

DIOGO NOSES SPINOLA

**GÊNESE DE SOLOS DESENVOLVIDOS DE SEDIMENTOS MARINHOS  
NA ILHA SEYMOUR, ANTÁRTICA PENINSULAR**

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  
2012

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

T

S758g  
2012

Spinola, Diogo Noses, 1985-

Gênese de solos desenvolvidos de sedimentos marinhos na  
Ilha Seymour, Antártica Peninsular / Diogo Noses Spinola  
- Viçosa, MG, 2012.  
vi, 75f. : il. ; (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Raphael Bragança Alves Fernandes  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Solos - Formação. 2. Seymour, Ilha (Antártida).  
3. Antártida. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento  
de Solos. Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de  
Plantas. II. Título.

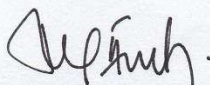
CDD 22. ed. 631.4

DIOGO NOSES SPINOLA

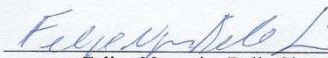
**GÊNESE DE SOLOS DESENVOLVIDOS DE SEDIMENTOS MARINHOS NA ILHA  
SEYMOUR, ANTÁRTICA PENINSULAR**

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*.

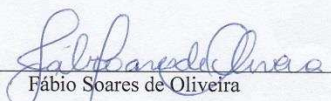
APROVADA: 31 de agosto de 2012.



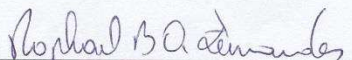
Maurício Paulo Ferreira Fontes



Felipe Nogueira Bello Simas



Fábio Soares de Oliveira



Raphael Bragança Alves Fernandes  
(Orientador)

## SUMÁRIO

RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	v
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
CAPÍTULO 1.....	3
SOLOS E SUAS RELAÇÕES COM AS GEOFORMAS NO CROSS VALLEY, ILHA SEYMOUR, ANTÁRTICA PENÍNSULAR.....	
CAPÍTULO 2.....	39
DESCONTINUIDADES LITOLÓGICAS EM SOLOS DESENVOLVIDOS DE SEDIMENTOS MARINHOS NA ILHA SEYMOUR, ANTÁRTICA.....	
CONCLUSÕES GERAIS.....	76

## RESUMO

SPINOLA, Diogo Noses, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2012. **Gênese de solos desenvolvidos de sedimentos marinhos na Ilha Seymour, Antártica Peninsular**. Orientador: Raphael Bragança Alves Fernandes. Coorientador: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer e Elpídio Inácio Fernandes Filho.

A Ilha Seymour, localizada no norte da Península Antártica, está em uma zona de clima transicional entre a Antártica Marítima e Antártica Continental. Os solos da ilha são formados de sedimentos marinhos com fraca diagênese, sendo, portanto fracamente consolidados. Desta forma, o objetivo desta dissertação foi estudar a gênese destes solos. A estrutura de apresentação deste trabalho foi organizada em dois capítulos, buscando atender diferentes objetivos específicos. No primeiro capítulo foram selecionados quatro perfis em distintas geoformas. As características físicas, químicas e mineralógicas por extração de Fe secundário (ditionito-citrato-bicarbonato DCB e oxalato de amônio) e difratometria de raios-x da fração argila foram avaliadas. De acordo com os aspectos químicos, verificou-se que a sulfurização e salinização são os principais processos pedogenéticos. Os óxidos de Fe secundários também foram quantificados e observou-se predomínio de formas cristalinas, no entanto, no difratograma de raios-x da fração argila não foram identificados óxidos de Fe como hematita ou goethita. Conforme verificado na literatura, a jarosita é dissolvida no durante a extração por DCB, portanto, não sendo um método recomendado em caso de solos sulfatados. A composição mineralógica indica haver intemperismo químico atuante, visto a ausência de minerais primários facilmente intemperizáveis. A jarosita, anatásio, quartzo, esmectita-vermiculita foram os minerais predominantes. Foram também identificados minerais relacionados a ambientes de clima árido, como calcita, anidrita e aragonita. Atribuiu-se a presença de caulinita como de origem detrital. Os solos da Ilha Seymour se assemelharam mais aos da Antártica Continental do que da Antártica Marítima, principalmente pelo excesso de sais e virtual ausência de vegetação. Compreendeu-se que o material de origem é o principal fator de formação do solo responsável pelos processos pedogenéticos que ocorrem na ilha. No segundo capítulo, o principal objetivo foi a distinção de solos e sedimentos. Com este propósito, optou-se por se buscar identificar descontinuidades litológicas e avaliar as taxas de intemperismo nos perfis amostrados. As descontinuidades litológicas foram avaliadas

mediante análise da distribuição dos teores de Ti e Zr e da relação Ti/Zr, além da distribuição granulométrica da areia e silte em uma base livre de argila, e dos teores da própria argila para fins comparativos. Na avaliação da taxa de intemperismo foram utilizados o índice CIA (Index of Chemical Alteration) e a mineralogia da fração argila. Dos quatro perfis avaliados, três apresentaram descontinuidades litológicas, no entanto, apenas um apresentou descontinuidade de origem sedimentar, os outros processos envolvidos foram a adição de material por via eólica e ação ornitogênica. A avaliação da distribuição de Ti e Zr permitiu ainda distinguir pinguineiras mais antigas das mais recentes. A aridez do ambiente ficou também evidente visto a ausência de minerais fosfáticos nos perfis ornitogênicos.

## ABSTRACT

SPINOLA, Diogo Noses, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2012. **Genesis of soils developed in marine sediments in Seymour Island, Antarctic Peninsula.** Adviser: Raphael Bragança Alves Fernandes. Co-adviser: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer e Elpídio Inácio Fernandes Filho.

The Seymour Island, located in the north Antarctic Peninsula, is in a transitional climatic zone between the Maritime Antarctic and Continental Antarctic. The soils of the Seymour Island developed in weakly diagenesis sediments, and because of this are weakly consolidated. Therefore, the objective of this dissertation was to study the genesis of these soils. The format of this work was organized into two chapters. In the first chapter, four soil profiles were selected in distinct landscapes. The physical, chemical, and mineralogical characteristics were then analyzed. The chemical features verified that sulfurization and salinization are the main pedogenic processes. The secondary Iron formations were also quantified and were verified to be predominantly the crystalline forms; however, in x-ray diffractogram analysis no Iron Oxides, for example hematite or goethite were identified. According to the literature the Jarosite is dissolved in Dithionite-Citrate-Bicarbonate processes, therefore such a method is not recommended for acid sulfate soils. Due to absence of primary minerals, only quartz was identified, the mineralogical assembly shows that chemical weathering is taking place. The minerals found were predominately Jarosite, Anatase, Quartz, and Smectite-Vermiculite. In addition, there were minerals identified associated with arid environments, such as Calcite, Anhydrite, and Aragonite. The presence of Kaolinite was assigned to a detrital origin. The soils of Seymour Island were most likely from the Continental Antarctic soils as opposed to the Maritime Antarctic soils, as determined mainly by excess of salts and by absence of vegetation. In the second chapter, the main objective was to identify the lithological discontinuities and evaluate the weathering rates on soil profiles sampled. The lithological discontinuities were evaluated by thorough analysis of Ti and Zr content distribution and the relationship between Ti/Zr, beside the textural distribution of sand and silt in clay-free basis, beyond contents of clay, were compared. In the evaluation of weathering rates the Chemical Index of Alteration (CIA) and clay mineralogy was used. Out of the four soil profiles analyzed three showed lithological discontinuities and only one showed

sedimentary origin of lithological discontinuity, the other process were related to Aeolian and Ornithogenic inputs. The evaluation of Ti and Zr distribution was also useful to distinguish the older and younger Penguin Rookery. The aridity of the environment was more evident due to the absence of phosphatic minerals in Penguin Rookery soil samples.

## INTRODUÇÃO GERAL

A pedogênese na Antártica, principalmente em zonas áridas e semiáridas, é estreitamente ligada à disponibilidade de água. O tempo em que a temperatura solo está acima do ponto de congelamento é um dos fatores mais importantes no desenvolvimento de solos na Antártica, tendo em vista que todas as reações químicas e biológicas requerem água no estado líquido para ocorrerem. Portanto, o intemperismo físico predomina na Antártica, muito embora o intemperismo químico esteja presente.

Ainda que vários estudos tenham sido conduzidos na região, algumas lacunas ainda restam a respeito da pedogênese na Antártica, pois grande parte desses trabalhos concentra-se na porção continental, onde predomina o clima desértico polar. Por outro lado, trabalhos mais recentes têm sido iniciados na Península Antártica e ilhas ao norte da Península, na região denominada Antártica Marítima. Nestas regiões o clima desértico polar da Antártica continental é substituído por um clima mais ameno, que implica em importantes diferenças sobre processos pedogenéticos.

A Ilha Seymour, localizada na terminação setentrional da Península Antártica, está climaticamente em uma zona de transição entre a Antártica Marítima e a Antártica Continental. Desta forma, apresenta elementos na paisagem típicos destes dois ambientes, como cursos d'água ativos no verão e permafrost cimentado por gelo, que são elementos mais típicos da Antártica Marítima e espessas crostas salinas, ausência de vegetação e permafrost seco, mais típico da Antártica Continental.

Quase a totalidade dos solos é desenvolvida a partir de sedimentos marinhos fracamente consolidados, o que dificulta em algumas situações, a diferença entre horizontes pedogenéticos e camadas sedimentares. Não ocorrem gelo e neve permanente na ilha, o que pode ser associada a uma combinação da aridez com a presença generalizada de sais, que abaixa o ponto de congelamento da água. Na Ilha Seymour, a presença de solos alcalinos e solos extremamente ácidos também é generalizada, podendo ocorrer ainda em um mesmo perfil, horizontes extremamente ácidos sobre ou sob horizonte alcalino.

Diante do exposto, esta pesquisa teve como objetivo principal estudar a gênese dos solos da Ilha Seymour. A estrutura de apresentação deste trabalho foi organizada em dois capítulos, buscando atender diferentes objetivos. No primeiro capítulo foram discutidos as principais características químicas, físicas e mineralógicas de quatro

perfis de solos representativos da parte central da ilha e sua relação com os compartimentos geomorfológicos. O local de amostragem foi escolhido por apresentar características pedológicas comuns ao restante dos solos da ilha e por abranger um conjunto representativo de geoformas. No segundo capítulo foram estudados perfis de solos que apresentaram transições abruptas entre horizontes. O objetivo foi avaliar se essas transições foram provocadas por processos pedogenéticos ou por processos sedimentares. A identificação e avaliação de possíveis descontinuidades litológicas foram utilizadas para checar tal possibilidade.

## **CAPÍTULO 1**

### **SOLOS E SUAS RELAÇÕES COM AS GEOFORMAS NO CROSS VALLEY, ILHA SEYMOUR, ANTÁRTICA PENÍNSULAR**

#### **RESUMO**

A Ilha Seymour, Antártica Peninsular, se localiza em uma região de clima transicional, entre a Antártica Marítima e a Antártica Continental. Neste trabalho foram selecionados quatro perfis representativos de diferentes geoformas que ocorrem generalizadamente na Ilha Seymour, com o objetivo de compreender a sua gênese e principais características. Foram realizadas análises físicas, químicas e análise mineralógica dos óxidos de Fe por extrações com ditionito-citrato-bicarbonato e oxalato de amônio além da identificação de minerais na fração argila por difratometria de raios-x. Foi observado que dois processos pedogenéticos são predominantes, a sulfurização e a salinização. O pH, H+Al, ISNA e os teores de Na foram as principais características químicas diferenciadoras destes processos. Os óxidos de Fe secundários também foram quantificados e observou-se predomínio de formas cristalinas, no entanto, no difratograma de raios-x da fração argila não foram identificados óxidos de Fe como hematita ou goethita. Conforme verificado na literatura, a jarosita é dissolvida no durante a extração por DCB, portanto, não sendo um método recomendado em caso de solos sulfatados. O conjunto de minerais da fração argila indicou haver intemperismo químico atuante, com ausência de minerais primários facilmente intemperizáveis. A jarosita, anatásio, quartzo, esmectita-vermiculita foram os minerais predominantes. Foi também identificado em um perfil a presença de evaporitos, como calcita, anidrita e aragonita. Os solos da Ilha Seymour se assemelharam mais aos da Antártica Continental do que da Antártica Marítima, principalmente pelo excesso de sais e virtual ausência de vegetação.

# **SOILS AND ITS RELATIONSHIPS WITH LANDFORMS AT CROSS VALLEY, SEYMOUR ISLAND, ANTARCTIC PENINSULA.**

## **ABSTRACT**

The Seymour Island in the Antarctic Peninsula is located in a transitional climatic zone between the Maritime Antarctic and Continental Antarctic. In this work four representative soil profiles from different representative landscapes were selected. The objective was to understand the genesis and main features of the soil profiles. Physical, chemical, and mineralogical analyses by measurement of Iron oxide formations using Dithionite-Citrate-Bicarbonate, Ammonium Oxalate was used, and x-ray diffraction to identify clay minerals were performed. Two major soil forming processes, sulfurization and salinization, were noted. The pH, H+Al, ISNA, and Na contents were the main chemical features related with major pedogenetic processes. The secondary Iron oxides were also quantified and were verified to be predominantly crystalline Iron forms, however, from x-ray diffractogram analysis these were determined not to be Iron Oxides, such as Hematite or Goethite. According to the literature and due to the fact that the Jarosite is dissolved in Dithionite-Citrate-Bicarbonate procedures, this method is not recommended for acid sulfate soils. Due to absence of primary minerals easily weathered, the mineralogical assembly shows that chemical weathering is taking place. Jarosite, Anatase, Quartz, Smectite-Vermiculite were the predominant minerals found. In one profile the presence of evaporites, such as Calcite, Anhydrite, and Aragonite were identified. The soils of Seymour Island were most likely from the Continental Antarctic soils as opposed to the Maritime Antarctic soils, mainly determined by the excess of salts and by the absence of vegetation.

## 1. Introdução

A formação de solos na Antártica é restrita a menos de 0,35% do continente, compreendendo áreas livres de gelo localizadas ao longo da costa e nos vales secos da Antártica Continental (CAMPBELL e CLARIDGE, 1987; BOCHKHEIM, 1997). No continente é concentrada a maior parte do conhecimento de solos antárticos, onde predominam áreas desérticas e livres de gelo, onde os solos são fracamente desenvolvidos e apresentam como principais processos pedogenéticos o acúmulo de sais solúveis no perfil e em superfície, e a oxidação (CAMPBELL e CLARIDGE, 1987).

Nos últimos anos se tem verificado incremento do número de estudos na região da Antártica Marítima (TATUR, 1989; BOCKHEIM e UGOLINI, 1990; BLUME et al., 2004; SCHAEFER et al., 2004; SIMAS et al., 2008; MOURA et al., 2012). Nesta região, a maior temperatura e pluviosidade, em relação aos vales secos, resultam a presença de uma camada ativa mais profunda, processos de crioturbação mais intensos e maior condição de crescimento de vegetação. Apesar destas características, o tempo da pedogênese é restrito, devido ao avanço/retração de glaciares.

As regiões localizadas nas zonas de transição entre a Antártica Marítima e a Antártica Continental carecem de estudos sobre a gênese de seus solos (BLUME et al., 1997; BEYER et al., 2000; PEREIRA, 2012). A Ilha Seymour, devido sua localização neste ambiente transicional apresenta elementos característicos dos vales secos da Antártica Continental, como espessas crostas salinas, ausência de vegetação e permafrost seco, bem como elementos da Antártica Marítima, como cursos d'água ativos no verão e permafrost cimentado por gelo.

Na ilha são reconhecidos dois grandes compartimentos geomorfológicos (OMOTO, 1994; GODAGNONE, 2001). Um platô elevado ao norte da ilha, onde o clima mais rigoroso e fortes processos erosivos não favorecem a evolução de solos, e outro compartimento, ao centro e sul da ilha, onde a maior estabilidade da paisagem permite maior desenvolvimento pedogenético. Estes dois grandes compartimentos geomorfológicos são separados por um amplo vale, denominado Cross Valley.

Em estudo prévio efetuado por Tatur et al. (1993), os principais processos pedogenéticos verificados na ilha foram a sulfurização e a salinização. Os autores indicaram haver estreita relação entre estes dois processos, uma vez que os íons

liberados pelo intemperismo dos minerais durante a sulfurização deslocam-se lateralmente ou verticalmente, acumulando-se na forma de sais à jusante.

Diante do exposto, o presente trabalho objetivou avaliar a relação dos solos e dos compartimentos geomorfológicos da Ilha Seymour, com base no estudo de características químicas, físicas e mineralógicas de quatro perfis de solos representativos.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1. Localização e características da área de estudo

A Ilha Seymour está situada a 100 km a sudeste da terminação setentrional da Península Antártica, no Mar de Weddell (Figura 1), e apresenta dimensões aproximadas de 18,5 km no sentido NE-SO (Cabo Lamas-Cabo Wiman) e 8,5 km de largura máxima no sentido NO-SE entre o Cabo Bodman e a Ponta Pinguim (NOZAL et al., 2007).

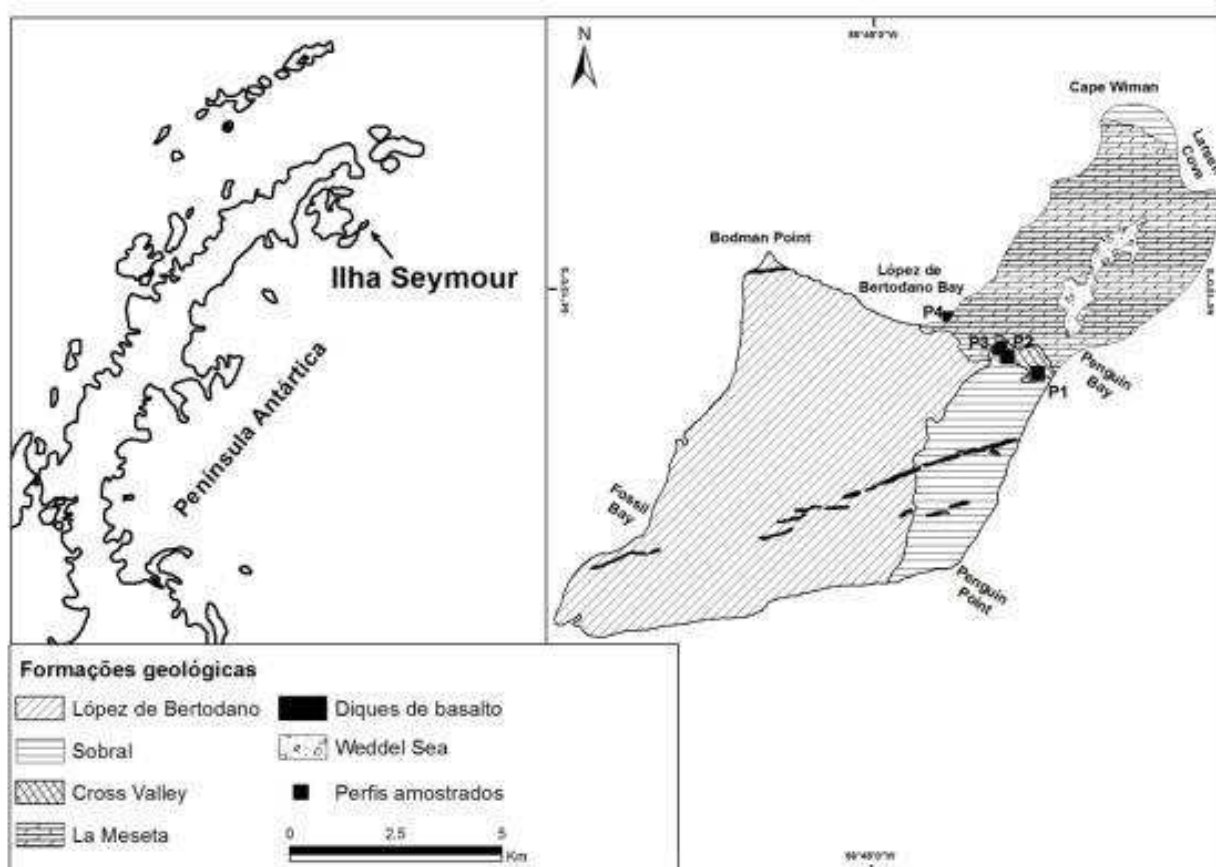


Figura 1. Localização da Ilha Seymour, formações geológicas e localização dos perfis amostrados para estudo.

O clima da ilha é classificado como transicional entre o marítimo (mais úmido) e continental (seco) (TATUR et al., 1993). A ilha apresenta temperatura média anual de -10 °C e precipitação média inferior a 220 mm que ocorre principalmente na forma de neve. Estas condições climáticas permitem a presença de permafrost contínuo (FUKUDA et al., 1992).

## **2.2. Contexto geológico**

A Ilha Seymour localiza-se na bacia sedimentar James Ross, que integra a bacia sedimentar Larsen, a qual é caracterizada como de retroarco, por estar na retaguarda de um arco magmático que é composto pela Península Antártica. Conseqüentemente, grande parte das camadas sedimentares da Ilha Seymour é composta pela erosão deste arco magmático. Desta forma, a história sedimentar da ilha é estreitamente ligada à história tectônica da Península Antártica. Os sedimentos que compõem a ilha são datados do Cretáceo Superior ao Eoceno superior, (ELLIOT, 1988).

A ilha é composta por cinco formações geológicas, sendo que no presente estudo foram estudados solos localizados principalmente na Formação Cross Valley (Paleoceno Superior), que apresenta principalmente arenitos de granulometria média a grosseira com altos teores de glauconita e que marca um período transgressivo no momento da deposição (ELLIOT et al., 1975). Esta formação representa o preenchimento de um estreito canyon submarino (SADLER, 1988) e concentra a maior presença de fragmentos vulcanoclásticos (DOKTOR et al., 1988).

A formação López de Bertodano (Cretáceo Superior), primeira na coluna estratigráfica, é composta principalmente por arenitos de granulometria muito fina e siltitos e também por arenitos cimentados por carbonatos. As unidades superiores da formação contêm abundantes detritos vulcânicos e camadas de tufos vulcânicos, e areias glauconíticas também são encontradas. Os sedimentos foram depositados em um ambiente marinho raso de águas turvas sob efeito de ondas (RINALDI *et al.*, 1978; ELLIOT, 1988).

A formação sobrejacente, Sobral (Paleoceno Inferior), é composta principalmente por camadas de siltito e arenito, além de arenitos feldspáticos (ou arcóseo) e arenitos líticos. A textura dos sedimentos nas unidades inferiores varia de mais argiloso para mais grosseiros nas unidades superiores. Camadas de tufos vulcânicos também são frequentemente encontradas nas unidades inferiores além de areias glauconíticas (SADLER, 1988). Estes sedimentos são provenientes do arco

magmático da Península Antártica que se encontrava mais dissecado no período da deposição, conseqüentemente, foi maior a sedimentação de rochas intrusivas e metamórficas (MARENSSI et al., 2002).

A Formação La Meseta (Eoceno Inferior) está presente na porção nordeste da ilha, sendo considerada como um ambiente de deposição em um sistema de vale inciso composto por deltas, estuários e ambiente marinho de águas rasas. É composto por arenitos feldspáticos fracamente consolidados, fragmentos andesíticos e outros fragmentos vulcânicos félsicos (MARENSSI et al., 2002).

### **2.3. Amostragem e análises**

O percurso em campo, a seleção e descrição de perfis e a coleta de amostras de solos foram realizadas entre fevereiro e março de 2011, durante a XXIX OPERANTAR, como parte do Projeto Terrantar e contando com apoio logístico da Marinha do Brasil e do Exército da Argentina.

Uma vez coletadas, as amostras foram acondicionadas e transportadas ao Brasil. Todas as análises foram realizadas na Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). Inicialmente, o pré-tratamento para a remoção de sais solúveis das amostras foi efetuado, utilizando-se álcool hidratado (1:5), segundo Richards (1954). O pH do solo (em água) e os teores de cátions trocáveis foram determinados conforme procedimentos indicados por Embrapa (1997). Para extração de P disponível e de Na e K, foi utilizada solução de HCl 0,5 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 mol L<sup>-1</sup> (Mehlich-1), sendo o P determinado espectrofotometricamente e o Na e K por fotometria de emissão de chama. A dosagem de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> foi realizada por espectroscopia de absorção atômica e de Al<sup>3+</sup> trocável por titulometria após a extração com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. A acidez potencial (H+Al) foi determinada por titulometria após extração com Ca(CH<sub>3</sub>COO<sub>2</sub>) 0,5 mol L<sup>-1</sup> e pH 7,0. O P remanescente (P-rem) foi obtido com CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>, contendo 60 mg mL<sup>-1</sup> de P, segundo Alvarez e Fonseca (1990).

A textura foi obtida pelo método da pipeta (argila e silte) e por tamisagem (areia), segundo EMBRAPA (1997).

A caracterização mineralógica da fração argila foi realizada por difratometria de raios-x, utilizando-se lâminas em pó. As irradiações foram efetuadas em equipamento PANalytical/X`Pert Pro, com radiação de Co K $\alpha$ , no intervalo entre 4 e 70 °2 $\theta$ , a 1 passo s<sup>-1</sup>. Os minerais foram identificados de acordo com os padrões propostos por Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS) (1974).

As formas de ferro presentes no solo foram avaliadas em espectroscopia de absorção atômica, após extração com soluções de oxalato ácido de amônio (SCHWERTMANN, 1973) e de ditionito-citrato-bicarbonato (MCKEAGUE e DAY, 1966).

#### **2.4. Geoformas**

Os perfis de solos foram selecionados de forma a abranger as geoformas predominantes da Formação Cross Valley: topos de morro, terraços fluviais, colinas, e calha principal com acúmulo de sedimentos glaciofluviais, que foram representadas pelos perfis P1, P2, P3 e P4, respectivamente (Figura 2).

A Figura 3 apresenta uma visão geral da Ilha Seymour, com detalhe para a área de estudo.



Figura 2. Ambientes de coleta de cada perfil. Topos de morro (P1), Terraços fluviais (P2), Colinas (P3) e Calha principal (P4).

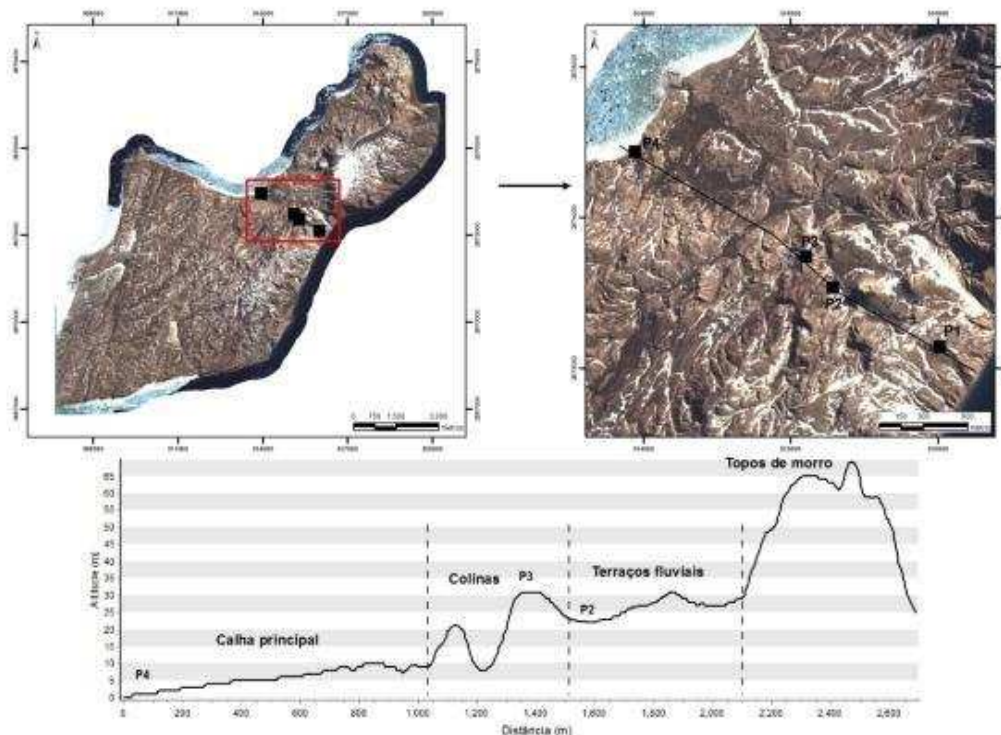


Figura 3. Imagem da Ilha Seymour, visão detalhada da área de estudo e perfil topográfico da área selecionada.

### 2.5. Descrição e classificação dos solos

Na sequência são apresentadas as descrições dos quatro perfis descritos e representativos da Formação o Cross Valley, na Ilha Seymour, com a classificação dos mesmos, segundo a U.S. Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2003).

P1 - Sulfuric Aquiturbel (Figura 4): localizado a 64 m de altitude na porção resistente da paisagem, coletado na borda de um campo de solos poligonais, onde se verifica acúmulo de material grosseiro em superfície composto por clastos pouco alterados quimicamente, porém com forte expressão de crioclastia. O horizonte superficial aparenta pouca alteração e sua transição é abrupta e ondulada para o horizonte inferior oxidado. Logo abaixo está o permafrost cimentado por gelo a 75 cm de profundidade e que apresenta indícios do acúmulo de jarosita.

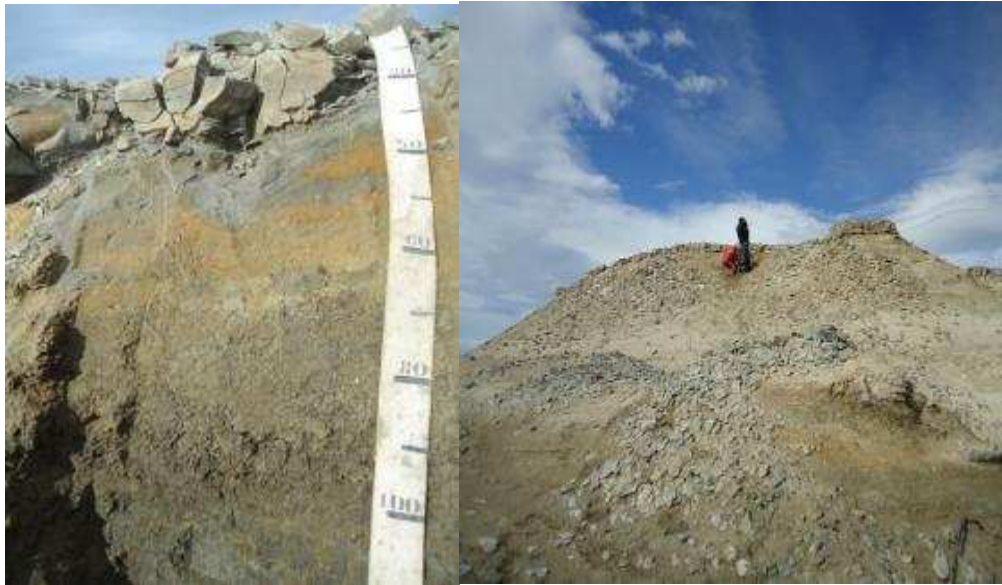


Figura 4. Perfil P1 - Sulfuric Aquiturbel, Ilha Seymour, Antártica Peninsular.

P2 - Sulfuric Aquiturbel (Figura 5): perfil localizado a 24 m de altitude em uma porção dissecada da paisagem, próximo a canais ativos de degelo, com abundantes *mudcracks* em superfície. A coloração avermelhada-alaranjada indica presença de óxidos de Fe. Presença de permafrost cimentado por gelo a 50 cm de profundidade e sem sinais de crioturbação.



Figura 5. Perfil P2 - Sulfuric Aquiturbel, Ilha Seymour, Antártica Peninsular.

P3 - Salic Anhyorthel (Figura 6): perfil localizado a 31 m de altitude no segundo nível de topos de morros residuais, constituído por relevo de colinas

de declive suave/ondulado, é um dos perfis com maior percentual de argila e acentuada bicromia, e com presença de permafrost seco a 50 cm de profundidade e sem sinais de crioturbação

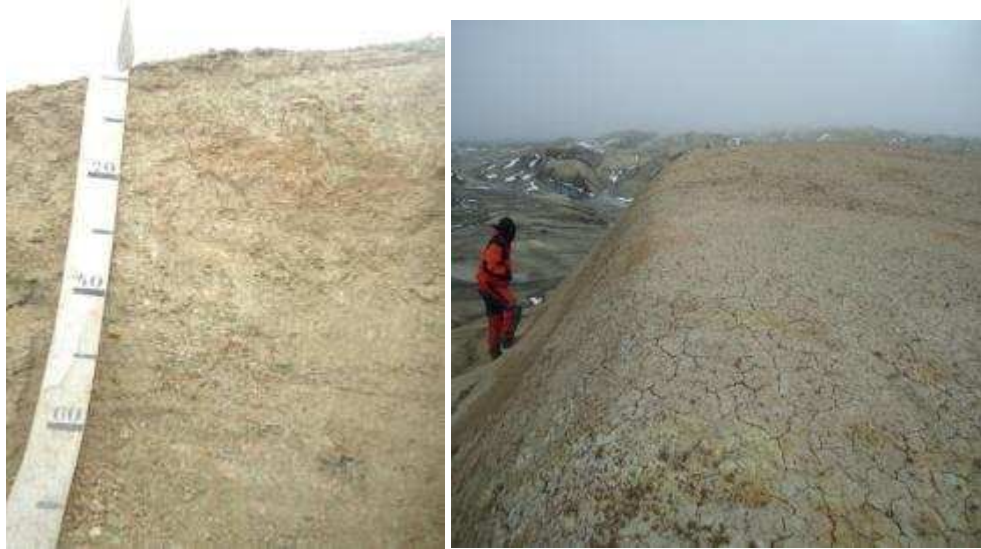


Figura 6. Perfil P3 - Salic Anhyorthel, Ilha Seymour, Antártica Peninsular.

P4 - Salic Aquorthel (Figura 7): perfil localizado no nível do mar (0 m de altitude) na desembocadura do Cross Valley em um ambiente estuarino, onde sofre ação de maré, é a porção mais dinâmica da paisagem pelo fluxo contínuo de sedimentos durante o período de descongelamento do permafrost a montante, e onde se verifica a presença de permafrost cimentado por gelo a 120 cm de profundidade, sem sinais de crioturbação.

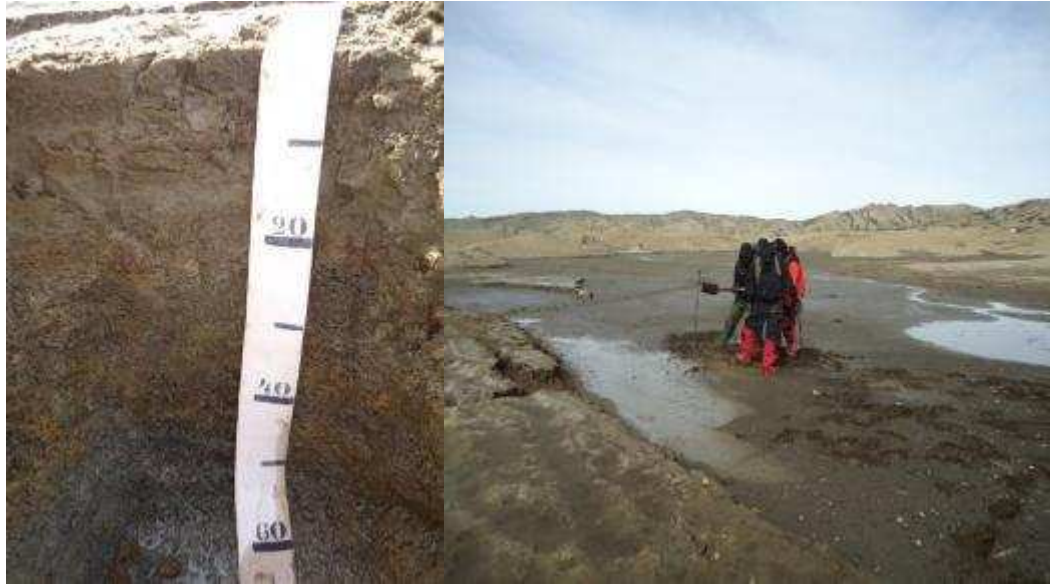


Figura 7. Perfil P4 - Salic Aquorthel, Ilha Seymour, Antártica Peninsular.

### **2.6. Descrição morfológica**

A descrição morfológica dos perfis amostrados no Valley, na Ilha Seymour é apresentada na sequência.

**Perfil nº – 01**

**Data – 28/02/2011**

**Classificação Soil Taxonomy – Sulfuric Aquiturbel**

**Localização –** Topo da paisagem na Formação Cross Valley, Ilha Seymour. UTM 21S - SAD69 X: 516011, Y: 2873143

**Situação, declive e cobertura vegetal –** Topo da paisagem, com 25 % de declive, sem cobertura vegetal.

**Litologia, Unidade Litoestratigráfica e Cronologia -** arenito silicificado. Formação Cross Valley, unidade Tpcv5, Paleoceno (66,4 – 57,8 Ma).

**Pedregosidade –** Muito pedregosa

**Rochosidade –** Extremamente rochosa

**Relevo local –** Forte ondulado

**Relevo regional –** Montanhoso

**Erosão –** Extremamente forte

**Drenagem –** Bem drenado

**Vegetação primária –** inexistente

**Descrito e coletado por** – Carlos Ernesto G. R. Schaefer, Felipe Nogueira Bello Simas, Kátia Karoline Delpupo e Diogo Noses Spinola.

**Descrição morfológica**

Ajj – 0-20/40 cm; grãos simples blocos subangulares; abrupta e ondulada; 4.2 °C (10 cm); 3.0 °C (20 cm); 2.6 °C (30 cm); 2.6 °C (40 cm). 20/40-50/55 cm; grãos simples blocos subangulares; abrupta e ondulada; 2.5 °C (50 cm).

Bw – 50/55-70/75 cm; grãos simples blocos subangulares; clara e ondulada; 2.5 °C (60 cm); 2.4 °C (70 cm).

Crjf – 70/75-120 cm; grãos simples blocos subangulares; clara e ondulada; 2.9 °C (90 cm); 2.9 °C (80 cm); 2.4 °C (90 cm); 1.9 °C (100 cm).

**Perfil nº** – 02

**Data** – 22/02/2011

**Classificação Soil Taxonomy** – Sulfuric Aquiturbel

**Localização** – Canais de degelo no primeiro nível de dissecação da Formação Cross Valley, Ilha Seymour. UTM 21S SAD69 X: 515288, Y: 2873537

**Situação, declive e cobertura vegetal** – Canais de degelo em uma planície fluvial, com 10 % de declive, sem cobertura vegetal.

**Litologia, Unidade Litoestratigráfica e Cronologia** – sedimentos quaternários, Formação Cross Valley, unidade Tpcv3, Paleoceno (66,4 – 57,8 Ma).

**Pedregosidade** – Não pedregosa

**Rochosidade** – Não rochosa

**Relevo local** – Suave ondulado

**Relevo regional** – Suave ondulado

**Erosão** – Muito forte

**Drenagem** – Imperfeitamente drenado

**Vegetação primária** – inexistente

**Descrito e coletado por** – Carlos Ernesto G. R. Schaefer, Felipe Nogueira Bello Simas, Kátia Karoline Delpupo e Diogo Noses Spinola.

### **Descrição morfológica**

A – 0 - 8 cm; franco argiloso; médio granular; macio e muito friável; não plástico e não pegajoso; abrupta e ondulada; 3.0 °C.

C – 8 - 38 cm; franco argiloso; médio granular; solto e muito friável; não plástico e não pegajoso; abrupta e ondulada; 0.9 °C.

Cf – 38 - 60 cm; franco argiloso; médio grande blocos subangulares; duro e firme; não plástico e não pegajoso; -0.2 °C.

### **Perfil nº – 03**

**Data** – 28/02/2011

**Classificação Soil Taxonomy** – Salic Anhyorthel

**Localização** – Perfil representativo de uma série de topos de morros residuais. UTM 21S SAD69 X: 515107, Y: 2873741

**Situação, declive e cobertura vegetal** – no segundo nível de topo de morro, com 3 % de declive, sem cobertura vegetal.

**Litologia, Unidade Litoestratigráfica e Cronologia** – Siltito/Argilito. Formação Cross Valley, unidade Tpcv2, Paleoceno (66,4 – 57,8 Ma)

**Pedregosidade** – Não pedregosa

**Rochosidade** – Não rochosa

**Relevo local** – Suave ondulado

**Relevo regional** – Suave ondulado

**Erosão** – Fraca

**Drenagem** – Imperfeitamente drenado

**Vegetação primária** – inexistente

**Descrito e coletado por** – Carlos Ernesto G. R. Schaefer, Felipe Nogueira Bello Simas, Kátia Karoline Delpupo e Diogo Noses Spinola.

### **Descrição**

A1 – 0-3 cm; muito cascalhenta/cascalhenta subangular; moderada pequeno laminar; ligeiramente duro; 4.0 °C (3 cm).

A2 – 3-8 cm; cascalhenta subangular; moderada/forte médio granular; macio; 2.5 °C (5 cm).

Cc – 8-18/20 cm; cascalhenta subangular; moderada médio/grande blocos subangulares; duro; 4.0 °C (10); 3.5 °C (20 cm).

C2 – 18/20-50 cm; cascalhenta subangular; moderada médio/grande blocos subangulares; duro; 3.3 °C (30 cm); 0.6 °C (40 cm); 0.0 °C (50 cm).

C3 – 50-70 cm; cascalhenta subangular; moderada médio/grande blocos subangulares; muito duro; -0.7 °C (70 cm).

**Perfil nº – 04**

**Data – 23/02/2011**

**Classificação Soil Taxonomy – Salic Aquorthel**

**Localização –** Perfil coletado na desembocadura do Cross Valley. UTM 21S SAD69 X: 513946, Y: 2874440.

**Situação, declive e cobertura vegetal –** Perfil com acúmulo ativo de sedimentos fluviais, com 0 % de declive, sem cobertura vegetal.

**Litologia, Unidade Litoestratigráfica e Cronologia –** Sedimentos aluviais quaternários.

**Pedregosidade –** Não pedregosa

**Rochosidade –** Não rochosa

**Relevo local –** plano

**Relevo regional –** Plano

**Erosão –** Muito forte

**Drenagem –** Imperfeitamente drenado

**Vegetação primária –** inexistente

**Descrito e coletado por –** Carlos Ernesto G. R. Schaefer, Felipe Nogueira Bello Simas, Kátia Karoline Delpupo e Diogo Noses Spinola

## **Descrição morfológica**

A – 0 - 5 cm argila arenosa; maciça pequena laminar; plástico e pegajoso; clara e plana; 5.5 °C.

C – 5 - 30 cm; argila arenosa; maciça pequena blocos subangulares; plástico e pegajoso; clara e plana; 2.6°C.

C2 – 30 - 60 cm; textura; estrutura; consistência solo seco e solo úmido e plasticidade e pegajosidade; 1.5 °C.

Cg – 60 - 80<sup>+</sup> cm; 0.4°C

### 3. Resultados

#### 3.1. Características físicas, químicas e mineralógicas

Os resultados das análises químicas indicam que os solos estudados apresentam pH alcalino ( $> 7$ ) ou muito ácido ( $< 5$ ), sendo que dentro de um mesmo perfil esta tendência (pH alto e pH baixo) também pode ser observada (Tabela 1).

Os baixos valores de pH em alguns horizontes, e também os altos teores de H+Al são indicativos de acidez provocada pela oxidação de sulfetos, principalmente a pirita (FeS) que é um mineral comum nos sedimentos em que os solos da ilha se desenvolveram (TATUR et al., 1993).

Além dos sulfetos, sais solúveis e carbonatos são também distribuídos generalizadamente pela ilha. A oxidação de sulfetos, com conseqüente geração de acidez no sistema e precipitação principalmente da jarosita, é o processo pedogenético mais importante em alguns perfis e horizontes, provocando a dissolução de sais solúveis e carbonatos. No entanto, quando há maior presença de sais solúveis e carbonatos e menor presença de sulfatos, a salinização se torna o principal processo pedogenético. Esta observação já havia sido indicada por Tatur et al. (1993) para os solos da mesma ilha.

À exceção do horizonte C do perfil P2, todos os demais horizontes avaliados foram considerados, de acordo com a SSS (2003), como eutróficos, apresentando saturação por base (V) acima de 50 %, pois, o clima não favorece a expressiva lixiviação de bases.

Os perfis P1 e P2 apresentam oxidação de sulfetos. No perfil P1, o horizonte A apresenta pH 8,63 e H+Al de  $0,2 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ , enquanto os demais horizontes apresentam pH menores que 4 e H+Al acima de  $10 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ . No perfil P2, o pH dos horizontes A e Cf são maiores que 7, enquanto que o pH do horizonte C é menor do que 4 e o teor de H+Al é de  $35,3 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ . Portanto, ambos os perfis apresentam horizonte diagnóstico com características que se enquadram no caráter Sulfúrico da classificação da SSS (2003).

No perfil P1 a maior atividade de  $\text{OH}^-$  ocorre em superfície, com maior acidez em profundidade. Neste perfil, ocorre jarosita inclusive no horizonte com presença de permafrost cimentado por gelo, indicando que o nível do permafrost já sofreu alterações de profundidade.

No perfil P2, o horizonte Cf, que é afetado por permafrost, constitui uma barreira física na percolação de solutos ácidos frutos da oxidação de sulfetos no horizonte C (SSSA, 2003).

Tabela 1. Atributos químicos dos solos da Ilha Seymour, Antártica Peninsular.

Hor	Prof. (cm)	pH	P	K	Na	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al <sup>(1)</sup>	SB <sup>(2)</sup>	t <sup>(3)</sup>	T <sup>(4)</sup>	V <sup>(5)</sup>	m <sup>(6)</sup>	ISNA <sup>(7)</sup>	Prem
		H <sub>2</sub> O	-----mg dm <sup>-3</sup> -----			----- cmolc dm <sup>-3</sup> -----						----- % -----		mg L <sup>-1</sup>		
<b>Perfil 1 – Sulfuric Aquiturbel</b>																
Ajj	0 - 55	8,63	23,00	0,00	241,00	9,47	7,43	0,00	0,20	17,95	17,95	18,15	98,90	0,00	5,84	37,70
Bw	55 - 75	3,70	25,10	0,00	190,90	19,45	7,47	5,76	11,30	27,75	33,51	39,05	71,10	17,20	2,48	14,70
Crj	75 - 120	3,00	36,20	0,00	566,70	14,63	15,38	16,49	27,50	32,47	48,96	59,97	54,10	33,70	5,03	16,50
<b>Perfil 2 – Sulfuric Aquiturbel</b>																
A	0-8	8,99	7,70	142,00	2300,00	14,86	13,42	0,00	0,20	41,67	41,67	41,87	99,50	0,00	31,27	19,70
C	8-38	3,67	8,30	216,00	2420,00	2,13	7,15	21,56	35,30	20,35	41,91	55,65	36,60	51,40	25,11	3,50
Cf	38-60	7,49	22,20	102,00	3523,00	23,29	8,89	0,00	1,00	47,76	47,76	48,76	97,90	0,00	32,07	19,90
<b>Perfil 3 – Salic Anhyorthel</b>																
A1	0-3	8,78	46,50	153,00	4625,40	8,90	13,40	0,00	0,00	42,80	42,80	42,80	100,00	0,00	46,99	33,90
A2	3-8	8,72	82,60	203,00	6945,80	7,05	18,91	0,00	0,00	56,68	56,68	56,68	100,00	0,00	53,28	32,30
Cc	8-18/20	9,25	61,10	253,00	5993,80	2,11	14,89	0,00	0,20	43,71	43,71	43,91	99,50	0,00	59,62	29,50
C2	18/20-50	9,37	65,90	203,00	5026,20	2,29	11,32	0,00	0,00	35,98	35,98	35,98	100,00	0,00	60,74	28,00
C3	50-70	9,16	67,60	303,00	4976,10	3,16	10,23	0,00	0,20	35,80	35,80	36,00	99,40	0,00	60,43	28,30
<b>Perfil 4 – Salic Aquortel</b>																
A	0-5	8,43	97,40	653,00	7246,50	1,03	5,76	0,00	0,20	39,97	39,97	40,17	99,50	0,00	78,83	32,70
C1	5-30	8,70	93,50	328,00	2871,60	2,94	4,97	0,00	0,00	21,24	21,24	21,24	100,00	0,00	58,78	27,50
CR	30-60	7,90	93,20	178,00	3948,90	5,86	6,87	0,00	0,20	30,36	30,36	30,56	99,30	0,00	56,55	18,70
Cg	60-80	8,24	87,10	328,00	3222,40	4,61	5,98	0,00	0,00	25,44	25,44	25,44	100,00	0,00	55,07	31,50

<sup>(1)</sup> Acidez potencial <sup>(2)</sup>Soma de bases; <sup>(3)</sup>Capacidade de troca cationica (CTC) efetiva; <sup>(4)</sup>CTC potencial <sup>(5)</sup>Saturação por bases; <sup>(6)</sup>Saturação por Al<sup>3+</sup>; <sup>(7)</sup> Índice de saturação por sódio; <sup>(8)</sup> Fósforo remanescente

Apesar da ocorrência do processo de sulfurização em ambos os perfis, os teores de Na são elevados, com teores médios de 332 mg.L<sup>-1</sup> para o perfil P1 e 2757 mg.L<sup>-1</sup> para o perfil P2. Este último perfil apresenta teores excessivamente elevados, pois é mal drenado e se encontra em um vale, enquanto o P1 é bem drenado e está no topo da paisagem.

Estes teores de Na são consideravelmente mais elevados do que aqueles reportados por Simas et al., (2008), para solos sulfatados bem drenados da Antártica Marítima, Ilha Rei George, com valores de Na médios de 117 mg.dm<sup>-3</sup>.

Os perfis P3 e P4 não apresentam evidências químicas da oxidação de sulfetos. Pelo contrário, estes perfis apresentam pH normalmente acima de 8 e elevados teores de Na, com médias de 5513 mg.dm<sup>-3</sup> e 4321 mg.dm<sup>-3</sup>, respectivamente. Estes valores só são comparados aos solos dos vales secos da Antártica Continental (TATUR et al, 1993).

No que se refere à granulometria dos perfis, o perfil P1 é o que apresentou menor proporção de argila (< 20 dag. kg<sup>-1</sup>) em relação aos demais (Tabela 2), o que pode ser reflexo do material de origem.

O perfil P2 apresenta teores de argila relativamente elevados nos horizontes A e C, 23 dag. kg<sup>-1</sup> e 26 dag. kg<sup>-1</sup>, respectivamente, o que pode ser resultado tanto de aporte de sedimentos no horizonte A, quanto de formação de argila *in situ* devido à presença do horizonte sulfúrico em C. Quantidades mais expressivas de materiais finos, resultantes de oxidação de sulfetos, também foram reportadas para solos na Antártica Marítima por Albuquerque Filho (2005). Já no horizonte Cf, a presença do permafrost limita a ação do intemperismo químico, apresentando apenas 1% de argila.

No perfil P3, o teor relativamente elevado de argila (> 23 dag. kg<sup>-1</sup>) distribuído homogeneamente pelo perfil, é herdado principalmente do material de origem, pois não é de se esperar que haja formação de quantidades expressivas argila *in situ* na ilha, principalmente em um perfil sem participação ativa da sulfurização.

O perfil P4 se localiza em um ambiente estuarino com constante acúmulo de sedimentos provenientes dos ambientes à montante e do mar.

Tabela 2. Atributos físicos dos solos da Ilha Seymour, Antártica Peninsular.

Hor.	Prof. (cm)	Cor seca (Munsell)	AG AF Silte			Argila	Classe Textural	
			dag kg <sup>-1</sup>					
<b>Perfil 1 – Sulfuric Aquiturbel</b>								
Ajj	0 - 55	2.5Y 6/4	Light yellowish brown	25	53	11	11	Franco-Arenosa
Bw	55 - 75	2.5Y 6/4	Light yellowish brown	12	57	29	2	Franco-Arenosa
Crf	75 - 120	2.5Y 6/2	Light brownish gray	31	29	22	18	Franco-Arenosa
<b>Perfil 2 - Sulfuric Aquiturbel</b>								
A	0-8	5Y 5/2	Olive gray	31	12	34	23	Franco
C	8-38	10YR 6/8	Brownish yellow	33	12	29	26	Franco
Cf	38-60	5Y 6/2	Light olive gray	55	10	34	1	Franco-Arenosa
<b>Perfil 3 – Salic Anhyorthel</b>								
A1	0-3	2.5Y 6/3	Light yellowish brown	28	12	30	30	Franco-Argilosa
A2	3-8	2.5Y 6/3	Light yellowish brown	24	15	30	31	Franco-Argilosa
Cc	8-18/20	2.5Y 6/3	Light yellowish brown	33	9	27	31	Franco-Argilosa
C2	18/20-50	2.5Y 6/4	Light yellowish brown	40	9	27	24	Franco-Argilo-Arenosa
C3	50-70	2.5Y 6/4	Light yellowish brown	32	10	28	30	Franco-Argilosa
<b>Perfil 4 – Salic Aquorthel</b>								
A	0-5	2.5Y 5/4	Light olive brown	2	37	35	26	Franco
C1	5-30	2.5Y 5/3	Light olive brown	1	56	23	30	Franco-Arenosa
CR	30-60	2.5Y 5/2	Grayish brown	0	17	53	30	Franco-Argilo-Siltosa
Cg	60-80	2.5Y 4/2	Dark grayish brown	1	30	47	22	Franco

A Ilha Seymour localiza-se em uma zona climática pouco estudada pedologicamente, o que acarreta dificuldades para se realizar comparações diretas com solos de outras regiões da Antártica (Continental e Marítima) que são objeto de mais pesquisas na literatura.

A Figura 8 apresenta um esquema latitudinal com os principais processos de solos na Antártica, indicando que, tanto no zoneamento botânico como no zoneamento pedológico, a Ilha Seymour é classificada como Antártica Marítima e Desertos Polares, respectivamente.

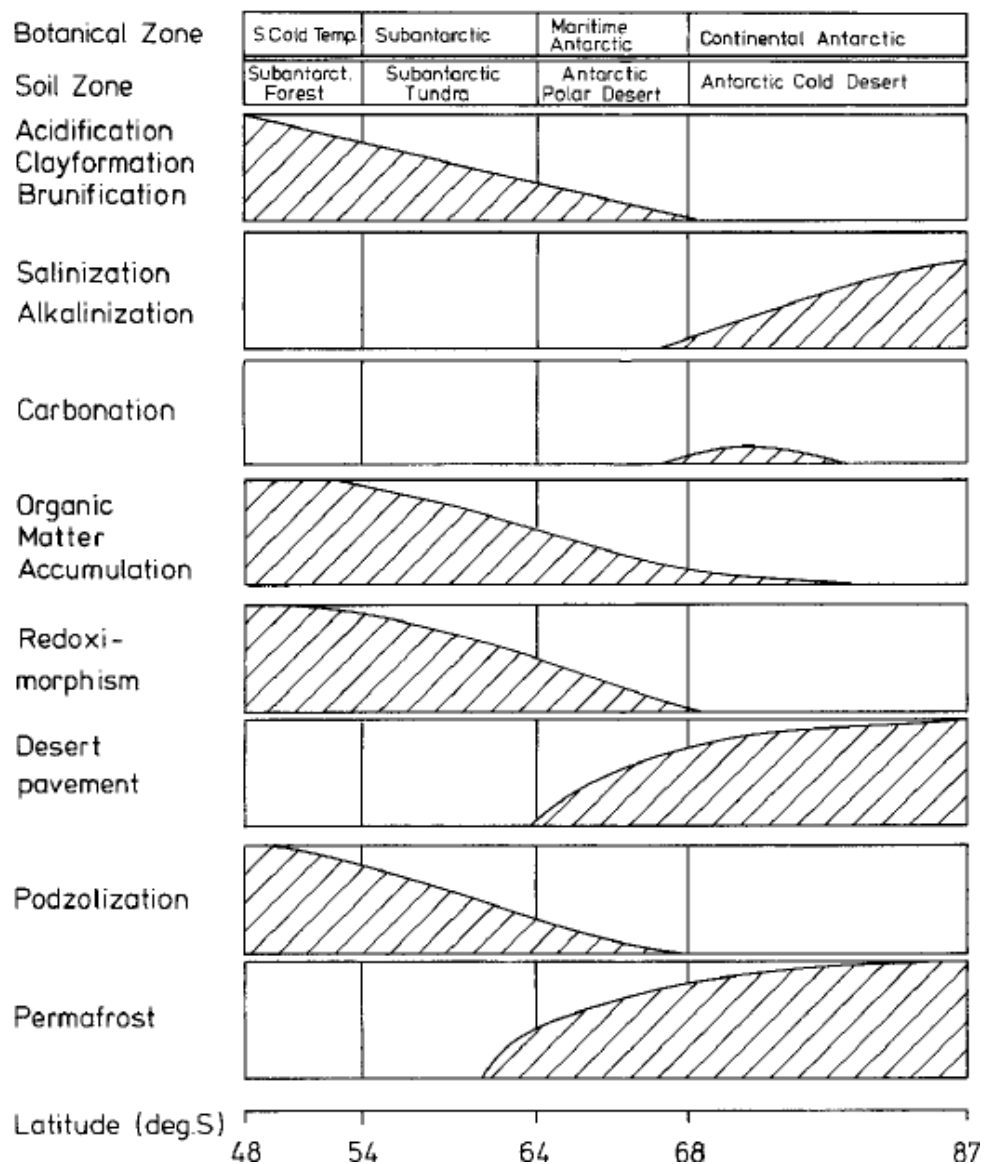


Figura 8. Processos de formação de solos ao longo de um transecto latitudinal na região circumpolar austral (BEYER et al., 1999, adaptado de BLUME et al., 1997). Localização latitudinal aproximada da Ilha Seymour (seta preta).

A Ilha Seymour, de acordo com o esquema acima, deveria se localizar na zona botânica típica da Antártica Continental, devido à ausência de vegetação, e na zona pedológica como Deserto frio polar, visto que a salinização é um importante processo pedogenético que ocorre na ilha, desta forma, com características de regiões com latitude acima de 68°.

Em outros estudos localizados em regiões de clima transicional na Antártica, Beyer et al., (2002) identificou a podzolização como o principal processo pedogenético em Wilkes Land, região costeira da Antártica Continental, enquanto os solos de Hope Bay, Antártica Peninsular (PEREIRA, 2012), apresentaram a crioturbação como principal processo pedogenético. Portanto, corrobora com Tatur et al., (1993) onde afirmam que a composição do material de origem é que condiciona os principais processos pedogenéticos na Ilha Seymour.

### ***3.2.Geomorfologia***

As geoformas encontradas no Cross Valley são condicionadas principalmente por sua geologia.

No P1, as rochas que compõem este ambiente são mais consolidadas (Figura 9), permitindo assim, maior resistência à erosão. Este tipo de material, fortemente consolidado, não é generalizado na ilha, ocorrendo de maneira isolada formando pequenas áreas de topos de morro e com as adjacências sofrendo progressiva dissecação. É possível notar que há segregação entre os clastos e materiais mais finos, indicando a formação de polígonos, o que é resultado da crioturbação (CAMPBELL e CLARIDGE, 1989).

O segundo nível mais elevado da paisagem é composto por colinas de pendentes suaves, onde foi coletado o P3 (Figura 10).



Figura 9. Ambiente de coleta do P1. Indicação de rochas consolidadas em superfície (seta preta). Indicativo de formação de solos poligonais (tracejado preto).



Figura 10. Ambiente de coleta do P3, colinas suaves (setas pretas).

O perfil P2 é localizado em um terraço fluvial próximo ao nível de base (Figura 11). Nota-se a ocorrência de drenagem ácida devido à coloração alaranjada, em direção à calha principal, no entanto, essa acidez que drena para o perfil P3 é neutralizada pelo excesso de bases.

O desnível entre estes dois ambientes favorece o hidromorfismo no perfil P4, e condições oxidantes no perfil P3.



Figura 11. Ambiente de coleta do P2 (1), drenagem ácida (2), ambiente de coleta do P4(3).

O perfil P4 foi coletado na desembocadura do vale, local de maior descarga de sedimentos (Figura 12). Nota-se pela fotografia que os cursos d'água são restritos, com apenas alguns espelhos d'água distribuídos de maneira aleatória.



Figura 12. Local de coleta do perfil P4, desembocadura do Cross Valley.

A partir dos estudos efetuados a campo e em escritório é proposto o mapeamento das principais geoformas que ocorrem neste setor da Ilha Seymour (Figura 13). Neste mapa, o perfil P1 representa os topos de morro, o P2 os terraços fluviais, o P3 as colinas e o P4 a calha principal e a depressão central.

Os topos de morro são a exceção na paisagem, e suas adjacências são constituídas principalmente pelas colinas. Os terraços são unidades muito próximas da calha principal, no entanto, não são saturados por água.

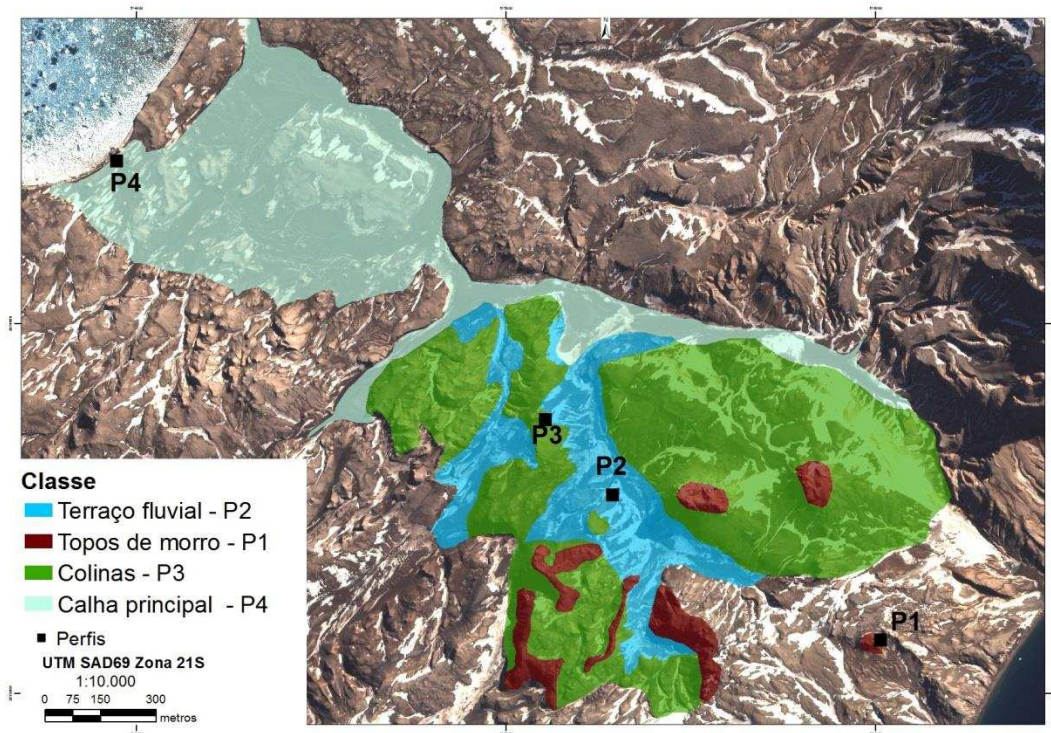


Figura 13. Mapa das principais geoformas que ocorrem no Cross Valley.

Para fins de contextualização na paisagem, foi utilizado o mapa geológico realizado pelo Byrd Polar Research Center (1983) (Figura 14). O P1 localiza-se no topo da paisagem, portanto, na porção mais resistente. Este perfil está localizado na unidade de mapeamento denominada “camadas resistentes”. O ambiente do P2 foi mais dissecado do que o ambiente do perfil P3, apesar de se localizarem em uma unidade geológica semelhante, pois está localizado em uma zona de falha geológica, o tornando mais suscetível a processos erosivos. O P4 é localizado em uma unidade geológica mapeada como “sedimentos aluviais ativos”.

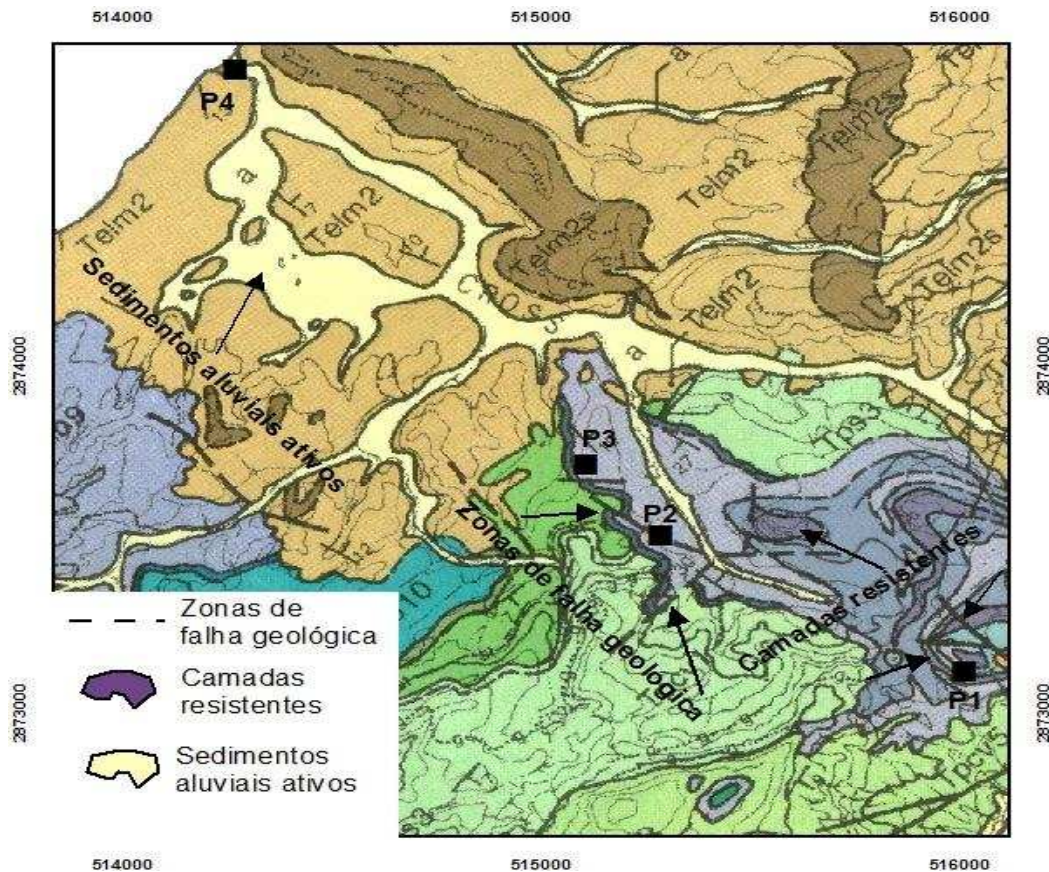


Figura 14. Contexto geológico da área de coleta (Adaptado de Byrd Polar Research Center, 1983).

### 3.3. Mineralogia

#### 3.3.1. Mineralogia da fração argila

A assembleia mineralógica da fração argila no P1 é relativamente homogênea dentro do perfil (Figura 15). Os minerais expansivos esmectita e/ou vermiculita apresentam picos bem definidos, no entanto, como o difratograma foi efetuado em argila natural, sem tratamento, não foi possível a distinção entre esses dois minerais.

O anatásio apresentou pico bem definido em 3,51 Å no horizonte Bw e pouco expressivo nos demais horizontes. A jarosita é presente em todos os horizontes com picos bem definidos (5,94 Å – 5,05 Å – 3,11 Å – 3,06 Å), com exceção do horizonte Bw, onde o pico a 5,10 Å foi pouco expressivo e identificou-se um background ressaltado na região dos picos 3,08 Å e 3,11 Å. O quartzo foi o único mineral primário identificado.

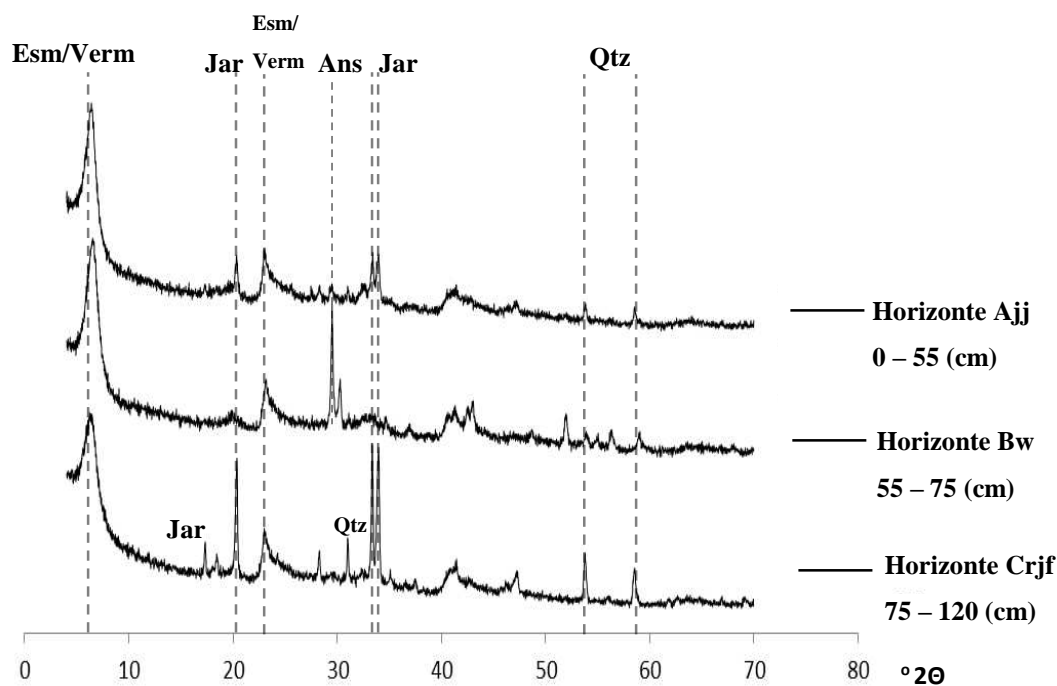


Figura 14. Difratoograma de raio-x da fração argila do perfil P1. **Esm/Verm** – Esmectita ou Vermiculita; **Jar** – Jarosita; **Ans** – Anatásio; **Qtz** – Quartzo.

O perfil P2 apresenta maior heterogeneidade de minerais entre os horizontes (Figura 15). Os minerais expansivos são evidentes neste perfil, com maior cristalinidade no horizonte A, como sugerido pelos picos mais bem definidos. Por outro lado, no horizonte C, o pico de 4,41 Å é fraco, indicando instabilidade deste tipo de mineral em um ambiente extremamente ácido (LYNN e WITTING, 1966). O anatásio está presente em todos os horizontes, com picos bem definidos em 3,51 Å e 1,89 Å. A calcita foi identificada nos horizontes A e Cf (3,00 Å e 2,04 Å), como resultado da aridez do clima em combinação com excesso de  $\text{Ca}^{+2}$  no sistema (FITZPATRICK e SHAND, 2008). Outro mineral identificado e associado ao ambiente árido na presença de S foi a anidrita (WEAVER, 1989), com picos mais intensos no horizonte C (3,51 Å - 2,84 Å - 2,28 Å). A alunita, mineral que se forma pela reação de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  em ambiente rico em K e Al, também foi identificada no horizonte C (1,90 Å - 1,73 Å - 3,05 Å). Este mineral foi reportado em Victoria Land (GIORGETTI e BARONI, 2007) e na região de McMurdo (KEYS e WILLIAMS, 1981) ambos na Antártica Continental. O único mineral primário encontrado foi o quartzo, assim como no perfil P1.

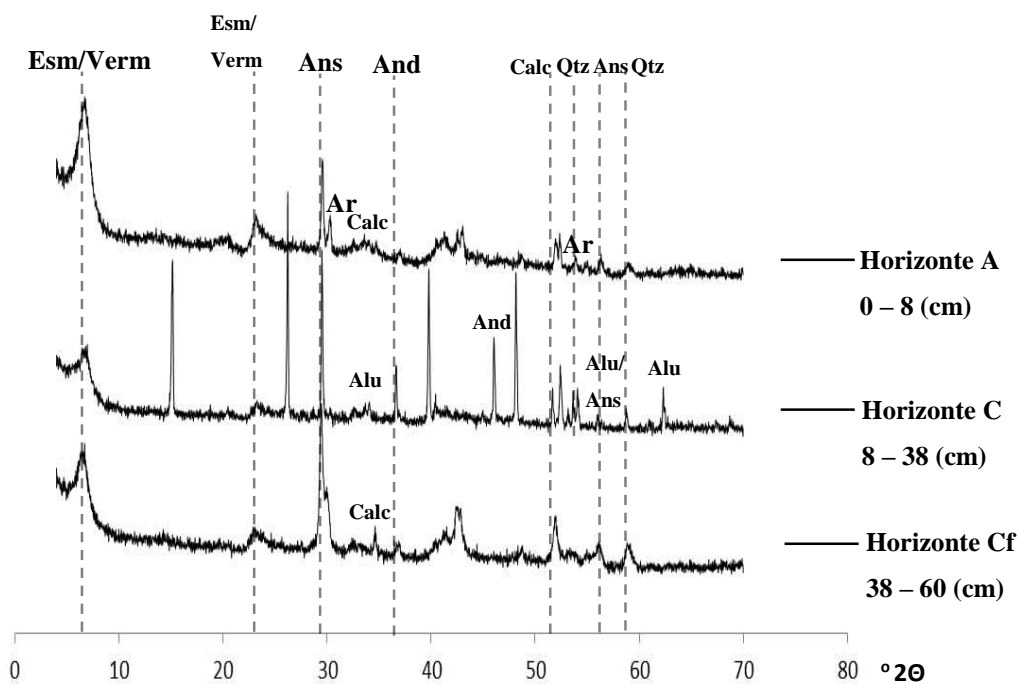


Figura 15. Difratoograma de raio-x da fração argila do perfil P2. **Esm/Verm** – Esmectita ou Vermiculita; **Ans** – Anatásio; **Ar** – Aragonita; **Calc** – Calcita; **Alu** – Alunita; **And** – Anidrita; **Qtz** – Quartzo.

O perfil P4 apresenta distribuição mineralógica homogênea no perfil (Figura 16). A composição mineralógica é semelhante aos perfis anteriores, excetuando pela ausência de sais (calcita, anidrita e aragonita), devido a maior umidade deste ambiente. A jarosita identificada neste perfil é provavelmente de origem detrital, carregada pelos sedimentos a montante. Os picos pouco definidos deste mineral é reflexo do ambiente que se encontra este perfil, mal drenado (menor eH) e com pH elevado (KENEE et al., 2010).

Dentre os minerais primários, o quartzo e a muscovita foram identificados. Este foi o único perfil com presença de caulinita, que ocorre em todos horizontes. Visto que é um ambiente pouco permissivo ao intemperismo químico e a dessilicificação, não era esperada a formação de caulinita *in situ* neste local.

A caulinita já foi identificada em sedimentos da Ilha Seymour por Dingle et al. (1998), como sendo de origem detrital. Material de origem semelhante também foi verificado por Campbell e Claridge (1989) na Antártica Continental. Por outro lado, Simas et al. (2008) identificaram caulinita autigênica em solos sulfatados da Ilha Rei George, Antártica Marítima, assim como Ugolini (1976) identificou o mesmo mineral em veios hidrotermais em Monte Erebus, Antártica Continental.

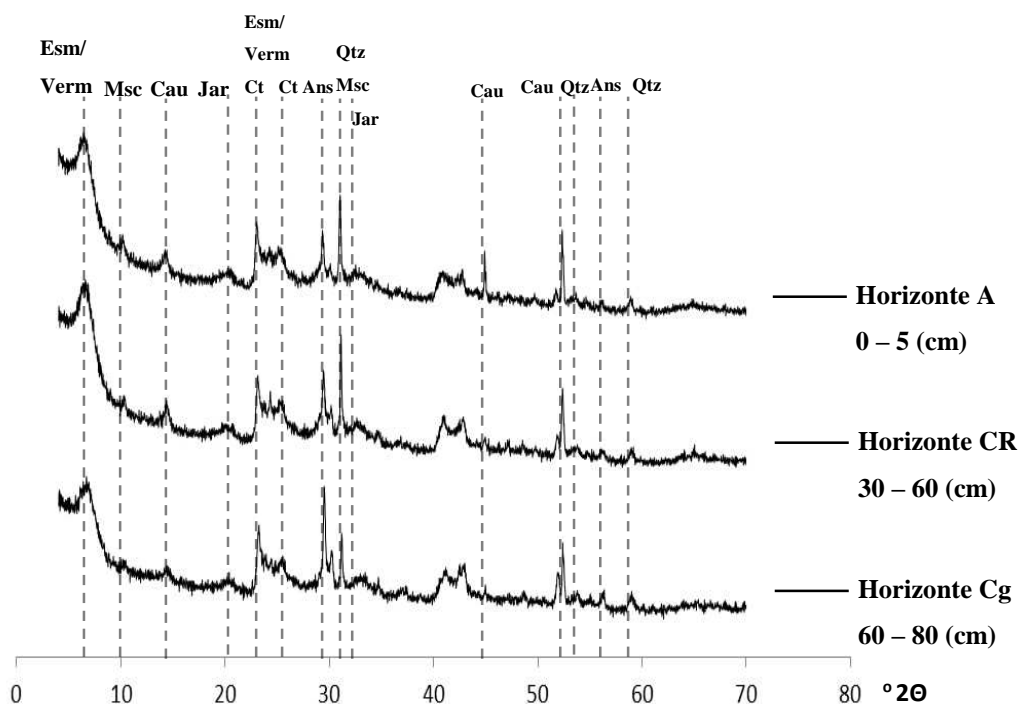


Figura 16. Difratoograma de raio-x da fração argila do perfil P4. **Esm/Verm** – Esmectita ou Vermiculita; **Msc** – Muscovita; **Cau** – Caulinita; **Jar** – Jarosita; **Ans** – Anatósio; **Qtz** – Quartzo.

A presença de quartzo na fração argila, mesmo que em picos pouco intensos, é associado ao intemperismo por crioclastia (FRENCH e GUGLIELMIN, 2000). Por outro lado, não foram identificados minerais primários facilmente intemperizáveis (MPFI), que são frequentemente reportados para solos da Antártica Marítima (SIMAS et al., 2006; BREMER, 2008; SIMAS et al., 2008; RESCK, 2011; MOURA et al., 2012). A ausência de MPFI na fração argila dos solos estudados pode ser resultado da fraca intensidade de processos crioclásticos, devido ao clima árido, assim como resultado da sulfurização, que promove um intemperismo químico mais intenso, assim como indicado por Simas et al. (2006) em solos sulfatados da Ilha Rei George.

### 3.3.2. Formas de Fe

É destacável a quantidade de óxidos de Fe extraídos pelo extrator DCB nestes solos, alcançando quase 200 mg.g<sup>-1</sup> no horizonte Crjf do perfil P1 (Tabela 3).

O perfil P1 é o que apresenta o maior grau de cristalinidade de óxidos de Fe, com valores da razão Fe<sub>o</sub>/Fe<sub>d</sub> abaixo de 0,1 e com valores de Fe<sub>d</sub> excedendo 100 mg.g<sup>-1</sup> nos horizontes Bw e Crjf.

No perfil P2 o horizonte sulfúrico (Cj) foi o que apresentou maior quantidade de óxidos de Fe, o que pode ser atribuído à sulfurização ativa que ocorre neste horizonte, sendo a schwertmanita o óxido de Fe de ocorrência mais provável. Este mineral imprime coloração laranja-avermelhada nos solos e é reportado frequentemente em ambientes mal drenados com sulfurização ativa (FITZPATRICK e SHAND, 2008). O horizonte Cf apresentou menores teores de Fe, o que pode ser associado à presença do permafrost, que reduz a taxa de intemperismo químico.

O perfil P3 apresentou o menor grau de cristalinidade e menores teores de óxidos de Fe pedogenéticos. Enquanto o perfil P1 e P2 apresentam características morfológicas (cor) e aspectos químicos (pH) que sugerem maior intemperismo pela ação da sulfurização, o perfil P3 não apresentou tais características.

O perfil P4 apresentou valores baixos na relação  $Fe_o/Fe_d$  e elevado teor de  $Fe_d$  no horizonte CR, o que pode ser resultado da migração de  $Fe^{+2}$  das áreas mais elevadas com posterior precipitação de  $Fe^{+3}$  nesta posição da paisagem, situação verificado por Simas et al. (2008) na Ilha Rei George, Antártica Marítima.

Tabela 3. Teores de óxidos de Fe pedogenéticos para solos da Ilha Seymour, Antártica Peninsular.

<b>Hor.</b>	<b>Prof.</b>	<b>Fe<sub>o</sub></b>	<b>Fe<sub>d</sub></b>	<b>Fe<sub>o</sub>/Fe<sub>d</sub></b>
	<b>cm</b>	<b>mg.g<sup>-1</sup></b>		
<b>Perfil 1 – Sulfuric Aquiturbel</b>				
Ajj	0 - 55	5,55	56,76	0,09
Bw	55 - 75	10,36	111,81	0,09
Crjf	75 - 120	6,05	199,18	0,03
<b>Perfil 2 – Sulfuric Aquiturbel</b>				
A	0 – 8	9,5	98,51	0,09
Cj	8 – 38	27,34	155,08	0,17
Cf	38 - 60	7,28	52,76	0,14
<b>Perfil 3 – Salic Anhyorthel</b>				
A1	0 – 3	10,12	94,51	0,10
A2	3 – 8	9,92	66,64	0,14
Cc	8 - 20	8,87	31,37	0,28
C2	20 - 50	11,95	90,80	0,13
C3	50 - 70	11,94	47,56	0,25

<b>Perfil 4 – Salic Aquortel</b>				
A	0 - 5	7,61	52,95	0,14
C1	5 - 30	---	---	---
CR	30 - 60	7,51	100,38	0,07
Cg	60 - 80	---	---	---

No entanto, como não foram identificados óxidos de Fe bem cristalizados, como hematita e goethita na difração de raios-x da argila, o que provavelmente explica os elevados teores de  $Fe_d$  é a dissolução da jarosita ( $KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$ ) pelo DCB. Este mineral é estável sob condições oxidantes e  $pH < 4$  (KENEE et al., 2010).

A extração de Fe por DCB ocorre em  $pH 7,3$  em ambiente redutor, e o aumento de temperatura empregado no método aumenta a cinética das reações, promovendo maior dissolução da jarosita. Este efeito foi observado por Sucha et al., (2002), que após a aplicação do DCB verificou a dissolução da jarosita por difratometria diferencial de raio-x. Em outro estudo, Murade e Rojík (2004) indicam que a relação  $Fe_o/Fe_d$  da jarosita é menor que 0.1, sustentando, portanto, a hipótese apresentada.

Portanto, para solos sulfatados, a extração de formas de Fe por DCB não é recomendado.

#### **4. Conclusões**

A natureza do substrato em que os solos da Ilha Seymour se formaram em combinação com o clima árido, determinaram a ocorrência dos principais processos pedogenéticos verificados, a sulfurização e a salinização.

Além da abundante presença de sais, a ausência quase completa de vegetação, permite que os solos da ilha sejam mais semelhantes aos da Antártica Continental do que da Antártica Marítima. Apesar disso, a mineralogia da fração argila revela que o intemperismo químico é atuante, devido a não identificação de MPFI.

Por outro lado, a proveniência sedimentar do material de origem, com fraca diagênese, implica em uma composição mineralógica complexa e não permite inferir, com os dados analisados, qual a real extensão do intemperismo físico e químico *in situ*.

As geoformas onde foram coletados os solos influenciaram principalmente na disponibilidade de água e quantidade de sais, principalmente nas depressões. No entanto, devido a aridez do local, mesmo os perfis localizados nas depressões, com

maior presença de água líquida, não apresentaram desenvolvimento pedogenético superior aos perfis localizados nas porções elevadas e mais áridas. Sendo a sulfurização, no caso dos perfis 1 e 2, o mais importante processo pedogenético na diferenciação de horizontes.

## 5. Referências bibliográficas

- ALBUQUERQUE FILHO, M.R. **Geoquímica de solos da Península Keller, Ilha Rei George, Antártica, como subsídio ao monitoramento ambiental**. 2005. 129f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.
- ALVAREZ, V. H.; FONSECA, D. M. Definição de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios de casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas v. 14, n. 1, p. 48–55, 1990.
- BEYER, L., BÖLTER, M. Chemical and biological properties, formation, occurrence, and classification of Spodic Cryosols in a terrestrial ecosystem of East Antarctica. **Catena**, v. 39 p. 95-119, 2000.
- BOCKHEIM, J.G. Properties and Classification of Cold Desert Soils from Antarctica. **Soil Sci.Soc.Am.J.** v.61, p. 224 – 231. 1997.
- BOCKHEIM, J.G.; UGOLINI, F.C. A review of pedogenic zonation in the well drained soils of the south circumpolar region. **Quat.Res.** v. 34, p. 47 – 66. 1990.
- BLUME, H.P.; CHEN, J.; KALK, E.; KUHN, D. Mineralogy and weathering of Antarctic Cryosols. In: KIMBLE, J.M. (Org). **Cryosols: permafrost-affected soils**. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag. 2004. p. 415 – 426.
- BLUME, H.P., BEYER, L., BÖLTER, L., ERLLENKEUSER, H., KALK, E., KNEESCH, S., PFISTERER, U., SCHNEIDER, D. Pedogenic zonation in soils of the southern circum-polar region. **Adv. GeoEcol**, v. 30, p. 69-90, 1997.
- CAMPBELL, I.B.; CLARIDGE, G.G.C. **Antarctica: soils, weathering processes and environment**. Amsterdam: Elsevier, 1987. 368 p.
- DOKTOR, M.; GAZDZICKI, A.; MARENSSI, S.A.; POREBSKI, S.J.; SANTILLANA, S.N.; VRBA, A.V. Argentine-Polish geological investigations on Seymour (Marambio) Island, Antarctica. **Polish Polar Research**, v. 9, n. 4, p. 521-541, 1988.
- ELLIOT, D.H., Tectonic Settings and Evolution of the James Ross Basin, Northern Antarctic Peninsula. In: **Geology and Paleontology of Seymour Island, Antarctic Peninsula**. FELDMAN, R.M.; WOODBURN, M.O (Org.). Geological Society of America Memoir 169, 1988, p. 541-555.
- ELLIOT, D.H.; RINALDI, C.A.; ZINSMEISTER, W.; TRAUTMAN, T.A.; BRYANT, W.A.; DEL VALLE, R.A.. Geological investigations on Seymour Island, Antarctic Peninsula. **Antarctic Journal of the United States**, v. 10, n. 4, p. 182-186, 1975.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo.** 2ª Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p.
- FITZPATRICK, R.; SHAND, P. **Inland Acid Sulfate Soils: Overview and conceptual models.** In: FITZPATRICK, R.; SHAND, P (Org.). *Inland Acid Sulfate Soil Systems Across Australia.* Perth, Australia: CRC LEME, 2008, n.249 pp.6-74.
- FRENCH, H.M.; GUGLIELMIN, M. Cryogenic weathering of granite, northern Victoria Land, Antarctica. **Permafrost and Periglacial Processes**, v.11, p. 305 – 314, 2000.
- FUKUDA, M.; SHIMOKAWA, K.; TAKAHASHI, N.; SONE. Permafrost in Seymour Island and James Ross Island, Antarctic Peninsula Region. **Geographical Review of Japan.** v.65, n. A-2, p. 123-131, 1992.
- GIORGETTI, G.; BARONI, C. High-resolution analysis of silica and sulphate-rich rock varnishes from Victoria Land (Antarctica). **European Journal of Mineralogy.** v.19, n.3, p.381-389, 2007.
- GODAGNONE, R.E. **Suelos Antárticos. Clasificación Taxonómica y Cartografía.** Publicación N° 30. Instituto Antártico Argentino. p. 1-92, 2001.
- KENEE, A.; SCOTT, J.; BUSH, R.; SULLIVAN, L.; BURTON, E. Reductive dissolution of natural jarosite in a tidally inundated acid sulfate soil: geochemical implications. In: **19<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World**, 2010, Brisbane, Australia.
- KEYS, J.R.; WILLIAMS, K. Origin of crystalline, cold desert salts in McMurdo region, Antarctica. **Geochimica et Cosmochimica Acta.** v. 45, n. 12, p.2299 – 2309, 1981.
- MAHANEY, W.C.; DOHM, J.; KAPRAN, B.; HANCOCK, R.G.V.; MILNER, M.W. Secondary Fe and Al in Antarctic paleosols: Correlation to Mars with prospect for the presence of life. **Icarus**, v.203, p. 320-330, 2009.
- MCKEAGUE, J.A., DAY, J.H. Dithionite and oxalate. Extratable Fe and Al as Aids in differentiating various classes of soils. **Can. J. Soil Sci.** v, 46, p. 13-22, 1966.
- MELO, V.F.; FONTES, M.P.F.; NOVAIS, R.F.; SINGH, B.; SCHAEFFER, C.E.G.R. Características dos óxidos de ferro e alumínio de diferentes classes de solos. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.25, n.1, p.19-32. 2001.
- MOURA, P.A.; FRANCELINO, M.R.; SCHAEFER, C.E.G.R.; SIMAS, F.N.B.; de MENDONÇA, B.A.F. Distribution and characterization of soils and landform relationships in Byers Peninsula, Livingston Island, Maritime Antarctica. **Geomorphology**, v.155-156, p. 45 – 54, 2012.
- MURAD, E.; ROJÍK, P. Jarosite, schwertmannite, goethite, ferrihydrite and lepidocrocite: the legacy of coal and sulfide ore mining. In: **3<sup>rd</sup> Australian New Zealand Soils Conference**, 2004, Sydney, Australia.
- NOZAL, F., MONTES, M., SANTILLANA, S., MARTÍN-SERRANO, A., Cartografía Geomorfológica 1:10.000 en la Isla Marambio (Mar De Weddell). In: **Vi Simpósio Argentino y III Latinoamericano sobre Investigaciones Antárticas – 6. Argentina. Anais do VI Simpósio Argentino y III**

- Latinoamericano Sobre Investigaciones Antárticas**, Argentina: Dirección Nacional del Antártico / Instituto Antártico Argentino. 2007.
- OMOTO, K. Coastal Landform and Radiocarbon Age of Cryogenic Mounds Observed at Larsen Cove, Seymour Island, East of Antarctic Peninsula. The Inst.Natural Sciences Nihon Univ.**Proc.of Natural Sciences**. v. 30, p. 11-22, 1994.
- ÖBORN, I. Properties and Classification of Some Acid Sulfate Soils in Sweden. **Geoderma**, v.45, p.197-219. 1989.
- PEREIRA, T.T.C. **Solos de Hope Bay, Península Antártica**. 2012.123f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.
- RESCK, B.C. **Química e mineralogia de solos vulcânicos das ilhas Deception e Penguin, Antártica Marítima**. 2012. 47f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.
- RICHARDS, L.A. **Diagnosis and Improvement of Saline and alkali Soils**. Washington: United States Department of Agriculture (Agriculture Handbook No. 60), 1954. 159 p.
- SADLER, V. Geometry and stratification of uppermost Cretaceous and Paleogene units on Seymour Island, northern Antarctic Peninsula. In: **Geology and Paleontology of Seymour Island, Antarctic Peninsula**. FELDMAN, R.M.; WOODBURN, M.O (Org.). Geological Society of America Memoir 169, 1988, p. 303-320.
- SCHAEFER, C.E.G.R.; SIMAS, F.N.B.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R.; MICHEL, R.F.M.; VIANA, J.H.M e TATUR, A. Fosfatização: processo de formação de solos na Baía do Almirantado e implicações ambientais. In: SCHAEFER, C.E.G.R.; FRANCELINO, M.R.; SIMAS, F.N.B.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R. (Orgs).**Ecosistemas costeiros e monitoramento ambiental da Antártica Marítima: Baía do Almirantado, Ilha Rei George**, Viçosa: NEPUT, p. 47-58. 2004.
- SCHWERTMANN, U. Use of oxalate for Fe extraction from soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v.53, p. 244–246, 1973.
- SILVA BUSSO, A.; SÁNCHEZ, R.; FRESINA, M. Caracterización del Comportamiento Hidrogeológico em la Isla Marambio, Antártida. **1º Congreso Mundial Integrado de Aguas Subterráneas**. Abstracts, p.292. Fortaleza, Brasil. 2000.
- SIMAS, F.N.B.; SCHAEFER, C.E.R.G.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R.; FRANCELINO, M.R.; FERNANDES FILHO, E.I.; COSTA, L.M. Genesis, properties and classification of Cryosols from Admiralty Bay, maritime Antarctica. **Geoderma**, v.144, p. 116 – 122, 2008.
- SIMAS, F. N. B.; SCHAEFER, C.E.R.G, MELO, V.F.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R.; MICHEL, R.F.M.; PEREIRA, V.V.; GOMES, M.R.M.; COSTA, L.M. Ornithogenic cryosols from Maritime Antarctica: Phosphatization as a soil forming process. **Geoderma**, v. 138, p. 191 – 203, 2007.
- SIMAS, F.N.B.; SCHAEFER, C.E.G.R.; MELO, V.F.; DE GUERRA, M.B.B.; SAUNDERS, M.; GILKES, R.J. Clay-sized minerals in permafrost-affected soils

- (Cryosols) from King George Island, Antarctica. **Clays Clay Miner.** v. 54, p. 721–736, 2006.
- SOIL SURVEY STAFF. **Keys to Soil Taxonomy (9th edit.)**. U.S. Dep. Agric., Natural Resources Conserv. Serv., Washington, D.C. 2003.
- SUCHA, V.; DUBIKOVA, M.; CAMBIEL, P.; ELSASS, F.; PERNES, M. Effect of acid mine drainage on the mineralogy of a dystic cambisol. *Geoderma*. v. 110, p. 151-167, 2002.
- TATUR, A.; BARCZUK, A.; VALLE DEL, R.; SLETTEN, R.; KICIŃSKA, E. Surface mineralization on Seymour Island, Antarctica. **Polish Polar Research**, v. 14, p. 153-168, 1993.
- TATUR, A.; MYRCHA, A. Soils and vegetation in abandoned penguin rookeries (Maritime Antarctic). **Proc. NIPR Symp. Polar Biol.** v.2, p. 181 – 189, 1989.
- UGOLINI, F.C. Weathering and mineral synthesis in Antarctic soils. **Antarctic.J.U.S.** v. 11, p. 248 – 249, 1976.
- WEAVER, C.E. **Clay, Muds, and Shales**. 44ed. Amsterdam – Oxford – New York – Tokyo: Elsevier, 1989.

## **CAPÍTULO 2**

### **DESCONTINUIDADES LITOLÓGICAS EM SOLOS DESENVOLVIDOS DE SEDIMENTOS MARINHO NA ILHA SEYMOUR, ANTÁRTICA PENINSULAR.**

#### **RESUMO**

A distinção entre solos e sedimentos nem sempre é tarefa simples, podendo-se ser mais complexa quando sedimentos inalterados *in situ* apresentam características semelhantes aos produtos da pedogênese. Isto é mais evidente nas regiões periglaciais, onde a pedogênese é lenta e as características do material de origem são mais preservadas, podendo dificultar a compreensão da gênese destes solos. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar ferramentas para se tentar diferenciar horizontes do solo formados via pedogênese daqueles herdados do material de origem, utilizando-se perfis de solos coletados na Ilha Seymour, Antártica Marítima. Com este propósito, optou-se por se identificar descontinuidades litológicas e avaliar as taxas de intemperismo nos perfis amostrados. As descontinuidades litológicas foram avaliadas mediante análise da distribuição dos teores de Ti e Zr e da relação Ti/Zr, além da distribuição granulométrica da areia e silte em uma base livre de argila, e dos teores da própria fração argila para fins comparativos. Na avaliação da taxa de intemperismo foram utilizados o índice CIA (Index of Chemical Alteration) e a mineralogia da fração argila. Dos perfis avaliados, em P1 não se verificou qualquer evidência de descontinuidades, sendo os principais processos de diferenciação de horizontes a sulfurização e a salinização. No P2, os principais processos foram a sulfurização, verificada em subsuperfície e em profundidade, e a adição eólica em superfície. Nos perfis ornitogênicos P3 e P4, a distribuição dos teores de Ti e Zr evidenciaram a transição dos horizontes orgânicos para os minerais. O índice CIA também mostrou evidências da descontinuidade nestes perfis.

# **LITHOLOGIC DISCONTINUITIES IN SOILS DEVELOPED ON UPLIFTED MARINE SEDIMENTS, SEYMOUR ISLAND, ANTARCTIC PENINSULA.**

## **ABSTRACT**

The distinction between soils and sediments is difficult, because unaltered sediments in situ could show similar features of pedogenesis products. The similar features are more evident in periglacial zones where the rate of pedogenesis is slow and the original characteristics of the parent material are better preserved, which in turn could hamper the understanding of the genesis of these soils. Therefore, the objective of this study was to evaluate tools to differentiate soil horizons formed from pedogenesis using soil profiles from Seymour Island in the Antarctic Peninsula that inherited from parent material. To complete this objective, the lithological discontinuities and the rates of weathering in the profiles that were sampled were identified and measured. The lithological discontinuities were evaluated using a thorough analysis of the Ti and Zr content distribution and relationship between Ti/Zr, beside the textural distribution of sand and silt in clay-free basis, beyond contents of clay, for comparison. The Chemical Index of Alteration (CIA) and the clay mineralogy were used for the evaluation of weathering rates. There was no evidence of discontinuities in profile P1 and the main processes of horizon differentiation are sulfurization and salinization. In the profile P2 the main process was sulfurization, which was verified by the subsurface and in depth and Aeolian inputs in surficial horizon. In the Ornithogenic profiles P3 and P4, the contents of Ti and Zr show transitions between organic and mineral horizons. The CIA index also shows evidence of discontinuity in these profiles.

## **1. Introdução**

A distinção entre solos e sedimentos nem sempre é tarefa simples, visto que os sedimentos sofreram processos pedogenéticos e erosão prévios à sua deposição, sendo nestes casos denominados regolitos transportados (SCHAETZL e RANDALL, 2005). Além disso, esta distinção é complicada quando sedimentos inalterados *in situ* apresentam características semelhantes aos produtos da pedogênese (MANDEL e BETTIS, 2001).

Diversos autores concordam que saber se o solo apresenta uma descontinuidade litológica é o ponto de partida inicial para qualquer estudo de gênese de solos (PARSONS E BALSTER, 1966; CHAPMAN E HORN, 1968; RAAD E PROTZ, 1971; EVANS, 1978; MEIXNER E SINGER, 1981; NORTON E HALL, 1985 citado por SHAETZL e ANDERSON, 2005) e é requerido para qualquer quantificação de grau de evolução (HASEMAN E MARSHALL, 1945; EVANS E ADAMS, 1975; SANTOS ET AL., 1986; CHADWICK ET AL., 1990 citado por SHAETZL e ANDERSON, 2005). Neste sentido, torna-se relevante em estudos de gênese de solos, distinguir processos pedogenéticos das características herdadas do material de origem.

A identificação de descontinuidades litológicas agrega uma importante informação, principalmente quando são observadas mudanças abruptas nos perfis. Considerar que todas as alterações em perfis de solos são frutos de processos pedogenéticos pode levar a avaliações equivocadas de sua gênese.

Inúmeros métodos são empregados na identificação de descontinuidades litológicas, destacando-se aqueles que utilizam frações e minerais com baixa solubilidade e elementos químicos com baixa mobilidade no perfil. Para ser mais eficiente, Schaetzel e Anderson (2005) consideram que a avaliação de descontinuidades litológicas deve considerar dois ou mais métodos.

Um dos métodos mais amplamente utilizados é a análise da distribuição de Zr e Ti no perfil do solo, devido fato que os principais minerais fornecedores destes elementos, zircão ( $ZrSiO_4$ ) e rutilo ( $TiO_2$ ), são considerados imóveis e poucos suscetíveis à alteração química (BREWER, 1964). Portanto, em perfil homogêneo, estes elementos terão distribuição uniforme em profundidade.

Outro método utilizado no estudo de descontinuidades é a distribuição granulométrica da areia e silte recalculada para uma base livre de argila (KELLOGG, 1962). Esse é um atributo que deveria se manter constante em um perfil homogêneo,

sendo considerado um dos métodos mais eficazes de identificação de discontinuidades litológicas (SCHAETZL, 1998).

Para avaliar o grau de evolução de um determinado perfil de solo, é necessário avaliar se o material de origem é homogêneo.

Na literatura são propostos diversos índices que permitem quantificar o grau de intemperismo dos solos baseados na mobilidade e solubilidade de elementos químicos e minerais, respectivamente (BUGGLE et al., 2011). A assembléia mineralógica, tanto dos minerais primários quanto dos secundários é também um bom indicador do intemperismo, assim como a razão entre óxidos de ferro livre e aqueles nas estruturas minerais (MARSAN et al., 1988)

Os índices de intemperismo são importantes ferramentas na avaliação da pedogênese de solos desenvolvidos de rochas sedimentares, pois os solos formados nas diferentes camadas refletirão os atributos herdados do material de origem. Isto é mais evidente nas regiões periglaciais, onde a pedogênese é lenta e as características do material de origem são mais preservadas, podendo dificultar compreensão da gênese destes solos.

Diante do exposto, o presente estudo objetiva avaliar a pedogênese de solos da Ilha Seymour, localizada na Antártica Peninsular, buscando diferenciar processos típicos de gênese do solo de feições herdadas do material de origem. Como o clima da ilha é pouco permissivo ao intemperismo químico e a processos pedogenéticos e a geologia é composta principalmente por sedimentos fracamente consolidados (SADLER, 1988), a distinção de horizontes pode ter sido herdada dos estratos sedimentares ou fruto de processos pedogenéticos.

## **1. Materiais e Métodos**

### ***2.1. Localização e características climáticas da área de estudo***

A ilha Seymour está situada a 100 km a sudeste da terminação setentrional da Península Antártica, no Mar de Weddell (Figura 1).

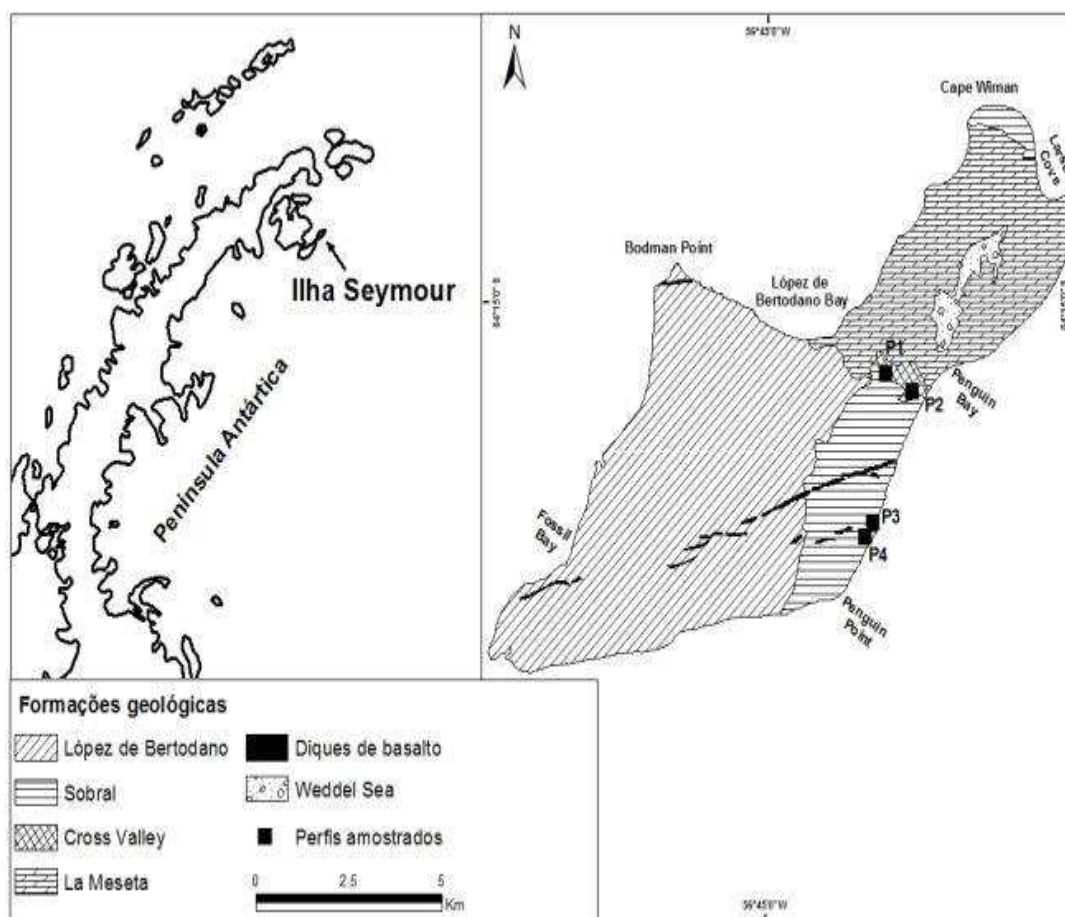


Figura 1. Localização da Ilha Seymour, formações geológicas e localização dos perfis amostrados.

O clima da ilha é classificado como transicional entre o marítimo (mais úmido) e continental (seco) (TATUR et al., 1993). A ilha apresenta temperatura média anual de  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  e precipitação média inferior a 220 mm que ocorre principalmente na forma de neve. Estas condições climáticas permitem a presença de permafrost contínuo (FUKUDA et al., 1992).

Devido a sua localização em um clima transicional, a ilha apresenta elementos da Antártica Marítima, como crioturbação e cursos d'água ativos durante o verão, bem como elementos dos vales secos da Antártica Continental, como espessas crostas salinas, ausência de vegetação e solos com permafrost seco.

## ***2.2.Contexto geológico***

A Ilha Seymour localiza-se na bacia sedimentar James Ross, que integra a bacia sedimentar Larsen, a qual é caracterizada como de retroarco, por estar na retaguarda de um arco magmático que é composto pela Península Antártica. Consequentemente, grande parte das camadas sedimentares da Ilha Seymour é composta pela erosão deste arco magmático. Desta forma, a história sedimentar da ilha é estreitamente ligada à história tectônica da Península Antártica. Os sedimentos que compõem a ilha são datados do Cretáceo Superior ao Eoceno superior, (ELLIOT, 1988).

A ilha é composta por cinco formações geológicas, sendo que no presente estudo foram estudados os solos da Formação Sobral (Paleoceno Inferior) e Cross Valley (Paleoceno Superior).

A formação López de Bertodano (Cretáceo Superior), primeira na coluna estratigráfica, é composta principalmente por arenitos de granulometria muito fina e siltitos e também por arenitos cimentados por carbonatos. As unidades superiores da formação contêm abundantes detritos vulcânicos e camadas de tufos vulcânicos, e areias glauconíticas também são encontradas. Os sedimentos foram depositados em um ambiente marinho raso de águas turvas sob efeito de ondas (RINALDI *et al.*, 1978; ELLIOT, 1988).

A formação sobrejacente, Sobral, é composta principalmente por camadas de siltito e arenito, além de arenitos feldspáticos (ou arcóseo) e arenitos líticos. A textura dos sedimentos nas unidades inferiores varia de mais argiloso para mais grosseiros nas unidades superiores. Camadas de tufos vulcânicos também são frequentemente encontradas nas unidades inferiores além de areias glauconíticas (SADLER, 1988). Estes sedimentos são provenientes do arco magmático da Península Antártica que se encontrava mais dissecado no período da deposição, consequentemente, foi maior a sedimentação de rochas intrusivas e metamórficas (MARENSSI *et al.*, 2002).

A formação Cross Valley apresenta principalmente arenitos de granulometria média a grosseira com altos teores de glauconita e que marca um período transgressivo no momento da deposição (ELLIOT *et al.*, 1975). Esta formação representa o preenchimento de um estreito canyon submarino (SADLER, 1988) e concentra a maior presença de fragmentos vulcanoclásticos (DOKTOR *et al.*, 1988).

A Formação La Meseta (Eoceno Inferior) está presente na porção nordeste da ilha, sendo considerada como um ambiente de deposição em um sistema de vale inciso

composto por deltas, estuários e ambiente marinho de águas rasas. É composto por arenitos feldspáticos fracamente consolidados, fragmentos andesíticos e outros fragmentos vulcânicos félsicos (MARENSSI et al., 2002).

Os sedimentos que compõem a geologia da ilha apresentam baixo grau de diagênese, sendo muito friáveis (SADLER, 1988).

### ***2.3. Amostragem e análises***

A seleção de perfis e coleta de amostras de solos foi realizada entre fevereiro e março de 2011, durante a XXIX OPERANTAR, dentro do Projeto Terrantar e contando com apoio logístico da Marinha do Brasil e do Exército da Argentina.

Após reconhecimento da área, foram descritos vinte e um perfis, dos quais, quatro foram selecionados para este estudo. Estes perfis foram selecionados devido às abruptas variações verticais de cores de seus horizontes. Todos os perfis apresentam horizontes com oxidação de sulfetos, sendo um com crioturbação e outro sem e dois foram coletados sob pinguineiras abandonadas de diferentes idades, características comuns aos solos da Antártica Peninsular e Marítima.

As amostras foram destorroadas, secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm para a obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Posteriormente os sais solúveis foram removidos utilizando-se álcool hidratado na proporção 5:1 (RICHARDS, 1954). O pH do solo, soma de bases, saturação por bases, P disponível (Melich – 1), Al trocável, saturação por  $Al^{3+}$ , CTC efetiva e potencial foram determinados de acordo com os métodos da Embrapa (1997). O carbono orgânico total (COT) foi determinado por combustão úmida (YEOMMANS e BREMNER, 1988). A textura foi obtida pelo método da pipeta (argila e silte) e a tamisagem (areia) (EMBRAPA, 1999).

### ***2.4. Teores de elementos***

As amostras de TFSA foram maceradas e peneiradas em 200 mesh. Em seguida foram misturadas na proporção 1:5 com  $LiBO_2$  em cadinhos de grafite, de maneira a fazer um sanduiche com a amostra, não à colocando em contato com o cadinho nem exposta à superfície. Em seguida, os cadinhos foram levadas a mufla para se obter a fusão. A temperatura foi incrementada em 3 °C por minuto até 450°C, permanecendo por 1 hora. Em seguida as amostras foram aquecidas em 10 °C por minuto até 1000 °C, permanecendo nesta temperatura por 10 minutos.

Após este procedimento, as pérolas resultantes da fusão foram diluídas em HNO<sub>3</sub> 10% e os teores dos elementos Si, Al, Ca, K, Mg, Na, Ti, Zr e Fe nos extratos foram determinados em ICP-OES. Todos os elementos foram expressos em óxidos.

### ***2.5.Distribuição de Ti, Zr e Ti/Zr***

A distribuição destes elementos e a razão entre eles foi plotada em função da profundidade, facilitando a análise do comportamento nas transições entre horizontes. Os teores de Zr foram multiplicados por 10 para ficar na mesma escala dos valores de Ti. Os elementos foram expressos em óxidos.

Chapman e Horn (1968) adotam diferença superior a 100% nos teores de Zr entre horizontes para confirmar a descontinuidade. No entanto, não foram encontrados na literatura valores padrões para Ti e para Ti/Zr.

### ***2.6.Areia e Silte recalculados para uma base livre de argila***

A distribuição granulométrica de areia e silte, recalculados para uma base livre de argila é adotada como critério para análise de uniformidade de material de origem (SCHAETZL e ANDERSON, 2005, STOLT et al., 1993).

Mesmo que a fração argila faça parte do pacote sedimentar e possa espelhar diferenças no ambiente de sedimentação, esta também é fruto da pedogênese o que pode mascarar a quantidade das outras frações, levando a interpretações equivocadas. Porém, como clima da ilha não é favorável à formação de argila, optou-se por analisar também à fração argila separadamente para fins comparativos.

O percentual das frações areia grossa, areia fina e silte foi recalculado para uma base livre de argila de acordo com a fórmula de Kellog (1962):

$$X = (y/z) \times 100,$$

em que:

X: fração de areia ou silte recalculado (%),

y: fração de areia ou silte na distribuição original (%),

z: soma dos percentuais de silte e areia na distribuição original (%).

### ***2.7.Grau de intemperismo***

Para o cálculo do grau de intemperismo de cada perfil, foi utilizada a razão entre um elemento considerado pouco móvel e elementos móveis. O elemento considerado imóvel apresenta enriquecimento relativo quanto maior o grau de intemperismo de um horizonte. O índice utilizado foi o Chemical Index of Alteration (CIA) proposto por Nesbitt e Young (1982) que considera o Al como o elemento pouco móvel:

$$\text{CIA} = [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO}^* + \text{K}_2\text{O})] \times 100,$$

Sendo o CaO aquele ligado à estrutura de silicatos.

Valores de CIA menores do 60 são associados com solos pouco alterados e com abundante presença de minerais primários; entre 60 e 75, com solos intermediários e, na medida que os valores aproximam-se de 100, referem-se a solos mais intemperizados, compostos inteiramente por caulinita e gibbsita.

### ***2.8.Mineralogia***

Os minerais presentes na fração argila foram identificados por meio de difração de raios-x. Amostras dispostas em lâminas escavadas foram irradiadas com tubo de Co, no intervalo de 4 à 70 ° 2θ.

## **3. Resultados e Discussão**

### ***3.1.Caracterização dos perfis amostrados***

A classificação dos quatro perfis selecionados foi efetuada de acordo com a Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2003). A Tabela 1 apresenta os resultados das análises químicas, cor e formação geológica dos perfis que apresentam as seguintes características:

**Perfil P1:** Sulfuric Aquiturbel. Perfil localizado próximo a canais de degelo, com abundantes mudcracks em superfície. Horizonte subsuperficial de croma alaranjado, indicando presença de materiais sulfatados e hidróxidos de ferro amorfos. Presença de permafrost cimentado por gelo em 50 cm de profundidade, sem sinais de crioturbação. Altitude: 31 m. (Figura 2).

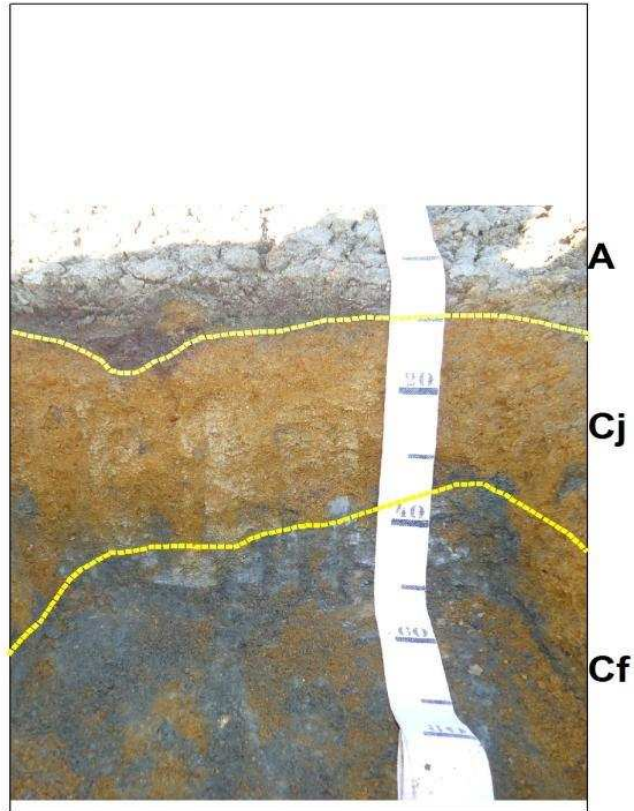


Figura 2. Perfil P1. Linhas amarelas indicam transição de horizontes

**Perfil P2:** Sulfuric Aquiturbel. Perfil coletado na borda de um campo de solos poligonais onde se verifica acúmulo de material grosseiro em superfície composto por clastos pouco alterados quimicamente, porém com forte expressão de crioclastia. O horizonte superficial aparenta pouca alteração e sua transição é abrupta e ondulada para o horizonte inferior oxidado. Logo abaixo esta o permafrost cimentado por gelo em 75 cm de profundidade com acúmulo de jarosita Altitude 120 m. (Figura 3).

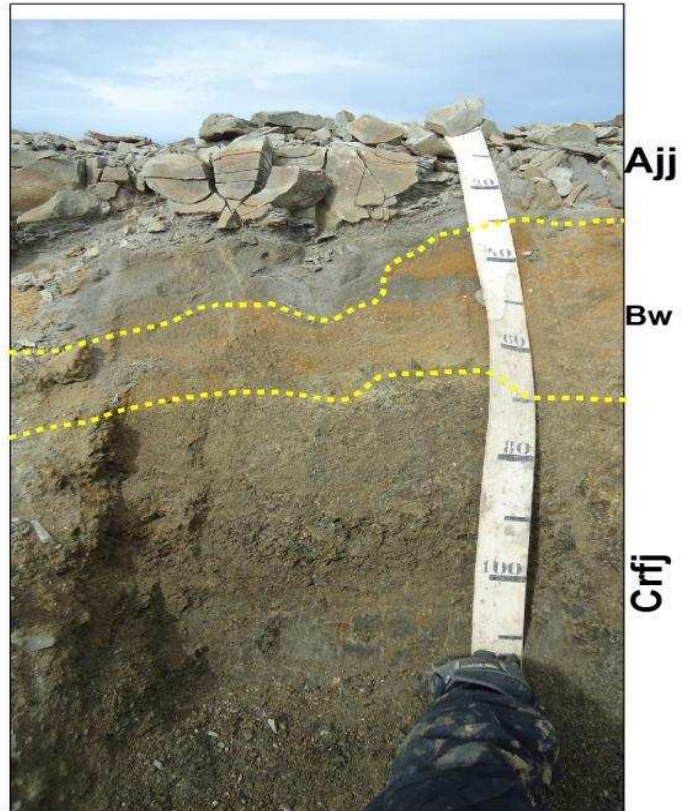


Figura 3. Perfil P2. Linhas amarelas indicam transição de horizontes

**Perfil P3:** “Ornithogenic” Litic Anhyorthel. Perfil coletado em uma pinguineira abandonada, com abundante presença de ossos e clastos alóctones da superfície até 50 cm de profundidade, seguido de um horizonte mineral de coloração cinza e sem interação com o material ornitogênico, seguido por outro horizonte mineral com coloração mais escura, com permafrost seco a 100 cm. Altitude: 8 m. (Figura 4)

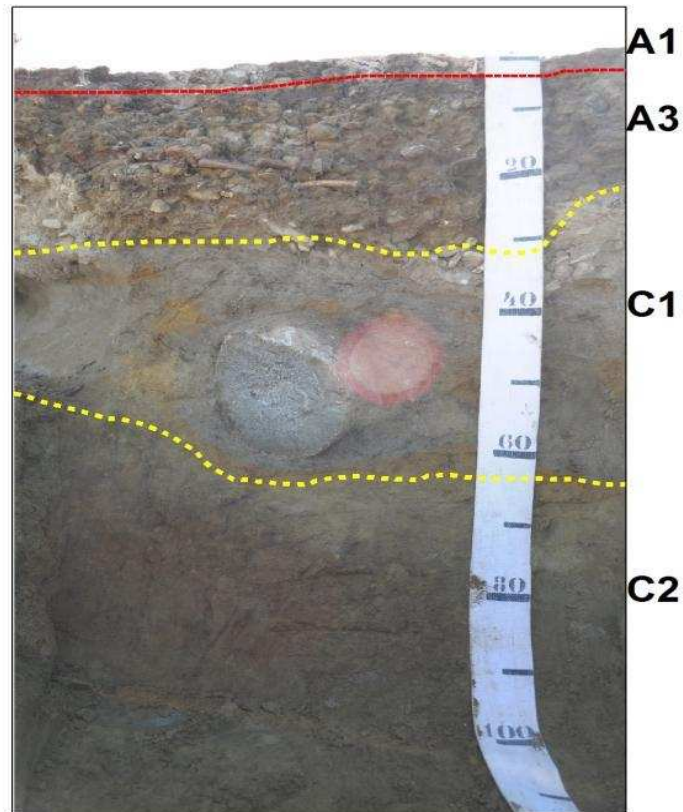


Figura 4. Perfil P3. Linha vermelha indica transição entre horizontes ornitogênicos e linhas amarelas indicam transição de horizontes

**Perfil P4:** “Ornithogenic” Litic Anhyorthel. Perfil coletado em uma pinguineira abandonada mais antiga que o perfil P3, apresentando avançado estágio de decomposição do material biológico e poucos fragmentos de ossos. A partir de 50 cm de profundidade ocorre abrupta mudança do horizonte ornitogênico para um horizonte mineral, o qual é arenoso com finas estratificações cruzadas de glauconita e jarosita e sem nenhuma interação com o material ornitogênico, a partir de 70 cm de profundidade ocorre um núcleo fortemente oxidado e permafrost seco. Altitude: 22 m. (Figura 5).

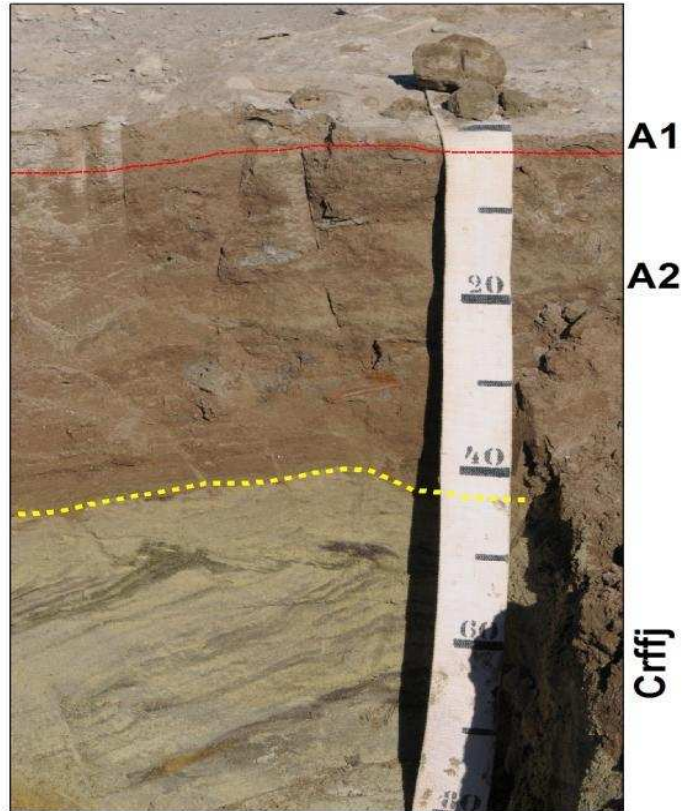


Figura 5. Perfil P4. Linha vermelha indica transição entre horizontes orntiogênicos e linhas amarelas indicam transição de horizontes

Nos solos sulfatados, P1 e P2, a cor, pH e teores de H+Al foram as características que mais apresentaram mudanças abruptas em profundidade, associadas diretamente a ocorrência de horizontes sulfatados. (Tabela 1)

Em superfície estes solos apresentam pH alcalino e alta saturação por bases, que pode ser explicado pelo clima árido da ilha, onde há acúmulo de sais em superfície e também por processos de adição de materiais via eólica, além de precipitação de sais por spray marinho.

O teor de P é o principal indicador dos horizontes ornitogênicos nos perfis P3 e P4. Simas et al. (2007) reportam valores de H+Al, , acima de 25 cmol<sub>c</sub>/kg e valores de pH próximos à 4 para solos ornitogênicos na Ilha Rei George, indicando ser o material ornitogênico um acelerador dos processos de intemperismo, pelo processo de fosfatização. No entanto, os baixos teores de H+Al e altos valores de pH observados para os solos ornitogênicos na Ilha Seymour indicam não haver um processo de intemperismo mais avançado, o que pode ser relacionado à maior aridez.

Porém, no P4 verifica-se valores de pH menores, maior H+Al e saturação por Al<sup>3+</sup> em relação ao P3. Apesar da diferença não ser muito expressiva, isto pode indicar que o P4 teve uma interação mais longa com o material ornitogênico.

Praticamente todos os horizontes apresentaram diferenças entre CTC<sub>efetiva</sub> e CTC<sub>potencial</sub>, indicando a presença de minerais dependentes de pH. Nos perfis P1 e P2, essa diferença foi ainda maior, sempre relacionado aos horizontes sulfatados.

Tabela 1. Atributos químicos dos solos da Ilha Seymour, Antártica Peninsular

Formação o Geológica	Horizonte	Prof.	pH	<sup>1</sup> P	<sup>2</sup> H+Al	SB <sup>3</sup>	t <sup>4</sup>	T <sup>5</sup>	V <sup>6</sup>	m <sup>7</sup>	Cor Munsell
<b>P 1 – Sulfuric Aquiturbel</b>											
Cross Valley	A	0 – 8	8,99	7,70	0,20	41,67	41,67	41,87	99,50	0,00	5Y 5/2 Olive gray
	C	8 – 38	3,67	8,30	35,30	20,35	20,35	41,91	36,60	51,40	10YR 6/8 Brownish yellow
	Cf	38 - 60	7,49	22,20	1,00	47,76	47,76	47,76	97,90	0,00	5Y 6/2 Light olive gray
<b>P2 – Sulfuric Aquiturbel</b>											
	Ajj	0 – 55	8,63	23,00	0,20	17,95	17,95	18,15	98,90	0,00	2.Y 6/4 Light yellowish brown
	Bw	55 – 75	3,70	25,10	11,30	33,51	33,51	39,05	71,10	17,20	2.Y 6/4 Light yellowish brown
	Crjf	75 - 120	3,00	36,20	27,50	48,96	48,96	59,97	54,10	33,70	2.Y 6/2 Light yellowish gray
<b>P3 – “Ornithogenic” Litic Anhyorthel</b>											
Sobral	A1	0 – 3	7,01	1927,7 0	9,80	22,16	22,16	31,96	69,30	0,00	10YR 5/4 Yellowish brown
	A2	3 – 8	7,18	1984,6 0	5,30	19,54	19,54	24,84	78,70	0,00	10YR 5/3 Brown
	A3	8 – 20	7,34	1984,6 0	4,70	18,70	18,70	23,40	79,90	0,00	10YR 5/4 Yellowish brown
	A4	20 – 28	7,44	1968,0 0	4,20	18,89	18,89	23,09	81,80	0,00	2/5Y 5/3 Light olive brown
	A5	28 – 35	7,30	1959,0 0	3,40	18,92	18,92	22,32	84,80	0,00	2.5Y 5/3 Light olive brown
	AC	35 – 40	6,64	347,50	3,10	13,02	13,02	16,12	80,80	0,00	2.5Y 5/3 Light olive brown
	C1	40 – 60	6,04	34,20	2,60	9,87	9,87	12,47	79,10	0,00	2.5Y 5/3 Light olive brown
	C2	60 – 80	4,25	11,10	5,00	6,94	7,23	11,94	58,10	4,00	2.5Y 6/4 Light yellowish brown
	Cff	80 - 100	3,87	11,80	6,00	6,15	6,54	12,15	50,60	6,00	2.5Y 6/4 Light yellowish brown

<b>P4 - "Ornithogenic" Litic Anhyorthel</b>										
A1	0 – 3	5,73	1943, 60	6,60	85,38	85,38	91,78	92,80	0,20	2.5Y 6/3 Light yellowish brown
A2	3 – 12	5,23	2010,2 0	9,80	93,83	93,83	102,8 5	90,50	0,80	2.5Y 5/3 Light olive brown
A3	12 – 25	5,35	2018,9 0	8,90	155,4 4	155,44	163,5 6	99,20	0,10	2.5Y 6/3 Light yellowish brown
A4	25 – 40	5,13	1959, 80	9,80	52,15	52,54	61,95	84,20	0,70	2.5Y 6/3 Light yellowish brown
Crff	40 – 80	4,02	124, 90	5,00	11,64	12,71	16,64	70,00	8,40	8/5G Pale green
Crffj	80 - 100	7,46	161,00	0,20	80,70	80,70	80,90	99,80	0,00	10YR 6/8 Brownish yellow

1 Extraído com Melich-1; 2 Extraído com acetato de cálcio 0,5 mol.L-1 à pH 7,0; 3 Soma de bases; 4 CTC efetiva; 5 CTC potencial; 6 Saturação por bases; 7 Saturação por Alumínio.

### 3.2. Teores de $TiO_2$ e $ZrO_2$

Horizontes representativos de cada perfil foram selecionados para as análises de  $TiO_2$ ,  $ZrO_2$  e a relação entre  $TiO_2$  e  $ZrO_2$  em função da profundidade. Os teores de COT são apresentados apenas para os solos ornitogênicos.

O P1 apresenta teores estáveis em profundidade de  $TiO_2$ , com maior incremento do horizonte C para o horizonte Cf. O teor de  $ZrO_2$  segue a mesma tendência do  $TiO_2$ . Tanto os teores individuais quanto a relação  $TiO_2/ZrO_2$  não apresentam variações suficientes para caracterizar discontinuidades (Figura 6).

A oxidação de sulfetos e seus produtos, com liberação de acidez no sistema ocorreu in situ no P1. As características morfológicas e o alto valor de pH do horizonte afetado por permafrost, logo abaixo do horizonte sulfatado, demonstram que o permafrost constituiu impedimento para a movimentação dos produtos ácidos da sulfurização (SSS, 2003). Apesar do permafrost ser cimentado por gelo, as evidências de crioturbação, não são evidentes no perfil.

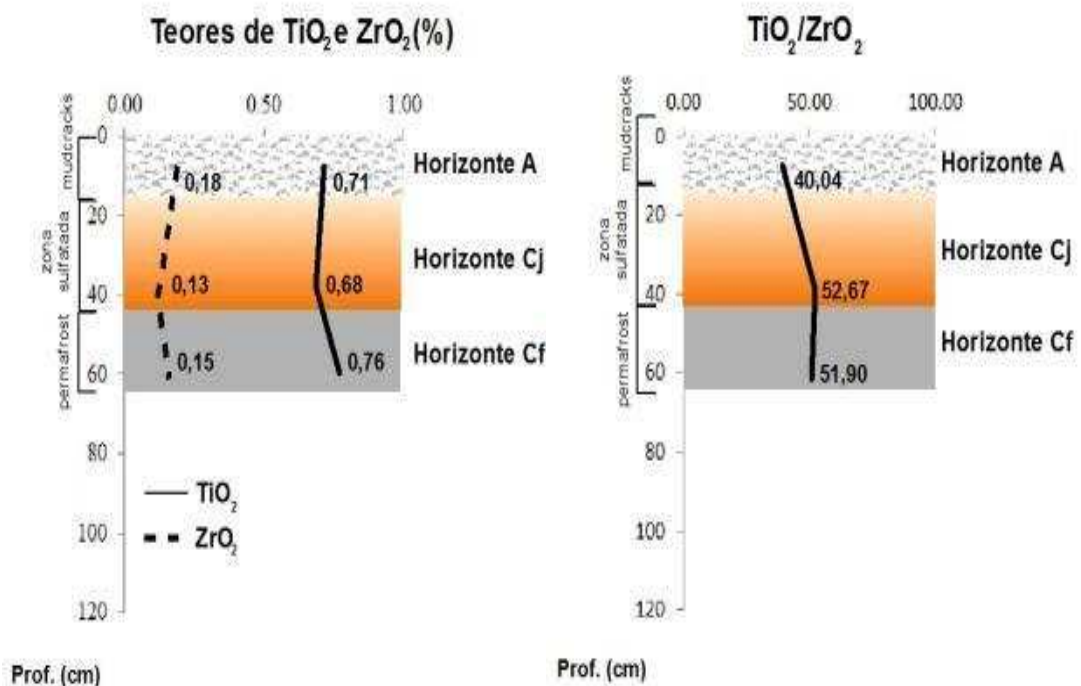


Figura 6. Distribuição de  $TiO_2$  e  $ZrO_2$  no perfil P1 da Ilha Seymour.

Dos quatro perfis analisados, o P2 foi o único com características de crioturbação, estando localizado em um campo de solos poligonais e apresenta horizontes irregulares.

Os teores de  $\text{TiO}_2$  e  $\text{ZrO}_2$  no perfil apresentaram incremento expressivo na transição do horizonte Ajj para Bw em relação à transição deste último para o horizonte Crjf. Por sua vez, a relação de  $\text{TiO}_2/\text{ZrO}_2$  foi mais constante. De forma semelhante ao P1, as variações verificadas não foram suficientes para caracterizar uma descontinuidade (Figura 7).

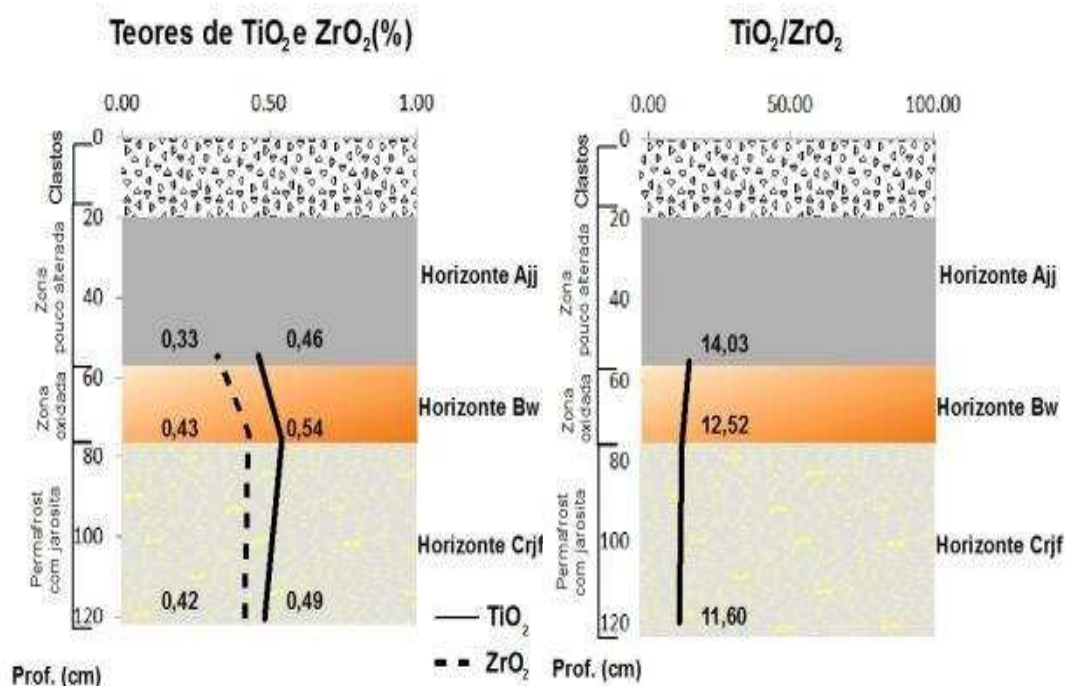


Figura 7. Distribuição de  $\text{TiO}_2$  e  $\text{ZrO}_2$  no perfil P2 da Ilha Seymour.

No P3, os teores de  $\text{TiO}_2$  apresentam distribuição relativamente estável, com acréscimo em profundidade. Os teores de  $\text{ZrO}_2$ , por outro lado, sofrem substancial incremento. Nota-se, que na transição dos horizontes ornitogênicos (A1 e A3) para os horizontes minerais (C1 e C2) a diferença, tanto do  $\text{TiO}_2$  e do  $\text{ZrO}_2$ , são mais evidentes. Os teores destes elementos apresentam na transição do horizonte C1 para C2, um incremento substancial, principalmente nos teores de  $\text{ZrO}_2$  (Figura 8). O horizonte C1 tem coloração cinza e seus limites superiores e inferiores são levemente oxidados. O horizonte C2 é mais escuro e homogêneo, portanto, indicando, a possibilidade duas descontinuidades.

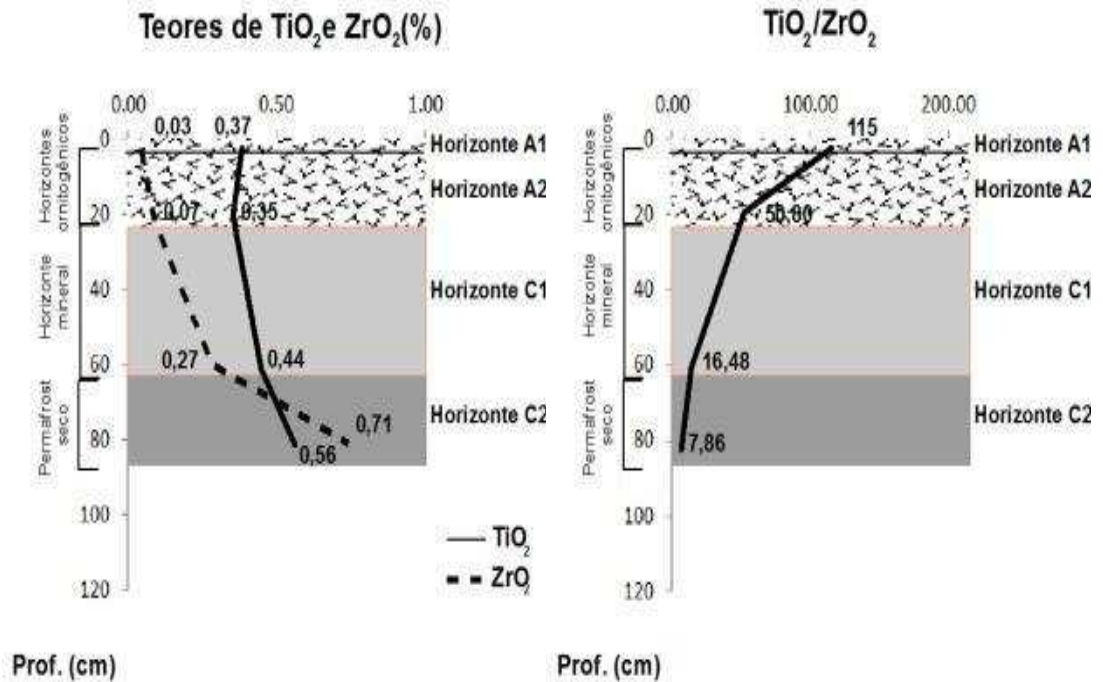


Figura 8. Distribuição de  $TiO_2$  e  $ZrO_2$  no perfil P3 da Ilha Seymour.

No P4, ainda que os horizontes ornitogênicos (A1 e A2) apresentem valores de  $TiO_2$  e  $ZrO_2$  muito diferentes, os teores destes elementos para os horizontes minerais tiveram variações muito mais abruptas. O teor de  $ZrO_2$  no horizonte Crffj é mais de 500% superior ao horizonte A2 (Figura 9).

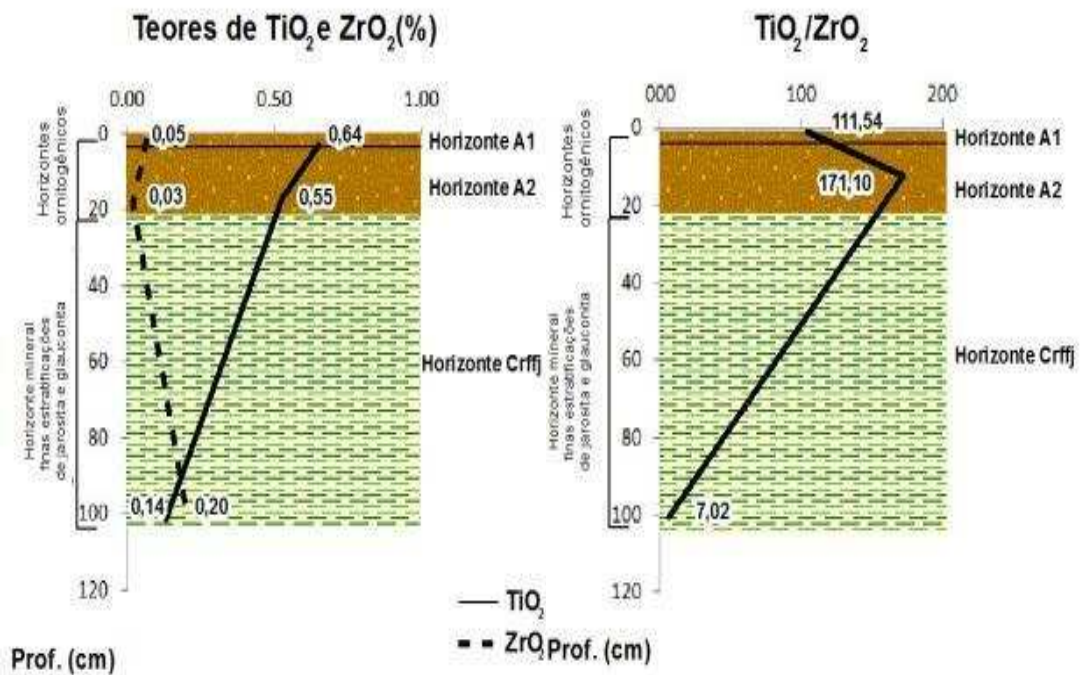


Figura 9. Distribuição de  $TiO_2$  e  $ZrO_2$  no perfil P4 da Ilha Seymour.

Os dois perfis ornitogênicos, P3 e P4, apresentam uma sequência de horizontes ornitogênicos sobre um substrato mineral com nenhuma interação com o material orgânico. Estes perfis pertencem a mesma formação geológica Sobral, contudo, foram desenvolvidos sob diferentes materiais de origem em virtude da pouca semelhança nos teores de  $TiO_2$  e  $ZrO_2$  nos horizontes minerais. Ambos estão localizados em terraços marinhos soerguidos, porém grau de desenvolvimento diferente. O P3 está em um nível inferior, com apenas 8 m de altitude, enquanto o P4 está a 22 m. Este último representa uma pinguineira abandonada mais antiga, por se localizar em um terraço que foi exposto primeiro às condições de ocupação por pinguins em relação ao P3. Esta afirmação é corroborada pelos menores teores de COT no P4 (Figura 10), em função do estágio avançado de decomposição, assim como indicado por Campbell e Claridge (1987). Adicionalmente, o P4 é claramente mais homogêneo e oxidado.

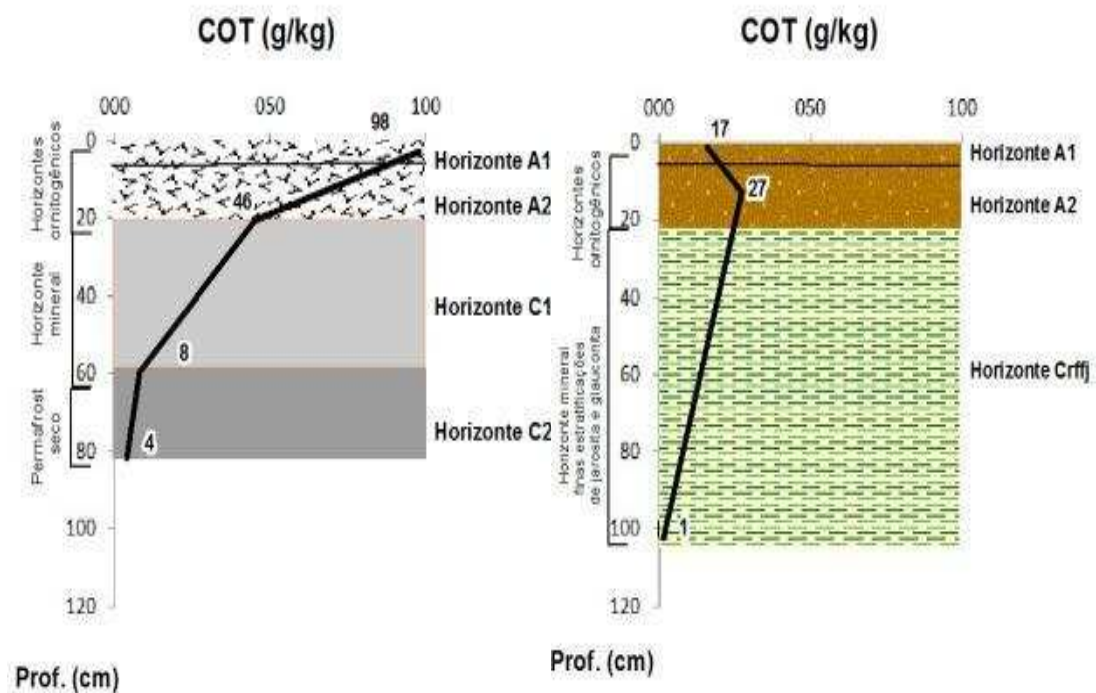


Figura 10. Teores de COT no perfil P3(esq.) e no perfil P4 (dir.) da Ilha Seymour.

É comum ao P3 e P4 uma transição plana e abrupta entre os horizontes ornitogênicos e os horizontes minerais, resultado da ausência de crioturbação e

também da negligenciável movimentação dos produtos decompostos para horizontes inferiores, consequência do clima árido da ilha.

Como as descontinuidades marcam a transição dos horizontes ornitogênicos para os horizontes minerais, é mais aceitável a hipótese de que não houve diferenças nos processos sedimentológicos e sim a presença de materiais alóctones para a formação dos antigos ninhais. No entanto, o P3 apresentou duas descontinuidades, sendo a primeira dos horizontes ornitogênicos (A1 e A3) para o horizonte mineral subjacente (C1) e uma nova transição com outro horizonte mineral (C2).

Uma questão que pode ser levantada é se a formação de pinguineiras, independente de sua idade, por si só caracterizaria uma descontinuidade litológica, devido a constante adição de materiais provenientes de outros locais.

Esta hipótese é coerente do ponto de vista morfológico do solo. A formação de ninhais de pinguins é visível não apenas pela presença de clastos de diversas origens quanto do guano, agregando uma coloração branca à avermelhada recobrimdo os clastos.

Por outro lado, do ponto de vista geoquímico, considerando os elementos  $TiO_2$  e  $ZrO_2$ , a descontinuidade vai ocorrer quando houver a fragmentação dos clastos que formam a pinguineira para a fração  $< 2mm$ , que foi analisada. Desta forma, o clima do local e o tempo de abandono da pinguineira serão os fatores determinantes para a fragmentação.

Para sustentar essa hipótese, é apresentado na Figura 11 a distribuição de  $TiO_2$  e  $ZrO_2$  e  $TiO_2/ZrO_2$  para o perfil P5, que não foi apresentado nas análises anteriores e será apresentado apenas nesta análise.

Este perfil também sofreu ocupação por pinguins e é o perfil ornitogênico mais recente em relação ao perfil P3 e P4. Apresenta características morfológicas semelhantes aos demais perfis ornitogênicos, onde os horizontes ornitogênicos sobrepõem os horizontes minerais de maneira abrupta e plana (Figura 12).

A distribuição de  $TiO_2$ ,  $ZrO_2$  e  $TiO_2/ZrO_2$  é estável, não apresenta em nenhuma transição de horizonte variações suficientes para caracterizar uma descontinuidade.

Desta maneira, a utilização destes elementos para solos ornitogênicos se mostrou eficiente para discriminar idades relativas entre pinguineiras.

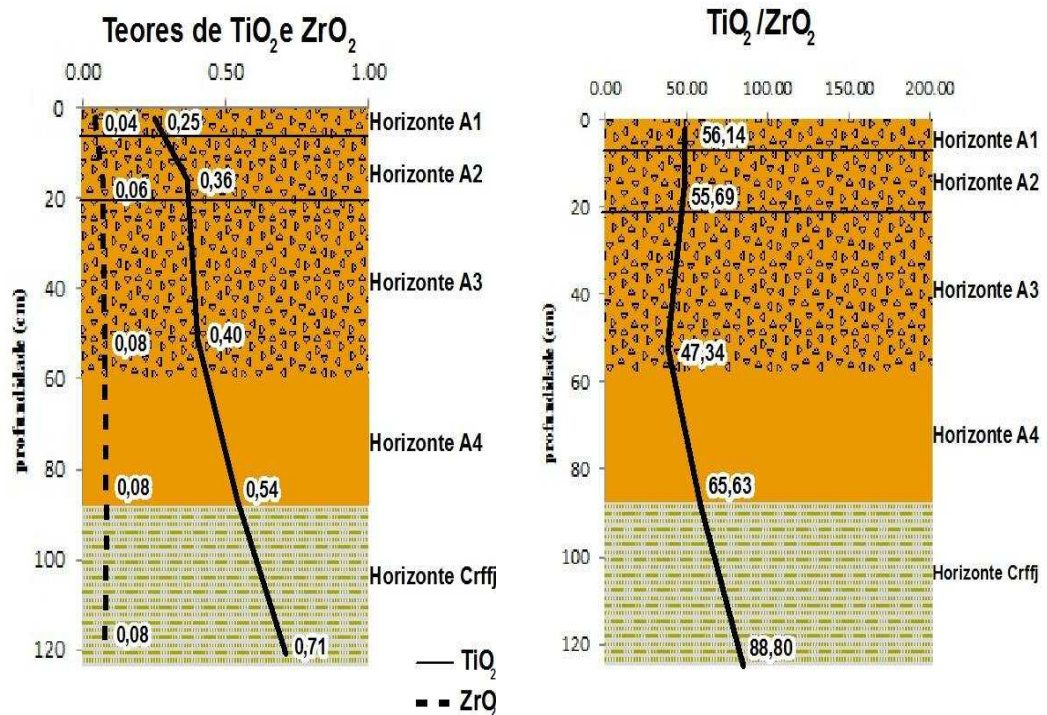


Figura 11. Distribuição de  $TiO_2$  e  $ZrO_2$  no perfil P5 da Ilha Seymour

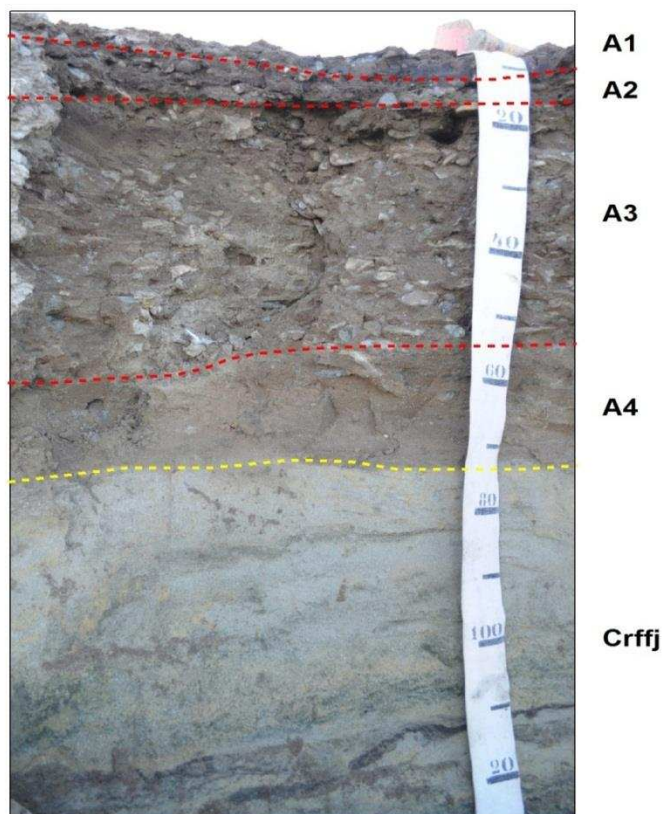


Figura 12. Perfil 5 da Ilha Seymour. Linhas tracejadas vermelhas indicam transições entre horizontes. Linha tracejada amarela indica transição dos horizontes ornitogênicos para o horizonte mineral.

### 3.3. Distribuição granulométrica

Neste sub-item são apresentados os valores de areia e silte recalculados para uma base livre de argila e os valores de argila.

O P1 apresenta incremento nos teores de areia grossa e diminuição de areia fina e silte em profundidade, o que é considerado normal em solos homogêneos (Figura 13). Fica claro que o intemperismo físico é mais pronunciado na camada ativa (A e C). O intemperismo químico também deve ser considerado de maneira pronunciada nestes horizontes, tendo em vista as porcentagens de argila ser muito superiores ao horizonte afetado por permafrost (Cf). Este fato pode ser explicado pela presença do horizonte sulfatado (C) onde o pH ácido (3,67) favorece a maior formação de minerais secundários e no caso do horizonte superficial (A), os altos teores de argila são corroborados pela presença de “mudcracks”.

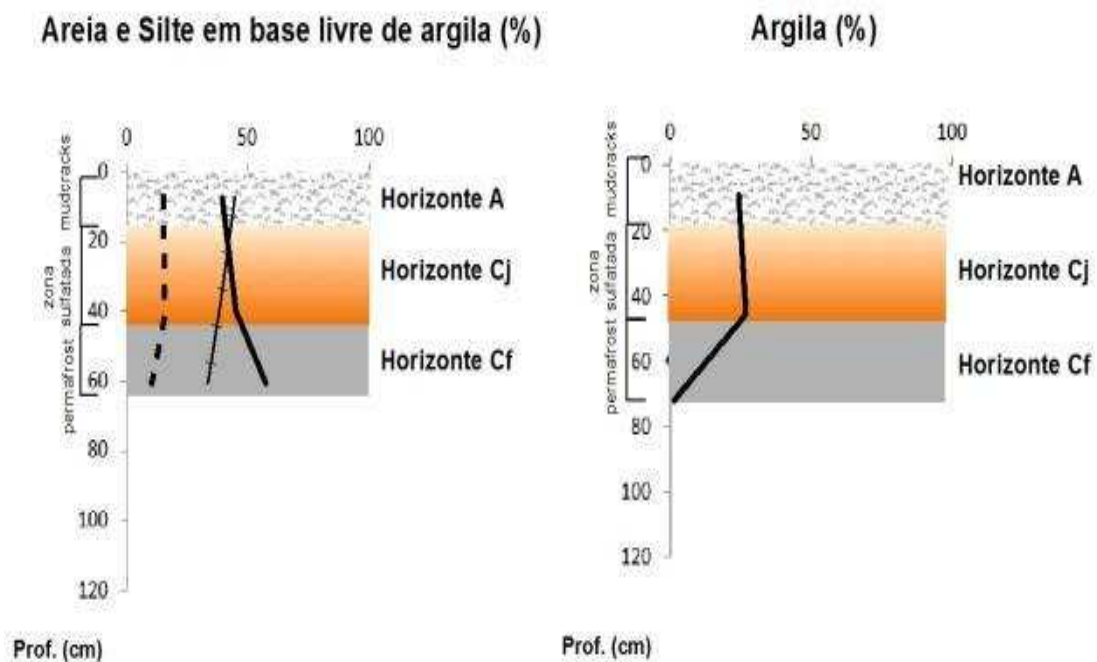


Figura 13. Distribuição granulométrica no perfil P1 da Ilha Seymour.

Como foi exposto, o permafrost, horizonte Cf, constituiu uma barreira física de entrada de solutos ácidos da sulfurização que ocorre no horizonte C. A alcalinidade verificada no horizonte superficial (A) concorda com Tatur et al. (1993). Em estudo realizado na Ilha Seymour, estes autores relatam que a oxidação de sulfetos, provoca o intemperismo dos minerais primários e dissolução dos sais previamente formados, que liberam íons em solução podendo se acumular em superfície, devido à aridez do

clima local. Portanto, na Ilha Seymour, a sulfuração e a salinização são processos que ocorrem em paralelo. O fator que determina a alcalinidade ou acidez é a quantidade de sulfatos ou sais e a quantidade de água no sistema.

O P2 apresenta distribuição não homogênea de areia grossa, com acentuado declínio do horizonte Ajj para o Bw e um aumento expressivo no horizonte Crfj. Os teores de areia fina apresentam queda abrupta a partir do horizonte Bw. Em contrapartida, o silte aumenta bruscamente do horizonte superficial em direção aos inferiores. Os teores de argila também seguem a tendência da areia grossa, com forte declínio no horizonte Bw e aumento abrupto em profundidade (Figura 14).

Do ponto de vista pedológico, essas variações podem ser explicadas pela crioturbação, que pode ter sido responsável pela mistura dos materiais. A concentração de silte no horizonte subsuperficial pode ser explicada pela “pervection” que é a translocação de silte pelo processo de “frost heave” (SCHAETZL e ANDERSON, 2005).

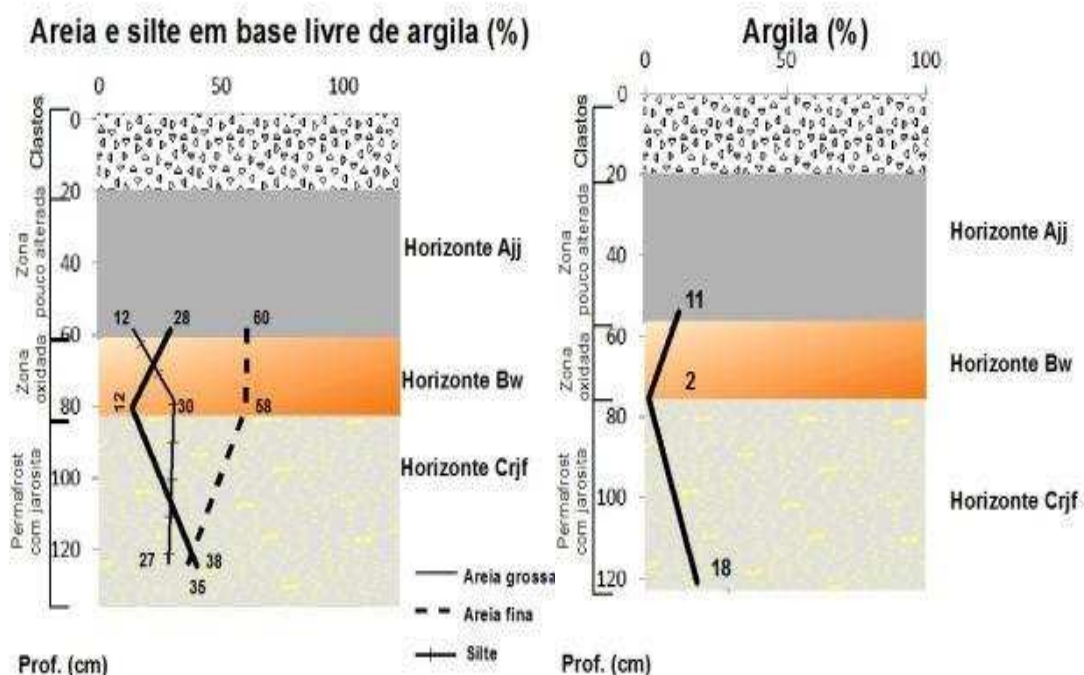


Figura 14. Distribuição granulométrica no perfil P2 da Ilha Seymour.

Por outro lado, a presença de um horizonte afetado por permafrost com acúmulo de jarosita e altos teores de argila indica que este já foi exposto à condições oxidantes, sendo estas características preservadas pelo congelamento (GUBIN, 1994 in SCHAETZL e ANDERSON, 2005).

Além disso, é importante ressaltar que este perfil está em um local com grande presença de clastos, o que promove uma perda de energia eólica neste local, favorecendo o acúmulo de partículas. Portanto, é possível que o horizonte superficial seja uma camada depositada por via eólica. Este mesmo processo foi verificado por Malandrino et al. (2009) em Victoria Land, na região do Mar de Ross.

A distribuição granulométrica dos horizontes C1 e C2 no P3 (Figura 15), também sugere a presença de uma segunda descontinuidade, visto o teor de argila no horizonte C1 ser muito inferior ao horizonte C2. Considerando o clima periglacial semi-árido da ilha e a profundidade destes horizontes, é pouco provável que a pedogênese seja muito influente para a formação de argila in situ ou por translocação, devendo tratar-se, portanto, de argila herdada do material de origem.

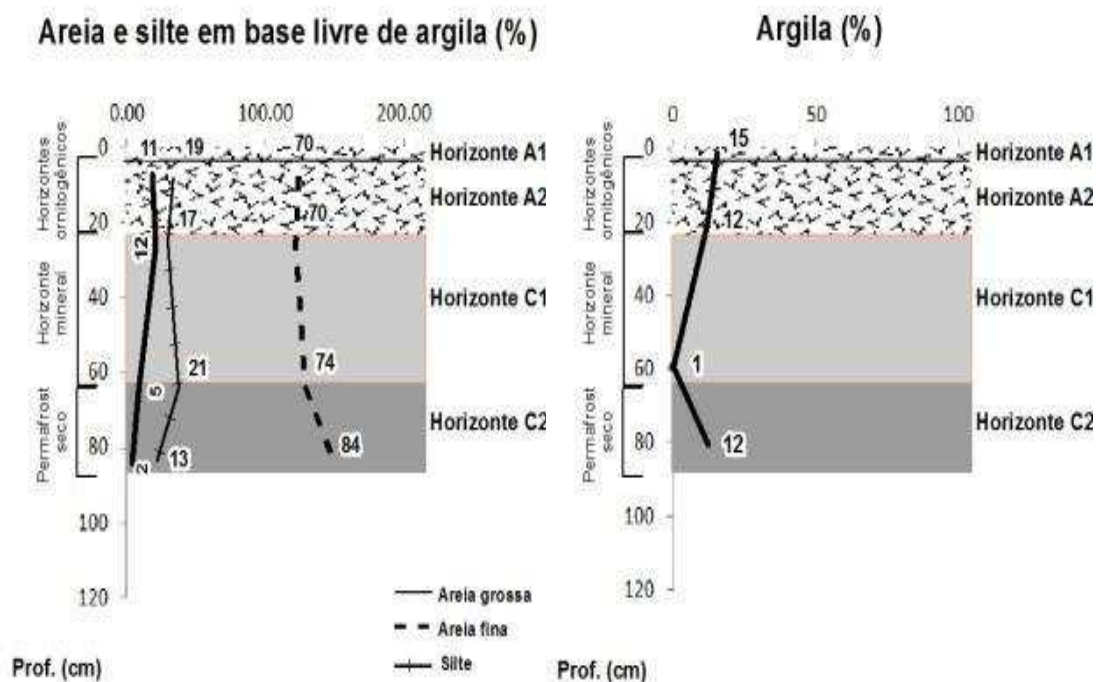


Figura 15. Distribuição granulométrica no perfil P3 da Ilha Seymour.

O P4 apresenta acentuado aumento de areia grossa em profundidade e declínio de areia fina na mesma direção. Essas transições foram dos horizontes ornitogênicos para os minerais, sustentando portanto, a descontinuidade indicada pela análise geoquímica.

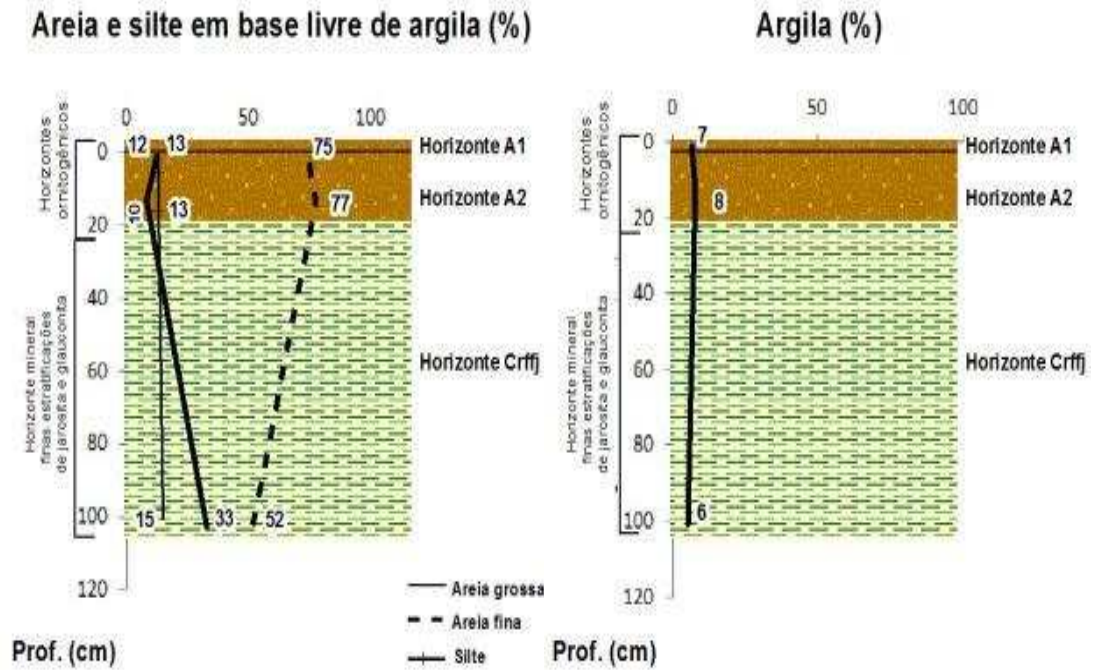


Figura 16. Distribuição granulométrica no perfil P4 da Ilha Seymour.

### 3.4. Grau de intemperismo e mineralogia

As análises prévias não indicaram discontinuidades litológicas no P1. Portanto, o grau de intemperismo e a mineralogia da fração argila foram avaliados nos perfis P3 e P4, onde a indicação de discontinuidades litológicas foi mais evidente, e no P2, para o qual restaram dúvidas quanto a presença ou não de discontinuidades, de acordo com a análise granulométrica.

O índice de intemperismo em profundidade do P2 não segue o padrão verificado para solos homogêneos, devido ao maior intemperismo constatado em profundidade (Figura 18).

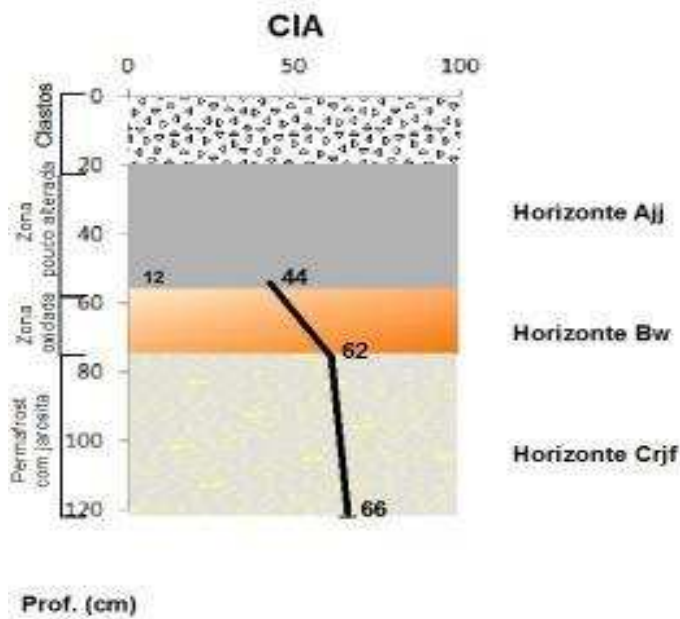


Figura 18. Índice de intemperismo do perfil P2 da Ilha Seymour.

A assembleia mineralógica da fração argila no perfil P2 é relativamente homogênea dentro do perfil (Figura 19). Os minerais expansivos (esmectita ou vermiculita) apresentam picos bem definidos, no entanto, como o difratograma foi efetuado em argila natural, sem tratamento, não foi possível a distinção entre os dois minerais.

O anatásio apresentou pico bem definido em  $3,51 \text{ \AA}$  no horizonte Bw e pouco expressivo nos demais horizontes. A jarosita é presente em todos os horizontes com picos bem definidos ( $5,94 \text{ \AA} - 5,05 \text{ \AA} - 3,11 \text{ \AA} - 3,06 \text{ \AA}$ ), exceto no horizonte Bw, onde apresenta pico de  $5,10 \text{ \AA}$  pouco expressivo e apenas um background ressaltado na região dos picos  $3,08 \text{ \AA}$  e  $3,11 \text{ \AA}$ . O quartzo foi o único mineral primário identificado

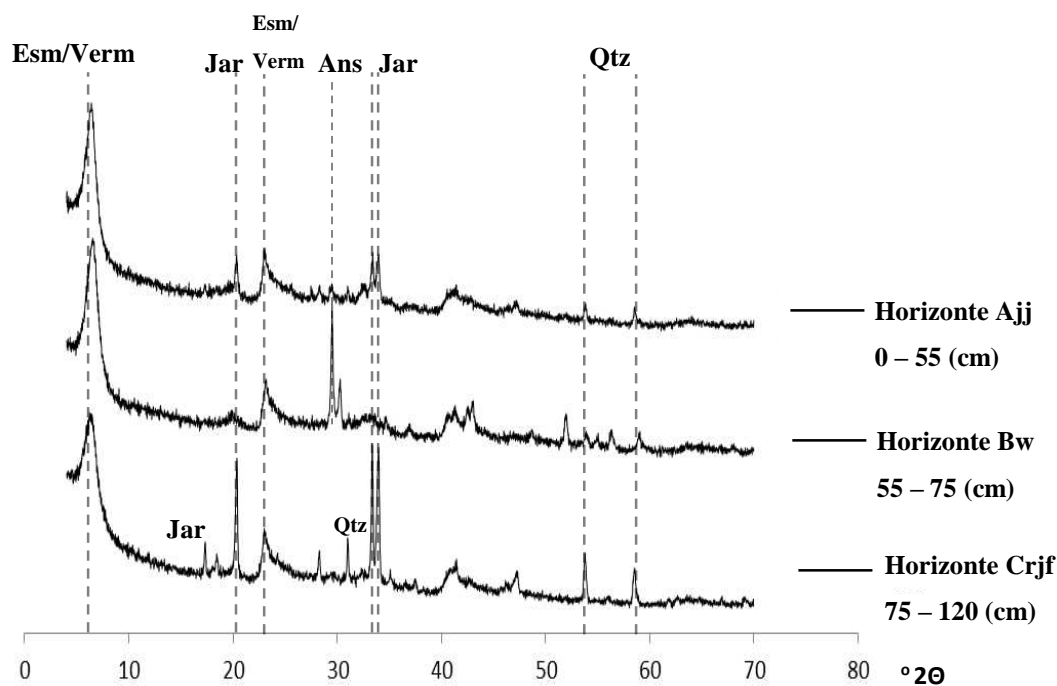


Figura 19. Difratoograma de raios-x da fração argila do perfil P2. Esm/Verm: esmectita ou vermiculita; Jar: jarosita; Ans: anatásio; Qtz: quartzo.

No horizonte superficial, verificam-se maiores teores de CaO, no entanto, não foi verificado aumento no SiO<sub>2</sub>, tampouco nos outros elementos (Tabela 2). Como os carbonatos não foram removidos é provável que este seja a maior fonte de Ca neste perfil. Caso o intemperismo *in situ* fosse a principal causa de lixiviação de SiO<sub>2</sub> no horizonte superficial, os demais elementos deveriam seguir a mesma tendência. A probabilidade de os teores de CaO se concentrarem em superfície em decorrência da aridez do clima também é descartada, uma vez que se este fosse o processo responsável, os teores de Na<sub>2</sub>O também deveriam ser muito superiores. Neste sentido, o horizonte A é provavelmente constituído de um material de origem diferente dos horizontes inferiores. Esta afirmação é reforçada pelas análises realizadas por Dingle e Lavelle (1998), que quantificaram em sedimentos desta mesma formação geológica os teores de SiO<sub>2</sub>, que variaram de 53 a 63%, e os de CaO que variaram de 2 a 4%.

Tabela 2. Teores dos elementos para o perfil 2 da Ilha Seymour.

Horizonte	Prof. (cm)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CIA
		----- % -----					
P2							
Ajj	0 - 55	49,42	10,61	10,35	1,57	1,53	44
Bw	55 - 75	60,40	11,81	3,77	1,73	1,70	62
Crjf	75 - 120	55,79	10,33	1,95	1,98	1,35	66

Os horizontes superficiais do P3 tem baixo índice de intemperismo, principalmente pelo aporte de CaO via ornitogênese (Figura 20).

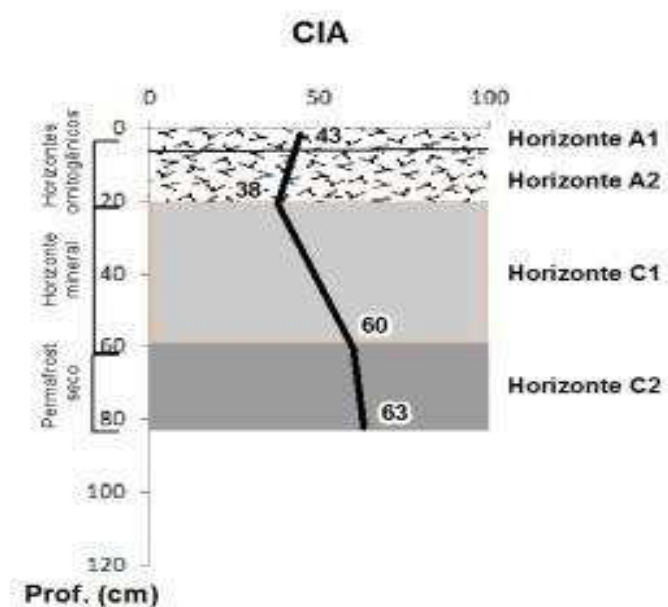


Figura 20. Índice de intemperismo do perfil P3 da Ilha Seymour.

Os horizontes ornitogênicos não apresentaram picos característicos de fosfatos secundários, indicando fraca interação do guano na alteração de minerais, o que é associado à aridez do clima (UGOLINI, 1972). Em solos ornitogênicos da Antártica Marítima, Simas et al., (2007) identificaram picos de fosfatos cristalinos, como leucofosfita, miniulita e metavariscita, minerais não identificados neste perfil. No horizonte A3 foram identificados picos de caulinita e esmectita (Figura 21), no entanto, é pouco provável que estes minerais tenham sido formados *in situ*, dado o baixo de intemperismo deste solo. No horizonte superficial, a presença da matéria orgânica impossibilitou a identificação dos picos.

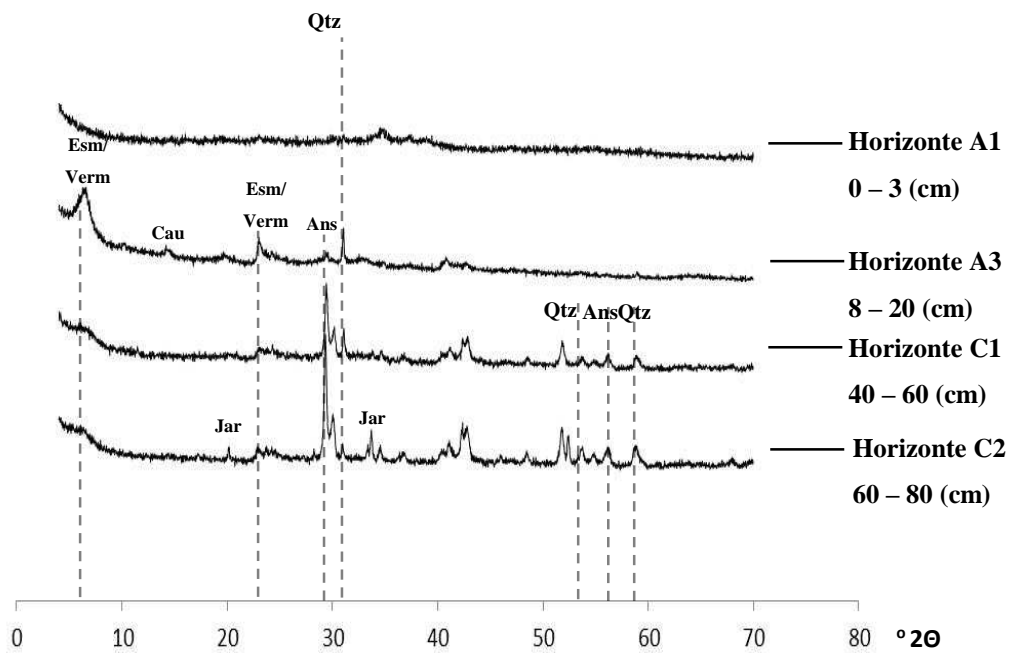


Figura 21. Difratoograma de raio-x da fração argila do perfil P3. Esm - Esmeclita; Jar - Jarosita; Cau - Caulinita; Qtz – Quartzo; Ans - Anatásio

Os baixos teores de  $\text{SiO}_2$  em superfície não são indicativos de intemperismo de silicatos, uma vez que os teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  não tem aumento relativo (Tabela 3). Desta maneira, o incremento de  $\text{CaO}$  e o decréscimo de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  é fruto da ação ornitogênica, devido ao enriquecimento relativo. Os teores destes mesmos elementos verificados por Dingle e Lavelle (2008) para esta formação geológica, variaram de 66 a 74% para o  $\text{SiO}_2$ , de 9 a 13%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e de 1 a 3% para o  $\text{CaO}$ , condizentes com os teores verificados nos horizontes C1 e C2.

A descontinuidade indicada previamente entre o horizonte C1 e C2 do P3 também é corroborada pelos teores de  $\text{SiO}_2$  pois, como estes horizontes não sofreram pedogênese, os teores deste elemento deveriam se manter estáveis, o que não se verifica.

Tabela 3. Teores dos elementos para o perfil 3 da Ilha Seymour.

Horizonte	Prof. (cm)	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	CIA
		-----		%	-----		
P3							
A1	0 - 3	47,23	5,88	4,47	2,07	1,19	43
A3	8 - 20	43,76	5,43	6,07	1,76	0,94	38

C1	40 – 60	58,75	7,39	1,23	2,62	1,13	60
C2	60 - 80	67,08	8,06	0,93	2,58	1,21	63

Os horizontes superficiais do P4 são mais intemperizados do que o horizonte mais profundo (Figura 22). No entanto, os teores de CaO são similares àqueles encontrados no perfil 3, que é indicativo de ação ornitogênica (Tabela 4).

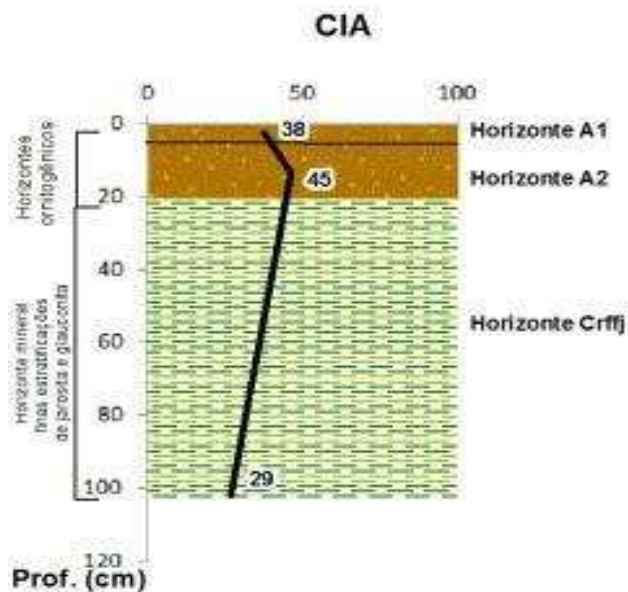


Figura 22. Índice de intemperismo do perfil P4 da Ilha Seymour

Foram encontrados apenas picos pouco definidos de apatita (2,80 Å; 2,72 Å) (Figura 23). Não foram verificados minerais característicos de zonas fosfatadas, como miniulita, taranakita, vivianita (TATUR e KECK, 1990). Esta informação permite concluir que a fosfatização na Ilha Seymour é um processo menos ativo do que nas pinguineiras das Shetlands do Sul. A caulinita identificada no horizonte Crffj tem sua origem provavelmente detrital, assim como verificado por Dingle et al. (1998) para sedimentos da Ilha Seymour.

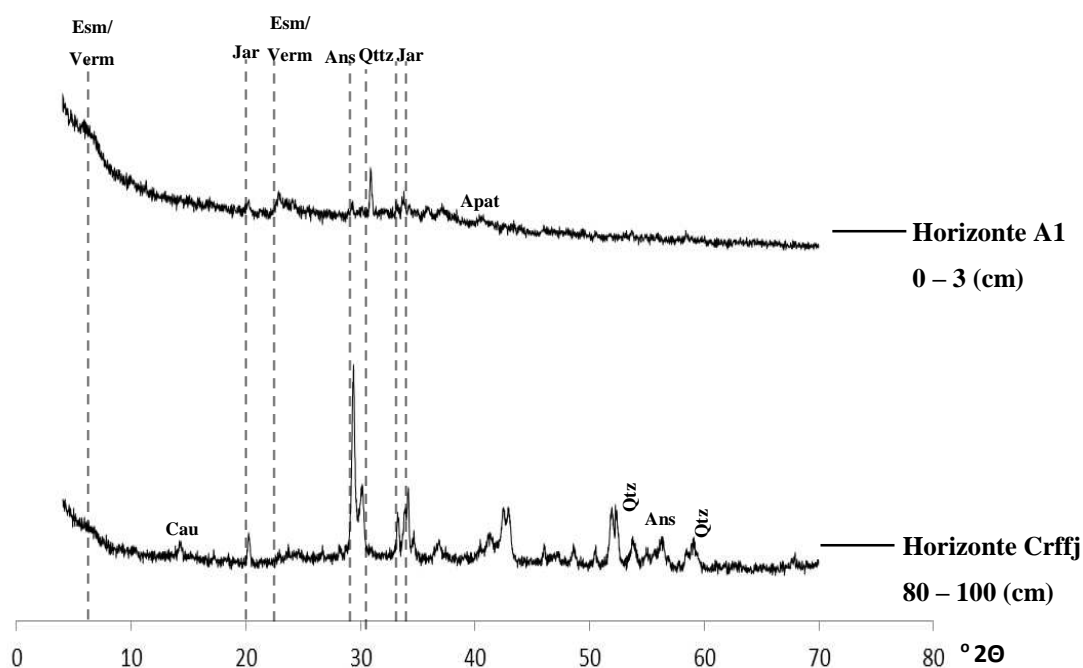


Figura 23. Difratoograma de raio-x da fração argila do perfil P4. Esm - Esmeclita; Jar - Jarosita; Cau - Caulinita; Qtz - Quartzo; Ans - Anastásio; Apat - Apatita

Em profundidade, observa-se no perfil redução dos teores de SiO<sub>2</sub> (Tabela 2), o que pode ser associado à presença de glauconita encontrados em Crffj, pois, segundo Marensi et al. (2012) nesta formação geológica, Sobral, o conteúdo de quartzo sofre abrupta queda na presença de altos teores de glauconita. A calcita é responsável pelo teor elevado de CaO. Estes dois minerais, glauconita e calcita, foram encontrados na fração areia (dados não apresentados).

Tabela 4. Teores dos elementos para o perfil 4 da Ilha Seymour.

Horizonte	Prof. (cm)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CIA
		----- % -----					
P4							
A1	0 - 3	54,39	6,72	7,84	2,00	1,06	38
A2	3 - 12	50,28	6,18	4,69	1,79	1,01	45
Crffj	80 - 100	31,57	5,15	11,03	1,10	0,77	29

#### **4. Conclusões**

Os teores de  $\text{TiO}_2$  e  $\text{ZrO}_2$  no solo crioturbado (perfil P2), apresentaram variações entre as transições de horizontes, mas insuficientes para caracterizar uma descontinuidade. A análise da distribuição granulométrica indicou haver descontinuidades nestas transições. O CIA demonstrou o horizonte superior ser o menos intemperizado e o elevado teor de CaO sugere que este horizonte é composto de sedimentos eólicos com presença de carbonatos.

No solo sulfatado sem crioturbação (perfil P1), ficou evidente que as transições entre horizontes fruto de pedogênese *in situ* e a sulfurização e salinização são os principais processos diferenciadores de horizontes.

Nos solos ornitogênicos, os teores de  $\text{TiO}_2$  e  $\text{ZrO}_2$  e a granulometria refletiram com clareza a transição entre horizontes ornitogênicos e minerais. A diferença dos teores de  $\text{TiO}_2$  e  $\text{ZrO}_2$  entre os horizontes ornitogênicos e os minerais, além dos teores de COT permitiram distinguir entre uma pingüeira mais antiga de uma mais atual.

A pequena quantidade de fosfatos secundários, a transição plana e abrupta dos horizontes ornitogênicos para os horizontes minerais e a diminuição acentuada nos teores de P disponível e COT nestas transições demonstram fraca lixiviação e crioturbação, sugerindo que o clima da ilha, desde a ocupação e abandono de antigas pingüeiras no P3 e P4, foi pelo menos tão árido quanto no presente.

A datação dos ossos contidos nos perfis ornitogênicos será o próximo passo desta pesquisa, o que pode contribuir no conhecimento da história glacial e do nível do mar na região do Mar de Weddel durante o Holoceno.

#### **5. Referências Bibliográficas**

- BREWER, R. **Fabric and mineral analysis of soils**. USA: John Wiley and Sons, 1964. 470 p.
- BUGGLE, B.; GLASER, B.; ULRICH, H.; GERASIMENKO, N.; MARKOVIC, S. An evaluation of geochemical weathering indices in loess-paleosol studies. **Quaternary International**, v. 240, p. 12-21. 2011.
- CAMPBELL, I.B.; CLARIDGE, G.G.C. **Antarctica: soils, weathering processes and environment**. Amsterdam: Elsevier, 1987. 368 p.
- CHAPMAN, S.L.; HORN, M.E. Parent material uniformity and origin of silty soils in northwest Arkansas based on Zr, Ti contents. **Proc.Soil Sci.Soc.Am**, v. 32, p. 265 – 271, 1968.
- DINGLE, R.V.; LAVELLE, M. Late Cretaceous – Cenozoic climatic variations of the northern Antarctic Peninsula: new geochemical evidence and review. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 141, p. 215 – 232, 1998.
- DOKTOR, M.; GAZDZICKI, A.; MARENSSI, S.A.; POREBSKI, S.J.; SANTILLANA, S.N.; VRBA, A.V. Argentine-Polish geological investigations on Seymour (Marambio) Island, Antarctica. **Polish Polar Research**, v. 9, n. 4, p. 521-541, 1988.
- ELLIOT, D.H., 1988. Tectonic Settings and Evolution of the James Ross Basin, Northern Antarctic Peninsula. In: **Geology and Paleontology of Seymour Island, Antarctic Peninsula**. FELDMAN, R.M.; WOODBURN, M.O (Org.). Geological Society of America Memoir 169, 1988, p. 541-555.
- ELLIOT, D.H.; RINALDI, C.A.; ZINSMEISTER, W.; TRAUTMAN, T.A.; BRYANT, W.A.; DEL VALLE, R.A.. Geological investigations on Seymour Island, Antarctic Peninsula. **Antarctic Journal of the United States**, v. 10, n. 4, p. 182-186, 1975.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p.
- EMSLIE, S.D . Age and taphonomy of abandoned penguin rookeries in the Antarctic Peninsula region. **Polar Record**, v. 31 , p. 409 – 418, 1995.
- FUKUDA, M.; SHIMOKAWA, K.; TAKAHASHI, N.; SONE. Permafrost in Seymour Island and James Ross Island, Antarctic Peninsula Region. **Geographical Review of Japan**. v.65, n. A-2, p. 123-131, 1992.
- KELLOGG, C.E. **The place of laboratory in soil classification and interpretation**. Washington: USDA Soil Conservation Service, 1962. 21 p.
- MACELLARI, C.E. Stratigraphy, sedimentology and paleoecology of Upper Cretaceous/Paleocene shelf - deltaic sediments of Seymour Island. In: **Geology and Paleontology of Seymour Island, Antarctic Peninsula**. FELDMAN, R.M.; WOODBURN, M.O (Org.). Geological Society of America Memoir 169, 1988, p. 25-53.
- MANDEL, R. D.; BETTIS, E. A. Use and analysis of soils by archaeologists and geoscientists. In: GOLDBERG, P.; HOLLIDAY, V. T.; FERRING, C. R (Org.) **Earth Sciences and Archaeology**. New York, Plenum Press, 2001, p. 173–204.

- MARENSSI, S.; SANTILLANA, S.; BAUER, M. Estratigrafía, petrografía sedimentaria y procedencia de las formaciones Sobral y Cross Valley (Paleoceno), isla Marambio (Seymour), Antártica. **Andean Geology**, v. 39, n. 1, p. 67-91, 2012.
- MARSAN, F.A.; BARBERIS, E.; ARDUINO, E. A Soil Chronosequence in Northwestern Italy: Morphological, Physical and Chemical Characteristics. **Geoderma**, v. 42, p. 51-64, 1988.
- MEHRA, J.P.; JACKSON, M.L. Iron oxides removal from soils and clays by a dithionite-citrate-bicarbonate system buffered with bicarbonate sodium. **Clay and Clays Minerals**, v. 7, p. 317-327, 1960.
- NESBITT, H.; YOUNG, G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. **Nature**, v.299, p.715-717. 1982.
- REINECK, H.E.; SINGH, I.B.. Depositional Sedimentary Environments. Berlin: Springer-Verlag, 549 p. 1980.
- RICHARDS, L.A. **Diagnosis and Improvement of Saline and alkali Soils**. Washington: United States Department of Agriculture (Agriculture Handbook No. 60), 1954. 159 p.
- SADLER, V. Geometry and stratification of uppermost Cretaceous and Paleogene units on Seymour Island, northern Antarctic Peninsula. In: **Geology and Paleontology of Seymour Island, Antarctic Peninsula**. FELDMAN, R.M.; WOODBURN, M.O (Org.). Geological Society of America Memoir 169, 1988, p. 303-320.
- SCHAETZL, R.J.; ANDERSON, S. **Soils: genesis and geomorphology**. UK: Cambridge Univ. Press, 2005. 817 p.
- SCHAETZL, R.J. Lithologic discontinuities in some soils on drumlins: theory, detection, and application. **Soil Science**, v.163, p. 570–590, 1998.
- SCHWERTMANN, U. Use of oxalate for Fe extraction from soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v.53, p. 244–246, 1973.
- SIMAS, F. N. B.; SCHAEFER, C.E.R.G, MELO, V.F.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R.; MICHEL, R.F.M.; PEREIRA, V.V.; GOMES, M.R.M.; COSTA, L.M. Ornithogenic cryosols from Maritime Antarctica: Phosphatization as a soil forming process. **Geoderma**, v. 138, p. 191 – 203, 2007.
- SSSA. Soil Survey Staff. **Keys to Soil Taxonomy**, 9th ed. Washington: USDA-NRCS, 2003.
- TATUR, A.; BARCZUK, A.; VALLE DEL, R.; SLETTEN, R.; KICIŃSKA, E. Surface mineralization on Seymour Island, Antarctica. **Polish Polar Research**, v. 14, p. 153-168, 1994.
- TATUR, A.; MYRCHA, A. Soils and vegetation in abandoned penguin rookeries (Maritime Antarctic). **Proc. NIPR Symp. Polar Biol.** v.2, p. 181 – 189, 1989.
- UGOLINI, F.C. Ornithogenic soils of Antarctica. In: **Antarctic terrestrial biology**. LLANO, G.A. (Org.). Am. Geographies. Washington: Union Antact. Re, 1972, p. 181–193
- YEOMANS, J.M.; BREMNER, J.C. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Commun. **Soil Science Plant Anal**, v. 19, p. 1467–1476, 1988.



## CONCLUSÕES GERAIS

Da análise dos dois capítulos conclui-se que os principais processos pedogenéticos que ocorrem na Ilha Seymour são a sulfurização e a salinização, sendo ambos diretamente relacionados ao material de origem e ao clima árido.

A ausência de minerais primários facilmente intemperizáveis na fração argila indica tanto a ação do intemperismo químico quanto a ausência de processo de crioturbação intensos nesta ilha, como o verificado na Antártica Marítima. Outra evidência da não efetiva crioturbação nos perfis foi verificada nos solos ornitogênicos, com transição de horizontes ornitogênicos/minerais plana e abrupta, sem a neoformação de minerais fosfáticos.

Devido a natureza do material de origem, que são sedimentos fracamente consolidados, a distinção de solos e sedimentos por vezes é limitada. A distinção de horizontes no local foi fruto principalmente de processos aditivos, eólicos e por ornitogênese. Não obstante, considerou-se que presença de caulinita e inclusive de esmectita-vermiculita seja de origem detrital.

O excesso de sais, a ausência de vegetação, a limitada ação da crioturbação e a ausência de minerais fosfáticos nos perfis ornitogênicos, permitem concluir que a Ilha Seymour pertence para fins comparativos, aos domínios pedológicos e botânicos da Antártica Continental.