

Solos sulfatados ácidos

Estes são os solos mais bem desenvolvidos da área de estudo. São originados do intemperismo de materiais de origem contendo sulfetos, da Formação La Meseta. O intemperismo de materiais de origem contendo minerais de sulfeto é um processo biogeoquímico complexo, que envolve algumas reações redox e catalização microbológica, e que tem como produtos ácido sulfúrico, hidróxidos de ferro insolúveis, além de sulfatos de ferro variando de muito solúveis a insolúveis (NORDSTROM, 1982). Assim, são observadas transformações típicas do intemperismo sulfatado ácido nestes solos, que incluem transformações morfológicas, químicas e mineralógicas, como desenvolvimento de cor, acidificação do solo, intemperismo de minerais facilmente intemperizáveis e formação de minerais secundários.

Solos pouco desenvolvidos sobre Rochas da Formação La Meseta

Estes são solos desenvolvidos a partir de materiais de origem que não contém sulfetos da Formação La Meseta. Assim, feições relacionadas com o intemperismo ácido sulfatado são ausentes, e os atributos dos solos apontam para um domínio de solos pouco evoluídos, influenciados pela natureza do material de origem. Estes solos se desenvolvem em encostas menos estáveis, representando setores desenvolvidos de litologias alteradas *in situ* (MP04) ou de depósitos de tálus (MP08). Devido à maior declividade, estes solos são mais influenciados pela lixiviação, determinando diversos atributos dos solos.



Figura 23 Aspecto do solo e paisagem de ocorrência dos solos pouco desenvolvidos sobre Till

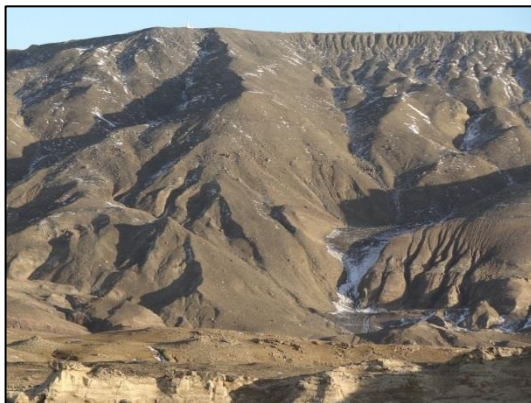
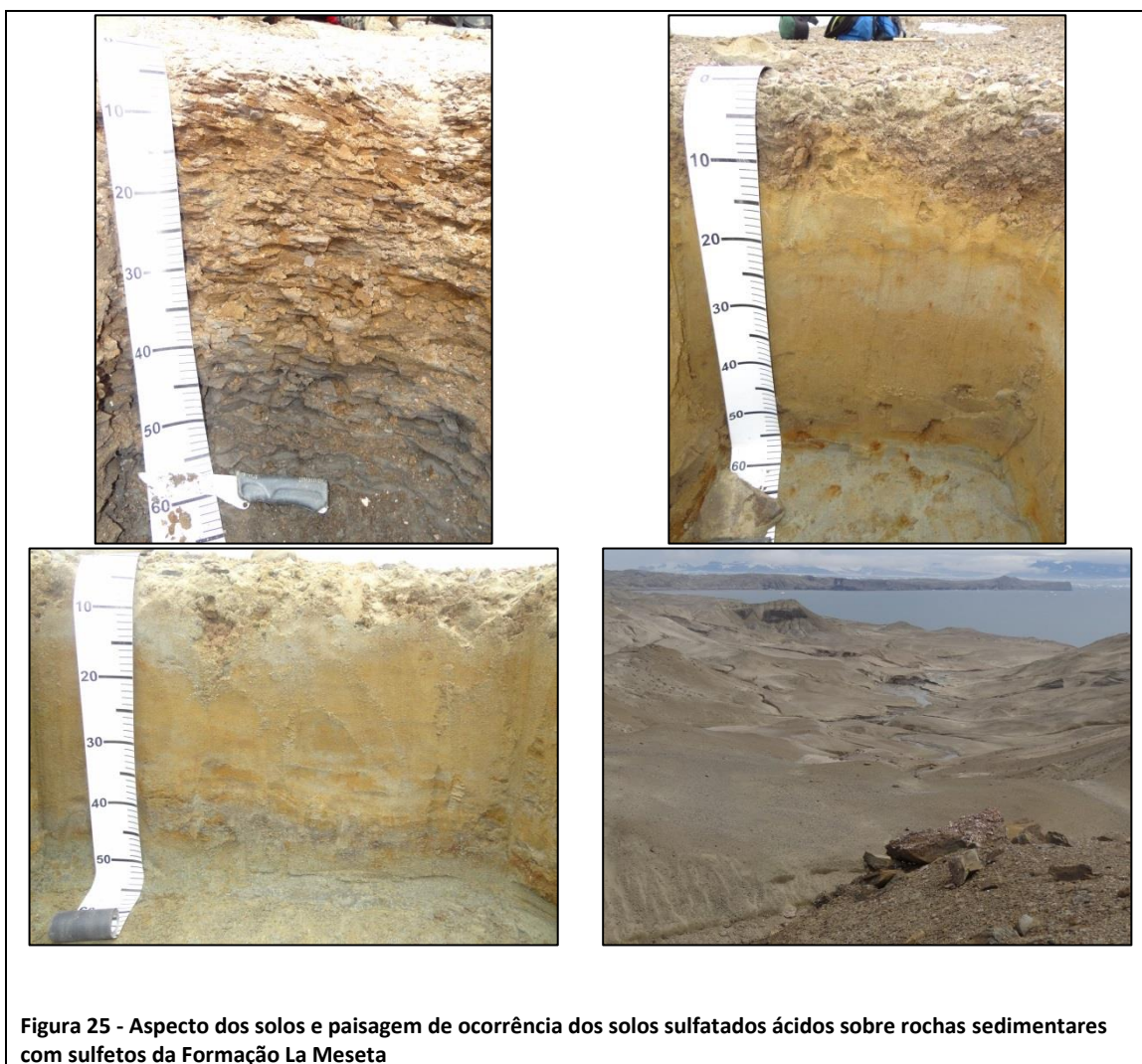


Figura 24 - Aspecto dos solos e paisagem de ocorrência dos solos pouco desenvolvidos sobre rochas da Formação La Meseta



3.2. Propriedades morfológicas e físicas dos solos

Os solos estudados apresentam grande variação de profundidade. O limitador da profundidade efetiva de todos os solos é a presença de permafrost, que ocorre entre profundidades de 35 cm (em cotas de 200 m) a 110 cm (em cotas de 16 m). O permafrost é o fator que limita a drenagem destes solos, constituindo um obstáculo à livre percolação da água. Os horizontes situados acima do permafrost apresentam boa drenagem, fato confirmado pela presença de horizontes oxidados (nos solos sulfatados ácidos) e pela textura com grande importância de areia na maioria dos solos. Não são comuns feições de hidromorfismo na área de estudo, mesmo em solos constituídos de sedimentos próximos ao nível de base, como o MP09. Feições associadas a hidromorfismo são observadas apenas em alguns permafrosts cimentados por gelo e por camadas situadas imediatamente acima destes, apresentando cores neutras, gleizadas.

Em geral, os solos na área de estudo apresentam uma textura com grande contribuição de areia (em geral mais de $60 \text{ dag}\cdot\text{kg}^{-1}$, podendo atingir mais de $90 \text{ dag}\cdot\text{kg}^{-1}$) (Tabela 9). Este fato é atribuído à natureza do material de origem da maioria dos solos, composto por rochas siliclásticas, associada a um pedoambiente pouco transformador. Apenas os perfis MP09 e MP17 apresentam uma contribuição menor de areia, desenvolvendo-se sobre material de origem marcado por grande presença de argila e silte.

Não é comum, entre os solos estudados, um grande conteúdo de fração grosseira ($> 2 \text{ mm}$) no corpo do solo, não apresentando caráter esquelético nem pedregoso (SOIL SURVEY STAFF, 2010; IUSS, 2006). O mais comum é que este material se concentre superficialmente, como resultado de deflação eólica (Tabela 9, Figura 24). Assim, forma-se um pavimento residual cascalhento, denominado pavimento desértico (*desert pavement*), que pode funcionar como um impedimento ao avanço da erosão eólica (CAMPBELL e CLARIDGE, 1987). Uma exceção é o MP08, desenvolvido sobre tálus, que apresenta uma distribuição errática de material grosseiro em profundidade ao longo do perfil e endopedregosidade (Tabela 9). Este padrão de distribuição de material grosseiro no MP08 é resultado direto de deposição gravitacional pouco seletiva em ambiente de tálus.

Nos horizontes superficiais é comum a observação de estrutura constituída por grãos simples. Atribui-se a ocorrência deste tipo de estrutura à presença de textura arenosa associada ao transporte e deposição eólicos em superfície. A constante remobilização e pequena permanência deste material sobre o solo não permite o desenvolvimento de outros tipos de estrutura. Em função da inexpressiva colonização vegetal e do baixo aporte de matéria orgânica, não se observa uma tendência de escurecimento nos horizontes superficiais.

Os horizontes basais dos solos, coincidentes com o permafrost, apresentam consistência muito dura em função da cimentação por gelo, e é comum a estrutura tendendo a laminar. As cores são neutras, com baixa croma, tendendo a cinza ou marrom-acinzentada (Tabela 9). Em geral a transição para o permafrost é abrupta, com significativa variação de diversos atributos (como cor e estrutura) em uma curta distância.

Tabela 9 - Atributos físicos e morfológicos dos solos.

Horizonte		Cor	T	Granulometria (dag/kg)				Silte /Arg	Classe Textural	Cascalho dag/kg
	Prof. (cm)		°C	AG	AF	Silte	Arg			
Solos Pouco Desenvolvidos sobre Till da Formação Weddell Sea										
MP21 - Typic Haplorthel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric, Aridic) ²										
Af	0-10	10YR 5/2 Grayish Brown	-0,2	11	49	27	13	2,0	Franco-Arenosa	-----
B1f	10-17	10YR 5/1 Gray	0,0	9	43	39	9	4,3	Franco	0,0
B2f	17-35	10YR 5/1 Gray	-0,1	9	49	41	1	41	Franco-Arenosa	0,0
Cf	35-40+	10YR 5/1 Gray	-0,1	9	51	38	2	19	Franco-Arenosa	0,0
MP03 - Typic Haplorthel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric, Aridic) ²										
A	0-7	10YR 4/3 Brown	6,0	18	55	12	15	0,8	Franco-Arenosa	15,4
B	7-22	10YR 5/2 Grayish Brown	5,6	20	56	17	7	2,4	Franco-Arenosa	6,3
C	22-35	10YR 4/2 Dark Grayish Brown	1,6	22	62	14	2	7,0	Areia-Franca	13,4
Cf	35-42+	10YR 5/3 Brown	0,0	19	65	12	4	3,0	Areia-Franca	3,4
Solos Pouco Desenvolvidos Sobre Rochas da Formação La Meseta										
MP04 - Typic Psammorthel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric, Arenic) ²										
A	0-10	7,5YR 4/1 Dark Gray	10,2	70	22	5	3	1,6	Areia	15,6
AB	10-18	7,5YR 4/1 Dark Gray	7,0	66	28	5	1	5,0	Areia	0,0
B1	18-44	7,5YR 4/1 Dark Gray	3,3	80	17	1	2	0,5	Areia	0,0
B2	44-56	7,5YR 4/1 Dark Gray	0,9	64	29	4	3	1,3	Areia	0,0
Cf	56-64 +	7,5YR 4/1 Dark Gray	0,2	73	23	2	2	1,0	Areia	0,0
MP08 - Typic Haplorthel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric) ²										
A	0-8	7,5YR 4/3 Brown	6,4	18	51	17	14	1,2	Franco-Arenosa	42,1
B1	8-37	7,5YR 3/3 Dark Brown	3,0	13	49	24	14	1,7	Franco-Arenosa	50,5
B2	37-70	7,5YR 4/3 Brown	0,1	1	53	29	17	1,7	Franco-Arenosa	0,0
B3f	70-79	7,5YR 5/4 Brown	-0,4	15	46	38	1	38,0	Franco-Arenosa	46,1
B4f	79-100 +	7,5YR 3/2 Dark Brown	-0,6	0	54	27	19	1,4	Franco-Arenosa	0,0
Solos Sulfatados Ácidos sobre Rochas da Formação La Meseta										
MP02 - Typic Haplorthel ¹ - Cambic Cryosol (Dystric) ²										
A	0-4	10YR 4/3 Brown	10,0	38	47	9	6	1,5	Areia-Franca	43,5
A2	4-12	10YR 4/4 Dark Yellowish Brown	7,1	20	64	9	7	1,3	Areia-Franca	19,8
B	12-25	10YR 5/6 Yellowish Brown	3,9	2	80	12	6	2,0	Areia-Franca	0,0
B2	25-37	10YR 4/3 Brown	2,2	5	71	12	12	1,0	Franco-Arenosa	0,0
BC	37-45	10YR 4/6 Dark Yellowish Brown	1,2	41	44	9	6	1,5	Areia-Franca	0,9
C	45-50	10YR 4/2 Dark Grayish Brown	0,1	52	40	2	6	0,3	Areia	0,0
Cff	50-54+	10YR 5/2 Grayish Brown	0,2	56	38	2	4	0,5	Areia	0,0
MP20 - Typic Psammorthel ¹ - Cambic Cryosol (Hypereutric, Aridic, Arenic) ²										
A	0-10	10YR 4/3 Brown	0,0	26	50	13	11	1,2	Franco-Arenosa	0,0
C1	10-29	10YR 4/4 Dark Yellowish Brown	0,1	1	87	8	4	2,0	Areia	0,0
C2	29-54	10YR 4/6 Dark Yellowish Brown	0,1	0	90	5	5	1,0	Areia	0,0
Cf	54 +	10YR 5/2 Grayish Brown	0,0	1	89	8	2	4,0	Areia	0,0
MP17 - Typic Haplorthel ¹ - Haplic Cryosol (Eutric) ²										
A	0-3	10YR 3/2 Very Dark Grayish B.	11,2	1	32	39	28	1,4	Franco-Argilosa	0,0
B	3-39	10YR 4/4 Dark Yellowish Brown	1,8	1	18	56	25	2,2	Franco-Siltosa	0,0
Cf	39-55 +	10YR 4/1 Dark Gray	-0,9	3	19	56	22	2,5	Franco-Siltosa	0,0
MP09 - Typic Haplorthel ¹ - Haplic Cryosol (Eutric) ²										
A	0-20	10YR 3/2 Very Dark Grayish B.	6,0	5	55	25	15	1,7	Franco-Arenosa	1,2
C1	20-32	10YR 4/4 Dark Yellowish Brown	2,2	0	24	49	27	1,8	Franco-Argilosa	0,0
C2	32-60	10YR 3/4 Dark Yellowish Brown	1,2	0	21	49	30	1,6	Franco-Argilosa	0,0
Cf	60 +	10YR 3/3 Dark Brown	0,0	1	26	61	12	5,1	Franco-Siltosa	1,0
MP01 - Typic Haplogelept ¹ - Haplic Cambisol (Ruptic, Hypereutric, Gelic, Aridic) ²										
A	0-4	7,5YR 4/2 Brown	5,4	4	64	27	5	5,4	Franco-Arenosa	0,7
B	4-28	7,5YR 4/4 Brown	3,3	0	67	20	13	1,5	Franco-Arenosa	0,0
C1	28-45	7,5YR 5/2 Brown	2,5	2	63	24	11	2,2	Franco-Arenosa	0,0
C2	45-110	7,5YR 4/2 Brown	0,4	0	69	28	3	9,3	Franco-Arenosa	0,0
CBf	110-145	7,5YR 4/3 Brown	-1,0	0	69	27	4	6,7	Franco-Arenosa	0,0
2Bf	145-190	7,5YR 4/2 Brown	-1,0	1	68	22	9	2,4	Franco-Arenosa	0,0
3Bf	190-220+	7,5YR 4/1 Dark Gray	-0,7	0	70	26	4	6,5	Franco-Arenosa	0,0

*T= Temperatura; AG = Areia grossa (2 - 0,20 mm); AF = Areia fina (0,20 - 0,05 mm); Arg. = Argila. ¹Classificação pela Soil Taxonomy. ²Classificação pelo sistema WRB/FAO.

Solos pouco desenvolvidos sobre Till da Formação Weddell Sea:

A morfologia dos solos pouco desenvolvidos sobre a Formação Weddell Sea reflete a natureza do Till originário. A textura mais fina dos solos (tendendo a Franco-Arenosa, com importante contribuição de Areia Fina) (Tabela 9) possui vínculo direto com a textura da matriz do Till, caracterizada como argilo-siltosa por Gazdzicki et al (2004). As cores dos solos também refletem a natureza do material de origem, e não se notam grandes diferenças de cores entre os horizontes C e os demais, todos tendendo a cores acinzentadas (Tabela 9). Apesar da dominância de cores neutras (croma entre 1 e 3), não se notam sinais de hidromorfismo ou permanência de água nestes pedossistemas. As transições entre os horizontes não são claras, e geralmente são onduladas.

Os horizontes basais de MP03 fogem a estas regras, apresentando uma textura mais grosseira (Areia-Franca, com uma contribuição um pouco mais expressiva de Areia Grossa) e cores mais cromadas (Tabela 9), tendendo a marrom. Este solo foi coletado próximo à transição para rochas da Formação La Meseta, e provavelmente os horizontes basais evidenciam alguma influência de materiais areníticos subjacentes, próximos ao contato.

Representa um domínio de solos rasos com ocorrência de permafrost entre 30 e 40 cm de profundidade, contendo gelo intersticial, com forte efeito de regulação na lixiviação e no desenvolvimento dos solos. O permafrost raso associado a um relevo plano desfavorece a retirada de solução do sistema, seja por lixiviação seja por fluxos laterais. Diversas características químicas e mineralógicas destes solos pouco desenvolvidos são atribuídas à combinação de relevo plano e solos rasos.

Solos da Formação La Meseta:

Solos sulfatados ácidos

A característica morfológica distintiva dos solos sulfatados ácidos na área de estudo é o desenvolvimento de cor amarelada ou marrom (matizes 10YR e 7,5YR) (Tabela 9). Esta característica de fácil visualização serve como atributo diferenciador entre os solos sulfatados ácidos e os solos pouco desenvolvidos, onde predominam cores acinzentadas. Van Breemen (1982) relata desenvolvimento de cor amarelada em solos ácidos desenvolvidos de arenitos contendo sulfetos. Este autor atribui o desenvolvimento das cores amareladas à presença de jarosita. Simas (2008) e Souza

(2011) também relatam cores amareladas e presença de jarosita em solos sulfatados da Antártica Marítima e na própria Ilha Seymour, respectivamente.

Singh et al (1982) reportam o incremento de croma nos horizontes intemperizados de arenitos contendo sulfetos, em contraste às cores neutras ocorrentes nos horizontes não intemperizados, atribuindo o incremento de cor à presença de óxidos de Fe livres.

Tatur et al (1993) afirmam que na zona de rochas Paleógenas intemperizadas da na Ilha Seymour (das quais os solos sulfatados se desenvolvem) nota-se a presença de horizontes amarelados ricos em jarosita, que podem se tornar marrons com o incremento da distância do local de oxidação de sulfetos, tornando-se mais importantes hidróxidos de Fe e gipsita.

Campbell e Claridge (1987) apontam que a principal causa de desenvolvimento de cor nos solos antárticos é a oxidação de minerais contendo ferro nas partículas dos solos. Estes autores lembram que geralmente a cor dos solos é reflexo de óxidos de ferro livres, extraíveis por Oxalato ou Ditionito. É notável a coincidência entre os solos sulfatados ácidos estudados com valores expressivos de ferro extraído por oxalato e ditionito (Tabela 12). Assim, atribui-se o desenvolvimento de cor nos solos sulfatados ácidos estudados a óxidos de ferro pouco cristalinos e sulfatos de ferro insolúveis como a jarosita, resultantes do processo de oxidação de sulfetos (principalmente pirita) contidos no material de origem. É importante lembrar que tanto o ferro contido nos óxidos de ferro livres quanto na jarosita são extraíveis pelo uso do DCB.

Sobre a variação da cor dentro dos perfis, Campbell e Claridge (1987) afirmam que o mais comum é que solos Antárticos intemperizados apresentem maior intensidade de cor nos horizontes superiores, transicionando para cores mais pálidas nos horizontes inalterados em profundidade. Campbell e Claridge (1987) afirmam ainda que na Antártica, os solos desenvolvidos a partir de arenitos são tipicamente cinzas nos horizontes não intemperizados, e amarelos a amarelo-marrons nos horizontes intemperizados. Este padrão de cores corresponde ao observado nos solos sulfatados ácidos estudados, onde o máximo desenvolvimento de cor se dá nos horizontes superiores, com o permafrost apresentando coloração acinzentada (Tabela 2).

Os solos sulfatados ácidos são solos moderadamente a muito profundos no contexto da área de estudo, com profundidade de ocorrência do permafrost inferida

entre 39 e 110 cm, sendo mais comum entre 50 e 60 cm. A maior profundidade da camada ativa pode ser explicada pela localização destes solos em cotas relativamente baixas.

Em alguns solos sulfatados ácidos é notada a presença de crostas salinas superficiais. Estas crostas se desenvolvem principalmente nos solos próximos ao nível de base, em posição de planície, como o MP09. É provável que estes sais sejam compostos de sulfatos solúveis, produto da alteração de sulfetos, e que em função da sua alta solubilidade sejam transportados em solução até as posições baixas e deposicionais, onde precipitam.

Os dados texturais dos solos sulfatados ácidos apontam para uma tendência de enriquecimento de argila. Este grupo de solos apresenta uma textura variando de Franco-Argilosa a Areia, predominando horizontes Franco-Arenosos (Tabela 9). Os valores mais expressivos de Argila são encontrados nos solos sulfatados desenvolvidos de materiais mais ricos em argila (MP09, MP17, MP01). Mesmo os solos sulfatados desenvolvidos a partir de materiais de origem ricos em Areia (MP02) apresentam teores de argila significativos para a área de estudo.

A participação mais expressiva de argila nestes solos indica maior desenvolvimento pedogenético, uma vez que a oxidação de sulfetos e maior acidificação favorecem as transformações químicas. Como resultado, é maior a formação de minerais secundários compondo a fração argila destes solos. No entanto, deve-se levar em conta a possibilidade de a maior contribuição de argila nestes solos tenha pelo menos em parte origem geogênica, refletindo a natureza do material de origem. De fato, as condições redutoras, necessárias à acumulação de sulfetos (PONS et al, 1982) são favorecidas em depósitos com maior contribuição de material fino.

Solos pouco desenvolvidos sobre Rochas da Formação La Meseta

Estes solos não apresentam grande diferenciação ao longo do perfil, sugerindo baixa transformação do material do solo. As cores não variam muito ao longo do perfil, assim como a textura, com vínculos fortes com a natureza do material de origem. Como os dois solos incluídos nesta categoria se desenvolvem a partir de litofácies bastante diferentes da Formação La Meseta, os atributos dos dois solos também são bastante diferentes.

O MP04 se desenvolve a partir de arenitos resistentes da Formação La Meseta (SADLER, 1988), e a textura reflete as características do material de origem, com dominância da classe textural Areia, com grande contribuição de Areia Grossa. A cor do solo também é influenciada pela natureza do material de origem, com a observação de cores acinzentadas. As transições entre os horizontes são pouco evidentes e atributos como cor, textura e estrutura são muito homogêneos ao longo do perfil. Uma feição bem desenvolvida neste solo é o pavimento epipedregoso, que cobre praticamente toda a superfície. Ele é constituído por clastos com clara vinculação aos materiais do Till, e se desenvolveram a partir da deflação eólica da superfície superior.

O MP08 se desenvolve em um depósito de tálus bastante declivoso. A área de contribuição dos sedimentos é composta principalmente por rochas ricas em argila da Formação La Meseta (SADLER, 1988). A textura do solo reflete a natureza dos sedimentos, apresentando dominância da classe textural Franco-Arenosa. As cores, tendendo a marrom, são bastante homogêneas ao longo do perfil. As principais diferenciações ao longo do perfil, de atributos como textura e percentagem de material grosseiro, são atribuídas à natureza de diferentes estratos de sedimentos de tálus.

3.3. Caracterização Química dos solos

Os solos estudados são em sua maioria eutróficos, com importante contribuição de Na, K e Ca. Atribui-se a alta concentração de bases às baixas taxas de lixiviação observadas nos solos em geral, condicionadas pela condição climática seca e com pouca participação da água líquida, e à presença generalizada de permafrost constituindo um impedimento à percolação da água.

Alguns atributos químicos apresentam grande variabilidade entre os solos estudados, ou até dentro de um mesmo perfil. Assim, valores de acidez potencial, pH, saturação por alumínio e saturação por bases são muito dependentes de condições locais de formação do solo, com ampla variação. A natureza do material de origem, mais especificamente a presença ou ausência de sulfetos, é o principal fator determinando as características químicas do solo.

Todos os solos apresentam um conteúdo muito baixo de matéria orgânica (Tabelas 3 e 4). Esta característica reflete a colonização vegetal negligível na área de estudo, com produção primária muito baixa. Além disso, em diversos solos não se nota um padrão claro de enriquecimento superficial de matéria orgânica, que muitas vezes apresenta o máximo conteúdo em horizontes subsuperficiais (MP04, MP02,

MP08, MP09, MP17, MP01), denotando origem sedimentar, não-pedogenética. Portanto, indica uma origem geogênica de matéria orgânica. De fato, Tatur et al (1993) apontam que na ISM não ocorre acumulação de matéria orgânica nos processos recentes de formação dos solos, mas compostos betuminosos ocorrem, sendo herdados da rocha.

Solos pouco desenvolvidos sobre Till da Formação Weddell Sea

Os solos deste grupo apresentam atributos químicos de solos pouco evoluídos. O pH é básico ou próximo a neutro, determinando uma inexpressiva alteração de silicatos, e ausência de alumínio trocável (Tabela 10). Os valores de fósforo extraível neste ambiente se mostram comparativamente altos para a área de estudo, provavelmente como um reflexo dos poucos sítios de adsorção em um solo pouco transformado e pobre em óxidos.

São solos marcados pela baixa lixiviação, condicionada pelo contexto climático seco associado a um relevo plano e presença de permafrost raso. Assim, diversos atributos químicos refletem a baixa taxa de remoção deste sistema. Nota-se uma clara acumulação de bases. A baixa lixiviação culmina em valores de saturação por bases extremamente altos, sempre maiores que 90 %, revelando o caráter “hypereutric” nos solos (IUSS, 2006). A soma de bases também é alta nestes sistemas, associada a uma alta CTC. A própria alcalinidade apresentada por estes solos pode ser reflexo de acumulação de bases e sais em um ambiente pouco marcado pela lixiviação.

A alta evaporação em conjunto com a baixa lixiviação promove um fluxo ascendente de solução saturada, determinando uma concentração superficial de bases nestes solos, especialmente as mais móveis, como Na. Assim, altos teores de sódio são encontrados nos horizontes superficiais, onde também é maior a saturação por sódio. O perfil MP03, que se encontra em um setor mais ravinado e sujeito à lixiviação por fluxos laterais subsuperficiais, apresenta uma tendência menos evidente de concentração superficial de bases.

Os altos valores de CTC observados nestes solos (Tabela 10) se devem à mineralogia rica em minerais silicatados 2:1 ocorrente em pedossistemas pouco transformados. Cargas dependentes de pH, relacionadas a matéria orgânica e óxidos não são esperadas, uma vez que óxidos não foram identificados nestes solos (Tabela 12), e os valores de matéria orgânica são muito baixos, sempre abaixo de $1,0 \text{ dag} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Tabela 10). Desta forma, é reduzida a diferença entre a CTC efetiva e a CTC em pH 7,0, com grande importância das cargas permanentes dos argilominerais 2:1.

Tabela 10 - Atributos químicos dos solos.

Horizonte		pH		ΔpH	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³	H+Al	SB	(t)	T	V	m	ISNa	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu
Símbolo	Prof. (cm)	H ₂ O	KCl		mg/dm ³			cmol _c /dm ³							%		dag/kg	mg/L	mg/dm ³				
Solos Pouco Desenvolvidos sobre Till da Formação Weddell Sea																							
MP21 - Typic Haplorthel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric, Aridic) ²																							
Af	0-10	8,02	7,26	-0,76	118,1	1118	1638,8	10,82	3,18	0,00	0,6	23,99	23,99	24,59	97,6	0,0	29,70	0,89	37,6	3,75	308,9	52,7	1,87
B1f	10-17	8,24	7,71	-0,53	103,5	1704	1941,4	10,98	2,64	0,00	0,3	26,42	26,42	26,72	98,9	0,0	31,95	0,51	43,8	2,69	271,0	16,9	1,62
B2f	17-35	8,06	7,62	-0,44	88,8	653	428,4	15,11	3,00	0,00	0,5	21,64	21,64	22,14	97,7	0,0	8,61	0,51	45,1	2,85	262,3	34,0	1,42
Cf	35-40+	7,79	7,44	-0,35	90,2	572	347,7	13,31	4,60	0,00	1,0	20,88	20,88	21,88	95,4	0,0	7,24	0,76	39,8	2,10	288,8	8,5	1,44
MP03 - Typic Haplorthel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric, Aridic) ²																							
A	0-7	8,67	8,13	-0,54	8,6	37	1171,6	4,78	2,32	0,00	0,3	12,28	12,28	12,58	97,6	0,0	41,48	0,90	38,6	0,00	25,2	24,0	0,53
B	7-22	7,72	7,10	-0,62	98,0	638	874,6	3,82	0,61	0,00	0,6	9,86	9,86	10,46	94,3	0,0	38,57	0,38	51,5	2,79	607,3	21,0	1,66
C	22-35	7,84	7,54	-0,30	81,2	1135	1369,6	7,42	0,59	0,00	0,6	16,86	16,86	17,46	96,6	0,0	35,32	0,51	48,9	7,07	500,0	24,7	2,08
Cf	35-42+	7,26	6,48	-0,78	113,0	986	2062,7	3,47	2,42	0,00	1,1	17,38	17,38	18,48	94,0	0,0	51,60	0,38	53,5	3,78	559,5	11,3	1,51
Solos Pouco Desenvolvidos Sobre Rochas da Formação La Meseta																							
MP04 - Typic Psammorthel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric, Arenic) ²																							
A	0-10	7,56	6,83	-0,73	84,1	170	145,9	4,66	2,07	0,00	0,8	7,79	7,79	8,59	90,7	0,0	8,14	0,38	54,1	5,99	623,1	34,4	0,90
AB	10-18	7,80	6,72	-1,08	38,2	137	76,6	3,60	1,41	0,00	0,5	5,69	5,69	6,19	91,9	0,0	5,85	0,38	45,5	7,09	429,5	27,2	0,86
B1	18-44	7,18	6,46	-0,72	38,0	190	94,4	4,21	1,68	0,00	0,6	6,79	6,79	7,39	91,9	0,0	6,04	0,38	49,7	4,52	653,6	22,1	0,87
B2	44-56	7,58	7,01	-0,40	72,3	196	102,3	3,86	1,99	0,00	0,3	6,79	6,79	7,09	95,8	0,0	6,55	0,51	48,9	16,67	541,0	29,8	0,75
Cf	56-64 +	7,41	6,97	-0,44	73,5	291	280,5	2,80	5,29	0,00	0,5	10,05	10,05	10,05	95,3	0,0	12,13	0,38	45,5	3,04	619,1	17,2	0,70
MP08 - Typic Haplorthel ¹ - Haplic Cryosol (Hypereutric) ²																							
A	0-8	8,31	7,91	-0,40	36,7	109	330,0	5,38	1,82	0,00	0,3	8,91	8,91	9,21	96,7	0,0	16,10	1,15	33,7	1,27	96,0	58,4	0,70
B1	8-37	8,39	7,95	-0,44	68,8	121	280,5	11,30	6,18	0,00	0,2	19,01	19,01	19,21	99,0	0,0	6,42	1,28	30,5	0,09	104,4	53,3	0,67
B2	37-70	8,01	7,69	-0,32	51,4	117	577,6	11,06	5,41	0,00	0,3	19,28	19,28	19,58	98,5	0,0	13,03	1,66	30,8	3,97	889,3	41,1	1,65
B3f	70-79	8,10	7,87	-0,23	7,7	59	478,5	18,29	7,11	0,00	0,2	27,63	27,63	27,83	99,3	0,0	7,53	1,41	36,9	0,0	75,6	74,6	0,40
B4f	79-100 +	7,79	7,50	-0,29	178,5	170	775,6	26,46	8,52	0,00	0,3	38,78	38,78	39,08	99,2	0,0	8,70	1,92	32,7	2,62	600,5	27,4	1,73

* pH em H₂O e KCL – Relação 1:2,5; ΔpH=(pH KCL - pH H₂O); P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich 1; Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; SB = Soma de Bases

Trocáveis; CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio; ISNa - Índice de Saturação de Sódio; Mat. Org. (MO) = C.Org x 1,724 - Walkley-Black; P-rem = Fósforo Remanescente.¹Classificação pela Soil Taxonomy. ²Classificação pelo sistema WRB/FAO.

Tabela 11 - Atributos químicos dos solos.

Horizonte		pH		ΔpH	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³	H+Al	SB	(t)	T	V	m	ISNa	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu
Símbolo	Prof. (cm)	H ₂ O	KCl			mg/dm ³		cmol _c /dm ³							%			dag/kg	mg/L	mg/dm ³			
Solos Sulfatados Ácidos sobre Rochas da Formação La Meseta																							
MP02 - Typic Haplorthel ¹ - Cambic Cryosol (Dystric) ²																							
A	0-4	8,60	8,06	-0,54	91,1	57	134,0	4,90	1,53	0,00	0,5	7,16	7,16	7,66	93,5	0,0	8,14	0,38	41,3	0,23	105,7	152,1	0,83
A2	4-12	8,58	7,83	-0,75	30,7	65	98,3	5,79	1,88	0,00	0,3	8,27	8,27	8,57	96,5	0,0	5,17	0,38	38,7	1,37	270,8	154,3	1,17
B	12-25	8,20	7,09	-1,11	26,5	87	82,5	4,67	2,26	0,00	0,3	7,51	7,51	7,81	96,2	0,0	4,78	0,38	35,9	1,19	198,7	6,7	1,15
B2	25-37	4,40	3,50	-0,90	23,7	49	78,5	3,17	0,82	2,54	6,4	4,46	7,00	10,86	41,1	36,3	4,88	0,51	25,4	3,08	277,1	4,3	1,99
BC	37-45	3,34	3,00	-0,34	30,2	30	54,8	4,12	0,37	2,63	6,9	4,81	7,44	11,71	41,1	35,3	3,20	0,38	30,9	1,89	441,8	1,8	1,50
C	45-50	3,40	3,10	-0,30	21,5	24	40,9	3,04	0,38	2,15	4,8	3,66	5,81	8,46	43,3	37,0	3,06	0,13	38,7	1,77	279,6	1,6	1,19
Cff	50-54+	3,78	-----	-----	17,9	37	64,7	2,89	0,46	0,88	3,2	3,72	4,60	6,92	53,8	19,1	6,12	0,26	47,2	2,47	274,3	4,8	1,21
MP20 - Typic Psammorthel ¹ - Cambic Cryosol (Hypereutric, Aridic, Arenic) ²																							
A	0-10	8,55	8,00	-0,55	39,2	7	670,5	8,15	2,13	0,00	0,2	13,22	13,22	13,42	98,5	0,0	22,05	0,76	30,4	1,02	177,4	1000,	0,82
C1	10-29	8,26	7,58	-0,68	29,3	815	952,9	3,59	1,35	0,00	0,6	11,16	11,16	11,76	94,9	0,0	37,12	0,51	37,4	1,79	342,6	5,8	0,83
C2	29-54	7,42	7,00	-0,42	38,2	936	1114,3	3,43	1,15	0,00	1,3	11,81	11,81	13,11	90,1	0,0	41,02	0,63	28,7	3,94	258,6	23,4	1,17
Cf	54 +	3,39	3,29	-0,10	20,0	15	1336,2	10,79	0,82	1,37	5,5	17,46	18,83	22,96	76,0	7,3	30,85	0,38	29,2	2,95	577,4	7,7	1,15
MP17 - Typic Haplorthel ¹ - Haplic Cryosol (Eutric) ²																							
A	0-3	3,25	3,01	-0,24	168,1	7	549,5	9,54	1,92	4,59	15,5	13,87	18,46	29,37	47,2	24,9	12,94	1,90	16,1	6,33	1433,1	15,8	2,22
B	3-39	3,10	3,02	-0,08	19,2	5	731,0	12,77	3,70	4,59	17,2	19,66	24,25	36,86	53,3	18,9	13,11	2,15	11,0	15,85	1389,7	38,8	3,27
Cf	39-55 +	4,27	4,04	-0,23	36,2	110	4764,6	18,30	11,46	0,20	6,6	50,76	50,96	57,36	88,5	0,4	40,65	3,30	22,5	8,42	1063,1	73,1	2,54
MP09 - Typic Haplorthel ¹ - Haplic Cryosol (Eutric) ²																							
A	0-20	7,69	7,60	-0,09	89,3	101	1320,1	9,86	10,22	0,00	0,3	26,08	26,08	26,38	98,9	0,0	22,01	1,54	29,4	9,37	1083,5	106,1	2,25
C1	20-32	3,70	3,38	-0,32	18,1	59	1023,1	10,58	12,52	3,41	11,6	27,70	31,11	39,30	70,5	11,0	14,30	1,79	34,7	4,62	664,2	11,6	2,01
C2	32-60	3,24	3,07	-0,17	19,1	31	1122,1	14,78	8,35	4,98	14,6	28,09	33,07	42,69	65,8	15,1	14,75	1,79	17,0	6,52	671,9	17,3	2,65
Cf	60 +	2,99	3,09	0,10	26,9	31	775,6	11,17	9,05	10,93	27,7	23,67	34,60	51,37	46,1	31,6	9,75	2,05	13,6	34,45	1127,1	53,6	6,43
MP01 - Typic Haplogelept ¹ - Haplic Cambisol (Ruptic, Hypereutric, Gelic, Aridic) ²																							
A	0-4	3,60	3,65	0,05	58,6	6	2755,8	6,46	11,08	3,80	8,9	29,54	33,34	38,44	76,8	11,4	35,94	0,77	42,8	4,49	473,9	45,5	1,51
B	4-28	3,48	3,43	-0,05	48,2	4	1864,7	7,05	7,01	3,90	9,0	22,18	26,08	31,18	71,1	15,0	31,09	0,77	39,5	3,54	589,5	30,8	1,39
C1	28-45	3,45	3,32	-0,13	27,6	4	1666,7	8,66	13,65	3,80	9,0	29,57	33,37	38,57	76,7	11,4	21,72	1,02	36,8	5,01	615,5	44,9	1,72
C2	45-110	3,80	3,58	-0,22	22,3	18	2607,3	3,26	11,84	0,98	7,2	26,49	27,47	33,69	78,6	3,6	41,27	1,15	33,6	7,23	1496,4	43,1	2,15
CBf	110-145	6,71	6,77	0,06	60,0	539	3943,9	3,55	11,75	0,00	1,0	33,83	33,83	34,83	97,1	0,0	50,69	1,41	31,3	7,55	2159,5	80,4	1,74
2Bf	145-190	7,37	7,16	-0,21	98,6	440	3844,9	1,76	13,25	0,00	0,5	32,86	32,86	33,36	98,5	0,0	50,87	1,54	41,2	8,76	2383,1	69,4	1,33
3Bf	190-220	7,10	6,92	-0,18	81,2	539	4637,0	2,31	13,56	0,00	0,8	37,41	37,41	38,21	97,9	0,0	53,89	1,54	43,1	7,66	2056,3	71,7	1,67

* pH em H₂O e KCL – Relação 1:2,5 ; ΔpH=(pH KCL - pH H₂O); P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich 1; Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio; ISNa - Índice de Saturação de Sódio; Mat. Org. (MO) = C.Org x 1,724 - Walkley-Black; P-rem = Fósforo Remanescente.¹Classificação pela Soil Taxonomy. ²Classificação pelo sistema WRB/FAO.

Solos da Formação La Meseta:

Solos sulfatados ácidos

Nestes solos são observados os menores valores de pH da área de estudo (Tabela 4). Estes valores de pH são explicados pela geração de acidez pelo processo de oxidação dos sulfetos, mediada microbiologicamente. A oxidação da pirita tem como um dos subprodutos o ácido sulfúrico, que pode promover uma acidificação extrema do solo (NORDSTROM, 1982; Van BREEMEN, 1982; CURI e KÄMPF, 2012). A acidificação da zona intemperizada de materiais de origem contendo sulfetos é amplamente relatada na literatura (SINGH et al, 1982; WAGNER et al, 1982).

Embora se observe grande variabilidade nos valores de pH dos solos sulfatados ácidos, são comuns valores menores que 3,5 (ocorrem em todos os solos sulfatados ácidos). Estes valores são expressivamente menores que os relatados por Simas (2006) e Albuquerque Filho (2005) para solos sulfatados ácidos na Antártica Marítima. Souza (2011) relata valores similares em solos sulfatados na parte sul da Ilha Seymour, embora a média do pH seja superior aos valores detectados.

Alguns horizontes nos solos sulfatados ácidos apresentam valores expressivos de acidez potencial (Tabela 11). A geração de ácido sulfúrico, resultante da oxidação dos sulfetos, leva a uma consequente protonação do complexo de troca dos solos, contribuindo para a alta acidez potencial. A formação de minerais mal cristalizados também favorece a alta acidez potencial. Além disso, a acidez extrema do solo ($\text{pH} < 4$) nas zonas de oxidação de sedimentos que contém pirita favorece o intemperismo de silicatos, com liberação de alumínio para a solução do solo (CURI e KÄMPF 2012; KÄMPF e CURI, 2012; Van BREEMEN, 1982), e consequente aumento de acidez potencial. Os valores de saturação por alumínio nos horizontes sulfúricos dos solos sulfatados ácidos estudados apontam para este processo, podendo apresentar valores expressivos ($m > 30\%$) (Tabela 11). A saturação por alumínio e hidrogênio na zona intemperizada de arenito contendo sulfetos, acompanhada pela diminuição na concentração de bases trocáveis, é reportada por Singh et al (1982).

A saturação por H^+ e Al^{3+} nos horizontes sulfúricos dos solos sulfatados ácidos desloca bases do complexo de troca (Van BREEMEN, 1982), sendo observada saturação por bases menor nos horizontes afetados por sulfurização. Em contraste com valores de saturação por bases sempre maiores que 90 % nos solos pouco desenvolvidos, nos horizontes sulfúricos dos solos sulfatados ácidos são observados valores menores de saturação por bases. Embora normalmente este valor permaneça

acima de 70 %, são observados valores de até 41 % (Tabela 11). Mesmo os solos sulfatados ácidos são na sua maioria eutróficos, sendo a única exceção o MP02, que apresenta $V < 50\%$ na maior parte do perfil (Tabela 11), apresentando caráter “dystric” (IUSS, 2006). Dado o contexto climático seco, associado a presença de permafrost impermeável raso, a lixiviação de bases é desfavorecida, sendo mantidos valores altos de soma de bases na maioria dos solos sulfatados ácidos.

A geração do ácido sulfúrico em ambiente oxidante condiciona a ocorrência de horizontes ácidos, que na sua maioria apresentam o caráter sulfúrico ($\text{pH} < 3,5$ e presença de jarosita) (SOIL SURVEY STAFF, 2010). Horizontes ácidos, saturados por alumínio e pobres em bases estão, na maioria dos solos sulfatados ácidos, associados, no mesmo perfil, a horizontes com atributos químicos bastante diferentes (alto pH, saturação por alumínio nula e alta saturação por bases).

Muitas vezes, os horizontes ácidos se concentram em profundidade, ao passo em que os horizontes superficiais apresentam pH básico ou neutro (como em MP02, MP20 e MP09). Este comportamento pode indicar que o processo de sulfurização atual já ultrapassou as profundidades dos horizontes superiores (com oxidação completa dos sulfetos), e a acidez já foi neutralizada, possivelmente por bases que ascenderam dos horizontes mais profundos sob influência da alta evaporação. Em outros casos (MP01), os horizontes ácidos se concentram a profundidades menores, enquanto o permafrost permanece básico ou levemente ácido. Este comportamento indica que parte do sistema não foi oxidada, em função da barreira representada pelo permafrost cimentado por gelo, com preservação dos sulfetos originais. O único perfil que apresenta atributos sulfatados ácidos em todos os horizontes é o MP17, possivelmente indicando que o processo de oxidação dos sulfetos ocorreu ao longo de todo o perfil, inclusive no permafrost, em função de fases pretéritas com camada ativa mais profunda e presença de água líquida.

É comum a ocorrência de permafrost apresentando pH's extremamente baixos (inclusive $< 3,0$, como em MP09). Este comportamento não é esperado, uma vez que o permafrost representa uma barreira à oxidação, como evidenciado pela ocorrência de cores neutras nestes horizontes. Pode ter ocorrido oxidação dos materiais sulfídicos destas amostras após a coleta do material. De fato, Van Breemen (1982) aponta que valores de pH entre 2 e 3 reportados na literatura se deve na maioria das vezes a uma rápida oxidação accidental por aeração de amostras contendo sulfetos, e raramente são representativas das condições de campo.

Os solos sulfatados ácidos apresentam, em geral, teores altos de matéria orgânica no contexto da área de estudo. Os teores de matéria orgânica muitas vezes crescem em profundidade, apresentando teores máximos coincidentes com o permafrost (MP09, MP17, MP01), indicando uma origem geogênica de compostos orgânicos, como apontado por Tatur et al (1993). A formação dos sulfetos no material de origem destes solos é mediada microbiologicamente, e requer a presença de matéria orgânica (KÄMPF e CURI, 2012; PONS et al, 1982), o que explica a maior importância de matéria orgânica nestes materiais. Além disso, a própria oxidação de sulfetos é catalisada por agentes microbiológicos (KÄMPF e CURI, 2012; TATUR et al, 1993), representando a mais importante ação de micro-organismos na formação dos solos estudados, contribuindo para a explicação da maior presença de matéria orgânica.

A CTC em pH 7,0 é significativamente maior que a CTC efetiva nos horizontes sulfúricos dos solos sulfatados ácidos. Nestes solos deve ser considerada a importância das cargas dependentes de pH relacionadas aos hidróxidos de Fe (como o ferrihidrita) originados do intemperismo dos sulfetos. A presença de óxidos combinada com pH ácido culmina na significativa diferença observada. A importância dos óxidos se reflete também em valores menores de P extraível nos horizontes sulfúricos. Este comportamento do fósforo é creditado à maior presença de sítios de adsorção em horizontes com maior contribuição de minerais de baixa cristalinidade (ferrihidrita) e sulfatos (jarosita).

Solos pouco desenvolvidos sobre Rochas da Formação La Meseta

Estes solos, assim como os solos pouco desenvolvidos sobre Till da Formação Weddell Sea, apresentam características químicas relacionadas ao baixo desenvolvimento pedogenético, como alto pH, ausência de alumínio trocável, e alta saturação por bases (sempre maior que 90 %) (Tabela 10), apresentando caráter “hypereutric” (IUSS, 2006). Valores relativamente altos de fósforo extraível são atribuídos à pobreza de sítios de adsorção em um solo pouco desenvolvido. Valores de soma de bases menores que nos solos sobre Till se devem a uma menor CTC, não diferindo muito os valores de saturação por bases.

Distintamente aos solos desenvolvidos do Till, estes solos estão mais sujeitos à lixiviação, por se localizarem em encostas, às vezes declivosas e ravinadas, que favorecem fluxos laterais subsuperficiais sobre o permafrost. Assim, nota-se uma

importância menor de bases muito móveis, como Na, se tornando relativamente mais importantes o Ca e o Mg. O índice de saturação por sódio é moderado nestes solos, não ultrapassando os 16 %, e são sensivelmente menores do que nos solos em relevo plano. Além disso, a tendência de acumulação superficial de bases, ainda que observada, é menos clara, sendo expressivos os teores de K, Na, Ca e Mg no horizonte imediatamente sobre o permafrost.

3.4. Mineralogia dos solos

Solos pouco desenvolvidos sobre Till da Formação Weddell Sea

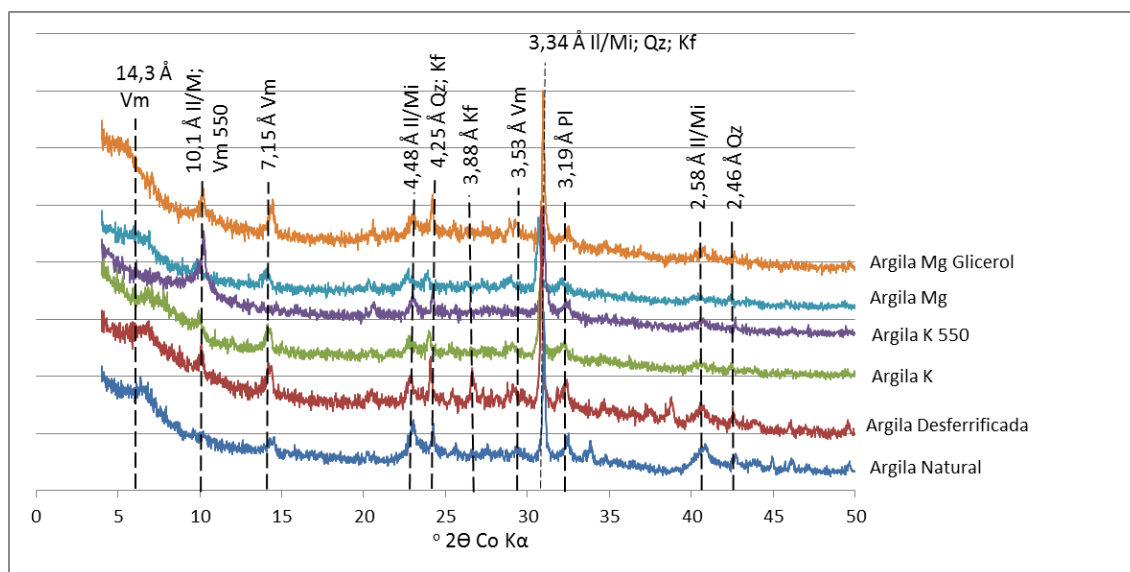
As frações areia e silte destes solos refletem a composição mineralógica do material de origem (Till). A detecção de minerais como quartzo (3,34, 4,26, 2,46, 2,28 e 1,82 Å), plagioclásio (3,19 Å), feldspato potássico (3,76, 4,24, 3,34 Å) e rutilo (1,68, 2,05 Å) é atribuída à presença destes minerais no material de origem.

Outros minerais presentes nestas frações não apresentam uma relação direta com o material de origem, e são atribuídos a processos de formação pedogenética. Assim, a detecção de minerais muito solúveis, como halita (1,99, 3,26 Å) na fração areia destes solos indica concentração de sais em solos com lixiviação muito baixa. De fato, como discutido anteriormente, estes pedossistemas, caracterizados pela associação de relevo plano e permafrost impermeável raso, não favorecem a lixiviação, sendo concentrados minerais muito solúveis.

Foi detectada a presença de minerais primários facilmente intemperizáveis, como plagioclásios (3,19 Å) e K-feldspatos (3,76, 4,25, 3,34 Å) (Figura 26) na fração argila destes solos, indicando um intemperismo químico muito pouco atuante nestes pedossistemas e preservação dos silicatos primários. O intemperismo físico, na forma de crioclastia e haloclastia, diminuindo o tamanho das partículas destes minerais até o tamanho de argila é a transformação mais importante observada nestes solos. A presença de quartzo na fração argila destes solos corrobora a ideia da grande importância da crioclastia e haloclastia na transformação física destes solos.

O comportamento das argilas 2:1 presentes nestes solos frente aos tratamentos térmicos e químicos indicou a presença de vermiculita. Assim, os picos de 14,3 Å da argila natural colapsaram para 10,0 Å após saturação com K e aquecimento a 550 °C e diminuíram de intensidade após a saturação com glicerol (Figura 26). A baixa taxa de lixiviação nestes pedoambientes desfavorece a retirada de bases,

contribuindo para a formação destes minerais. Os picos entre 7,1 e 7,2 Å foram atribuídos à vermiculita, uma vez que a formação de caulinita nestes pedoambientes pouco transformados e desfavoráveis à lixiviação não é esperada.



Vm: Vermiculita; Vm 550: Vermiculita aquecida a 550 °C; Il/Mi: Ilita e micas; Qz: Quartzo; Kf: K-Feldspato; Pl: Plagioclásio.

Figura 26 - Difratogramas da fração argila de MP21 B1f, com tratamentos.

Solos da Formação La Meseta:

Solos sulfatados ácidos

Mineralogicamente, estes são os solos mais desenvolvidos dentre os solos estudados. Assim, são raros minerais primários facilmente intemperizáveis, principalmente na fração argila, como resultado do intemperismo de silicatos em ambiente ácido, e nota-se a presença de minerais secundários originados pela transformação de sulfetos e silicatos.

As frações areia e silte dos solos sulfatados ácidos podem apresentar minerais secundários facilmente intemperizáveis, como plagioclásio (3,18-3,21 Å) e K-feldspatos (4,11-4,25 Å), principalmente em posições mais profundas no perfil. A presença destes minerais indica que o processo de intemperismo dos silicatos em ambiente ácido não se completou em determinadas posições de alguns perfis (como MP01). Este solo se desenvolve a partir de sedimentos de terraço marinho muito recentes, e provavelmente o tempo de desenvolvimento não foi suficiente para a completa transformação dos silicatos, especialmente das partículas maiores (frações areia e silte), mesmo em pH baixo (pH 3,48). No entanto, a ausência destes minerais

na fração argila indica que o intemperismo dos silicatos é atuante, já tendo transformado totalmente as partículas mais finas destes minerais.

Nas frações areia e silte são encontrados também minerais secundários, originados da transformação dos silicatos e principalmente dos sulfetos originais. Deve ser destacada a presença de sulfatos solúveis, como a rozenita ($\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) (3,25 Å) e a gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) (3,06 Å) em alguns solos (como MP20), em horizontes superficiais. A gênese destes minerais está diretamente ligada à oxidação dos sulfetos, e a alta solubilidade de alguns destes minerais, associada a baixa lixiviação e alta evaporação resulta em uma concentração superficial destes minerais, como crostas salinas.

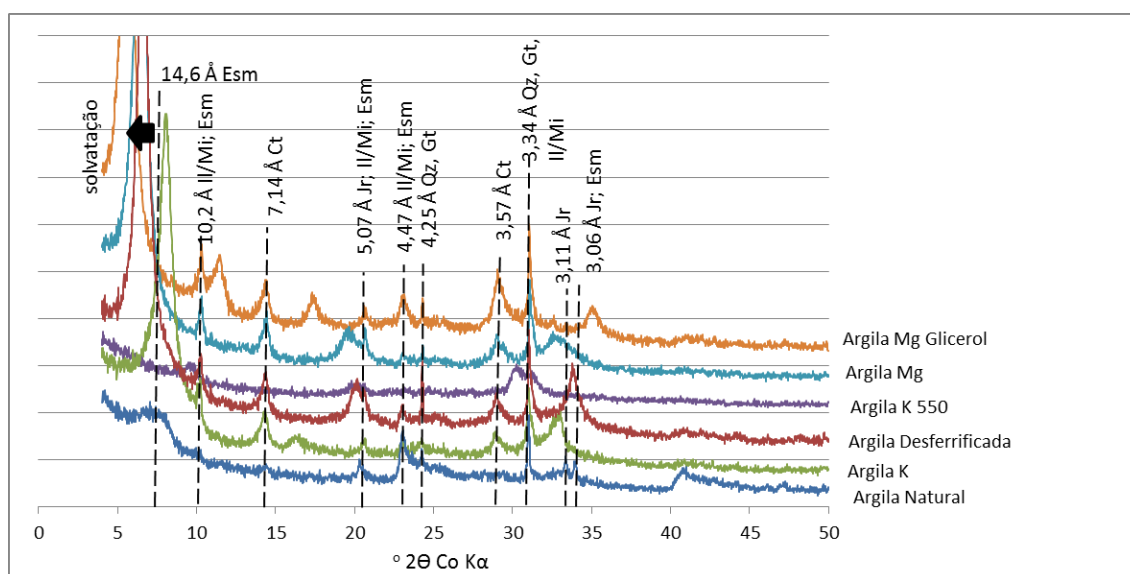
As características mineralógicas mais importantes da fração argila dos solos sulfatados ácidos são a ausência de minerais primários facilmente intemperizáveis e a presença de minerais secundários, sugerindo intemperismo químico atuante nestes solos.

Silicatos facilmente intemperizáveis como K-feldspatos e plagioclásios, de ocorrência comum nos solos pouco desenvolvidos, não são observados na fração argila destes solos. A presença de quartzo (3,34, 4,26, 2,46 Å) na fração argila confirma que a crioclastia dos minerais da rocha é um importante processo de alteração física nestes ambientes. A ausência destes silicatos na fração argila destes solos sugere que o intemperismo químico é um importante processo na formação destes solos (SIMAS et al, 2006). A acidez produzida pela oxidação da pirita tem um forte impacto na estabilidade dos silicatos, culminando com sua degradação (SIMAS et al, 2006). Van Breemen (1982) aponta que quando a concentração de ácido sulfúrico, proveniente da oxidação da pirita, se torna elevada, os aluminosilicatos podem intemperizar para, por exemplo, alunita, jarosita, halosita e sílica amorfa.

Os sulfatos solúveis, produto direto da transformação dos sulfetos, são observados na fração argila de diversos solos. Podem ser citados sulfatos de ferro, como szomolnokita ($\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) (3,44 e 2,52 Å), e rozenita ($\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) (4,47, 3,97 Å). Nordstrom (1982) e Van Breemen (1982) relacionam a formação de eflorescências destes minerais a condições secas, como a observada na ISM, e afirmam que sua formação é um importante passo para a precipitação de minerais insolúveis, como a goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$) e a jarosita ($\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$).

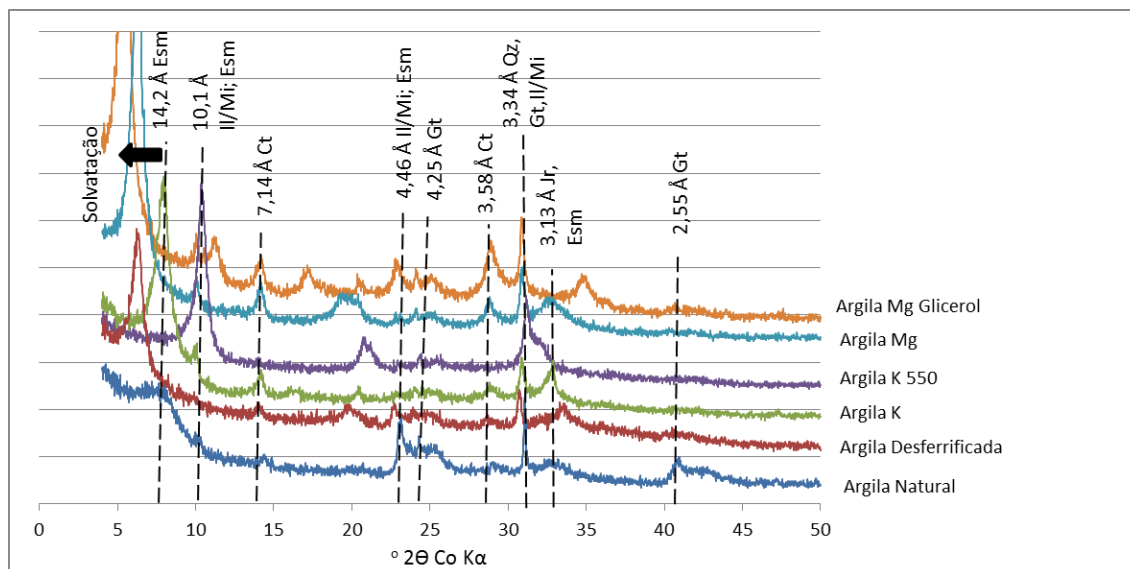
A presença de sulfatos de ferro insolúveis, como a jarosita (3,11, 3,08 Å), foi confirmada pelos padrões de difração de Raios-X em alguns solos sulfatados (Figuras

27 e 28). Este mineral se forma como resultado do intemperismo ácido sulfatado por oxidação da pirita. Segundo Nordstrom (1982), a jarosita se forma sob alta saturação de ferro oxidado, e é estável em condições de baixo pH. Van Breemen (1982) caracteriza o ambiente de formação da jarosita como ácido (pH 2-4) e oxidante ($E_h > 400$ mV), e chama a atenção para a importância da mediação microbiológica na gênese deste mineral. Segundo este autor, nos solos sulfatados ácidos a jarosita é metaestável, e sob alto pH se decompõe gradualmente em ferrihidrita e goethita.



Esm: Espectita; Ct: Caulinita; Il/M: Ilita e micas; Qz: Quartzo; Jr: Jarosita; Gt: Goethita.

Figura 27 - Difractogramas da fração argila de MP 17 B



Esm: Espectita; Ct: Caulinita; Il/M: Ilita e micas; Qz: Quartzo; Jr: Jarosita; Gt: Goethita.

Figura 28 - Difractogramas da fração argila de MP09 C1

Pela difração de Raios-X é possível a identificação de óxidos bem cristalizados de ferro em alguns horizontes dos solos sulfatados ácidos, sendo o mais importante a goethita (picos de 3,38 e 2,45 Å, que desaparecem ou diminuem de intensidade com o tratamento com DCB (Figuras 27 e 28). Van Breemen (1982) aponta que a maior parte do ferro proveniente da oxidação da pirita gera óxidos de Fe (III). Segundo este autor, pode ser gerada goethita, seja diretamente a partir da oxidação do Fe (II) liberado a partir da oxidação da pirita, seja mais lentamente a partir da hidrólise da jarosita.

O padrão de distribuição da goethita aponta para a ocorrência em horizontes mais superficiais, expressando o caráter sulfúrico (como em MP17 B e MP01 B) ou não (como em MP09 C1 e MP20 C1). A ocorrência deste óxido é mais esperada em horizontes mais desenvolvidos dentro dos solos sulfatados ácidos. Desta forma, goethita não foi identificada em nenhum horizonte mais profundo ou coincidente com permafrost.

É observada a presença de hidróxidos de Fe pouco cristalinos nos solos sulfatados ácidos. Embora não se tenha efetuado sua identificação através do uso de difração de Raios-X, os altos teores de Fe extraído com o uso de oxalato de amônio, a alta relação Fe_o/Fe_d e a alta relação Fe_o/Al_o nos solos sulfatados ácidos apontam para a presença de espécies pouco cristalinas de hidróxidos de Fe (Tabela 12). A presença destes óxidos influencia em alguns aspectos químicos dos solos. No horizonte B de MP17, por exemplo (com relação Fe_o/Fe_d próxima a 1), o valor de P remanescente é bastante baixo ($11 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), como reflexo da abundância de sítios de adsorção em um horizonte rico em óxidos pouco cristalinos.

O hidróxido de ferro amorfo de ocorrência mais provável é a ferrihidrita. De acordo com Nordstrom (1982), este mineral é formado sob saturação de ferro oxidado, que tem sua origem diretamente da oxidação da pirita, ou pela decomposição da jarosita. Os horizontes próximos à superfície, não apresentando caráter sulfúrico, representados por MP20 C1 e MP02 B2, mostram altos valores de ferro extraível por oxalato de amônio, não apresentando jarosita. Eles são os horizontes mais desenvolvidos dos solos sulfatados estudados, representando horizontes em que a hidrólise da jarosita em alto pH leva à formação de ferrihidrita (Van BREEMEN, 1982).

Tabela 12 - Extrações por DCB e Oxalato de Amônio.

Amostra	Fe _o	Fe _d	Fe _o /Fe _d	Si _o	Si _d	Si _o /Si _d	Al _o	Al _d	Al _o /Al _d	Mn _o	Mn _d	Mn _o /Mn _d
	%			%			%			Ppm		
Solos Pouco Desenvolvidos sobre Till da Formação Weddell Sea												
MP21 B1f	0.51	2.56	0.20	0.20	1.26	0.16	0.81	0.28	2.89	15	66	0.22
MP03 B	1.20	2.41	0.49	0.36	0.91	0.39	0.73	0.83	0.88	13	33	0.39
Solos Pouco Desenvolvidos Sobre Rochas da Formação La Meseta												
MP04 B1	2.84	5.00	0.56	0.19	1.43	0.13	0.82	1.00	0.82	23	34	0.67
MP08 B2	1.97	3.10	0.63	0.23	0.50	0.46	0.25	0.12	2.08	131	287	0.45
Solos Sulfatados Ácidos sobre Rochas da Formação La Meseta												
MP02 B2	3.95	7.45	0.53	0.26	0.86	0.30	0.55	0.69	0.79	15	33	0.45
MP20 C1	3.54	8.33	0.42	0.34	0.93	0.36	0.40	0.50	0.8	12	64	0.18
MP20 Cf	0.67	12.73	0.05	0.40	1.32	0.30	0.30	1.36	0.22	45	45	1
MP17 B	2.40	2.46	0.97	0.28	0.52	0.53	0.28	0.16	0.77	54	57	0.94
MP09 C1	2.32	3.70	0.62	0.28	0.52	0.54	0.30	0.16	1.87	28	52	0.53
MP01 B	4.01	6.30	0.63	0.29	0.56	0.51	0.49	0.29	1.68	66	86	0.76
MP01 2Bf	5.60	6.51	0.86	0.32	0.70	0.45	0.30	0.21	1.42	232	268	0.86

Ungolini (1976) citado por Campbell e Claridge (1987) considera que a relação Fe_o/Fe_d é relacionada com a cristalinidade dos óxidos de ferro, e pode ser usado como um índice de intemperismo químico dos solos. Singh et al (1982) afirmam que os máximos valores de ferro livre em arenitos contendo sulfetos são encontrados nas zonas intemperizadas, sendo o incremento de Fe fruto do intemperismo de silicatos, carbonatos e principalmente pirita. De fato, os solos sulfatados ácidos correspondem aos maiores valores de Fe extraível (Tabela 5), corroborando com a ideia de maior intemperismo destes solos.

Os padrões de difração de Raios-X atestam a presença de minerais silicatados 2:1 nos solos sulfatados ácidos. Os de ocorrência mais generalizada são as illita/micas (9,95-10,0, 4,48 Å) e as esmectitas (14,0-15,4, 3,02 Å) (Figuras 27 e 28). A presença de minerais silicatados mesmo em ambiente ácido, favorável ao intemperismo de silicatos, é explicada pelas baixas taxas de lixiviação, que condicionam baixas perdas de Si e bases e a preservação destes minerais. Assim, o pedoambiente dos solos sulfatados ácidos favorece o intemperismo dos silicatos primários, mas as baixas perdas condicionam a neoformação de silicatos secundários, como illitas e esmectitas.

Os tratamentos químicos e térmicos diferenciais indicam a presença de esmectitas do tipo montmorilonita como importante componente silicatado na fração argila destes solos. Os solos sulfatados ácidos apresentaram picos em 14 Å, que expandiram para 18 Å quando saturados com Mg e solvatados com glicerol, ao passo em que com saturação com K colapsaram para 10 Å, e sob aquecimento a 550 °C

tendem a desaparecer (Figuras 27 e 28). Van Breemen (1982) explica que nos solos sulfatados ácidos, o Mg presente na intercamada dos minerais pode ser removido como sulfatos de Mg, sendo substituído por Fe proveniente da oxidação da pirita, resultando em esmectitas parecidas com a nontronita. No entanto, as baixas taxas de lixiviação ocorrentes na área de estudo podem estar desfavorecendo este processo, favorecendo a ocorrência de montmorilonita.

Simas et al (2006) reportam a ilitização de esmectitas em temperatura ambiente na Antártica Marítima por umedecimento e secagem em presença de K. Os autores atribuem a ocorrência de ilitas em criossolos sulfatados na Antártica Marítima aos frequentes ciclos de congelamento-descongelamento, em associação com presença de K. Possíveis fontes de K para a transformação de esmectitas em ilitas seriam o spray marinho, o intemperismo de plagioclásios e a transformação de jarosita em hidróxidos de ferro amorfos. O processo de gênese de ilitas nos solos sulfatados ácidos na ISM parece seguir esta sequência. De fato, as condições necessárias à ocorrência de ilitização das esmectitas se reúnem nos solos sulfatados em estudo, com ciclos diários de congelamento, além de fontes de K, em função da proximidade com o oceano, e da presença comprovada de plagioclásios e jarosita em processo de transformação para hidróxidos de Fe.

Solos pouco desenvolvidos sobre Rochas da Formação La Meseta

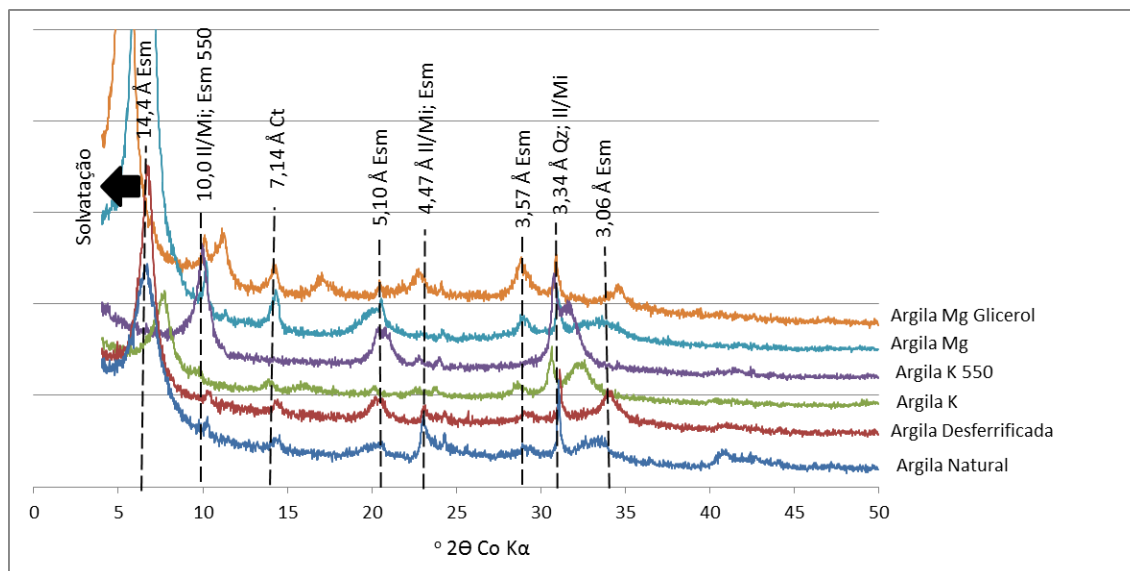
É observada a presença de quartzo na fração argila de todos os solos pouco desenvolvidos sobre rochas da formação La Meseta. A natureza siliclástica do material de origem dos solos é a responsável pela presença generalizada deste mineral. No entanto, sua ocorrência na fração argila se deve ao baixo poder de dissolução do ambiente (que torna o quartzo um mineral virtualmente não transformável nestes sistemas), aliado a uma forte atuação da crioclastia, que favorece a fragmentação do mineral e sua presença na fração argila.

Nestes solos são observados minerais primários facilmente intemperizáveis na fração argila, principalmente plagioclásios (picos de 3,17 Å de baixa intensidade) (Figura 29). A presença destes minerais na fração argila aponta para um intemperismo químico pouco atuante nestes solos, com maior importância de intemperismo físico na forma de crioclastia. Os valores de pH relativamente elevados nestes solos não favorecem transformações químicas expressivas de silicatos primários. No entanto, a maior susceptibilidade destes solos à lixiviação, conferida por

geoformas íngremes, determina maiores perdas de sílica e bases, com menor estabilidade de silicatos se comparados aos solos pouco desenvolvidos sobre geoformas mais conservadoras.

As menores transformações sofridas pelos silicatos em meio neutro ou alcalino reflete em silicatos secundários de natureza ligeiramente diferente dos gerados em meio ácido. Embora os argilominerais sejam essencialmente os mesmos (caulinita, illita/mica e esmectita), os picos que os definem apresentam intensidades mais modestas. O tipo de esmectitas mais provável é a montmorilonita, como confirmado pelos tratamentos térmicos e químicos diferenciais.

A presença de caulinita, confirmada por picos de 7,14 Å que desaparecem sob aquecimento a 550 °C (Figura 29), é atribuída à herança do material de origem, uma vez que o pedoambiente atual não é favorável à gênese de minerais deste tipo. Tendo em vista a natureza sedimentar das rochas nos locais de ocorrência destes solos, este mineral deve ser herdado, fazendo parte da assembleia mineralógica do material de origem e permanecendo inalterada nas condições atuais de pedogênese. Este mineral deve ter se formado em condições climáticas e pedogenéticas pretéritas mais favoráveis, na área de origem dos sedimentos que compõem as rochas da Formação La Meseta.



Esm: Esmectita; Esm 550: Esmectita aquecida a 550 °C; Ct: Caulinita; Il/M: Illita e micas; Qz: Quartzo.

Figura 29 - Difratomogramas da fração argila de MP08 B2

4. Conclusões

Os solos do setor norte da Ilha Seymour/Marambio mostram características fortemente herdadas do material de origem (geogênicas), em que a pedogênese é basicamente influenciada pela geração de sais e sulfurização decorrentes da oxidação de sulfetos disseminados nos sedimentos. A limitada presença de água líquida e a presença generalizada de permafrost retardam os processos pedogenéticos, em função do clima semi-desértico subpolar reinante. Episódios climáticos pretéritos menos frios e secos podem ter sido responsáveis pelo maior aprofundamento da oxidação em alguns solos.

Os dados apontaram para a ocorrência de dois domínios de solos na área de estudo: (i) Sulfatados ácidos e (ii) não sulfatados alcalinos.

Os solos sulfatados ácidos são os solos mais desenvolvidos na área de estudo, com significativa alteração morfológica, química, física e mineralógica do material de origem. A oxidação de sulfetos contidos no material de origem favorece o intemperismo químico, o desenvolvimento de cor, a geração de solos ácidos, saturados de alumínio, com menor saturação por bases. O processo de sulfurização, condicionando a alteração de sulfetos e silicatos da rocha original, e a geração de acidez é o processo mais importante na formação destes solos. Dada a ampla ocorrência de rochas Eocênicas da Formação La Meseta contendo sulfetos na área de estudo, estes são os solos mais comuns.

Os solos alcalinos, não afetados pelo intemperismo ácido sulfatado apresentam pouca alteração química e mineralógica, sendo o processo mais importante o intemperismo físico na forma de crioclastia e haloclastia. A lixiviação é pouco atuante nestes solos, em função de um contexto climático frio e seco, associado à presença de permafrost impermeável raso. Assim, os atributos químicos destes solos apontam para uma alta saturação por bases e altos valores de pH. No entanto, é notável a importância da geoforma no estabelecimento das taxas de lixiviação, que é muito baixa em relevos planos e se torna maior em relevos acidentados, em função dos fluxos subsuperficiais que se estabelecem sobre o permafrost. A quantidade e a distribuição das bases refletem este comportamento. Não se nota um condicionamento do material de origem na geração destes solos, que se desenvolvem de rochas siliclásticas do Eoceno a depósitos glaciais Plio-Pleistocênicos, tendo todos em comum a ausência de sulfetos.

A aplicação dos sistemas de classificação adotados não permite uma clara distinção taxonômica entre estes domínios de solos tão díspares. Para contribuir para uma melhor distinção entre estes solos, sugere-se a consideração de horizonte “sulfuric” (SOIL SURVEY STAFF, 2010) ou “thionic” (IUSS, 2006) na classificação dos solos com permafrost afetados por congelamento.

Os processos pedogenéticos mais importantes na ISM são a Sulfurização e o Halomorfismo, já que a crioturbação parece pouco relevante nos sedimentos areno-argilosos predominantes.

5. Referências Bibliográficas

- ALBUQUERQUE FILHO, M. R. **Geoquímica de solos da Península Keller, Ilha Rei George, Antártica, como subsídio ao monitoramento ambiental**. Viçosa, 2005. 149 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de plantas) – Programa de Pós Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Universidade Federal de Viçosa, 2005.
- BEYER, L.; BOCKHEIM, J. G.; CAMPBELL, I. B.; CLARIDGE, G. G. C. Genesis, properties and sensitivity of Antarctic Gelisols. **Antarctic Science**. United Kingdom, v. 11, n. 4, p. 387-398, 1999.
- BOCKHEIM, J. G.; BALKS, M. R.; McLEOD, M. **ANTPAS Guide for Describing, Sampling, Analyzing, and Classifying Soils of the Antarctic Region**. ANTPAS soil description manual – version 1 July 2006. Disponível em: <http://erth.waikato.ac.nz/antpas/pdf/Soil_Description_Manual-Draft_1.pdf>. Acesso em: 13/03/2012.
- BOCKHEIM, J. G.; HALL, K. Permafrost, active-layer dynamics and periglacial environments of continental Antarctica. In: **Periglacial Research**. South African Journal of Science. n 98, p. 82-90. Janeiro-Fevereiro 2002.
- BOIASKI, N. T. et al. Variabilidade da temperatura do ar na Península Antártica. In: **XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2006, Florianópolis.
- CAMPBELL, I. B.; CLARIDGE, G. G. C. **Antarctica: Soils, Weathering Processes and Environment**. Amsterdam: Elsevier, 1987. 405 p. (Developments in Soil Science, 16).
- CHEN, P. Y. **Table of Key Lines in X-ray Powder Diffraction Patterns of Minerals in Clays and Associated Rocks**. Bloomington, Indiana: Department of Natural Resources, 1977. (Geological survey occasional paper 21).
- CURI, N.; KÄMPF, N. Caracterização do solo. In: KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. **Pedologia**. Fundamentos. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012, p. 147-170.
- ELLIOT, D. H. Tectonic setting and evolution of the James Ross Basin, northern Antarctic Peninsula. In: FELDMANN, R. M.; WOODBURN, M. O. (eds). **Geology and Paleontology of Seymour Island, Antarctic Peninsula**. USA:

- The Geological Society of America, 1988. 566 p. (Memoir, Geological Society of America, 169).
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. 2^a ed. Rio de Janeiro, RJ, 1997. 212p. (Documentos, 1).
- ENVIROMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE – ESRI. **ArcMap GIS 10.0**. 2010.
- FRANCELINO, M. R.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SIMAS, F. N. B.; FERNANDES FILHO, E. I.; SOUZA, J. J. L. L. de; COSTA, L. M. da. Geomorphology and soils distribution Under paraglacial conditions in an ice-free area of Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. **Catena**, n. 85, p. 194-204, 2011.
- FRANCIS, J. E.; MARENSSI, S.; LEVY, R.; HAMBREY, M.; THORN, V. C.; MOHR, B.; BRINKHUIS, H.; WARNAAR, J.; ZACHOS, J.; BOHATY, S.; DeCONTO, R. From greenhouse to icehouse – The Eocene/Oligocene in Antarctica. In: FLORINDO, F.; SIEGERT (eds.) **Developments in earth & environmental sciences**, **8**. Elsevier, 2008, p. 309 – 368. DOI: 10.1016/S1571-9197(08)00008-6.
- FRENCH, H. M. **The periglacial environment**. 3a ed. West Sussex: John Wiley & Sons, 2007.
- GAZDZICKI, A.; TATUR, A.; HARA, U.; Del VALLE, R. A. The Weddell Sea Formation: post-Late Pliocene terrestrial glacial deposits on Seymour Island, Antarctic Peninsula. **Polish Polar Research**. v. 25, n. 3-4, p.189-204, 2004.
- GEE, W. & BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. **Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods**. Wisconsin, Soil Science Society of America, 1986. p. 383-412.
- GODAGNONE, R. E. **Suelos Antárticos**. Clasificación taxonómica y cartografía. Instituto nacional de tecnologia agropecuária, 2001. (Publicación n. 30).
- GOUDIE, A. S. (ed.) **Enciclopedia of Geomorphology**. International Association of Geomorphologists, 2004. V. 1.
- GRUBE, W. E.; SMITH, R. M.; AMMONS, J. T. Mineralogical alterations that affect pedogenesis in minesoils from bituminous coal overbuds. In: KITTRICK, J. A.; FANNING, D. S.; HOSSNER, L. R. **Acid Sulfate Weathering**. Wisconsin:

Soil Science Society of America, 1982, p. 209-224. (SSSA Special Publication Number 10).

GUTIÉRRES, M.; NOZAL, F.; MONTES M. J. Talus flatirons em la Isla Seymour (Mar de Weddel, Antártida). Consideraciones sobre su génesis. In: **Revista Cuaternario y Geomorfología**. n. 25, v. 1-2, p. 9-19. 2011.

HALL, K. Review of Present and Quaternary periglacial processes and landforms of the maritime and sub-Antarctic region. In: **Periglacial Research**. South African Journal of Science. n 98, p. 71-81. Janeiro-Fevereiro 2002.

HARRIS, C.; MURTON, J. B. (eds). **Cryospheric Systems: Glaciers and Permafrost**. Geological Society, London, 2005.

IUSS Working Group WRB. **World reference base for soil resources 2006**. International Society for Soil Science (ISSS). International Soil Reference and Information Centre (ISRIC) and Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). World Soil Resources Reports 103. Roma: FAO, 2006. 145 p.

KÄMPF, N; CURI, N. Formação e evolução do solo (pedogênese). In: KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, p. (eds.). **Pedologia; fundamentos**. Viçosa, MG, SBCS, 2012. P. 207-302.

MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays and Clay Minerals**, v. 7, p. 317-327, 1960.

MELLO, J. W. V de; PEREZ, D. V. Equilíbrio químico das reações no solo. In: Melo, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (eds.). **Química e Mineralogia do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009, p. 151-250.

MICHEL, R. F. M. **Solos criogênicos e Ornitogênicos da área de entorno da Ponta Ilano, Antártica Marítima**. Viçosa, MG, 2005. 162 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, 2005.

MOZER, A. Pre-glacial sedimentar facies of the Point Thomas Formation (Eocene) at Cytadela, Admiralty Bay, King George Island, West Antarctica. In: **Polish polar research**, v. 33, n. 1, p. 41-62, 2012.

MÜNSELL COLOR. **Munsell Soil Color Charts**. Grand Rapids: Munsell Color, 2000.

- NORDSTROM, D. K. Aqueous pyrite oxidation and the consequent formation of secondary iron minerals. In: KITTRICK, J. A.; FANNING, D. S.; HOSSNER, L. R. (eds.). **Acid Sulfate Weathering**. Wisconsin: Soil Science Society of America, 1982, p. 37-56. (SSSA Special Publication Number 10).
- NOZAL, F. et al. Unidades del Relieve de la isla Marambio, Antártida. In: **VI Argentine and III Latin-American Symposium on Antarctic Research**. 10 a 14 de setembro de 2007. Dirección Nacional del Antártico/Instituto Antártico Argentino.
- OMOTO, K. Coastal landform and radiocarbon age of cryogenic mounds observed at Larsen Cove, Seymour Island, east of Antarctic Peninsula. **Proc. of the Inst. Of Natural Sciences**. V. 30, p. 11-22. The Institute of Natural Science. Nihon University, 1994.
- PANSU, M.; GAUTHEYROU, J. Soluble Salts. In: **Handbook of Soil Analysis**. Mineralogical, Organic and Inorganic Methods. Springer, 2006. Cap. 18, p. 605-628.
- PEREIRA, T. T. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; KER, J. C.; ALMEIDA, C. C.; ALMEIDA, I. C. C.; PEREIRA, A. B. Genesis, mineralogy and ecological significance of ornithogenic soils from a semi-desert polar landscape at Hope Bay, Antarctic Peninsula. **Geoderma**, 2013.
- PONS, L. J.; VAN BREEMEN, N.; DRIESSEN, P. M. Physiography of coastal sediments and development of potential soil acidity. In: KITTRICK, J. A.; FANNING, D. S.; HOSSNER, L. R. **Acid Sulfate Weathering**. Wisconsin: Soil Science Society of America, 1982, p. 1-18. (SSSA Special Publication Number 10).
- POREBSKI, S. J. Facies architecture in a tectonically-controlled incised-valley estuary: La Meseta Formation (Eocene) of Seymour Island, Antarctic Peninsula. In: BIRKENMAJER, K. (ed.). **Studia Geologica Polonica**. Kraków, v. 107, p. 7 – 97, 1995.
- SADLER, P. M. Geometry and stratification of uppermost Cretaceous and Paleogene units on Seymour Island, northern Antarctic Peninsula. In: FELDMANN, R. M.; WOODBURN, M. O. (eds). **Geology and Paleontology of Seymour Island, Antarctic Peninsula**. USA: The Geological Society of America, 1988. 566 p. (Memoir, Geological Society of America, 169).

- SANTOS, R. D. et al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5a ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005
- SCHAEFER, C. E. G. R.; SIMAS, F. N. B.; GILKES, R. J.; MATHISON, C.; da COSTA, L. M.; ALBUQUERQUE, M. A. Micromorphology and Microchemistry of selected Cryosols from maritime Antarctica. **Geoderma**: 144, p. 104-115, 2008.
- SCHWERTMANN, U. Use of oxalate for Fe extraction from soils. **Can. J. Soil Sci.**, v. 53, p. 244-246, 1973.
- SECIRM – Secretaria Interministerial Para os Recursos do Mar. **Tratado Antártico e Protocolo de Madri**. Brasília, 2001.
- SIEGERT, M. J.; FLORINDO, F. Antarctic climate evolution. In: FLORINDO, F.; SIEGERT (eds.) **Developments in earth & environmental sciences**, 8. Elsevier, 2008, p. 1 – 11. DOI: 10.1016/S1571-9197(08)00001-3.
- SIMAS, F. N. B. **Solos da baía do almirantado, Antártica Marítima: Mineralogia, Gênese, Classificação e Biogeoquímica**. Viçosa, MG, 2006. 165 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, 2006.
- SIMAS, F. N. B.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MELO, V. F.; GUERRA, M. B. B.; SAUNDERS, M.; GILKES, R. J. Clay-Sized Minerals in Permafrost-Affected Soils (Cryosols) from King George Island, Antarctica. **Clays and Clay Minerals**. The clay minerals society, v. 54, n. 6, p. 721-736, 2006.
- SIMAS, F. N. B.; SCHAEFER, C. E. G. R.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; FRANCELINO, M. R.; FERNANDES FILHO, E. I., Da COSTA, L. M. Genesis, properties and classification of Cryosol of Admiralty Bay, maritime Antarctica. **Geoderma**. Elsevier, v. 114, p. 116-122, 2008.
- SINGH, R. N.; GRUBE, W. E.; SMITH, R. M.; KEEFER, R. F.. Relation of pyritic sandstone weathering to soil and minesoil properties. In: KITTRICK, J. A.; FANNING, D. S.; HOSSNER, L. R. **Acid Sulfate Weathering**. Wisconsin: Soil Science Society of America, 1982, p. 193-208. (SSSA Special Publication Number 10).
- SLAYMAKER, O. Proglacial, periglacial or paraglacial?. In: KNIGHT, J. & HARRISON, S. (eds) **Periglacial and Paraglacial Processes and Environments**. Geological Society, London, 2009, Special Publications, 320, p. 71- 84.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to Soil Taxonomy**. 11a ed. Washington, D.C.: USDA-NRCS, 2010.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil Survey Investigations Report (SSIR) nº 42. Soil Survey Laboratory Methods Manual**. Version 3.0. USDA-NRCS, 1996. 716 p.

SOUZA, K. K D. **Gênese, mineralogia e classificação de solos desenvolvidos em semideserto polar - Ilha Seymour (Marambio), Península Antártica**. Viçosa, 2011. 50 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Programa de Pós Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Universidade Federal de Viçosa, 2011.

TATUR, A.; BARCZUK, A.; DEL VALLE, R.; SLETTEN, R.; KICINSKA, E. Surface mineralization on Seymour Island, Antarctica. In: **Polish Polar Research**, v. 14, n. 2, p.153-168, 1993.

TEDROW, J. C. F.; UGOLINI, F. C. Antarctic soils. In: TEDROW, J. C. F. **Antarctic soils and soil forming processes**. Washington: American Geophysical Union, 1966. P.161-177.

VAN BREEMEN, N. Genesis, morphology, and classification of acid sulfate soils in coastal plains. In: KITTRICK, J. A.; FANNING, D. S.; HOSSNER, L. R (eds.). **Acid Sulfate Weathering**. Wisconsin: Soil Science Society of America, 1982, p. 95-108. (SSSA Special Publication Number 10).

VIEIRA, G. V.; BOCKHEIM, J.; GUGLIELMIN, M.; BALKS, M.; ABRAMOV, A. A.; BOELHOUWERS, J.; CANNONE, N.; GANZERT, L.; GILICHINSKI, D. A.; GORYACHKIN, S.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, J.; MEIKLEJOHN, I.; RAFFI, R.; RAMOS, M.; SCHAEFER, C.; SERRANO, E.; SIMAS, F.; SLETTEN, R.; WAGNER, D. Thermal State of Permafrost and Active-layer Monitoring in the Antarctic: Advances During the International Polar Year 2007–2009. **Permafrost and periglacial processes**, v. 21, p. 182-197, 2010.

WAGNER, D. P.; FANNING, D. S.; FOSS, J. E.; PATTERSON, M. S.; SNOW, P. A. Morphological and mineralogical features related to sulfide oxidation under natural and disturbed land surfaces in Maryland. In: KITTRICK, J. A.; FANNING, D. S.; HOSSNER, L. R (eds.). **Acid Sulfate Weathering**. Wisconsin: Soil Science Society of America, 1982, p. 109-126. (SSSA Special Publication Number 10).

CONCLUSÕES GERAIS

A área de estudo mostra grande variabilidade ambiental, em função de diferenciações locais de fatores pedo-lito-geomorfológicos em um contexto climático geral de semideserto subpolar. Os ambientes observados são representativos dos setores periglaciais em área de transição climática na Antártica.

A formação dos solos é determinada direta ou indiretamente pela natureza do material de origem. Nota-se uma clara vinculação entre os atributos dos solos com a natureza do material de origem. A presença ou ausência de sulfetos no material original é uma característica de especial importância na determinação dos atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos dos solos na área de estudo. A limitada presença de água líquida e a presença generalizada de permafrost retardam os processos pedogenéticos, em função do clima semi-desértico subpolar reinante.

A geoforma exerce importante papel na formação dos solos, regulando as taxas de perdas e lixiviação. Este fator influencia principalmente os atributos químicos e mineralógicos dos solos, controlando a permanência, retirada ou acúmulo de bases e minerais solúveis.

Foi constatada a ocorrência de dois grupos de solos na área de estudo: os sulfatados ácidos e os não sulfatados alcalinos.

Os solos sulfatados ácidos são comparativamente bem desenvolvidos, exibindo significativa alteração morfológica, física, química e mineralógica. As características típicas destes solos são o desenvolvimento de cor, geração de acidez, saturação por alumínio e presença de sulfatos e hidróxidos de ferro na fração argila. Estes solos são gerados pelo processo de sulfurização condicionado pela oxidação dos sulfetos contidos no material original.

Os solos alcalinos são pouco desenvolvidos, exibindo pouca alteração química e mineralógica. Estes solos são marcados por uma expressiva acumulação de bases em função da baixa lixiviação associada ao contexto climático sub-desértico. No entanto, a geoforma é muito importante no controle das taxas de lixiviação, gerando diferenciações locais de atributos químicos e mineralógicos. É típica destes solos a presença de minerais primários facilmente intemperizáveis na fração argila, apontando para incipiente alteração química. A presença destes minerais na fração argila comprova a importância da crioclastia na transformação física das rochas durante a gênese destes solos.

GLOSSÁRIO SUCINTO DE TERMOS

Badland: São paisagens erosivas profundamente dissecadas, formadas em terreno de rochas brandas, comumente em regiões semiáridas e áridas. Os processos na badland são dominados por erosão superficial, e elas geralmente apresentam uma alta densidade de drenagem. São formas erosivas que não estão em equilíbrio (GOUDIE, 2004).

Camada Ativa: É a parte do solo acima do permafrost que congela no inverno e descongela no verão, isto é, é o solo sazonalmente congelado (FRENCH, 2007).

Crioturbação: É a mistura da matriz do solo por ação do congelamento, que resulta em horizontes irregulares ou quebrados, acumulação de matéria orgânica sobre o permafrost, fragmentos de rocha orientados e capeamento de silte sobre os fragmentos de rocha (SOIL SURVEY STAFF, 2010).

Desert Pavement: Também conhecido como pavimento desértico. É uma superfície composta por um fino mosaico de fragmentos de rocha inserido numa matriz de material mais fino. São importantes pois exercem controle na estabilidade das superfícies. Ocorrem em áreas desérticas e de tundra. O modelo clássico de formação dos desert pavements é por seleção por deflação (processo em que o vento remove material fino da superfície, ao passo em que partículas maiores permanecem) (GOUDIE, 2004).

Patterned Ground: Consiste de uma variedade de padrões (círculos, redes, polígonos, estrias) desenvolvidos em materiais de superfície. Embora possa ser associado a diversos ambientes e processos, é especialmente prevalente em regiões periglaciais e em áreas com presença de permafrost. Entre os processos que lhe dão origem é importante os associados à crioturbação, às cunhas de gelo, à ação diferencial da camada ativa e às quebras de contração termal (GOUDIE, 2004).

Periglacial: Um ambiente com ciclos frequentes de congelamento-descongelamento, e congelamento sazonal profundo; ou um ambiente com presença de permafrost. Dependendo da definição adotada, os ambientes periglaciais cobrem de 20 a 35 % da superfície emersa da terra. (SLAYMAKER, 2009).

Permafrost: É definido como uma condição termal em que um material (incluindo solo) permanece abaixo de 0° C por dois ou mais anos sucessivos. Pode ser cimentado por gelo ou ser seco. A superfície superior do permafrost está em equilíbrio dinâmico com o ambiente (SOIL SURVEY STAFF, 2010). O permafrost não é solo permanentemente congelado, e sim perenemente congelado. Na verdade o permafrost não é necessariamente congelado, uma vez que diversos fatores podem abaixar o ponto de congelamento da água a alguns graus abaixo de 0 °C (FRENCH, 2007).

Till: Material de origem glacial, inconsolidado, que apresenta uma série de características típicas, como ausência de estratificação, grande variação de tamanho dos clastos (argila a blocos), clastos apresentando feições de erosão glacial (estrias, polimento), e componentes litológicos mistos correspondentes ao caminho do fluxo de gelo (GOUDIE, 2004).