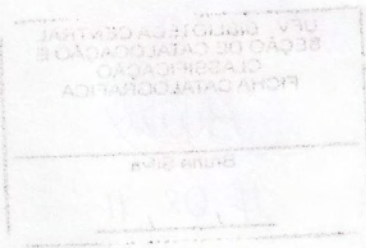


EVERTON LUÍS POELKING

SOLOS, AMBIENTE E DINÂMICA CLIMÁTICA DA CAMADA  
ATIVA NA PENINSULA POTTER, ANTÁRTICA MARÍTIMA

Tese 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  
*Doctor Scientiae*

VIÇOSA  
MINAS GERAIS-BRASIL  
2011



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

T

P744s  
2011

Poelking, Everton Luís, 1978-  
Solos, ambiente e dinâmica climática da camada ativa na  
Península Potter, Antártica Marítima / Everton Luís Poelking.  
- Viçosa, MG, 2011.  
xiii, 129f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui anexo.

Orientador: Elpídio Inácio Fernandes Filho.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Solos - Antártica. 2. Impactos ambientais - Antártica.  
3. Sistemas de informação geográfica. I. Universidade  
Federal de Viçosa. II. Título.

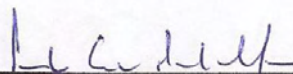
CDD 22. ed. 631.49989

EVERTON LUÍS POELKING

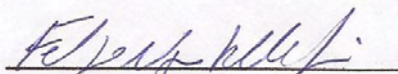
SOLOS, AMBIENTE E DINÂMICA CLIMÁTICA DA CAMADA  
ATIVA NA PENINSULA POTTER, ANTÁRTICA MARÍTIMA

Tese 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  
*Doctor Scientiae*

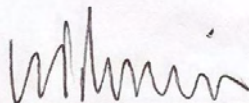
APROVADA: 29 de março de 2011



Prof. Carlos Ernesto G. R. Schaefer  
(Co-orientador)




Prof. Felipe Nogueira B. Simas  
(Co-orientador)



Prof. Gonçalo Brito T. G. Vieira



Prof. Márcio Rocha Francelino



Prof. Elpídio Inácio Fernandes Filho  
(Orientador)

(Orientador)

*“The imagination is more important than knowledge”*  
Albert Einstein

À Viviane!

## **Agradecimentos**

A Deus.

À Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade de aprendizado e realização do curso;

Ao programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas e aos professores pelos ensinamentos e contribuições a longo do curso;

A CAPES e CNPq pela disponibilidade de bolsa de estudo;

Ao meu orientador Elpídio Inácio Fernandes Filho pela preciosa orientação;

Ao meu co-orientador Carlos Ernesto Schaefer pela oportunidade em participar do Programa Terrantar e preciosas sugestões e colaboração dada para a realização deste trabalho;

Ao meu Orientador no Estágio na Universidade de Lisboa, Gonçalo Vieira pela grande contribuição prestada para esta tese;

Agradeço em especial ao estagiário André Medeiros, meu braço direito na elaboração e processamento do material cartográfico;

Aos colegas e amigos do departamento de Geografica Física da Universidade de Lisboa: Alexandre Trindade, Marco Jorge, Ana Salomé, Marc Oliva, Alice Pena, Aldina Piedade, Carla Mora, Jonas, Carlos Freitas, pela amizade e convivência durante o estágio,

À Marinha do Brasil e ao CNPq pelo apoio logístico e financeiro;

Aos companheiros de Acampamento na Península Potter: Carlos Ernesto, Elpídio, Ulisses, Adriano e Débora.

Aos colegas de Antártica e Labgeo: Roberto, Ivan, Thiago, Bruno R., Bruno M., Diogo, Raquel, Arlicélio e Rogério.

Aos funcionários do Departamento de Solos, em especial à Claudia e Luciana;

Ao colega Enrique Combatt pela amizade pronta ajuda na com análises de solos;

Aos meus pais Fernando e Doraci, minhas irmãs Cristiane e Adriane e ao meu sobrinho Amir pelo apoio incondicional e compreensão neste período distante;

À minha esposa Viviane, pelo amor, paciência e dedicação que faz tudo valer à pena!

## **Bibliografia**

Everton Luís Poelking, filho de Doraci Maria Poelking e Fernando José Poelking, nasceu em Itapiranga, no estado de Santa Catarina. Graduou-se Engenheiro Florestal pela Universidade Federal de Santa Maria, (UFSM), Rio Grande do Sul, em fevereiro de 2005. Em 2007, obteve o título de Mestre em Ciência do Solo pela mesma instituição. Neste mesmo ano ingressou no curso de Doutorado no programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se a defesa de tese em março de 2011.

## Índice

RESUMO .....	x
ABSTRACT .....	xii
INTRODUÇÃO GERAL .....	1

### Capítulo 1

#### **Geoformas e Solos da Península Potter, Ilha Rei George, Antártica Marítima**

Resumo .....	7
1. Introdução .....	7
2. Material e Métodos .....	10
2.1 <i>Área de estudo</i> .....	10
2.2 <i>Análises físico-químicas das amostras de solos</i> .....	12
2.3 <i>Mapeamento das unidades de solos</i> .....	13
2.4 <i>Análise por Componentes Principais e de Grupamento</i> .....	13
3. Resultados e discussão .....	14
3.1 Classificação e distribuição dos solos nas geoformas .....	14
3.1.1 <i>Morainas</i> .....	16
3.1.2 <i>Superfícies Crioplanadas</i> .....	16
3.1.3 <i>Praias Marinhas</i> .....	16
3.1.4 <i>Terraços Marinhos</i> .....	16
3.1.5 <i>Talus</i> .....	18
3.1.6 <i>Outros geoambientes</i> .....	19
3.2 Mapa de Geoambientes .....	19
3.3 <i>Análise de Componentes Principais e de Grupamento</i> .....	23
4. Conclusões .....	28
5. Referências .....	29

### Capítulo 2

#### **Soil-landform-plant communities relationships of a periglacial landscape at Potter Peninsula, Maritime Antarctica.**

Abstract .....	32
1. Introduction .....	33
2 Material and Methods .....	35
2.1 Study area .....	34
2.2 Vegetation mapping .....	36
2.3 Soil sampling, analytical procedures and plant analysis .....	35
3 Results and Discussion .....	36
3.1 Classification of plant communities .....	36
3.1.1 <i>Tall Moss Turf and Carpet Sub-Formation</i> .....	41
3.1.2 <i>Moss Turf and Grass Sub-Formation</i> .....	41
3.1.3 <i>Fruticulose and Foliose Lichen Sub-Formation</i> .....	43
3.1.4 <i>Fruticulose Lichens/Short Moss Turf and Cushion Sub-Formation</i> .....	44
e) Macroscopic alga Sub-Formation .....	44
3.2 Vegetation mapping .....	45
3.3 Soil-Plant and landscape relationships .....	46
4 Conclusions .....	52
5 References .....	52

### **Capítulo 3**

#### **Mudanças climáticas regionais e seus reflexos nas variações da frente da geleira Polar Club, Península Potter, Ilha Rei George entre 1986 e 2010**

Abstract .....	56
1. Introdução .....	56
2. Material e Métodos .....	59
2.1. Caracterização da Área de Estudo .....	59
2.2 Processamento das imagens de satélites .....	59
2.2.1 <i>Imagens de satélites</i> .....	59
2.3. Classificação e delineamento da variação na frente da geleira Polar Club .....	60
2.4 Dados meteorológicos e imagens de satélites .....	61
2.4.1 <i>Preenchimento dos dados faltantes</i> .....	61

2.4.2- Médias Móveis das temperaturas do ar .....	62
3. Resultados e Discussão .....	63
3.1 Variação na frente de geleira Polar Club .....	63
3.2 Série temporal climática para estação de Jubany .....	65
3.3 Dinâmica da geleira e mudanças climáticas .....	69
4. Conclusões .....	73
6. Referências .....	73

#### **Capítulo 4**

##### **O Modelo de Valor Informativo na predição de ocorrência de vegetação na Península Potter, Antártica Marítima**

Resumo .....	77
1. Introdução .....	77
2. Material e Métodos .....	80
2.1 Área de estudo .....	80
2.2 Mapeamento da vegetação .....	80
2.3 Fatores condicionantes .....	81
2.4 Método do Valor Informativo para modelagem espacial .....	83
2.5 Validação .....	84
3. Resultados e Discussão .....	85
3.1 Valor Informativo das Variáveis Dependentes .....	85
3.2 Classificação da Susceptibilidade de ocorrência da vegetação ...	87
3.3 Validação .....	90
4. Conclusões .....	94
5. Referências .....	94

#### **Capítulo 5:**

##### **Regime Termal de Quatro Sítios de Monitoramento da Camada Ativa na Ilha Rei George, Antártica Marítima**

Resumo .....	97
1. Introdução .....	97
2. Material e Métodos .....	100

2.1 A área de estudo .....	100
2.2 Monitoramento de camada ativa .....	100
2.3 Fator N .....	101
3. Resultados .....	103
3.1 Temperatura de superfície do solo vs temperatura do ar .....	103
3.1.1 <i>Correlação entre temperatura do solo e ar</i> .....	104
3.1.1 <i>Fator N</i> .....	105
3.2 Regime termal dos sítios de monitoramento .....	107
4. Conclusões .....	111
5. Referências .....	112
CONCLUSÃO GERAL .....	120
ANEXOS .....	123

## Resumo

POELKING, Everton Luís, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2011. **Solos, ambiente e dinâmica climática da camada ativa na Península Potter, Antártica Marítima.** Orientador: Elpídio Inácio Fernandes Filho. Co-Orientadores: Carlos Ernesto G. R. Schaefer e Felipe Nogueira B. Simas.

Neste trabalho foram investigadas as principais propriedades físicas e químicas dos criossolos a fim de classificar e mapear os solos segundo WRB; relacionar as características dos geoambientes e distribuição das comunidades vegetais nas áreas livres de gelo da Península Potter; investigar a dinâmica climática na região e relacionar com a dinâmica termal de temperatura e umidade dos criossolos na Ilha Rei George, Antártica Marítima. Com levantamento de 18 perfis de solos em 2008 foram realizadas análises físico-químicas a fim de caracterização e classificação destes solos pela WRB. O mapa de geomorfologia da península foi utilizado como base para mapeamento das classes de solos. O mapeamento da vegetação foi obtida pela classificação de uma imagem Quickbird. Foi também analisada a variabilidade intra-sazonal da temperatura do ar relacionada com as taxas de mudança de recuo da geleira polar Club, através de uma série de nove cenas de imagens de satélite Landsat e dados de temperatura atmosférica 1986-2010 da estação Climatológica de Jubany. Com base em dados pontuais de terreno, técnicas de detecção remota e ferramentas SIG, foram analisadas a distribuição espacial das comunidades vegetais da Península Potter, bem como os fatores condicionantes. Por fim foram relacionar os dados de temperatura e umidade dos solos com dados climáticos da região para elucidar o comportamento da dinâmica termal da camada ativa em relação a alterações climáticas. Em geral os solos de Potter apresentam pouco desenvolvimento físico, químico e morfológico, com características muito semelhantes ao material de origem. A influência da atividade da avifauna contribui para formação de solos ornitogênicos. Apesar de responderem por pequenas manchas restritas à atividade da avifauna, representam maiores teores principalmente de P, C e N. Comunidades vegetais na Península Potter ocupam 23% da área livre de gelo, ocupando posições de paisagem diferente, mostrando diminuição da diversidade e

biomassa a partir da zona costeira para áreas do interior da península, onde as condições sub deserto prevalecem. Há uma dependência clara entre relevo e solos com vegetação, solos com maior umidade ou ácido mal drenados, com pH neutro são favoráveis para subformações de musgos; de solos ornithogenicos ricos em matéria orgânica, próximos às colônias de pingüins têm uma maior biomassa e diversidade, com as associações de musgos e gramíneas; felseenmeers estável e superfícies rochosas planas crioplanadas são os locais preferidos para *Usnea* e *Himantormia lugubris*. Subformações Líquenes e musgos cobrem a maior área com vegetação em ambientes variados. Os resultados da série temporal de temperaturas do ar mostraram um recuo consistente ao longo dos últimos 22 anos da frente polar Glaciar Club, resultou em um aumento de 120,47 ha de área livre de gelo em Potter. Durante o período de 25 anos estudados, houve aumento na temperatura de 1,64 °C nas temperaturas no outono, 1,58 °C das temperaturas na Primavera, 0,7 °C no inverno e 0,47 °C no verão. As influências da temperatura atmosférica no recuo da geleira demonstrar atraso de cerca de um ano. Apesar das evidências de aumento da temperatura média do ar nas últimas décadas na região, a retração na frente da geleira Polar Club apenas com a série de temperaturas atmosféricas, não é suficiente para explicar a variação observada para a frente da geleira em Potter. O método do Valor Informativo indica uma capacidade preditiva do modelo da ordem de 89% para classes de Algas e de 87% para classe de musgos e gramíneas. As demais classes: Musgos, Líquens, e Líquens e Musgos tiveram também resultados satisfatórios com capacidade preditiva de 79, 78 e 71% respectivamente. Deste modo, poder-se afirmar que o modelo possui uma boa capacidade preditiva. Os quatro sítios estudados encontram-se em uma faixa de altitude que varia de 45 a 89 m, porém a dinâmica termal no período estudado mostrou ligeiras diferenças devido as características específicas de cada solo influenciaram neste comportamento. Apesar de encontrar-se em zona de *permafrost* contínuo, apenas dois sítios (S1 e S2) demonstraram presença possivelmente já nos primeiros 100 cm de profundidade. Os resultados apresentados neste trabalho poderão subsidiar futuros investigações com modelagem da dinâmica termal da camada ativa e seu comportamento em longo prazo.

## Abstract

POELKING, Everton Luís, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2011. **Soils, environment and climatic dynamic of active layer at Potter Peninsula, Maritime Antarctica.** Adviser: Elpídio Inácio Fernandes Filho. Co-Advisers: Carlos Ernesto G. R. Schaefer and Felipe Nogueira B. Simas.

In this paper we report the main physical and chemical properties of criossolos to classify and map soils according WRB; relating the geo-environmental characteristics of the plant communities distribution in the ice-free areas of Potter Peninsula; investigate the climate dynamics in the region and relate with the thermal dynamics of temperature and humidity of criossolos in King George Island, Maritime Antarctic. Surveys of 18 soil profiles in 2008 were analyzed to physical-chemical characterization and classification of soils for the WRB. The geomorphology map of the peninsula was used as a basis for soil classes mapping. The vegetation mapping was obtained by the classification of a Quickbird image. It was also examined intra-seasonal variability of air temperature related rates of change of polar glacier retreat Club, through a series of nine scenes of Landsat satellite imagery and atmospheric temperature data from 1986-2010 from Jubany Weather Station. Based on data points of land, remote sensing techniques and GIS tools, we analyzed the spatial distribution of plant communities of Potter Peninsula, as well as determining factors. Finally the data were related to temperature and soil moisture in the region with climatic data to elucidate the dynamic thermal behavior of the active layer in relation to climate change. In general the soils of Potter have little physical, chemical and morphological characteristics very similar to the source material. The influence of bird activity contributes to ornithogênicos soil formation. Although small patches restricted account for the activity of birds, mainly represent higher levels of P, C and N. Potter Peninsula plant communities occupy 23% of ice free area, occupying different landscape positions, indicating a reduction of diversity and biomass from the coastal to inland areas of the peninsula, where the sub-desert conditions prevail. There is a clear dependence between soil and topography on vegetation, soils with higher moisture or poorly drained acid, pH-neutral conditions are favorable for moss subformations; ornithogenics

soil rich in organic matter near the penguin colonies have a greater biomass and diversity, with associations of mosses and grasses; felsensmeers stable and flat rock cryoplanations surfaces are the preferred sites for *Himantormia lugubris* and *Usnea*. Lichens Subformations and mosses cover the largest area of vegetation in different environments. The results of time series of air temperatures showed a consistent decline over the past 22 years the polar front Glacier Club, resulted in an increase of 120.47 ha of ice free area in Potter. During the 25 years studied, there was an increase in temperature of 1.64 °C in fall temperature, 1.58 °C temperatures in spring, 0.7 °C in winter and 0.47 °C in summer. The influences of air temperature in glacier retreat demonstrate delay of about one year. Despite evidence of increasing average air temperature in the region in recent decades, the retract in front of the Polar Club glacier only with the range of atmospheric temperatures is not enough to explain the observed variation to the front of the glacier in Potter. The Informative Value method indicates a model's predictive capacity of around 89% for classes of algae and 87% for class of mosses and grasses. Other classes: Mosses, Lichens, Mosses and Lichens and also had satisfactory results with predictive capacity of 79, 78 and 71% respectively. This way one can say that the model has good predictive ability. The four sites studied are located in an altitude range that varies from 45 to 89 m, but the dynamic thermal during the study period showed slight differences due to specific characteristics of each soil influenced this behavior. Despite finding themselves in continuous permafrost zone, only two sites (S1 and S2) showed the presence possibly as early as the first 100 cm depth. The results presented here may contribute to future investigations of dynamic thermal modeling of the active layer and its behavior in the long term.

## INTRODUÇÃO GERAL

A Antártica ocupa um espaço de 14 Gm<sup>2</sup>, com quase sua totalidade cobertos por uma camada de gelo com 2,1 km em média de espessura (volume estimado de 30 Mm<sup>3</sup>) correspondente a 90% do gelo do planeta. Sua posição geográfica centralizada no Pólo Sul exerce uma grande influência no clima global. Comparativamente a outras porções do globo terrestre, as regiões polares recebem menor quantidade de radiação ao longo do ano, 15% do que recebe o equador, alcançando 30% durante o verão. As áreas livres de gelo no verão restringem-se a apenas 0,32% em todo continente antártico (45 Mm<sup>2</sup>) (Campbell e Claridge, 2004; Ugolini e Bockheim, 2008; Campbell e Claridge, 1987).

Os criossolos compreendem os solos minerais de regiões com *permafrost*, que compreendem uma área estimada de 18 Gm<sup>2</sup> (13% das terras do globo) (WRB, 2007). Estes solos formados pelos processos criogênicos em regiões frias são denominados de Cryosols (WRB), Gelisols (Soil Taxonomy), Cryosems (Rússia) caracterizados pela presença de *permafrost* em sub-superfície. As condições específicas que caracterizam os Criossolos são baseadas em três características típicas associadas com processos criogênicos (WRB, 2007):

- a) a presença de uma camada de cimento de gelo (*permafrost*) dentro do *solum*;
- b) saturação sazonal com água; e
- c) ausência de horizonte ou feição de solos pedogeneticamente bem desenvolvidos.

Biogeograficamente a antártica é dividida em setores: Antártica Continental, Peninsular e Marítima (figura 1). O Arquipélago das Shetlands do Sul são parte da Antártica Marítima, localizado a noroeste da Península Antártica composto por 29 ilhas, sendo a maioria de origem vulcânica. A maior delas, ilha Rei George com 1,150 km<sup>2</sup>, possui 8,5% de área livre de gelo no verão (Bremer et al, 2004).

Estudos dos solos, *permafrost* e camada ativa foram intensificados na última década, no entanto há ainda muitas áreas livres de gelo, carentes de informações mais detalhadas a cerca dos ecossistemas das áreas livres de

gelo. Devido às dificuldades de acesso desta região da Antártica Marítima, mapas detalhados a cerca dos solos e comunidades vegetais, oferecem importante contribuição para acervos de dados dos ecossistemas das áreas livres de gelo.

Solos em áreas de permafrost constituem importantes locais de estoques de carbono. Principalmente os solos ornitogênicos, que apesar de sua restrita área de ocorrência da intensa atividade da fauna, possuem quantidades consideráveis de Carbono orgânico nos solos.

Antártica Marítima vem atraindo a atenção da comunidade científica nos últimos anos, devido aos impactos referentes às mudanças climáticas regionais. São áreas com uma coleção de fauna e flora riquíssima, sendo muitas delas endêmicas. Habitats de diversas espécies de pinguim (*Pygoscelis* sp.), leão-marinho (*Otaria flavescens*), elefante marinho (*Mirounga leonina*), foca-leopardo (*Hydrurga leptonyx*), foca-de-weddell (*Leptonychotes weddellii*), petrel-gigante (*Macronectes giganteus*), escua (*Catharacta* sp.), bem como uma gama de espécies de peixes e baleias que visitam a costa brasileira em época de reprodução. A vegetação que aí ocorrem é do tipo tundra, com líquens, cianobactérias, briófitas e apenas duas espécies superiores, uma *Poaceae* (*Deschampsia antarctica* Desv.) e *Cariophyllaceae* (*Colobanthus quitensis* (Kunth.) Bartl.) (Ovstedal e Smith, 2001).

Estudos revelam uma tendência de aumento nas temperaturas medias do ar na região (Ferron et al., 2004; Turner, et al. 2005) embora suas causas, bem como seus efeitos em larga escala ainda não são bem conhecidos (Convey e Smith, 2006; Chwedorzewska, 2009). No entanto, cientistas apontam para algumas das consequências, o recuo das geleiras e da gradual diminuição do volume e cobertura de gelo nessas áreas (Braun e Gossmann, 2002; Simões et al. 2004). O aumento nas áreas livres de gelo, ocasionado pelas mudanças do clima, reflete numa serie de transformações como diminuição no albedo, ocasionando aquecimento do solo, derretimento do *permafrost*, alterando os regimes hídricos dos solos, a distribuição da cobertura vegetal, migração de espécies animais e de aves (Slaymaker e Kelly, 2007).

A Antártica Marítima oferece condições favoráveis para estudos de

monitoramento climático, devido a sua posição em área de transição e alta sensibilidade às mudanças climáticas. Estudos mais aprofundados das características dos solos e vegetação antárticos mostram-se importantes na elucidação de fenômenos climáticos passados e seus possíveis reflexos no futuro. A espacialização dessas informações a respeito dos criossolos, *permafrost*, estoques de carbono e distribuição das diferentes coberturas vegetais proporcionam um melhor entendimento das inter-relações entre esses ambientes.

A Península Potter pertence a Ilha Rei George, formada por ação vulcânica no período do Cretáceo-Paleoceno (50,6 a 49,1 Ma), da formação Bloco de Warszawa (Birkenmajer, 1998). Há evidências de três cones vulcânicos: o Three Brothers Hill, o nunatak Florence circundado pela geleira Warszawa, e um pequeno remanescente em Stranger Point, atualmente quase completamente erodido (Kraus e del Valle, 2008) (Figura 1).

del Valle et al. (2002) estimaram uma elevação da península Potter em cerca de 12 m nos últimos 4500 a.a.p, em relação ao nível do mar atual, pela datação em C<sup>14</sup> de ossos de pingüins e elefantes marinhos, sugerindo um início de ocupação nessa região por volta de 8000 a.a.p. Essa elevação ocorrida no Holoceno Médio, foi provocada por uma ascensão glacio-isostática em toda ilha Rei George, resultado da retração da massa de gelo, diminuindo sua pressão sobre o bloco que forma a ilha (del Valle et al, 2002). Essa ascensão durante o Holoceno é calculada em cerca de 50 m (Birkenmajer, 1998). Potter compreende diferentes ambientes periglaciais característico dessa região, com registros da ação de glaciares e intenso intemperismo físico das rochas. Vegetação exuberante nos locais com intenso trânsito de animais e extensos campos de líquens nas áreas do interior da península. O progressivo recuo da Geleira Polar Club proporcionou evolução da paisagem até os dias atuais, o que possibilitou a ocupação da fauna e flora nesses ambientes.

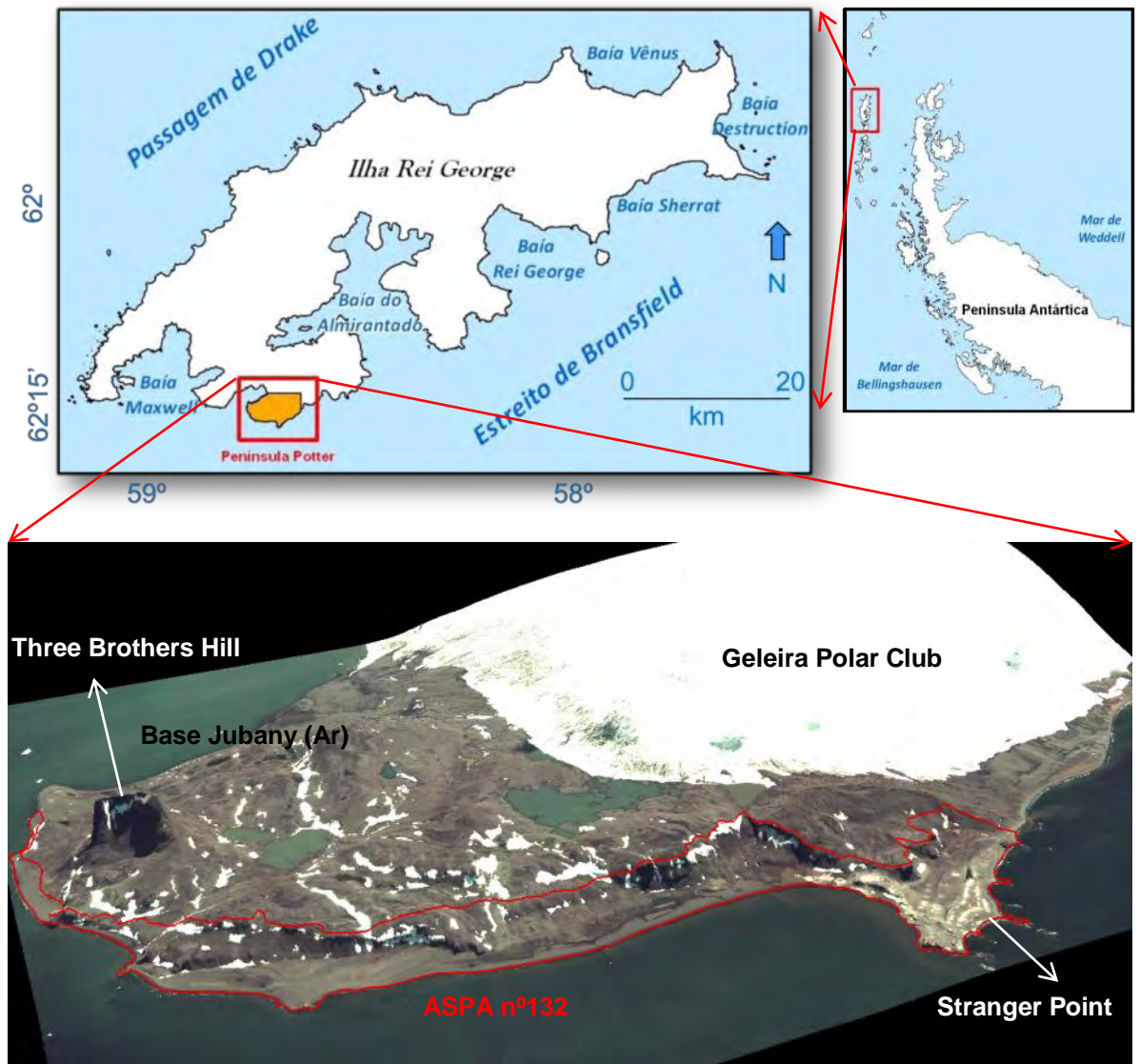


Figure 1: Localização da Península Potter, Antártica Marítima e ASPA n° 132.

A Península Potter possui uma área de proteção especial, conhecida como ASPA N° 132 (Antarctica Specially Protected Area), (anteriormente SSSI N° 13) (Warsaw, 2002). Estende-se ao longo da costa, com largura variável de até 500 metros, entre Stranger Point até Mirounga Point, com uma área aproximada de 1,9 km<sup>2</sup>. Foi proposta pelo Instituto Antártico Argentino a fim de preservação da fauna e flora, sendo apenas permitido acesso à pesquisa científica, já que a área possui uma grande diversidade de aves, mamíferos e densa vegetação (Warsaw, 2002). No entanto essa vegetação estende-se para além dos limites da ASPA, bem como ninhas de pássaros em locais mais elevados e distantes da praia. Portanto, A

Península Potter oferece condições para um bom entendimento das interrelações entre clima, solos e a flora de região de clima periglacial e seus reflexos no atual cenário de mudanças do clima nessa região. Pretende-se também sugerir a ampliação dos limites da ASPA, evidenciando a fragilidade dos ambientes e suas inter-relações quanto aos impactos pela ação antrópica local.

O Terrantar pertence ao INCT da Criosfera, e está inserido no Programa Antártico Brasileiro no que diz respeito às pesquisas relacionadas ao solo. Além disto, o assumiu a responsabilidade junto ao Scientific Committee on Antarctic Research (WGGGI-SCAR) de mapear os solos e *permafrost* de todas as Ilhas da Shetlands do Sul. Os resultados serão publicados em revistas conceituadas e divulgados em eventos científicos nacionais e internacionais, com uma base cartográfica detalhada. Os trabalhos desenvolvidos serão de grande relevância para caracterização de todo o ambiente, visando o entendimento das relações entre a paisagem, flora e fauna em seus habitats e possíveis impactos das mudanças climáticas na região.

Os principais objetivos e metas desse trabalho de tese foram: a) estudar as principais propriedades físicas e químicas dos criossolos, classificar e mapear os solos segundo WRB; b) relacionar as características dos geoambientes na distribuição das comunidades vegetais nas áreas livres de gelo da Península Potter; c) investigar a dinâmica climática na região e relacionar com a dinâmica termal de temperatura e umidade dos criossolos na Ilha Rei George, Antártica Marítima.

#### Bibliografia:

- Bremer, U. F., Arigony Neto, J., Simões, J. C. Teledetecção de mudanças nas bacias de drenagem do gelo da ilha Rei George, Shetlands do Sul, Antártica, entre 1956 e 2000. Pesquisa Antártica Brasileira, 4: 37-48. 2004.
- Campbell, I. B., Claridge, G. G. C. 1987. Antarctica: soils, weathering processes and environment. Amsterdam: Elsevier. 368 p. Developments in Soil Science, 16.

- Campbell, I. B., Claridge, G. G. C. 2004. Cryosols of the arid Antarctic. In: KIMBLE, J. M. (Ed). Cryosols: permafrost-affected soils. Berlin e Heidelberg: Springer-Verlag. Pp: 291-302.
- del Valle, R. A., Montalti, D., Inbar, M. Mid-Holocene microfossil-bearing raised marine beaches at Potter Peninsula, King George Island, South Shetland Islands. *Antarctic Science* 14, 263–269. 2002.
- Ferron, F. A. Simões, J. C. Aquino, F. E. Setzer, A. W. 2004. Air temperature time series for King George Island, Antarctica. *Pesquisa Antártica Brasileira*, 4: 155-169.
- Kraus, S. del Valle, R. 2008. Geological map of Potter Peninsula (King George Island, South Shetland Islands, Antarctic Peninsula), Instituto Antártico Chileno, e Instituto Antártico Argentino, doi:10.1594/PANGAEA. 667386.
- Øvstedal, D. O., Smith, R. I. L. 2001. Lichens of Antarctica and South Georgia: guide to their identification and ecology. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ugolini, F. C. Bockheim, J. G. Antarctic soils and soil formation in a changing environment: A review. *Geoderma*, 144, 1-8. 2008. (Birkenmajer, 1998). Warsaw, 2002. Twenty-fifth Antarctic Treaty Consultative Meeting. Warsaw, Poland, 148.

## **Capítulo 1:**

### **Geoformas e Solos da Península Potter, Ilha Rei George, Antártica Marítima**

**Resumo:** Estudos mais aprofundados das características dos solos antárticos mostram-se importantes na elucidação de fenômenos climáticos passados e seus possíveis reflexos no futuro no ambiente. Nesse trabalho foram investigadas as propriedades físicas e químicas mais destacadas e mapeamento da distribuição dos solos na paisagem das áreas livres de da Península Potter, Antártica Marítima. Com levantamento de perfis de solos em 2008 foram realizadas análises físico-químicas a fim de caracterização e classificação destes solos pela WRB. O mapa de geomorfologia da península foi utilizado como base para mapeamento das classes de solos. Em geral os solos de Potter apresentam pouco desenvolvimento físico, químico e morfológico, com características muito semelhantes ao material de origem. Com grande parte do volume do solo nas frações grosseiras, areia grossa, calhaus, com textura média à arenosa. A influência da atividade da avifauna contribui para formação de solos ornitogênicos. Apesar de responderem por pequenas manchas restritas à atividade da avifauna, representam maiores teores principalmente de P, C e N, semelhantes aos encontrados em solos da Ilha Rei George, Antártica Marítima.

#### **1. Introdução**

Na antártica os processos de intemperismo ocorrem em taxas muito lenta em comparação ao restante do mundo, devido às condições de clima extremo, baixa luminosidade e umidade ao longo da maior parte do ano. Em alguns desertos áridos no continente, as principais alterações químicas dos criossolos são expressas em precipitação de sais e concentração de elementos provindos da atmosfera, levando milhões de anos para haver transformações significativas (Cambell e Claridge, 1987).

Apesar de serem processos pedogenéticos lentos, mesmo nas

superfícies mais estáveis, onde são encontrados solos datados do Mioceno, não há desenvolvimento expressivo do perfil (Beyer et al. 1999). Contudo, estas regiões submetidas ao clima excessivamente frio, baixa cobertura vegetal, contando com escala de tempo longa de exposição ao intemperismo foi possível a formação de solos na Antártica (Claridge et al. 1995; Campbell e Claridge 2004), espodosolos (Beyer e Bölter, 1999) e alguns de paleossolos, formados em condições climáticas diferentes das atuais (Godagnone, 1997; Godagnone 2000).

A degradação química é mais acentuada na Antártica Marítima devido a maior disponibilidade de água e por influência da deposição de guano pela fauna. Ainda assim, estes solos são incipientes, com teor muito baixo de argila e elevado conteúdo de materiais macroclásticos refletindo a composição química da rocha matriz (Beyer e Bölter, 2000). Solos com forte influência da avifauna ocorrem com muita frequência na Antártica Marítima, diferenciando-se dos demais criossolos por possuírem taxas elevadas de material orgânico e nutrientes (Simas et al., 2008). Segundo Tatur (1989), complexos orgânicos aquosos, quimicamente agressivos, derivados do guano de pingüins, aceleram o intemperismo de rochas e a formação do solo.

No bioma antártico, solos criogênicos podem estar associados à presença das angiospermas *D. antarctica* e *C. quitensis* que mantêm relação direta com o desenvolvimento de sua camada ativa (Øvstedal e Lewis-Smith, 2001). A vegetação impõe um importante papel no regime termal do solo, influenciando a camada ativa, e variação na vegetação em resposta a mudanças climáticas (Cannone et al, 2006). Servem como isolantes térmicos que diminuem a troca de energia do solo com ar. A cobertura dos solos, e acima de tudo mudanças na vegetação estão entre os mais importantes fatores capazes de modificar a distribuição do *permafrost* e seu regime termal (Cannone et al. 2006; Guglielmin et al. 2008).

Na Antártica Marítima criossolos foram descritos em diversos trabalhos (Campbell e Claridge, 1987; Tatur, 1989; Tatur e Keck, 1990; Tatur et al. 1997; Godagnone 1997; Godagnone 2000; Michel, 2005; Simas et al. 2006; Simas et al. 2007; Simas et al. 2008; Francelino et al. 2011).

Godagnone (1997) descreveu basicamente três grupos de solos em

Potter, Entissols nos recuos mais recentes das geleiras e morainas, encostas e planícies marinhas; Inceptissols em depressões com saturação permanente de água, ou de drenagem pelas geleiras; e Molissols, com características morfológicas que denunciam certa evolução, apesar do clima em que estão expostos, encontrados em locais de má drenagem e pouco escoamento superficial.

Tatur (1989) encontrou solos com forte influência ornitogênica por pingüins em Stranger Point, e Petrel Rock por ninhais de petréis gigantes, o que conferem aos solos um aporte grande de material orgânico e fosfático. Este material orgânico nos solos influencia fortemente na sua morfologia e composições químicas. Simas et al., (2008) propuseram a inclusão de caráter *ornithogenic* para adequar estes solos no sistema da WRB e Soil Taxonomy, devido a marcante diferenciação dos solos ornitogênicos em comparação com os demais criossolos.

Os solos ornitogênicos (desenvolvidos pela atividade de aves), constituem os principais reservatórios de C orgânico desta região (Ugolini, 1972; Tatur et al.1997; Michel et al. 2006; Simas 2006; Simas et al. 2007, Simas et al, 2008). Onde a maior parte do C estocado em criossolos encontra-se protegido no *permafrost* o que sugere um de emissão de C-CO<sub>2</sub> diante do atual cenário de aquecimento regional. Os solos ontogênicos na Antártica Marítima possuem potencial elevado à perdas de C para atmosfera em resposta as recentes mudanças climáticas (Simas, 2006; Michel et al. 2006).

Em razão da matéria orgânica dos criossolos antárticos serem formada por compostos de fácil decomposição (carboidratos, lipídeos, proteínas, compostos solúvel, etc.) essas taxas de liberação podem ser potencializadas (Beyer et al. 1999). Estes solos possuem concentrações de macro e micro elementos muito elevado (P, K, N, Fe, Mg, Ca) providos do intemperismo mas principalmente do aporte de guano pela fauna (Schaefer et al, 2004; Michel et al. 2006; Simas et al. 2006; Simas et al, 2007; Simas et al. 2008).

A sucessão vegetal iniciada pelas algas verdes e cianobactérias e culminada por gramíneas, líquens e briófitas, depende da transferência de nutrientes do ambiente marinho para o terrestre pela ação dos pingüins, aporte de nutrientes pela fauna (Schaefer et al, 2004). As áreas de

pinguineiras abandonadas caracterizam-se por um tapete verde denso de vegetação em solos ornitogênicos ricos em fosfato, que mantém níveis altos de nutrientes disponíveis por centenas ou milhares de anos (Myrcha e Tatur, 1991). Este abandono segundo Tatur (1989) deve-se ao soerguimento isostático (movimento isostático vertical da superfície) que força a realocação das pinguineiras mais próximo ao mar. Tatur et al. (1997) verificaram em Stranger Point que tanto as pinguineiras ativas quanto as abandonadas (responsáveis pela formação dos solos ornitogênicos de grande fertilidade) servem de fonte de nutrientes condicionando a distribuição dessa vegetação. A *D. antarctica*, possui relativa abundância nas áreas de solos ornitogênicos de pinguineiras abandonadas e nas áreas marginais às pinguineiras ativas, devido a maior fertilidade dos solos (Tatur, 1989; Schaefer et al., 2004; Simas et al. 2007). Porém nas condições de maior umidade e luminosidade, juntamente com condições de temperatura mais amenas, os processos pedológicos são favorecidos. A hidrólise dos minerais, lixiviação de bases, aporte de elementos oriundos das atividades da avifauna, cobertura de vegetação resulta em transformações físico-químicas particulares nessa região do planeta (Campbell e Claridge, 1987).

A paisagem da antártica Marítima é essencialmente resultante da ação glacial em ambientes relativamente secos e áridos desde o último máximo glacial durante o Quaternário. As feições geomorfológicas encontradas por Francelino et al. (2011) na Península Keller são típicas de condições periglaciais e paraglaciais. Abrangendo processos de retração de geleira e derretimento de neve com formação de morainas, terraços marinhos, protalus, com modificações recentes da paisagem livre de gelo.

Estudos mais aprofundados das características dos solos antárticos mostram-se importantes na elucidação de fenômenos climáticos passados e seus possíveis reflexos no futuro no ambiente. Nesse trabalho foram investigadas as propriedades físicas e químicas mais destacadas e mapeamento da distribuição dos solos na paisagem das áreas livres de da Península Potter, Antártica Marítima.

## **2. Material e Métodos**

## 2.1 Área de estudo

A península de Potter está localizada na Ilha Rei George, arquipélago das Ilhas Shetland do Sul na Antártica Marítima, entre o estreito de Bransfield e a passagem de Drake (figura 1) entre as latitudes sul  $62^{\circ}13,5'$  e  $62^{\circ}16'$  e longitude oeste  $58^{\circ}42'$  e  $58^{\circ}33'$ . Potter tem uma extensão Leste-Oeste de cerca de 6 km e uma extensão de Norte-Sul de 3,5 km, com cerca de 7,20 km<sup>2</sup>, sendo grande parte dessa área livre de gelo no período do verão. A Estação de Científica Antártica Argentina de Jubany em operação desde 1953 está instalada nessa área. Detalhes sobre clima na região são abordados no capítulo 3. A morfologia da Península Potter, caracterizada predominantemente por uma paisagem glacial com planaltos crioplanados, encostas íngremes ao longo das praias e suaves montanhas no interior (Kraus e del Valle 2005).

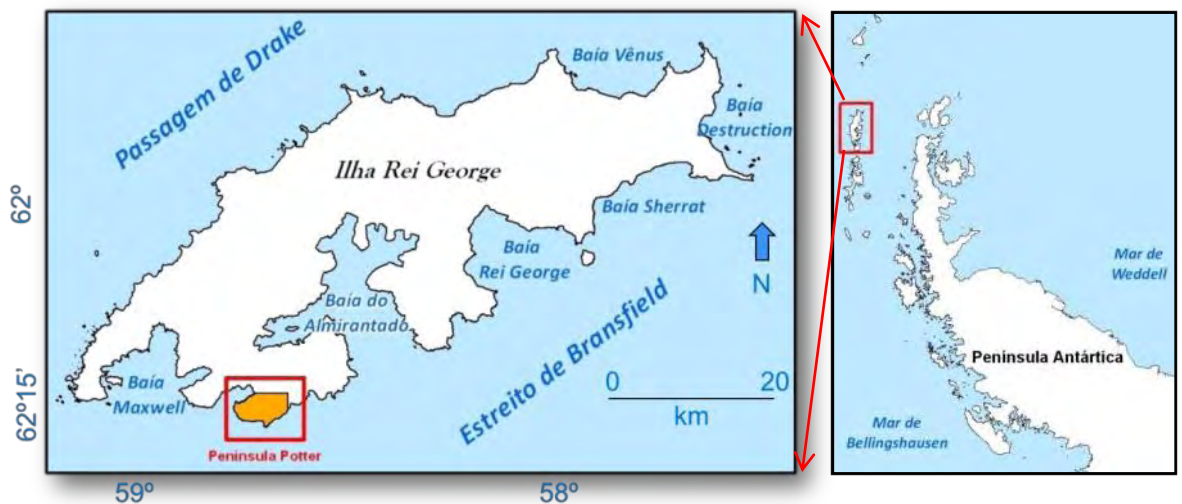


Figura 1: Localização da área de estudo na Antártica Marítima.

As áreas ao longo da costa, na ASPA nº 132, servem como local de nidificação de aves, como pingüins papua, scuas e petréis gigantes. São também encontrados inúmeros haréns de algumas espécies de mamíferos como elefantes marinhos, focas-de-weddell e leões marinhos. Em virtude da grande deposição de dejetos dos ninhais de pingüins, scuas e petréis conferem um aporte significativo de nutrientes aos solos, principalmente P, Ca e N juntamente com grande concentração de Matéria Orgânica. São solos chamados ornitogênicos, pois reflete em sua morfologia a influência

desse aporte de elementos pelos dejetos das aves. Essas áreas de maior atividade de animais e de vegetação foram demarcadas como ASPA, a fim de proteção dessas espécies em seus habitats.

## 2.2 Análises físico-químicas das amostras de solos

Em levantamentos de campo de verão durante a expedição brasileira à Antártica (Operantar XXVI, fev-mar/2008) do PROANTAR, foram realizadas *in situ* trabalhos de coleta de amostras dos perfis de solos representativos de cada porção da paisagem, assim como amostras de vegetação em cada ponto de perfil. O solo coletado em trincheiras, com amostragens em camadas de 10 cm em 10 cm aproximadamente, até 100 cm de profundidade ou até encontrar o *permafrost* ou o material de origem, nos solos mais rasos. Em cada perfil procedeu-se a descrição morfológica detalhada dos solos, fotografados os perfis e a paisagem, e registrados os pontos geográficos com GPS, como auxiliares na caracterização desses ambientes.

Estes procedimentos possibilitou georreferenciar os pontos de amostragem, interpretar características do solo e forneceram material para análises laboratoriais e geoprocessamento. Os levantamentos sistemáticos (descrição do ambiente e dos perfis) realizados na península forneceram os subsídios necessários, juntamente com as análises laboratoriais das amostras coletadas nos perfis, para determinar as características físicas, químicas, mineralógicas e micromorfológicas desses solos. Para classificar os solos da península Potter foi utilizado o sistema World Reference Base of Soil Resource (WRB, 2007).

As análises físico-químicas foram realizadas nos laboratórios da UFV seguindo metodologias de EMBRAPA (1997). As amostras de solo coletadas nos perfis da península Potter foram secas ao ar, destorroadas e passadas por peneira de 2,0 mm, para processamento das análises. A composição granulométrica, obtida pela dispersão com NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> e agitação de alta rotação durante 15 min. Areia grossa e areia fina separadas por tamisação em peneiras de malha 0,2 mm e 0,053 mm, respectivamente. A argila foi determinada pelo método da pipeta e o silte obtido por diferença.

As análises químicas foram determinadas de acordo com Embrapa

(1997). O pH em água na proporção solo-líquido de 1:2,5, e KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, determinados potenciometricamente. Fósforo extraído por Melich-1 com solução de HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup> e determinado colorimetricamente em presença do ácido ascórbico. Cálcio e magnésio trocáveis, extraídos com solução de KCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup> na proporção 1:10 e determinados por espectrometria de absorção atômica. Potássio e sódio trocáveis, são extraídos com solução de HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> na proporção 1:10 e determinados por fotometria de chama. Alumínio trocável, extraído com solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> na proporção 1:20 e determinado pela titulação de acidez com NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>. Acidez potencial (H<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup>), pela extração com solução de acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> ajustada a pH 7 na proporção 1:15, determinada por titulação com solução de NaOH 0,0606 mol L<sup>-1</sup>.

Carbono Orgânico Total foi determinado através da oxidação da matéria orgânica pelo Dicromato de potássio 0,167 mol L<sup>-1</sup> em meio sulfúrico e titulação pelo sulfato ferroso 0,2 mol L<sup>-1</sup> (Yeomans & Bremner, 1998). O N total foi determinado pelo método Kjeldahl (Embrapa, 1997).

### *2.3 Mapeamento das unidades de solos*

O mapa de geomorfologia, foi adaptado a partir de Birkenmajer (1998) com os limites das classes ajustados e atualizados sob imagem de satélite Quickbird de janeiro de 2007 e por MDE gerado a partir do mapa planialtimétrico de Potter (Lusky et al. 2001) para melhoria da escala (1:10000). Foi gerado seguindo rotinas do software ArcGis 10.

### *2.4 Análise por Componentes Principais e de Grupamento*

O método de análise de componentes principais consiste em transformar um conjunto de variáveis originais X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, ..., X<sub>p</sub> em um novo conjunto de variáveis Y<sub>1</sub> (CP1), Y<sub>2</sub> (CP2), ..., Y<sub>p</sub> (CPp). Estas *p* variáveis são não correlacionadas entre si e estão arranjadas em ordem decrescente de variâncias. Neste procedimento, as primeiras componentes principais incorporam a maior variabilidade dos dados originais, podendo-se racionalmente descartar as demais componentes, reduzindo o número de variáveis. A análise de grupamento das médias dos perfis foi computada

para definição de similaridades dos perfis estudados. Foram tabeladas e calculadas com *software* Statistica 7.

### **3. Resultados e discussão**

#### **3.1 Classificação e distribuição dos solos nas geoformas**

##### **3.1.1 *Morainas***

As morainas compreendem a maior área da Península Potter, somando aproximadamente 30% da superfície (tabela 1). As morainas frontais e marginais marcam os estágios sucessionais de retração da geleira Polar Club desde seu último máximo glacial (5000 a.a.p) (Birkenmajer 1998). Solos sobre morainas não foram levantados neste trabalho. Contudo, Francelino et al, (2011) mapearam como Turbic Cryosols (Eutric) solos das morainas formadas por basalto e andesito na Península Keller, Ilha Rei George.

##### **3.1.2 *Superfícies Crioplanadas***

As superfícies crioplanadas compreendem complexos basalto-andesito do Cretáceo Superior desgastados ao longo do tempo por ação glaciária (Birkenmajer 1998). Com cerca de 9% da área da península, formam os locais de exposição mais antigo da península, resultaram em solos que mantêm forte relação com material de origem, com propriedades físicas, químicas e morfológicas denunciando intemperismo inicial. A cobertura de vegetação é formada principalmente por líquens foliosos e campos mistos de líquens com musgos. Possuem baixos teores de N, P e TOC devido a menor influência da avifauna e baixa biomassa vegetal. No entanto, representam as maiores áreas de solos das áreas livres de gelo. Foram encontrados Folic Leptic Cryosols (Eutric, Skeletic, Arenic) + Leptic Cryosol (Eutric, Arenic) + Folic Leptic Cryosols (Ornithic, Skeletic, Arenic), nos planaltos de superfícies crioplanadas no interior da península.

Os locais sob influência maior da avifauna formam solos mais desenvolvidos como encontrados próximo à ninhais de petréis (P15, 16, 17 e 18) formado por associações de Folic Leptosol (Ornithic, Gelic, Skeletic) + Turbic Folic Leptic Cryosol (Ornithic, Oxyaquic, Arenic) + Folic Leptic

Tabela 1: Feições geomorfológicas e unidades de solos correspondentes (sistema WRB) e as áreas totais e relativas Península Potter.

Feição geomorfológica	Classes de solos (WRB)	Área (ha)	%
Planícies Crioplanadas	Folic Leptic Cryosols (Eutric, Skeletic, Arenic) + Turbic Folic Leptic Cryosol (Ornithic, Oxyaquic, Arenic) + Folic Leptic Cryosols (Ornithic, Skeletic, Arenic) + Lithic Leptosol (Ornithic, Gelic) + Haplic Regosol (Ornithic, Gelic).	65,82	9,18
Morainas Basais Recentes	-	138,42	19,31
Morainas Basais Antigas	-	8,58	1,20
Morainas Marginais Recentes	-	64,23	8,96
Depósitos Fluvioglaciais	Haplic Fluvisol (Ornithic, Gelic, Arenic)	94,96	13,24
Terraços de Kame	-	64,34	8,97
Talus	Histic Leptic Cryosols (Ornithic, Arenic); Turbic Leptic Cryosol (Eutric, Skeletic)	37,99	5,30
Terraços Marinhos Soerguidos	Folic Leptosol (Ornithic, Gelic, Skeletic) + Folic Fluvic Cambisol (Eutric, Turbic, Gelic) + Folic Fluvic Cambisol (Eutric, Turbic, Gelic)	42,33	5,90
Praias de Lagos	-	17,32	2,42
Lagos	-	39,96	5,57
Praias Marinhas Soerguidas	Haplic Cambisol (Ornithic, Gelic) + Folic Fluvic Cambisol (Eutric, Gelic) + Haplic Arenosol (Eutric, Gelic) + Leptic endogleyic Regosols (Eutric, Turbic, Gelic, Arenic)	96,91	13,52
Cobertura de Neve	-	31,84	4,44
Deslizamentos Ativos	-	2,30	0,32
Áreas com polígonos	-	11,94	1,67
Área Total		716,95	100

Cryosols (Ornithic, Skeletic, Arenic) + Lithic Leptosol (Ornithic, Gelic) + Haplic Regosol (Ornithic, Gelic). A cobertura mais densa da vegetação confere camada de material orgânico mais espessa, que serve de isolante térmico protegendo a degradação do *permafrost*.

Os locais sob influência maior da avifauna formam solos mais desenvolvidos como encontrados próximo à ninhais de petréis (P15, 16, 17 e 18) formado por associações de Folic Leptosol (Ornithic, Gelic, Skeletic) + Turbic Folic Leptic Cryosol (Ornithic, Oxyaquic, Arenic) + Folic Leptic Cryosols (Ornithic, Skeletic, Arenic) + Lithic Leptosol (Ornithic, Gelic) + Haplic Regosol (Ornithic, Gelic). A cobertura mais densa da vegetação confere camada de material orgânico mais espessa, que serve de isolante térmico protegendo a degradação do *permafrost*.

### 3.1.3 *Praias Marinhas*

As praias marinhas soerguidas são os locais de maior trânsito da avifauna, por consequência teores elevados de P, N, Ca e TOC (Tabela 2) são encontrados Haplic Cambisol (Ornithic, Gelic) em Stranger Point em pinguineira abandonada, Folic Fluvisol Cambisol (Eutric, Gelic) (P13, P11, P12) em perfil ao sul do Three Brothers, com cobertura de vegetação mistas com presença esparsa de *D. antarctica*. Contudo ocorrem em locais restritos à ação da fauna.

### 3.1.4 *Terraços Marinhos*

Os terraços marinhos soerguidos encontram-se em cotas que variam de 5 a 20 m próximo a Punta Batiza e a oeste da península, até 40 a 50 m em Stranger Point. Esses terraços são resultados dos estágios de soerguimento desta parte da Ilha Rei George ao longo do Holoceno. Ossadas de pinguins encontradas em várias cotas destes terraços sugerem formação desses terraços a partir de 5000 a.a.p. (Birkenmajer 1998; del Valle et al, 2007). Os perfis 2, 6 e 11 (Folic Leptosol (Ornithic, Gelic, Skeletic); Folic Fluvisol Cambisol (Eutric, Turbic, Gelic); Folic Fluvisol Cambisol (Eutric, Turbic, Gelic)) são representantes desses locais.

Tabela 2: Propriedades químicas dos solos estudados da Península Potter

Perfil	Profundade cm	pH H <sub>2</sub> O	P	K	Na	Mn	Fe	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	(t)	(T)	V	TOC	N
			-----mg/dm <sup>3</sup> -----					-----cmolc/dm <sup>3</sup> -----					%	---dag/kg---			
P1 - Folic Leptic Cryosols (Eutric, Skeletic, Arenic)																	
A1	0 – 10	5,6	66	95	172	6,77	58,89	2,48	2,2	0,48	5,6	5,7	6,2	11,3	50	2,27	0,31
A/C	10 – 20	6,1	67	79	172	5,27	54,27	2,5	2,25	0,10	3,3	5,7	5,8	9,0	63	0,90	0,18
C1	20 – 40	6,2	87	78	176	7,07	64,59	3,14	2,88	0	2,4	7	7,0	9,4	74	0,77	0,19
C2	40 – 60	6,8	137	52	162	10,89	52,52	4,97	2,71	0	1,7	8,5	8,5	10,2	83	0,73	0,37
Ch	60 – 80	6,9	388	43	186	9,93	355,74	5,41	2,71	0	1,6	9,0	9,0	10,6	85	0,72	0,80
P2 - Folic Leptosol (Ornithic, Gelic, Skeletic)																	
A1	0 – 8	5,2	158	187	257	13,3	548,84	4,94	6,04	1,25	11,1	12,6	13,9	23,7	53	5,80	0,50
A/C	8 – 20	5,2	428	122	208	14,25	384,7	2,56	3,28	5,30	8	7,1	12,4	15,1	47	2,38	0,23
C1	20 – 30	5,0	476	134	156	5,42	551,8	1,79	1,7	8,87	19,9	4,5	13,4	24,4	19	2,15	0,40
C2	30 – 45	4,9	359	118	137	4,44	579,77	1,58	1,31	9,54	22,6	3,8	13,3	26,4	14	1,49	0,18
C3	45 – 55	4,7	310	103	128	3,56	552,04	1,69	1,02	8,67	21,3	3,5	12,2	24,8	14	1,20	0,15
C4	55 – 80	4,8	306	102	128	3,77	610,35	1,77	1,19	7,71	21	3,8	11,5	24,8	15	1,33	0,12
CR	80 – 100	5,2	237	100	145	5,9	459,66	2,78	1,99	5,20	17	5,7	10,9	22,7	25	1,15	0,13
P3 - Leptic Cryosol (Eutric, Arenic)																	
A1	0 – 8	4,5	443	298	266	24,27	171,4	1,92	2,56	2,41	25,0	6,4	8,8	31,4	20	11,8	1,09
CR	8 – 40	4,3	507	318	209	16,51	79,56	0,95	1,11	4,05	34,7	3,8	7,8	38,5	10	9,74	0,91
P4 - Umbric Leptic Cryosol (Ornithic, Arenic)																	
A	0 – 8	5,0	555	154	477	2,77	399,01	1,23	1,64	4,24	20,8	5,3	9,6	26,1	20	7,70	0,48
AB	8 – 15	4,7	756	145	256	2,01	536,82	0,85	0,97	10,99	26,1	3,3	14,3	29,4	11	3,00	0,28
Bi/R	15 – 28	4,6	769	193	209	1,72	393,51	0,65	0,82	14,84	29,4	2,9	17,7	32,3	9	1,70	0,40
P5 - Leptic endogleyic Regosols (Eutric, Turbic, Gelic, Arenic)																	
A	0 – 3	6,1	151	111	376	38,18	114,11	11,2	8,55	0	1,1	217	21,7	22,8	95	0,42	0,04
CA	3 – 15	6,8	140	107	400	27,27	62,26	13,21	10,15	0	0,8	25,4	25,4	26,2	97	0,21	0,01
C	15 – 25	6,9	127	94	418	23,88	59,31	14,39	9,37	0	1	25,8	25,8	26,8	96	0,38	0,02
P6 - Folic Fluvic Cambisol (Eutric, Turbic, Gelic)																	
A	0 – 5	4,3	419	125	159	3,79	280,46	1,1	0,85	3,9	19,1	3,0	6,9	22,1	13	6,01	0,72
AB	5 – 10	5,9	60	122	226	16,35	90,5	14,42	6,03	0,1	3,2	21,7	21,8	24,9	87	0,64	0,05
Bi	10 – 25	6,2	54	124	316	21,16	98,19	8,47	6,34	0,39	2,9	16,5	16,9	19,4	85	0,32	0,05
Bi2	25 – 30	6,5	54	100	246	11,6	73,51	9,2	7,29	0,1	2,1	18,0	18,1	20,1	90	0,43	0,03
BC	30 – 42	6,7	141	129	437	16,85	343,79	19,35	13,29	0,1	2,1	34,9	35,0	37,0	94	0,23	0,03
C1	42 – 50	6,7	112	115	380	9,4	317,93	18,43	11,9	0,1	1,9	32,3	32,4	34,2	94	0,45	0,02
C2	50 – 90	6,7	133	63	296	13,63	267,51	4,37	2,11	0,1	1,3	7,9	8,0	9,2	86	0,29	
P7 - Leptic Cryosol (Eutric, Arenic)																	
Afos	0 – 10	5,7	69	117	256	18,93	256,22	2,55	3,11	0,87	10,2	7,1	7,9	17,3	41	7,67	0,42
Cfos	10 – 30	6,0	81	102	218	20,2	196,99	2,66	3,08	0,39	7,5	7,0	7,3	14,5	48	2,96	0,28
CR	30 – 50	6,2	90	107	209	19,26	192,82	3,68	3,83	0,1	5,6	8,7	8,8	14,3	61	2,43	0,22
P8 - Turbic Folic Leptic Cryosol (Ornithic, Oxyaquic, Arenic)																	
Afos	0 – 8	6,0	705	157	296	21,67	176,58	4,38	5,16	0,58	8,4	11,2	11,8	19,6	57	1,85	0,17
AC	8 – 25	6,2	629	175	276	9,74	98,49	4,3	4,58	0,58	8	10,5	11,1	18,5	57	0,95	0,12
C1	25 – 30	5,4	413	176	244	20,67	56,75	4,06	3,68	1,83	15,9	9,3	11,1	25,2	37	5,69	
C2	30 – 50	5,5	245	208	226	25,08	57,18	4,1	3,95	3,57	16,5	9,6	13,1	26,1	37	4,89	
CR	fosfato	5,3	149	315	456	21,25	251,43				14,8	2,8	2,8	17,6	16		
P9 - Haplic Arenosol (Eutric, Gelic)																	
A	0 – 10	5,3	227	696	1259	15,63	211,94	3,22	3,57	0	2,1	14,1	14,1	16,2	87	0,55	0,1
C1	10 – 60	5,3	104	646	1490	25,07	300,52	3,52	5,25	0,1	3,7	16,9	17,0	20,6	82	1,41	
C2	60 – 100	5,7	128	591	1428	11,83	140,14	1,79	2,69	0,19	2,9	12,2	12,4	15,1	81	0,79	

Continuação:

Perfil	Profundade cm	pH H <sub>2</sub> O	P -----mg/dm <sup>3</sup> -----	K	Na	Mn	Fe	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	(t)	(T)	V %	TOC ---dag/kg---	N
P10 - Turbic Leptic Cryosol (Eutric, Skeletic)																	
A/R	0 – 40	6,3	44	161	257	82,31	135,95	8,07	4,39	0	5,4	14,0	14,0	19,4	72	5,83	0,37
P11 - Folic Fluvic Cambisol (Eutric, Gelic)																	
A	0 – 10	6,1	128	124	230	14,27	88,71	8,58	3,21	0	3,8	13,1	13,1	16,9	78	1,60	0,08
AC	10 – 20	6,3	102	129	316	14,85	86,9	10,65	3,41	0	3	15,8	15,8	18,8	84	1,09	
Cfos	20 – 50	7,0	202	142	336	35,87	90,35	14,29	3,23	0	1,4	19,3	19,3	20,7	93	0,43	
fos	50 Fosf.	7,0	233	150	314	49,46	91,07	12,74	2,57	0	1,9	17,1	17,1	19,0	90	0,46	
P12 - Haplic Fluvisol ("Ornithic", Gelic, Arenic)																	
A1	0 – 8	5,1	219	232	1288	36,8	67,5	11,92	3,72	3,18	8,0	21,8	25,0	29,8	73	0,51	0,23
Bi	8 – 27	7,8	543	193	189	39,63	12,19	60,71	7,58	0	1,4	69,6	69,6	71,0	98	0,27	0,13
C1	27 – 42	7,6	240	581	2178	43,24	81,38	11,15	3,92	0	1,0	26,0	26,0	27,0	96	0,21	
A2	42 – 60	7,6	336	980	2716	50,39	109,39	10,49	7,56	0	1,4	32,4	32,4	33,8	96	0,30	
C2	60 – 65	9,2	540	1189	4355	48,48	130,87	11,44	7,78	0	0,6	41,2	41,2	41,8	99	0,32	
A3	65 – 90	8,2	367	1070	3835	31,84	102,35	10,15	7,87	0	0,6	37,4	37,4	38,0	98	0,26	
A4	90 – 93	4,4	277	1100	4235	70,56	241,48	15,42	12,52	2,7	8,3	49,2	51,9	57,5	86	3,13	
C3	93 – 110	7,7	437	1199	3696	35,52	120,49	10,39	12,19	0	0,6	41,7	41,7	42,3	99	0,23	
A5	110 – 120	7,1	453	1219	4355	114,64	138,45	17,84	15,85	0	1,4	55,7	55,7	57,1	98	0,28	
P13 - Haplic Cambisol (Ornithic, Gelic)																	
AC	0 – 10	4,7	757	213	236	6,4	546,17	1,34	0,54	3,66	24,2	3,4	7,1	27,6	12	3,53	0,44
C1	10 – 25	4,6	814	362	200	3,16	417,53	1,06	0,48	5,59	28,3	3,3	8,9	31,6	11	1,06	0,15
C2	25 – 40	4,4	661	348	179	3,55	416,91	1,16	0,64	5,88	27,7	3,5	9,4	31,2	11	1,00	0,13
C3	40 – 70	4,6	655	228	113	2,8	330,73	1,09	0,38	4,63	25,0	2,5	7,2	27,5	9	1,28	0,18
P14 - Histic Leptic Cryosols (Ornithic, Arenic)																	
A	0 – 5	4,4	829	193	204	16,82	421,5	2,58	0,89	1,93	20,0	4,9	5,8	24,9	20	6,88	0,56
CR	5 + 50	4,3	41	224	236	17,47	579,53	2,43	0,69	1,45	20,4	4,7	6,2	25,1	19	5,74	0,65
P15 - Folic Leptic Cryosols (Ornithic, Skeletic, Arenic)																	
A	0 – 10	5,0	62	103	218	6,05	292,79	2,29	2,17	2,02	18,9	5,7	7,7	24,6	23	18,83	1,29
Cr	10 – 50	5,5	161	76	177	6,16	291,68	3,68	2,23	0,77	16,5	6,9	7,6	23,4	29	14,57	0,71
P16 - Lithic Leptosol (Ornithic, Gelic)																	
A	0 – 5	4,5	618	248	180	3,90	357,40	2,18	1,79	1,35	19,2	5,4	6,7	24,6	22	14,33	0,76
Cr	5 – 30	4,3	461	110	128	2,39	676,33	0,60	0,56	9,06	31,5	2	11,1	33,5	6	10,01	0,50
P17 - Histic Leptic Cryosols (Ornithic, Arenic)																	
H1	0 – 20	4,4	549	43	96	2,29	255,08	0,75	0,32	3,08	22,3	1,6	4,7	23,9	7	18,28	1,28
H2	20 – 40	4,1	612	68	111	3,26	410,53	0,78	0,28	3,76	22,7	1,7	5,5	24,4	7	16,84	1,09
Bh	40 – 45	4,9	326	86	157	21,09	626,21	3,46	1,38	2,31	18,4	5,7	8,1	24,1	24	17,05	0,78
Perm.	45 – 70	5,4	351	92	200	21,24	798,61	3,28	1,87	1,35	16,1	6,3	7,6	22,4	28	15,40	0,39
P18 - Haplic Regosol (Ornithic, Gelic)																	
A1	0 – 10	5,2	119	82	326	11,31	267,83	0,7	0,5	1,83	8,6	2,8	4,7	11,4	25	3,98	0,10
A2	10 – 20	5,6	96	109	529	7,05	209,22	0,62	0,87	1,25	5,1	4,1	5,3	9,2	44	0,97	0,05
AC	20 – 30	4,4	431	104	529	7,17	455,49	0,65	0,97	2,6	16,7	4,2	6,8	20,9	20	8,24	0,35
C1	30 – 40	5,5	428	64	18	2,71	532,15	1,19	1,07	2,41	17,5	2,5	4,9	20,0	13	7,19	0,27
C2	40 – 70	5,4	647	59	176	1,81	551,71	1,18	0,94	2,51	17,7	3,0	5,5	20,7	15	7,70	0,24

TOC: Carbono Orgânico Total.

### 3.1.5 Talus

Os talus compreendem as encostas pedregosas e cones ao longo da costa sul da península e na encosta do Three Brothers. Aglomerado de

fragmentos de rochas e cascalhos resultantes do intemperismo físico. Foram encontrados ao pé do Three Brohters Turbic Leptic Cryosol (Eutric, Skeletic), com cobertura de líquens em fragmentos de rochas e Histic Leptic Cryosols (Ornithic, Arenic) numa encosta em Stranger Point, com influência maior da avifauna e com cobertura densa de musgos.

### 3.1.6 *Outros geoambientes*

Depósitos fluvioglaciais são resultado da deposição de sedimentos carregados pelos canais de drenagem abastecidos principalmente pela geleira Polar Club e pelos lagos. O perfil 12 (Haplic Fluvisol (Ornithic, Gelic, Arenic)) apresenta sequências de sobreposição de camadas distintas, típico de Fluvissole (tabela 2).

As áreas com polígono encontram-se em condição de pouca drenagem, sob formação de basalto andesito, em pequenos vales secos próximo ao lago Rudi. Devido à alta pedregosidade e acúmulo de água do degelo em parte do ano, juntamente com a ação de congelamento e descongelamento sucessivos surgem polígonos nos solos delimitados por *Usneas*.

### 3.2 Mapa de geoambientes

A figura 2 apresenta o mapa de geoambientes adaptado de Birkenmajer (1998). Potter compreende feições típicas de área periglacial, com vários estágios de terraços soerguidos, superfícies crioplanadas, e morainas formadas a partir do recuo da geleira Polar Club. Pequenos remanescentes de gelo abastecem os canais de degelo anual. Os lagos formados pelo degelo da neve anual também são abastecidos pelo degelo glacial.

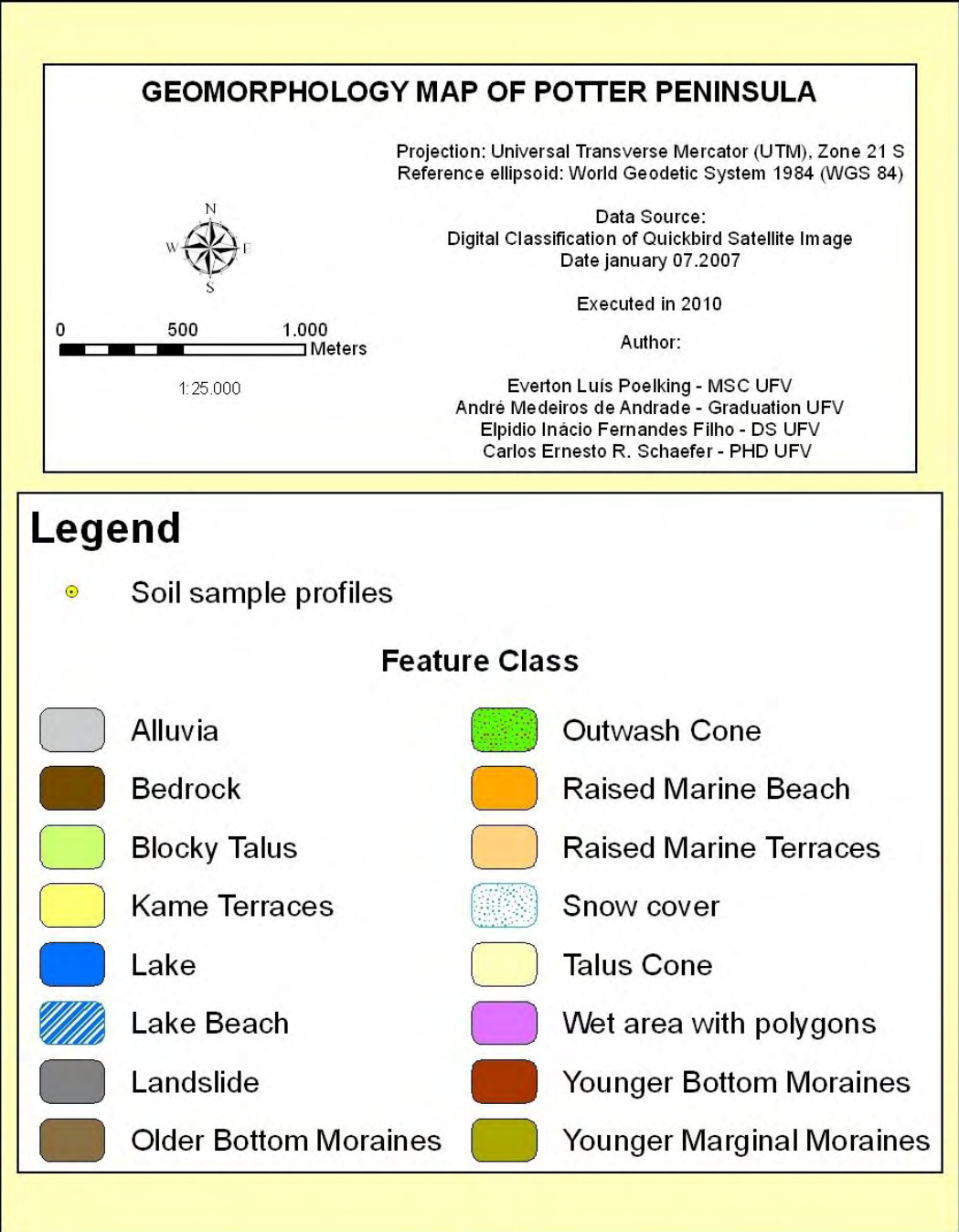
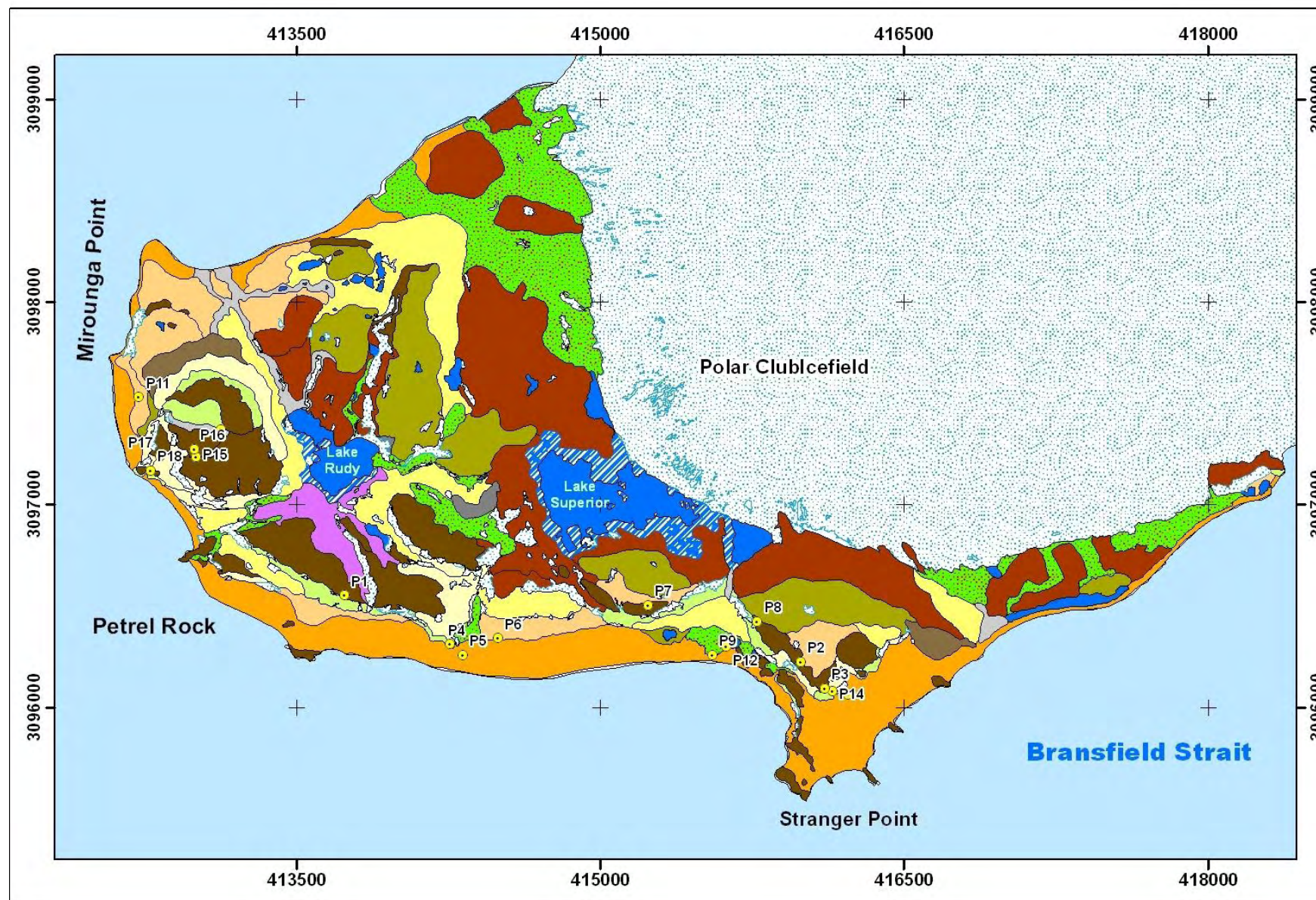


Figura 2: Mapa de geoambientes de Potter adaptado de Birkenmajer (1998) e pontos de perfis de solos amostrados.

Tabela 2: Análises físicas dos solos estudados na Península Potter.

Perfil	Profundidade cm	T °C	FR	AG	AF	Silte %	Argila	Textura	Cor	
P1 - Folic Leptic Cryosols (Eutric, Skeletic, Arenic)										
A1	0 – 10	3,1	55	67	9	10	14	Franco-Arenosa	10YR 2/1	Black
A/C	10 – 20	2,6	58	68	11	12	9	Franco-Arenosa	10YR 2/1	Black
C1	20 – 35	2,2	24	67	9	14	10	Franco-Arenosa	7,5YR 2,5/1	Black
C3	45 – 60	1,1	65	52	19	21	8	Franco-Arenosa	7,5YR 2,5/1	Black
Ch	60 – 80	0,5	77	47	24	21	8	Franco-Arenosa	7,5YR 2,5/2	Black
P2 - Folic Leptosol (Ornithic, Gelic, Skeletic)										
A1	0 – 8	3,3	44	49	13	20	18	Franco-Arenosa	5YR 2/2	Dark Reddish Brown
A/C	8 – 20	2,8	53	63	13	11	13	Franco-Arenosa	7,5YR 2,5/3	Very Dark Brown
C1	20 – 30	2,8	60	61	10	14	15	Franco-Arenosa	2,5YR 3/2	Dusky Red
C2	30 – 45	2,7	64	68	4	12	16	Franco-Arenosa	2,5YR 3/2	Dusky Red
C3	45 – 55	2,5	65	60	10	16	14	Franco-Arenosa	2,5YR 3/2	Dusky Red
C4	55 – 80	1,9	66	58	12	17	13	Franco-Arenosa	2,5YR 3/2	Dusky Red
CR	80 – 100	1,8	72	50	16	20	14	Franco-Arenosa	2,5YR 2,5/2	Very Dusky Red
P3 - Leptic Cryosol (Eutric, Arenic)										
A1	0 – 8	3,5	93	60	7	12	21	Franco_Argilo_Arenosa	10YR 2/1	Black
CR	8 – 40	2,1	87	59	8	13	20	Franco-Arenosa	10YR 2/2	Very Dark Brown
P4 - Umbric Leptic Cryosol (Ornithic, Arenic)										
A	0 – 8	4,9	42	56	20	9	15	Franco-Arenosa	10YR 2/2	Very Dark Brown
AB	8 – 15	4,2	17	42	14	21	23	Franco_Argilo_Arenosa	7,5YR 2,5/3	Very Dark Brown
Bi/R	15 – 28	3,7	24	27	14	32	27	Franco-Arenosa	10YR 4/4	Dark Yellowish Brown
P5 - Leptic endogleyic Regosols (Eutric, Turbic, Gelic, Arenic)										
A	0 – 3	6,2	64	77	9	5	9	Areia-Franca	7,5YR 2,5/1	Black
CA	3 – 15	5,7	54	68	14	8	10	Areia-Franca	5YR 2,5/1	Black
C	15 – 25	5,0	92	79	5	6	10	Areia-Franca	5YR 2,5/1	Black
P6 - Folic Fluvisol Cambisol (Eutric, Turbic, Gelic)										
A	0 – 5	5,8	80	63	10	11	16	Franco-Arenosa	10YR 2/1	Black
AB	5 – 10	4,8	42	61	23	7	9	Areia-Franca	10YR 2/1	Black
Bi	10 – 25	4,4	31	58	22	10	10	Franco-Arenosa	10YR 2/1	Black
Bi2	25 – 30	3,3	57	64	14	12	10	Franco-Arenosa	10YR 2/1	Black
BC	30 – 42	3,1	48	46	17	20	17	Franco-Arenosa	5YR 3/2	Dark Reddish Brown
C1	42 – 50	2,7	31	48	16	19	17	Franco-Arenosa	5YR 2,5/2	Dark Reddish Brown
C2	50 – 90	2,3	25	75	20	1	4	Areia	10YR 3/1	Very Dark Gray
P7 - Leptic Cryosol (Eutric, Arenic)										
Afos	0 – 10	0,4	74	45	19	18	18	Franco-Arenosa	7,5YR 2,5/2	Very Dark Brown
Cfos	10 – 30	0,5	57	52	15	20	13	Franco-Arenosa	7,5YR 2,5/2	Very Dark Brown
CR	30 – 50	0,5	71	59	12	18	11	Franco-Arenosa	7,5YR 2,5/2	Very Dark Brown
P8 - Turbic Folic Leptic Cryosol (Ornithic, Oxyaquic, Arenic)										
A	0 – 8	0,1	52	55	18	15	12	Franco-Arenosa	5YR 2,5/1	Black
AC	8 – 25	0,7	41	49	20	21	10	Franco-Arenosa	5YR 2,5/1	Black
C1	25 – 30	1,0	34	41	24	21	14	Franco-Arenosa	5YR 2,5/2	Dark Reddish Brown
C2	30 – 50	1,2	49	44	17	21	18	Franco-Arenosa	5YR 2,5/2	Dark Reddish Brown
CR	50 - +	0	39	21	22	18	18	Franco-Arenosa	5YR 3/2	Dark Reddish Brown
P9 - Haplic Arenosol (Eutric, Gelic)										
A	0 – 10	3,6	96	58	36	2	4	Areia	7,5YR 2,5/1	Black
C1	10 – 60	3,3	57	72	16	4	8	Areia-Franca	10YR 2,5/1	Black
C2	60 – 100	3,4	71	73	21	2	4	Areia	7,5YR 3/1	Very Dark Gray

Continuação:

Perfil	Profundidade cm	T °C	FR	AG	AF	Silte %	Argila	Textura	Cor
P10 - Turbic Leptic Cryosol (Eutric, Skeletic)									
A/R	0 – 40	0,5	49	28	30	24	18	Franco-Arenosa	10 YR 2/1 Black
P11 - Folic Fluvic Cambisol (Eutric, Gelic)									
A	0 – 10	2,8	46	69	12	9	10	Areia_Franca	7,5YR 2,5/2 Very Dark Brown
AC	10 – 20	2,1	51	73	9	10	8	Areia_Franca	5YR 2,5/1 Black
C	20 – 50	1,7	70	72	7	16	5	Areia_Franca	5YR 2,5/1 Dark Reddish Brown
Cr	50 - +	1,7	81	57	10	19	14	Franco-Arenosa	5YR 3/3 Dark Reddish Brown
P12 - Haplic Fluvisol ("Ornithic", Gelic, Arenic)									
A1	0 – 8	3,5	41	56	18	14	12	Franco-Arenosa	2,5YR 2,5/1 Reddish Black
Bi	8 – 27	5,8	4	29	12	51	8	Franco-Siltosa	2,5YR 2,5/1 Dark Reddish Brown
C1	27 – 42	5,0	6	32	60	6	2	Areia	7,5YR 2,5/1 Black
A2	42 – 60	4,0	11	16	68	9	7	Areia-Franca	2,5YR 2,5/1 Reddish Black
C2	60 – 65	3,5	2	25	37	27	11	Franco-Arenosa	2,5YR 2,5/2 Very Dusky Red
A3	65 – 90	3,2	-	21	62	9	8	Areia-Franca	2,5YR 3/2 Dusky Red
A4	90 – 93	3,0	4	11	37	38	14	Franco	5YR 2,5/1 Black
C3	93 – 110	2,1	13	20	63	10	7	Areia-Franca	5YR 2,5/2 Dark Reddish Brown
A5	110 - +	2,3	21	4	35	50	11		2,5YR 2,2/1 Reddish Black
P13 - Haplic Cambisol (Ornithic, Gelic)									
AC	0 – 15	3,5	66	63	10	13	14	Franco-Arenosa	10YR 4/4 Dark Yellowish Brown
C1	15 – 25	3,3	20	58	13	16	13	Franco-Arenosa	5Y 3/3 Dark Reddish Brown
C2	25 – 40	3,3	52	59	11	15	15	Franco-Arenosa	7,5YR 3/3 Dark Brown
C3	40 – 70	3,2	45	68	10	9	13	Franco-Arenosa	5YR 3/3 Dark Reddish Brown
P14 - Histic Leptic Cryosols (Ornithic, Arenic)									
A	0 – 5	0,3	81	63	9	9	19	Franco-Arenosa	10YR 4/4 Dark Yellowish Brown
CR	5 + 50	0,5	89	65	6	12	17	Franco-Arenosa	10YR 4/4 Dark Yellowish Brown
P15 - Folic Leptic Cryosols (Ornithic, Skeletic, Arenic)									
A	0 – 10	2,5	59	50	18	11	21	Franco-Argilo-Arenosa	10YR 4/4 Dark Yellowish Brown
Cr	10 – 50	1,0	87	45	19	15	21	Franco-Argilo-Arenosa	5YR 2,5/2 Dark Reddish Brown
P16 - Lithic Leptosol (Ornithic, Gelic)									
A	0 – 5	3,4	91	59	9	12	20	Franco-Arenosa	10YR 2/1 Black
Cr	5 – 30	2,7	20	43	18	18	21	Franco-Argilo-Arenosa	7,5YR 2,5/2 Very Dark Brown
P17 - Histic Leptic Cryosols (Ornithic, Arenic)									
H1	0 – 20	0,0	0	37	22	22	19	Franco-Arenosa	10YR 2/1 Black
H2	20 – 40	-0,3	10	41	18	19	22	Franco-Argilo-Arenosa	7,5YR 2,5/3 Very Dark Brown
Bh	40 – 45	-0,5	12	49	16	17	18	Franco-Arenosa	7,5YR 2,5/2 Very Dark Brown
Perm.	45 – 70	-0,5	0	62	17	9	12		7,5YR 2,5/2 Very Dark Brown
P18 - Haplic Regosol (Ornithic, Gelic)									
A1	0 – 10	5,5	1	71	21	3	5	Areia	7,5YR 2,5/3 Very Dark Brown
A2	10 – 20	3,9	1	69	27	0	4	Areia	5YR 2,5/1 Black
AC	20 – 30	3,2	8	66	17	6	11	Areia-Franca	5YR 2,5/2 Very Dark Brown
C1	30 – 40	2,8	20	73	13	4	10	Areia-Franca	7,5YR 2,5/2 Very Dark Brown
C2	40 – 70	2,6	14	73	14	3	10	Areia-Franca	10YR 2/2 Very Dark Brown

FR: Fração Rochosa, AG: Areia Grossa, AF: Areia Fina.

Os solos de Potter apresentam em geral grandes proporções de partículas maiores que 2 mm incluindo as frações grosseiras (fragmentos de

rochas, calhaus e matacões), e textura média a arenosa (tabela 3). São esqueléticos, rasos e pouco desenvolvidos. Textura varia em franco-arenoso à areia, com maiores valores de silte e areia. Estes solos foram formados sobre substrato basáltico. Todos os valores dos elementos estudados são fortemente influenciados pela natureza quimicamente rica dos solos desenvolvidos de material vulcânico na Península Potter (Birkenmajer, 1998), comuns aos solos da Antártica Marítima.

Diferenças nos valores de pH variam de 4,5 aumentando a 6.5, com variações em profundidades. Os solos de basaltos máficos conferem maiores teores de K, Mn, Mg, Ca, sendo liberados pelo intemperismo das rochas, estes dados corroborando com as características dos solos sob basalto da Baía do Almirantado (Schaefer et al, 2008). O Na nesses solos apresenta diferenças onde as maiores concentrações foram encontradas em perfis das praias e terrações marinhos, diminuindo sua concentração em áreas mais altas e afastadas do litoral, pois a proximidade do mar confere distribuição homogênea desse elemento pelo *spray* salino.

Os teores de matéria orgânica e N são muito baixos, influência direta da limitada biomassa vegetal de cobertura formada basicamente por líquens e esparsas briófitas. Porém, com relação C/N muito baixa que confere uma fácil decomposição por microorganismos.

### 3.3 Análise por Componentes Principais e Grupamento

A análise por CP resultou em um novo conjunto de dados correlacionados. Os autovalores das CP nos primeiros 4 fatores já alcançou 81% da variabilidade total dos dados (tabela 4). Esse novo conjunto de dados resume em poucos fatores a variância relativa de cada um dos elementos frente aos demais em todos os solos estudados.

Na tabela 5 são apresentados os 4 primeiros conjunto de fatores, onde constam a participação da variância que cada elemento possui em conjunto com os demais. Os valores de pH, Ca, Mg, H+Al, SB, (t) e V possuem as maiores correlações no primeiro fator. No segundo aparecem os dados físicos de areia grossa, silte e argila, juntamente com P, T e N

Tabela 4: Estimativas dos autovalores das contribuições percentuais e Cumulativas das 16 CPs.

	<b>Autovalores</b>	<b>% Total</b>	<b>Cumulativo</b>
1	7,1519	35,759	35,76
2	5,3322	26,661	62,42
3	2,1000	10,500	72,92
4	1,6149	8,074	80,99
5	0,9917	4,959	85,95
6	0,8730	4,365	90,32
7	0,5193	2,597	92,91
8	0,4618	2,309	95,22
9	0,3526	1,763	96,99
10	0,2467	1,234	98,22
11	0,1180	0,590	98,81
12	0,0791	0,395	99,21
13	0,0557	0,279	99,48
14	0,0420	0,210	99,69
15	0,0409	0,204	99,90
16	0,0201	0,100	100,00

Tabela 5: Autovalores obtidos da matriz de correlação dos 4 primeiras CP envolvendo as 20 variáveis dos solos analisadas

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
pH	<b>0,919</b>	0,134	-0,146	-0,069
P	-0,225	<b>-0,789</b>	-0,168	0,262
K	-0,095	-0,432	0,412	0,466
Na	0,297	-0,679	0,026	0,405
Mn	0,356	-0,615	-0,331	0,064
Fe	-0,605	0,244	0,318	-0,324
Ca <sup>2+</sup>	<b>0,837</b>	-0,317	0,169	-0,159
Mg <sup>2+</sup>	<b>0,872</b>	-0,256	0,269	-0,094
Al <sup>3+</sup>	-0,649	0,100	0,516	-0,344
H+Al	<b>-0,909</b>	-0,247	0,258	-0,023
SB	<b>0,874</b>	-0,385	0,226	-0,064
(t)	<b>0,702</b>	-0,398	0,512	-0,244
(T)	-0,230	<b>-0,713</b>	0,560	-0,096
V	<b>0,976</b>	-0,051	-0,084	0,003
TOC	-0,529	-0,348	-0,397	-0,012
N	-0,379	<b>-0,760</b>	-0,393	0,166
AG	0,141	<b>0,730</b>	0,266	0,546
AF	0,242	0,222	-0,433	-0,586
Silte	-0,102	<b>-0,783</b>	-0,169	-0,340
Argila	-0,430	<b>-0,811</b>	0,055	-0,200

Na projeção das coordenadas das duas primeiras CPs apresentada na figura 3, nota-se a proximidade de grupos de elementos, o que correspondem a maior correlação entre eles. Por outro lado, quanto mais

distantes os dados menor a correlação, ou seja, mais distinto o elemento do restante. A Areia grossa e H+Al são os mais distintos, assim como pH, V, cátions trocáveis, argila, N, P, Silte, Na e Mn pois encontram-se distantes do centro do gráfico. Estas duas CPs somam 62.42% da variabilidade acumulada de todos elementos estudados.

Essa variabilidade encontrada denota a diversidade dos solos em Potter. As diferentes geoformas, juntamente com efeito da avifauna sobre alguns perfis influenciam na pedogenese e concentração dos teores destes elementos nos solos estudados.

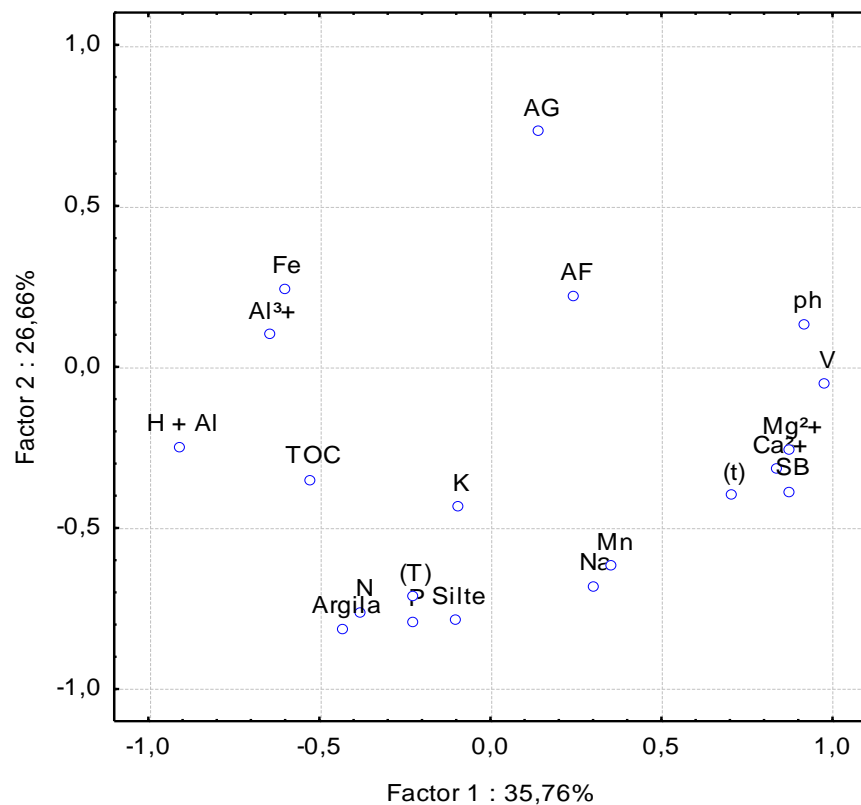


Figura 3: Projeção dos valores das duas primeiras componentes principais.

A figura 4 apresenta o gráfico da análise de grupamento das médias das variáveis físico-químicas dos 18 perfis estudados. Nota-se que os resultados corroboram com a distribuição destes solos nos geoambientes supracitados. Podem-se destacar grupos de solos distribuídos conforme dados físico-químicos. Esses grupos mostram também grau de desenvolvimento dos perfis.

O grupo formado pelos perfis 18, 17, 16, 14 e 2 são os solos com maior influência avifauna. Encontrados em locais com nidificação de aves e/ou áreas que já foram colonizadas por pinguins e que mantêm níveis de fertilidade elevados. Estes solos possuem concentrações de macro e micro elementos muito elevado (P, K, N, Fe, Mg, Ca,) providos do intemperismo. Elevados teores de TOC e N providos do aporte de guano pela fauna, por transferência de nutrientes do ambiente marinho para os solos (Michel et al. 2006; Simas et al. 2007; Simas et al, 2008; Schaefer et al, 2008). No entanto, os teores de P (média 420 mg dm<sup>-3</sup>) são menores que encontrados áreas afetadas pela atividade de pinguineira (Tatur e Keck, 1990; Michel et al. 2006; Simas et al, 2007; Simas et al, 2008) devido ao menor aporte, provindo de ninhais de scuas e petréis, e por serem perfis pouco desenvolvidos de características cascalhentas e *permafrost* raso.

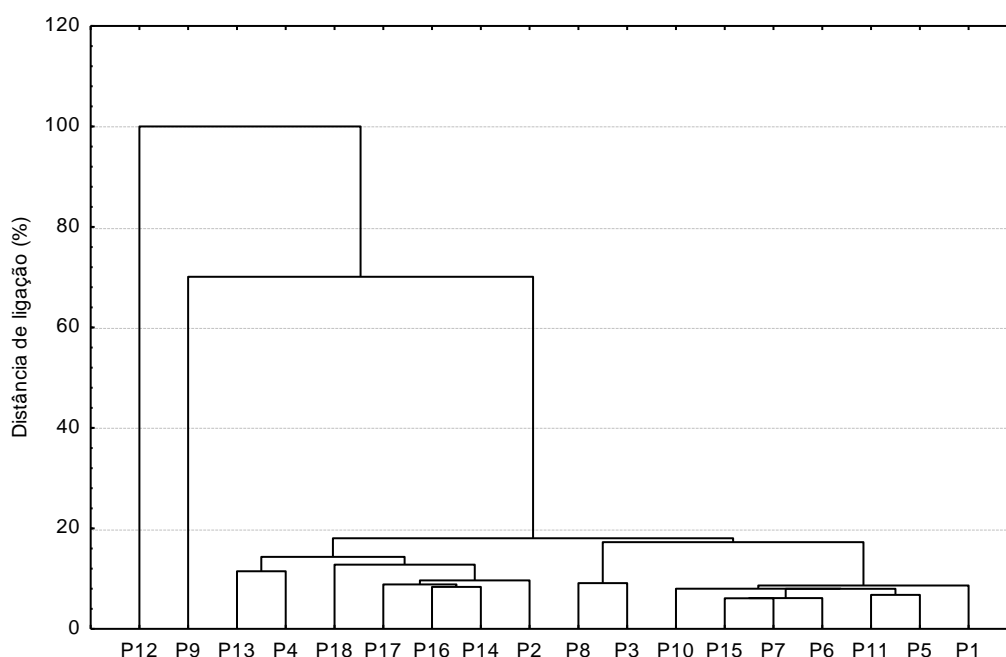


Figura 4: Árvore de diagrama das médias das variáveis dos 18 perfis de solos estudados.

Os solos com atividade da fauna recentes possuem teores de P mais altos nos horizontes superficiais (P14, P16, P17, P13) enquanto os solos com ocupação antiga da fauna possuem acumulação de P nos horizontes mais profundos (P18, P2). Entretanto, nota-se um claro aumento dos teores

de P nos horizontes superficiais. Para Tatur e Myrcha (1989) solos com forte influência ornitogênica conferem ao solo acúmulo de material orgânico e fosfático Al-Fe derivados da atividade da avifauna. Myrcha e Tatur (1991) sugerem que P dissolvido a partir do guano e translocado para horizontes mais profundos é recalitrado em P mineral, persistindo no solo por muito tempo. Schaefer, et al. (2008) consideram os processos de fosfatização responsáveis por importantes alterações químicas no substrato dos solos ornitogênicos, resultando em agregados ricos em P-Ca.

Os solos ornitogênicos apresentam pH mais baixo, em torno de 5,0 (tabela 2), devido a deposição de guano e gradual decomposição pela atividade microbiana criando ambientes ácidos (Michel et al, 2006), que pode ser constatado pelos maiores teores de H<sup>+</sup> + Al na solução dos solos ornitogênicos. Os compostos químicos resultantes aceleram o intemperismo químico, favorecem o estabelecimento da vegetação principalmente *D. antarctica* e *C. quitensis*. Estas encontram vinculadas à existência de influência ornitogênica (Simas et al, 2007). As bases tocáveis apresentaram menores teores médios nos solos ornitogênicos. Possivelmente esta redução deve-se à maior concentração de matéria orgânica nestes solos, acarretando a quelação de cátions.

A maior cobertura vegetal, juntamente com aporte de guano conferem maiores acumulações principalmente nos horizontes superficiais. Para Michel et al. (2006) as taxas de humificação na região da Antártica Marítima são fortemente controladas pelo microclima, biota e regime de umidade nos solos. Esta Matéria Orgânica responde por taxas lentas de decomposição, que acumula-se ao longo do tempo em função do regime climático com baixas temperaturas. Teores de N também são maiores nos solos sob influência da avifauna, onde a relação C/N aparece acima de 10, que expressa a matéria orgânica humificada. Os ácidos húmicos dos criossolos ornitogênicos ricos em N, promovem melhor degradação dos reservatórios de C no solo (Michel et al. 2006).

O perfil 13 encontra-se em área de pinguineira ativa, assim como o perfil 4 (ninhais de scuas), possuem teores muito elevados de P, característicos de ornitogênicos. Contudo, a cobertura de vegetação é muito baixa, limitada a líquens e cianobactérias ornitocófilas, conferindo baixa

TOC e N pois ainda não houve tempo suficiente para acumulação e mineralização expressiva desses elementos no solo.

Os perfis 8 e 3 encontram-se em áreas elevadas de substrato basalto, muito pedregosos e pouco desenvolvidos, com pouca influencia da avifauna. O grupo formado pelos perfis 10, 15, 7, 6, 11, 5 e 1 apresentam pouca ou nenhuma influencia da avifauna, com isso mantém teores dos elementos oriundos diretamente do material de origem. Menor cobertura de vegetação, formada basicamente de líquens com alguns musgos. São solos que possuem pouco desenvolvimento do perfil, rasos e cascalhentos.

Os perfis 12 e 9 como já vistos são oriundos de área de acúmulo de sedimento fluvioglaciário, diferem dos demais pelo fato de resultarem de diferentes materiais e pedogênese diferenciada. Pouca ou nenhuma cobertura de vegetação.

#### **4. Conclusões**

Em geral estes solos apresentam pouco desenvolvimento físico, químico e morfológico, com características muito semelhantes ao material de origem. Com grande parte do volume do solo nas frações grosseiras, areia grossa, calhaus, com textura média a arenosa.

A influencia da atividade da avifauna contribui para formação de solos ornitogênicos, que apresentam valores mais elevados de teores de P, TOC, N, pH e menores teores de bases trocáveis, semelhantes aos encontrados em solos da Ilha Rei George.

Apesar de responderem por pequenas manchas restritas à atividade da avifauna, representam maiores teores principalmente de P, C e N nos solos da Antártica Marítima.

Os solos apresentam variabilidade nas características químicas e físicas, com destaque para pH, P, cátions trocáveis, N e físicos (Areia grossa, silte e argila).

## 5. Referências

- Batjes, N. H. (1996), Total Carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 47, 151-163.
- Braga, J. M.; Deffelipo, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e plantas. *Ceres*, Viçosa, v. 21, 73-85, 1974.
- Barsch, D. Blümel, W. D. Flügel, W. A. Mäusbacher, R. Stäblein, G. Zich, W. 1985. Untersuchungen zum Periglazial auf der König-Georg-Insel Südshetlandinseln Antarktika. *Ber Polarforschung* 24: 1–63.
- Beyer, L. Bockheim, J. G. Campbell, I. B. Claridge, G. G. C. 1999. Genesis, properties and sensivity of Antarctic Gelisols. (Review), *Antarctic Science*, 11(4): 387-398.
- Beyer, L. Bölter, M. 2000. Chemical and biological properties, formation, occurrence and classification of Spodic Cryosols in a terrestrial ecosystem of East Antarctica (Wilkes Land). *Catena*, 39: 95-119.
- Birkenmajer, K. 1998. Geology of Volcanic Rocks (Upper Cretaceous-Lower Tertiary) at Potter Peninsula, King George Island (South Shetland Islands, West Antarctica). *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Earth Sciences*, Vol. 46, nr 2 147-155.
- Campbell, I. B., Claridge, G. G. C. 1987. Antarctica: soils, weathering processes and environment. Amsterdam: Elsevier. 368 p. *Developments in Soil Science*, 16.
- Campbell, I. B., Claridge, G. G. C. 2004. Cryosols of the arid Antarctic. In: KIMBLE, J. M. (Ed). *Cryosols: permafrost-affected soils*. Berlin e Heidelberg: Springer-Verlag. Pp: 291-302.
- Claridge, G. G. C. Campbell, I. B. Powell, H. K. J. Amin, Z. H.; Balks, M. R. 1995. Heavy metal contamination in some soils of the McMurdo Sound region, Antarctica. *Antarctic Science*, 7(1): 9-14.
- Embrapa. 1997. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro, 211p.
- Ferron, F. A. Simões, J. C. Aquino, F. E. Setzer, A. W. 2004. Air temperature time series for King George Island, Antarctica. *Pesquisa Antártica Brasileira*, 4: 155-169.
- Francelino, M. R. Schaefer, C. E. R. Simas, F. N. B. Fernandes Filho, E. I.

- Souza, J. J. L. Costa, L. M. da. 2011. Geomorphology and soil distribution under paraglacial condition in an ice-free area of Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. *Catena* 85, 194-204.
- Godagnone, R. E. 1997. Mapa detallado (escala 1:10.000) suelos de la Península Potter, Antártida. En: Península Potter (Isla 25 de Mayo) Antártida Argentina. Dirección Nacional del Antártico. Publicación N° 448. Buenos Aires.
- Godagnone, R. E. 2000. Suelos Antárticos. Clasificación Taxonómica y Cartografía. Publicación N° 30. Instituto Antártico Argentino: 92.
- Michel, R. F. M. Schaefer C. E. R, Dias L. E, Simas F. N. B, de Melo Benites V, de Sa Mendonca, E. 2006. Ornithogenic Gelisols (Cryosols) from Maritime Antarctica: pedogenesis, vegetation, and carbon studies. *Soil Sci Soc Am J* 70:1370–1376.
- Myrcha A, Tatur, A. 1991 Ecological role of current and abandoned penguin rookeries in the land environment of the maritime Antarctic. *Pol Polar Res* 12:24.
- Øvstedal, D. O., Smith, R. I. L. 2001. Lichens of Antarctica and South Georgia: guide to their identification and ecology. Cambridge: Cambridge University Press.
- Schaefer, C. E. G. R. Simas, F. N. B. Gilkes, R. J. Mathison, C. Costa, L. M. 2008. Micromorphology and microchemistry of Cryosols from Maritime Antarctica. *Geoderma* 144.
- Simas, F. N. B. Schaefer, C. E. G. R. Melo, Vander F. Albuquerque-Filho, M. R. Michel, R. F. M, Pereira, V. V. Gomes, M. R. M. Costa, L. M. 2007. Ornithogenic cryosols from Maritime Antarctica: Phosphatization as a soil forming process *Geoderma*, 138 (3-4), pp. 191-203.
- Simas, F. N. B., Schaefer, C. E. G. R., Albuquerque Filho, M. R., Francelino, M. R., Fernandes Filho, E. I., Costa, L. M. da. 1989. Genesis, properties and classification of Cryosols from Admiralty Bay, Maritime Antarctica. *Geoderma* 144 116–122. 2008.
- Tatur, A. Myrcha, A. 1989. Soils and Vegetation in Abandoned Penguin Rookeries (Maritime Antarctic) *NIPR, Symp. Polar Biol.* 2, 181-189.
- Tatur, A, Keck, A. 1990. Phosphates in ornithogenic soils of the maritime Antarctic. *Proc NIPR Symposium Polar Biology* 3:133-150.

- Tatur, A., Myrcha, A., Niegodziz, J. 1997. Formation of abandoned penguin rookery ecosystems in the Maritime Antarctic. *Polar Biol* 17:405-417
- Tedesco, M. J.; Gianello, C.; Bissani, C.; Bohnen, H. Análise de solos, plantas e outros materiais. Porto Alegre: UFRGS, (Boletim técnico, 5).1995. 174 p.
- WRB. World Reference Base for Soil Resources 2006, first update 2007. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome.
- Yeomans, J. C and J. M. Bremner (1988). A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 19, 1467-147.

## Capítulo 2

### Soil-landform-plant communities relationships of a periglacial landscape at Potter Peninsula, Maritime Antarctica.

**Abstract:** Integrated studies on the relationship between soils, periglacial geomorphology and plant communities are crucial for the understanding of climate changes effects on terrestrial ecosystem of Maritime Antarctica. Knowledge on physical environment factors that influence the plant communities can greatly subsidize studies on climate change in sensitive areas such as Maritime Antarctica, where new ice-free areas are being constantly exposed, allowing for plant growth. The relationship between topography plant communities and soils was investigated at detailed scale, in Potter Peninsula, King George Island, Maritime Antarctica. We mapped the occurrence and distribution of plant communities and identified their soil-landform-plant communities relationships. The vegetation map was obtained by classification of a Quickbird image, coupled with landform description and soil characterization of 18 soil profiles. The sub-formations were identified and classified, and we also determined the total elemental composition of lichens, mosses and grass. Plant communities at Potter Peninsula occupy 23% of the ice-free area, occupying different landscape positions, showing decreasing diversity and biomass from the coastal zone to inland areas, where sub-desert conditions prevail. There is a clear dependency between landform and vegetated soils; soils with greater moisture or poorly drained, acid to neutral pH are favourable for mosses subformations; saline, organic-matter rich ornithogenic soils of former penguin rookeries have greater biomass and diversity, with associations of mosses and grasses; stable felseenmeers and flat rocky cryoplanation surfaces are the preferred sites for *Usnea* and *Himantormia lugubris* lichens, at the highest level. Lichens subformations cover the largest vegetated area, with varying association with mosses.

Keywords: Maritime Antarctica, Cryptogams plants, Periglacial environment, Vegetation Map, Soil

## 1. Introduction

Ice-free areas in Maritime Antarctica have a peculiar flora, dominated by a 'fellfield' physiognomy, dominated by Cryptogams, such as Bryophytes, including Mosses and Liverworts, two species of taluses algae, (*Prasiola crispa* and *P. cladophylla*), approximately 360 known species of lichens and only two native phanerogams (Antarctica hairgrass *Deschampsia antarctica* Desv., and Antarctica pearlwort, *Colombathus quitensis* (Kunth) Bartl. (Øvstedal and Smith 2001). They are adapted to cold climate, relatively low solar radiation and winter snow coverage.

The poorly diverse maritime Antarctic tundra ecosystems are best developed on ice-free areas under a strong faunal influence during the summer period. The most important sites are coastal penguin rookeries, which provide suitable conditions for plant diversity in their marginal areas (Allen et al., 1967; Tatur and Myrcha 1989; Tatur et al. 1997; Smykla et al. 2007). As one moves inland, the vegetation becomes progressively sparse and less structured.

Abandoned rookeries are characterized by dense vegetation in nitrogen and phosphates rich ornithogenic soils, which maintain high levels of bioavailable nutrients after centuries or millenniums of abandonment (Myrcha and Tatur 1991). According to Tatur and Myrcha (1989) during the Holocene period King George Island has been lifted up to more than 50 m resulting from glaciostatic movement. During this period, the penguin rookery of Stranger Point has progressively moved down from the cliff onto the recent beaches.

Ornithogenic soils are the most important compartment of immobilized carbon (C) in ice free areas. The presence of two flowering plants, *D. antarctica* and *C. quitensis* contribute to higher organic C levels, and is positively related with soil depth (Simas et al. 2007). Michel et al. (2006) suggested that organic matter in such soils is richer in Nitrogen (N) and easily thermo-degradable compounds, representing a considerable pool of easily degradable C in the Maritime Antarctic environment. Consequently these soils may be vulnerable to C losses to the atmosphere in response to global warming and permafrost degradation (Michel et al. 2006; Simas et al.

2007).

At Stranger Point, in the eastern part of Potter Peninsula, Tatur et al. (1997) observed that in both active and the abandoned rookeries high nutrient status appears to determine the vegetation distribution and zonation. *D. antarctica* has a relative abundance in ornithogenic soils of abandoned rookeries and in marginal areas of active rookeries. Schaefer et al. (2004) found colonies of *D. antarctica* and *C. quitensis* in stable and shallows and stables soils at nearby Keller Peninsula, close to birds' nests. Large vegetated uplands and slopes are occupied by *Usnea* spp lichen mainly in well-drained moraines, felsenmeer and rocky slopes (Francelino et al. 2011). Mosses formation are locally extensive in hydromorphic, waterlogged soils. Overall plant succession begins by thalose algae and cyanobacteria mats and culminate with mixed formation of lichens, bryophytes and eventually higher plants. Vegetation development is particularly sensitive to the nutrients transfer from sea to terrestrial ecosystems by faunal action (Schaefer et al. 2004). Hence, vegetation can serve as proxy of environmental changes and human-mediated pollution (Bargagli et al. 1995; Poblet et al. 1997).

The assessment of plant communities temporal dynamics and ecological relationships with physical attributes, such as soil parent material, slope, and climate (Schaefer et al. 2004), are keys issues for Antarctic Ecology. Understanding the factors affecting the distribution of vegetation in Antarctica ice-free areas can help studies on climate and landscape change, at greater scales. Longton (1988) based in many previous works, adapted a vegetation classification system to maritime Antarctica, where the grouping of different species was based on growing form and habitats. The formations were based on the criteria of habitats and growth form of the most abundant species. The Tundra Sub-formation units are based on growth form, and the predominant association refers to the floristic similarity between the components (Smith and Gimingham 1976; Smith 1972).

Current attempts at vegetation analysis at high resolution in Antarctica have been very limited. At regional scales and low resolution, the application of NOAA AVHRR for vegetation analysis in Antarctica has failed to detect the highly fragmented and dispersed nature of fellfields. At greater scales, most previous studies have focused on field floristic surveys helped with GPS,

(Kim et al. 2007; Pereira et al. 2007), and identification of aerial photograph mosaics (Francelino et al. 2011) or remote sensing images (Fretwell et al. 2011), resulting in vegetation maps of large scales in small ice-free areas. On the other hand, in isolated areas with heterogeneous distribution of vegetation in maritime Antarctica, the traditional vegetation mapping is more difficult at large scales. In this concern, satellite images with high resolution are excellent alternatives for these works. Satellite images obtained through Remote Sensing can help the monitoring of climate changes impacts in ice-free areas, with greater efficiency and higher resolution. According Fretwell et al. (2001) a baseline survey of the amount and distribution of vegetation is required against which to monitor future change.

It is widely recognized that the relationship between Antarctic vegetation and abiotic factors, such as soils and landforms, is very relevant for the understanding of ecological evolution of Antarctic landscapes (Francelino et al. 2011), and how they respond to environmental changes. The present work investigated the relationships between plant communities in ice-free areas at Potter Peninsula and selected geomorphological and pedological features, aiming to contribute towards a general understanding of Maritime Antarctica Plant Ecology, supported by remote sensing techniques. In addition, we evaluate some basic plant chemical composition to compare with amounts of available nutrients in soils.

## **2 Material and Methods**

### *2.1 Study area*

Potter peninsula is located in King George island, part of South Shetland archipelago, Maritime Antarctica, in the following coordinates: 62°13,5' and 62°16' S, 58°42' and 58°33' W. Potter peninsula stretches over an 6 km long east-west extension, and 3,5 km long north-south axis, with a total area of approximately 0.72 km<sup>2</sup>, largely ice-free during the summer. In terms of geology, Potter peninsula belongs to Warszawa tectonic block, dominated by a volcanic rock sequence formed between 50,6 a 49,1 Ma (Kraus and del Valle 2008).

Potter Peninsula encompasses the ASPA 132 along the coastal area,

where concentration of Antarctica fauna is greater, possessing penguins rookeries (*Pygoscelis sp*) and populations of marine mammals, such as weddell-seals (*Leptonychotes weddellii*), elephant-seals (*Mirounga leonina*) and fur seals (*Arctocephalus gazella*). In the elevated areas skuas (*Catharacta sp.*) and giant-petrel (*Macronectes giganteus*) nests are concentrated. This fauna accounts for sea-land transfers of nutrients fertilizing soil environments by accumulating guano excreta and dead remains.

## 2.2 Vegetation mapping

For vegetation mapping, we used a Quickbird image (January 2007), with four separate multispectral bands and a spatial resolution of 2.4 m. We used the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) for helping the vegetation class discrimination, with following equation:

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$$

Where: NDVI is the Normalized Difference Vegetation Index; NIR is the Near Infrared Band; R is the Red Band.

The image was georeferenced and orthorectified using control points obtained in the field with a Leica DGPS, coupled with a digital elevation model (Lusky et al. 2001), following ArcGIS 9.3 routine procedures. For the image classification, we adopted the Maxver classifier (maximum verossimilarity) using Idrisi Andes software, in which the training samples were demarcated based on field observations and intensive plant collection in the summer of 2008, with precise DGPS location. The vegetation communities classification was adapted from Longton (1988), based on local variations and dominant species. The thematic classes are presented in Table 2.

### 2.3 Soil sampling, analytical procedures and plant analysis

In total, 18 soil pits were described. Soil classification followed the World Reference Base for Soil Resources (WRB) classification system (IUSS Working Group WRB 2006). Soil samples were collected, air dried, passed through a 2 mm sieve and submitted to chemical and physical analyses. Soil pH, exchangeable nutrients and texture were determined according to EMBRAPA (1997).

Collected plant samples were washed to remove soil and dried at 70 °C for 72 hours. And then, milled to particles smaller than 0,5 mm. For the total analysis we used 0.5 g in 10 mL of concentrated HNO<sub>3</sub>, submitted to 200 °C for nitroperchloric digestion to determination of phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), zinc (Zn), copper (Cu), manganese (Mn), iron (Fe). P was determined by colorimetry, by the phosphomolybdate reduction by C vitamin (Braga and Deffelipo 1974). Potassium was measured by flame emission photometry, and Ca, Mg, Fe, Zn, Cu and Mn by atomic absorption spectrophotometry (Tedesco et al. 1995).

## 3 Results and Discussion

### 3.1 Classification of plant communities

Table 1 shows the inventory of plants species collected at each pedoenvironment as indicated in the map (Figure 3). Lichens showed the greatest diversity in most landscapes. They occur in mixed forms as association with mosses and grasses in specific habitats. Extensive fields dominated by *Usnea sp.* and *Himantormia lugubris* occupy upland areas of stony soils or rock outcrops. Lichens and Mosses Sub-Formations are distributed in soils under varying ornithogenic influence.

*D. antarctica* is widespread in well-drained ornithogenic soils, especially near penguin (P12, P13) or giant petrel rookeries and associated pedoenvironments (P15, P 16, P17 and P18). The algae *Prasiola crispa* mats form patches on stable, homogeneous areas around bird nests, with high concentration of ammonia (P12 and P16). They are limited on N richer habitats, close the active rookeries on marine terraces beach, in Stranger

Point (figure 1).

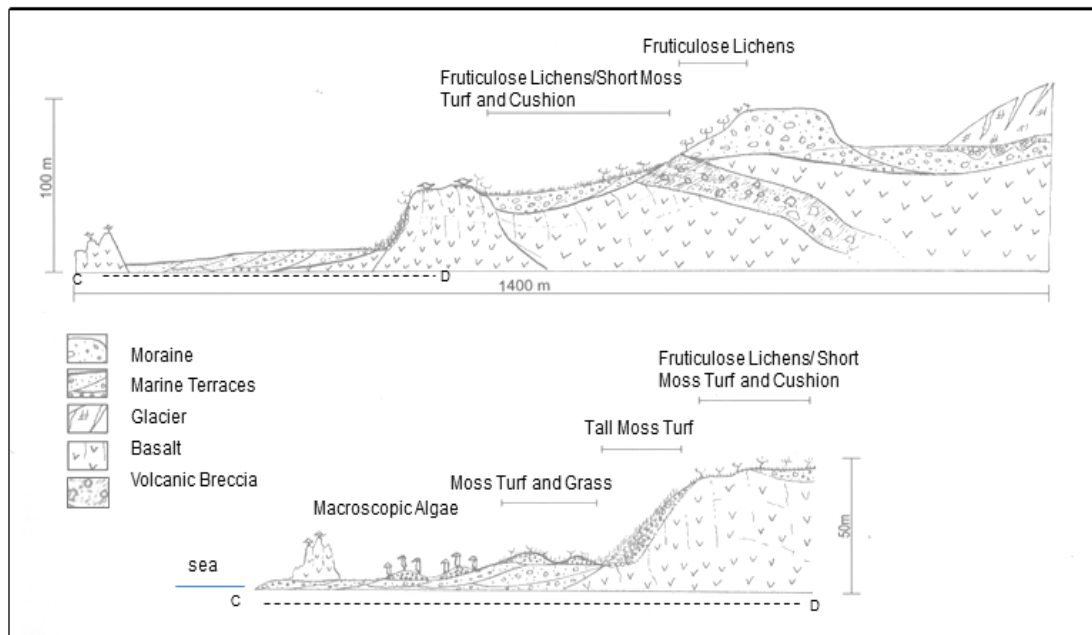


Figure 1: Topographic sequence and the distribution of vegetation at Stranger Point, Potter Peninsula.

Longton (1988) adapted a subjective hierarchical classification, with the major units defined by growth form of the community dominant species, and the minor units reflect floristic composition. The sociations are characterized to codominants species, or with restricted occurrence in more specific habitats. As more detail in Longton (1988), Smith and Girmingham (1976).

The proportion of ice free ground surface in Potter clearly declines with increasing altitude and distance from the coastal zone, although upland areas are not lifeless. Recently exposed bare ground adjacent to the Polar Club Glacier appears devoid of plants, apart from dense cyanobacteria mats growing in oligotrophic lakes and temporary pools and shallow margins.

Old exposed grounds at Potter Peninsula have an ample variety of plant communities. Lower terrace levels are occupied by dense stands of mosses and *D. antarctica*, replacing areas formerly occupied by pure moss stands, thus revealing an advanced stage of succession following uplift. Poorly drained areas close to pools and depressions that are rich in leachates coming from nearby penguin rookeries, are associated with *Prasiola sp.*, and nitrophilous mosses. Upland, exposed shallow and rocky soils are covered

by dense fields of *Usnea* sp and *Himantormia lugubris*. Recently exposed soils of the vicinity show an sparse development of *D. antarctica* tufts.

Table 1: List of species identified at each pedoenvironment.

Species	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18
<b>Lichens</b>																	
cf. <i>Acarospora</i>	Type 1					Type 1					Type 2				Type 3		
cf. <i>Bryoria</i>			X			X	X									X	X
<i>Caloplaca</i>			X														X
<i>Cetraria aculeate</i>						X	X										X
<i>Cladonia</i>	X	X												X		X	
<i>Cladonia borealis</i>	X													X		X	
<i>Haematomma</i>																	X
<i>Himantormia</i>	X								X								
<i>Hypogymnia lugubris</i> ,						X	X										
<i>Himantormia lugubris</i> ,						X	X							X			
cf. <i>Lepraria</i>						X	X				X			X		X	
<i>Leptogium</i>	X	X															
cf. <i>Massalongia</i>	X																
<i>Neuropogon antarcticus</i>	X	X	X	X		X	X									X	X
<i>Neuropogon aurantiaco-ater</i>	X					X	X									X	X
<i>Ochrolechia</i> cf. <i>frigida</i>	X	X	X	X		X	X				X		X			X	
<i>Parmelia saxatilis</i>															X		X
<i>Pertusaria pseudoculeata</i>						X	X										
cf. <i>Pertusaria</i>	X																
<i>Placopsis</i>	X					X	X										X
<i>Pseudephebe</i>	X																
<i>Psoroma</i>	X	X												X		X	
<i>Psoroma</i> cf. <i>Tenue</i>						X	X										
<i>Psoroma</i> cf. <i>ciliatum</i>		X															
<i>Ramalina terebrata</i>															X		
<i>Rhizocarpon</i>	X	X															X
<i>Rhizoplaca</i>			X								X						
<i>Sphaerophorus globosus</i>	X	X	X											X		X	
<i>Stereocaulon</i>	X													X		X	
<i>Umbilicaria</i>															X		X
<i>Usnea</i>						X	X	X									
<i>Xanthoria</i> cf. <i>candelaria</i>																	X
<b>Mosses</b>																	
<i>Polytrichum</i>		X	X			X	X	X									
<i>Bryum</i>		X	X														
<i>Sanionia</i>			X	X	X	X	X	X			X	X	X			X	X
<i>Polytrichales</i>					X				X			X					
<i>Andreae</i>			X														
<b>Phanerogams</b>																	
<i>Deschampsia antarctica</i>					X	X			X	X	X		X	X	X	X	X
<i>Colombathus quitenses</i>									X								
<b>Algae</b>																	
<i>Prasiola crispa</i>											X				X		

Table 2: Vegetation communities classification of Potter Peninsula.

Vegetation communities	Landforms and soils	Dominant plant species	Sociations plants
Tall Moss Turf and Carpet Sub-Formation	Mosses in wet, hydromorphic areas (partially associated with cyanobacteria mats) in wet marine terrace soils (with < 10% slope) (P5), P14). At Stranger Point, very dense moss carpets occur in old stable talus (P14) (30% slope).	<i>Sanionia uncinata</i> , <i>Andreaea</i> , <i>Phormidium</i> sp, <i>Polytricum</i> , <i>Bryum</i>	<i>Cyanobacteria</i> ; <i>D. antarctica</i> ; Without lichens
Moss Turf and Grass Sub-Formation	Mosses and <i>D. antarctica</i> on well drained marine terraces and ornithogenic soils of abandoned rookeries and petrel nests (P11, P13, P17, P18)	<i>Sanionia</i> sp, <i>D. antarctica</i> , <i>Polytrichum</i>	<i>Umbilicaria</i> ; <i>Cladonia</i> sp, <i>Himantormia</i> sp; <i>Neuropogum</i> sp, Type 3
Fruticulose and Foliose Lichen Sub-Formation	Homogeneous lichens fields in well drained rocky, skeletal soils (P1, P2, P3, P7) of stables cryoplanation surfaces.	<i>Usnea</i> sp, <i>Ochrolechia</i> cf. <i>frigida</i> , <i>Cladonia</i> sp, <i>Neuropogum</i> , <i>Himantormia</i>	<i>Polytrichu</i> , <i>Bryum</i> , <i>Sanionia</i> Type 1
Fruticulose Lichens/Short Moss Turf and Cushion Sub-Formation	Mosses and foliose/crustose lichens communities in ornithogenic soils on marine terraces (P13, P6) and weakly ornithogenic soils (P4, P10, P15). Occur on dry to moist habitats, acid and cryoturbic soils derived from moraines and uplifted marine terraces.	<i>Polytrichum</i> sp, <i>Usnea</i> sp, <i>Sanionia uncinata</i> ,	<i>D. antarctica</i> ; <i>Sanionia</i> sp; <i>Prasiola</i> ; <i>Polytricales</i> Type 2
Macroscopic alga Sub-Formation	<i>Prasiola crispera</i> in the vicinity of penguin's and giant-petrels rookeries (recent guano). Habitats with high ammonia, in Stranger Point occur in widespread marine terraces (flat slopes < 5%).	<i>P. crispera</i> ,	<i>Cyanobacteria</i> . <i>D. antarctica</i> ; <i>Umbilicaria</i> and <i>Ramalina</i> sp Type 2

#### a) Tall Moss Turf and Carpet Sub-Formation

Bryophytes are typically associated with moist, hydromorphic soils, or humid slopes and wet microhabitats protected from strong winds. There, *Polytrichales* and *Sanionia* form thick, uniform carpets (P14) (figure 2a) or cushions, with limited, occasional association with tufts of *D. antarctica* (P15) and cyanobacteria mats, the latter in permanently water-saturated soils of marine terraces (P5). Soils in these areas are relatively fertile, due to high inputs of leachates from nearby rookeries (P14, P15, P17) (Figura 2e), or to nutrient concentration by melting water channels (P5, P11). These moss carpets afford high thermal insulation, leading to shallow, ice-cemented permafrost occurrence, and thin active layer, of between 40-50 cm deep (P14, P15 and P17).

According to Allen et al. (1967), rainfall inputs is the dominant source of nutrient supply to moss carpets growing on deep peat from elsewhere. In Potter peninsula, however, the nutrient content of precipitation is not high and their survival depends on the capacity of the living mosses and organic matter in colloidal forms to retain nutrients. For example, the retaining properties of *Andrea* sp was shown to be high. In this area, as elsewhere in Antarctica, climate and landscape-soil stability play a dominating role in controlling both the establishment of vegetation and soil development.

#### b) Moss Turf and Grass Sub-Formation

The two higher plants *D. antarctica* and *C. quitensis* form cushions closely interspersed with moss *Sanionia* are concentrated in more stable areas near a large *Larus Dominicanus* (Gull) nests (P17 and P18) and around penguin rookeries (Stranger Point, marine terraces P6, P11) (Figure 2b).

These are the oldest exposed areas in Potter, and most soils are well-drained and quite developed. The sparseness of *D. antarctica* tufts within *Polytrichales* moss carpets indicate a more advanced stage of succession, as suggested by Schaefer et al. (2004) and Francelino et al. (2011) for the same region. Concerning the ecological relationships of *D. antarctica*, Smykla et al. (2007) pointed out that although it has a wide distribution in

Maritime Antarctica landscapes, there is a preference for old rookeries and their vicinities, gradually reducing its frequency away from these nutrient-rich spots. Overall, mixed plant communities are preferably associated with ornithogenic sites (Simas et al. 2008), and are probably dependent on high nutrient status, as observed in P13, P16 and P12.

#### c) Fruticulose and Foliose Lichen Sub-Formation

Macrolichens communities are widespread in extensive areas from sea level to high inland, on dry stables or exposed soils (Longton, 1988). Lichens have a low biomass, but are widely distributed across Potter Peninsula Landscapes, where they form dense stands on rocky cryoplanation surfaces, felsenmeer and stable slopes (Figure 2). They account for the initial stages of rock and soil weathering, and some organic matter arising from decomposing lichens are found in subsurface, especially on the surface of large rock fragments. Soils under almost pure stands of *Usnea* sp. or mixed with *Himantormia lugubris* and *Umbilicaria* are observed in Potter Peninsula, probably forming the most extensive communities of all King George Island according to the authors account (P3, P1, P7 e P8) (figure 2c).

They cover more than 0.5 km<sup>2</sup> of ice free area. In the nearby Barton Peninsula, Kim et al. (2007) observed similar widespread development of such lichens communities on rocky surfaces distant from ornithogenic spots, consistently with our observations (figure 2c). They eventually form associations with mosses in wether sites.

#### d) Fruticulose Lichens/Short Moss Turf and Cushion Sub-Formation

These communities occur on soils with some degree of ornithogenic influence, from abandoned rookeries at Stranger Point, marine terraces and mostly at elevated areas with stable, well drained soils (P4, P7, P8) (Figure 2d). They represent the larger subformation mapped in the present work, being characterized by a mixed fruticulose lichens and short moss turf and small cushion subformation. Occur from driest soils to rather moist habitats, acid substrata (Longton 1988). Association basically with *D. antarctica*; mosses (*Sanionia*) and *Prasiola crispa* (figure 6).

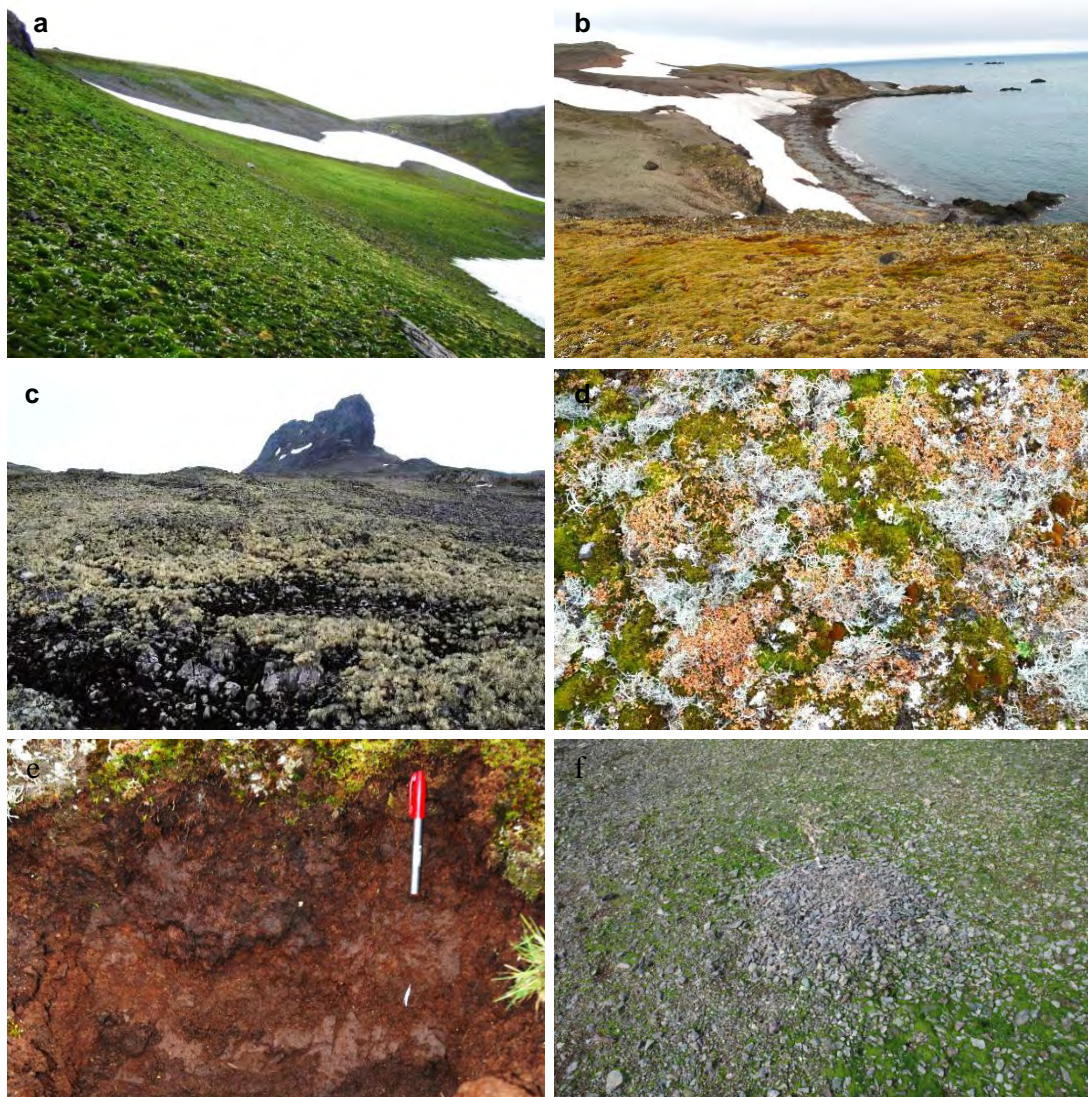


Figure 2: (a) Moss Turf Carpet in Stranger Point talus slope, covered by *Sanionia* and *Polytricales*. (b) *D. antarctica* grass tuff around Giant Petrel nests in Petrel Rock. (c) Crioplanation surface covered by Fruticulose Lichens *Usnea* sp and *Himantormia* on skeletal soils. (d) Plant communities of Mixed Fruticulose Lichens and *Sanionia* Moss tuffs in ornitogenic soils (P15). (e) P17 (Histic Leptic Cryosols (Ornithic, Arenic)) formed by humus cummulation around Giant Petrel nest. (f) *Prasiola crispa* mat around bird nest (P16).

#### e) Macroscopic Algae Sub-Formation

The green alga *Prasiola crispa* is conspicuous in pebbly soils adjacent to Stranger Point penguin rookeries and adjacent bird nests (figure 2f), since it tolerates local trampling and occasional manuring, low pH and high N

availability (Longton 1988). It also forms assemblages with ornithocoprolous lichen *Mastodia tessellata*, a lichenised form of *P. crispa*, which occurs preferably on large rock surfaces found within the same area. The typical pedoenvironments are P12 and P16.

### *3.2 Vegetation mapping*

The infra-red wave band (0,76 to 0,90 mm) allowed to distinguish vegetated areas under different photosynthetic activities, compared with other types of surfaces (e.g. snow, exposed soil, water bodies). The normalized difference vegetation index (NDVI) offers a clear distinction between the surfaces according to different spectral response of the infrared and red bands (Fretwell et al. 2011)

Figure 3 shows a supervised classified map, which produced a very satisfactory kappa index (0.97). Although we used a high resolution image, a reliable automated classification of the vegetation was constrained by local microhabitats and the high heterogeneity of Antarctic plant communities, whose composition and distribution is controlled by interaction of a wide range of factors and processes.

At Potter peninsula about 23% of the ice-free areas are vegetated (table 3), widely distributed across the landscape. The most rich and diverse flora is found in the oldest exposed areas developed after the Holocene deglaciation, as well as ornithogenic landscapes. Recently exposed grounds, such as stable moraines, are being progressively occupied by patchy of lichens and mosses communities.

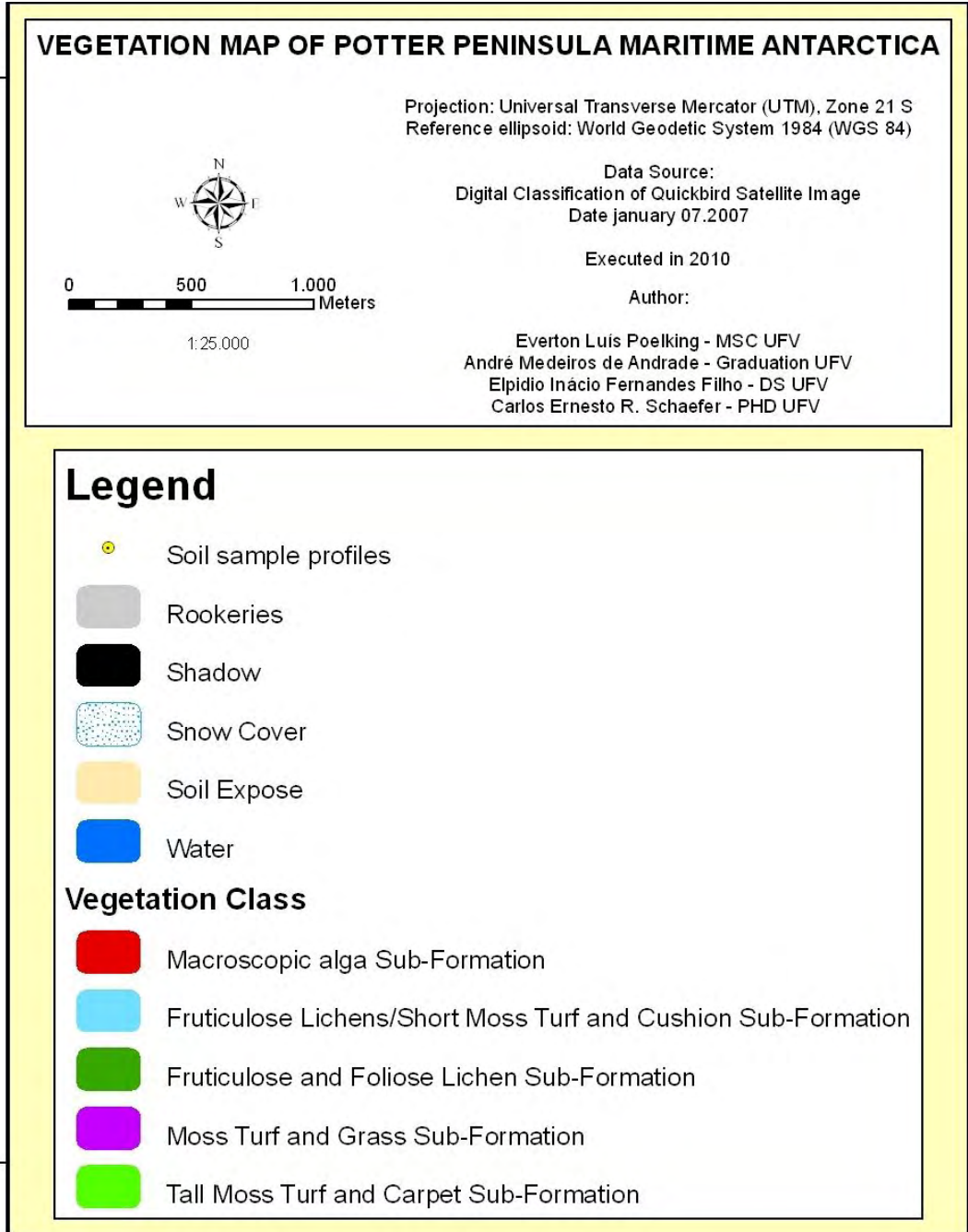
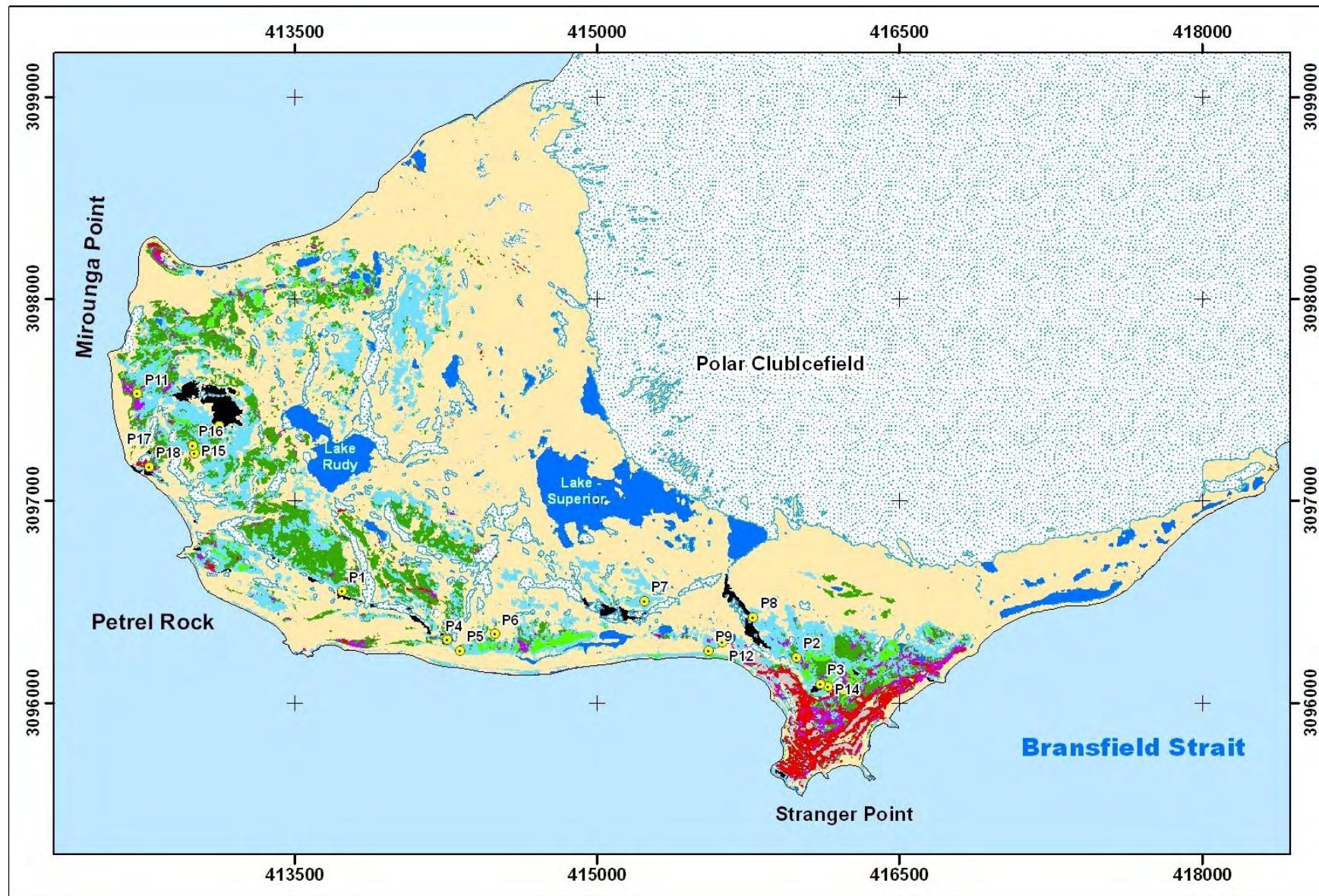


Figure 3: Vegetation map of Potter Peninsula, Maritime Antarctica.

Table 3: Plant communities classes and their relative areas in Potter Peninsula.

Thematic class	Areas	
	(ha)	%
Tall Moss Turf and Carpet Sub-Formation	9,46	1,31
Moss Turf and Grass Sub-Formation	9,23	1,28
Fruticulose and Foliose Lichen Sub-Formation	52,11	7,24
Fruticulose Lichens/Short Moss Turf and Cushion Sub-Formation	81,26	11,29
Macroscopic alga Sub-Formation	12,17	1,69
Rookeries	4,4	0,61
Bare Soil	461,57	64,11
Water bodies	43,94	6,1
Snow cover	39,05	5,42
Shadow	6,77	0,94
Total	719,96	100

### *3.3 Soil-Plant and landscape relationships*

In Maritime Antarctica, soils are formed predominantly from basaltic and andesitic, volcanic rocks. There, physical weathering dominates, although chemical alteration of parent material also occurs, with the mineral substrate being an important source of K and Ca (Simas et al. 2008). Waterlogged areas normally show higher contents of soluble nutrients due to their accumulation via melting water channels during the summer. Ornithogenic influence results in high inputs of N and P mainly due to guano deposition, as described by Simas et al. (2008). Soils developed from volcanic rocks at Potter peninsula show variable values of bioavailable macro and micro nutrients (Table 4).

Table 5 shows the correlation between soil available nutrient and total amounts in the dry matter. We observed a trend of increasing magnification of P in Mosses PLANTS compared with soil P. Similarly, the same was observed for Cu in all plants and soils (figure 4).

Table 4: Exchangeable nutrient concentration at surface horizons (0-10 cm) for the studied soils

Profile	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu	pH	>2 mm
	dag/kg	----- mg/dm <sup>3</sup> -----					-----		H <sub>2</sub> O	%	
P1	0,31	66,1	95	496	264	58,89	0,58	6,77	2,32	5,58	55
P2	0,48	158,2	187	988	724,8	548,84	5	13,3	10,87	5,19	44
P3	1,09	443,1	298	384	307,2	171,4	1,17	24,27	5,28	4,51	93
P4	0,48	554,8	154	246	196,8	399,01	0,82	2,77	6,07	4,99	42
P5	0,04	150,9	111	2240	1026	114,11	0,71	38,18	7,08	6,13	64
P6	0,72	419,2	125	220	102	280,46	1,99	3,79	7,19	4,33	80
P7	0,42	68,5	117	510	373,2	256,22	5,32	18,93	11,78	5,67	74
P8	0,17	705	157	876	619,2	176,58	0,91	21,67	10,27	5,98	52
P10	0,37	44,3	161	1614	526,8	135,95	0,81	82,31	7,21	6,26	49
P11	0,08	127,7	124	1716	385,2	88,71	0,64	14,27	6,17	6,14	46
P12	0,14	218,5	232	2384	446,4	67,5	0,95	36,80	7,37	5,06	41
P13	0,44	757	213	268	64,8	546,2	3,6	6,4	14,9	4,7	66
P14	0,56	829,1	193	516	106,8	421,5	7,35	16,82	17,65	4,42	81
P15	1,29	62,4	103	458	260,4	292,79	1,59	6,05	3,65	5,01	59
P16	0,76	617,8	248	436	214,8	357,4	4,48	3,9	2,14	4,52	91
P17	1,28	549	43	150	38,4	255,08	1,23	2,29	2,06	4,42	0
P18	0,01	118,9	82	140	60	267,83	0,91	11,31	10,35	5,18	1

P, K, Ca, Mg Fe, Zn, Mn and Cu: Melich 1 exchangeable; N: Kjendal method

*D. antarctica* shows the highest values of all elements, possibly because they are closely associated with ornithogenic soils. The mean total values of Ca, Mg, Fe, Zn and Mn are similar to those reported in previous works in maritime Antarctica (Table 6). However, the values of P, K, Cu obtained in the present study are higher than those reported in the literature (Simas 2006; Schaefer et al. 2004; Poblet et al. 1997; Allen et al. 1967; Tatur et al. 1997). In general, most elements have a wide range of values depending on site characteristics and age of plant communities.

Due to its distribution associated with seasonal or permanent water accumulation, higher concentration of Fe was detected in the dry matter, with lower values of K, Mg, Fe, Mn and Cu compared with places elsewhere studied in Maritime Antarctica. Only Ca has greater values in mosses.

As expected for a higher plant, *D. antarctica* showed the highest mean values for Ca, Zn, Fe and Mn, whereas P, K, Mg and Cu were comparable to reference values from elsewhere in the same region (Simas 2006; Schaefer et al. 2004; Poblet et al. 1997).

Table 5: Range and mean values of macro e micro elements in lichens, mosses and *D. antarctica* of ice-free areas at Peninsula Potter

	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu
	----- % -----					-----mg/kg-----			
Lichens									
Minimum	0,59	0,04	0,09	0,05	0,04	0,11	6,4	13,5	0,1
Maximum	1,5	0,22	0,26	0,86	0,32	1,86	40,1	277,7	90,1
Mean n= 7	0,99	0,1	0,17	0,53	0,13	0,54	19,8	84	25,3
standard deviation	0,31	0,07	0,05	0,28	0,09	0,6	11,1	91,6	32,8
CV%	31	68,4	30,7	53,4	76,5	112,7	56,3	109,0	129,3
Mosses									
Minimum	0,71	0,05	0,11	0,4	0,04	0,04	6,8	17,4	0,1
Maximum	1,96	0,36	0,34	1,41	0,39	2,38	53,7	464,4	122,1
Mean n = 12	1,22	0,17	0,19	0,85	0,26	1,26	33,9	209,7	37,6
standard deviation	0,41	0,09	0,06	0,32	0,11	0,8	14,8	119,6	33,3
CV%	33,8	56,3	33,9	37,0	42,1	63,2	43,7	57,0	88,7
Grass									
Minimum	1,5	0,22	0,15	0,25	0,17	0,78	35,8	123,4	12,2
Maximum	2,6	0,3	0,77	1,6	0,40	2,59	69,2	548,8	71,1
Mean n= 4	1,87	0,27	0,37	0,79	0,28	1,64	49,3	277,3	44,2
standard deviation	0,52	0,03	0,29	0,58	0,09	0,79	14,1	197,1	29,8
CV%	28,1	13,2	77,0	73,4	34,2	48,2	28,7	71,1	67,4

Table 6: Mean values of macro and micro nutrients reported in the literature for Maritime Antarctica.

Reference	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu
	----- % -----					-----mg/kg-----			
Lichens									
Admiralty Bay a)		0.05	0.12	0.87	0.05	0.09	8,4	10,1	9,1
Admiralty Bay b)		0.07	-	1.41	0.22	1	23,9	138,8	19,3
Potter c)		-	-	-	-	0.07	10,3	30,2	4,5
Mosses									
Admiralty Bay a)		0.22	0.33	0.75	0.57	1.58	43,7	301,4	58,1
Admiralty Bay b)		0.17	-	0.67	0.53	1.8	32,8	315,9	40,7
Potter c)		0.68	0.61	0.39	0.3	-	-	-	-
Signy d)		0.23	0.38	0.47	0.5	-	-	-	-
Grass									
Admiralty Bay a)		0.21	0.32	0.52	0.43	0.8	42,8	265,9	45,6
Admiralty Bay b)		0.42	-	0.49	0.27	0.65	38,4	254	13,8
Signy d)		0.25	0.4	0.36	0.44	-	-	-	-
Stranger Point e)	2.5	0.4	1.5	0.2	0.2	0.05	30	60	10

Simas 2006; b) Schaefer et al. 2004c; c) Poblet et al. 1997.d) Allen et al. 1967; e) Tatur et al. 1997

In lichens little correlation with the soil was observed since they develop on rock fragments, that are not conditional by soil underneath. However, the

biomass can influence the deposition of elements in the soil, in other hand, lichens can interfere in soil, but not vice versa. Also, lichens are good bioindicators of air pollution such as heavy metals (Bargagli et al. 1995; Simas 2006), because of their uptake of the elements dissolved in rain water or snow melting.

Table 7: Correlation between soil bioavailable nutrient contents and total amounts in the dry matter of mosses, at Potter peninsula.

	N(m)	P(m)	K(m)	Ca(m)	Mg(m)	Zn(m)	Fe(m)	Mn(m)	Cu(m)
N(s)	0,34	-0,06	-0,49	-0,06	0,06	0,09	-0,22	0,05	-0,17
P(s)	0,52	<b>0,63</b>	0,17	0,26	0,12	0,49	-0,03	-0,05	0,45
K(s)	-0,28	0,09	0,16	0,47	0,33	0,47	0,52	0,52	0,35
Ca(s)	-0,28	-0,19	0,09	0,25	0,28	0,06	0,31	0,39	0,11
Mg(s)	-0,36	-0,30	0,14	0,38	0,32	0,09	0,37	0,45	0,05
Zn(s)	<b>0,64</b>	<b>0,70</b>	-0,04	0,04	-0,05	0,44	0,10	-0,11	<b>0,73</b>
Fe(s)	0,56	<b>0,72</b>	0,41	0,03	0,10	0,33	0,08	-0,18	0,31
Mn(s)	-0,24	-0,24	-0,24	0,04	0,13	0,06	0,29	0,48	0,19
Cu(s)	0,43	<b>0,77</b>	0,35	0,15	0,12	0,52	0,42	0,07	<b>0,76</b>

Marked correlations are significant at  $p < 0.05$  N=12. (m) Mosses; (s) Soil

Mosses showed little correlation between the available concentrations with the total plants concentration. Mosses showed increased P concentration with increasing P, Zn, Cu and Fe availability in the soil. According to Schaefer et al. (2004b) bryophytes are adapted to environments with higher humidity, which can be either saline or eutrophic. The humic horizons, formed by the cycling of the biomass of mosses, serve as reservoirs of nutrients in organic colloids (Allen et al. 1967), being dependent on the contribution of the elements via precipitation and snow melt channels. Grass showed a very close relationship with the soil nutrient availability (Table 8).

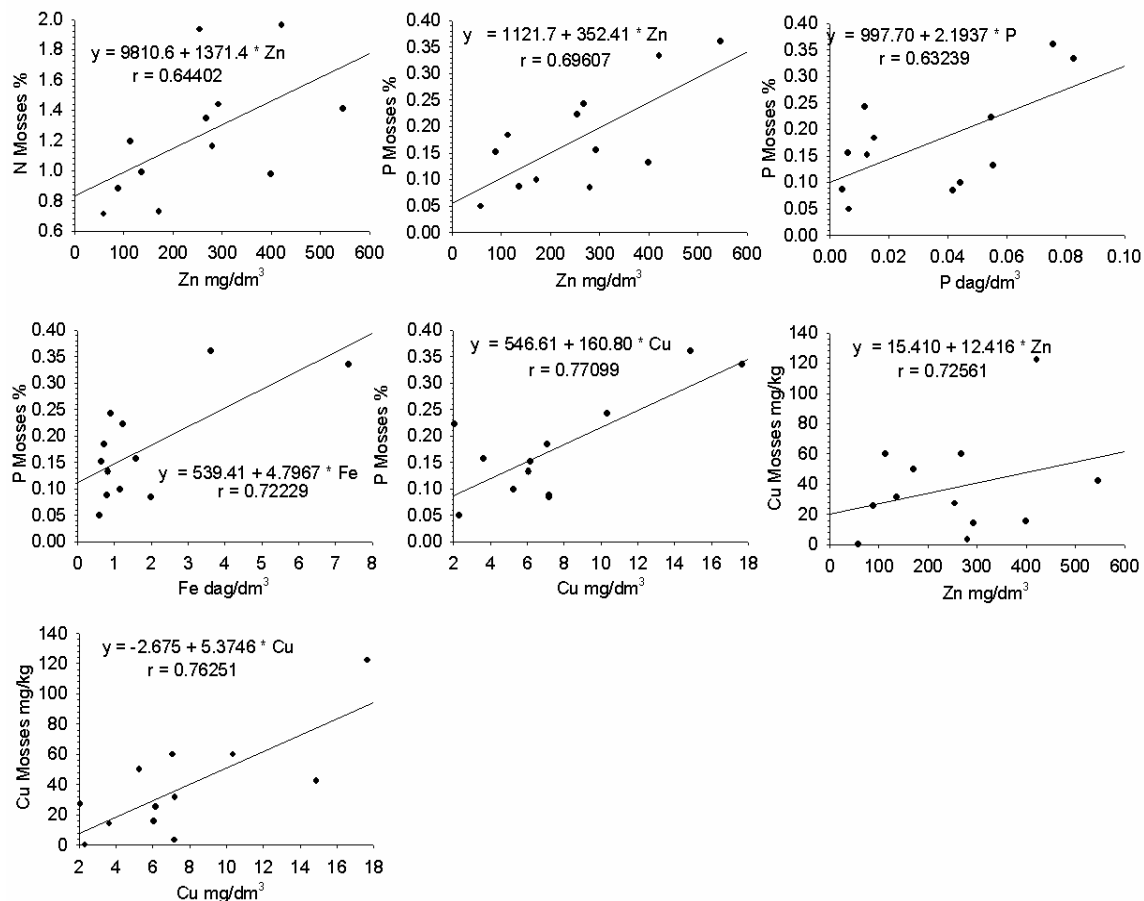


Figure 4: Graphs illustrating the correlation between soil available levels and total amounts in mosses.

Table 8: Correlation between soil available and total plant amounts in *D. antarctica* growing at Potter Peninsula.

	N(g)	P(g)	K(g)	Ca(g)	Mg(g)	Zn(g)	Fe(g)	Mn(g)	Cu(g)
N(s)	<b>0.998</b>	-0.058	0.851	-0.713	-0.844	-0.363	0.203	-0.671	-0.881
P(s)	0.596	0.632	0.173	-0.563	-0.714	-0.667	-0.035	-0.726	-0.884
K(s)	-0.578	0.833	-0.478	0.705	0.598	0.342	0.353	0.517	0.282
Ca(s)	-0.472	0.398	0.030	<b>0.939</b>	0.817	<b>0.918</b>	0.795	<b>0.907</b>	0.515
Mg(s)	-0.511	0.369	-0.005	<b>0.954</b>	0.845	<b>0.925</b>	0.766	<b>0.926</b>	0.558
Zn(s)	0.094	0.713	-0.376	-0.320	-0.388	-0.672	-0.300	-0.532	-0.514
Fe(s)	0.196	0.334	-0.388	-0.631	-0.605	<b>-0.920</b>	-0.646	-0.777	-0.542
Mn(s)	-0.657	0.254	-0.151	<b>0.991</b>	<b>0.934</b>	<b>0.925</b>	0.633	<b>0.979</b>	0.712
Cu(s)	-0.607	0.412	<b>-0.925</b>	0.116	0.206	-0.386	-0.557	-0.048	0.228

Marked correlations are significant at  $p < 0.10$   $N=4$ . (g): Grass (*D. antarctica*); (s) Soil

*D. antarctica* is best developed on nutrient-rich soils, under a more

advanced weathering stage. These plants have an apparent tolerance to high Fe availability, with high amounts of Fe in the biomass. The total amounts of P, Ca, Mg and Mn in the plant biomass of *D. antarctica* showed to be positively correlated with bioavailable levels in soils, although Fe and Zn have shown an opposite trend (Figure 5).

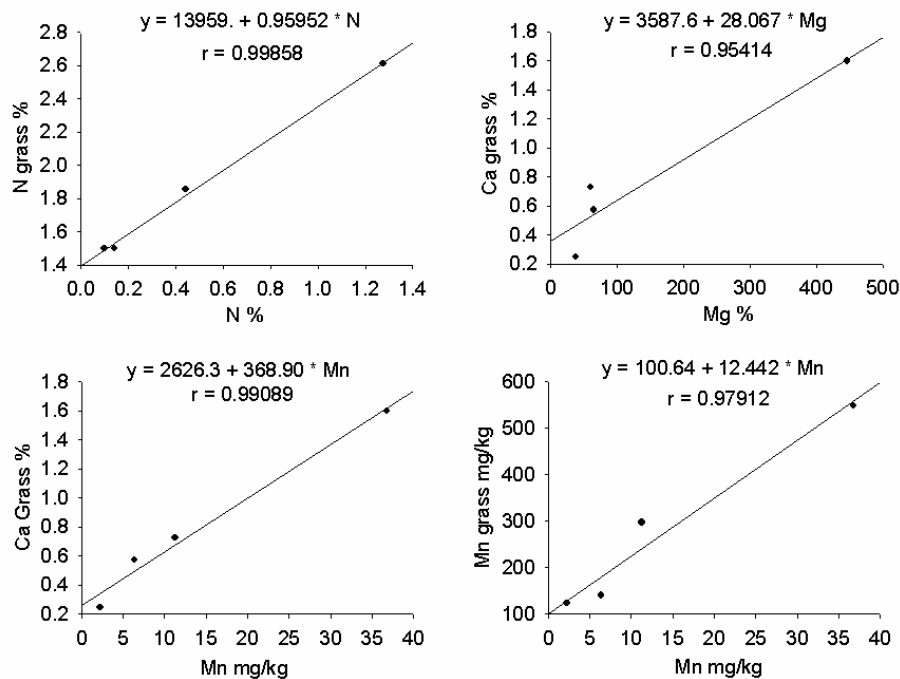


Figure 5: correlation between soil available nutrients and total amount in *D. antarctica*.

Our data suggest that higher concentrate of Fe, Zn, N and P in soil are inversely correlated with K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn and Cu in grass plant. On the other hand, high Ca, Mg Mn, K bioavailable concentration in soil contributes to high uptake of micro elements by *D. Antarctica*. This data confirm previous work at Stranger Poin by Tatur et al. (1997), were the chemical composition of *D. Antarctica* growing in the marginal zone of active roockery showed the highest concentration of N, P, Ca, Zn, and Cu, derived from decomposing guano. Bioaccumulation of metals in mosses and *D. Antarctica* is greatly determining by substrate geochemistry (Simas 2006).

## 4 Conclusions

The relationships between distributions of plant communities in the ice-free areas in Potter Peninsula have a close relationship with geomorphological and pedological attributes; these also influence the chemical composition of plants. The main points are:

1. Plant communities at Potter Peninsula occupy 23% of the ice-free area, occupying different landscape positions, showing decreasing diversity and biomass from the coastal zone to inland areas, where sub-desert conditions prevail;

2. There is a clear dependency between landform and soils with vegetation; soils with greater moisture or poorly drained, acid to neutral pH are favourable for mosses subformations; saline, organic-matter rich ornithogenic soils of former penguin rookeries have greater biomass and diversity, with associations of mosses and grasses; stable felseenmeers and flat rocky cryoplanation surfaces are the preferred sites for *Usnea* and *Himantormia lugubris* lichens, at the highest level;

3. Lichens subformations cover the largest vegetated area, with varying association with mosses.

## 5 References

- Allen SE, Grimshaw HM, Holdgate MW (1967) Factors Affecting the Availability of Plant Nutrients on an Antarctic Island. *The Journal of Ecology*, 55:381-396
- Bargagli R, Brown DH, Nelli L (1995) Metal biomonitoring with mosses: Procedures for correcting for soil contamination. *Environmental Pollution*, 89:169-175
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária –EMBRAPA (1997) Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro
- Francelino MR, Schaefer CEGR, Simas FNB, Fernandes Filho EI, Souza JJJ de, Costa LM da (2011) Geomorphology and soils distribution under

- paraglacial conditions in an ice-free área of Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. *Catena* 85:194–204
- Fretwell PT, Convey P, Fleming AH, Peat HJ, Hughes KA (2011) Detecting and mapping vegetation distribution on the Antarctic Peninsula from remote sensing data. *Polar Biology* 34:273-281
- Lognton RE (1988) Briology of polar bryophytes and lichens. Cambridge University Press, Cambridge.
- Lusky JC, Vallverdú RA, Gómez Izquierdo DR, del Valle RA, Felske H (2001) Mapa digital de península Potter isla 25 de Mayo (King George Island). *Instituto Antártico Argentino*.
- Kim JH, Ahn Y, Lee KS, Chung H, Choi H (2007) Vegetation of Barton Peninsula in the neighbourhood of King Sejong Station (King George Island, maritime Antarctic). *Polar Biol* 30: 903 – 916.
- Kraus S, del Valle R (2008), Geological map of Potter Peninsula (King George Island, South Shetland Islands, Antarctic Peninsula) *Instituto Antártico Chileno, Punta Arenas, Chile & Instituto Antártico Argentino, Buenos Aires, Argentina*, doi:10.1594/PANGAEA.667386
- Michel RFM Solos Criogênicos e Ornitogênicos da Área de entorno da Ponta Llano, Antártica Marítima, (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- Michel RFM, Schaefer CEGR, Dias L, Simas FNB, Benites V, Mendonça ES (2006) Ornithogenic Gelisols (Cryosols) from maritime Antarctica: pedogenesis, vegetation and carbon studies, *Soil Sci. Soc. Am. Journal* 70:1370-1376
- Myrcha A, Tatur A (1991) Ecological role of current and abandoned penguin rookeries in the land environment of the maritime Antarctic. *Pol Polar Res* 12:3-24.
- Øvstedal DO, Lewis-Smith RI, (2001) Lichens of Antarctica and South Georgia: guide to their identification and ecology. Cambridge University Press, Cambridge
- Santana, R, M. Mapeamento de geounidades do meio físico e biótico em área da Antártica Marítima 2006 (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa

- Pereira AB, Spielmann AA, Martins MFN, Francelino MR (2007) Plant Communities From Ice-Free Areas Of Keller Peninsula, King George Island, Antarctica. *Oecologia Brasiliensis*, 11:14-22.
- Poblet A, Andrade S, Scagliola M, Vodopivec C, Curtosi A, Pucci A, Marcovecchio J, (1997) The use of epilithic Antarctic lichens ( *Usnea aurantiacoatra* and *U antarctica*) to determine deposition patterns of heavy metals in the Shetland Islands, Antarctica *The Science of the Total Environment* 207:187-194.
- Schaefer CEGR Pereira AB, Francelino MR, Fernandes Filho EI, Simas FNB, Costa L, Oliveira AC Comunidades vegetais na Península Keller: Ecologia e Padrões de Distribuição In: Schaefer CN, Francelino MR, Simas FNB, Albuquerque Filho MR de (Ed). *Ecossistemas costeiros e monitoramento ambiental da Antártica marítima: Baía do Almirantado, Ilha Rei George*. Viçosa: NEPUT. pp: 47-58.
- Schaefer CN, Francelino MR, Albuquerque Filho MR, Simas FNB, Costa L, Pereira V, Guerra M, Gomes M, Indicadores biogeoquímicos de metais pesados e elementos maiores em solos e coberturas vegetais na península Keller, Antartica In: Schaefer CN, Francelino MR, Simas FNB, Albuquerque Filho MR de (Ed). *Ecossistemas costeiros e monitoramento ambiental da Antártica marítima: Baía do Almirantado, Ilha Rei George*. Viçosa: NEPUT. pp: 47-58.
- Simas FN (2006) Solos da Baía do Almirantado, Antártica marítima. (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Simas FNB, Schaefer CEGR, Melo VF, Albuquerque-Filho MR, Michel RFM, Pereira VV, Gomes MRR, Costa LM (2007) Ornithogenic cryosols from Maritime Antarctica: phosphatization as a soil forming process. *Geoderma* 138:191–203
- Simas FNB, Schaefer CEGR, Albuquerque Filho MR, Francelino MR, Fernandes Filho EI, Costa LM, (2008) Genesis, properties and classification of Cryosols from Admiralty Bay, Maritime Antarctica. *Geoderma* 144:116–122
- Smith RI, Gimingham CH (1976) Classification of cryptogamic communities

- in the Maritime Antarctic. *Br Antarct Surv Bull* 43:25–47
- Smykla J, Wolek J, Barcikowski A, (2007) Zonation of Vegetation Related to Penguin Rookeries on King George Island, Maritime Antarctic. *Arctic Antarctic and Alpine Research*, 39:143 – 151
- Tatur A Myrcha A (1989) Soils and Vegetation in Abandoned Penguin Rookeries (Maritime Antarctic) *NIPR, Symp. Polar Biol.* 2:181-189
- Tatur A (1989) Ornithogenic soils of the maritime Antarctic *Pol. Polar Res* 4:481–532.
- Tatur A, Keck A (1990) Phosphates in ornithogenic soils of the maritime Antarctic. *NIPR, Symp. Polar Biol.* 3:133-150
- Tatur A, Myrcha A, Niegodziz J (1997) Formation of abandoned penguin rookery ecosystems in the Maritime Antarctic. *Polar Biol* 17:405-417

## **Variações da frente da geleira Polar Club, Península Potter, Ilha Rei George entre 1986 e 2010**

**Abstract.** Environmental changes, especially in the cryosphere, can result in broad global consequences. Studies of glaciers from Polar Regions are strategic as sensitive areas to climate changes. We analyzed the intra-seasonal variability of air temperature and correlated with the changing rates of Polar Club Glacier retreat, at Potter Peninsula, King George Island. We used a series of nine scenes of Landsat satellite images and atmospheric temperature data from 1986 to 2010. The results showed a consistent retreat over the past 22 years of the Polar Club Glacier front, resulting in an increase of 120,47 ha of ice-free area in Potter Peninsula alone. We further revealed that during the period of 25 years studied there was increase in temperature of 1,64 °C in the autumn temperatures, 1,58 °C in spring time temperatures, 0,7 °C in winter and 0,47 °C in summer. The influences of atmospheric temperature at the glacier's retreat demonstrate delay of about one year. Despite evidence of increased average air temperatures in recent decades in the region, the downturn in front of Club Polar glacier, with the series of atmospheric temperatures is not sufficient to explain the variation observed for the Polar Club glacier front on Potter peninsula. This phenomena may be associated with re-accommodation of stresses of the ice sheet across King George, changes in rainfall rates and climate conditions.

### **1. Introdução**

A região Antártica Marítima tem sofrido alterações em seus ecossistemas terrestres, além dos glaciares devido às mudanças climáticas (Braun e Gossmann, 2002). A temperatura média do ar na superfície do planeta aumentou 0,06 °C por década durante o século XX (Houghton, et al., 2001), sendo que nos anos de 1979 a 1998, o aumento foi de 0,19 °C (National Research Council, 2000). A região da Península Antártica foi a que experimentou o maior aumento das temperaturas nas últimas décadas em

todo planeta (Chwedorzewska, 2009), com média em torno de 2,5 °C desde 1945 (Vaughan et al, 2001; Kejna 2003; Turner et al, 2005). Na ilha Rei George, estudos apontam para uma elevação de 1,08 °C na temperatura média entre 1945 e 1995 (Ferron et al, 2004).

A região da Antártica Marítima representa uma área de alta sensibilidade às alterações climáticas. Encontra-se em posição climática próxima do limite térmico de ocorrência de permafrost na Antártica, com temperaturas médias anuais ligeiramente inferiores a 0 °C, e influência marinha (Braun & Raul, 2000; Arigony Neto et al, 2001; Braun e Gossmann, 2002; Vieira et al, 2010) (Figura 1). Por esta razão, pequenos incrementos na temperatura podem acarretar em alterações nos ambientes com consequências ao ecossistema das áreas livres de gelo (Arigony Neto et al, 2001).

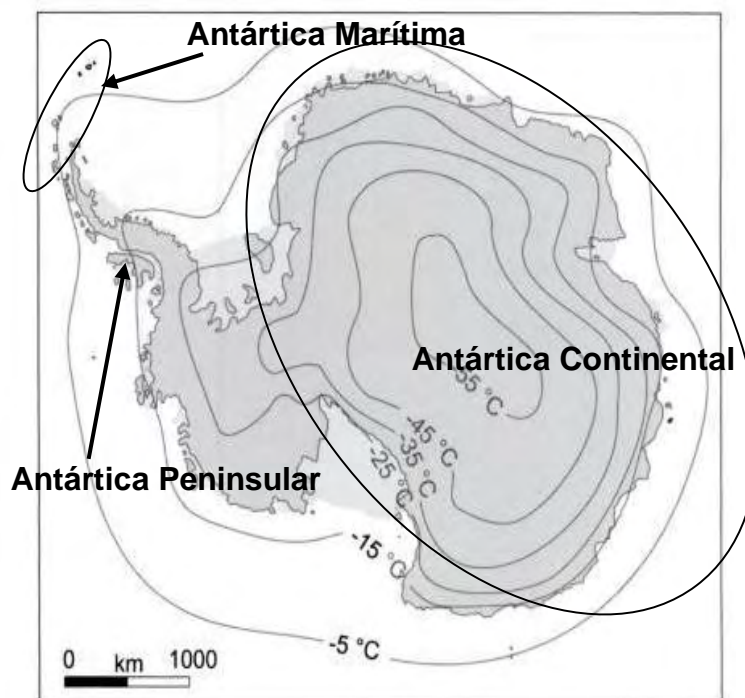


Figura 1: Temperaturas médias anuais da superfície nas regiões da Antártica (°C) (Fonte Braun e Gossmann, 2002)

Slaymaker & Kelly (2007), alertam que o aumento das áreas livres de gelo decorrentes da alteração do clima ocasiona uma série de

transformações locais, como diminuição do albedo das superfícies, fazendo com que os solos absorvem maior energia solar, o que pode afetar o microclima do solo, alterando a distribuição da cobertura vegetal, migração de espécies animais e de aves. Além disso, o degelo do *permafrost* gera alterações no regime hídrico dos solos, liberação de metano e gases de efeito estufa que contribuem para elevação das temperaturas no planeta. Áreas livres de gelo recentes ficam disponíveis para serem habitadas por plantas e provêm novos habitats para fauna (Simões et al. 2004; Bremer et al, 2004; Braun e Gossmann, 2002; Convey, 2006). Esta mudança do clima traz conseqüências para a biota nesta região, como alteração nas taxas de crescimentos, invasão e colonização acidental de espécies exóticas trazidas pelo homem (Convey, 2006).

As mudanças na circulação atmosférica na região afeta também os sistemas de geleiras, influenciando no balanço de massa glacial, desencadeada pelas condições meteorológicas prevalecentes (Braun e Gossman, 2002). Oerlemans e Fortuin (1992) sugerem que as geleiras em climas marítimos são mais sensíveis às mudanças climáticas do que as geleiras de climas com características continentais.

Mapeamentos obtidos por fotografias aéreas, imagens de satélites e levantamentos no campo, comprovam o processo de retração das frentes de geleiras ao longo das últimas décadas na Antártica Marítima, como potencial influência das mudanças climáticas regionais (Park et al, 1998; Arigony Neto et al, 2001; Braun e Gossmann, 2002; Bremer et al, 2004). Dados mostram uma tendência de retração das geleiras nas Shetlands do Sul na ordem de 0,01 a 0,5 km<sup>2</sup> por década (Braun e Gossmann, 2002). Em toda ilha Rei George foi detectado uma redução de 7,7% (3,55 km<sup>2</sup>) na sua área de gelo (Braun et al, 2001), expondo grandes áreas de solos e sedimentos subglaciais, como conseqüência do aumento das temperaturas médias anuais.

Birkenmajer (1998), em mapeamento realizado em 1983, constatou que a geleira sobre Potter encontrava-se em franco retrocesso. Para Park et al, (1998), a diminuição de frentes de glacial na baía Potter podem ser resultado do rápido aumento das temperaturas nas ultimas décadas.

O processo de retração das geleiras em toda Rei George indicam que os parâmetros de balanço de massa das geleiras ocorreram, ou ainda estão ocorrendo, onde a ablação é o principal fator de perda de massa (Braun e Gossmann, 2002).

Este trabalho consistiu na análise multitemporal de imagens de satélites, para identificar alterações na frente da geleira Polar Club, relacionadas com as variações intra-sazonais de temperatura do ar na Península Potter, Ilha Rei George no período de 1986 a 2010.

## **2. Material e Métodos**

### **2.1. Caracterização da Área de Estudo**

A geleira Polar Club pertence ao manto de Gelo Warsawa, estendendo-se a face sul, com parte de sua frente de geleira terminada sob a Península Potter e parte sobre o estreito de Bransfield (Figura 3). Possui uma área aproximada de 28,9 km<sup>2</sup> (Braun & Gossmann, 2002).

O clima da Ilha Rei George é muito influenciado pelos movimentos dos ciclones de oeste para leste, e segundo a classificação de Köppen é de regime ET, polar tipo tundra, com temperatura média anual de -2,8 °C, com variações no período do verão de -1,3 a 2,7 °C e no inverno de -15,5 a -1,0 °C (Ferron et al, 2004). Ocorre com frequência sucessão dos centros de baixa pressão, com a atividade dos ciclones que trazem ar mais quente e úmido do estreito de Drake, o que favorece a ocorrência de chuvas, chuviscos e neve durante o verão (Setzer et al, 2004). Essa região revela características bem marcadas de clima periglacial na zona litorânea, com verões curtos e temperaturas médias anuais baixas (Setzer et al, 2004). Durante o verão, devido à elevação da temperatura, é ocasionado um intenso processo de degelo que provém abastecimento de água aos lagos e drenagens.

### **2.2 Processamento das imagens de satélites**

#### **2.2.1 Imagens de satélites**

As imagens utilizadas no trabalho foram obtidas no site

[www.glovis.usgs.gov](http://www.glovis.usgs.gov), totalizando 11 imagens dos sensores TM dos satélites Landsat 5 e Landsat 7. A Figura 2 mostra o acervo de imagens usadas para a elaboração do trabalho.

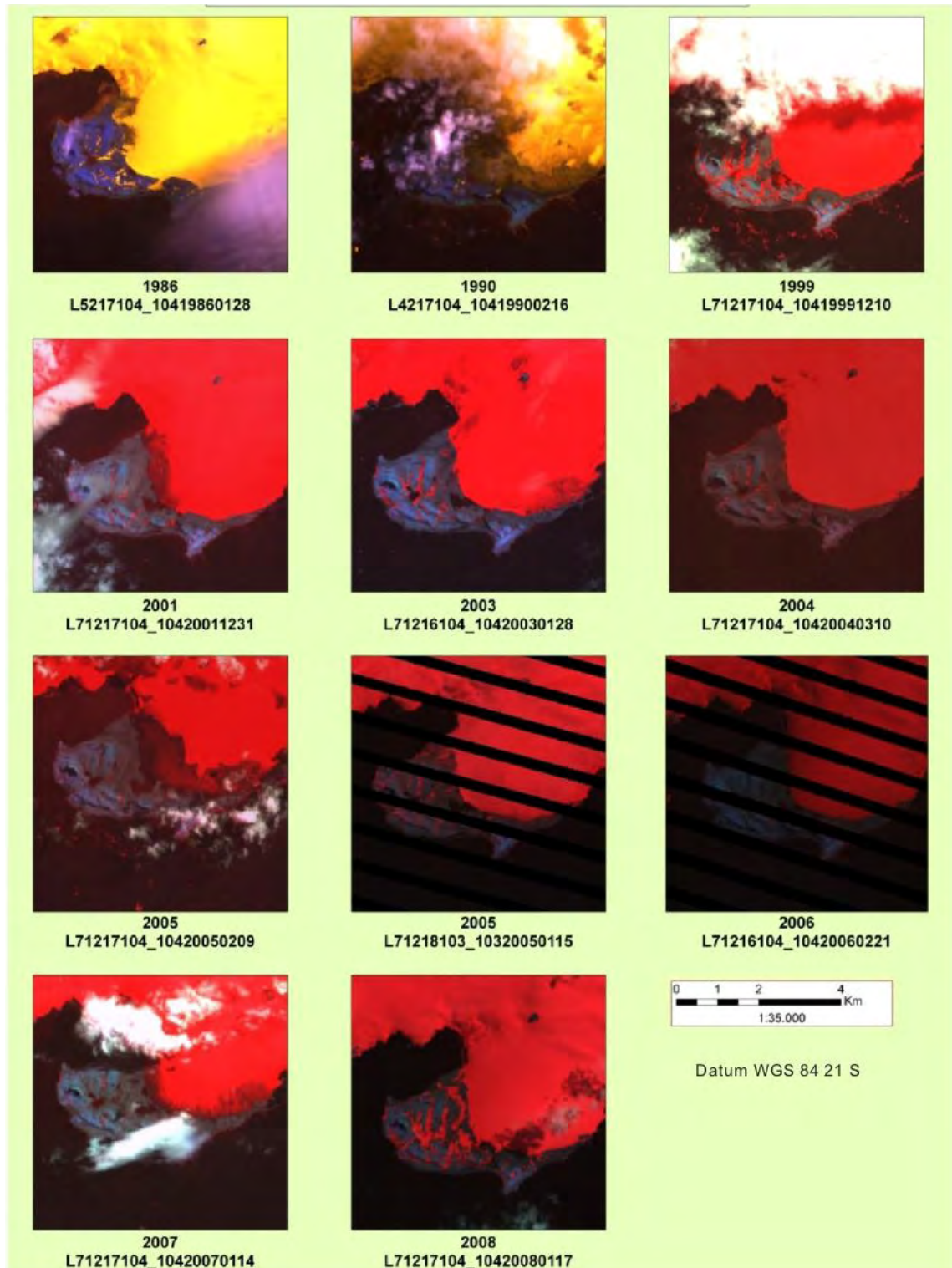


Figura 2: Acervo de imagens de satélites.

A dificuldade de se conseguir boas imagens é devido à elevada porcentagem de cobertura de nuvens ou alguma falha na imagem, o que impede o sensor de registrar a resposta espectral refletida pela superfície. Além disso, em maio de 2003 o Corretor de Escaneamento Linear (Scan Line Corrector - SLC) falhou no sensor ETM+ do satélite Landsat 7, a partir de então as imagens aparecem com falhas sistemáticas em faixas sem informação na imagem, o que limita em parte sua utilização. Devido a isto, foram selecionadas nove imagens digitais do satélite Landsat que a partir das quais foram delineadas as taxas de variação da geleira Polar Club (Tabela 1).

### 2.3. Classificação e delineamento da variação na frente da geleira Polar Club

As imagens foram georreferenciadas a partir de pontos coletados a campo com GPS e do mapa planialtimétrico de Potter, escala 1:10000 (Lusky et al, 2001). As áreas livres de gelo foram extraídas por meio da classificação supervisionada das imagens Landsat com as bandas 3, 4 e 5 (bandas vermelha, infravermelha próxima e infravermelha média respectivamente), utilizando-se o classificador Maxver do *software* IDRISI. Utilizou-se como referência o limite da geleira no ano de 1986 como base para as análises de variabilidade. Assim, as taxas de variação da frente de geleira dos anos subseqüentes são referentes à diferença em relação ao limite da geleira em 1986.

Tabela 1: Relação das imagens Landsat utilizadas.

Data da imagem	Satélite	Sensor	Composição de bandas utilizada	Resolução espacial m
28/01/1986	Landsat 5	TM		
16/02/1990	Landsat 4			
10/12/1999				
31/12/2001				
28/01/2003			3, 4 e 5	30
09/02/2005	Landsat 7	ETM+		
21/02/2006				
14/01/2007				
17/01/2008				

## 2.4 Dados meteorológicos e imagens de satélites

A série temporal diária dos dados meteorológicos compreende o período de janeiro de 1986 a dezembro de 2010 obtidos pelas Estações Meteorológicas da Base Jubany e Base Frei, estão disponíveis no site [www.tutiempo.net](http://www.tutiempo.net).

### 2.4.1 Preenchimento dos dados faltantes

De maneira geral, os dados provenientes da Base Jubany apresentaram alguns dias com dados faltantes. Os dias faltantes foram preenchidos a partir de correlação entre dados meteorológicos de Jubany com Frei. A escolha da utilização dos dados provenientes desta estação deve-se a duas estarem bem correlacionadas, com características da paisagem, altitude e proximidade do mar semelhante. O procedimento para o preenchimento das falhas obedeceu aos seguintes critérios:

a) Interpolação linear: em casos de lacuna em apenas um dia efetuou-se a interpolação linear entre o valor referente ao dia anterior e o valor do dia posterior.

b) Regressão linear: nos casos de lacuna de informações de dois ou mais dias, utilizou-se a equação da reta da regressão entre as estações de Jubany e Frei.

Após esta série de procedimentos todas as lacunas foram preenchidas tornando a base de dados de temperatura atmosférica diária completa e possibilitando a continuidade no processo de padronização.

### 2.4.2- Médias Móveis das temperaturas do ar

Os modelos de médias móveis utilizam como previsão para um determinado período no futuro a média das observações passadas, com base no cálculo a seguir:

$$X_t = \frac{X_{t-1} + X_{t-2} + \dots + X_{t-n}}{n} \quad (1)$$

Em que  $n$  representa o número de observações (ou janela de observações) incluídas na média  $X_t$ , Os filtros utilizados representam as

janelas de observações, ou seja, quanto maior a janela, maior o efeito do alisamento na curva. Janelas menores mantem a maior variabilidade da série, por outro lado, quanto maior a janela de observação mais retardado será o comportamento da curva em relação a série de dados.

O Erro Quadrático Médio (EQM) é a soma das diferenças entre o valor estimado e o valor real dos dados, dividido pelo número de observações:

$$EMQ = \sum_i \frac{(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n} \quad (2)$$

Em que  $Y_i$  são os dados reais e  $\hat{Y}_i$  os dados estimados na média móvel, e  $n$  o numero de observações.

O EQM serve para avaliar o quanto o gráfico da média móvel distancia dos dados originais, quanto menor o valor melhor seu ajuste.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Variação na frente de geleira Polar Club

O mapa das áreas livres de gelo, contendo os limites da frente de geleira é apresentado na figura 3. Os remanescentes de neve foram agrupados como área livre de gelo, destacados apenas os limites da frente da geleira de cada ano.

Devido a dificuldade de obter-se boas imagens, os valores obtidos de avanço e recuo podem não ser o máximo para o ano em questão, isto porque algumas imagens não correspondem ao estágio máximo de degelo em março do ano subsequente. Desta maneira, os valores obtidos neste trabalho são estimativas aproximadas do limite máximo da frente da geleira. O índice *Kappa* calculado para cada uma das nove imagens classificadas representa o índice de acerto na classificação supervisionada. Os valores foram satisfatórios: 0,72, 0,77, 0,85, 0,91, 0,89, 0,94, 0,88, 0,91 e 0,84 para o ano 1986, 1990, 1999, 2001, 2003, 2005, 2006, 2007 e 2008 respectivamente.

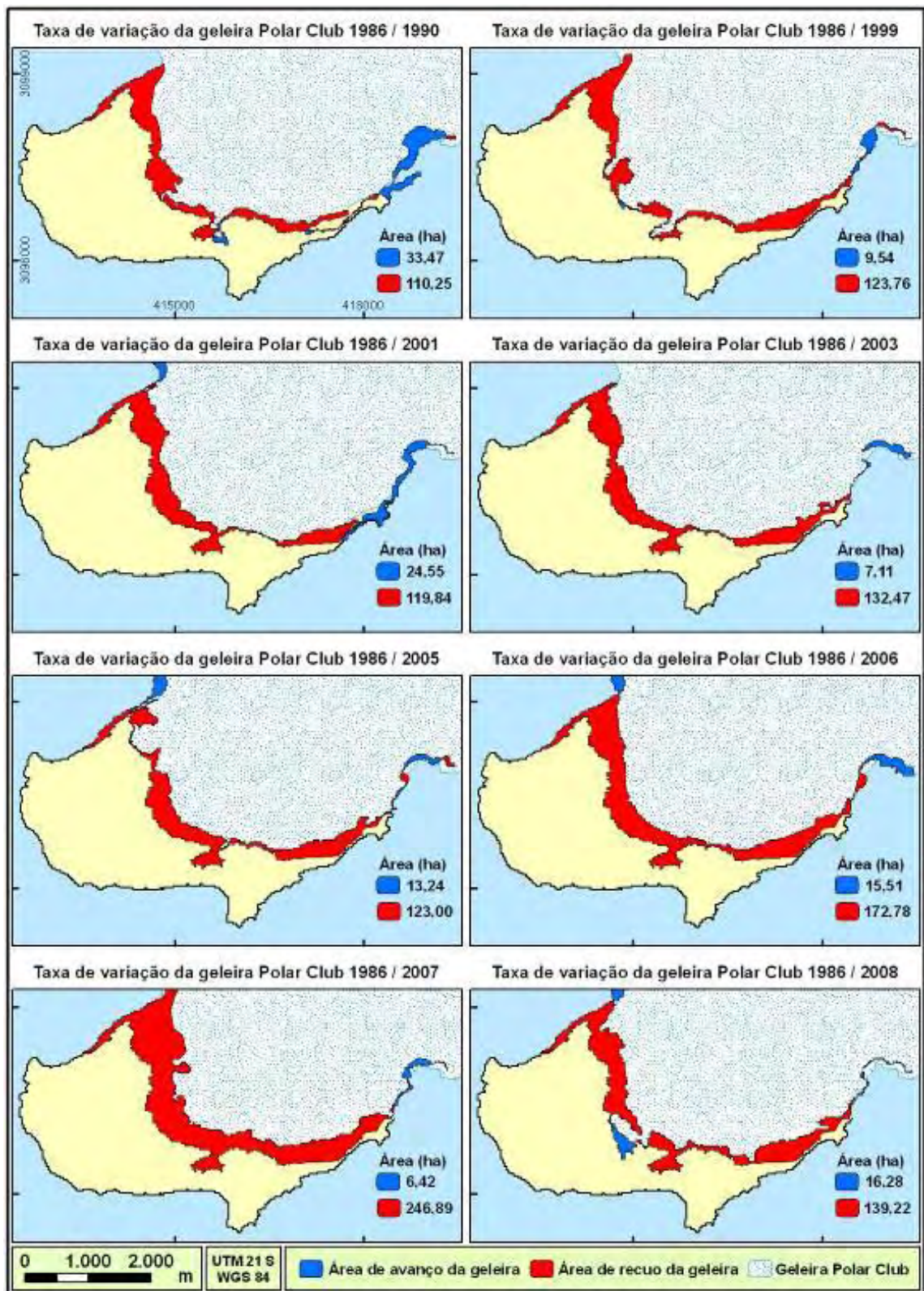


Figura 3: Taxas de variação da geleira Polar Club durante o período de 1986 a 2008.

As taxas de recuo são mais expressivas do que os valores referentes

aos de avanço da geleira. Porém em alguns locais ocorre expansão do limite da geleira, possivelmente devido à reacomodações das massas de gelo, maior precipitação ou não atingir seu máximo degelo. O maior valor de recuo da frente de geleira registrado foi em 2007 (246,89 ha), em contrapartida, o maior valor de avanço foi em 1990 com uma área de 33,47 ha. A área livre de gelo no ano de 1986 era de 616,84 ha, enquanto no ano de 2008 a área livre de gelo atingiu o valor de 737,31 ha.

Com base nestes valores constata-se que ao longo dos últimos 22 anos houve um recuo da frente da geleira Polar Club sobre a superfície de Potter, que resultou no aumento de 120,47 ha, ou seja, a Península Potter aumentou em 19,50% de sua área livre de gelo neste período (Figura 7).

Estes dados corroboram com os apresentados por Braun e Gossmann (2002), que entre os anos de 1956 a 1995 houve uma retração da geleira Polar Club de 10% em sua área. Outras geleiras como a Dragon, Krak, Pandereski e Wanda apresentaram taxas de retração com valores superiores ao apresentado pela geleira Polar Club neste mesmo período, com destaque para as geleiras Dragon e Krak que tiveram retração de 36% e 28% respectivamente de suas áreas (Braun e Gossmann, 2002). Simões et al. (2004) encontraram drásticas reduções em quatro geleiras de pequeno porte na face leste da Península Keller, com redução de 44 a 83% de suas áreas de 1970 à 2000.

### *3.2 Série temporal climática para estação de Jubany*

As temperaturas médias mensais para o período de 1986 a 2010 oscilaram muito com anomalias em vários anos, e temperaturas muito distintas. A amplitude atingiu 12,9 °C para os meses de junho, 10,5 °C para agosto e 9,3 °C para setembro, em contrapartida, nos meses de verão variam muito pouco, 4,4 °C em dezembro, 2,6 °C para janeiro e fevereiro com 2,3 °C. Para melhor compreensão foram calculados os decis, quartis e medianas, para qualificar cada mês em relação à série de dados climáticos dos 24 anos (Tabela 2).

Tabela 2: Temperaturas médias mensais em °C da série de dados da estação meteorológica da Base Jubany, Península Potter, dos anos de 1986 a 2009.

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Out	Nov	Dec	Média
1986	1.7	1.5	1.4	-2.1	-7.3	-7.4	-8.0	-6.5	-4.9	-2.5	-2.2	0.7	-3.0
1987	1.7	1.7	0.6	-3.1	-5.2	-7.0	-13.8	-4.5	-7.0	-2.2	0.5	1.8	-3.0
1988	1.2	2.6	0.2	-1.1	-1.9	-7.7	-4.8	-8.6	-3.5	-3.1	-1.4	0.4	-2.3
1989	1.7	2.6	2.6	-4.9	-0.8	-2.0	-0.5	-2.1	-3.1	-0.5	0.4	1.5	-0.4
1990	2.6	3.0	1.2	-5.2	-5.2	-4.6	-5.8	-5.4	-2.8	-2.1	-0.9	0.9	-2.0
1991	2.6	0.9	-0.2	-2.4	-7.9	-9.2	-6.9	-6.7	-2.8	-3.5	-0.9	0.1	-3.1
1992	2.2	0.0	-1.2	-1.0	-8.8	-8.2	-7.3	-4.4	-2.3	-2.9	-0.5	3.3	-2.6
1993	1.9	2.2	0.4	-1.0	-2.2	-3.9	-3.2	-3.6	-3.4	-1.6	0.5	0.9	-1.1
1994	2.1	1.7	1.0	-1.3	-4.2	-3.8	-10.9	-3.5	-3.1	-5.6	1.3	1.9	-2.0
1995	3.0	2.6	0.4	-1.4	-2.2	-6.6	-12.8	-10.7	-5.9	-0.8	-0.3	1.5	-2.8
1996	2.1	2.9	1.5	-1.5	-2.6	-5.1	-3.6	-4.1	-1.4	-1.4	0.1	1.3	-1.0
1997	3.2	2.2	1.7	-1.7	-1.3	-4.7	-6.5	-5.2	-7.2	-3.1	-2.2	1.7	-1.9
1998	2.9	2.7	1.4	1.2	-1.4	-0.4	-5.8	-6.9	-7.4	-1.6	0.1	1.1	-1.2
1999	2.7	2.4	1.7	1.3	-0.4	-3.9	-3.4	-5.7	-5.6	-1.6	0.9	1.8	-0.8
2000	1.8	2.3	0.9	0.4	-1.3	-2.0	-3.2	-6.6	-5.8	-1.4	-0.4	0.9	-1.2
2001	1.8	0.7	0.3	-2.7	-0.3	-5.1	-6.5	-2.2	-1.9	-0.2	0.5	1.8	-1.1
2002	2.8	3.0	0.2	0.6	-5.7	-9.6	-7.0	-4.2	-2.3	-5.2	-0.9	1.6	-2.2
2003	3.2	2.6	-0.2	-0.7	-2.6	-8.1	-5.4	-1.5	-2.0	-1.8	-1.3	-0.3	-1.5
2004	2.5	2.6	0.9	-1.7	-2.3	-2.7	-3.4	-4.0	-3.8	-2.3	0.2	1.1	-1.1
2005	1.9	2.4	0.5	-1.0	-3.6	-8.1	-6.3	-3.2	-1.8	-0.6	0.1	0.6	-1.6
2006	3.2	2.7	3.0	-0.5	-0.7	-4.1	-4.0	-8.7	-4.5	-0.3	0.2	1.8	-1.0
2007	2.7	2.2	-0.7	-3.8	-4.6	-7.6	-11.7	-4.8	-2.9	-3.4	-1.5	1.3	-2.9
2008	2.0	2.5	1.1	-1.5	-1.5	-3.3	-3.1	-4.4	0.0	-0.3	0.6	1.8	-0.5
2009	2.7	2.1	1.9	-1.6	-2.9	-7.7	-8.6	-8.0	-3.8	-2.1	-1.5	1.1	-2.4
2010	1.1	0.3	0.2	-2.3	-2.4	-1.9	-4.0	-4.1	-2.2	0.3	1.3	0.6	-1.1
Média	2.3	2.1	0.8	-1.6	-3.2	-5.4	-6.3	-5.2	-3.7	-2.0	-0.3	1.2	-1.8
EQ	3.1	2.8	1.8	0.5	-0.7	-2.0	-3.2	-2.6	-1.8	-0.3	0.8	1.9	-0.9
MQ	2.7	2.6	1.4	-1	-1.4	-3.8	-3.6	-4	-2.3	-0.8	0.5	1.8	-1.1
ModQ	2.3	2.5	1	-1.3	-2.3	-5	-5.7	-4.4	-3	-1.7	0	1.4	-1.5
N	2.2	2.4	0.9	-1.4	-2.4	-5.1	-5.8	-4.5	-3.1	-1.8	-0.1	1.3	-1.6
ModF	2.1	2.3	0.8	-1.5	-2.5	-5.2	-5.9	-4.6	-3.2	-1.9	-0.2	1.2	-1.7
MF	1.8	1.7	0.2	-2.3	-4.6	-7.7	-7.3	-6.6	-4.9	-2.9	-0.9	0.9	-2.4
EF	1.7	0.8	-0.2	-3.5	-6.7	-8.2	-11.4	-8.4	-6.6	-3.5	-1.5	0.5	-3.0

Temperatura (°C), Enquadramento na série 1986-2009: Extremamente. frio (EF)=  $t \leq$  Decil 1; Muito Frio (MF)= Decil 1 <  $t \leq$  Quartil 1; Moderadamente Frio (ModF)= Quartil 1 <  $t$  < Mediana; Normal (N)=  $t =$  Mediana; Moderadamente Quente (ModQ)=  $N < t <$  Quartil 3; Muito Quente (MQ)= Quartil 3  $\leq t <$  Decil 9; Extremamente Quente (EQ)=  $t \geq$  Decil 9.

O ano de 1989 foi Extremamente Quente (EQ), pois as temperaturas médias do inverno foram muito acima da média, o que elevou a média do

ano. Fato semelhante ao ano de 1999, em que os meses de outono até o inverno foram elevados (Moderadamente Quente (ModQ) e EQ).em 2008 foi a primavera e o verão que elevaram a média do ano para EQ.

Esta série revela ciclos de 10 anos aproximadamente, com temperaturas EQ, intercalados com anos Muito Quente (MQ). Em contrapartida anos Extremamente Frio (EF) não apresentam ciclos bem definidos, aparecem apenas em 1986, 1987 e 1990, com anos Muito Frio (MF) em 1992, 1995, 2007 e 2009. A média geral da série ficou em  $-1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , considerada Moderadamente Frio (ModF).

As oscilações mensais na série comprovam a susceptibilidade das temperaturas do ar nessa região às influencias das variações das frentes oceânicas e de massas de ar. Essa variabilidade interanual é devido as interações entre atmosfera-gelo-oceano, em que maiores extensões do gelo marinho possuem correlação negativa com temperatura do ar no inverno. Enquanto a variabilidade das forças de advecção das massas de ar quentes, juntamente com anomalias da circulação destas massas à nordeste da Península Antartica, promovem invernos mais quentes (Ferron et al. 2004).

A figura 4a mostra a variabilidade sazonal da temperatura média do ar na estação de Jubany. Ocorre uma maior amplitude das temperaturas no período do inverno, em relação ao verão. Devido a estação estar a poucos metros acima do nível do mar (11 m), predominando a influência marítima, onde as variações na presença de cobertura de gelo marinho contribuem para esta amplitude dos desvios padrões da média nos meses de inverno (12,9, 10,5 e  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  para junho, julho e agosto respectivamente). No verão essa variação é menor com apenas 3 a  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Com o agrupamento dos dados de temperatura por estações do ano (Figura 4b), foi observada uma maior tendência de aumento para a primavera com acréscimo de  $0,0767\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ , pouco mais que o outono que apresenta o valor de  $0,0614\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ . O verão foi a estação que apresentou o menor valor de aumento na temperatura com  $0,0205\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ , valor pouco menor do que o do inverno, que obteve  $0,0487\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$  de acréscimo na temperatura. Estes valores de acréscimo na temperatura são referentes ao período estudado. Quando considerado os 25 anos da série de dados atmosféricos

analisados foi constatado um incremento na temperatura de 1,535 °C no outono, 1,9175 °C na primavera, 1,2175 °C no inverno e apenas 0,5125 °C no verão.

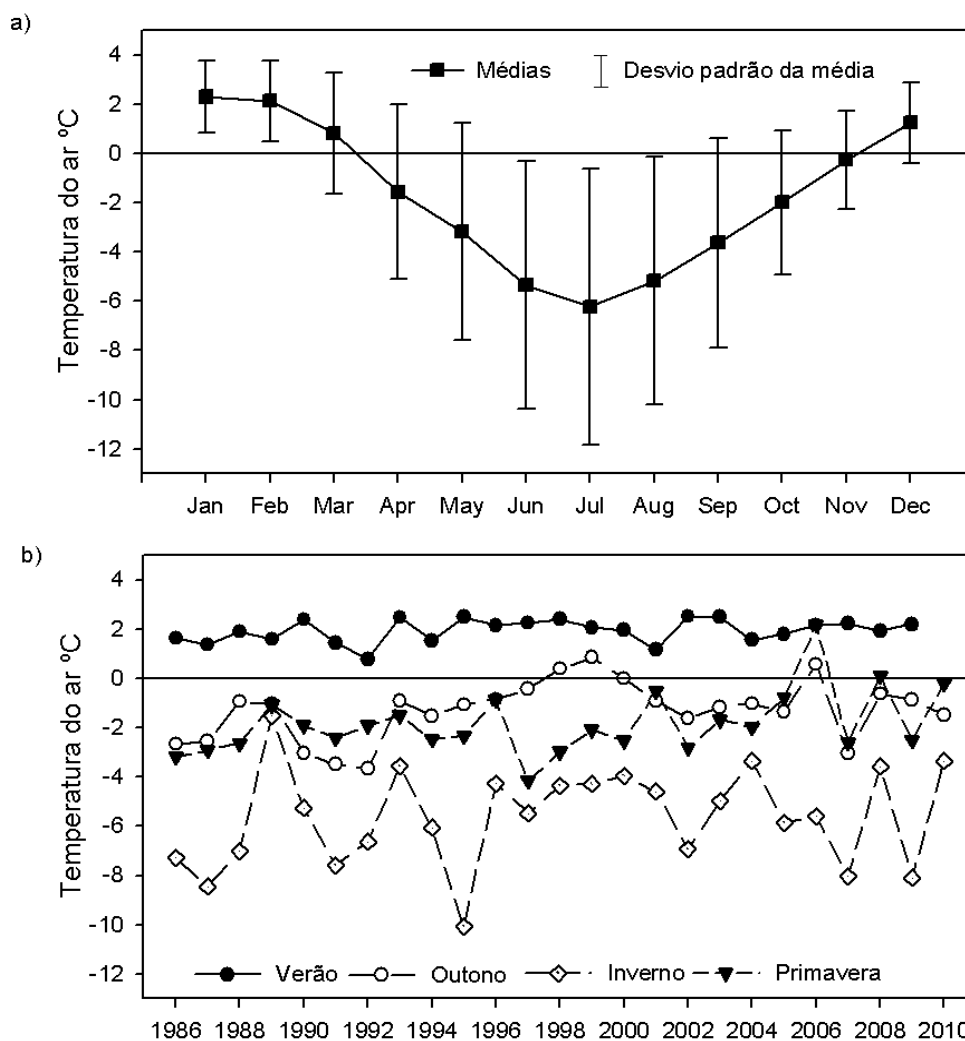


Figura 4: Distribuição de frequência das temperaturas médias mensais e desvio padrão (a) e temperaturas médias das quatro estações (b), no período de 1986 a 2010.

Pela série de dados é possível detectar um progressivo aumento das temperaturas médias anuais (figura 5). Considerando-se os 25 da série de dados atmosféricos tem-se uma tendência de 0,04 °C por ano, o que resulta em um incremento de 1,03 °C para o período. Os dados são superiores ao encontrados por Ferron et al, (2004) que encontraram uma tendência de 0,022 °C<sup>-1</sup>, com incremento de 1,1 °C no período de 49 anos (1947 a 1995).

Porém, mantêm-se abaixo da tendência registrada para península Antártica (Turner et al. 2005). Esse incremento na temperatura está conectado com a intensificação da circulação e advecção de ar quente provindo do oeste (Kejna 2003).

Os ventos exercem grande influência no ecossistema devido à ação abrasiva e ressecamento da superfície, transporte e dispersão de sedimentos, propágulos e acumulação da neve. Os ventos predominantes na estação de Jubany são de oeste, sudoeste (azimutes  $270^{\circ}$  e  $230^{\circ}$  respectivamente) (figura 5a), devido à circulação das frentes acompanhando as correntes marinhas do Drake. Esta região é influenciada pela passagem frequente de sistemas ciclônicos que se originam no mar de Bellinghausen e acompanham as correntes oceânicas que seguem para nordeste. No entanto, há ocorrência de ventos fortes acima de 40 m/s em todos os quadrantes, principalmente Norte Nordeste e Sudeste (figura 5b).

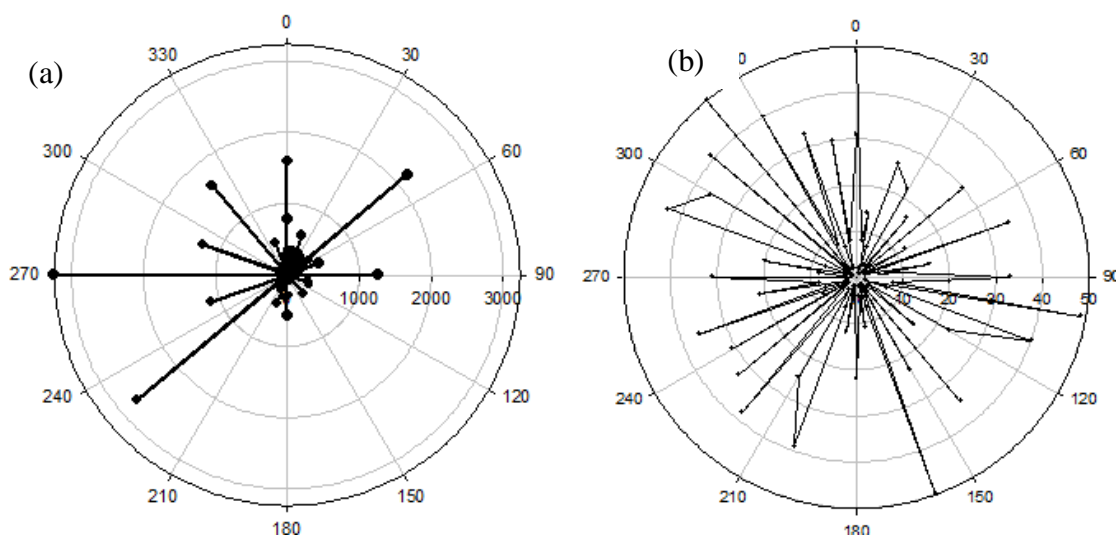


Figura 5: Anemograma climatológico da estação Jubany (a) Direção predominante (numero de ocorrências) (b) média das velocidades máximas diárias (m/s).

### 3.3 Dinâmica da geleira e mudanças climáticas

A Figura 6 apresenta a série de temperaturas médias anuais da Península Potter durante o período de 1986 a 2010 e os valores de áreas livres de gelo obtidos através do mapeamento da variação da frente da

geleira Polar Club. A variação sazonal no comportamento da temperatura atmosférica na série considerada, entre 1986 a 1995 apresenta ciclos trianuais, bem delimitados e com variações bruscas no valor de temperatura. A partir de 1995 o comportamento dos ciclos de variação da temperatura passa a ser assimétrico, porém as variações nos valores de temperatura são menores. Porém ocorre grande variação entre anos subsequentes, com destaque para o ano de 1989, 1999 e 2008 cujas médias foram as mais elevadas. No curto período de 1998 à 2001, ocorreram anos seguidos com maiores médias, onde a partir de então, oscilam entre anos mais frios e anos mais quentes. Essas oscilações possuem períodos curtos de 2.4 anos de menor frequência seguidos de períodos secundários de 4 anos (Tabela 3 e Figura 6)

Tabela 3: Análise espectral da série de Fourier.

Frequência	Período	Cosseno	Seno	Periodograma	Densidade
0.42	2.4	0.07	-0.58	4.08	2.14
0.25	4	-0.43	0.13	2.38	1.81

Numero de casos: 24

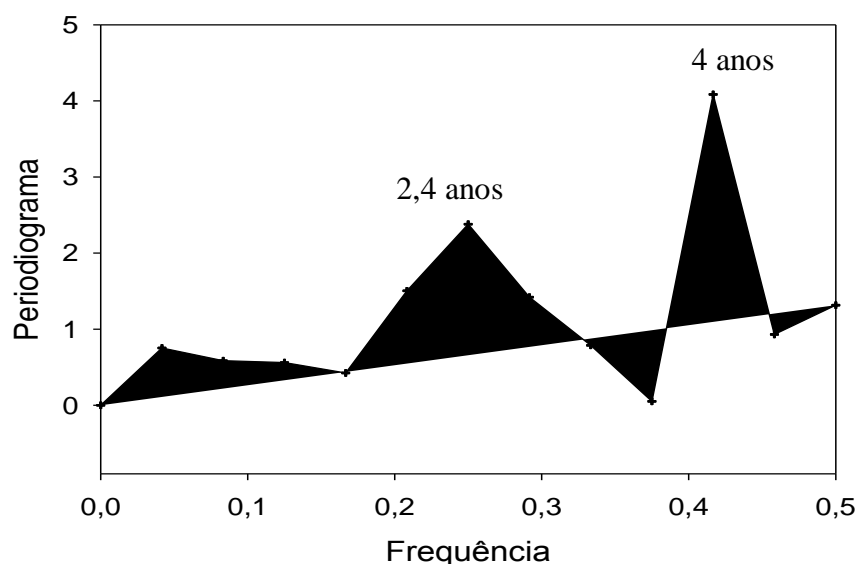


Figura 6: Gráfico da frequência da série de Fourier da série temporal das temperaturas do ar.

Estas variações devem-se possivelmente por alterações em macro

clima, das massas polares e correntes marítimas que afetam diretamente o clima desta região. Ferron et al. (2004) encontraram grande variabilidade interanual ao analisar os dados 1947-1995 em que identificaram ciclo dominantes de 5,3 anos e secundários de 9,6 anos. Estes ciclos são caracterizados por anos mais frios seguidos por períodos mais quentes. Em Potter esta tendência é observada, com anos frios intercalados por outros mais quentes (figura 7).

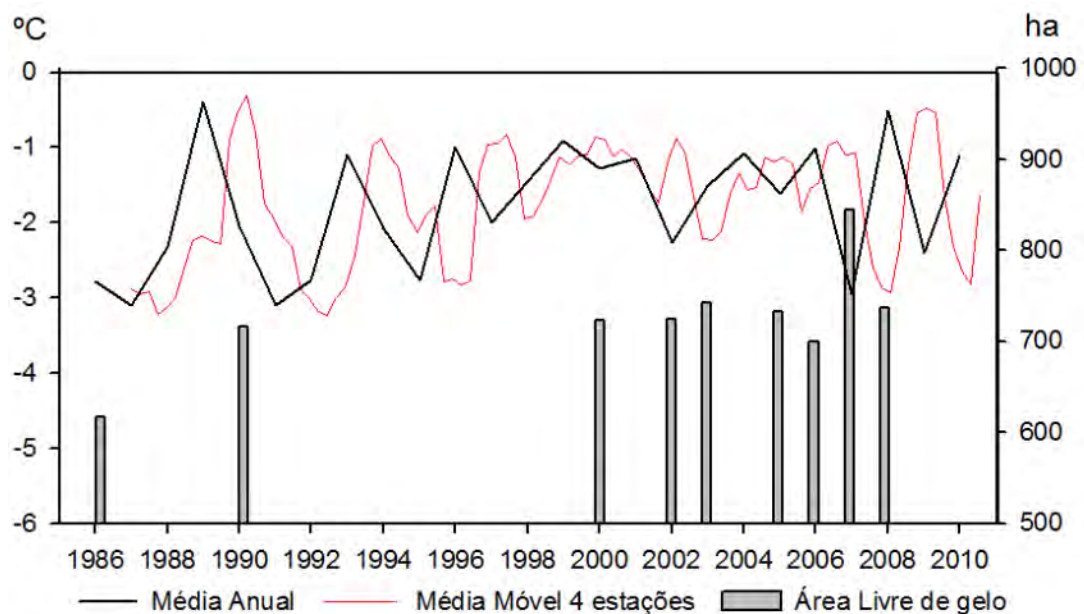


Figura 7: Média anual e médias móveis das temperaturas do ar, e áreas livres de gelo da Península Potter durante o período de 1986 a 2010.

Os resultados dos EMQ mostram melhor resposta para média móvel de 4 estações com 9,04, enquanto médias de 2 e 3 estações apenas os valores foram de 20,05 e 14,59. O melhor ajuste pode ser observado na figura 6 em que com média móvel de 4 estações consecutivas a variação na área livre de gelo acompanha o gráfico da temperatura. Nota-se um retardo de um ano para resposta no recuo da frente de geleira. No período de 1986 à 1990 ocorreu um grande incremento nas temperaturas do ar, juntamente com aumento das áreas livres de gelo. Um segundo evento pode ser percebido nos anos de 2007 a 2008, onde com atraso de um ano no aumento das temperaturas, a frente de geleira teve um grande retrocesso, enquanto no

ano seguinte voltou a expandir, acompanhado pelo gráfico das médias móveis das 4 estações.

O processo de retração da geleira sob Potter teve início no Holoceno, resultando na transformação da paisagem da península e surgimento dos lagos (Birkenmajer 1998, del Valle et al. 2004) (Figura 8). No entanto, nas últimas décadas este recuo pode ter sido potencializado, possivelmente pelas rápidas alterações climáticas ocorridas nessa região (Ferron et al, 2004; Turner et al. 2005; Chwedorzewska, 2009).

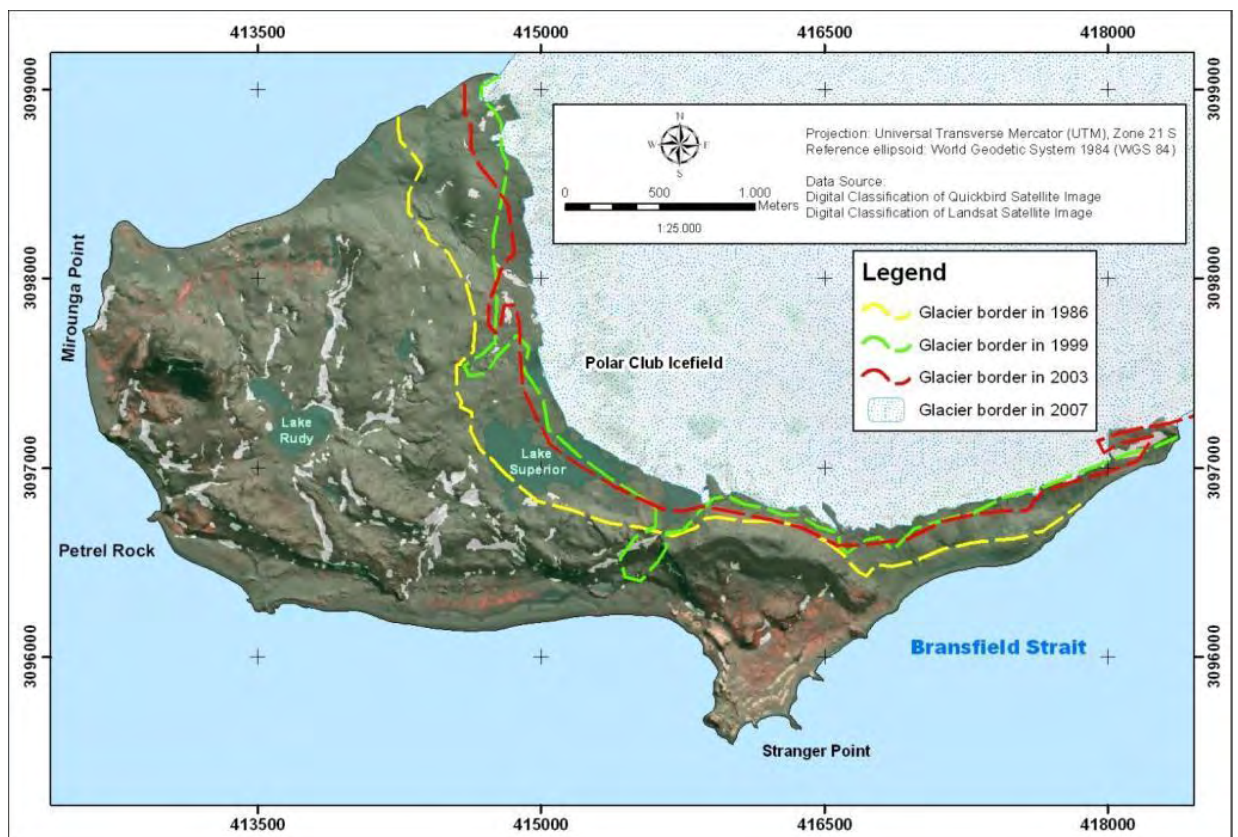


Figura 8: Limites da frende da geleira Polar Club nos anos de 1986, 1999, 2003 sob imagem de 2007 da Península Potter.

O comportamento da variação da frente de geleira possui uma complexa relação com diferentes elementos da paisagem, como espessura da cobertura de gelo, temperatura da água, relevo e forças internas. Segundo Braun e Gossmann (2002) as condições meteorológicas e as mudanças na circulação atmosférica são elementos preponderantes na modificação dos sistemas de geleiras da Ilha Rei George, com a Dragon,

Krak, Pandereski e Wanda. Conforme constataram Braun e Gossmann (2002), as geleiras localizadas nas Ilhas Shetland do Sul ao longo do período observado não apresentaram padrões semelhantes de reação, algumas recuaram muito e outras menos, havendo até a ocorrência de geleiras que se mantiveram estáveis. Este processo de avanço e recuos localizados é possivelmente resultante da acomodação e do rearranjo das forças internas da geleira, juntamente com a recarga por precipitação de neve.

Não se pode apontar um único elemento como sendo o causador destes processos de retração das geleiras na Ilha Rei George, entretanto, há fortes indícios de que estas mudanças nas geleiras foram iniciadas devido às mudanças climáticas (Braun e Gossmann, 2002) o que corrobora Park et al. (1998) e Kejna et al. (1998) que atribuem o recuo das geleiras ao aumento da temperatura média do ar da região. Para Kejna (2003) esses processos são de decorrência natural, devido ao aquecimento marinho dessa região. No entanto, Kejna (2003) encontrou tendências diferentes para outras partes da Antártica, enquanto a Península Antártica apresenta tendências positivas, o continente vem esfriando a cada ano, o que pode compensar e manter o sistema climático atual na região.

#### **4. Conclusões**

Com base nestes valores constata-se que ao longo dos últimos 22 anos houve um recuo da frente da geleira Polar Club que resultou no aumento de 120,47 ha, ou seja, a Península Potter aumentou em 19,50% de sua área livre de gelo neste período. Considerando-se os 25 da série de dados de temperaturas atmosféricas de Potter tem-se uma tendência de 0,04 °C por ano, o que resulta em um incremento de 1,03 °C para o período. A influência das temperaturas atmosféricas no recuo da geleira demonstram retardamento de cerca de um ano.

Apesar das evidências do incremento das temperaturas médias do ar na região nas últimas décadas, a retração da frente de geleira Polar Club pode estar associada à reacomodações de tensões do manto de gelo em

toda Rei George, alterações nas taxas de precipitação e condições climáticas. Portanto, para a Península Potter não se pode atribuir somente à temperatura atmosférica a causa das variações da geleira Polar Club.

Em futuros trabalhos serão estudadas outras áreas nas Ilhas Shetland do Sul e Península Antártica, relacionando as recentes alterações climáticas com a dinâmica das frentes de geleiras e paisagem nestas regiões em uma topossequência latitudinal.

## 5. Referências

- Arigony Neto, J.; Bremer, U. F.; Simões, J. C. 2001, **Variações nas frentes de gelo da Enseada Martel, Ilha Rei George, Antártica, entre 1956 e 2000**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, n. 10, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: INPE, 2001. p. 709-711.
- Birkenmajer, K., 1998. **Geology of Volcanic Rocks (Upper Cretaceous-Lower Tertiary) at Potter Peninsula, King George Island (South Shetland Islands, West Antarctica)**. Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Earth Sciences, Vol. 46-2, 147-155.
- Braun, M.; Gossmann, H. 2002. **Glacial changes in the areas of Admiralty Bay and Potter Cove, King George Island, maritime Antarctica**. In: Beyer, L.; Bölter, M. (Ed). Geocology of Antarctic ice-free coastal landscapes. Berlin: Springer-Verlag. 75-89.
- Chwedorzewska K. J. 2009. Terrestrial Antarctic ecosystems in the changing world: an overview. Polish Polar Res 30:263–276
- Convey, P. 2006. **Antarctic Terrestrial Ecosystems: Responses to Environmental Change**. Polarforschung 75 (2-3), 101 – 111,
- Ferron, F. A.; Simões, J. C.; Aquino, F. E.; Setzer, A. W. 2004. **Air temperature time series for King George Island, Antarctica**. Pesquisa Antártica Brasileira, 4: 155-169.
- del Valle R. A, Tatur A, Lusky J. C., Gomez Izquierdo, D. R. 2004. **Cambios morfológicos recientes en lagos de la Península Potter, Isla 25 de Mayo, Islas Shetland del Sur, Antártida**. Rev Asoc Geol Argent. 59:443–50.

- Kejna, M.; Láska, K.; Caputa, Z. 1998. **Recession of Ecology Glacier (King George Island) in the period 1961-1996**. Polish Polar Studies 25th International Symposium, Warszawa. Institute of Geophysics of the Polish Academy of Sciences, Warszawa, p. 121-128.
- Kejna, M. 2003. **Trends of air temperature of the Antarctic during the period 1958–2000**. Polish Polar Research. vol. 24, no. 2, pp. 99–126,
- Oerlemans, J; Fortuin, J. P. F. 1992. **Sensitivity of Glaciers and Small Ice Caps to Greenhouse Warming**. Science, 258:115-117.
- Park, B. K.; Chang, S. K.; Yoon, H. I.; Chung, H. 1998. **Recent retreat of ice cliffs, King George Island, South Shetland Islands, Antarctic Peninsula**. Ann Glaciol. 27:267-274.
- Setzer A; Oliveira, M. R; Francelino, M. R; Schaefer, C. E; Costa, L. M; Bremer, U. F; 2004. **Regime Climático na Baía do Almirantado: Relações com o Ecossistema Terrestre**. In: Schaefer, C. N.; Francelino, M. R.; Simas, F. N. B.; Albuquerque Filho, M. R. de (Ed). **Ecossistemas costeiros e monitoramento ambiental da Antártica marítima: Baía do Almirantado, Ilha Rei George**. Viçosa: NEPUT. pp: 47-58.
- Simões, J. C.; Dani, N.; Bremer, U. F.; Aquino, F. E.; Arigony-Neto, J. 2004. **Small cirque glaciers retreat on Keller Peninsula, Admiralty Bay, King George Island, Antarctica**. Pesquisa Antártica Brasileira, 4: 49-56.
- Slaymaker, O; Kelly, R. 2007. **The Cryosphere and Global Environmental Change Blackwell Publishing**. 261 p.
- Turner, John; Colwell, Steve R.; Marshall, Gareth J.; Lachlan-Cope, Tom A.; Carleton, Andrew M.; Jones, Phil D.; Lagun, Victor; Reid, Phil A.; Iagovkina, Svetlana. 2005. **Antarctic climate change during the last 50 years**. *International Journal of Climatology*, 25 (3). 279-294
- Vieira, G., Bockheim, J., Guglielmin, M., Balks, M., Abramov, A. A., Boelhouwers, J., Cannone, N., Ganzert, L., Gilichinsky, D. A., Goryachkin, S., López-Martínez, J., Meiklejohn, I., Raffi, R., Ramos, M., Schaefer, C., Serrano, E., Simas, F., Sletten, R. and Wagner, D. 2010. **Thermal state of permafrost and active-layer monitoring in the antarctic: Advances during the international polar year 2007–2009**.

Permafrost and Periglacial Processes, 21: 182–197.

Vaughan, D. G Marshall, G. J; Connolley, W. M., King, J. C., Mulvaney, R. C.  
2001. **Evil in the Detail**. Science;293 (5536):1777-9.

## **O Modelo de Valor Informativo na predição de ocorrência de vegetação na Península Potter, Antártica Marítima.**

**Resumo:** O objetivo desse trabalho é buscar compreender e qualificar através de modelos preditivos, os fatores topográficos e ambientais que exercem maior influência sobre a distribuição da vegetação na paisagem das áreas livres de gelo da Península Potter. São utilizados dados pontuais de terreno, técnicas de detecção remota e ferramentas SIG, para analisar a distribuição espacial das comunidades vegetais da Península Potter (Ilha Rei George, Shetlands do Sul), bem como os fatores condicionantes. Com esta base e usando o método do Valor Informativo, foi gerado um modelo preditivo baseado em variáveis geográficas que permite melhor analisar a distribuição das diferentes comunidades e estimar sua distribuição potencial. O resultado do cálculo da AAC indica uma capacidade preditiva do modelo da ordem de 89% para classes de Algas e de 87% para classe de musgos e gramíneas. As demais classes: Musgos, Líquens, e Líquens e Musgos tiveram também resultados satisfatórios com capacidade preditiva de 79, 78 e 71% respectivamente. Estas percentagens dizem respeito aos elementos que não integraram a modelagem, mas foram detectados pelo modelo. Deste modo, poder-se afirmar que o modelo possui uma boa capacidade preditiva. O modelo poderá ser testado em outras áreas na Antártica Marítima, para entendimento das condicionantes ambientais para distribuição da vegetação, formação de solos, bem como passo inicial na modelagem de cenários futuros introduzindo mudanças espaciais ou quantitativas nas variáveis independentes.

### **1. Introdução**

As áreas livres de gelo na Antártica Marítima possuem flora peculiar de ambiente polar, dominada por Criptógamas como as Briófitas, incluindo musgos e hepáticas, duas espécies de algas talosas, *Prasiola crispera* e *P. cladophylla*, duas espécies de fanerógamas, *Deschampsia antarctica* Desv.,

e *Colombathus quitensis* (Kunth) Bartl. e uma vasta gama de espécies de líquens (Øvstedal and Smith, 2001; Olech, 2002). Esta vegetação está exposta a condições extremas de clima com baixas temperaturas, abrasão do vento, corrasão pela neve, aridez, invernos com luz escassa e prolongada exposição solar no verão, com elevada radiação ultravioleta-B e curto período de crescimento (Chwedorzewska, 2009).

As plantas distribuem-se por diversas porções da paisagem. A maior área ocupada por vegetação é representada pelos líquens, principalmente *Usnea* sp, encontrada nas morainas estáveis, *felsenmeer*, nas encostas rochosas, e em locais mais elevados e expostos a ablação do vento (Smith, 1984; Olech, 2002; Michel et al, 2006). As briófitas formam amplas colônias nos terraços soerguidos úmidos. São condicionados aos locais de maior permanência de água líquida, em ambientes hidromórficos e acumulação de turfa, associados com cianobactérias (Tatur et al, 1997, Michel et al, 2006, Schaefer et al, 2004, Smykla et al, 2007).

Nas áreas marginais de pinguineiras ativas a sucessão vegetal inicia-se com densos tapetes de algas verdes *P. crista*, cianobactérias e líquens epilíticos (Michel et al, 2006). Esta flora é mantida pelo grande aporte de nutrientes da fauna, fornecendo condições favoráveis para a diversidade vegetal nas zonas marginais das pinguineiras (Tatur et al, 1997) que contribuem para formação de solos ornitogênicos ricos em fosfato e nitrogênio (Myrcha e Tatur, 1991; Simas et al, 2007).

Solos ornitogênicos com altos teores de P e N favorecem a presença de *D. antarctica* e *C. quitensis* (Simas et al, 2007). Tatur et al. (1997) verificaram em Stranger Point que tanto as pinguineiras ativas quanto as abandonadas (responsáveis pela formação dos solos ornitogênicos de grande fertilidade) servem de fonte de nutrientes condicionando a distribuição desta vegetação. Schaefer et al, (2004) encontraram colônias de *D. antarctica* e *C. quitensis* em encostas de solos rasos e estáveis da Península Keller, próximos aos ninhais de gaivotões, responsáveis pelo aporte de nutriente.

As áreas de pinguineiras abandonadas caracterizam-se por um tapete verde denso de vegetação em solos ornitogênicos ricos em fosfato, que

mantém níveis altos de nutrientes disponíveis por centenas ou milhares de anos (Myrcha & Tatur, 1991). Esse abandono segundo Tatur & Myrcha, (1989) deve-se ao soerguimento isostático (movimento isostático vertical da superfície) que força a realocação das pinguineiras mais próximo ao mar.

Tatur et al. (1997) verificaram em Stranger Point que a *D. antarctica*, possui relativa abundância nas áreas de solos ornitogênicos de pinguineiras abandonadas e nas áreas marginais às pinguineiras ativas. Schaefer et al, (2004) encontraram colônias de *D. antarctica* e *C. quitensis* em encostas de solos rasos e estáveis em Keller, próximos aos ninhais de gaivotões, responsáveis pelo aporte de nutriente.

Como visto no capítulo 3 a região noroeste da Península Antártica apresentou um rápido incremento nas temperaturas médias nas últimas décadas. A importância desse rápido aquecimento regional se dá sobre a paisagem local (Vaughan et al, 2001), pelas alterações no regime hídrico dos solos com maior disponibilidade de água no solo, provindo da precipitação bem como derretimento da neve e gelo, liberação de nutrientes no ecossistema e prolongamento da estação de crescimento (Convey e Smith, 2005). As consequências dessas alterações climáticas na Antártica Marítima incluem na melhoria das condições de dispersão, colonização e desenvolvimento das comunidades vegetais (Convey e Smith 2005; Chwedorzewska, 2009).

A resposta as recentes alterações climáticas já é visível em locais da Antártica Marítima e sub-Antártico, com incremento da densidade e distribuição de espécies de plantas vasculares (Smith, 1994; Vaughan et al, 2001; Convey e Smith, 2005, Convey, 2006). Braun e Gossmann (2002) encontraram fortes evidências de retração das geleiras na Ilha Rei George provocadas pelas recentes mudanças climáticas. Esse recuo das geleiras acarreta em exposição de novas áreas que ficam disponíveis para ocupação por plantas e provêm novos habitats para animais (Braun e Gossmann, 2002; Convey e Smith, 2005).

A estimativa da extensão das coberturas das comunidades vegetais é muito importante para se avaliar a sua dinâmica temporal juntamente com as relações ecológicas com os diferentes atributos do meio como solo, material

de origem, relevo e clima (Schaefer et al, 2004). O entendimento dos fatores condicionantes da distribuição da vegetação nas áreas livres de gelo é uma ferramenta fundamental para estudos a respeito das mudanças climáticas e ambientais, como evolução da paisagem e das comunidades vegetais. Trabalhos com classificação de comunidades vegetais na Antártica Marítima revelam uma estreita relação das plantas com as condições da paisagem (Smith e Girmighan, 1976, Olech, 2002; Smikla et al, 2007) e a sua sensibilidade às alterações climáticas (Convey e Smith, 2005; Chwedorzewska, 2009).

O objetivo desse trabalho é buscar compreender e qualificar através de modelos preditivos, os fatores topográficos e ambientais que exercem maior influência sobre a distribuição da vegetação na paisagem das áreas livres de gelo da Península Potter (ilha Rei George, Antartica Marítima).

## **2. Material e Métodos**

### *2.1 Área de estudo*

A península Potter pertence à formação do Bloco de Warszawa, de origem vulcânica, formada na era Ypresuan 50,6 a 49,1 Ma (Kraus & del Valle, 2008). A geologia compreende basicamente rochas basálticas e basalto-andesíticas, morainas frontais e basais e diferentes níveis de terraços marinhos (Birkenmajer, 1998; Kraus & del Valle, 2008). A península foi moldada por ação glacial, com morainas clássicas, afloramentos rochosos e diferentes níveis de terraços. Segundo Kraus & del Valle (2008) existem evidências de três cones vulcânicos um deles o Three Brothers Hill, o nunatak Florence circundado pela geleira Waszawa, e um remanescente pequeno em Stranger Point, porem atualmente está completamente erodido (figura 1).

Esta elevação ocorrida no Holoceno médio foi provocada por uma ascensão glacio-isostática em toda Rei George, de cerca de 50 m, resultado da retração da massa de gelo, diminuindo sua pressão sob o bloco que forma a ilha formando os diferentes níveis de terraços marinhos (Birkenmajer, 1998). del Valle et al. (2002) estimaram uma elevação da

península Potter em cerca de 12 m nos últimos 4500 anos, em relação ao nível do mar atual, pela datação em  $^{14}\text{C}$  de ossos de pingüins e elefantes marinhos, sugerindo um início de ocupação nesta região por volta de 8000 anos.



Figura 1: Localização da Península Potter, Antártica Marítima.

## 2.2 Mapeamento da vegetação

No mapeamento da vegetação foi utilizada imagem do satélite Quickbird (data de passagem de 6 de janeiro de 2007), com quatro bandas espectrais e resolução espacial de 2,4 m classificada usando método estatístico de Máxima Verossimilhança para discriminação das diferentes classes de vegetação como exposto na Tabela 1. As classes de vegetação seguiram modelo proposto por Longton (1967) e Smith e Girmighan (1976), baseados no critério fisionômico maior, das espécies com maior predominância. O mapa de vegetação utilizado foi produzido por Poelking et

al. (2011) (Capítulo 2).

Tabela 1: Comunidades vegetais na Península Potter.

Classes Temáticas	Descrição	Espécies (Principal)
Sub-Formação Musgos	Musgos em áreas úmidas (associados com cianobactérias).	<i>Sanionia uncinata</i> , <i>Andreaea</i> e <i>Nostoc</i> spp, <i>Phormidium</i> spp
Sub-Formação de Musgos e gramíneas	Bryophites e <i>D. antarctica</i> terraços solos ornitogênicos e bem drenados.	<i>Sanionia uncinata</i> , <i>Deschampsia antarctica</i> , <i>Polytrichastrum alpinum</i>
Sub-Formação de Líquens	Campos homogêneos de líquens em áreas pedregosas e bem drenadas.	<i>Usnea aurantico-atra</i> , <i>Usnea antarctica</i> , <i>Ochrolechia</i> cf. <i>Frigida</i> , <i>Crustose</i> sp, <i>Usnea</i> sp
Sub-Formação de Líquens e Musgos	Musgos e Líquens em solos fracamente ornitogênicos e em terraços marinhos.	<i>Polytrichum</i> sp, <i>Usnea</i> sp, <i>Sanionia uncinata</i> ,
Sub-Formação de Algas	<i>Prasiola crispa</i> nas proximidades das pinguineiras e ninhas de petréis gigantes (guano fresco).	<i>P. crispa</i>

### 2.3 Fatores condicionantes

Como variáveis independentes utilizaram-se atributos do terreno derivados a partir do mapa planialtimétrico de Potter, escala 1:10000 (Lusky et al, 2001), com equidistância das curvas de nível de 3 em 3 metros. Foi gerado o Modelo Digital do Terreno (MDE) e através de interpoladores do software ArcGis 9.3, a partir do qual foram derivados as variáveis do terreno. Essas variáveis independentes contínuas foram classificadas em variáveis categóricas (tabela 2)

A Exposição juntamente com a Radiação Solar Potencial resulta em locais com maiores incidências da radiação solar. A Radiação Solar Global Potencial foi gerada para o período de um ano a partir do modelo *Area Solar Radiator* disponível no ArcGis, que mede a radiação potencial recebida em cada célula de área do terreno em função de sua latitude, altitude e exposição.

Foi utilizado um mapa geomorfológico adaptado de Birkenmajer (1998), considerando que a dinâmica geomorfológica exerce grande influência na formação da paisagem. Os locais pedregosos (*bedrocks*) marcam os locais de maior estabilidade, enquanto os terraços marinhos resultam do soerguimento isostático proveniente da retração das geleiras. Esse

retrocesso que sua vez, originou as morainas marginais e basais, marcando eventos sucessivos desde o estágio máximo de avanço, ocorrido a aproximados 500 anos (Birkenmajer, 1998).

Tabela 2: Variáveis independentes e relação com fatores do ambiente.

Variável independente	Descrição	Relevância
Altitude	Classes de Altitude (m)	Gradiente de temperatura diminui com aumento da altitude, menor efeito do mar, salinidade e umidade.
Declividade	Classes de Declividade (m)	Superfícies mais suave onduladas a planas são mais estáveis o que confere melhores condições a fixação e desenvolvimento da vegetação.
Exposição	Faces de exposição em relação ao Norte	Exposição a Radiação solar direta
Distância da Drenagem	Distância de canais de drenagem e lagos (m)	Locais próximos de canais de drenagem e acumulação de água (úmidos) até locais com melhor drenagem.
Distância da Avifauna	Distância em relação aos ninhais de petréis-gigantes e pinguineiras (m)	Gradiente de áreas afetadas pela avifauna, solos com maior fertilidade próximos às pinguineiras e ninhais de petréis, dos mais distantes.
Geomorfologia	Unidades Geomorfológicas	Formações geomorfológicas e tempo de exposição das áreas livres de gelo
Índice de Umidade	Áreas de acumulação de água	Combina o declive local e sua área contribuição, resultando em áreas com maior e menor acumulação de água.
Efeito do Vento	Faces de exposição ao vento predominante	A ação abrasiva e ressecamento da superfície, transporte e dispersão de sedimentos e propágulos, acumulação de neve

Os ventos exercem grande influência no ecossistema devido à ação abrasiva e ressecamento da superfície, transporte e dispersão de sedimentos, propágulos e acumulação da neve. O Efeito do Vento foi calculado com direção predominante do azimute 270° (W), baseado em observações diárias correspondendo a 10 de Março de 2000 a 30 de Janeiro de 2009, da estação meteorológica de Jubany (capítulo 3).

O Índice de Umidade topográfica combina o declive local e sua área contribuição, resultando em áreas com maior e menor acumulação de água. É comumente utilizado para quantificar o controle topográfico dos processos hidrológicos. O Índice de Umidade e Efeito do Vento foram gerados no *software* SAGA GIS 2.0 e os valores foram agrupados por distribuição por

quebra natural, em cinco classes.

#### 2.4 Método do Valor Informativo para modelagem espacial

O Valor Informativo (VI) é um método preditivo de ocorrência de um determinado fenômeno em função de um conjunto de fatores do ambiente que controlam a presença desse fenômeno. O método foi formulado por Yin e Yan (1988) inicialmente para modelagem da susceptibilidade de áreas de risco (Zêzere, 2002). Esse método estatístico de VI atribui para cada variável de estudo um valor informativo através da equação:

$$I_i = \log \frac{S_i/n_i}{S/n}$$

Em que  $I_i$  é o valor informativo da variável  $i$ ; o  $S_i$  é o número de unidades de terreno com ocorrências de tipo  $y$  (variável dependente) e com a presença da variável  $x_i$  (variável independente); o  $n_i$  é o número de unidades de terreno com a presença da variável  $x_i$ ; o  $S$  é o número total de unidades de terreno com ocorrências de tipo  $y$ ; e o  $n$  é o número total de unidades de terreno. O valor informativo total de uma unidade de terreno  $j$  é determinado pela equação:

$$I_j = \sum_{i=0}^m X_{ij} I_i$$

Em que o  $m$  corresponde ao número de variáveis; e o  $X_{ij}$  assume o valor 0 se a variável não se encontra presente na unidade de terreno e 1 na sua presença. Quando o valor de  $I_i$  é negativo, considera-se que a variável independente não é determinante na ocorrência da variável dependente. Já os resultados positivos indicam uma relação entre a presença da variável independente e a ocorrência da variável dependente, tanto mais acentuada quanto maior for o valor (Zêzere, 2002).

Este método pode ser aplicado como ferramenta para modelar a distribuição da vegetação na paisagem, onde que para cada variável em estudo é determinado o respectivo valor informativo, ou seja, o peso que as variáveis da paisagem possuem em resposta a variável em estudo. O

método estatístico do VI para distribuição da vegetação na paisagem, resulta nas áreas com mais susceptibilidade de formação das diferentes comunidades vegetais na paisagem.

Como variáveis dependentes de entrada foram utilizadas as quatro classes de comunidades vegetais do mapa de vegetação de Potter. Enquanto as variáveis independentes são as variáveis do terreno. A modelagem de sua distribuição na paisagem resulta na qualificação das variáveis do terreno de maior relevância para sua dispersão na paisagem. Foram separadas aleatoriamente 50% da área de cada variáveis dependentes, uma parte serviu para geração do modelo e a outra foi utilizada na curva de validação.

### *2.5 Validação*

A validação foi obtida pela curva de predição das resultantes do VI com os 50 % das áreas de cada amostra que não foram utilizadas para o modelo. Foi calculada a área abaixo da curva (AAC), dada pela integral dos valores na relação  $y = f(x)$ , resulta em valores entre 0 e 1.

## **3 Resultados e Discussão**

### *3.1 Valor Informativo das Variáveis Dependentes*

Na tabela 3 são apresentados os VIs para cada classe das variáveis do terreno com as classes de vegetação. Os maiores VIs aparecem na distância da avifauna para algas e musgos e gramíneas (2,79 e 1,94), nas classes de menor distância. Enquanto que para musgos o maior VI foi de 1,39 para distância mediana. As classes geomorfológicas das Morainas basais (*Older Bottom Moraines*) contribuíram para VI de 1,4, 1,42 e 1,17 para musgos, líquens e líquens e musgos respectivamente. Compreendem morainas mais antigas com maior estabilidade. As formações rochosas (*Bedrocks*) resultaram em VIs de 1,43 e 0,9 para líquens e líquens e musgos.

Tabela 3: Valor informativo das variáveis do terreno para classes de vegetação

Variável	Classes	Valor informativo				
		Algas	Musgos	Líquens	Líquens Musgos	Musgos e Gramíneas
Declividade (%)	0 – 3	-0,07	<b>0,46</b>	-0,88	-0,39	-0,21
	3 – 8	<b>0,64</b>	<b>0,48</b>	0,16	0,12	<b>0,61</b>
	8 – 20	-0,33	-0,4	0,23	0,05	-0,18
	20 – 45	-0,64	-1,35	0,04	0,07	-0,67
	45 – 100	-0,72	-0,44	-0,56	-0,03	-0,68
	> 100	-1,57	-0,57	-0,57	0,25	-0,75
Altitude (m)	0 – 10	<b>1,04</b>	0,52	-0,39	-0,19	<b>0,85</b>
	10 – 20	<b>0,56</b>	<b>1,08</b>	0,28	-0,12	<b>0,58</b>
	20 – 30	-1,14	0,41	<b>0,42</b>	0,37	-0,03
	30 – 50	-1,63	0,29	0,13	0,24	-0,35
	50 – 100	-2	-2,73	0,01	-0,01	-1,73
	> 100	-5	-4	-0,34	0,19	-3
Exposição	Plano	-2,1	-0,28	-1,99	-0,56	-0,94
	Leste	0,11	0,01	0,49	-0,05	0,25
	Sul	<b>0,62</b>	0,09	-0,24	0,13	0,39
	Oeste	-0,39	0,19	-0,33	0,12	-0,26
	Norte	-0,77	-0,34	0,22	-0,18	-0,46
Distancia de Drenagem (m)	0 – 10	-1,27	<b>0,83</b>	-0,58	-0,49	-0,22
	10 – 20	-1,06	-0,12	-0,15	-0,28	-0,38
	20 – 50	-1,21	-0,06	-0,05	-0,18	-0,35
	> 50	0,29	-0,12	0,07	0,1	0,12
Distancia da Avifauna (m)	0 – 10	<b>2,71</b>	<b>0,72</b>	-0,04	-0,44	<b>1,5</b>
	10 – 20	<b>2,79</b>	<b>0,97</b>	0	-0,05	<b>1,94</b>
	20 – 50	<b>2,33</b>	<b>1,39</b>	0,17	0,26	<b>1,84</b>
	50 – 100	-0,58	<b>1,23</b>	0,13	<b>0,64</b>	<b>1,12</b>
	100 – 200	-1,22	<b>0,61</b>	<b>0,34</b>	0,48	<b>0,69</b>
	> 200	-2,08	-0,52	-0,05	-0,12	-1,01
Geomorfologia	Superfícies Crioplanadas	0,41	-0,06	<b>1,43</b>	<b>0,9</b>	0,32
	Depósitos Fluvioglaciais	-1,93	-0,49	-1,36	-1,29	-0,82
	Talus	-1,4	0,11	0,4	<b>0,62</b>	-0,23
	Terraços Marinheiros Soerguidos	-4,5	<b>1,03</b>	<b>0,65</b>	<b>0,63</b>	0,28
	Morainas Basais Recentes	-3,04	-4,53	-1,94	-1,47	-3,12
	Morainas Basais Antigas	-4	<b>1,4</b>	<b>1,42</b>	<b>1,17</b>	0,6
	Morainas Marginais Recentes	-2,44	-5	-0,65	<b>0,57</b>	-1,73
	Praias de Lagos	-3,55	-5	-1,85	-1,65	-5
	Terraços de Kame	-3,02	-0,3	-0,11	-0,03	-0,81
	Praias Marinhas	<b>1,79</b>	<b>1,28</b>	-0,17	0,08	<b>1,51</b>
Áreas com polígonos	-0,99	-0,71	<b>1,09</b>	<b>0,62</b>	-0,83	
Índice de Umidade	0 – 3	<b>0,65</b>	-0,86	0,39	0,38	0,43
	3 - 6	-0,3	-0,67	0,31	0,24	-0,28
	6 - 9	0,39	0,29	-0,06	0	0,32
	9 - 12	-0,01	<b>0,61</b>	-0,65	-0,55	0,12
	12 - 18	-2,82	-0,55	-2,15	-1,57	-1,35
Efeito do Vento	0,8 – 0,9	-1,54	-0,05	-1,21	-0,46	-0,56
	0,9 - 1	-0,45	0,09	-0,36	-0,44	0,31
	1 - 1,1	<b>0,79</b>	-0,06	<b>0,69</b>	<b>0,61</b>	-0,33
	1,1 - 1,2	<b>1,16</b>	-0,27	<b>1,12</b>	<b>0,93</b>	-0,09
	1,2 - 1,3	0,02	-2	-0,19	<b>0,54</b>	-2

Os Terraços Marinhos (*Reides Marine Terraces*) resultaram em valores elevados para musgos, líquens e líquens e musgos (1,03, 0,65 e 0,63). Enquanto as Praias Marinhas (*Raised Marine Beach*) resultaram em valores elevados para algas, musgos e musgos e gramíneas (1,79, 1,28 e 1,51), pois se situam próximo ao mar, em extensas áreas ocupadas pela fauna, predominantemente pelos pinguins.

O efeito do vento demonstra exercer alguma influência, principalmente para algas, líquens e líquens e musgos com VIs maiores de 1,16, 1,12 e 0,93 respectivamente, para classe de Elevado, ou seja, encontram-se em locais expostos aos ventos predominantes. Essas faces mais expostas são descobertas pela neve por mais tempo, enquanto as áreas protegidas dos ventos mantêm os remanescentes de neve do inverno. São também locais com melhor drenagem com solos pedregosos ou afloramento de rochas.

Quanto à Exposição e Radiação Global não foram encontrados VI muito significativos. Possivelmente devido a sua posição geográfica com prolongadas horas de sol durante o verão e pela grande difusão e reflexão da radiação pela atmosfera (forte nebulosidade da Antártica Marítima) e também pelas superfícies dos glaciares e remanescentes de neve, espalha energia refletida para praticamente todas as porções da paisagem.

### *3.2 Classificação da Susceptibilidade de ocorrência da vegetação*

Os dados dos VIs em cada unidade da paisagem foram hierarquizados de forma decrescente, em seguida obtido o somatório das áreas de cada uma dessas unidades foram agrupados em classes por porcentagem em relação a área total acumulada (Tabela 4). Foram classificadas em Muito Elevado para os maiores VIs que representam até 5% da área de estudo total acumulada, Elevado para 5 a 10% da área total acumulada, e assim sucessivamente.

Essa classificação de susceptibilidade de ocorrência indica que em 5% das áreas com VI Muito Elevado, ocorrem 80% do total das manchas de algas, considerando-se até a classe Elevado (até 10% da área) já enquadram-se 88% das ocorrências de algas. Para classes de musgos, a classe Muito Elevado (5% da área) correspondem a 24% das manchas de

musgos, somando-se as classes com 10 e 20% de maiores VIs concentram-se 47 e 76% de musgos.

Os líquens na primeira classe de Muito Elevado ocorrem já 30% das manchas, em 10 e 20% resultam em 47 e 66% respectivamente. As manchas de Líquens e Musgos somam apenas 15% na primeira classe, 26% somando com a segunda classe e 47% até a terceira classe de maiores valores de VIs. Os musgos e gramíneas na primeira classe englobam 48% das ocorrências, até a segunda classe somam 59%.

Tabela 4: Classificação da susceptibilidade à ocorrência de sub formação de algas talosas e respectivos valores de VI e de área com presença do fenômeno em estudo

Classe (%)	Classe	Algas		Musgos		Líquens		Líquens e Musgos		Musgos e Gramínea	
		VI	%	VI	%	VI	%	VI	%	VI	%
0 – 5	Muito Elevado	7,7 – 0,06	80	6,05 – 2,76	24	5,17 – 2,66	30	4,06 – 2,23	15	6,35 – 3,51	48
5 – 10	Elevado	0,06 – -2,25	8	2,76 – 1,94	23	2,66 – 1,94	17	2,23 – 1,84	11	3,51 – 1,73	11
10 – 20	Moderado	-2,25 – -3,77	4	1,94 – 0,57	29	1,94 – 0,77	19	1,84 – 1,11	21	1,73 – -0,07	20
20 – 30	Médio	-3,77 – -4,81	1	0,57 – -0,71	14	0,77 – -0,04	10	1,11 – 0,45	15	-0,07 – -1,55	8
30 – 50	Baixo	-4,81 – -6,48	2	-0,71 – -4,19	9	-0,04 – -1,43	15	0,45 – -0,77	22	-1,55 – -3,38	8
> - 50	Muito Baixo	-6,48 – -21,54	5	-4,19 – -14,81	2	-1,43 – -12,83	9	-0,77 – -9,14	16	-3,38 – -14,03	5

Intervalo de classe de susceptibilidade, Valor Informativo (VI) para cada variável dependente, Porcentagem de ocorrência da variável dependente em cada Classe (%),

A Figura 1 apresenta os mapas dos VIs para as variáveis dependentes. As áreas de intensa atividade da fauna apresenta grande variabilidade da distribuição da vegetação, principalmente para musgos, musgos e gramíneas e algas. Sua influencia diminui conforme aumenta a distância à maior atividade da fauna o que retrata bem o efeito da dispersão da fertilização do solo para as áreas mais distantes e elevadas. Bem como o processo de recuo da geleira, que por sua vez expôs as morainas basais e frontais, que ao longo do tempo foram comportando gradualmente comunidades vegetais. As classes de susceptibilidade são expressas por porcentagem de área total hierarquizada pelos valores de VI (ordem decrescente).

As algas concentram-se basicamente em locais com intensa deposição de guano pela fauna. Estendendo-se sobre o terraço marinho nas cercanias

das pinguineiras. Estão condicionadas à presença de alta concentração de guano fresco e em locais com elevada umidade no solo.

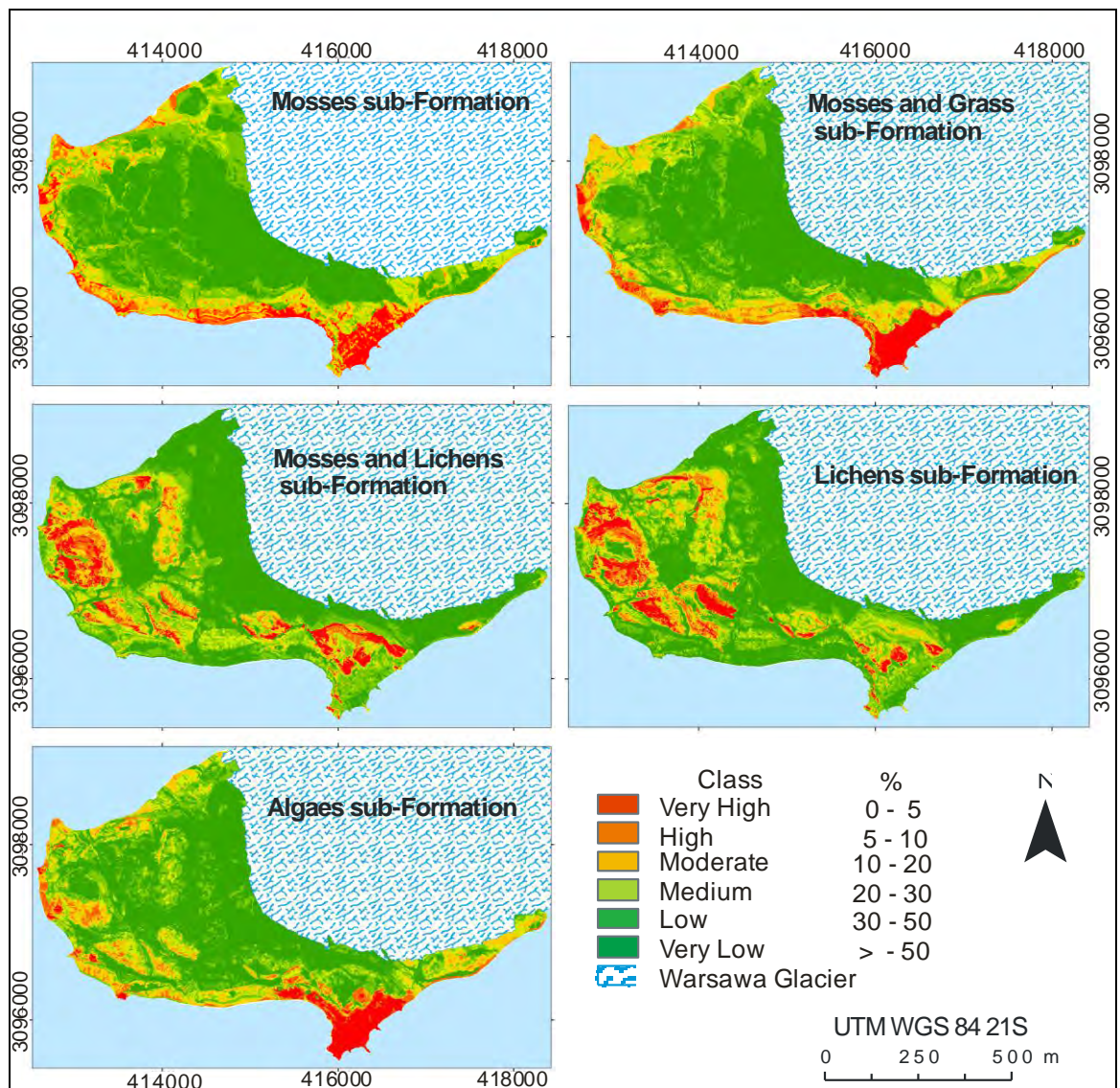


Figura 1: Resultados do modelo de superfície do Valor Informativo para as quatro comunidades vegetais.

Nota-se uma boa sobreposição entre a classe de Líquens com resultados do VI. Ocorrem áreas com grande susceptibilidade à ocupação por Líquens e Musgos na moraina frontal acima de Stranger Point e áreas adjacentes. Em outros locais da península também pode ser observado.

Musgos tiveram boa relação com maiores VIs. As áreas de terraços marinhos, com maior umidade e com atividade de fauna, com os solos mais fertilizados, são mais favoráveis a cobertura de musgos e gramíneas.

Semelhante aos musgos que se limitam aos locais com maior acumulação de água (Figura 3).

### 3.3 Validação

A Figura 2 apresenta o gráfico com o resultado da validação do modelo utilizando o 50% das amostras que não entraram no processo da modelagem. O resultado do cálculo da AAC indica uma capacidade preditiva do modelo da ordem de 89% para classes de Algas, de 87% para classe de musgos e gramíneas. No entanto as demais classes: Musgos, Líquens, e Líquens e Musgos tiveram resultado razoável, porém satisfatório com capacidade preditiva de 79, 78 e 71% respectivamente. Estas percentagens dizem respeito aos elementos que, não estando integrados na modelagem, foram detectados pelo modelo. Para classes de musgos, líquens e musgos e gramíneas até 10% de susceptibilidade já alcançam aproximadamente metade das áreas de ocorrência dessas classes, o que mostra um bom ajuste do modelo.

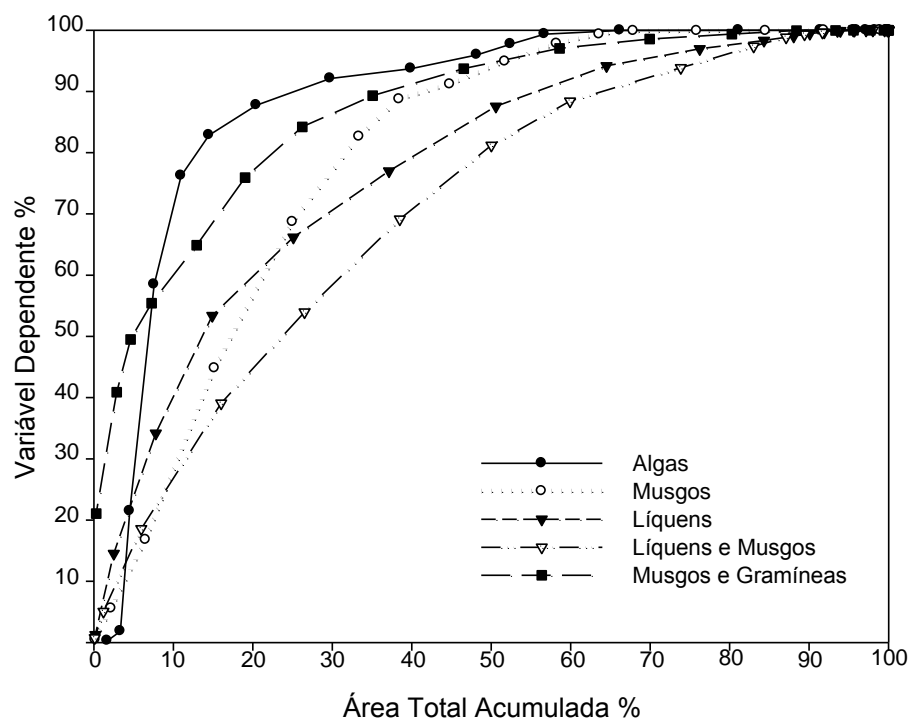


Figura 2: Curva de sucesso das áreas de Musgos e Gramíneas, Algas, Musgos, Líquens e Musgos, e Líquens (área acumulada).

Apenas a classe líquens e musgos atingiu resultado regular, enquanto que o modelo teve um ótimo ajuste para a classe de Algas. Deste modo, poder-se afirmar que o modelo possui uma boa capacidade preditiva da distribuição dessas comunidades vegetais na Península Potter.

Locais de terraços marinhos, protegidos dos ventos e com menor declividade são mais susceptíveis a ocupação por musgos. Os musgos e gramíneas ocupam preferencialmente áreas com alguma influência da avifauna, em locais com melhor drenagem e bem estáveis. Enquanto líquens e suas associações com musgos possuem maior susceptibilidade para dispersão em superfícies de maior exposição ao vento e bem drenadas (Figura 3). Líquens são pioneiros em ocupar em novas áreas devido a sua facilidade de dispersão. Como visto no modelo, os locais de morainas mais recentes são mais susceptíveis à ocupação por líquens.

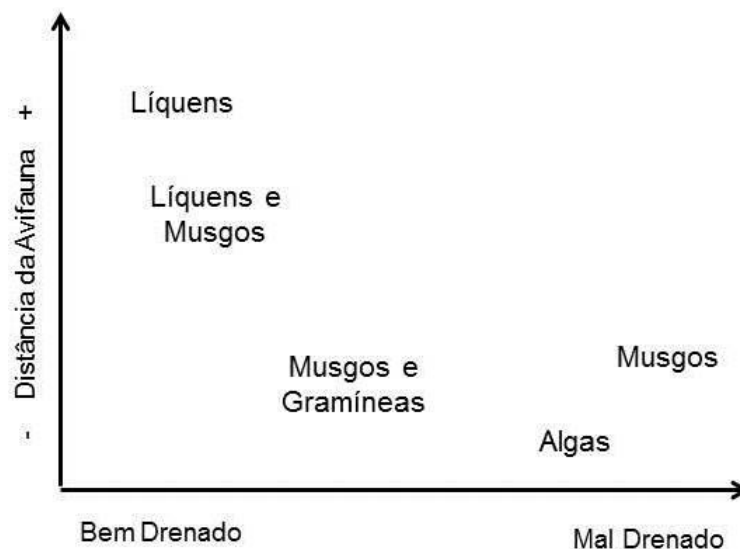


Figura 3: Distribuição das classes de vegetação entre umidade do solo e gradiente de influência da avifauna (Adaptado de Olech, 2002).

Segundo Olech (2002) à medida que se distancia da costa marinha e das colônias de animais, principalmente dos pinguins e, simultaneamente aumentando a altitude, a composição e estrutura das comunidades vegetais mudam. Nas baixas altitudes, nas planícies marinhas, ocorrem as maiores coberturas de vegetação devido aos gradientes de nutrientes providos da deposição de guano. Em maiores altitudes juntamente com a diminuição do

gradiente de nutriente no solo, ocorre diminuição da cobertura por plantas vasculares e algas, em favor de comunidades de líquens.

A área de terraço marinho de Stranger Point possui alta susceptibilidade à ocupação por musgos e gramíneas, como verificado por Tatur et al. (1997), pois estas mantêm relativa abundância em áreas de solos ornitogênicos de pinguineiras abandonadas e marginais às zonas de pinguineiras ativas.

O modelo mostra-se satisfatório para simulação das áreas susceptíveis às algas. Devido ao fato dessas espécies ocorrerem em situações específicas como áreas encharcadas e/ou com concentrações elevadas de guano da avifauna, as classes com maiores VIs estão próximos os ninhais e pinguineiras. Da mesma maneira as classes de musgos e gramíneas mostram um ajuste muito bom do modelo com as ocorrências. As gramíneas aparecem em estágios mais avançados da sucessão, em solos com maior fertilidade e mais estáveis, ou seja, nas áreas com exposição mais antiga. Os musgos estão limitados pelas áreas de ocorrência de maior umidade, nos terraços marinhos próximas aos canais de drenagem, como descrito por Olech (2002).

A melhoria das condições ambientais pode favorecer a expansão dessa vegetação sob as novas áreas, devido à diminuição da pressão do ambiente com rápida colonização dos solos recentemente expostos pela neve ou gelo (Convey e Smith, 2006; Convey, 2006). O modelo pressupõe vastas áreas com alta susceptibilidade para ocupação da vegetação principalmente líquens e musgos, porém, atualmente ausente ou com ocorrências dispersas de plantas. Birkenmajer (1998) sugere um período de 500 anos desde o último avanço glacial, resultando nas morainas basais e marginais, no platô central de Potter e acima de Stranger Point. Por conseguinte, pode-se inferir que essa vegetação ainda não teve tempo suficiente para ocupar os novos nichos, expostos a partir do recuo da geleira.

#### 4. Conclusões

O resultado do modelo comprova a relação entre a distribuição das comunidades vegetais com os diferentes componentes da paisagem. Apesar de fatores muito particulares de cada espécie, a distribuição das comunidades segue algum padrão. A maior cobertura está concentrada nas áreas mais antigas e estabilizadas da Península Potter, locais com maior atividade da fauna. O modelo apresenta ainda áreas passíveis à ocupação pela flora. Principalmente em locais mais recentes livres de gelo.

Neste sentido, será de futuro interesse dividir a área de estudo em função do tempo desde o último máximo glacial, enquanto este fator como variável independente, pois isso poderia melhorar significativamente o modelo. O modelo poderá ser testado em outras áreas na Antártica Marítima, para entendimento das condicionantes ambientais para distribuição da vegetação, formação de solos, além disso, podem ser criados cenários de distribuição futura das comunidades, introduzindo alterações na distribuição espacial das variáveis condicionantes.

#### 5. Referências

- Birkenmajer, K., 1998. Geology of Volcanic Rocks (Upper Cretaceous-Lower Tertiary) at Potter Peninsula, King George Island (South Shetland Islands, West Antarctica). *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Earth Sciences*, Vol. 46-2, 147-155.
- Braun, M.; Gossmann, H. 2002. Glacial changes in the areas of Admiralty Bay and Potter Cove, King George Island, maritime Antarctica. In: Beyer, L.; Bölter, M. (Ed). *Geoecology of Antarctic ice-free coastal landscapes*. Berlin: Springer-Verlag. 75-89..
- Chwedorzewska K. J. 2009. Terrestrial Antarctic ecosystems in the changing world: an overview. *Polish Polar Res* 30:263–276.
- Convey P. 2006. Antarctic climate change and its influences on terrestrial ecosystems *In: D.M. Bergstrom, P. Convey and A.H.L. Huiskes (eds) Trends in Antarctic Terrestrial and Limnetic Ecosystems: Antarctica as a*

- Global Indicator*. Springer, Dordrecht: 253–272.
- Convey P. Smith R.I.L. 2006. Responses of terrestrial Antarctic ecosystems to climate change. *Plant Ecology* 182: 1–10.
- Ferron, F.A.; Simões, J.C.; Aquino, F.E.; Setzer, A.W. 2004. Air temperature time series for King George Island, Antarctica. *Pesq. Antárt. Bras.*, 4: 155-169.
- Gimingham, C. H., Smith, R. I. L, 1970. Bryophyte and lichen communities in the Maritime Antarctic. In Holdgate, M. W. (ed.), *Antarctic ecology*. Vol. 2. London: Academic Press, 752–785.
- Lognton, R. E., 1967. Vegetation in the Maritime Antarctic. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. Ser. B*. 252: 213–235.
- Lusky J.C, Vallverdú R.A, Gómez Izquierdo D.R, del Valle R. A, Felske H, 2001 Mapa digital de península Potter isla 25 de Mayo (King George Island). Instituto Antártico Argentino. Disponível em: <<http://www.dna.gov.ar/divulgac/mapadig>> Acesso em 3 setembro de 2008.
- Michel, R. F. M. Michel R. F. M, Schaefer C. E. G. R, Dias L. E, Simas F. N. B, de Melo Benites V, de Sa Mendonça E. 2006. Ornithogenic Gelisols (Cryosols) from Maritime Antarctica: pedogenesis, vegetation, and carbon studies. *Soil Sci Soc Am J* 70:1370–1376.
- Myrcha A, Tatur A. 1991. Ecological role of current and abandoned penguin rookeries in the land environment of the maritime Antarctic. *Pol Polar Res* 12:3-24.
- Olech M. 2002. Plant communities on King George Island. *In*: L. Beyer and M. Bölter (eds) *Geocology of Antarctic Ice-free coastal landscapes*. *Ecological Studies* 154: 215–231
- Øvstedal, D.O. Smith, R.I.L. 2001. *Lichens of Antarctica and South Georgia – A guide to their identification and ecology*. Studies in Polar Research. Cambridge University Press. 411p.
- Simas, F. N. B., Schaefer, C. E. G. R.; Melo, V. F., Albuquerque-Filho, M. R., Michel, R. F. M, Pereira, V. V.; Gomes, M. R. M. Costa, I. M. 2007. Ornithogenic cryosols from Maritime Antarctica: Phosphatization as a soil forming process *Geoderma*, 138 (3-4), pp. 191-203.

- Schaefer, C.E.G.R.; Pereira, A. B; Francelino, M.R.; Fernandes Filho, E.I.; Simas, F. N.B; Costa, L; Oliveira, A. 2004. Comunidades vegetais na Península Keller: Ecologia e Padrões de Distribuição In: Schaefer, C.N.; Francelino, M.R.; Simas, F.N.B.; Albuquerque Filho, M.R. de (Ed). Ecosistemas costeiros e monitoramento ambiental da Antártica marítima: Baía do Almirantado, Ilha Rei George. Viçosa: NEPUT. pp: 47-58.n
- Smith R.I.L. 1994. Vascular plants as indicators of regional warming in Antarctica. *Oecologia* 99: 322 –328.
- Smith, R.I. L. Gimmingham, C.H., 1976. Classification of cryptogamic communities in the Maritime Antarctic. *British Antarctic Survey Bulletin*, 43: 25-47.
- Smykla J, Wolek J, Barcikowski A. 2007. Zonation of Vegetation Related to Penguin Rookeries on King George Island, Maritime Antarctic. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*: Vol. 39, No. 1 pp. 143–151.
- Poelking, E.L. Schaefer, C. Andrade, A. M. Simas, F. Filho, E. F. Vegetation Map of Potter Peninsula, Maritime Antarctica. SBSR. 2011.
- Tatur, A., Myrcha, A., Niegodziz, J. 1997. Formation of abandoned penguin rookery ecosystems in the Maritime Antarctic. *Polar Biol* 17:405-417.
- Turner, John; Colwell, Steve R.; Marshall, Gareth J.; Lachlan-Cope, Tom A.; Carleton, Andrew M.; Jones, Phil D.; Lagun, Victor; Reid, Phil A.; lagovkina, Svetlana. 2005. Antarctic climate change during the last 50 years. *International Journal of Climatology*, 25 (3). 279-294.
- Vieira, G., Bockheim, J., Guglielmin, M., Balks, M., Abramov, A. A., Boelhouwers, J., Cannone, N., Ganzert, L., Gilichinsky, D. A., Goryachkin, S., López-Martínez, J., Meiklejohn, I., Raffi, R., Ramos, M., Schaefer, C., Serrano, E., Simas, F., Sletten, R. and Wagner, D. (2010), Thermal state of permafrost and active-layer monitoring in the antarctic: Advances during the international polar year 2007–2009. *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: 182–197.
- Vaughan D. G., Marshall G. J., Connolley W. C., King J. C. Mulvaney R. 2001. Devil in the detail. *Science* 293: 1777 – 1779.
- Yin, K. L., Yan, T. Z. 1988. Statistical prediction model for slope instability of

metamorphosed rocks. **In:** C.Bonnard (ed.) Proc. *Fifth International Symposium in Landslides*, Lausanne, A.A. Balkema, Rotterdam, Holanda, 2: p.1269-1272.

Zêzere, J. L. 2002. Landslide susceptibility assessment considering landslide typology, a case study in the area north of Lisbon (Portugal). *Natural Hazards and Earth System Sciences* 2: p.73-82.

## **Regime Termal de Quatro Sítios de Monitoramento da Camada Ativa na Ilha Rei George, Antártica Marítima.**

Resumo: O objetivo deste trabalho foi investigar as relações entre as características do solo e cobertura vegetal na dinâmica termal da camada ativa em quatro sítios na Ilha Rei George, Antártica Marítima. Relacionar os dados de temperatura e umidade dos solos com dados climáticos da região para elucidar o comportamento da dinâmica termal da camada ativa em relação a alterações climáticas. Foram selecionados quatro sítios de monitoramento instalados no ano de 2008, com monitoramento da temperatura da camada ativa e umidade à superfície do *permafrost*, em diferentes locais na Ilha Rei George. Os quatro sítios estudados encontram-se em uma faixa de altitude que varia de 45 a 89 m, porém a dinâmica termal no período estudado mostrou ligeiras diferenças devido as características específicas de cada solo, como textura, pedregosidade e cobertura de vegetação influenciaram neste comportamento. Apesar de encontrar-se em zona de *permafrost* contínuo, apenas dois sítios (S1 e S2) demonstraram presença possivelmente já nos primeiros 100 cm de profundidade. Os Sítios 3 e 4, não apresentaram sinal da presença do *permafrost* em subsuperfície. Os resultados apresentados neste trabalho poderão subsidiar futuros trabalhos com modelagem da dinâmica termal da camada ativa e seu comportamento em longo prazo.

### **1. Introdução**

A alteração climática que vem ocorrendo na Antártica Marítima acarreta impactos tanto nos regimes dos solos e *permafrost* (Cannone et al. , 2006; Guglielmin et al. , 2008) quanto nos componentes do ecossistema (Smith 1994; Convey 2006 e Vaughan et al, 2001). Aumento de temperatura e precipitação refletem nas taxas de produção primária, na pedogênese e na atividade biológica em geral. Os criossolos ornitogênicos constituem os principais reservatórios de Carbono orgânico desta região (Ugolini, 1972; Tatur et al. ,1997; Michel et al. , 2006; Simas et al. , 2007). A maior parte do

C estocado em criossolos encontra-se protegido no *permafrost* (Simas et al., 2007), o que sugere um potencial elevado de emissão de CO<sub>2</sub> diante do atual cenário de aquecimento regional. A resiliência do *permafrost* diante do rápido incremento da temperatura média do ar nos últimos anos registrada na Península Antártica, ainda não é bem conhecida (Ramos & Vieira, 2003; Vieira et al, 2010).

A relação entre a temperatura do ar e da superfície do solo, assim como o *permafrost*, são indicadores-chaves da mudança do clima e da criosfera (Guglielmin, 2008). Mostra-se um sensível indicador da mudança do clima pelo fato de integrar elementos climáticos acima da superfície como: temperatura do ar, precipitação e cobertura de neve, bem como suas interações com as características da superfície do solo, vegetação e micro relevo. Essa relação provém ótimos meios para monitoramento dessas mudanças (Cannone et al. , 2006). Por essa razão, o monitoramento de temperaturas dos solos podem elucidar questões como a propensão destes solos a sofrerem alterações como a degradação do *permafrost*, incremento em espessura da camada ativa (Hinkel et al. 2000), liberação de metano e CO<sub>2</sub> (Cannone et al. 2006; Guglielmin et al. , 2008).

O entendimento da dinâmica e distribuição do *permafrost* na Antártica é essencial para o estudo da criosfera, devido a sua importância para controle da modificação dos ecossistemas frente às mudanças climáticas (Vieira et al, 2010). Perfis de temperatura de solo são importantes para reconstruir climas passados e detecção de recentes mudanças de clima (Kane et al. 2001). Para Burn (2004) as análises de sítios de monitoramento de temperatura devem envolver caracterização detalhada das propriedades termais, relações de temperatura de superfícies de solos, condições da neve, em dados de escala local em uma série temporal.

Durante o Ano Polar Internacional (API) diversos países intensificaram os trabalhos com sítios de monitoramento de *permafrost* e camada ativa na região da Antártica, iniciados anteriormente ao API (Vieira et al. , 2010). Apesar deste aumento de dos sítios de monitoramento (Paetzold et al, 2000; Ramos e Vieira, 2003; Guglielmin et al. 2008; Cannone et al. 2006; Ramos et al. 2008; Michel et al, 2010; Schaefer et al. 2010), ainda há muito para avançar no estudo sobre a dinâmica da camada ativa e natureza do

*permafrost* na Antártica, comparado ao hemisfério norte.

A região noroeste da Península Antártica encontra-se em posição climática próxima do limite setentrional do *permafrost* antártico, em que pequenos incrementos da temperatura, podem acarretar em alterações nos ambientes com consequências no ecossistema das áreas livres de gelo. No entanto, seus limites de ocorrência ainda não são bem conhecidos. (Vieira et al, 2010).

A Antártica Marítima oferece condições favoráveis para estudos de monitoramento climático, devido a sua posição de transição climática e alta sensibilidade às mudanças do clima. Ramos et al. (2008) em trabalho de monitoramento de sete anos, encontraram tendência de aquecimento do solo no período do verão em sítios de diferentes altitudes na ilha de Livingston. Guglielmin et al. (2008) constataram que a cobertura mais densa de vegetação, principalmente tapetes de musgos, oferece isolamento às trocas de calor entre o solo e ar. Essa cobertura dos solos, e acima de tudo mudanças na vegetação estão entre os mais importantes fatores capazes de modificar a distribuição do *permafrost* e seu regime termal (Cannone et al. 2006). Porém o estudo das relações entre *permafrost* e vegetação está ainda em seu início (Cannone et al, 2006; Guglielmin et al. 2008). Estudos mais aprofundados das características dos solos e vegetação antárticos mostram-se importantes na elucidação de fenômenos climáticos passados e seus possíveis reflexos no futuro.

Nas Campanhas Antárticas Brasileiras de 2008 e 2009 foram realizados levantamentos de solos detalhados na Ilha Rei George, Antártica Marítima. Foram também instalados vários sítios de monitoramento de camada ativa nessa região, objetivando monitoramento contínuo juntamente com caracterização completa de solos e comunidades vegetais em cada sítio (Michel et al, 2010).

O objetivo deste trabalho é investigar as relações entre as características do solo e cobertura de vegetação, na dinâmica termal da camada ativa em quatro sítios com monitoramento de temperatura de solos na Ilha Rei George, Antártica Marítima. Buscar relacionar os dados de temperatura e umidade dos solos com dados climáticos da região para elucidar o comportamento da dinâmica termal da camada ativa em relação

às mudanças climáticas.

## 2. Material e Métodos

### 2.1 A área de estudo

A Ilha Rei George, localizada no arquipélago das Ilhas Shetland do Sul, na Antártica Marítima, entre o estreito de Bransfield e a passagem de Drake entre as latitudes sul  $62^{\circ}13,5'$  e  $62^{\circ}16'$  e longitude oeste  $58^{\circ}42'$  e  $58^{\circ}33'$ . O clima da Ilha Rei George segundo a classificação de Köppen é ET, tundra polar, com temperatura média anual de  $-2,8^{\circ}\text{C}$ , com variações nos período do verão de  $-1,3$  a  $2,7^{\circ}\text{C}$  e no inverno de  $-15,5$  a  $-1,0^{\circ}\text{C}$  (Ferron et al, 2004).

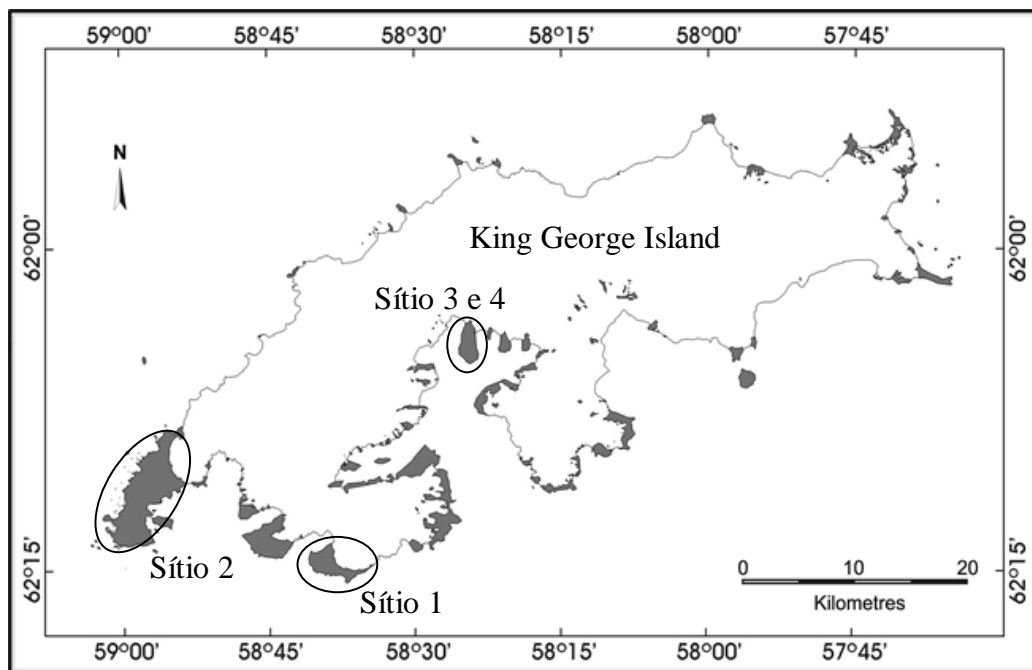


Figura 1: Área de estudo na Ilha Rei George.

### 2.2 Monitoramento de camada ativa

Os sistemas de monitoramento de camada ativa foram instalados no verão de 2008. Consistem em sensores de temperatura de solo instalados em diferentes profundidades, com precisão de leitura de  $0,01^{\circ}\text{C}$ . Um sensor de umidade foi instalado na camada mais profunda do perfil, com precisão de leitura de  $0,05\%$ . Todos os sensores são conectados a um *datalogger* CR1000 (Campbell Scientific, INC), programado para coletar dados horários.

Nesse trabalho foram analisados os dados dos sítios de monitoramento instalados na Península Potter (Sítio 1) Fildes (Sítio 2), e dois em Keller (Sítio 3 e Sítio 4) (Figura 1, 2 e 3).

As características de cada sítio de monitoramento são apresentado na tabela 1 e dados de solos e cobertura de vegetação na tabela 2. Os dados meteorológicos da série temporal de Potter foram obtidos da estação meteorológica de Jubany para o ano de 1986 à dezembro de 2010, e das estações de Frey e Ferraz dos anos de 2008 à dezembro de 2010. (Capítulo 3).

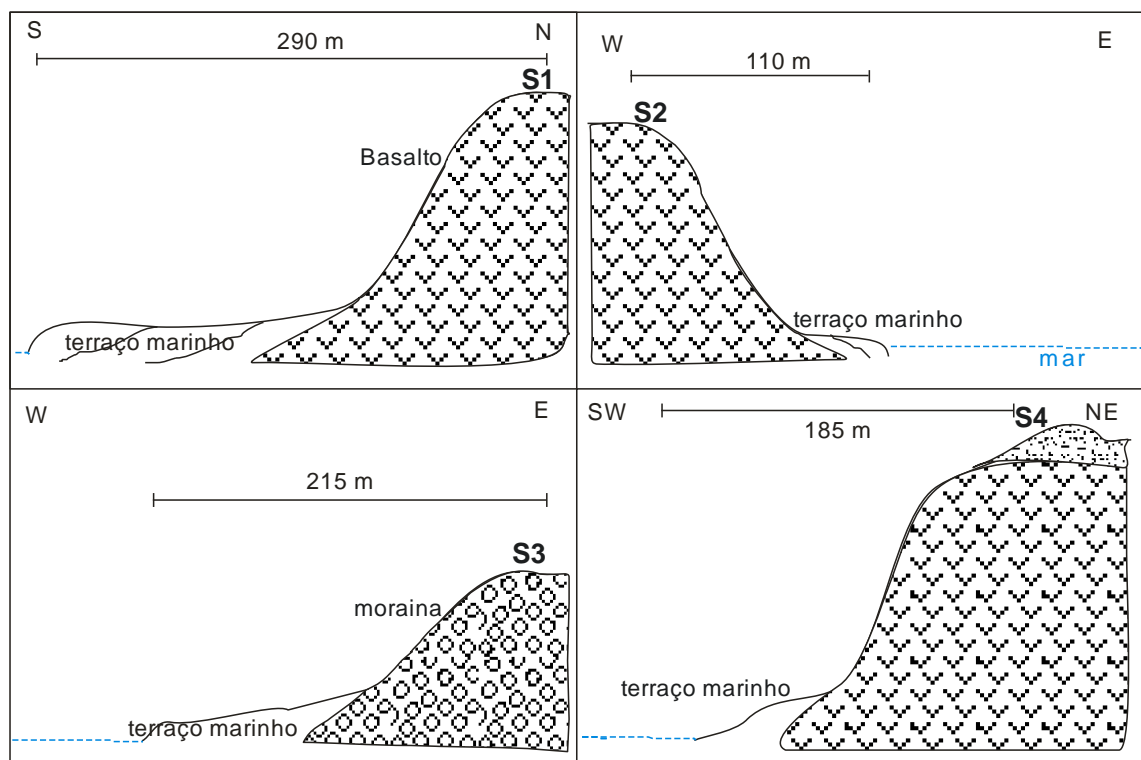


Figura 2: Transectos dos quatro sítios estudados, com orientação, altitude e distância em relação à costa.

### 2.3 Fator N

O Fator N (FN) é um método simples para estabelecer os parâmetros do balanço de energia de superfície. É utilizado a mais de 40 anos para padronizar o regime de temperatura à superfície do solo em estudos de engenharia, porém com potencial para aplicações ecológicas climatológicas e geociologia (Klene et al, 2001). O valor FN+ é obtido pela razão entre a

soma dos graus-diários (°C/dia) de temperatura na estação de descongelamento na superfície do solo o do ar, e o FN- pela razão entre a soma dos graus-diários (°C/dia) de temperatura na estação de congelamento na superfície do solo o do ar (Karunaratne e Burn, 2003; Riseborough, 2003).

Tabela 1: Características físicas dos solos dos sítios estudados.

Profundidade	AG	AF	Silte	Argila	Classe	Pedregosidade	Matéria Orgânica
	-----g/kg-----					-----%-----	
<b>S1 - Umbric-Leptic Cryosol</b>							
0 – 10	67	9	10	14	Loam Sand	55	2.81
10 – 20	68	11	12	9	Loam Sand	58	1.41
20 – 40	67	9	14	10	Loam Sand	24	1.02
40 – 60	52	19	21	8	Loam Sand	65	1.02
60 – 80	47	24	21	8	Loam Sand	77	1.15
<b>S2 - Turbic Eutric Cryosol</b>							
0 – 20	28	18	34	20	Loam	-	-
20 – 50	29	17	36	18	Loam	-	-
50 – 100	14	30	47	9	Loam	-	-
<b>S3 – Litic Cryosol</b>							
0 – 10	40	11	27	22	Sandy Clay Loam	42	1.38
10 – 20	23	10	36	31	Clay Loam	-	0.69
20 – 30	27	9	34	30	Clay Loam	-	0.52
30 – 40	36	6	33	25	Clay Loam	55	0.52
40 – 50	39	4	37	20	Clay Loam	-	0.52
<b>S4 - Litic Cryosol</b>							
0 – 10	52	6	26	16	Loamy-Sand	58	6.21
10 – 20	39	7	53	1	Silt Loam	-	3.79
20 – 30	26	10	63	1	Silt Loam	-	3.62
30 – 40	28	6	65	1	Silt Loam	38	2.07
40 – 50	25	7	66	2	Silt Loam	-	1.21
50 – 60	28	6	65	1	Silt Loam	-	0.52

AG: Areia Grossa, AF: Areia Fina.

Fonte: S1 capítulo 1, S2 (Michel et al. , 2010), S3 e S4 (Schaefer et al, 2004).

O Índice do FN pode variar de 0 ao infinito, onde valores próximos a 1 indicam pouca diferença entre a soma dos graus diários da superfície do solo e do ar (Klane et al, 2001). O FN foi calculado para cada estação de congelamento, cujas temperaturas do solo e ar eram negativas, e descongelamento em que ambas temperaturas do solo e ar eram positivas, pela seguinte equação:

$$fn^- = \frac{FDDs}{FDDa}; \quad fn^+ = \frac{TDDs}{TDDa}$$

Em que: fator  $n^+$ = Estação de Descongelamento, TDDs (Tawing Degree Days)= TDD do solo, TDDa= TDD do ar, fator  $n^-$ = Estação de Congelamento, FDDs (Freezing Degree Days) = FDD do solo, FDDa= FDD do ar (Klene et al. 2001). No somatório dos ciclos gelo-degelo (Freeze-thaw days - FTD), foram computados os dias em que houve temperaturas positivas e negativas.



Sítio1 (Península Potter)



Sítio 2 (Península Fildes)



Sítio 3 (Península Keller)



Sítio 4 (Península Keller)

Figura 3: Imagens dos quatro sítios de monitoramento de camada ativa estudados.

### 3. Resultados

#### 3.1 Temperatura de superfície do solo vs temperatura do ar

### 3.1.1 Correlação entre temperatura do solo e ar

A correlação entre temperatura do ar das três estações meteorológicas e temperatura de superfície dos quatro sítios de monitoramento é apresentada na Tabela 3. Os dados de temperatura do ar das estações meteorológicas apresentaram coeficientes de correlação de 0,96 e 0,98. Portanto, os dados da série climática de Jubany podem ser utilizados para representar essa área de estudo.

Tabela 2: Localização e Características dos Sítios de monitoramento na Ilha Rei George.

Sítio	Coordenadas		Classe Solos (WRB)	Vegetação	Alt.	T1	T2	T3	T4	U
	Latitude	Longitude				----- m -----				%
S1	-62,25261	-58,65995	Umbric Leptic Cryosol	Lichens ( <i>Usnea sp.</i> and <i>Himantormia sp.</i> )	70	0,08	0,36	0,56	0,9	0,93
S2	-62,20363	-58,96038	Turbic Eutric Cryosol	Musgos e Liquens ( <i>Usnea sp.</i> and <i>Himantormia sp.</i> )	65	0,10	0,32	0,67	0,83	0,9
S3	-62,07246	-58,41619	Litic Cryosol	Mistos (Liquens)	45	0,10	0,29	0,48	0,68	0,68
S4	-62,08578	-58,41356	Litic Cryosol	Musgos	89	0,10	0,36	0,63	-	0,63

S= Site; T=Termopar; U= Umidade

Quanto às temperaturas de superfície, no Sítio 1, alcançaram melhor relação com as temperaturas do ar com as três estações (0,82 a 0,85). Isto se deve em grande parte a sua baixa cobertura vegetal, e possivelmente pela menor cobertura de neve durante a estação de congelamento. Enquanto que Sítio 2 e Sítio 3 variaram com coeficientes 0,75 a 0,8. O sensor de superfície em Sítio 4 mostrou os menores resultados, tanto para temperaturas do ar das estações quanto para os demais sensores de superfície. A diferença de cobertura de neve e cobertura mais densa de musgos no Sítio 4 juntamente com a maior altitude, possivelmente está interferindo no comportamento da temperatura do ar e de superfície. Os sensores de superfície do Sítio 1, Sítio 2 e Sítio 3 mostraram comportamentos muito semelhantes (0,96 e 0,97). Estes sítios possuem cobertura de vegetação formada basicamente por liquens esparsos, o que

não demonstra muita interferência na transferência de calor solo-ar.

O ano de 2008 foi extremamente quente em relação à série, principalmente no inverno em que as temperaturas foram muito superiores à média deste período (-4,4 °C com mínima absoluta de apenas -7,3 °C em agosto) (capítulo 3). A primavera foi EQ, com média próxima de 0 °C. Os meses de verão mantiveram altas temperaturas com máxima de 2,7 °C em janeiro de 2009. Em contrapartida, no inverno de 2009 as médias mensais foram Moderadamente Frias (ModF) em relação á série, com temperatura do mês mais frio de -8,6 °C em julho. O verão de 2009/10 apresentou temperatura média máxima de 1,1 °C em Janeiro, considerado Extremamente Frio (EF) em comparação a série.

Tabela 3: Correlação entre temperatura do ar das três estações meteorológicas e temperatura de superfície dos sítios de monitoramento.

	Jubany	Frey	Ferraz	Sítio 1	Sítio 2	Sítio 3	Sítio 4
Jubany	1	0,96	0,98	0,82	0,75	0,78	0,46
Frey		1	0,96	0,82	0,77	0,79	0,51
Ferraz			1	0,83	0,77	0,80	0,48
Sítio 1				1	0,96	0,97	0,61
Sítio 2					1	0,96	0,73
Sítio 3						1	0,62
Sítio 4							1

648 casos. Todas as correlações são significativas em  $p < 0,05$ .

### 3.1.1 Fator N

O comportamento da curva do FN representa a evolução da razão entre a temperatura do solo e ar. Essa razão possui um padrão para cada condição específica de tipo de solo, cobertura de vegetação, paisagem. No entanto, este padrão pode sofrer variações devido às condições climáticas de cada estação de congelamento ou descongelamento. Além disso, variações sazonais da cobertura de neve, umidade no solo, radiação solar, ou qualquer alteração entre a superfície do solo e o ar influencia no comportamento da curva.

Valores baixos do FN- indicam temperaturas de superfície maiores, enquanto valores maiores de FN- indicam temperaturas de superfície relativamente mais baixas. Para estação de descongelamento, Fator N+

(FN+) acima de 1 representa temperatura do solo superior à do ar, e FN+ próximo ou abaixo e 1 revelam temperatura do ar inferior à do solo (Karumatne e Burn 2003).

O Sítio 1 apresentou pouca diferença entre o FDD do solo e FDD do ar, o que resultou em FN- com valores próximos a 1 no final da estação de congelamento. Na estação de descongelamento, após derretimento da cobertura de neve, ocorre inversão entre os TDD do ar e TDD do solo. Devido ao maior aquecimento do solo pela radiação solar, o FN+ alcança valores de até 1,3 (Figura 4). O FN+ mostrou-se inversamente proporcional à profundidade de degelo no perfil do Sítio 1. Em que para período maior da estação de degelo de 135 dias (na primavera-verão de 2008/2009 considerado EQ) onde o FN+ permaneceu com média de 1,1, a profundidade de degelo atingiu cerca de 88 cm. Enquanto no verão seguinte o FN+ alcançou média de 1,5, a profundidade de degelo foi de aproximadamente 68 cm. Ressalta-se que este ano foi relativamente mais frio, e o período de degelo foi mais curto (90 dias). O Sítio 1 manteve media acima de 1 para o FN-e para o FN+ a media foi de 0,83.

No Sítio 2 o somatório das temperaturas acumuladas do FDDa e FDDs em 2009 foram superiores a 2008, no entanto, o FN- foi ligeiramente menor no segundo ano, devido as menores temperaturas do solo e possivelmente maior cobertura de neve. A neve fofa serve como isolante térmico, diminuindo as trocas de calor entre o solo e atmosfera. Pode-se acompanhar no desenvolvimento do gráfico do FN-, onde a linha sobe no início da estação de resfriamento até atingir estabilidade, enquanto solos com menor, ou pouca cobertura de neve o FN- mantém ascendência (Karunaratne e Burn, 2003). Já na estação de descongelamento os valores do FN+ aumentam muito rapidamente, isso demonstra que a partir do momento que sessa a cobertura de neve, a temperatura do solo aumenta rapidamente, chegando a 3 (figura 5). O sítio 2 apresentou o maior valor de FN+ (2,81), com profundidade de degelo superior à 83 cm,

O Sítio 3 apresenta mais claramente a diferença entre dois períodos de congelamento, em que o ano de 2009 os valores de FDDa e FDDs foram muito superiores comparados a 2008, semelhante ao Sítio 2. Os valores do FN- também foram menores no segundo ano. Nas estações de verão o FN+

aumenta rapidamente até seu máximo próximo a 3 nos dois anos (Figura 6). Com período de degelo maior em profundidade, em que as temperaturas alcançaram valores ligeiramente superiores a 2 °C na maior profundidade (68 cm).

O FN+ no Sítio 4 foi o menor de todos os sítios estudados, com máximo de 1,4. Pode-se inferir que a cobertura de vegetação oferece resistência ao aquecimento do solo. Enquanto a estação de congelamento seguiu a mesma tendência dos demais sítios estudados. Corrobora com Canone et al, (2006) e Guglielmin et al, (2008) cuja vegetação apresenta resistência às trocas de calor com a atmosfera.

FN na Antártica ainda é pouco estudado, sendo que no artigo é mais utilizado, tanto para estudos para engenharia, como ambientais. Klene et al. (2001) encontraram FN+ médio de 3 anos para diferentes solos no Alasca valores entre 0,63 a 1,0 em locais com espessura de camada ativa de 40 a 60 cm. Karunaratne e Burn, (2003) encontraram valores abaixo de FN- abaixo de 0,4 para áreas com maior acúmulo de neve e FN- mais altos para áreas sem acumulação de neve em estudos em região de *permafrost* descontínuo no Alasca.

O melhor entendimento do comportamento do FN+ em diversos solos na Antártica Marítima pode contribuir para modelos de profundidade de degelo em diversos sítios de monitoramento de camada ativa dos solos.

### *3.2 Regime termal dos sítios de monitoramento*

A dinâmica termal dos solos é dominada por efeitos de condutivos. No entanto, efeitos não condutivos tem grande importância, principalmente em eventos de percolação de água no solo seja por incidência de chuva, seja por derretimento de neve. Este processo é mais efetivo em solos de maior textura, porosos e melhor drenagem (Klene et al, 2001).

A temperatura média de superfície para os quatro sensores manteve-se com valores muito próximos a -1 °C no ano de 2008 e -2 °C em 2009. Devido ao ano de 2009 mais frio, nos 4 sítios estudados as temperaturas máximas e mínimas em todas as profundidades foram menores. A amplitude das temperaturas em superfície mostra-se muito maior que em profundidades maiores. Nota-se que no perfil do Sítio 1 as temperaturas

médias ficam ligeiramente superior à 0 °C, evidenciando *permafrost* a menos de 100 cm. No Sítio 2 percebe-se a mesma característica, apesar das temperaturas máximas ascenderem ligeiramente acima de 0 °C, a 83 cm de profundidade. Porém, nos Sítios 3 e 4, são observados uma menor diminuição da amplitude térmica com aumento da profundidade. A temperatura máxima do sensor a 68 cm do Sítio 3 ficou entre 3 e 2 °C nos dois anos e de Sítio 4 a 63 cm próximo a 2 °C.

O resfriamento progressivo faz com que, no centro da camada ativa, o solo mantenha temperatura constante por mais tempo (Burn, 2004). Este retardamento do congelamento é chamado de “cortina zero” (do inglês *zero curtain*), relacionado com solo com elevada umidade e depende do calor latente, variável para cada constituinte do solo (Vieira et al. 2003). Essa fase iso-termal (*zero curtain*) ocorre frequentemente no período de primavera e outono devido a maior umidade no solo em função do derretimento da neve e/ou precipitação líquida. Nos sensores de maior profundidade nota-se um período prolongado de *zero curtain*, retardando seu congelamento. A maior umidade presente nessa profundidade contribui para este fenômeno. Ocorrendo o congelamento concomitante com diminuição da umidade à essa profundidade.

No Sítio 1 ocorre longo período em fase isotermal nas estações de outono e primavera, característicos de efeito de *zero curtain*. Nota-se um esfriamento em duas frentes, da superfície e em subsuperfície, característico de solos com a proximidade do *permafrost* (figura 4). Aquecimento elevado da superfície durante a fase de degelo no verão, porém não contínuo com a profundidade, mostra maior resistência para mudança de temperatura. A elevada pedregosidade deste solo confere uma maior porosidade, sendo o solo bem drenado e o ar como baixo condutor de calor, retarda o aquecimento em profundidade. A umidade do solo registrada a 93 cm permaneceu constantemente abaixo de 20%. Apenas em dois eventos rápidos na primavera em que ocorreu elevação da umidade, devido a curtos de aumento das temperaturas do ar. Essa baixa umidade constante a 90 cm devido ao solo estar congelado a essa profundidade. No ano de 2008 em superfície foram encontrados 84 dias de FTD, que representa uma grande variação de temperatura diária, ou seja, ciclos de congelamento e

descongelamento diários. Em 2009 ocorre uma diminuição destes ciclos, e em contrapartida em 2010 ocorre um grande aumento dos FTD acompanhando as tendências de temperaturas do ar nesse período. Este fenômeno afeta diretamente a morfologia dos criossolos, formação de solos com padrões, característicos de áreas sob influência de *permafrost* (French 1996).

O comportamento dos solos do Sítio 2 mostrou grande semelhança com S1, apesar de maior umidade no perfil no verão. Apresenta temperaturas maiores em superfície em relação aos demais, diminuindo com a profundidade. O efeito *zero curtain* aumentam com a profundidade, o que revela comportamento semelhante ao visto no S1. No entanto apresenta maior umidade registrado no solo no verão (60%, mantendo-se constante até início da estação de congelamento, onde diminui para 30% aproximadamente. Ciclos de FTD foram registrados em 2008 (76 dias) e 2009 com 49 dias (figura 5).

O Sítio 3 apresentou curtos períodos de ciclos FTD (2008 com 55 dias e 24 dias 2009). O *zero curtain* teve rápida duração, menos de um mês em praticamente todas as profundidades. Pode-se destacar que nesse solo a mudança de temperatura se dá de forma mais rápida e grande variação da umidade do solo, com vários eventos em que atinge 50% de umidade, descendo rapidamente para aproximadamente 30%. No período de congelamento permanece em cerca de 20%. Esse processo de descongelamento rápido se dá devido ao descongelamento da neve, iniciado devido à maior energia da radiação solar e aumento das temperaturas do ar e de superfície do solo (Burn, 2004). O solo do sítio 3 é silto-argiloso e pedregoso (tabela 2) em área de *felsenmeer* com esparsa cobertura de vegetação, oferece boa drenagem da água de degelo (figura 6).

No Sítio 4 apresentou o maior número de ciclos FTD em superfície, em relação aos demais sítios nos anos de 2008 e 2009. Semelhante ao solo do sensor do Sítio 3, apresenta pouca resistência à mudança de temperatura. O solo é siltoso, com pedregosidade em torno de 48% de pedregosidade, possui maiores teores de Matéria Orgânica em todo o perfil (6,21 à 0,5%). A cobertura mais densa formada por musgos deve estar contribuindo para manutenção das temperaturas próximo à 0 °C. A umidade do solo

apresentou-se baixa, com 10% no inverno e 20% no verão. Ocorrem breves eventos com elevação da umidade para 30 e 40%, porém logo diminuindo novamente à 20%. Schaefer et al. (2010) encontrou evidências do efeito da altitude na temperatura do solo, indicando que em maiores altitudes em relação ao nível do mar o *permafrost* é mais raso, ocorrendo já nos primeiros 100 cm. No entanto para o Sítio 4, situado em maior altitude em relação aos demais, não foi detectado proximidade com *permafrost*.

Os FTD nos quatro sítios estudados mostrou grande variação de 2008 para 2009 (Tabela 5). Nota-se que no ano de 2008 considerado mais quente, o número de FTD foi elevado principalmente nos meses da primavera e outono. No ano de 2009, no entanto as temperaturas médias do ar foram menores, com isso os ciclos gelo-degelo também apresentaram menor ocorrência.

Tabela 5: Número de ciclos de Gelo-degelo Freeze-Thaw days dos quatro sítios estudados

	Sítio 1 (8 cm)		Sítio 2 (10,5 cm)		Sítio 3 (10 cm)		Sítio 4 (10 cm)		
	2008	2009	2010	2008	2009	2008	2009	2008	2009
Janeiro	-	0	6	-	0	-	0	-	0
Fevereiro	-	0	15	-	0	-	0	-	0
Março	14	3	15	13	3	0	3	13	3
Abril	6	0	12	9	18	11	10	14	18
Mai	12	1	7	11	0	6	0	9	3
Junho	1	0	3	0	0	10	0	0	0
Julho	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Setembro	10	0	0	3	0	0	0	5	0
Outubro	23	0	21	18	0	8	0	22	0
Novembro	16	9	8	21	7	17	0	21	0
Dezembro	0	14	17	1	21	3	11	0	29
Total	82	27	104	76	49	55	24	84	53

O sítio 4 foi que apresentou maior variação, apesar de situado numa área mais elevada em comparação aos demais, possui cobertura vegetal mais densa, possivelmente a presença de umidade nesse período contribui para este fenômeno. Os graus diários de temperatura do ar e solo fornecem uma estimativa da severidade do clima e a magnitude do período de congelamento e descongelamento do solo French (1996). Vieira et al. (2003)

descrevem processos de ciclos de gelo-degelo diários como agentes de alterações nos solos, como solos com padrões, crioturbação, soliflucção, *frost heave*.

Para Vieira et al. (2010) as costas e terraços baixos próximos ao mar na região das Shetlands do Sul não ocorre *permafrost*, cujo limite de ocorrência inicia em altitude que varia de 30 a 150 m (acima do nível do mar). A temperatura média do ar foi de -1,8 °C para a série de 24 anos na estação meteorológica de Jubany (Capítulo 3). Portanto, está muito próxima dos -2 °C que, para o ártico, caracteriza como região de *permafrost* contínuo (Vieira et al, 2010).

Pelos dados apresentados pode-se inferir que os sítios estudados encontram-se em condições de transição para ocorrência de *permafrost*. No entanto, não há ainda evidencia de que nessa região ocorra *permafrost* contínuo. Com uma série temporal maior, juntamente com dados de monitoramento em maiores profundidades e em outros pontos da antártica Marítima poderá ser elucidado melhor as zonas de ocorrência de *permafrost*, bem como seu comportamento frente às mudanças climáticas detectadas nessa região.

#### **4. Conclusões**

Os quatro sítios estudados encontram-se em uma faixa de altitude que varia de 45 a 89 m, porém a dinâmica termal no período estudado mostrou ligeiras diferenças. As características do solo, como textura, pedregosidade e cobertura de vegetação influenciaram nesse comportamento. Apesar de encontrar-se em provável zona de *permafrost* contínuo, apenas dois sítios (S1 e S2) demonstraram presença possivelmente já nos primeiros 100 cm de profundidade. Os Sítios 3 e 4, não apresentaram sinal da presença do *permafrost* em subsuperfície. Os resultados apresentados nesse trabalho poderão subsidiar futuros trabalhos com modelagem da dinâmica termal da camada ativa e seu comportamento em longo prazo.

Em futuros trabalhos poderão ser utilizados modelos numéricos para estimar as parâmetros termais dos solos, tais como difusividade e condutividade térmica, calor específico, entre outros (Hinkel, et al. 2000;

Ramos & Vieira, 2003), para modelar os processos de transferência de calor da camada ativa com eventos meteorológicos na superfície. Novos sítios instalados, com sensor de temperatura em superfície e umidade ao longo do perfil, junto com temperatura do ar e Sensor de Neve.

## 5. Referências

- Burn, C. R. 2004. The Thermal Regime of Cryosols. In *Cryosols Permafrost-Affected soils*. (J. Kimble, ed). Springer-Verlag Berlin. 726 p.
- Cannone, N. Ellis Evans, J. C. Strachan, R. Guglielmin, M. 2006. Interactions between climate, vegetation and the active layer in soils at two Maritime Antarctic sites. *Antarctic Science*. Cambridge University Press, 18:3:323-33.
- Convey, P. 2006. Antarctic Terrestrial Ecosystems: Responses to Environmental Change. *Polarforschung* 75 (2-3), 101 – 111.
- Ferron, F. A.; Simões, J. C.; Aquino, F. E.; Setzer, A. W. 2004. Air temperature time series for King George Island. *Antarctica. Pesquisa Antártica Brasileira*, 4: 155-169.
- French, H. M.. 1996 *The Periglacial Environment*. 2nd edn, Addison Wesley Longman, Harlow, 341 pp.
- Guglielmin, M., Ellis Evans C. J. Cannone, N. 2008. Active layer thermal regime under different vegetation conditions in permafrost areas. A case study at Signy Island (Maritime Antarctica). *Geoderma* 144 (1-2) 15, p 73-85.
- Hinkel K.M.; Paetzold F.; Nelson F.E.; Bockheim J.G. (1993-1999). 2001. Patterns of soil temperature and moisture in the active layer and upper permafrost at Barrow, Alaska:. *Global and Planetary Change*, V. 29, 3, pp. 293-309(17).
- Karunaratne, KC. Burn, CR. 2001. Freezing n-factors in discontinuous permafrost terrain, Takhini River valley, Yukon Territory, Canada. *Permafrost*, Phillips, Springman & Arenson (eds) Swets & Zeitlinger, Lisse.519 524.
- Klene, AE, Nelson, FN. Shiklomanov, NI. Hinkel, KM. 2001. The N-Factor in Natural Landscapes: Variability of Air and Soil-Surface Temperatures,

- Kuparuk River Basin, Alaska, U.S.A. Arctic, Antarctic, and Alpine Research. Vol. 33, No. 2, pp. 140-148
- Michel, R. F. M, Schaefer, C. E. G. R, Dias L. E, Simas, F. N. B. Melo, V. de SA Mendonça, E. 2006. Ornithogenic Gelisols (Cryosols) from Maritime Antarctica: pedogenesis, vegetation, and carbon studies. Soil Sci Soc Am J 70:1370–1376.
- Michel, R. F. M; Schaefer, C. E. G. R; Simas, F. N. B; Poelking, E. L; Fernandes Filho, E. I; 2010. Active layer thermal monitoring at two ice-free areas of King George Island Maritime Antarctica. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. Brisbane, Australia.
- Paetzold, R.F., Balks, M., Aislabie, J., Kimble, J.M., Campbell, I.B. 2000. Temperature and water content of some Antarctic soils. In: Adams, J.A., Metherell, A.K. (Eds.), Soil 2000: New Horizons for a New Century. Australia and New Zealand Second Joint Soils Conf., NZ Soc. of Soil Sci., Christchurch, NZ, pp. 167–170.
- Ramos, M.; Vieira, G.; Blanco, JJ; Gruber, S.; Hauck, C.; Hidalgo, MA; Tomé, D. 2008. Active layer temperature monitoring in two boreholes in Livingston Island, Maritime Antarctic: first results for 2000-2006. D.L. Kane & K.M. Hinkel (Eds.). NICOP 2008. Ninth International Conference on Permafrost. University Alaska Fairbanks: 1463-1467.
- Ramos, M., Vieira, G. 2003. Active layer and permafrost monitoring in Livingston Island, Antarctic. First results from 2000 to 2001, in Proceedings of the 8th International Conference on Permafrost, edited by Phillips, M., Springman, S.M., Arenson, L., 929-933, Balkema Publishers, Lisse, Zurich.
- Riseborough, DW. 2003. Thawing and freezing indices in the active layer. Permafrost, Phillips, Springman & Arenson (eds) Swets & Zeitlinger, Lisse.953-958.
- Schaefer, C.N.; Francelino, M.R.; Simas, F.N.B.; Albuquerque Filho, M.R. de 2004. Ecossistemas costeiros e monitoramento ambiental da Antártica marítima: Baía do Almirantado, Ilha Rei George. Viçosa: NEPUT. pp: 47-58.

- Schaefer, C. E. G. R; Simas, F. N. B; Santana, R. M; Almeida, I. C; Poelking, E. L; Fernandes Filho, E. I; Michel, R. F. M; Francelino, M. R 2010. Monitoring the active layer in Maritime and Peninsular Antarctica. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. Brisbane, Australia.
- Simas, F. N. B., Schaefer, c. E. G. R.; Melo, V. F., Albuquerque-Filho, M. R., Michel, R. F. M, Pereira, v. V.; Gomes, m. R. M. Costa, I. M 2007. Ornithogenic cryosols from Maritime Antarctica: Phosphatization as a soil forming process. *Geoderma*, 138 (3-4), pp. 191-203.
- Smith R.I.L. 1994. Vascular plants as indicators of regional warming in Antarctica. *Oecologia* 99: 322 –328.
- Tatur, A., Myrcha, A., Niegodziz, J. 1997. Formation of abandoned penguin rookery ecosystems in the Maritime Antarctic. *Polar Biol* 17:405-417.
- Ugolini F. C. 1972. Orthinogenic soils of Antarctica. In: G.A. Llano (Editor), *Antarctic Terrestrial Biology*. Am. Geophys. Uion Antarct. Res. Ser., pp. 181-193.
- Vaughan, D. G; Marshall, G. J; Connolley, W. M; King, J. C; Mulvaney, R. C. 2001. Evil in the Detail. *Science*; 293 (5536):1777-9.
- Vieira, G. T; Mora, C; Ramos, M. 2003. Ground temperature regimes and geomorphological implications in a Mediterranean mountain (Serra da Estrela, Portugal). *Geomorphology* Volume 52, Issues 1-2: 57-72.
- Vieira, G., Bockheim, J., Guglielmin, M., Balks, M., Abramov, A. A., Boelhouwers, J., Cannone, N., Ganzert, L., Gilichinsky, D. A., Goryachkin, S., López-Martínez, J., Meiklejohn, I., Raffi, R., Ramos, M., Schaefer, C., Serrano, E., Simas, F., Sletten, R. and Wagner, D. 2010. Thermal state of permafrost and active-layer monitoring in the antarctic: Advances during the international polar year 2007–2009. *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: 182–197.

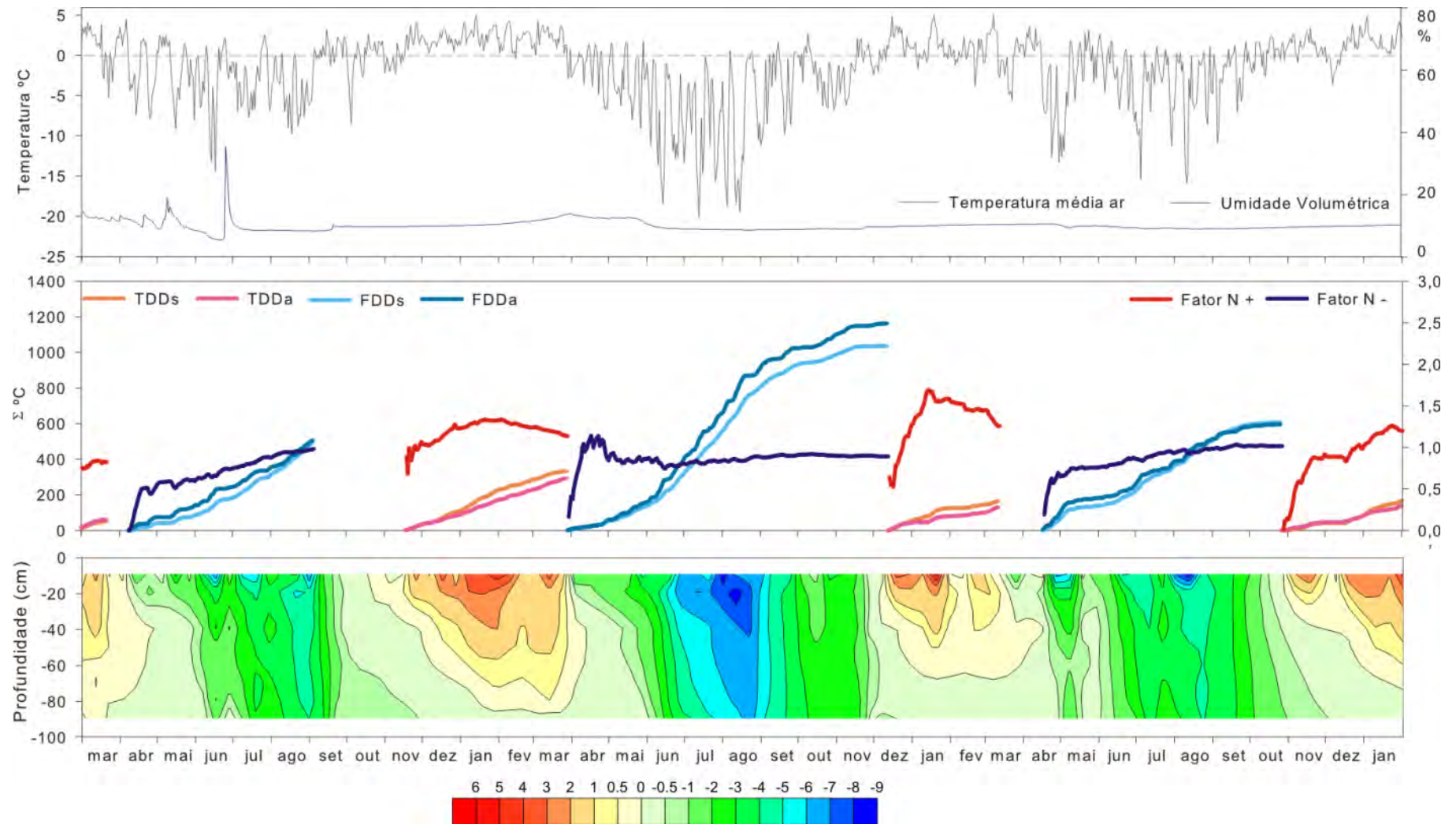


Figura 4: Temperatura do ar da estação Jubany, FN+ e FN- e perfil de isolinhas de temperatura de fevereiro de 2008 a janeiro de 2011 do Sítio 1.

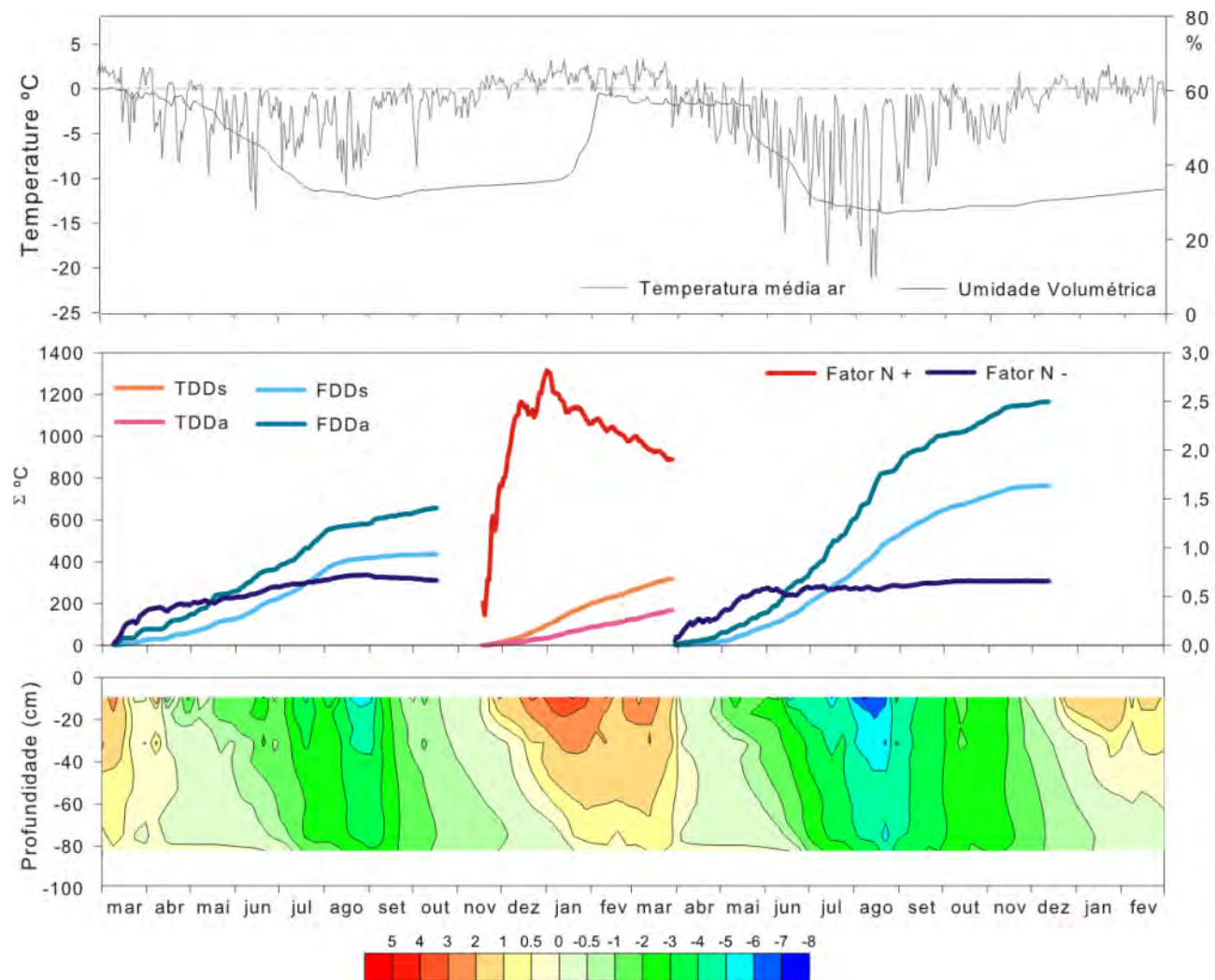


Figura 5: Temperatura do ar da estação Frei, FN+ e FN- e perfil de isolinhas de temperatura de fevereiro de 2008 a fevereiro de 2010 anos do Sítio 2.

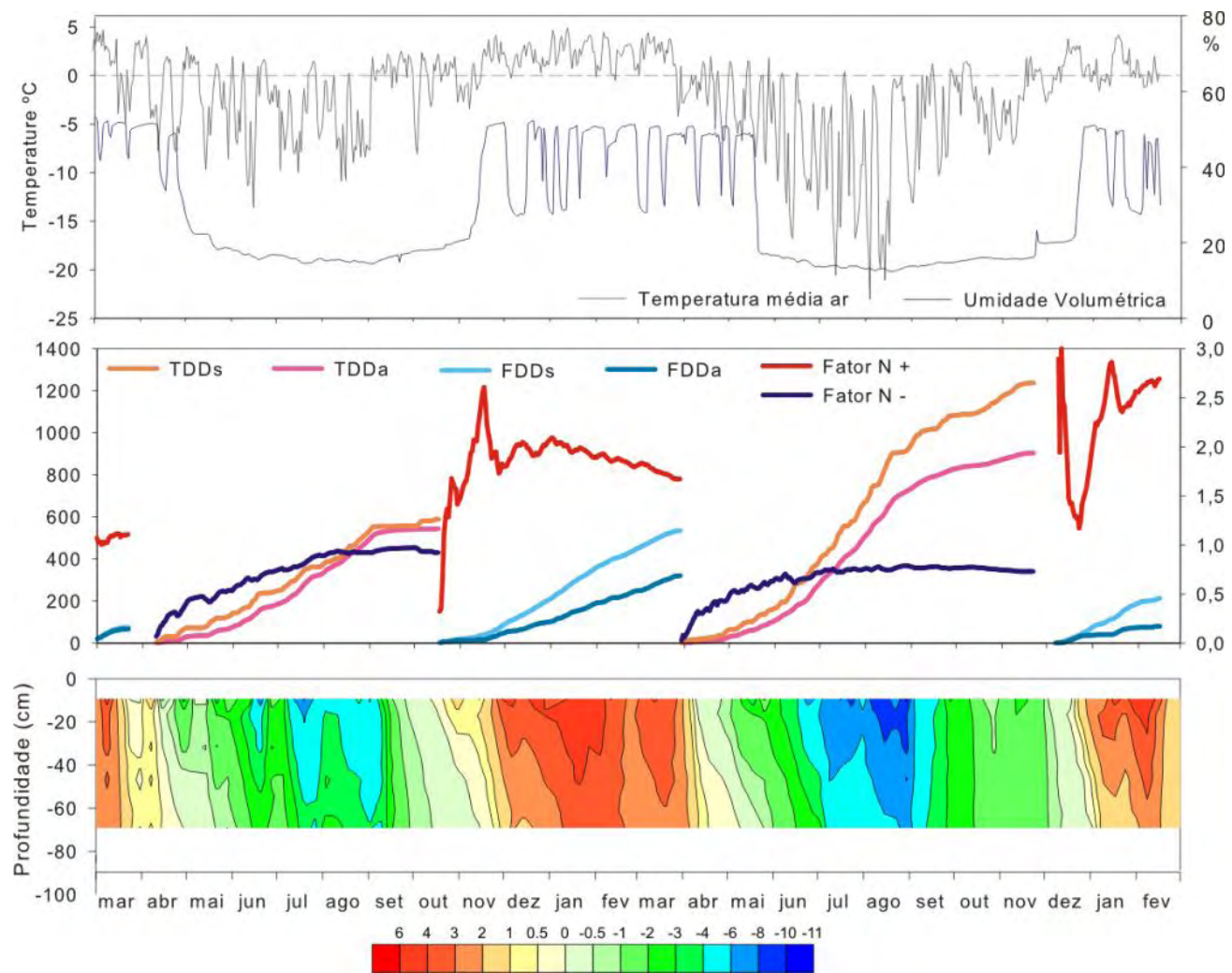


Figura 6: Temperatura do ar da estação Ferraz, FN+ e FN- e perfil de isolinhas de temperatura de fevereiro de 2008 a fevereiro de 2010 anos do Sítio 3.

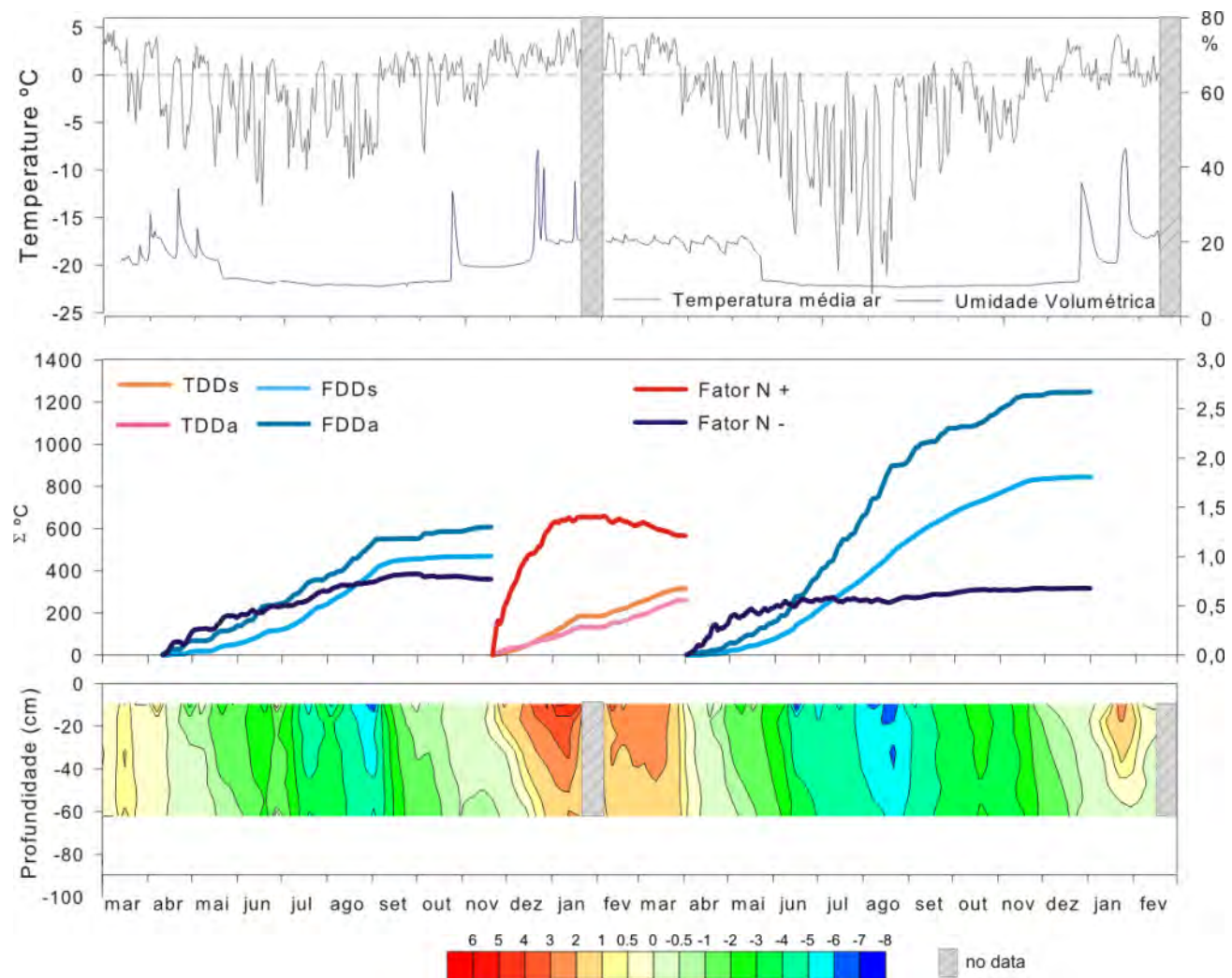


Figura 7: Temperatura do ar da estação Ferraz, FN+ e FN- e perfil de isolinhas de temperatura de fevereiro de 2008 a fevereiro de 2010 anos do Sítio 4.



## CONCLUSÃO GERAL

Em geral os solos de Potter apresentam pouco desenvolvimento físico, químico e morfológico, com características muito semelhantes ao material de origem. Com grande parte do volume do solo nas frações grosseiras, areia grossa, calhaus, com textura média a arenosa. Apesar de ocorrer em locais restritos, a influência da atividade da avifauna contribui para formação de solos ornitogênicos, que apresentam valores mais elevados de P, TOC, N, pH e menores teores de bases trocáveis, semelhantes aos encontrados em solos da Ilha Rei George.

Há uma dependência clara entre os geoambientes e solos com a distribuição da vegetação, onde os solos não ornitogênicos bem drenados são cobertos preferencialmente por subformações de líquens e os locais úmidos por comunidades de musgos. Os solos ornitogênicos são cobertos por vegetação com maior biomassa e maior diversidade de plantas.

Constatou-se que ao longo dos últimos 22 anos houve um recuo da frente da geleira Polar Club que resultou no aumento de 120,47 ha, ou seja, a Península Potter aumentou em 19,50% de sua área livre de gelo neste período. Considerando-se os 25 anos da série de dados de temperaturas atmosféricas de Potter tem-se uma tendência de 0,04 °C por ano, o que resulta em um incremento de 1,03 °C para o período. A influência das temperaturas atmosféricas no recuo da geleira demonstram retardamento de cerca de um ano.

Apesar das evidências do incremento das temperaturas médias do ar na região nas últimas décadas, a retração da frente de geleira Polar Club pode estar associada à reacomodações de tensões do manto de gelo em toda Rei George, alterações nas taxas de precipitação e condições climáticas. Portanto, para a Península Potter não se pode atribuir somente à temperatura atmosférica a causa das variações da geleira Polar Club.

Apesar de fatores muito particulares de cada espécie, a distribuição das comunidades vegetais na península segue algum padrão. A maior cobertura está concentrada nas áreas mais antigas e estabilizadas da Península Potter, locais com maior atividade da fauna. O modelo do Valor

Informativo apresenta ainda áreas passíveis à ocupação pela flora, em que atualmente estão desprovidas de vegetação, principalmente em locais livres de gelo recentes.

Os quatro sítios de monitoramento da camada ativa estudados encontram-se em uma faixa de altitude que varia de 45 a 89 m, porém a dinâmica termal no período estudado mostrou ligeiras diferenças. As características do solo, como textura, pedregosidade e cobertura de vegetação influenciaram nesse comportamento. Apesar de encontrar-se em provável zona de *permafrost* contínuo, apenas dois sítios (S1 e S2) demonstraram presença possivelmente já nos primeiros 100 cm de profundidade. Os Sítios 3 e 4, não apresentaram sinal da presença do *permafrost* em subsuperfície. Os resultados apresentados nesse trabalho poderão subsidiar

Com esse trabalho pode-se demonstrar que a Península Potter está numa condição sensível às mudanças climáticas regionais. Comprado com o significativo recuo da frente da geleira nas últimas décadas. Assim como um incremento nas temperaturas médias do ar, que está contribuindo para esse recuo. Os impactos podem ser perceptíveis em uma escala maior de tempo nos solos e na distribuição da vegetação nas áreas livres de gelo de Potter.

A base cartográfica gerada, com a espacialização dos geoambientes, modelos de distribuição da vegetação e recuo da geleira, será de grande valia para futuros trabalhos na península. Tendo em vista o atual cenário de mudanças climáticas regionais essas informações, juntamente com monitoramento do clima e da camada ativa, poderão subsidiar futuros trabalhos com modelagem da dinâmica termal da camada ativa e seus reflexos na dinâmica do ambiente das áreas livres de gelo.

A península possui extensas áreas com grande variedade de espécies vegetais nos planaltos distantes do litoral. Sugere-se que os limites da ASPA nº 132 seja ampliado visando abranger esses locais, a fim de resguardar esses habitats da flora antártica.

Todos os dados serão disponibilizados para a comunidade científica na forma de WebSIG disponibilizado no Site do Terrantar ([www.terrantar.com.br](http://www.terrantar.com.br)). Os dados produzidos nesse trabalho na Península

Potter, juntamente com os demais trabalhos realizados em toda a Antártica Marítima, fornecerão subsídios para geração de um banco de dados georreferenciado, para identificar possíveis reflexos da mudança climática local devido ao efeito do aquecimento regional. Acrescentando ao ANTPASS-SCAR, importantes dados a respeito dos solos criogênicos e *permafrost* nessa região.

ANEXOS:

Matriz correlação dos dados fisico-quimicos por perfil dos 18 solos estudados.

	ph	P	K	Na	Mn	Fe	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	SB	(t)	(T)	V	Y & B	N	AG	AF	Silte	Argila
ph	1,00	<b>-0,27</b>	-0,23	0,15	0,25	<b>-0,53</b>	<b>0,68</b>	<b>0,72</b>	<b>-0,60</b>	<b>-0,90</b>	<b>0,70</b>	<b>0,52</b>	<b>-0,41</b>	<b>0,92</b>	<b>-0,51</b>	<b>-0,40</b>	0,13	<b>0,30</b>	-0,08	<b>-0,51</b>
P		1,00	0,25	<b>0,59</b>	<b>0,46</b>	-0,14	0,04	-0,14	-0,04	<b>0,34</b>	0,04	0,03	<b>0,48</b>	-0,16	<b>0,31</b>	<b>0,82</b>	<b>-0,48</b>	<b>-0,37</b>	<b>0,63</b>	<b>0,58</b>
K			1,00	<b>0,55</b>	0,12	-0,13	-0,10	0,13	0,05	<b>0,30</b>	0,10	0,14	<b>0,48</b>	-0,10	-0,01	0,16	-0,10	<b>-0,33</b>	0,18	<b>0,32</b>
Na				1,00	<b>0,47</b>	<b>-0,39</b>	<b>0,30</b>	<b>0,42</b>	<b>-0,32</b>	-0,14	<b>0,49</b>	<b>0,41</b>	<b>0,34</b>	<b>0,30</b>	0,05	<b>0,43</b>	<b>-0,27</b>	-0,13	<b>0,33</b>	<b>0,29</b>
Mn					1,00	<b>-0,41</b>	<b>0,44</b>	<b>0,33</b>	<b>-0,45</b>	-0,23	<b>0,45</b>	<b>0,30</b>	0,18	<b>0,39</b>	0,10	<b>0,40</b>	<b>-0,41</b>	0,04	<b>0,43</b>	<b>0,29</b>
Fe						1,00	<b>-0,42</b>	<b>-0,45</b>	<b>0,60</b>	<b>0,54</b>	<b>-0,48</b>	<b>-0,27</b>	0,17	<b>-0,64</b>	0,23	-0,11	0,07	-0,06	-0,13	0,09
Ca <sup>2+</sup>							1,00	<b>0,83</b>	<b>-0,50</b>	<b>-0,62</b>	<b>0,95</b>	<b>0,86</b>	0,22	<b>0,81</b>	<b>-0,31</b>	-0,11	-0,07	0,08	0,11	-0,07
Mg <sup>2+</sup>								1,00	<b>-0,47</b>	<b>-0,67</b>	<b>0,95</b>	<b>0,87</b>	0,15	<b>0,83</b>	<b>-0,36</b>	-0,25	-0,04	0,12	0,05	-0,09
Al <sup>3+</sup>									1,00	<b>0,68</b>	<b>-0,52</b>	-0,12	<b>0,31</b>	<b>-0,66</b>	-0,05	-0,10	-0,10	-0,17	0,09	<b>0,28</b>
H + Al										1,00	<b>-0,64</b>	<b>-0,41</b>	<b>0,59</b>	<b>-0,91</b>	<b>0,48</b>	<b>0,42</b>	-0,24	<b>-0,33</b>	0,22	<b>0,59</b>
SB											1,00	<b>0,91</b>	0,24	<b>0,84</b>	<b>-0,32</b>	-0,11	-0,10	0,07	0,13	-0,03
(t)												1,00	<b>0,44</b>	<b>0,66</b>	<b>-0,39</b>	-0,18	-0,16	0,00	0,20	0,09
(T)													1,00	<b>-0,26</b>	<b>0,27</b>	<b>0,42</b>	<b>-0,40</b>	<b>-0,35</b>	<b>0,41</b>	<b>0,71</b>
V														1,00	<b>-0,49</b>	<b>-0,28</b>	0,07	0,21	-0,01	<b>-0,37</b>
Y & B															1,00	<b>0,69</b>	<b>-0,34</b>	0,01	0,16	<b>0,55</b>
N																1,00	<b>-0,57</b>	-0,25	<b>0,60</b>	<b>0,72</b>
AG																	1,00	<b>-0,29</b>	<b>-0,90</b>	<b>-0,75</b>
AF																		1,00	-0,04	<b>-0,26</b>
Silte																			1,00	<b>0,72</b>
Argila																				1,00

N=58, p<0.05

Tabela: Valores médios dos dados físico-químicos por perfil dos 18 solos estudados.

Perfil	FR	AG	AF	Silte	Argila	pH	P	K	Na	Mn	Fe	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	(t)	(T)	V	TOC	N
	-----%-----					H <sub>2</sub> O	-----mg/dm <sup>3</sup> -----					-----cmolc/dm <sup>3</sup> -----					%	---dag/kg--			
P1	55,8	60,2	14,4	15,6	9,8	6,3	149,0	69,4	173,6	7,99	117,20	3,70	2,55	0,12	2,92	7,18	7,30	10,10	71,00	1,08	0,37
P2	60,6	58,4	11,1	15,7	14,7	5,0	324,9	123,7	165,6	7,23	526,74	2,44	2,36	6,65	17,27	5,86	12,51	23,13	26,71	2,21	0,24
P3	90,0	59,5	7,5	12,5	20,5	4,4	475,0	308,0	237,5	20,39	125,48	1,44	1,84	3,23	29,85	5,10	8,30	34,95	15,00	10,77	1,00
P4	27,7	41,7	16,0	20,7	21,7	4,8	693,3	164,0	314,0	2,17	443,11	0,91	1,14	10,02	25,43	3,83	13,87	29,27	13,33	4,13	0,39
P5	70,0	74,7	9,3	6,3	9,7	6,6	139,6	104,0	398,0	29,78	78,56	12,93	9,36	0,00	0,97	24,30	24,30	25,27	96,00	0,34	0,02
P6	44,9	59,3	17,4	11,4	11,9	6,1	139,0	111,1	294,3	13,25	210,27	10,76	6,83	0,68	4,66	19,19	19,87	23,84	78,43	1,20	0,15
P7	67,3	52,0	15,3	18,7	14,0	6,0	80,0	108,7	227,7	19,46	215,34	2,96	3,34	0,45	7,77	7,60	8,00	15,37	50,00	4,35	0,31
P8	35,2	45,6	20,0	20,0	14,4	5,7	428,2	206,2	299,6	19,68	128,09	4,21	4,34	1,64	12,72	8,68	9,98	21,40	40,80	3,35	0,15
P9	74,7	67,7	24,3	2,7	5,3	5,4	153,0	644,3	1392,3	17,51	217,53	2,84	3,84	0,10	2,90	14,40	14,50	17,30	83,33	0,92	0,10
P10	49,0	28,0	30,0	24,0	18,0	6,3	44,0	161,0	257,0	82,31	135,95	8,07	4,39	0,00	5,40	14,00	14,00	19,40	72,00	5,83	0,37
P11	62,0	67,8	9,5	13,5	9,3	6,6	166,3	136,3	299,0	28,61	89,26	11,57	3,11	0,00	2,53	16,33	16,33	18,85	86,25	0,90	0,08
P12	12,8	23,8	43,6	23,8	8,9	7,2	379,1	862,6	2983,0	52,34	111,57	17,72	8,78	0,65	2,59	41,67	42,32	44,26	93,67	0,61	0,18
P13	45,8	62,0	11,0	13,3	13,8	4,6	721,8	287,8	182,0	3,98	427,84	1,16	0,51	4,94	26,30	3,18	8,15	29,48	10,75	1,72	0,23
P14	85,0	64,0	7,5	10,5	18,0	4,4	435,0	208,5	220,0	17,15	500,52	2,51	0,79	1,69	20,20	4,80	6,00	25,00	19,50	6,31	0,61
P15	73,0	47,5	18,5	13,0	21,0	5,3	111,5	89,5	197,5	6,11	292,24	2,99	2,20	1,40	17,70	6,30	7,65	24,00	26,00	16,70	1,00
P16	55,5	51,0	13,5	15,0	20,5	4,4	539,5	179,0	154,0	3,15	516,87	1,39	1,18	5,21	25,35	3,70	8,90	29,05	14,00	12,17	0,63
P17	5,5	47,3	18,3	16,8	17,8	4,7	459,5	72,3	141,0	11,97	522,61	2,07	0,96	2,63	19,88	3,83	6,48	23,70	16,50	16,89	0,89
P18	8,8	70,4	18,4	3,2	8,0	5,2	344,2	83,6	315,6	6,01	403,28	0,87	0,87	2,12	13,12	3,32	5,44	16,44	23,40	5,62	0,20

AG: Areia Grossa, AF: Areia Fina. TOC: Carbono Orgânico Total.

Tabela 2: Dias de Descongelamento (Thawing Days), Congelamento (Freezing Days), Isotermiais (Isothermal) e dias de Congelamento-Descongelamento (Freeze-Thaw Days) na no sítio de estudo da Península Potter.

	Thawing Days				Freezing Days				Isothermal Days				Freeze-Thaw Days			
	0,08 m	0,36 m	0,76 m	0,9 m	0,08 m	0,36 m	0,76 m	0,9 m	0,08 m	0,36 m	0,76 m	0,9 m	0,08 m	0,36 m	0,76 m	0,9 m
Mar. 2008	17	19	9	0	0	0	0	0	13	12	22	31	1	0	0	0
Apr. 2008	7	8	0	0	17	1	0	0	5	21	30	30	1	0	0	0
May. 2008	0	0	0	0	19	7	0	0	12	23	31	31	0	1	0	0
Jun. 2008	0	0	0	0	29	28	20	12	1	2	10	18	0	0	0	0
Jul. 2008	0	0	0	0	31	31	31	26	0	0	0	5	0	0	0	0
Aug. 2008	0	0	0	0	31	31	31	31	0	0	0	0	0	0	0	0
Sep. 2008	0	0	0	0	20	24	30	30	10	6	0	0	0	0	0	0
Oct. 2008	2	0	0	0	6	0	31	31	12	31	0	0	11	0	0	0
Nov. 2008	14	0	0	0	0	0	4	27	13	30	26	3	3	0	0	0
Dec. 2008	31	14	0	0	0	0	0	0	0	17	31	31	0	0	0	0
Jan. 2009	31	31	3	0	0	0	0	0	0	0	28	31	0	0	0	0
Feb. 2009	28	26	13	0	0	0	0	0	0	2	15	28	0	0	0	0
Sum	130	98	25	0	153	122	147	157	66	144	193	208	16	1	0	0

Tabela 6: Dias de Descongelamento (Thawing Days), Congelamento (Freezing Days), Isothermais (Isothermal) e dias de Congelamento-Descongelamento (Freeze-Thaw Days) na no sítio de estudo da Península de Fildes.

	Thawing Days				Freezing Days				Isothermal Days				Freeze-Thaw Days			
	0,10 m	0,32 m	0,67 m	0,83 m	0,10 m	0,32 m	0,67 m	0,83 m	0,10 m	0,32 m	0,67 m	0,83 m	0,10 m	0,32 m	0,67 m	0,83 m
Mar. 2008	18	19	12	0	0	0	0	0	13	12	19	31	0	0	0	0
Apr. 2008	7	7	0	0	14	0	0	0	8	23	30	30	1	0	0	0
May. 2008	0	0	0	0	20	9	0	0	11	22	31	31	0	0	0	0
Jun. 2008	0	0	0	0	30	30	10	0	0	0	20	30	0	0	0	0
Jul. 2008	0	0	0	0	31	31	31	22	0	0	0	9	0	0	0	0
Aug. 2008	0	0	0	0	31	31	31	31	0	0	0	0	0	0	0	0
Sep. 2008	0	0	0	0	27	30	30	30	3	0	0	0	0	0	0	0
Oct. 2008	0	0	0	0	13	26	31	31	18	5	0	0	0	0	0	0
Nov. 2008	9	0	0	0	0	0	30	29	17	30	0	1	4	0	0	0
Dec. 2008	30	18	0	0	0	0	6	0	0	13	25	31	1	0	0	0
Jan. 2009	31	31	13	0	0	0	0	0	0	0	18	31	0	0	0	0
Feb. 2009	28	28	21	1	0	0	0	0	0	0	7	27	0	0	0	0
Mar. 2009	28	29	28	12	0	0	0	0	3	2	3	19	0	0	0	0
Apr. 2009	0	0	0	0	12	0	0	0	18	30	30	30	0	0	0	0
May. 2009	0	0	0	0	31	19	0	0	0	12	31	31	0	0	0	0
Jun. 2009	0	0	0	0	30	30	17	6	0	0	13	24	0	0	0	0
Jul. 2009	0	0	0	0	31	31	31	31	0	0	0	0	0	0	0	0
Aug. 2009	0	0	0	0	31	31	31	31	0	0	0	0	0	0	0	0
Sep. 2009	0	0	0	0	30	30	30	30	0	0	0	0	0	0	0	0
Oct. 2009	0	0	0	0	31	31	31	31	0	0	0	0	0	0	0	0
Nov. 2009	0	0	0	0	23	30	30	30	7	0	0	0	0	0	0	0
Dec. 2009	10	0	0	0	0	14	31	31	16	17	0	0	5	0	0	0
Jan. 2010	26	16	0	0	0	0	12	10	0	14	19	21	5	1	0	0
Feb. 2010	18	13	0	0	0	0	0	0	8	15	28	28	2	0	0	0
Total	205	161	74	13	385	373	382	343	122	195	274	374	18	1	0	0

Tabela 7: Dias de Descongelamento (Thawing Days), Congelamento (Freezing Days), Isothermais (Isothermal) e dias de Congelamento-Descongelamento (Freeze-Thaw Days) na no sítio de estudo de Refúgio 2 na Península Keller.

	Thawing Days				Freezing Days				Isothermal Days				Freeze-Thaw Days			
	0,10 m	0,29 m	0,48 m	0,68 m	0,10 m	0,29 m	0,48 m	0,68 m	0,10 m	0,29 m	0,48 m	0,68 m	0,10 m	0,29 m	0,48 m	0,68 m
Mar. 2008	20	22	25	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Apr. 2008	8	9	11	13	0	0	0	0	10	9	6	2	1	0	0	0
May. 2008	0	0	0	0	16	6	2	0	6	15	17	17	0	0	0	0
Jun. 2008	0	0	0	0	21	22	20	13	10	9	11	18	0	0	0	0
Jul. 2008	0	0	0	0	30	30	30	30	0	0	0	0	0	0	0	0
Aug. 2008	0	0	0	0	31	31	31	31	0	0	0	0	0	0	0	0
Sep. 2008	0	0	0	0	31	31	31	31	0	0	0	0	0	0	0	0
Oct. 2008	13	9	0	0	22	28	30	30	8	2	0	0	0	0	0	0
Nov. 2008	27	27	19	12	1	0	3	6	13	21	28	25	4	1	0	0
Dec. 2008	31	31	31	31	0	0	0	0	0	3	11	18	3	0	0	0
Jan. 2009	31	31	31	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Feb. 2009	28	28	28	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mar. 2009	28	30	31	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Apr. 2009	0	0	4	9	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0
May. 2009	0	0	0	0	20	6	0	0	10	24	26	21	0	0	0	0
Jun. 2009	0	0	0	0	31	31	29	17	0	0	2	14	0	0	0	0
Jul. 2009	0	0	0	0	30	30	30	30	0	0	0	0	0	0	0	0
Aug. 2009	0	0	0	0	31	31	31	31	0	0	0	0	0	0	0	0
Sep. 2009	0	0	0	0	31	31	31	31	0	0	0	0	0	0	0	0
Oct. 2009	0	0	0	0	30	30	30	30	0	0	0	0	0	0	0	0
Nov. 2009	0	0	0	0	31	31	31	31	0	0	0	0	0	0	0	0
Dec. 2009	22	20	13	9	19	23	23	28	7	7	7	2	4	0	0	0
Jan. 2010	31	31	31	31	0	0	0	0	5	11	18	22	4	0	0	0
Feb. 2010	14	14	15	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	253	252	239	239	375	361	352	339	73	103	126	139	16	1	0	0

Tabela 8: Dias de Descongelamento (Thawing Days), Congelamento (Freezing Days), Isothermais (Isothermal) e dias de Congelamento-Descongelamento (Freeze-Thaw Days) na no sítio de estudo de Ipanema na Península de Keller.

	Thawing Days			Freezing Days			Isothermal Days			Freeze-Thaw Days		
	0,10 m	0,36 m	0,63 m	0,10 m	0,36 m	0,63 m	0,10 m	0,36 m	0,63 m	0,10 m	0,36 m	0,63 m
Mar. 2008	7	9	12	0	0	0	13	11	8	0	0	0
Apr. 2008	5	5	2	11	2	0	13	23	28	1	0	0
May. 2008	0	0	0	22	20	13	9	11	18	0	0	0
Jun. 2008	0	0	0	28	28	28	0	0	0	0	0	0
Jul. 2008	0	0	0	31	31	31	0	0	0	0	0	0
Aug. 2008	0	0	0	31	31	31	0	0	0	0	0	0
Sep. 2008	0	0	0	25	30	30	5	0	0	0	0	0
Oct. 2008	0	0	0	9	23	24	22	8	7	0	0	0
Nov. 2008	9	0	0	0	0	24	21	30	6	0	0	0
Dec. 2008	31	24	12	0	0	0	0	7	18	0	0	1
Jan. 2009	19	19	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Feb. 2009	25	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mar. 2009	28	30	31	0	0	0	3	1	0	0	0	0
Apr. 2009	0	0	1	12	3	0	18	27	29	0	0	0
May. 2009	0	0	0	28	31	23	3	0	8	0	0	0
Jun. 2009	0	0	0	30	30	30	0	0	0	0	0	0
Jul. 2009	0	0	0	31	31	31	0	0	0	0	0	0
Aug. 2009	0	0	0	31	31	31	0	0	0	0	0	0
Sep. 2009	0	0	0	30	30	30	0	0	0	0	0	0
Oct. 2009	0	0	0	31	31	31	0	0	0	0	0	0
Nov. 2009	0	0	0	30	30	30	0	0	0	0	0	0
Dec. 2009	0	0	0	2	23	23	29	8	8	0	0	0
Jan. 2010	19	16	0	0	0	0	4	15	31	8	0	0
Feb. 2010	3	3	0	0	0	0	11	11	14	0	0	0
Total	146	131	102	382	405	410	151	152	175	9	0	1