

ROBERTO FERREIRA MACHADO MICHEL

**SOLOS CRIOGÊNICOS E ORNITOGÊNICOS DA ÁREA
DE ENTORNO DA PONTA LLANO, 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 “*Magister Scientiae*”

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL

2005

ROBERTO FERREIRA MACHADO MICHEL

**SOLOS CRIOGÊNICOS E ORNITOGÊNICOS DA
ÁREA DE ENTORNO DA PONTA LLANO, 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 “*Magister Scientiae*”

APROVADA: 7 de Novembro de 2005

Prof. Carlos Ernesto G. R. Schaefer
(Conselheiro)

Prof. Elpídio Inácio Fernandes Filho
(Conselheiro)

Dr. Vinicius Mello Benites

Prof. Marcio Rocha Francelino

Luiz Eduardo Dias
(Orientador)

A meu pai e minha mãe, que sempre se fizeram presentes e participativos.

AGRADECIMENTO

À Universidade Federal de Viçosa, por minha completa formação profissional e oportunidade de realização do curso.

À CAPES, pela concessão da bolsa.

Ao professor Luiz Eduardo Dias, pela orientação, confiança, e amizade.

Ao professor Carlos Ernesto Schaefer, pela oportunidade de participar do Projeto Criossolos, pela orientação no período inicial de minha formação e pela grande amizade.

À Marinha do Brasil, ao Ministério do Meio Ambiente e ao CNPq, pelo apoio dado durante as XXI e XXII Operação Antártica Brasileira (OPERANTAR).

À minha mãe Clara e ao meu pai Mario, pelo apoio, incentivo e amor ofertado a todo instante, inclusive nas muitas horas ausente.

Aos irmãos, pelo apoio e incentivo.

Ao Núcleo de Estudo de Planejamento e Uso da Terra – NEPUT e toda a sua equipe, pelo apoio incondicional.

Ao professor Eupídio, pela amizade, pelos ensinamentos e pela valiosa contribuição, a qual enriqueceu muito este trabalho.

Ao pesquisador Vinícios Benites, pela amizade, pelo incentivo e pelas lições de ciência e de vida.

Aos pesquisadores Felipe Bello Simas, Manuel Ricardo e Isaac Santos pela grande amizade, empenho e grande ajuda em todas as etapas este trabalho.

Ao grupo-base da XXII OPERANTAR, pela amizade, companheirismo e apoio as nossas atividades de campo.

Aos professores Liovandro, Walter Abrahão, Marcio Francelino, Vander e Ulisses Bremer, pelo trabalho de campo, companheirismo e importantes contribuições para a finalização deste estudo.

Aos amigos Antárticos, João Herbert, Miriam, Débora, por tudo.

Ao professores e funcionários do Departamento de Solos, em especial ao Lani, João Ker e Eduardo Sá Mendonsa pelos ensinamentos e pela amizade.

Aos colegas pesquisadores que participaram das Operações Antártica, pelo convívio agradável, pela amizade e pela valiosa troca de conhecimentos.

À nossa secretária e amiga Claudia, pela cooperação e amizade.

Aos grandes amigos Robson Lanna, Evandro Lisboa, William, Winny Shoi, Erick, Eufra, Eliane, Edglei, Foloni, e outros que por descuido não tenha sido citado, que fizeram o tempo de Viçosa mais agradável.

Aos estagiários do CRIOSSOLOS, Gilberto, Lucas, Vitor, Marcelo, Juliana, Mariana e Aline, pelo enorme auxílio, companheirismo e amizade.

Aos amores que fizeram desta parte da vida um período de prazeroso aprendizado.

BIOGRAFIA

Roberto Ferreira Machado Michel, filho de Mario Elias Machado Michel e Clara Maria Ferreira Machado Michel, nasceu no dia 6 de Março de 1980, no município de Belo Horizonte-MG.

Graduou-se em Engenharia Agrônômica em 2003 pela Universidade Federal de Viçosa, em Minas Gerais.

Em agosto de 2003, ingressou no Programa de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal de Viçosa. Para realização da tese, participou da Operação Antártica Brasileira XXII.

CONTEÚDO

	<i>Página</i>
LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	X
RESUMO	XII
ABSTRACT	XV
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1.O ambiente Periglacial	4
2.2.Processos e Feições do Ambiente Periglacial	10
2.3.Geomorfologia da Antártica Marítima	14
2.4. Cobertura Vegetal	18
2.5. Classificação de Solos Afetados por Permafrost.....	20
2.6. Criossolos Ornitógenicos.....	22
2.7. Balanço Global de Carbono	24

3. MATERIAL E METODOS	30
3.1. Área de estudo	30
3.2. Coleta e Preparo das Amostras	34
3.3. Análises Químicas Físicas e Mineralógicas	34
3.5. Fotografias Aéreas não Convencionais.....	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1. Fotografias Aéreas	43
4.2. Característica Físicas.....	47
4.3. Mineralogia.....	49
4.4. Geomorfologia	52
4.5. Descrição e Classificação dos solos estudados	57
4.6. Classificação dos solos.....	80
4.7. Distribuição da Vegetação	93
4.8. Atributos Químicos-Aspectos Gerais	100
4.9. Classificação das Diferentes Formas de P nos Solos Estudados	108
4.10. Enxofre	112
4.11. Carbono Orgânico e suas Frações	116
4.12. Fosfatização como Processo de Formação de Criossolos na Ponta Llano.....	125
5. CONCLUSÕES	135
BIBLIOGRAFIA	138

LISTA DE TABELAS

Nº	Tabela	Página
1	Resumos dos dados climáticos coletados pela estação meteorológica da EACF no período de 1986 a 2003	7
2	Temperatura do solo medida em 4 profundidades no período de 1994-2002	9
3	Formatos dos mapas gerados da Ponta Llano	41
4	Teores de Areia Grossa, Areia Fina, Silte e Argila, e classificação granulométrica das amostras de diferentes perfis amostrados	48
5	Contribuição relativa das diferentes geoformas nos arredores da Ponta Llano, Ilha Rei George	53
6	Diferentes níveis categóricos encontrados na área em estudo (ISSS WORKING GROUP RB, 1998).	87
7	Definições de elementos formativos para unidades de nível inferior. (ISSS WORKING GROUP RB, 1998).	87
8	Contribuição relativa dos diferentes Solos e Tipos de Terreno nos arredores da Ponta Llano, Ilha Rei George	88
9	Diferentes níveis categóricos encontrados na área em estudo. (ISSS WORKING GROUP RB, 1998)	89
10	Definições de elementos formativos para unidades de nível inferior. (ISSS WORKING GROUP RB, 1998).	89
11	Diferentes níveis categóricos encontrados na área em estudo. (ISSS WORKING GROUP RB, 1998).	90
12	Contribuição relativa das diferentes feições de vegetação nos arredores da Ponta Lalno	97
13	Valores de pH dos perfis coletados (H ₂ O, KCl, NaF, CaCl ₂)	106
14	Atributos químicos dos perfis coletados	107
15	Diferentes frações de P dos perfis coletados	110
16	Diferentes Formas de S nos Solos amostrados, Ponta Llano, Ilha Rei George	114
17	Fracionamento de Substâncias húmicas	118

18	Composição elementar da fração dos ácidos húmicos, umidade, teor de cinzas e índice termogravimétrico	119
19	Calculo de densidade e estoque de carbono dos perfis coletados	124
20	Análises de WDS em agregados e feições selecionadas em COPA3, média de 3 repetições	127

LISTA DE FIGURAS

Nº	Figura	Página
1	Localização do arquipélago Shetland do Sul, e Ilha Rei George a Estação Antártica Comandante Ferraz e em detalhe a área de estudo.	31
2	Visão panorâmica da área em estudo	32
3	Visão panorâmica da Ponta Llano e Colônias	32
4	Visão panorâmica do Terraço Marinho 1o nível e Colônias	33
5	Moraina suavizada onde está localizado o perfil-Copa	33
6	Mosaico Aerofotogramétrico dos arredores da Ponta Llano	45
7	Modelo Digital e Elevação dos arredores da Ponta Llano	46
8	Difratograma de Raio-X das amostras dos horizontes 10-20 até 40-50 do perfil-3	49
9	Difratograma de Raio-X das amostras dos horizontes 10-20 até 30-40 do perfil-4	50
10	Difratograma de Raio-X do perfil Copa 9	51
11	Mosaico aerofotogramétrico da Ponta Llano	54
12	Modelo Digital de Elevação da Ponta Llano	55
13	Feições Geomorfológicas da área em estudo	56
14	Perfil Copa-1, Criossolo Ornitogênico Gleico	60
15	Perfil Copa-2, Criossolo Ornitogênico Gleico	62
16	Perfil Copa-3, Criossolo Ornitogênico Hístico	64
17	Perfil Copa-4, Criossolo Ornitogênico Túrbico	66
18	Perfil Copa-5, Criossolo Ornitogênico Lítico	68
19	Perfil Copa-6, Criossolo Ornitogênico Hístico	70
20	Perfil Copa-7, Criossolo Ornitogênico Túrbico	72

21	Perfil Copa-8, Criosolo Ornitogênico Hístico	74
22	Perfil Copa-9, Criosolo Léptico	76
23	Perfil Copa-10, Criosolo Lítico	78
24	Corte esquemático da evolução da paisagem nos arredores da Ponta Llano	81
25	Chave de classificação utilizada neste trabalho - Base de Referência Mundial para os Recursos do Solo (ISSS WORKING GROUP RB, 1998)	84
26	Chave de classificação utilizada neste trabalho – Sistema Americano de Classificação de solos (SOIL SURVEY STAFF, 1998)	85
27	Mapa de solos e tipos de terreno da Ponta Llano	92
28	Mapa de Vegetação da Ponta Llano	99
29	Contribuição relativa das diferentes formas de P	111
30	Teores de S nas diferentes frações analisadas	115
31	Differential Scanning Calorimetry do perfil 3	121
32	Termogravimetria de diferentes profundidades do perfil 3	121
33	Bloco diagrama de detalhe de uma Pinguineira, ilustrando os aspectos mais importantes do processo de ornitogênese dos criossolos e a distribuição preferencial de P-Al e P-Fe em profundidade, e P-(K-NH ₄ -Mg) em áreas mais jovens e superficiais	127
34	Microimagens e mapas microquímicos selecionados de agregados criogênicos com e sem fosfato, e grão de rocha vulcânica (parte baixa da foto). Perfil COPA-3.	128
35	Microimagens em retroespalhamento eletrônico de WDS e mapas microquímicos. Agregado fosfático com recobrimento, ovóide, reportado como COPA 3, F,G,H (Tabela 2), com Fe e K elevados (parte intragranular interna analisada em COPA 3-H, tabela 2), e envolvimento de Taranakita (43% P ₂ O ₅ , 4,4% K ₂ O) , ao lado de agregado fraturado e recoberto com fosfato iluvial, rico em K (COPA 3, F, G).	129
36	. Fotomicrografias da estrutura granular ovóide bem desenvolvida em COPA 3, com presença de osso escurecido, parcialmente mineralizado. Plasma siltoso.	130
37	Fotomicrografias da estrutura granular ovóide bem desenvolvida em COPA 2, em contato com litorelíquia com recobrimento iluvial fosfático de Fe / Al. Plasma siltoso, de vidro vulcânico alofânico.	130
38	Fosfatização iluvial intra-litológica, com forte deposição de Taranakita nos litoporos de vidro vulcânico pouco alterado, no perfil COPA 3.	131
39	Recobrimentos iluviais de fosfato (Taranakita) recobrimdo litorelíquias de rochas vulcânicas pouco alteradas (COPA 3).	131
40	Fragmento arredondado de osso parcialmente fosfatizado, de cor escura, com agregados ovóides típicos de solos criogênicos. Perfil COPA 3	132
41	Fotomicrografia da microestrutura típica de solos ornitogênicos, em COPA 3, com plasma siltoso formando agregados estáveis, ricos em fosfatos secundários e alofanas.	133
42	. Fotomicrografias da estrutura granular biogênica, subarredondada dos solos Criogênicos COPA 4. Foto A ilustra agregado organo mineral intensamente fosfatizado, de origem biogênica. Notar a natureza iluvial do material envolvente, rico em fosfato.São ilustradas várias feições de iluviação fosfática formando acumulações de taranakita ou Fe-Al-fosfatos.	133
43	Fotomicrografias e mapas microquímicos em retroespalhamento eletrônico de um agregado pedogênico do criossolo de COPA 3, com fraturamento preenchido por acumulações iluviais de fosfato de Al,Fe e K (Taranakita).	134

RESUMO

MICHEL, Roberto Ferreira Machado, M.S., Universidade Federal de Viçosa, Novembro 2005. **Solos Criogênicos e Ornitogênicos da Área de Entorno da Ponta Llano, Antártica Marítima.** Orientador: Luiz Eduardo Dias. Conselheiros: Carlos Ernesto G. R. Schaefer e Elpídio Inácio Fernandes Filho.

As áreas de nidificação de aves na Antártica Marítima são ecossistemas bastante peculiares que ocorrem ao longo da costa em diversas ilhas do arquipélago das Shetlands do Sul. Na área de entorno da estação de campo Americana Pieter J. Lenie, localizada na Ilha Rei George, Antártica Marítima, a natureza do material orgânico, da vegetação, das diferentes classes de solos e os processos pedogenéticos atuantes em solos sob a influência de aves em ecossistemas costeiros na ilha Rei George, foram estudados. O estudo foi realizado como parte do Projeto Criossolos Austrais: solos criogênicos da Antártica - distribuição, ciclagem biogeoquímica, seqüestro de carbono e retenção de metais pesados – CRIOSSOLOS; servindo de subsídio para o monitoramento ambiental dos ecossistemas costeiros da Baía do Almirantado. Os

trabalhos foram conduzidos nos laboratórios do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, a partir das amostras coletadas durante as XXI e XXII Operações Antárticas Brasileiras. Os solos apresentaram grande variabilidade nas propriedades físico-químicas em função da grande variação e mistura de materiais de origem, e dos diferentes graus de influência ornitogênica. A geomorfologia é composta principalmente de morainas suavizadas pelo tempo e vastos terraços marinhos, e a paisagem apresenta-se altamente alterada pela intensa nidificação após a última glaciação. A cobertura vegetal, constituída principalmente de líquens e briófitas, apresentaram distribuição estreitamente relacionada com o relevo, solos e aporte nutricional oriundo das atividades ornitogênicas. Os solos neste ecossistema são rasos, arenosos, em sua maioria ácidos, ricos em nutrientes com destaque para P e Ca^{2+} . Em virtude do clima severo, a decomposição da matéria orgânica é lenta, ocorrendo grande acúmulo e migração de substâncias húmicas no solo. Estas por sua vez passam a desempenhar um importante papel na retenção da água de degelo e complexação de metais. A área em estudo mostra elevada variedade pedogenética evidenciando, porém o predomínio de tipos de terreno derivados de intemperismo físico recente. Há ocorrência de Fluvisolos Géllicos, Criosolos Ornitogênicos Túrblicos, Criosolos Ornitogênicos Gleicos. , entre outros solos afetados por permafrost. A fosfatização se faz representativa como processo pedogenético diretamente atuante, o tamanho da população de P. adélica e o tempo de colonização, após a última glaciação garantiram a fertilização com posterior fosfatização de extensas áreas no entorno da Ponta Llano. Observou-se o predomínio de material fíbriico no material orgânico dos solos analisados, no extrato alcalino ocorreu predomínio das frações menos humificadas, com maior mobilidade. Estas características conferem baixa estabilidade destes compostos, preservados apenas pelas condições edafo climáticas locais. Os valores de carbono imobilizados nos arredores da Ponta

Llano, apesar de elevados, representam um estoque total modesto, entretanto o sistema parece apresentar um balanço positivo, com seqüestro contínuo para o solo, principal compartimento de seqüestro de carbono orgânico nos ecossistemas terrestres. Os solos estudados não são passíveis de classificação no atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999). Isto se dá pela inexistência de formalização para solos afetados por permafrost em nível categórico elevado, e pela inexistência de conceituação em níveis mais baixos. Em resposta a demanda crescente de pesquisadores das mais diferentes áreas na Antártica e a expansão da pedologia periglacial brasileira, é oportuno a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo a inclusão no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos de uma nova classe que abranja os solos afetados por permafrost. A área apresenta-se preservada, pouco afetada pela atividade humana, podendo ser considerada um ponto estratégico para o monitoramento dos impactos locais e globais sobre a flora e fauna.

ABSTRACT

MICHEL, Roberto Ferreira Machado, M.S., Universidade Federal de Viçosa, November 2005. **Cryogenic and Ornitogenic soils from the vicinities of Llano Point, Maritime Antarctica.** Adviser: Luiz Eduardo Dias. Committee members: Carlos Ernesto G. R. Schaefer and Elpídio Inácio Fernandes Filho.

In terrestrial ecosystems of Maritime Antarctica (King George) Island, the transference of primary marine production to the land promoted by penguins and other birds, appears to influence soil formation and chemical weathering to a greater extent than formerly predicted. This work summarizes the results of pedological investigations on the vicinity of the American Pieter J. Lenie Field Station (62°10'S-58°28'W), discussing soil formation processes related to vegetation succession, and carbon dynamics in the studied area. Soil organic matter accumulation and associated phosphatization are marked soil-forming processes in ice-free areas once colonized by penguins. Also there is a high correlation between soil development and vegetation patterns. Nutrient supply in these cryogenic soils is affected by low pH following

nitrification and high contents of phosphorus, potassium, calcium and magnesium due to seabirds inputs. Gelic Fluvisols, (Psammentic Aquiturbels); Ornitogenic Turbic Cryosols, (Glacic Haploturbels); Ornitogenic Gleyic Cryosols (Ornitogenic Gelic Fluvisols), are the most common soils. In all soils phosphatization and ornithogenesis occurs in varying degrees. However, Soil Taxonomy nor the World Reference Base for Soil Resources consider the influence of ornithogenesis or phosphatization in its framework, so that a more detailed classification of such soils is not possible.

1. INTRODUÇÃO

A formação de solos no continente Antártico restringe-se a poucas áreas livres de gelo, em cadeias montanhosas elevadas e em faixas estreitas ao longo da costa. A maior parte dos estudos de solos concentra-se na porção oriental do continente (PASTOR & BOCKHEIM, 1980; CAMPBELL & CLARIDGE, 1987; BOCKHEIM, 1997; BEYER, 2000; BEYER *et al.*; 1995; BEYER & BOLTER, 2000). Diversos aspectos relacionados ao papel ambiental dos solos, seus processos biológicos associados, e as informações reveladas sobre a evolução da paisagem têm sido relativamente pouco estudados.

Apesar do ecossistema da Antártica Marítima ter sofrido perturbações ambientais no passado, provocadas pela pesca comercial e caça a baleias e focas, atualmente trata-se da estrutura menos modificada, sob o ponto de vista ambiental, de toda a superfície da Terra. O ambiente Antártico representa para a pesquisa científica uma oportunidade de se estudar fenômenos raros que se expressam em condições únicas no planeta. Do ponto de vista da pedologia, o entendimento dos processos de intemperismo químico e físico, formação/destruição de minerais, dinâmica de matéria orgânica e ciclagem

biogeoquímica em condições de frio extremo é de grande importância, não só para a preservação deste rico ecossistema, mas também para o melhor entendimento dos processos pedogenéticos como um todo.

Criossolos Ornitogênicos na Antártica são formados a partir da acumulação de excrementos de aves (em sua maioria pingüins) em áreas de procriação ao longo da costa. O termo ornitogênico foi originalmente aplicado por SYROETCHKOVSKY (1959) em referência a solos orgânicos do continente Antártico (TATUR, 1997). Sua gênese e morfologia peculiar foram descritas em inúmeras publicações (CAMPBELL & CLARIDGE, 1966; TEDROV & UGOLINI, 1966; MCCRAW, 1967; UGOLINI, 1972); sendo incluídos em todas as propostas de classificação de solos para a região. Solos Ornitogênicos são descritos como solos ricos em material orgânico de fácil decomposição misturado a uma matriz mineral rica em fosfatos e seixos, sobre manto rochoso.

Diferentes pedoambientes podem ser individualizados nos arredores das colônias de pingüins, considerando-se aspectos como drenagem, cobertura vegetal e grau de exposição aos diferentes tipos de aporte orgânico. Cada um destes pedoambientes apresenta diferenças nas condições ambientais, com reflexões nas características morfológicas do perfil. As características das substâncias húmicas, evidenciadas por análises físico-químicas, refletem as diferentes condições nas quais foram formadas, permitindo considerações sobre o mecanismo de gênese destas substâncias.

Pouco se conhece sobre a dinâmica de carbono em ambientes glaciais. O entendimento da ciclagem de carbono em solos ornitogênicos da Antártica, onde a conservação de C é favorecida, é fundamental para o monitoramento das conseqüências do aquecimento global em ecossistemas da Antártica Marítima.

Todos os solos identificados na área de influencia da pinguineira na Ponta Llano não têm classificação possível pelo sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), sendo, porém contemplados pelo Sistema Norte Americano (SOIL TAXONOMY, 1998) e pelo sistema Internacional de Classificação de Solos elaborado pela FAO (ISSS, 1998). O interesse pelo conhecimento dos Solos Ornitogênicos vem crescendo pela demanda de pesquisadores de outras áreas, como botânicos e zoólogos, que necessitam estratificar ambientes e associar a distribuição de organismos às características do meio físico. Por ocorrerem em áreas colonizadas por líquens, musgos e alguns vegetais superiores, o estudo destes solos torna-se importante tendo em vista o aumento da pressão antrópica, devendo ser identificadas áreas críticas, com ambientes mais frágeis, para o correto planejamento das atividades de pesquisa na região.

O objetivo deste estudo foi caracterizar o material orgânico, a vegetação e os processos pedogenéticos atuantes em solos sob a influência de aves em ecossistemas costeiros na ilha Rei George, Ponta Llano, com ênfase na classificação dos solos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O Ambiente Periglacial

O termo periglacial foi inicialmente proposto pelo geólogo polonês Von Lozinski para descrever condições de intemperismo físico nas montanhas do Cárpatos, na Europa. Subsequentemente o conceito foi introduzido para descrever as condições climáticas e geomorfológicas de áreas periféricas as calotas de gelo do Pleistoceno. Porém, o uso moderno do termo se refere a uma grande variedade de processos pedogeomorfológicos complexos, que não demandam necessariamente proximidade a calotas de gelo ou temperaturas extremamente baixas. Para os objetivos deste trabalho os ambientes periglaciais podem ser definidos como aqueles onde processos intempéricos relacionados a ação do gelo e presença de permafrost dominam, o que engloba regiões de elevada altitude e/ou latitude (FRENCH, 1987).

Apesar de não existir correlação espacial perfeita entre áreas afetadas por permafrost e a intensa ação do gelo, a coincidência é notável. A existência de ilhas sub-

antárticas e ambientes alpinos que experimentam frio intenso e não são afetados por permafrost, em contraste com extensas áreas afetadas da floresta boreal da Sibéria sem relação com as condições climáticas atuais, complica a simples delimitação de ambientes periglaciais. Estima-se que 25% da superfície terrestre experimentam condições periglaciais atualmente (FRENCH 1987). Existe todo tipo de gradação, desde ambientes onde processos relacionados ao congelamento dominam até aqueles onde sua ação é secundária. Outro complicador é a maior susceptibilidade de algumas litologias a ação do gelo, sendo modificadas mais intensamente pela morfogênese periglacial.

É consensual que em ambientes periglaciais a ação do intemperismo físico ultrapassa de forma marcante o intemperismo químico, em função da diminuição da intensidade dos processos químicos com a temperatura. Apesar da intensa fragmentação de rochas e do marcante efeito dos ciclos de congelamento na crioturbação de solos periglaciais, a taxa de intemperismo químico está mais relacionada à presença de água líquida que a temperatura. O intemperismo criogênico, que reflete a ação combinada de processos químicos físicos e biológicos, está intimamente ligado a processos de perda e movimentação, dependentes da presença de água (HALL & HALL, 1991).

2.1.1. Clima

A delimitação do ambiente periglacial é arbitrária e varia consideravelmente dependendo do critério utilizado. A presença de permafrost é uma delimitação simples e razoável, em termos de temperatura engloba a zona proposta por WILLIAMS (1961) com temperatura média anual inferior a 3°C. O clima constitui o fator mais importante para a formação de solos na Antártica, de tal forma que outros fatores como tempo e material de origem são fortemente controlados pelas condições climáticas (CAMPBELL & CLARIDGE, 1987). A baixa disponibilidade de água na maior parte do continente, em função das baixas temperaturas, inibe os processos de intemperismo e a formação de

solos, com as reações químicas ocorrendo lentamente. Com base em características climáticas, a área em estudo se enquadra na grande zona climática da Antártica Marítima (CAMPBELL & CLARIDGE, 1987):

Antártica Marítima – Inclui as ilhas Sandwich, o arquipélago Shettland do Sul e a costa oeste da Península Antártica até 70° S de latitude. Apresenta as maiores temperaturas médias (nunca abaixo de -20° C no inverno e freqüentemente acima de 0° no verão) e maiores precipitações médias anuais (podendo chegar a 1000mm/ano). O regime hídrico do solo é considerado úmido, favorecendo o desenvolvimento da vegetação em faces mais protegidas do vento.

A influência desta zona no status hídrico dos solos afeta sobremaneira a pedogênese, com formação de solos favorecida nesta zona em particular. Além disso, diferenças microclimáticas dentro de cada zona em função da topografia, face de exposição, etc, determinam fortemente as características do solo no sítio estudado.

2.1.2 Regime Climático Na Baía do Almirantado

A Ilha Rei George está situada na Antártica Marítima, com clima muito influenciado pelo movimento de ciclones do oeste para o leste ao redor do continente. Assim, a localização geográfica da Baía do Almirantado junto com a configuração do terreno que a cerca, influencia condições climáticas locais (RAKUSA-SUSZCZEWSKI et al., 1993). É freqüente a sucessão dos centros de baixa pressão, favorecendo as atividades dos ciclones. Durante os meses de verão a temperatura do ar alcança valores acima de 0°C (Tabela 1), sendo que a alta pressão na região da Península Antártica é comumente associada com temperatura do ar mais baixa na Ilha Rei George (BRAUN, 2001).

A temperatura média anual da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) (tabela-1) é semelhante à encontrada por RAKUSA-SUSZCZEWSKI et al. (1993) na

estação meteorológica da Estação H. Arctowski entre o período de 1977-1987, de -1,8 °C, ocorrendo apenas pequena variação entre as temperaturas absolutas mínimas e máximas, pois as encontradas pela estação polonesa apresentaram valores mais extremos.

Tabela 1: Resumos dos dados climáticos coletados pela estação meteorológica da EACF no período de 1986 a 2003

Mês	Temperatura do ar			Pressão atmosférica			Vel.vent (média)	Precipitação	Umid. relativa
	Méd. (°C)	Mín.	Max.	Méd. (mbar)	Mín.	Máx.	m/s	mm	(%)
Jan	2,2	-5,2	14,0	989,5	952,7	1017,2	5,3	34,4	86,6
Fev	2,3	-7,0	10,7	989,9	953,9	1019,3	5,3	38,1	85,7
Mar	1,1	-10,2	10,3	991,0	947,7	1027,5	5,8	44,2	86,0
Abr	-1,3	-17,0	10,9	991,2	959,1	1024,1	5,7	43,4	86,2
Mai	-3,3	-23,5	7,5	993,4	958,9	1033,5	5,3	25,2	84,0
Jun	-5,8	-25,0	7,3	993,4	954,1	1030,9	6,3	21,7	84,8
Jul	-6,4	-27,7	6,3	992,4	953,0	1033,5	6,4	21,7	84,8
Ago	-5,1	-14,7	0,8	990,5	950,0	1024,7	6,6	22,3	86,2
Set	-4,1	-21,1	7,7	991,9	950,0	1037,4	6,6	23,0	85,7
Out	-2,2	-16,1	7,1	987,1	943,8	1021,6	6,5	21,6	83,7
Nov	0,0	-12,0	14,4	986,0	951,1	1020,5	5,9	42,8	84,2
Dez	1,3	-5,1	12,0	987,4	959,4	1019,2	5,4	28,3	84,1
Anual	-1,8	27,7	14,4	990,3	943,8	1037,4	5,9	366,7	85,2

Fonte: www.cptec.inpe.br/antartica

A umidade relativa está quase sempre acima dos 80%, apresentando média anual de 85,2%. Já os ventos apresentam média anual de 5,9 m/s (cerca de 21 km/h), sendo maior durante o período de inverno. Porém, verifica-se constante presença de rajadas que alcançaram velocidade de 49 m/s, ou seja, 176 km/h (www.cptec.inpe.br/antartica). Estas rajadas são importante agente de transporte de material intemperizado e o vento, em geral, ajuda a moldar a geoforma final das áreas livres de gelo.

Diferente da condição desértica polar do continente Antártico, a Ilha Rei George apresenta uma situação mais característica de semi-aridez da Antártica Marítima, com precipitação anual em torno de 366 mm, bem distribuída ao longo do ano, sendo um pouco mais concentrado nos meses de março e abril, onde se verifica também maior precipitação de água líquida. Apesar da presença de aerossóis de diferentes naturezas, os valores do pH das águas de chuvas na Ilha Rei George estão em torno de 6,1 (PRÉMDEZ E ESQUIVEL, 2002).

O clima nesta região é muito severo para permitir a existência de plantas superiores arbóreas, mas favorece, sobretudo a formação de líquens e musgos que são encontrados junto com algas e outras formas primitivas de vida (CAMPBELL & CLARIDGE, 1987).

Apesar do frio intenso, a temperatura do solo (tabela-2) pode ser relativamente alta no período do verão, algumas vezes ultrapassando os 5 °C (Tabela 2). A associação do solo com algum tipo de cobertura vegetal, tais como briófitas ou *Deschampsia*, possibilita a formação de um micro-clima com temperaturas mais elevadas, o que pode beneficiar o desenvolvimento da microbiota e de condições pedogenéticas favoráveis à formação de horizonte superficial.

Análises de fotografias aéreas e imagens de satélites têm demonstrado um retrocesso de cerca de 89 km² do gelo da Ilha Rei George, e de quase 16 km² somente na área da Baía do Almirantado (BRAUN, 2001), o que é evidenciado pela observação do intenso recuo de algumas geleiras, como a Ecology e a Esfinge. Somente nos últimos 25 anos, este recuo foi de cerca de 600 metros na Ecology. Este aumento de superfície livre de gelo, expondo um substrato de cor mais escura, modifica o padrão de albedo antes presente, e sendo posteriormente colonizado por criptógamas, resulta em alteração do microclima.

Tabela 2: Temperatura do solo medida em 4 profundidades no período de 1994-2002

Mês	Profundidade (cm)			
	0	5	10	20
	°C			
Jan	4,4	4,8	4,6	5,2
Fev	3,4	3,9	3,8	4,0
Mar	1,2	1,8	1,9	1,8
Abr	-0,9	-2,6	-0,5	0,0
Mai	-2,8	-2,0	-1,7	-1,1
Jun	-4,9	-4,5	-3,9	-2,9
Jul	-4,9	-4,5	-3,9	-2,9
Ago	-5,6	-5,0	-4,9	-5,0
Set	-4,5	-4,1	-4,2	-4,3
Out	-2,0	-1,4	-1,8	-1,6
Nov	0,0	0,4	-0,1	3,4
Dez	3,2	3,7	3,3	3,8

Fonte: www.cptec.inpe.br/antartica.

A região costeira da baía do Almirantado revela características bem marcantes de clima periglacial. Devido aos verões curtos e temperaturas médias anuais baixas, ocorre permafrost nas áreas de solos mais afastados do litoral. Como a precipitação, apesar de baixa, excede a evaporação, os solos se encontram saturados o ano todo, induzindo hidromorfismo (FRANCELINO, 2004). Diferenças microclimáticas relacionadas à exposição das vertentes e colonização biológica por aves e plantas induzem profunda alteração a nível microclimático. O clima é fator preponderante nos ecossistemas terrestres da Antártica Marítima, determinando as características e propriedades de todos os ambientes presentes nas áreas livres de gelo. Durante o curto período de verão, de dezembro a março, ocorrem grandes alterações na dinâmica e nas relações entre os

ambientes, decorrente principalmente pela presença da água no estado líquido e intensa atividade biológica (FRANCELINO, 2004).

2.2 Processos e Feições do Ambiente Periglacial

2.2.1 Camada Ativa

O termo camada ativa refere-se a camada de solo sobre o permafrost sujeita a ciclos de congelamento anuais. Criossolos de ambientes periglaciais podem derreter no verão, congelam no outono e permanecem congelados durante o inverno. No inverno, geralmente o gelo se concentra no topo e na parte inferior da camada ativa, onde se acumula durante o processo de congelamento (FRENCH, 1987). O derretimento da camada ativa segue o degelo, sendo rápido inicialmente, por causa da abundante energia radiante e pelos expressivos gradientes de temperatura na superfície do solo. À medida que a profundidade avança, atingindo a base de gelo, o gradiente se anula. A espessura da camada ativa pode variar de um ano para outro, dependendo da interação de fatores como a temperatura do ar, orientação da vertente, vegetação, drenagem, cobertura de neve, tipo de solos, rocha e conteúdo de água no solo.

Regiões polares possuem uma delgada camada ativa, que se torna mais espessa em ambientes periglaciais; atinge o permafrost em regiões onde este é contínuo, sendo que podem estar separados por um “Talik”, ou camada descongelada residual (FRENCH, 1987). A camada ativa pode incluir o topo do permafrost caso este possua salinidade ou conteúdo de argila suficiente para se manter descongelado durante o verão, mantendo uma temperatura inferior a 0°C.

O congelamento da camada ativa pode ocorrer diariamente, como em muitas regiões temperadas, ou anualmente, como é o exemplo das regiões periglaciais e polares. Segundo BURN, (1992), a profundidade de penetração do gelo depende

principalmente da intensidade do frio, sua duração, das propriedades físicas e térmicas do substrato, da vegetação e cobertura de neve. No decorrer do ano dois eventos são de especial interesse: o degelo do verão e o congelamento do inverno. O primeiro influencia de forma marcante a natureza dos movimentos de massa e o segundo controla a segregação de gelo no solo. Geralmente o degelo ocorre de forma intensa sendo que, com cinco semanas de temperaturas do ar acima de 0°C, 73% do gelo presente no solo já descongelou. O segundo pode perdurar até oito semanas, sendo um processo que acontece em duas frentes, da superfície para baixo, e do permafrost para cima. Durante a maior parte deste tempo o solo permanece em uma condição praticamente isotérmica, resultado da liberação de calor latente da água durante o congelamento, que acaba por retardar a queda da temperatura. O congelamento inicialmente é lento de cima para baixo, intensificando-se de forma drástica em profundidade em função do encontro entre as duas frentes de congelamento e da diminuição da umidade em função do fluxo ascendente de água em direção ao plano de congelamento (BURN, 1992).

2.2.2 Permafrost

Em diversos ambientes periglaciais, em consequência de longos períodos de inverno intercalados por verões amenos, ocorre a formação de uma camada congelada que não degela completamente durante o verão. Tradicionalmente a definição de permafrost têm sido feita com base em sua temperatura, sendo: solo que permanece abaixo de 0°C por pelo menos dois anos consecutivos (FRENCH, 1987). Desta forma permafrost não necessita estar congelado, uma vez que a solução do solo pode ter seu ponto de congelamento diminuído de maneira significativa. Umidade, na forma de água ou gelo pode ou não estar presente, existindo difusão na “solução” do solo mesmo em temperaturas abaixo do ponto de congelamento. Para uma melhor compreensão de sua influência sobre a pedogênese alguns aspectos relacionados ao conteúdo de água ou

gelo devem ser considerados. O congelamento de água na camada ativa nos primeiros meses de inverno se dá na forma de lentes, que tendem a se expandir com o tempo em função da migração de umidade para o ponto de formação das lentes. Gelo cristalizado entre materiais minerais inconsolidados é o componente dominante do permafrost, podendo inclusive exceder a capacidade de campo do material (OSTROUMOV, 1998). A dinâmica de água no solo é altamente afetada pela presença de permafrost, resultando em menor infiltração, confinamento de umidade e maior precipitação de minerais dentro do permafrost pela exclusão do gelo.

2.2.3 Crioturbação

O processo de crioturbação envolve uma série de mecanismos ligados a ciclos de congelamento/degelo. Como principais mecanismos podem se destacar o arredondamento de agregados por estresse mecânico/hídrico e rotação devido as diferentes respostas da massa do solo ao congelamento; lenta translocação de sedimentos contra a gravidade ao longo de fissuras; translocação de partículas e incorporação à estrutura do solo por processos de estresse. Estudos recentes mostram que a deformação plástica se dá de forma marcante pouco antes do congelamento; materiais crioturbados são resultado do congelamento diferencial na massa do solo associado a diferenças de drenagem, condição térmica e susceptibilidade ao congelamento (OSTROUMOV, 2004).

2.2.4 Solifluxão

O processo de solifluxão consiste no rápido movimento lateral de massa de solo, como resultado do degelo de uma massa de solo/sedimento pobremente consolidada. A movimentação laminar ocorre no contato entre “placas” formadas pelos ciclos de formação de lentes de gelo, ambos o fornecimento de umidade a montante e a

capacidade de drenagem influenciam a movimentação do material, e deslocamentos suaves rapidamente se transformam em grandes movimentos de massa. Segundo OSTROUMOV, (2004), importantes componentes da solifluxão são a gelifluxão, “frost creep” e um movimento de massa da camada ativa associado a planos de escorregamento. A gelifluxão esta associada a impedimentos de drenagem em solos congelados, ou ao excesso de umidade proveniente do descongelamento de lentes de gelo segregadas. “Frost creep” é descrito como a expansão vertical do solo, durante o descongelamento em virtude do ganho excessivo de umidade. Já o movimento de massa a que a camada ativa esta sujeita em meados do verão se deve principalmente ao impedimento de drenagem vertical, e camada pouco abrasiva rica em gelo fornecidas pelo permafrost. A importância relativa de cada um dos processos envolvidos irá variar com a geofoma, substrato e variações climáticas anuais (OSTROUMOV, 2004).

Diversos estudos buscaram modelar a magnitude e taxa de movimentação de massa em ambientes periglaciais; PRICE (1973) encontrou valores de 2,4-2,7 cm/ano, sendo a vegetação um fator de sensível importância na taxa de movimentação. Aspectos de microclima, posição na paisagem e espessura da camada ativa foram importantes, porém é notável a seleção da vegetação por sítios mais estáveis e o posterior incremento de estabilidade imposto pela espessa camada de material orgânico.

2.3 Geomorfologia da Antártica Marítima

A Baía do Almirantado é caracterizada por pequenas enseadas formadas a partir de recuo das geleiras (fiordes). As enseadas Mackellar e Martel, por exemplo, são como vales suspensos submersos ou afogados quando se considera a parte central da baía, pois Martel possui uma profundidade média de 61 m, com máxima de 237 m (RAKUSA-SUSZCZEWKI et al, 1993). A enseada Martel já foi o fundo de uma geleira

mais extensa, que reunia a Stenhouse e a cascata de gelo Ájax (FRANCELINO, 2004). A frente desta geleira cobriu parte da face leste de Keller, e deixou impressões na sua paisagem atual. Como exemplo, se destaca a presença de uma moraina frontal próximo da base do Morro Flagstaff, com um arco de sedimentos com mais de 400 m de extensão, constituída de material geologicamente heterogêneo (erráticos) indicando o transporte de longas distâncias, com blocos de rochas de grandes dimensões. Tais blocos só poderiam ser transportados por uma geleira mais ampla e com maior capacidade de arrasto e não por pequenas geleiras de circo, como existem hoje na península (FRANCELINO, 2004).

As condições climáticas na Baía do Almirantado, que permitem o congelamento e descongelamento do solo nas áreas livres de gelo durante o verão, favorecem o surgimento, nesse substrato, de vários tipos de feições caracteristicamente periglaciais (BOELHOUWERS et al, 2003; CALVET et al., 1992). A solifluxão e o intemperismo das rochas devido à ação do gelo são dois processos característicos do sistema periglacial (ARAYA & HERVÉ, 1972a), sendo facilmente observados. A solifluxão opera de modo lento, geralmente com uma taxa de no máximo 1 m ao ano (MATSUOKA, 1991), podendo retirar o material da superfície em taxas maiores que sua reposição. A profundidade onde ocorre o ciclo de congelamento/descongelamento delimita a extensão onde a solifluxão acontece, o que também está associado com o degelo da camada superficial do permafrost em terrenos declivosos.

Cada área livre de gelo da Baía do Almirantado apresenta um padrão próprio de geoforma. Na parte próxima à Ponta Thomas, onde está localizada a estação polonesa, a paisagem é marcada pela presença de um extenso terraço marinho colmatado, limitando-se ao fundo com uma parte de relevo mais movimentado. Na enseada Ezcurra, encontram-se fiordes que se destacam na paisagem, sendo que entre a Ponta

Ágata e o Morro Esfinge, existe a mais extensa área de relevo crio-aplainado da região. A manifestação do intemperismo físico nos substratos litológicos das áreas livres de gelo da Baía do Almirantado, como em outras partes da Antártica Marítima, é extrema, devido à combinação de fatores tais como recuo do gelo, umidade disponível relativamente alta, temperaturas muito baixas, substratos de rochas vulcânicas fraturadas e topografia montanhosa. Os fortes ventos presentes na região também contribuem para a modelagem final (FRANCELINO, 2005).

2.3.1 Descrição das principais unidades geomorfológicas

Neste estudo seguem-se conceitos geomorfológicos mapeados e reportados por FRANCELINO (2004) na Península Keller.

Scree slope

O scree slope pode ser descrito como uma vertente de declividade média composta por sedimentos e fragmentos de rocha onde pouca vegetação se desenvolve. É feição de grande importância na Baía do Almirantado, pode ser precedido por uma linha de tálus, ao sopé de escarpas ou relevos mais agressivos. O terço inferior dos screes, já próximo do litoral, apresenta-se de forma geral mais estável, possibilitando, inclusive, o desenvolvimento de cobertura vegetal. Esta feição está associada à presença de processos de solifluxão (FRANCELINO, 2004).

Praia

As praias da Baía do Almirantado são compostas principalmente de seixos, associados com a presença de areia grossa. A ação das ondas, que é limitada a um período de 6-7 meses ao ano, leva a um acúmulo de energia capaz de deslocar 1 kg de fragmentos de rochas num período de 10 dias (ARAYA & HERVÉ, 1972). Juntamente com a presença de blocos de gelo oriundos das geleiras próximas ou de icebergs encalhados, que por vezes formam uma cobertura contínua na praia, promovem um

rearranjo dos seixos e blocos presentes nas praias, formando um compacto pacote com estrutura de pavimento e feições circulares ou poligonais. Esse agrupamento promove maior estabilidade a esta feição, pois blocos isolados são rapidamente levados pela ação das ondas.

Planícies fluvio-glaciais

Em algumas áreas de desembocadura onde ocorre maior concentração de canais de degelo, verifica-se a presença de plataformas que sofrem deposições anuais de sedimentos, formando típicas planícies fluvio-glaciais

Morainas

Morainas são grandes depósitos de fragmentos rochosos transportados dentro de geleiras. Os fragmentos de rochas das morainas são, no máximo, semi-angulosos. Somente o material submetido à ação erosiva da água é que realmente apresenta aspecto “seixoso”, e esta característica serve para delimitar as áreas dos terraços marinhos soerguidos, que estão presentes em quase toda a faixa costeira da baía, onde por vezes se encontram distante cerca de 60 m do limite atual da praia e a 19 m de altitude do nível do mar (FRANCELINO, 2004).

Terraços Marinhos Soerguidos

Existe um aparente sincronismo entre a deglaciação do Holoceno e o soerguimento dos terraços marinhos da Bahia do Almirantado, o que indica uma estreita relação com o rearranjo glácio-isoestático ocorrido principalmente na faixa sul, como alívio produzido pela diminuição na espessura da calota de gelo nessa faixa (PALLÀS et al, 1995; ARAYA & HERVÉ, 1972b). A análise por métodos de radiocarbono de material obtido dos terraços soerguidos das Ilhas Rei George e Livingstone – feita por diversos autores e revisada por CLAPPERTON & SUGDEN (1988) indica que os terraços mais antigos datam de cerca de 6.000 anos.

Os mesmos agentes mecânicos que atuam na formação dos seixos observados nos terraços marinhos soerguidos são os que atuam nas praias atuais, indicando condições climáticas similares.

Protálus

As condições climáticas da região, fria e úmida, disponibilidade alta de água líquida no verão, freqüentes ciclos de congelamento-descongelamento e presença contínua de uma camada ativa favorecem o surgimento de processos de solifluxão e, conseqüentemente, a formação de feições denominadas Protálus.

Protálus são acumulações de escombros grosseiros, mal selecionados geralmente no terço inferior dos declives, não muito distante da fonte de fragmentos. São caracterizados por fluxo lento, ausência de cumes e existência de um tálus a montante, no qual os escombros se acumulam inicialmente (FRANCELINO et a, 2004).

Tálus

São caracterizados por serem um ambiente extremamente seco, em conseqüência da forte drenagem decorrente da presença de material grosseiro, exposição aos ventos, escassez de material fino e declividade acentuada, o que confere maior dinâmica a essa feição. Estas características os tornam um habitat extremamente inóspito, mas apesar dos distúrbios mecânicos comuns nesta feição, verifica-se a presença de alguns vegetais nos poucos pontos mais estáveis. Os tálus apresentam superfícies ativas de transporte a curtas distâncias, no qual os fragmentos angulares, por ação gravitacional, são transportados morro abaixo (FRANCELINO et al, 2004).

Felsenmeer

São bancos ou superfícies de rochas derivada em grande parte do intemperismo físico *in situ*, que tem sido retrabalhado pelos processos glaciais e periglaciais. O conceito de felsenmeer neste trabalho foi modificado para incluir áreas com pequenas declividades e transporte de curta distância, porém com fragmentação primordialmente *in situ* (FRANCELINO, 2004).

2.4 Cobertura Vegetal

Estudos pioneiros mostram que uma gama de comunidades de briófitas e líquens se desenvolvem ao longo da Costa Oeste da Península Antártica e suas ilhas. Em contraste, a vegetação terrestre sobre a maior parte do Continente Antártico é restrita a comunidades esparsas de líquens, onde os musgos representam um papel secundário. HOLDGATE (1964) então propôs a divisão da Zona Fitogeográfica Antártica em Marítima e Continental, a primeira situada em um clima marítimo que suporta inclusive a existência de duas espécies de plantas vasculares, juntamente com comunidades vigorosas de líquens e musgos. A flora terrestre das áreas livres de gelo da Baía do Almirantado é dominada por plantas inferiores, compostas principalmente por espécies de líquens, algas e musgos; apenas duas espécies de Angiospermas estão presentes: *Deschampsia antarctica*, pertencente à família *Gramineae-Poaceae*, e *Colobanthus quitensis*, pertencente à família *Caryophyllaceae*.

As condições climáticas na Antártica Marítima são fator determinante na natureza da vegetação. Entretanto deve ser salientado que o microclima experimentado pela vegetação pode diferir marcadamente daquele registrado em dados meteorológicos, particularmente no que diz respeito a temperatura. A Antártica Marítima, especialmente o arquipélago das Shetlands do Sul se localiza na passagem de fortes ventos de Oeste,

experimentando freqüente nebulosidade e precipitação. A insolação durante o verão é abundante com dias que podem chegar a 20h de duração. A média mensal de temperatura do ar durante o verão gira pouco acima dos 0°C, e apesar da região estar sujeita a fortes ventos com rajadas intensas, sua direção e força sempre são influenciadas pela topografia local (FRANCELINO, 2004).

Uma das primeiras tentativas sérias de classificação da vegetação antártica foi realizada por HOLDGATE (1964), quem reconheceu três séries integradas de comunidades de briófitas e líquens na Ilha Signy, cada série caracterizada por um nicho e por um crescimento dominante de um grupo. Este sistema já foi aprimorado por estudos posteriores permanecendo, porém baseado na forma de crescimento e nicho ecológico, como a classificação da vegetação na Antártica marítima proposta por LONGTON (1967). Para este trabalho foi adotado sistema próprio desenvolvido com base na forma de crescimento, nicho ecológico e aspectos pedológicos associados à distribuição das diferentes classes.

2.5 Classificação de solos afetados por Permafrost

2.5.1 Base de Referência Mundial para os Recursos do Solo

A classificação elaborada pela Base Mundial de Referência para os Recursos Pedológicos (ISSS-RB), (ISSS WORKING GROUP RB, 1998) inclui solos afetados por permafrost em três grupos. O primeiro é o grande grupo dos Histossolos que inclui solos orgânicos congelados permanentemente ou não. Em seqüência taxonômica vem o grande grupo dos Criossolos, que inclui todos os solos minerais permanentemente congelados que possuem um horizonte criogênico. O terceiro grupo agrega o restante dos solos permanentemente congelados a profundidades de 100 a 200cm em vários grandes grupos, dentre eles: Leptossolos, Fluvisolos, Solonchak, Gleyssolos,

Planossolos, Albeluvissolos, Umbrissolos, Cambissolos, Arenossolos (TARNOCAI et al, 2004).

O sistema de classificação da FAO é baseado em dois princípios gerais: os fatores dominantes em sua pedogênese e seu reflexo na morfologia do perfil. A classificação de solos é baseada em critérios definidos em termos de horizontes diagnósticos. Os critérios diagnósticos possuem estreita relação e refletem a expressão de processos pedogenéticos, sendo desconsiderados aspectos climáticos. Os princípios específicos aplicados a solos afetados por permafrost são estes: Primeiramente os solos minerais e orgânicos são classificados de forma distinta, para solos minerais a presença de permafrost juntamente com propriedades criogênicas os enquadra no grande grupo dos Criossolos. Para outros solos minerais a expressão de processos pedogenéticos específicos é precedente em relação a presença de permafrost e feições criogênicas se estes estiverem a mais de 100cm de profundidade (TARNOCAI et al, 2004).

Histosolos

Histosolos são definidos como solos orgânicos possuindo um horizonte hístico ou fólico com espessura superior a 10cm com contato lítico, ou com espessura superior a 40cm começando a 30cm da superfície com ausência de horizonte ândico ou vítrico com início a 30cm de profundidade. Os histossolos afetados por permafrost são enquadrados dentro dos sub-níveis criogênico, gélido ou glácico (TARNOCAI et al, 2004).

Criossolos

Criossolos são definidos como solos minerais que possuem um horizonte criogênico nos primeiros 100 cm de profundidade. Contém gelo segregado, horizontes crioturbados e macro e microestruturas resultantes de processos criogênicos. Foram

incluídos no sistema de classificação de solos da FAO em 1994 sendo incluídos como grande grupo em 1998 (TARNOCAI et al, 2004).

Outros solos

O sub-nível categórico gélido dos grandes grupos de solos é caracterizado por feições de crioturbação e/ou presença de permafrost entre 100 e 200cm de profundidade. Estes solos geralmente possuem textura grosseira ou espessa camada ativa conseqüente da remoção de vegetação ou da camada orgânica superficial (TARNOCAI et al, 2004).

2.5.2 A Ordem dos Gelissolos no Sistema de classificação Americano

De uma forma geral pouca atenção foi dada historicamente para os solos afetados por permafrost, apesar de sua extensão estar estimada em torno de um quarto da superfície terrestre (BIRKELAND & LARSON, 1989; BLACK, 1954). Apenas em 1998 os solos afetados por um regime climático pergélido ganharam uma ordem separada no Sistema Americano de Classificação de Solos (SACS), provavelmente em virtude de baixa densidade populacional e limitada sustentabilidade de cultivo dentro dos sistemas tradicionais (Soil Survey Staff, 1998). Entretanto recentemente as regiões afetadas por permafrost têm atraído considerável atenção em virtude dos impactos causados pelo aquecimento global em ambientes periglaciais. Antes da 8ª edição da chave de classificação americana os solos com regime climático pergélido eram distribuídos dentro das ordens dos Andissolos, Entissolos, Histossolos, Inceptissolos, Mollissolos e Espossolos.

Em 1993 foi estabelecido um Comitê Internacional para solos Afetados por Permafrost (ICONPAS) presidido pelo pesquisador Dr. James Bockheim, em 1998 as recomendações do comitê foram aceitas e incorporadas ao Sistema de classificação de Solos Americano (Soil Survey Staff, 1998). Foram definidos como Gelissolos aqueles

com permafrost nos primeiros 100cm de solo ou permafrost nos primeiros 200cm de solo e materiais gélidos nos primeiros 100cm de solo (Soil Survey Staff, 1998). Foram ainda definidas as subordens dos Histels, Turbels e Orthels; a primeira incluindo solos turfosos ou com horizonte hístico superior a 40cm, a segunda incluindo solos com influência marcada de crioturbação em sua gênese e a terceira englobando os demais gelissolos.

Dentre as decisões talvez a mais controversa enfrentada pelo comitê foi a de conferir precedência taxonômica para os Gelissolos em relação aos Histossolos. Apesar de existirem inúmeras razões para se incluir todos os solos orgânicos na mesma ordem, o acúmulo de matéria orgânica em ambientes periglaciais é característica comum a uma variedade de pedons. A maioria dos membros do comitê suportou esta decisão por entender a ordem pedológica como foco da tomada de decisões sobre manejo e outros aspectos associados a solos afetados por permafrost.

2.6 Criossolos Ornitogênicos

Durante um curto período de verão, ocorrem no ambiente terrestre interações que influenciam diretamente as relações tróficas e rotas de transferência de matéria e energia entre o oceano e ambientes costeiros na Antártica (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1993). Isto se deve a presença de aves e mamíferos que se alimentam no ambiente aquático, porém passam grande parte do tempo na parte terrestre. RAKUSA-SUSZCZEWSKI (1993), em extensa revisão sobre a dinâmica de matéria e energia na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, cita como principais fontes de material orgânico do ecossistema marinho para o terrestre: guano, urina, penas, casca de ovos, pêlos, restos animais e vegetais e conchas. Destacam-se neste processo os pingüins, que formam anualmente colônias com milhares de indivíduos. A incorporação desses materiais

orgânicos à matriz mineral dá origem aos solos ditos Ornitogênicos (TATUR, & MYRCHA, 1993).

Nestes solos, observa-se a ocorrência de diversos minerais de argila fosfatados incomuns em solos de outros ambientes naturais do planeta. A maior parte dos trabalhos restringe-se ao estudo da fosfatização nos solos e evidenciam a ocorrência de fosfatos minerais típicos de solos agrícolas fertilizados e raros em ambientes naturais (TATUR & BARCZUC, 1983; TATUR & MYRCHA, 1993). SCHAEFER et al (2003) utilizou a Microscopia Eletrônica de Varredura com EDS e WDS em um conjunto de solos com diferentes graus de fosfatização e confirmou formas iluviais de natureza particular do processo de fosfatização no ambiente criogênico; com intensa mobilidade de P e neoformação de fosfatos secundários tais como Taranakita, Minyulita e Leucofosfita.

Os solos desenvolvidos em pingüineiras atuais ou abandonadas distinguem-se claramente dos solos dos vales áridos em relação à diversas características químicas como: valores de pH mais baixos (3,8-5,8), disponibilidade muito alta de P, alta atividade de Al e níveis variáveis de Ca, Mg e K no complexo de troca (SIMAS et al., 2003). Sobre alguns desses solos, observa-se o desenvolvimento de oásis com extensa cobertura vegetal onde se verifica maior atividade microbiológica, comparável aquela observada em zonas de clima temperado (MYRCHA et al., 1983). Durante o processo de mineralização da matéria orgânica, ocorre a rápida decomposição de formas menos persistentes, que são volatilizadas ou lixiviadas, acompanhada pela gradual concentração de materiais orgânicos mais resistentes como quitina, ácido úrico e minerais de fosfato (hidroxi-apatita e struvita) (MYRCHA et al., 1983).

Nas pingüineiras atuais, solos cobertos por uma fina camada de guano fresco, são geralmente desprovidos de vegetação e apresentam alta atividade microbiológica em termos de solos Antárticos. Nos solos localizados próximos a pingüineiras, a influência

ornitogênica é muito mais pronunciada, SIMAS et al. (2003) verificaram intensa fosfatização, com níveis de P disponível (Melich-1) extremamente elevados, chegando a 4150 mg/dm³ em sub-superfície. Nestas áreas a colonização inicia-se com a formação de uma cobertura de *Prasiola* sp. (alga). Nas porções mais altas da paisagem, antigas pingüineiras são hoje extensamente colonizadas por líquens, briófitas e por duas espécies superiores: *Deschampsia antártica* (*gramineae*) a *Colobanthus* (*Cariofilaceae*). TATUR & MYRCHA (1989) estudando o efeito do aporte ornitogênico de nutrientes na composição química de *Deschampsia antarctica*, observaram que próximo a área atualmente ocupada, as plantas são fertilizadas por soluções alcalinas lixiviadas do guano fresco, apresentando maiores teores de estrôncio e zinco no tecido vegetal. Nas áreas mais antigas, onde não há atividade atual de pingüins, são utilizados nutrientes acumulados em fosfatos secundários de ferro e alumínio. Nestas áreas, a vegetação apresenta maiores teores de magnésio, cálcio e ferro em seus tecidos (TATUR & MYRCHA, 1989).

Além dos pingüins, outras aves também contribuem para o processo de ornitogênese como as skuas, petréis e gaivotões (TATUR & MYRCHA, 1993). Observa-se o desenvolvimento de vegetação em áreas mais distantes da costa próximo a ninhas destas aves, indicando a importância da fertilização dos solos por estes animais no estabelecimento de comunidades vegetais mais complexas e com maior capacidade de fixação de C.

2.7 Balanço Global de Carbono

O domínio periglacial é um importante componente da criosfera, sendo atualmente reconhecido como sensível a pequenas oscilações de temperatura. A maior parte dos modelos de aquecimento global prevê efeitos mais pronunciados nos

ambientes periglaciais, sendo esperado que o incremento de temperatura durante o inverno supere a média anual. A maioria dos domínios periglaciais no mundo possui um balanço negativo de radiação, e alterações neste balanço irão desencadear mudanças sensíveis na circulação atmosférica e dos oceanos. O derretimento de oceanos congelados e geleiras gera águas frias de fundo de oceano que acabam por influenciar o balanço energético nas zonas equatorianas, afetando a circulação global das correntes (FRENCH, 1987).

Na Antártica Marítima, devido a maior precipitação anual, os processos de intemperismo químico e a dinâmica de C no solo ocorrem em taxas mais aceleradas em comparação ao restante dos solos da Antártica. O crescimento de algas, líquens e briófitas, promove o contínuo aporte de biomassa e metabólitos secundários, como ácidos orgânicos de baixo peso molecular. Devido à reduzida atividade microbiológica em função das condições climáticas adversas (baixas temperaturas, longo período de congelamento) o acúmulo de matéria orgânica e a podzolização constituem importantes processos pedogenéticos (CAMPBELL & CLARIDGE, 1987). Solos orgânicos são encontrados com frequência, associados a solos minerais. BEYER et al. (1995), estudando solos orgânicos de Wilkes Land, Antártica Oriental, encontraram predomínio de carboidratos e lipídios no material originado de briófitas. A gramínea *Deschampsia antarctica* e a cariofilácea *Colobanthus quitensis* constituem as únicas espécies de planta superiores. Os solos ornitogênicos, enriquecidos em nutrientes, desempenham importante papel ecológico favorecendo o desenvolvimento de comunidades vegetais mais complexas e com maior produção de biomassa. A ciclagem biogeoquímica e a dinâmica de matéria orgânica exercem grande influência na formação dos solos e no equilíbrio do ambiente terrestre (MYRCHA & TATUR, 1989).

A atividade biológica nos solos da Antártica é em geral baixa, sendo fortemente determinada por condições microclimáticas onde a temperatura e as condições hídricas do solo condicionam a produção primária e a fixação de carbono no sistema. Desta forma, apesar do predomínio de solos com baixo teor de carbono (0,1-0,4 dag/kg), o acúmulo de matéria orgânica é, em alguns casos, um processo importante na gênese de solos (CAMPBELL & CLARIDGE, 1987; BEYER et al., 1995; BEYER, 2000; BEYER & BÖLTER, 2000).

O balanço global de carbono nos diferentes ecossistemas terrestres, e da Antártica em particular, é de vital importância para a compreensão da dinâmica climática e ambiental. A imobilização de carbono no solo, via incorporação ativa pela fitomassa e pelos organismos do solo, é um fator que além de promover o seqüestro de C, é responsável pela geração de cargas elétricas, aumenta a retenção de água e influencia a biodisponibilidade de nutrientes e metais pesados. Os teores de matéria orgânica nos solos da Antártica são muito variados, em função das condições de acumulação (excesso de frio que inibe a mineralização) e da remoção pela erosão, agravada pelas condições climáticas severas. Ocorrem solos turfosos, ricos em C, com horizontes superficiais hísticos, até solos brunados, com pavimento desértico, e muito pobres em carbono (WELLMAN & Wilson, 1965; UGOLINI, 1976; BEYER et al., 1995; BEYER, 2000).

2.7.1 Dinâmica de C e sua influência na Gênese de Criossolos Ornitogênicos

A matéria orgânica do solo sempre está de uma forma ou outra relacionada a gênese das mais diversas classes de solos, seja por sua abundância ou qualidade. Sua influência nos processos pedogenéticos é governada pelas diversas variáveis que podem favorecer sua permanência ou ciclagem pelo sistema solo. Dentre estes fatores pode-se salientar o clima, forte influente na qualidade da cobertura vegetal e conseqüentemente

na qualidade do aporte orgânico; e o material de origem, que influenciará a textura e riqueza química do solum. Na evolução dos ecossistemas terrestres o intemperismo físico consegue fracionar os minerais até a dimensão de silte, a partir daí a ausência de planos de clivagem faz necessária a hidrólise do material mineral e seu posterior rearranjo em minerais secundários. Durante o processo de mineralização da matéria orgânica, há a rápida decomposição de formas menos persistentes, que são volatilizadas ou lixiviadas, acompanhada pela gradual concentração de materiais orgânicos mais resistentes como quitina, ácido úrico e minerais de fosfato (hidroxi-apatita e struvita) (Myrcha et al., 1983).

Para se avaliar a dinâmica de carbono nos ecossistemas terrestres, torna-se fundamental avaliar o conteúdo de carbono orgânico total (COT) incorporado ao solo, que constitui um importante reservatório de C do planeta. Na Antártica Marítima, apesar das condições extremas de clima, cobertura microfíticas de líquens, algas, briófitas e raras plantas superiores são capazes de fixar o C atmosférico e incorporá-lo ao solo, sendo a sua conservação auxiliada pelas baixas temperaturas, que retardam a mineralização (SIMAS et al., 2003).

O clima mais ameno permite o amplo desenvolvimento da vegetação nas áreas mais protegidas. Líquens, algas e, principalmente briófitas, formam volumosas colônias, cobrindo extensas áreas de criosfera exposta. Os solos ornitogênicos, enriquecidos em nutrientes, desempenham importante papel ecológico favorecendo o desenvolvimento de comunidades vegetais mais complexas e com maior produção de biomassa. A ciclagem biogeoquímica e a dinâmica da matéria orgânica exercem grande influência na formação dos solos e no equilíbrio do ambiente terrestre (TATUR & MYRCHA, 1989).

Sabe-se que o estoque de carbono em um solo é resultado da fixação primária de C por organismos autotróficos e da ação decompositora dos microrganismos. Condições

ambientais como temperatura e umidade influenciam diretamente esses fatores. Apesar do baixo aporte de C ao solo pela tundra antártica, expressivo acúmulo de material orgânico é frequentemente observado em alguns solos da Antártica Marítima, especialmente em oásis sobre solos ornitogênicos. O monitoramento do estoque de C destes solos em um contexto de mudança climática global, onde se testemunha o aumento paulatino da temperatura pode indicar eventuais efeitos de alterações climáticas sobre o ambiente terrestre. Se, por um lado, temperaturas mais altas favorecem a decomposição da matéria orgânica podendo causar a redução do C seqüestrado no solo, por outro, aumenta a área de criosfera exposta através do recuo das geleiras. Desta forma tem-se uma maior área exposta passível de colonização.

A origem vulcânica das rochas que formam a Ilha Rei George permite inferir a presença de alofana nos solos, visto que este aluminossilicato amorfo é comum em solos derivados de cinzas vulcânicas em outras partes do planeta. Estudos em solos alofânicos demonstram que a taxa de mineralização da matéria orgânica é extremamente reduzida em relação a outros solos, evidenciando uma forte interação entre esse aluminossilicato amorfo e as formas de C no solo (BROADBENT et al., 1964; ZUNINO et al., 1981; MARTIN et al., 1982). Argilas alofânicas podem adsorver conteúdo expressivo de proteases e amilases e seus substratos, afetando a decomposição e protegendo a matéria orgânica do solo da ação decompositora da microbiota. Não há estudos sobre a inter-relação entre a matéria orgânica e os minerais dos solos na Antártica Marítima para o melhor entendimento das vias de decomposição e síntese de substâncias orgânicas nos solos.

Myrcha e Tatur (1988) estudando o efeito do aporte ornitogênico de nutrientes na composição química de *Deschampsia Antártica*, observaram que próximo a área atualmente ocupada, as plantas são fertilizadas por soluções alcalinas lixiviadas do

guano fresco, apresentando maiores teores de estrôncio e zinco no tecido vegetal. Nas áreas mais antigas, onde não há atividade atual de pingüins, são utilizados nutrientes acumulados em fosfatos secundários de ferro e alumínio. Nestas áreas, a vegetação apresenta maiores teores de magnésio, cálcio e ferro em seus tecidos (Myrcha e Tatur, 1988).

Apesar da ausência de lignina nos tecidos de vegetais inferiores, a formação de compostos aromáticos é possível em solos antárticos sob briófitas e líquens. Evidências de formação de substâncias húmicas sem a participação de lignina têm sido observada em solos e sedimentos de regiões periglaciais (STEVENSON, 1994). Inúmeros ácidos aromáticos fenólicos e hidroxílicos são sintetizados de fontes de C não aromáticas pelos microorganismos. Esta habilidade é mais característica de actinomicetos e fungos, apesar de também estar presente em bactérias. A produção de substâncias húmicas por microorganismos pode ser em parte um processo extracelular; após síntese os polifenóis são secretados para a solução onde podem ser oxidados por meio de enzimas a quinonas que subseqüentemente podem se combinar a outros metabólitos (BEYER et al., 1995). Em condições mais favoráveis a humificação, como em clima temperado, estes compostos constituem unidades estruturais das substâncias húmicas do solo. O estudo desses processos na Antártica pode ser de grande auxílio para o entendimento de processos mais dinâmicos e complexos, em condições temperadas e tropicais.

3. Material e Métodos

3.1 Área de Estudo

Os solos estudados estão localizados na Baía do Almirantado, na Ilha Rei George, Arquipélago das Ilhas Shetland do Sul, Antártica Marítima (figura-1), ocupando uma área de aproximadamente 370 Km²; próximos a estação de campo Americana Pieter J. Lenie, (62°10'S-58°28'W), também conhecida como “Copacabana”. O material de origem é altamente heterogêneo, organizado em morainas de profundidades variáveis (figura 2,3,4), sobre rochas vulcânicas intemperizadas, em sua maioria basaltos andesíticos e materiais transportados pelo Glaciar Ecology. A precipitação média anual está em torno de 367mm, porém o real regime hídrico do solo (pedoclima) é altamente influenciado pela sua posição na paisagem, em função do intenso degelo do permafrost de sítios a montante durante o verão. A temperatura média mensal varia de -6,4°C em julho até 2,3°C em fevereiro (INPE-Estação Antártica Brasileira Comandante Ferraz). A temperatura se mantém acima do ponto de congelamento durante todo o verão

possibilitando o vigoroso crescimento de comunidades vegetais, em sua maioria musgos, líquens e algas durante este período (SCHAEFER et al., 2004).

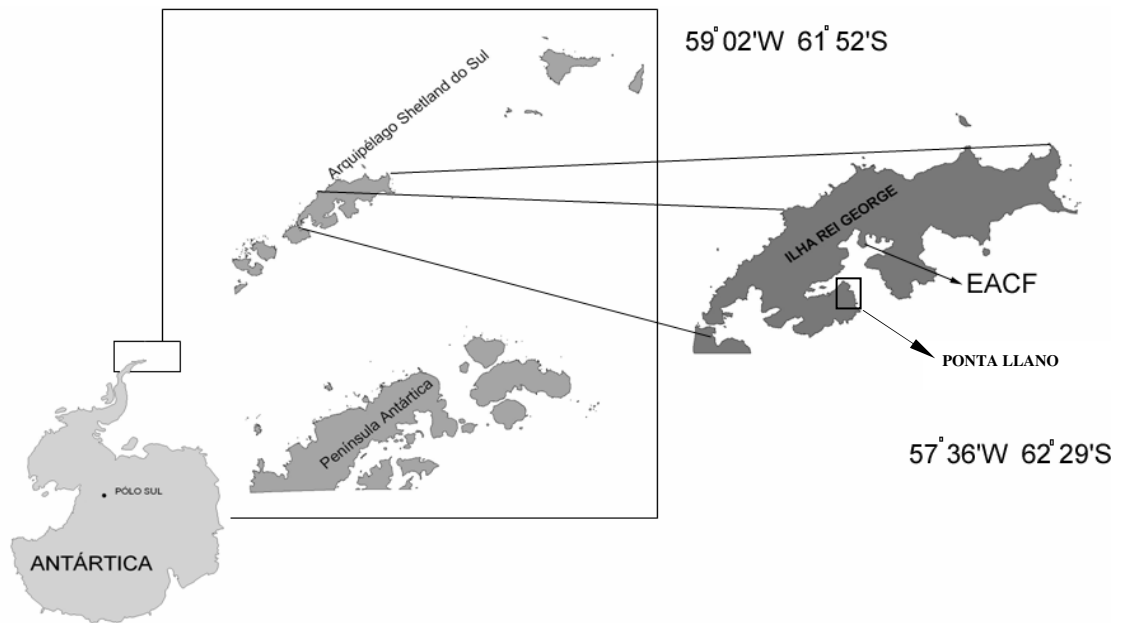


Figura-1: Localização do arquipélago Shetland do Sul, e Ilha Rei George a Estação Antártica Comandante Ferraz e em detalhe a área de estudo, adaptado de FRANCELINO (2005).



Figura-2: Visão panorâmica da área em estudo



Figura-3: Visão panorâmica da Ponta Llano e Colônias



Figura-4: Visão panorâmica do Terraço Marinho 1º nível e Colônias



Figura-5: Moraina suavizada onde está localizado o perfil-Copa 6

3.2 Coleta e Preparo das Amostras

As amostras de solo foram coletadas durante a XXI, e XXII Operações Antárticas Brasileiras, no verão de 2002/2003 e 2003/2004. Foram descritos e amostrados 10 perfis de solo distribuídos em uma toposequência. As amostras foram coletadas a cada 10 cm de profundidade, sendo respeitada a diferenciação dos horizontes. Foram coletadas amostras indeformadas, para a obtenção de seções finas, detalhes dos perfis amostrados, da cobertura vegetal predominante e da paisagem foram descritos e registrados na forma de imagens digitais e notas de campo. A localização dos perfis foi georreferenciada com um GPS Garmim III. Os solos foram classificados segundo o sistema da Base Internacional de Referência para os Recursos do Solo (ISSS WORKING GROUP RB, 1998) e também pelo Sistema de Classificação de Solos Americano (Soil Survey Staff, 1998), sendo que foi confeccionado mapa apenas para o sistema internacional.

3.3 Análises Químicas Físicas e Mineralógicas

A cor do solo foi obtida em amostras de TFSA utilizando-se a caderneta de Münsell (MÜNSELL, 1994). A análise textural dos solos, quantificando as frações areia grossa, areia fina, silte e argila, foi realizada conforme EMBRAPA (1997), sendo a dispersão do solo promovida por agitação em coqueteleira.

O pH em água, foi determinado utilizando-se as proporções amostra:água de 1:2,5 (EMBRAPA, 1997). Além disso, foi medido nas amostras de solo, o pH em KCl 1 mol/L, CaCl₂ 0,01 mol/L e NaF 1 mol/L conforme os métodos do Soil Survey Staff (SSS, 1996). Este último será utilizado para verificar a presença de argilominerais amorfos visto que a presença de alofana pode ser estimada através da reação específica com o ânion fluoreto liberando íons OH⁻, o que causa o aumento do pH da solução

(FIELDDES e PERROT, 1966). Segundo estes autores, um pH final em NaF $\geq 9,4$ é um forte indicador do predomínio de minerais amorfos.

Foram determinados os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} trocáveis, extraídos por solução de KCl 1 mol/L e Na^+ , K^+ , P e Fe extraídos pelo extrator Mehlich-1 (EMBRAPA, 1997). Os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} e Fe^{3+} nos extratos serão determinados em ICP, os de K^+ e Na^+ por fotometria de chama e os de P por fotolorimetria pelo método do ácido ascórbico MURPHY e RILEY (1962). De amostras selecionadas, as frações silte e argila foram obtidos difratogramas de raio-X para o estudo da mineralogia dos solos.

3.3.1 Quantificação e Caracterização da Matéria Orgânica do Solo

O teor total de carbono orgânico nas amostras de solo foi determinado conforme YEOMANS & BREMNER (1988) utilizando ferroin como indicador e WALKLEY & BLACK adaptado por NELSON & SOMMERS, (1982). O teor de nitrogênio total foi determinado pelo método de KJEDAHN (EMBRAPA 1979). O teor da cada fração húmica foi determinado segundo a técnica de fracionamento quantitativo de substâncias húmicas modificado por BENIES et al., (2000). Na extração dos ácidos húmicos e fúlvicos, foi empregada solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹. A determinação quantitativa de carbono nos extratos das frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina foi feita segundo método de YEOMANS & BREMNER (1988). Obtiveram-se os valores absolutos de cada fração, em dag/kg, e o percentual de cada uma em relação à soma. Foram calculadas as relações entre as frações ácidos húmicos e ácidos fúlvicos (FAH/FAF) e a relação entre as frações solúveis do extrato alcalino (FAH+FAF) e o resíduo (humina), obtendo-se o índice (EA/H). A etapa de purificação de amostras de ácido húmico selecionadas foi realizada segundo Swift (1996), exceto a etapa de desmineralização das amostras não foi realizada neste trabalho.

Foram obtidos os teores totais de C,H, N e S de algumas amostras de ácido húmico (AH) através da combustão a seco (SSIR, 1996), e curvas de termodecomposição calorimétricas foram obtidas em analisador termogravimétrico TGA-50 SHIMADZU seguindo metodologia desenvolvida por BENITES (2001); utilizando 3.3 ± 0.1 mg de amostra. O peso inicial foi estabilizado a 30°C sendo que a curva de aquecimento foi programada para incrementos de $5^{\circ}\text{C min}^{-1}$ até 105°C , com tempo de permanência de 10 min, seguido de aquecimento com incrementos de $5^{\circ}\text{C min}^{-1}$ até 650°C . A perda de peso a 105°C foi considerada decorrente da perda de umidade. Ao final da queima, o peso residual foi considerado teor de cinzas, a perda de peso entre 105 e 350°C e entre 350 e 650°C foi determinada. A razão entre a perda de peso destes dois eventos de termo-decomposição foi calculada e definida como índice termogravimétrico (TGI). Leituras de Differential Scanning Calorimetry (DSC) foram realizadas no mesmo programa de temperatura descrito para a termogravimetria em aparelho Shimadzu DSC 60 utilizando 1 ± 0.1 mg de AH. As leituras foram realizadas em cadinho aberto de alumínio com fluxo de O_2 de 20 ml min^{-1} .

3.3.2 Fracionamento de Fósforo do solo

As amostras de solo foram peneiradas em peneira de $0,0149\text{-mm}$ e submetidas a extração seqüencial das formas de P segundo metodologia descrita por HEDLEY et al. (1992), modificada por ARAÚJO et al. (1993). Esta metodologia fraciona o fósforo do solo em vários compartimentos orgânicos e inorgânicos com disponibilidade decrescente para as plantas na seguinte seqüência: Pi-resina e Pi-NaHCO_3 e Po-NaHCO_3 são consideradas as frações mais lábeis; as frações (orgânica e inorgânica) extraídas com NaOH são pouco disponíveis e incluem P associado com óxidos de Fe e Al; $\text{Pi-H}_2\text{SO}_4$ inclui apatita e outras formas recalcitrantes de P ligadas a Ca; o P residual representa a mais recalcitrante das frações e provavelmente contém formas orgânicas e

inorgânicas deste nutriente. Amostras em duplicatas foram pesadas (0,5g) e acondicionadas em tubos de centrifuga de 50ml, juntamente com 30ml de extrator, sendo submetidas a 16h de agitação. As frações foram extraídas na seguinte ordem: (1) Pi-resina, extraído com 30ml de água deionizada e resina aniônica; (2,3) Pi- NaHCO_3 e Po- NaHCO_3 , P orgânico e inorgânico extraído com bicarbonato de sódio 0,5 mol/L; (4,5) Pi- NaOH e Po- NaOH , P orgânico e inorgânico extraído com hidróxido de sódio 0,1 mol/L; (6) Pi- H_2SO_4 , P extraído com H_2SO_4 1 mol/L; (7) P residual quantificado após digestão a 360°C em $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$. Para o cálculo das frações orgânicas os extratos de NaHCO_3 e NaOH foram divididos em duas alíquotas, uma delas submetida a digestão em H_2SO_4 a 120°C por 1h. Após determinação de ambas alíquotas, a fração orgânica foi calculada pela diferença entre o P total e o Pi. Todas as determinações foram realizadas segundo MURPHY e RILEY (1962) após ajuste de pH.

3.3.3 Fracionamento de Enxofre

Para o fracionamento de S as amostras foram peneiradas em peneira de 2mm e submetidas a extração não seqüencial das frações de S segundo metodologia descrita por ALVAREZ et al. (2001). Esta metodologia caracteriza o enxofre do solo em diferentes frações orgânicas e inorgânicas com disponibilidade decrescente para as plantas na seguinte seqüência: S-ac é considerada a fração mais lábil por representar formas de S em solução e aquelas fracamente adsorvidas; S-c representa o sulfato em solução e aquele adsorvido, porém passível de retornar a solução; S-p representa o sulfato adsorvido e parte do sulfato ligado ao material orgânico, sendo considerada a que melhor expressa o S disponível para as plantas; e S-mo que representa o S ligado a cadeias carbônicas e sulfatos de ésteres.

Para determinação do S-ac 10cm³ de TFSA em triplicatas foram acondicionados em erlenmeyers de 125ml. Nestes foram adicionados 0,5g de carvão ativado lavado e

25ml de NH_4OAc 0,5 mol/l e HOAc 0,25 mol/l, sendo submetidas a 30 minutos de agitação e posterior decantação e filtração para determinação. A determinação do S-c procedeu com a adição de 5cm³ de TFSA em triplicatas em erlenmeyers de 125ml, sendo adicionado a estes 50ml de solução extratora CaCl_2 10mmol/l, sendo submetidas a 30 minutos de agitação com posterior decantação e filtração para determinação. Para a determinação do S-p 10cm³ de TFSA em triplicatas foram condicionados em erlenmeyers de 125ml, sendo adicionado a estes 0,3g de carvão ativado lavado e 25ml de $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, 500mg de P preparado em HOAc 2mol/l, em seguida as amostras foram submetidas a 45 minutos de agitação com posterior decantação e filtração para determinação. E, finalmente o S-mo foi determinado a partir de 5cm³ de solo em triplicatas de TFSA acondicionados em tubos de digestão (120ml) com 13ml de água destilada. Estes foram submetidos a banho-maria (80°C) com adição de 1ml de peróxido de hidrogênio 30cL/L (AO) a cada meia hora até completar o volume indicado para cada amostra (2,5 ml <3dag/kg M.O. e 5,0 ml >3dag/kg M.O.) permanecendo em banho por 12h sendo posteriormente transferido para erlenmeyers de 125ml com 90ml de água destilada, acondicionados em estufa a 75°C até completa secagem. A extração foi realizada com 50 ml de CaCl_2 10mmol/l com agitação de 45minutos e filtração para dosagem. Todas as dosagens foram realizadas pelo método de turbidimetria conforme CHESNIM e YIEN (1950) adaptado por ALVAREZ (2001).

3.3.4 Calculo do Estoque de C nos Solos

Os estoques de carbono dos perfis foram estimados de acordo com BATJES (1996). Devido à elevada pedregosidade das amostras, a estimativa de densidade foi realizada utilizando-se equação proposta por BOCKHEIM et al. (1998) para solos árticos sob tundra: $D_s = (1.374) * 10^{-0.26x}$ onde D_s = densidade do solo (Mg/m^3) e X = ao conteúdo de carbono orgânico (%); para solos com teores de C orgânico muito elevado

estabeleceu-se arbitrariamente o valor mínimo de $0,4\text{Mg/m}^3$. Os estoques de carbono foram corrigidos pela estimativa de pedregosidade, a qual foi determinada por peneiramento. A equação a seguir foi utilizada para o cálculo do carbono seqüestrado de cada perfil (BATJES, 1996)

$$EC = (COT) * (BD) * (E.C.) * (1 - \% \text{ pedregosidade}), \text{ onde:}$$

EC – Estoque de Carbono (Mg/m^2); COT – Carbono Orgânico Total (g/g), DS = Densidade do solo (M/m^3) and E.C. = Espessura da camada (m).

Os teores de COT para cada perfil foram calculados através da média para sua profundidade e para dois intervalos de profundidade, 0-30 cm e 0-100 cm possibilitando assim comparação com outros estudos (BATJES, 1996; BOCKHEIM et al., 1998). Nos casos em que o perfil foi mais raso que 100 cm, o COT obtido para o horizonte mais profundo foi repetido até a profundidade de 100 cm.

3.5 Fotografias aéreas não-convencionais

3.4.1 Metodologia para obtenção das fotografias aéreas

Para obtenção das fotografias aéreas foi aplicada metodologia desenvolvida por FRANCELINO, (2004), com uso de máquina fotográfica HASSELBLAD modelo 553 ELX, com objetiva Carl Zeiss de 50 mm e filme de 70 mm com ASA 160. Essa máquina foi acoplada a um suporte desenvolvido especialmente para essa finalidade. A câmera era presa na lateral interna do suporte e era acionada por um intervalômetro digital (confeccionado na UFV) que emitia sinal de disparo no intervalo desejado. O suporte foi acoplado no esqui direito do helicóptero modelo Esquilo bi-turbinado, de propriedade da Marinha Brasileira, de forma a não afetar a estrutura original da aeronave. Todo o vôo foi monitorado por meio de um laptop conectado a um aparelho receptor de GPS Garmin III Plus, utilizando o módulo de navegação em tempo real do

programa TrackMaker® de forma a controlar a velocidade, o rumo e a altitude, conforme orientações contidas no plano de vôo. Esse plano foi elaborado de forma que se obtivesse sobreposição de 60% dentro da faixa e de 40% entre as faixas, de modo a permitir estereoscopia, em escala até de 1:5000.

Depois de revelados, os negativos foram convertidos ao formato digital utilizando o scanner da Polaroid® modelo Sprint 45, com resolução de 2.500 dpi, sendo posteriormente confeccionado o mosaico semicontrolado utilizando os softwares Visual Stitcher®, Photoshop® 7 e Arcinfo®. Posteriormente, o mosaico foi georreferenciado em ambiente Arcgis® através de pontos de controles levantados em campo utilizado um par de receptores DGPS da marca Promark II®, que utiliza a portadora L1 para os cálculos de posicionamento e possui correção diferencial pós-processada. O produto final representou a base para constituição das cartas das unidades geoambientais.

A fotoanálise foi realizada utilizando a técnica de examinar o objeto através da separação e distinção de suas partes componentes, representando um estudo completo e sistemático da imagem utilizando estereoscópio. Foram analisados todos os elementos que se referem às condições do geoambientais. O objetivo principal foi identificar estereoscopicamente as várias unidades do terreno e delinear todas as áreas homogêneas que indicassem diferenças nas condições da superfície do solo. Cada área foi metodicamente analisada e comparada às outras; as áreas similares receberam símbolos iguais, conforme descrito em CARVER (1988). Os limites foram delineados sobre papel acetato e posteriormente vetorizados, utilizando mesa digitalizadora e o software ArcInfo®. Com a intenção de diminuir os efeitos das distorções simétrica e descentrada, foram fotoanalisados somente a parte central de cada fotografia.

3.4.2. Elaboração dos dados para o Sistema de Informações Geográficas

No processo de vetorização foi utilizado o software ArcInfo®, porém a edição foi realizada no software Arcview®, e todos os arquivos finais são apresentados no formato shapefile. Foram confeccionados cinco mapas vetoriais.

Foi adotado o sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) e o datum WGS84. As toponímias das feições foram baseadas na carta polonesa da Baía do Almirantado (1:50.000) (POLSKIEJ AKADEMII NAUK, 1990) e do Composite Gazetteer of Antarctica (WGGGI, 2002). Os nomes das localidades geográficas seguiram proposta de SIEVERS & THOMSON (1998), dando prioridade ao primeiro nome registrado. Todos os mapas (tabela-3) temáticos gerados estão na escala de 1:5.000 e irão alimentar a base de dados do SIG da AAEG da Baía do Almirantado, bem como o Projeto KGIS.

Tabela 3 – Formatos dos mapas gerados da Ponta Llano

Mapas Temáticos	Matricial	Vetorial
Solos		x
Geomorfologia		x
Vegetação		x
Modelo digital de elevação	x	

3.4.3. Modelo digital de elevação

Para elaborar o modelo digital de elevação (MDE), foram coletados mais de dois mil pontos cinemáticos com DGPS da marca Promark II® apresentando erro médio de $\pm 0,3$ m, além uma dezena de pontos estáticos. A base foi instalada no acampamento da expedição, localizado a 3km de distância, transportado do marco geodésico localizado próximo estação polonesa Henry Arctowski. Esses pontos, com coordenadas X, Y e Z, foram pós-processados no software Ashtech Solutions® 2.6, sendo os dados gerados convertidos ao formato shapefile. No software ArcInfo®, através da sua extensão

Topofrid®, foi gerado o arquivo Raster, associando os pontos coletados com as curvas de níveis elaboradas pelos pesquisadores ingleses em 1951 (LAPAG, 2003) e ajustadas pelo mosaico, o que permitiu produzir o MDE e o mapa de declividade. A sobreposição do mosaico ao Raster gerou-se uma imagem em 3D da área, o que auxiliou nas interpretações geomorfológicas.

4. Resultados e Discussão

4.1 Fotografias Aéreas

Durante a XXI Operação Antártica Brasileira o Projeto Criossolos realizou extenso levantamento aéreo em baixa altitude, com escala final de 1:2.500 (figura-6) (FRANCELINO, 2004). Com resolução geométrica de 0,50 m (quando rasterizada), foi possível gerar vários mapas temáticos, os quais foram suficientes para discriminar em detalhe as áreas com cobertura vegetal, da rede de drenagem, da geomorfologia e dos solos.

Considerando a confiabilidade do contexto geográfico fornecido pelas fotografias aéreas e realizando novas tomadas em épocas diferentes e repetindo os mesmos procedimentos de interpretação, será possível detectar a expansão ou contração das unidades ambientais ora mapeadas e o aumento ou diminuição dos distúrbios físicos, quantificando, assim, as alterações temporais na paisagem da Ponta Llano.

Outro ponto importante no desenvolvimento dos mapas temáticos foi a implementação de uma classificação sistemática das imagens analisadas, estabelecendo padrões texturais precisos nas fotografias que foram confirmados através de verificações no campo durante a XXII OPERANTAR.

Os indicadores de impactos previamente descritos tais como

contaminantes e outros parâmetros básicos do solo, tais como textura e teor de carbono, podem ser quantificados através da coleta e análise de amostras. A área em estudo pode ser visualizada no mosaico abaixo totalizando 180ha; apesar da fotoanálise ter compreendido toda a extensão, os mapas temáticos se concentram na área de maior complexidade e riqueza.

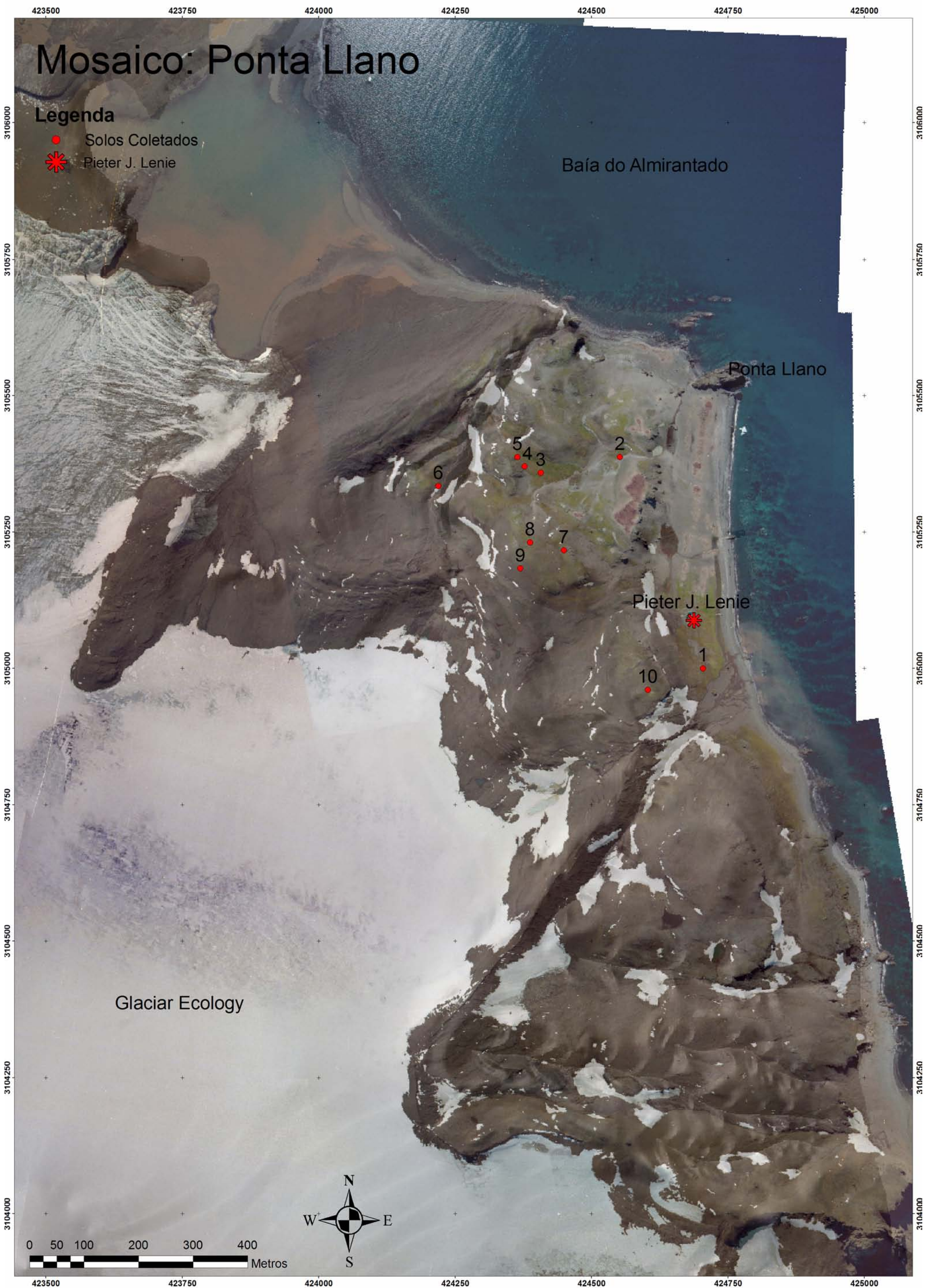


Figura-6: Mosaico Aerofotogramétrico dos arredores da Ponta Llano

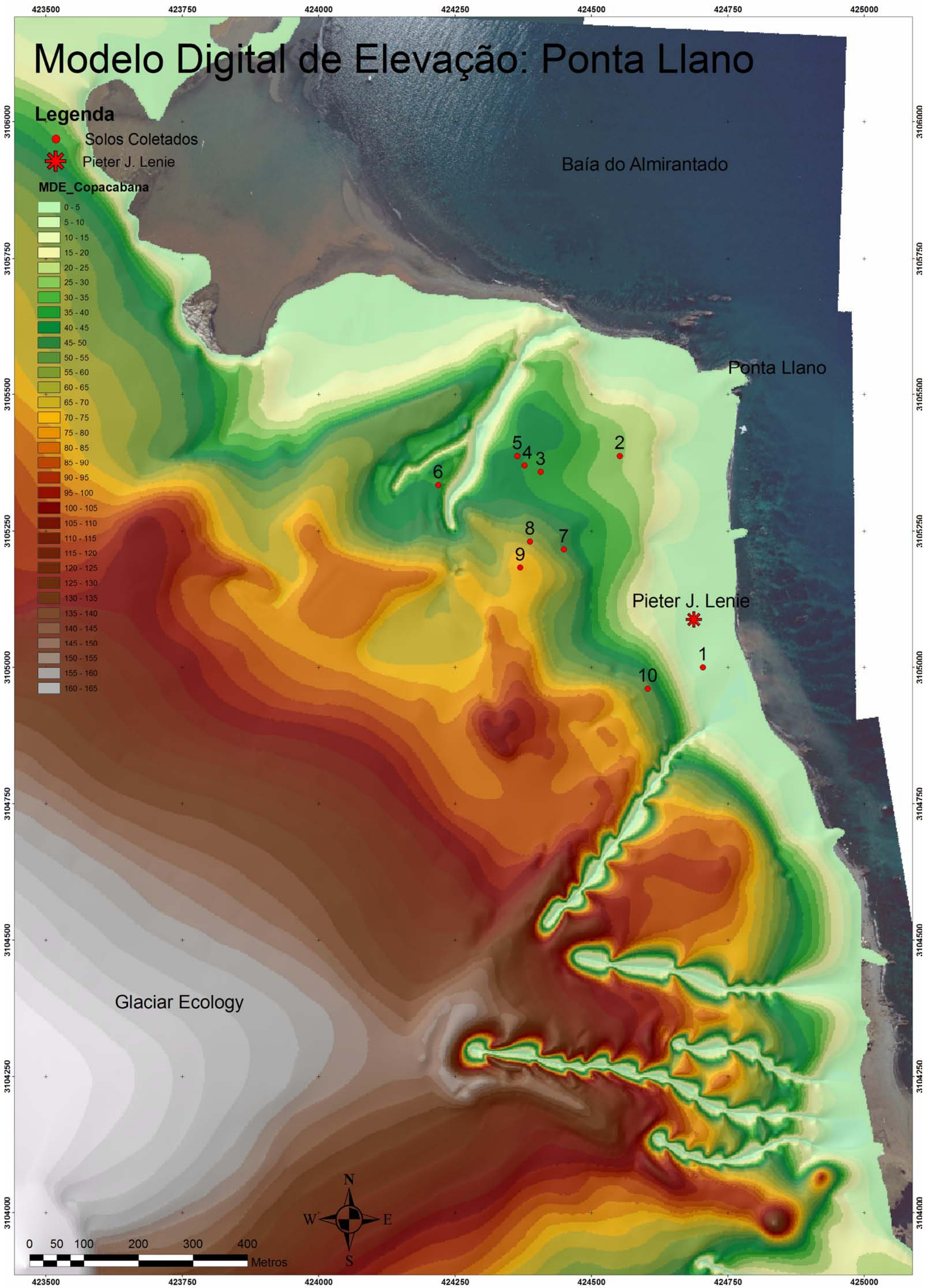


Figura-7: Modelo Digital e Elevação dos srredores da Ponta Llano

4.2 Características Físicas

O intemperismo físico é dominante em ambientes periglaciais, onde o frio intenso e ciclos de congelamento desintegram de forma quase total o substrato de origem vulcânica. O resultado são solos de textura grosseira, com elevada pedregosidade, predominância de minerais primários na fração areia e argilas de elevada atividade, além de interestratificadas.

De forma geral os solos possuem textura franca a franco-arenosa, contendo teores de silte até 540 g/kg, e conteúdos de argila variando entre 100-200 g/kg (tabela-4). Estes resultados são também influenciados pela baixa capacidade de dispersão em água da argila em Criosolos, em razão da alta floculação e salinidade. A granulometria é relativamente uniforme dentro dos perfis devido ao intenso processo de crioturbação evidente na maioria dos solos; é exceção apenas P 1 com forte influência de material alóctone. Todos os perfis apresentaram elevada pedregosidade, superior a 40% em muitos casos; apenas aqueles influenciados por colúvios apresentaram valores menores, em torno de 20%.

Vale salientar que ao contrário dos solos desenvolvidos no continente Antártico, o intemperismo químico é notável nos perfis coletados na Antártica Marítima. Os teores de argila mais altos constatados em algumas amostras indicam influência pedogenética elevada da água, presente em estado líquido por aproximadamente quatro meses por ano. Os teores mais baixos de argila encontrados em muitos perfis ornitogênicos indicam possível destruição de minerais de argila amorfos causada pelo pH baixo característico destas amostras.

Tabela-4: Teores de Areia Grossa, Areia Fina, Silte e Argila, e classificação granulométrica das amostras de diferentes perfis amostrados

Horiz.	AG	AF	SIL	ARG	Classe granulométrica
g/kg					
Copa 1- Criossolo Ornitogênico Gleico					
10-20	450	140	300	110	Franco Arenosa
20-30	430	150	310	110	Franco Arenosa
30-40	260	120	350	270	Franco Arenosa
40-50	540	60	200	200	Franco Arenosa
Copa 2- Criossolo Ornitogênico Gleico					
10-20	720	30	140	110	Franco Arenosa
20-30	630	90	190	90	Franco Arenosa
30-40	680	80	140	100	Franco Arenosa
40-50	720	40	150	90	Franco Arenosa
Copa 3- Criossolo Ornitogênico Hístico					
0-10	410	120	270	200	Franco Arenosa
10-20	460	110	270	160	Franco Arenosa
20-30	530	110	240	120	Franco Arenosa
30-40	410	110	310	170	Franco
40-50	390	120	340	150	Franco
Copa 4- Criossolo Ornitogênico Túrbico					
0-10	590	110	210	90	Franco Arenosa
10-20	510	140	260	90	Franco Arenosa
20-30	490	180	240	90	Franco Arenosa
30-40	560	80	260	100	Franco Arenosa
40-50	480	150	240	130	Franco Arenosa
50-60	530	100	240	130	Franco Arenosa
Copa 5- Criossolo Ornitogênico Lítico					
0-10	760	80	80	80	Areia Franca
10-20	630	170	130	70	Areia Franca
20-30	570	190	170	70	Franco Arenosa
30-40	620	150	150	80	Franco Arenosa
40-50	600	150	150	100	Franco Arenosa
Copa 6- Criossolo Ornitogênico Hístico					
0-10	460	200	220	120	Franco Arenosa
10-30	520	210	170	100	Franco Arenosa
30-55	520	210	200	70	Franco Arenosa
55-80	470	190	260	80	Franco Arenosa
80-100	390	180	320	110	Franco Arenosa
100-120	350	130	350	170	Franco
Copa 7- Criossolo Ornitogênico Túrbico					
0-15	450	220	250	80	Franco Arenosa
15-50	400	180	330	90	Franco Arenosa
50-70	480	180	240	100	Franco Arenosa
70-80	660	140	130	70	Areia Franca
80-120	740	90	100	70	Areia Franca
Copa 8- Criossolo Ornitogênico Hístico					
10-20	680	130	120	70	Areia Franca
20-30	620	170	80	130	Franco Arenosa
30-40	550	180	180	90	Franco Arenosa
40-50	560	160	200	80	Franco Arenosa
50-60	610	150	140	100	Franco Arenosa
Copa 9- Criossolo Léptico					
0-10	360	60	380	200	Franco
10-20	300	90	350	260	Franco
20-30	320	100	340	240	Franco
30-40	310	100	350	240	Franco
40-50	370	80	330	220	Franco
50-60	320	80	390	210	Franco
Copa 10- Criossolo Lítico					
0-10	660	130	120	90	Franco Arenosa

AG: Areia Grossa; AF: Areia Fina; SIL: Silte; ARG: Argila

4.3 Mineralogia

Para a caracterização da mineralogia foram selecionados dois perfis representativos, dos quais foram utilizadas amostras de argila retiradas de alguns horizontes. Realizou-se uma descrição sucinta dos principais minerais envolvidos.

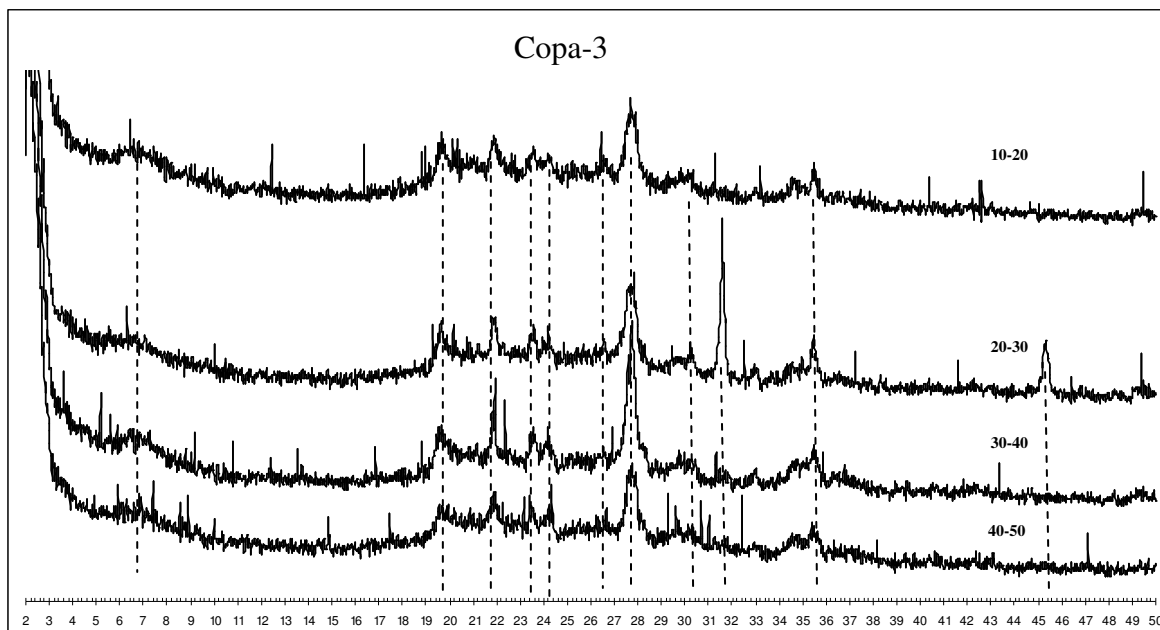


Figura-8: Difratoograma de Raio-X das amostras dos horizontes 10-20 até 40-50 do perfil-3

Foi observada a presença de minerais 2:1 e 2:2; interestratificados 15,3 (Å); não expandem quando solvatada rapidamente com glicerol, indicando a presença de Al entre camadas; colapsa pra 13 Å após saturação com K. Os picos são mal definidos e pouco intensos, indicando desordem estrutural (figura-8). Traços de clorita foram evidenciados pelo espaçamento de 7,2 Å, indicando que este mineral possa ser herdado dos basaltos aluminosos submetidos a hidrotermalismo, comum nas rochas da Ilha Rei George. Os picos de 2ª ordem 4,5 Å são comuns a estes minerais (BARNHISEL & BERTSCH, 1984), mas a presença de picos em 4,41 e 4,04 Å indica a ocorrência de Pirofilita, mineral típico de regiões vulcânicas andinas.

Pico em 3,34 Å e 3,21 Å correspondem a quartzo e plagioclásios, respectivamente (figura-9). Apatita só foi detectada pelo pico de 2,8 Å na profundidade de 20-30.

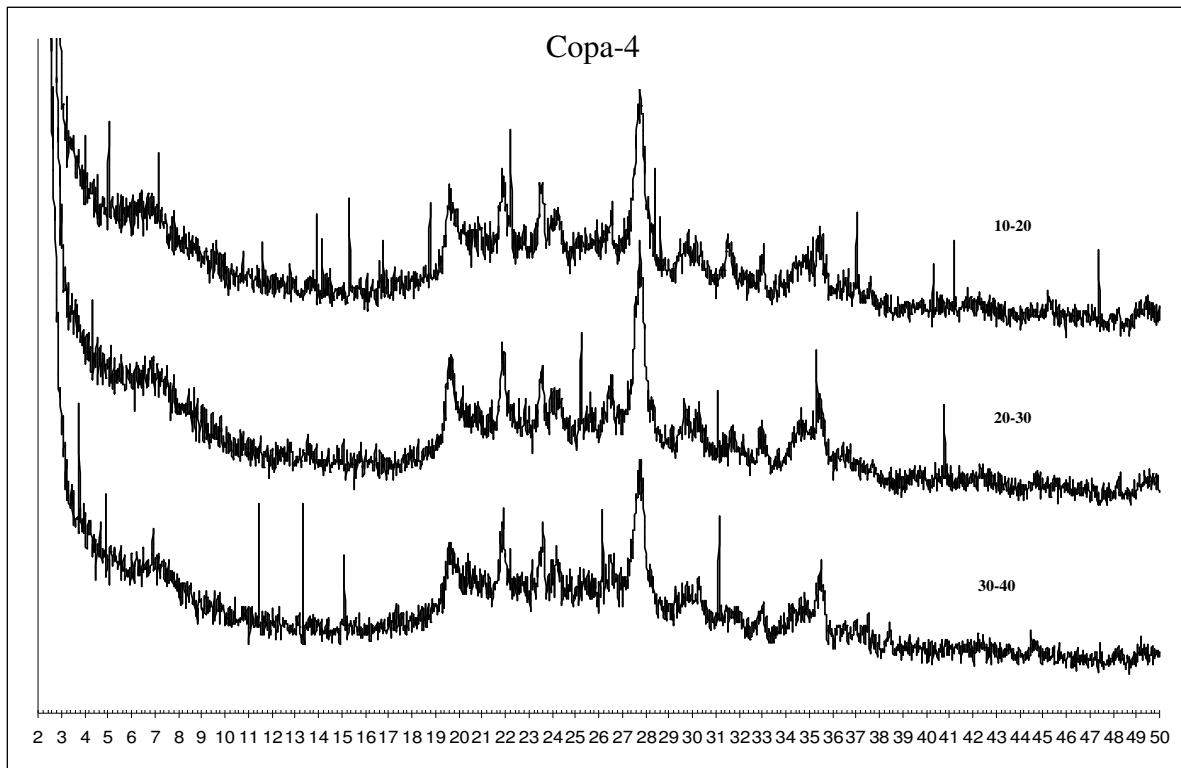


Figura-9: Difratoograma de Raio-X das amostras dos horizontes 10-20 até 30-40 do perfil-4

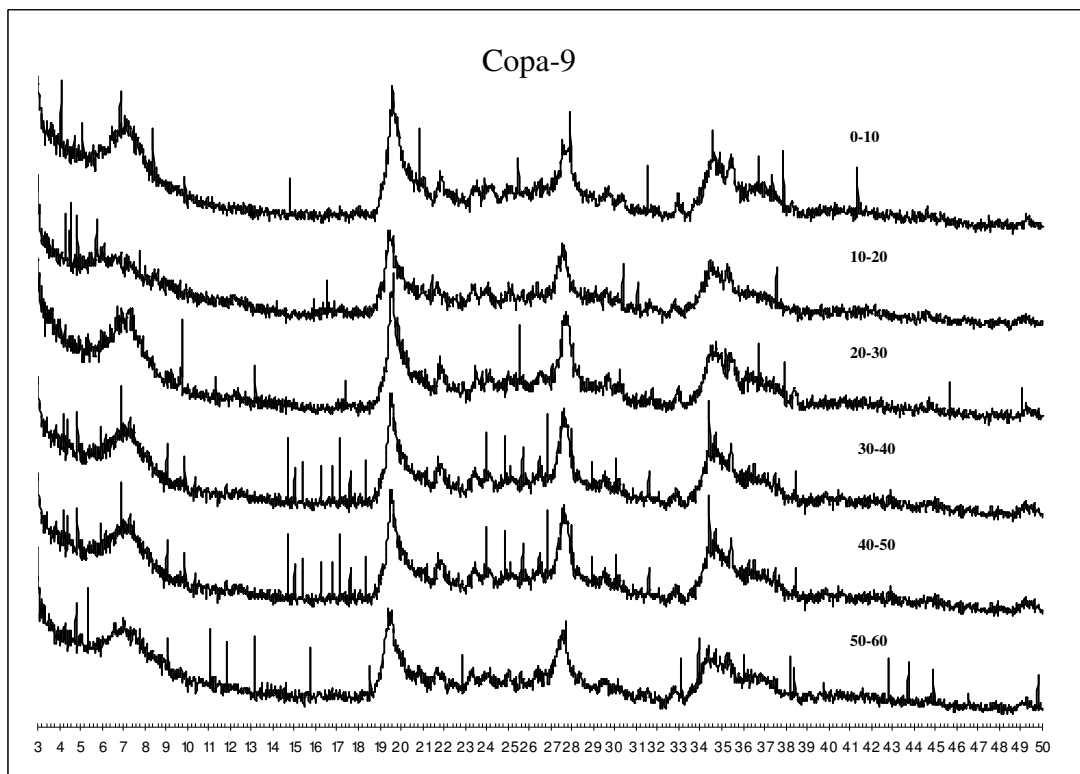


Figura-10: Difratoograma de Raio-X do perfil Copa 9

Em ambos perfis não foram detectados fosfatos secundários como os que ocorrem em outras áreas sujeitas a ornitogênese na Baía do Almirantado, previamente analisadas e reportadas pela literatura (SIMAS *et al.*, 2005), fato que pode ser explicado pelo menor tempo de colonização da área e o subsequente desenvolvimento da vegetação, ocasionando a formação de produtos amorfos de difícil detecção no DRX, poderiam ter dissolvido os fosfatos mais cristalinos.

A presença de feldspatos na fração argila indica um estágio incipiente de intemperismo, com predomínio da ação do intemperismo físico (figura-10). Contudo, observa-se que a geração de acidez pela mineralização do guano, nitrificação e o estabelecimento da vegetação, possivelmente levou a oxidação de sulfetos nas áreas ornitogênicas, culminando com a destabilização do mineral clorítico interestratificado original indicando processos de intemperismo químico.

4.4 Geomorfologia

Para a realização do mapeamento geomorfológico foram utilizadas as fotografias aéreas obtidas em janeiro de 2003, durante a XXI OPERANTAR (figura-11). A área em estudo representa uma das mais antigas áreas de degelo na Baía do Almirantado. Em sua maioria é composta por antigas morainas estabilizadas e com formas suavizadas pelo tempo. O relevo apresenta-se predominantemente ondulado, com a classe de 8-20% de declividade (figura-12) presente em 47% da área em estudo. Dominando fortemente a paisagem, as fases montanhosa e escarpada representam 36% da área. Áreas aplainadas contribuem 15% de toda a área e evidenciam antigos terraços marinhos, sendo preferencialmente colonizadas pelos pingüins.

Cada área livre de gelo da Baía do Almirantado apresenta um padrão próprio de geoformas (FRANCELINO, 2004). Na região da Ponta Llano a paisagem é marcada pela presença de um extenso terraço marinho atual e dois níveis de antigos terraços elevados, cercados de escarpas íngremes ou morainas suavizadas (tabela-5). A Ponta Llano, como as demais áreas livres de gelo da Baía do Almirantado, foi, em parte, modelada anteriormente a ação glacial. O relevo da área em estudo, após o início do último recuo do gelo, tem sido exposto e modificado pelos processos de intemperismo e morfogênese periglaciais, ainda hoje ativos em extensas áreas sujeitas a solifluxão. Devido a combinação da exposição do substrato de rochas vulcânicas, elevada umidade disponível, temperaturas muito baixas e topografia montanhosa a manifestação do intemperismo físico e processos de solifluxão são destacados (figura-13).

A parte norte expõe uma paisagem mais estável, de exposição mais antiga, sendo evidenciado pela presença de solos profundos e morainas de formas suavizadas e arredondadas. Por outro lado, em toda a parte oeste, zona de contato do degelo, encontra-se uma paisagem mais dinâmica, onde existem extensas áreas de sujeitas a solifluxão, que geram grandes quantidades de

sedimentos depositados nas planícies fluvioglaciais. A parte central da área expõe cristas rochosas que separam os terraços marinhos atuais dos terraços soerguidos. A praia é formada de seixos e alguma areia grossa, oriundos da fragmentação de rochas vulcânicas sob erosão marinha. Os fragmentos das morainas são semi-angulosos nas mais antigas e angulosos nas morainas expostas recentemente. Áreas descontínuas de Felsemeer ocorrem nas partes mais elevadas com intensa colonização de líquens. Atrás da estação “Copacabana” uma grande escarpa gerou um tálus derivado do afloramento rochoso a montante.

Tabela-5: Contribuição relativa das diferentes geoformas da Ponta Llano, Ilha Rei George

Geoforma	Área (m ²)	Contribuição Relativa (%)
Afloramento Rochoso	4208,83	0,22
Crista Rochosa	7599,16	0,40
Felsenmeer	28306,08	1,51
Geleira	629640,47	33,52
Lago	6699,37	0,36
Lingua Glacial	143617,88	7,65
Moraina	48868,05	2,60
Moraina Frontal	127174,71	6,77
Moraina Lateral	209327,76	11,14
Neveiro	40836,70	2,17
Planície Fluvioglacial	39999,72	2,13
Platô	11226,51	0,60
Praia	37755,59	2,01
Scree Slope	369118,18	19,65
Talus	8374,40	0,45
Terraço Marinho 1ºNível	85598,84	4,56
Terraço Marinho 2ºNível	23930,01	1,27
Terraço Marinho 3ºNível	56169,53	2,99
Total geral	1878451,79	100,00

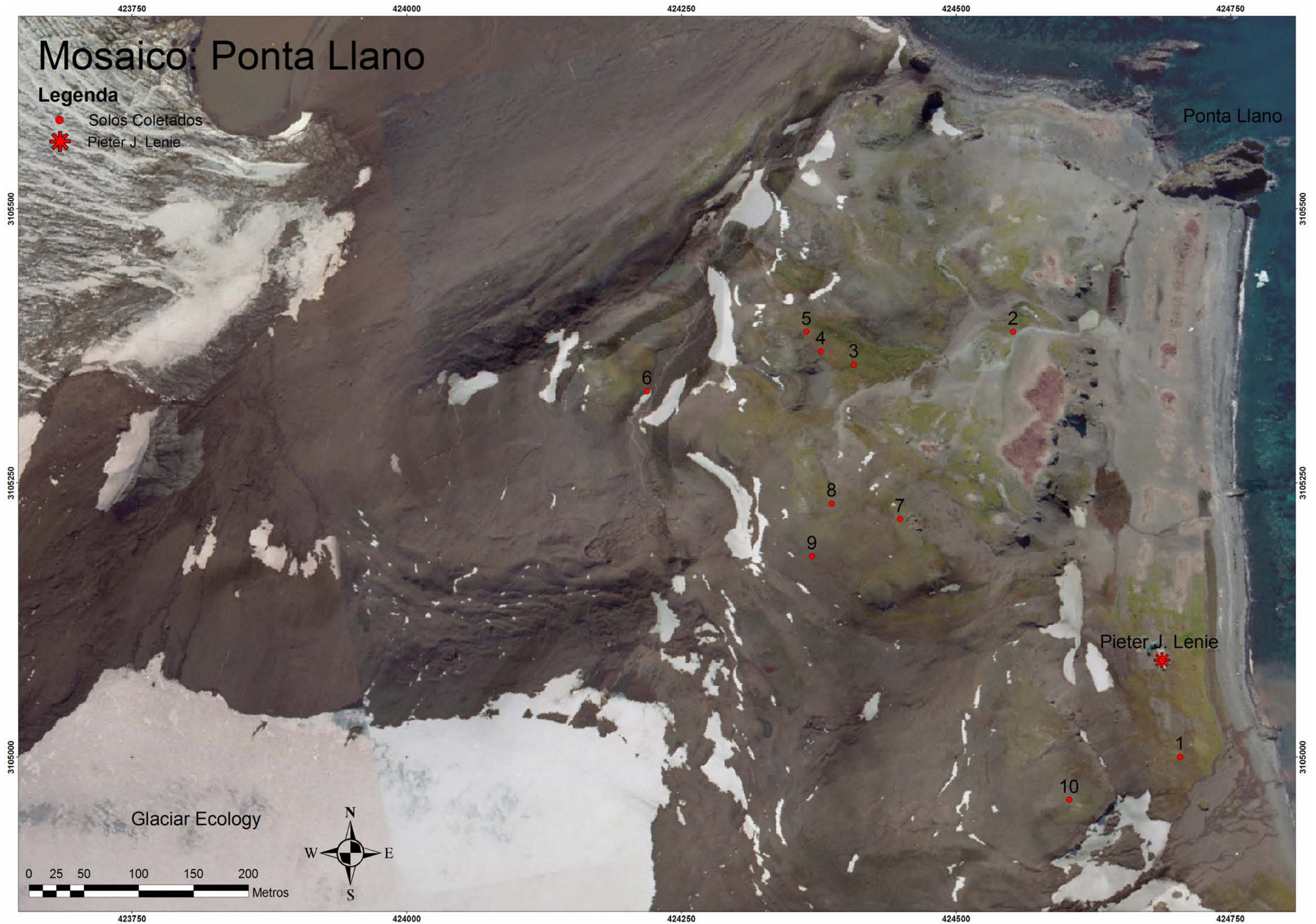


Figura-11: Mosaico aerofotogramétrico da Ponta Llano

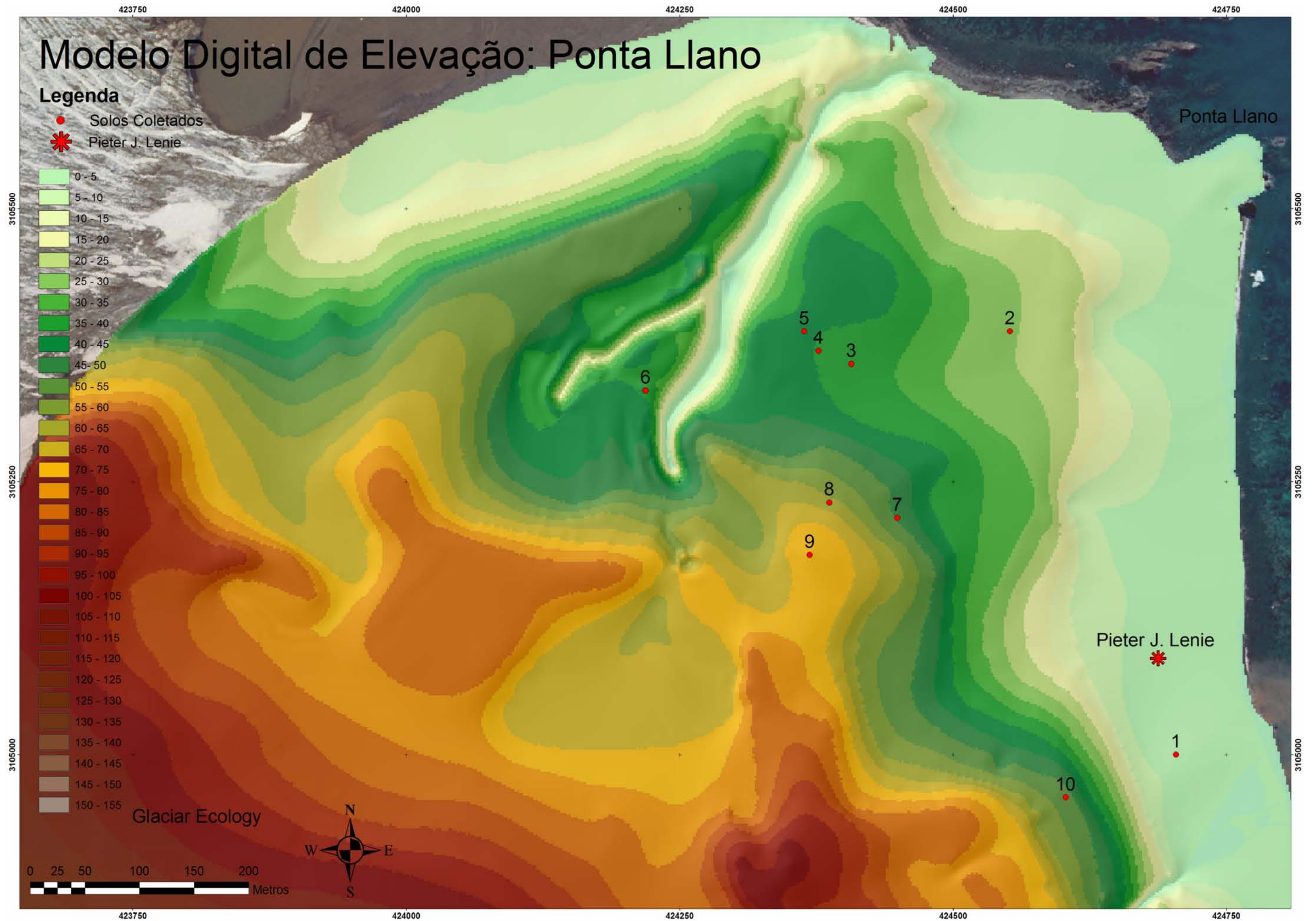


Figura-12: Modelo Digital de Elevação da Ponta Llano

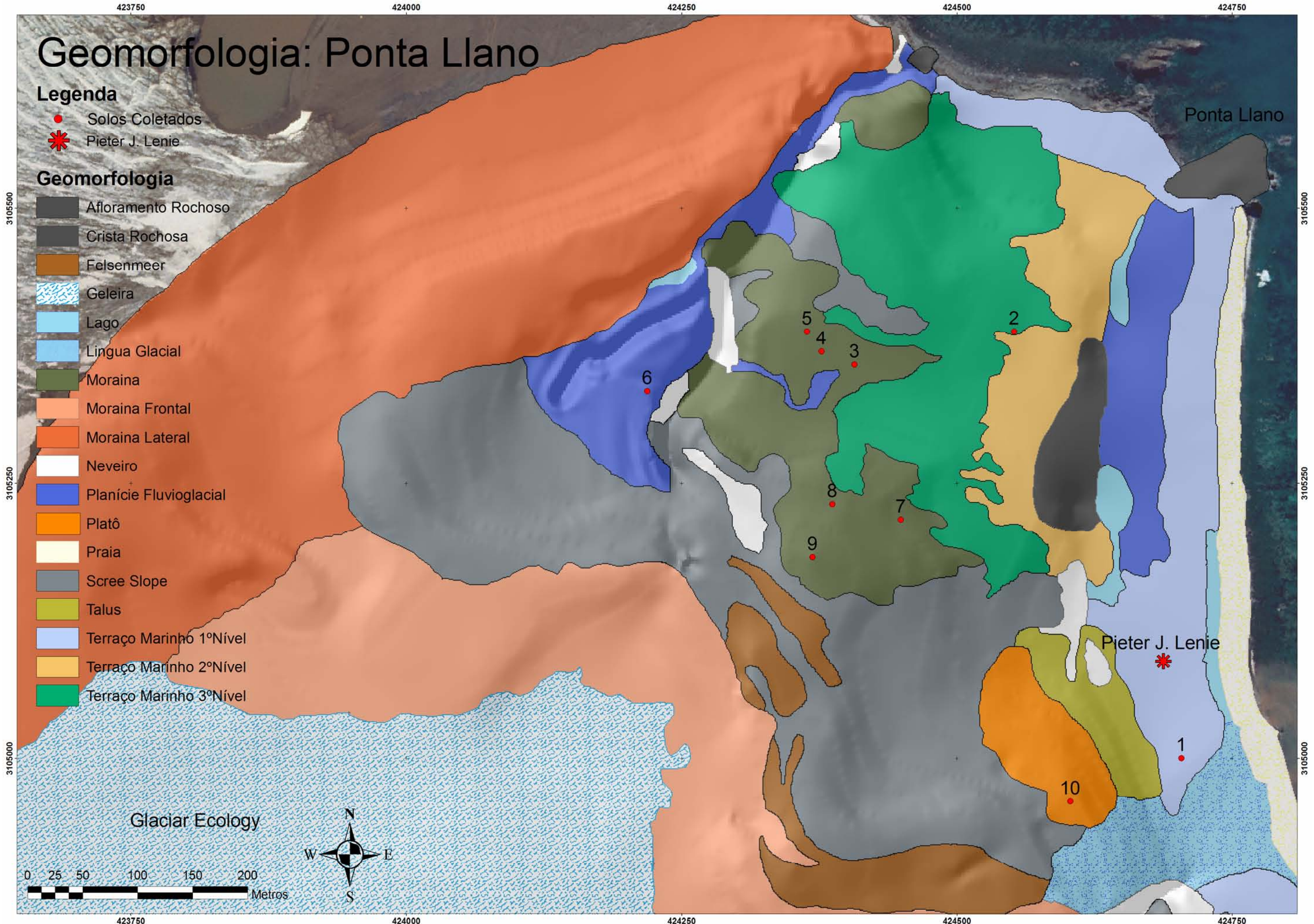


Figura-13: Feições Geomorfológicas da área em estudo

4.5 Descrição e Classificação dos Solos Estudados

4.2.1 Caracterização dos Perfis Coletados

O perfil 1 (P1) (figura-14) está localizado no terraço marinho a aproximadamente 5m acima do nível do mar, se apresenta pouco desenvolvido, com 30 cm de profundidade. É influenciado por material alóctone proveniente de colônias de pingüins de Adélia a montante, sofrendo também influencia direta da intensa nidificação nas proximidades. Apresenta, hidromorfismo com material acinzentado (gleisado) em função da grande área de degelo a montante, sendo colonizado por líquens e briófitas. Apresenta horizonte A delgado seguido por C gleisado expesso e uniforme, possui estrutura moderada, média granular característica de criossolos.

O perfil 2 (P2) (figura-15) foi coletado próximo a um canal de degelo que corta um terraço marinho soerguido, e apresenta horizonte H espesso sobre horizonte mineral grosseiro, com transição abrupta. Não é diretamente influenciado por excrementos de pássaros sofrendo, porém influência direta de material alóctone de colônias a montante e excrementos ocasionais pelo transito freqüentes de pingüins. Situa-se a 27m acima do nível do mar.

O Perfil 3 (P3) (figura-16) está localizado em uma moraina estável, sendo constantemente saturado pela água de degelo a montante. Apresenta-se em um antigo sítio de nidificação, atualmente abandonado, sendo profundo e bem desenvolvido; possui horizonte orgânico maior que 20cm e feições morfológicas de translocação de material orgânico em profundidade.

O perfil 4 (P4) é caracterizado superficialmente por material alóctone grosseiro pedregoso, com clara influência ornitogênica, com transição ondulada em profundidade para horizonte com coloração vermelho-amarronzada, indicando influência de material

iluviado, de origem ornitogênica (figura-17), distinta do perfil 3; a presença de pequenas pedras arredondadas em superfície sugere ser este um sítio de colonização pretérita por pingüins. O solo apresenta-se bem drenado, localizado próximo a áreas de nidificação por Petrel Gigante, sendo colonizado por uma cobertura mista de briófitas e gramínea.

O perfil 5 (P5) foi coletado ao lado de colônia de Petréis Gigantes; possui permafrost a 60 cm de profundidade, com horizonte turfoso enterrado; apresenta-se epipedregoso, sobre depósito de moraina (figura-18).

O perfil 6 (P6) possui horizonte hístico, fosfático; representa o solo mais profundo descrito em toda a Baía do Almirantado. Possui cobertura vegetal mista e espessa de *Deschampsia*, briófitas e líquens diversos; localiza-se em moraina antiga ao lado da moraina lateral do Glaciar Ecology; representa provavelmente a primeira área a ser colonizada por pingüins Adélia após o recuo glacial, sendo portanto dos mais antigos níveis de fosfatização na Baía do Almirantado; mostra material orgânico fíbrico, com briófitas, com parte sáprico até 55 cm.; mostra bolsões descontínuos de material humificado oriundos de crioturbação; é o perfil mais intemperizado e diferenciado descrito pelo projeto Criosolos na Baía do Almirantado; a moraina foi seccionada por degelo glacial em ambos lados, isolando o atual relevo (figura-19).

O perfil 7 (P7) se apresenta fosfatizado, em posição imediatamente abaixo de ninhal de Petrel Gigante; encontra-se em posição mais desprotegida e aberta que P6, com idade possivelmente semelhante; ambiente de maior camada ativa, com menor umidade de degelo. Apresenta pouca produção e preservação do material orgânico, impedindo a formação de horizonte hístico (figura-20).

O Perfil 8 (P8) foi descrito em terço inferior de moraina, em posição de depósito de tálus, protegida e estável (figura-21). Possui densa e contínua cobertura de *Deschampsia* e Briófitas; mostra raros afloramentos de rocha no local. Em cota superior,

há petréis gigantes, influenciando na fosfatização atual. Representa possivelmente antigo nível de pingüineiras (*P. adélia*), em função do elevado grau de pedogênese.

O Perfil 9 (P9) está localizado no nível superior de uma moraina lateral, sendo virtualmente livre de fertilização direta por excrementos de pingüins (figura-22). É um solo relativamente profundo, coberto por uma vegetação esparsa de *Usnea sp.*, e ocasionais Briófitas e tufo de *Deschampsia antarctica*. Mostra estrutura forte, de tamanho médio, granular, que parece estar relacionada com a flocculação de partículas finas, esta organização das partículas do solo é típica de criossolos das partes mais elevadas e salinas e pode ser resultante tanto da salinidade quanto dos ciclos de congelamento, com rápida dessecação do agregado (Schaefer et. al., 2004).

O perfil 10 foi coletado elevação atrás da estação Copacabana; a área é muito exposta aos ventos, com cobertura de *Usnea* praticamente pura com raras *Deschampsia* e briófitas. Está localizado na moraina lateral do Glaciar Baranowski (figura-23).

4.2.1 Descrição Morfológica

Perfil-1



Figura-14: Perfil Copa-1, Criosolo Ornitogênico Gleico

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL Nº - 01 data-20/01/2004

CLASSIFICAÇÃO Base de Referência Mundial- CRIOSOLO ORNITOGÊNICO GLEICO*, textura Franco Arenosa, A moderado, fase Cobertura Mista Tapetes de Musgos e Gramínea, Suave ondulado.

CLASSIFICAÇÃO Soil Taxonomy- Lithic Aquiturbels**.

UNIDADE DE MAPEAMENTO - CRog.

LOCALIZAÇÃO - localizado no terraço marinho a aproximadamente 5m acima do nível do mar - Ponta Llnao, Baía do Almirantado, Ilha Rei George. UTM 22S SAD 1969 Lat 424706 e Long 3104999.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - terraço marinho de 1º nível, com cerca de 8% de declive e sob cobertura mista de musgos e gramínea.

ALTITUDE - 5 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA - rochas vulcânicas intemperizadas, em sua maioria basaltos andesíticos e materiais transportados pelo Glaciar Ecology. Bloco Warszawa, Supergrupo Ilha Rei George. Paleoceno (77Ma) até Oligoceno (37Ma).

MATERIAL ORIGINÁRIO - produto de meteorização dos basaltos andesíticos, afetados por retrabalhamento do Glaciar Ecology.

* Classificação feita de acordo com o a Base de Referência Mundial para Recursos do Solo até o 3º nível categórico.

** Classificação feita de acordo com Soil Taxonomy até o 2º nível categórico.

PEDREGOSIDADE – moderadamente Pedregosa.

ROCHOSIDADE - não rochosa.

RELEVO LOCAL – suave ondulado.

RELEVO REGIONAL - ondulado e forte ondulado.

EROSÃO – não aparente.

DRENAGEM – mal drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Cobertura Mista Tapetes de Musgos e Graminea.

USO ATUAL – Área de Especial Interesse Científico.

DESCRITO E COLETADO POR – Carlos Ernesto G. R. Schaefer, Felipe Nogueira Bello Simas, Roberto Ferreira Machado Michel e Ulisses Bremer.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0 - 10cm, Bruno-avermelhado (5YR4/3, úmido); franco-arenosa; moderada anular; ligeiramente dura, firme, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

Bg 10 - 20cm, Bruno (7,5YR5/2, úmido); franco-arenosa; moderada média granular; ligeiramente dura, firme, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

Cg 20 - 40cm, Bruno (7,5YR5/2, úmido) e Cinzento-avermelhado-escuro (5YR4/2); franco-arenosa; moderada média granular; ligeiramente dura, firme, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

Raízes: Talos abundantes no A e Bg, raízes poucas no A e Bg.

Observações:

- Per. I descrito e coletado em trincheira de 40cm de profundidade.
- Presença de mata cões arredondados utilizados pela fauna para nidificação no Bg e Cg, ocupando, aproximadamente, 12% do horizonte, com diâmetro variando de 2 a 7cm.
- Intensa atividade de pássaros nas proximidades do perfil.

* Classificação feita de acordo com o a Base de Referência Mundial para Recursos do Solo até o 3º nível categórico.

** Classificação feita de acordo com Soil Taxonomy até o 2º nível categórico.

Perfil-2



Figura-15: Perfil Copa-2, Criosolo Ornitogênico Gleico

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL N° - 02 data-18/12/2002

CLASSIFICAÇÃO Base de Referência Mundial-CRIOSOLO ORNITOGÊNICO GLEICO*, textura Franco Arenosa, A hístico, fase Cobertura Mista Tapetes de Musgos e Gramínea, ondulado.

CLASSIFICAÇÃO Soil Taxonomy- Lithic Aquiturbels**.

UNIDADE DE MAPEAMENTO - CRog.

LOCALIZAÇÃO - localizado próximo a um canal de degelo que corta um terraço marinho soerguido a 26m acima do nível do mar - Ponta Llnao, Baía do Almirantado, Ilha Rei George. UTM 22S SAD 1969 Lat 424549 e Long 3105391.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - terraço marinho de 2º nível, com cerca de 18% de declive e sob cobertura mista de musgos e gramínea.

ALTITUDE - 26 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA - rochas vulcânicas intemperizadas, em sua maioria basaltos andesíticos e materiais transportados pelo Glaciar Ecology. Bloco Warszawa, Supergrupo Ilha Rei George. Paleoceno (77Ma) até Oligoceno (37Ma).

MATERIAL ORIGINÁRIO - produto de meteorização dos basaltos andesíticos, afetados por retrabalhamento do Glaciar Ecology.

PEDREGOSIDADE – moderadamente Pedregosa.

* Classificação feita de acordo com o a Base de Referência Mundial para Recursos do Solo até o 3º nível categórico.

** Classificação feita de acordo com Soil Taxonomy até o 2º nível categórico.

ROCHOSIDADE - não rochosa.

RELEVO LOCAL – ondulado.

RELEVO REGIONAL - ondulado e forte ondulado.

EROSÃO – não aparente.

DRENAGEM – imperfeitamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Cobertura Mista Tapetes de Musgos e Gramíneas.

USO ATUAL – Área de Especial Interesse Científico.

DESCRITO E COLETADO POR – Carlos Ernesto G. R. Schaefer, Felipe Nogueira Bello Simas, Manuel R. de Albuquerque Filho.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ho 0 - 10cm, transição plana e abrupta.

A 10 - 20cm, Bruno-escuro (10YR3/3, úmido); franco-arenosa; fraca média granular; ligeiramente dura, firme, ligeiramente plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

Bg 20 - 30cm, Cinzento muito escuro (10YR3/1, úmido); franco-arenosa; fraca média granular; ligeiramente dura, firme, ligeiramente plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

Cg 30 - 50cm, Cinzento muito escuro (10YR3/1, úmido); franco-arenosa; fraca média granular; ligeiramente dura, firme, ligeiramente plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

Raízes: Talos abundantes no H e poucos no A e Bg.

Observações:

- Per. I descrito e coletado em trincheira de 50cm de profundidade.
- Presença de mata cões no Bg e Cg, ocupando, aproximadamente, 15% do horizonte, com diâmetro variando de 5 a 10cm.
- Intensa atividade de pássaros nas proximidades do perfil.

* Classificação feita de acordo com o a Base de Referência Mundial para Recursos do Solo até o 3º nível categórico.

** Classificação feita de acordo com Soil Taxonomy até o 2º nível categórico.

Perfil-3

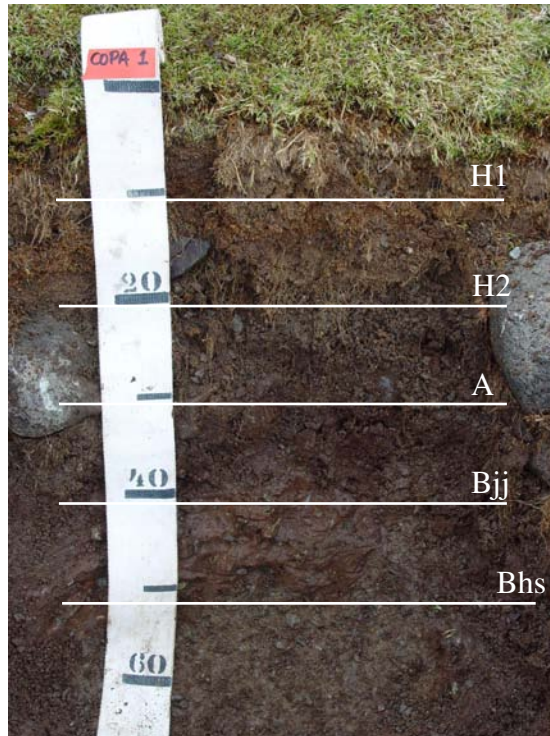


Figura-16: Perfil Copa-3, Criosolo Ornitogênico Hístico

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL N° - 03 data- 18/12/2002

CLASSIFICAÇÃO Base de Referência Mundial- CRIOSSOLO ORNITOGÊNICO HÍSTICO*, textura Franco Arenosa/Franca, A hístico, fase Algas Talosas + Montículos de Musgo, ondulado.

CLASSIFICAÇÃO Soil Taxonomy- Lithic Fibristels **.

UNIDADE DE MAPEAMENTO - CRohi.

LOCALIZAÇÃO - localizado em uma moraina estável a 38m acima do nível do mar - Ponta Llnao, Baía do Almirantado, Ilha Rei George. UTM 22S SAD 1969 Lat 424407 e Long 3105358.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – moraina estável suavizada, com cerca de 9% de declive e sob cobertura de musgos.

ALTITUDE - 38 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA - rochas vulcânicas intemperizadas, em sua maioria basaltos andesíticos e materiais transportados pelo Glaciar Ecology. Bloco Warszawa, Supergrupo Ilha Rei George. Paleoceno (77Ma) até Oligoceno (37Ma).

MATERIAL ORIGINÁRIO - produto de meteorização dos basaltos andesíticos, afetados por retrabalhamento do Glaciar Ecology.

* Classificação feita de acordo com o a Base de Referência Mundial para Recursos do Solo até o 3º nível categórico.

** Classificação feita de acordo com Soil Taxonomy até o 2º nível categórico.

PEDREGOSIDADE – muito Pedregosa.

ROCHOSIDADE - não rochosa.

RELEVO LOCAL – ondulado.

RELEVO REGIONAL - ondulado e forte ondulado.

EROSÃO – não aparente.

DRENAGEM – mal drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Algas Talosas + Montículos de Musgo.

USO ATUAL – Área de Especial Interesse Científico.

DESCRITO E COLETADO POR – Carlos Ernesto G. R. Schaefer, Felipe Nogueira Bello Simas, Manuel R. de Albuquerque Filho.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

H1 0 - 10cm, Bruno-escuro (10YR3/3, úmido); franco-arenosa; moderada média granular; ligeiramente dura, firme, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

H2 10 - 20cm, Bruno-acinzentado muito escuro (10YR3/2, úmido); franco-arenosa; moderada média granular; ligeiramente dura, firme, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

A 20 - 30cm, Bruno muito escuro (10YR2/2, úmido); franco-arenosa; moderada média granular; dura, firme, plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e gradual.

Bjj 30 - 40cm, Bruno (7,5YR4/3, úmido); franco; fraca média granular; macia, friável, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e gradual.

Bhs 40 - 50cm, Bruno (10YR4/3, úmido); franco; maciça; macia, friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

Raízes: Talos abundantes no H1, H2 e A e poucos no Bjj.

Observações:

- Per. I descrito e coletado em trincheira de 60cm de profundidade.
- Presença de mata cões no H1, H2, A e B, ocupando, aproximadamente, 20% do horizonte, com diâmetro variando de 5 a 25cm.
- Intensa atividade de pássaros nas proximidades do perfil.

* Classificação feita de acordo com o a Base de Referência Mundial para Recursos do Solo até o 3º nível categórico.

** Classificação feita de acordo com Soil Taxonomy até o 2º nível categórico.

Perfil-4

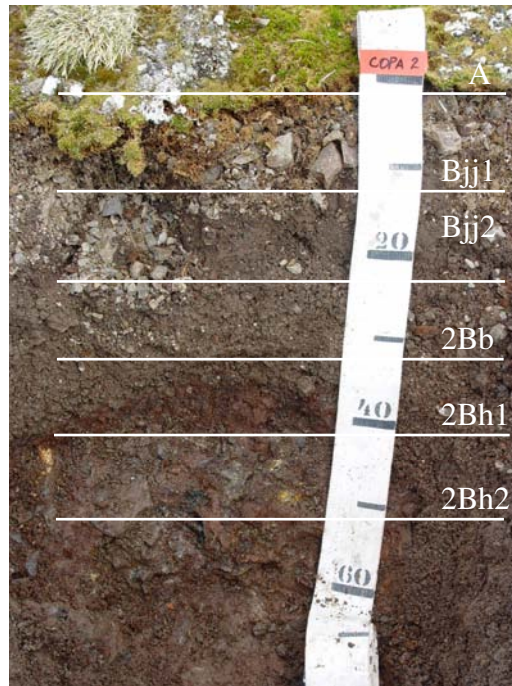


Figura-17: Perfil Copa-4, Criosolo Ornitogênico Túrbico

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL N° - 04 data-18/12/2002

CLASSIFICAÇÃO Base de Referência Mundial-CRIOSSOLO ORNITOGÊNICO TÚRBICO*, textura Franco Arenosa, A proeminente, fase Cobertura Mista Tapetes de Musgos e Gramínea, suave ondulado **CLASSIFICAÇÃO Soil Taxonomy**- Typic Haploturbels**.

UNIDADE DE MAPEAMENTO - CRotu.

LOCALIZAÇÃO - localizado próximo a áreas de nidificação por Petrel Gigante a 40m acima do nível do mar - Ponta LInao, Baía do Almirantado, Ilha Rei George. UTM 22S SAD 1969 Lat 424375 e Long 3105369.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – moraina estável suavizada, com cerca de 7% de declive e sob cobertura mista de musgos e gramínea.

ALTITUDE - 40 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA - rochas vulcânicas intemperizadas, em sua maioria basaltos andesíticos e materiais transportados pelo Glaciar Ecology. Bloco Warszawa, Supergrupo Ilha Rei George. Paleoceno (77Ma) até Oligoceno (37Ma).

MATERIAL ORIGINÁRIO - produto de meteorização dos basaltos andesíticos, afetados por retrabalhamento do Glaciar Ecology.

* Classificação feita de acordo com o a Base de Referência Mundial para Recursos do Solo até o 3º nível categórico.

** Classificação feita de acordo com Soil Taxonomy até o 2º nível categórico.

PEDREGOSIDADE – muito Pedregosa.

ROCHOSIDADE - não rochosa.

RELEVO LOCAL – suave ondulado.

RELEVO REGIONAL - ondulado e forte ondulado.

EROSÃO – não aparente.

DRENAGEM – bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Cobertura Mista Tapetes de Musgos e Graminea.

USO ATUAL – Área de Especial Interesse Científico.

DESCRITO E COLETADO POR – Carlos Ernesto G. R. Schaefer, Felipe Nogueira Bello Simas, Manuel R. de Albuquerque Filho.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0 - 10cm, Bruno-acinzentado muito escuro (10YR3/2, úmido); franco-arenosa; moderada média granular; ligeiramente dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e gradual.

Bjj1 10 - 20cm, Bruno-acinzentado-escuro (10YR4/2, úmido); franco-arenosa; moderada média granular; ligeiramente dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e gradual.

Bjj2 20 - 30cm, Bruno-acinzentado-escuro (10YR4/2, úmido); franco-arenosa; moderada média granular; dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.

2Bb 30 - 40cm, Bruno-acinzentado-escuro (10YR4/2, úmido); franco-arenosa; moderada média granular; dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

2Bh1 40 - 50cm, Bruno-escuro (7,5YR3/3, úmido); franco-arenosa; moderada média granular; dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.

2Bh2 50 - 60cm, Bruno-escuro (7,5YR3/3, úmido); franco-arenosa; maciça; macia, friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

Raízes: Talos abundantes no A, e poucos no Bjj1.

Observações:

- Per. I descrito e coletado em trincheira de 60cm de profundidade.

- Presença de mata cões em todos os horizontes, ocupando aproximadamente, 25% do horizonte, com diâmetro variando de 5 a 20cm.

- Intensa atividade de pássaros nas proximidades do perfil.

* Classificação feita de acordo com o a Base de Referência Mundial para Recursos do Solo até o 3º nível categórico.

** Classificação feita de acordo com Soil Taxonomy até o 2º nível categórico.

Perfil-5

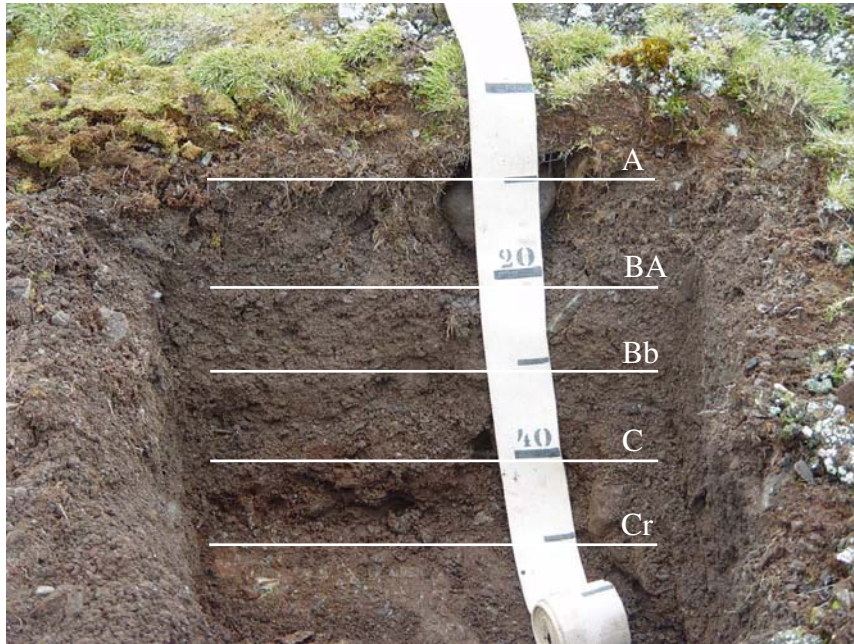


Figura-18: Perfil Copa-5, Criosolo Ornitogênico Lítico

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL N° - 05 data- 14/01/2004

CLASSIFICAÇÃO Base de Referência Mundial- CRIOSSOLO ORNITOGÊNICO LÍTICO*, textura Areia Franca/Franco Arenosa, A hístico, fase Cobertura Mista Tapetes de Musgos e Gramínea, suave ondulado **CLASSIFICAÇÃO Soil Taxonomy**- Typic Psammenturbels**.

UNIDADE DE MAPEAMENTO - CRoli.

LOCALIZAÇÃO - localizado ao lado de uma colônia de Petréis Gigantes a 40m acima do nível do mar - Ponta Llnao, Baía do Almirantado, Ilha Rei George. UTM 22S SAD 1969 Lat 424364 e Long 3105389.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – moraina estável suavizada, com cerca de 6% de declive e sob cobertura mista de musgos e gramínea.

ALTITUDE - 40 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA - rochas vulcânicas intemperizadas, em sua maioria basaltos andesíticos e materiais transportados pelo Glaciar Ecology. Bloco Warszawa, Supergrupo Ilha Rei George. Paleoceno (77Ma) até Oligoceno (37Ma).

MATERIAL ORIGINÁRIO produto de meteorização dos basaltos andesíticos, afetados por retrabalhamento do Glaciar Ecology.

PEDREGOSIDADE –moderadamente pedregosa.

ROCHOSIDADE - não rochosa.

* Classificação feita de acordo com o a Base de Referência Mundial para Recursos do Solo até o 3º nível categórico.

** Classificação feita de acordo com Soil Taxonomy até o 2º nível categórico.

RELEVO LOCAL – suave ondulado.

RELEVO REGIONAL - ondulado e forte ondulado.

EROSÃO – não aparente.

DRENAGEM – bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Cobertura Mista Tapetes de Musgos e Gramínea.

USO ATUAL – Área de Especial Interesse Científico.

DESCRITO E COLETADO POR – Carlos Ernesto G. R. Schaefer, Felipe Nogueira Bello Simas, Roberto Ferreira Machado Michel e Ulisses Bremer.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0 - 10cm, Bruno-avermelhado-escuro (5YR3/4, úmido); areia franca; grãos simples; ligeiramente dura, solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.

BA 10 - 20cm, Bruno-avermelhado (5YR4/3, úmido); areia franca; grãos simples; macia, solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.

Bi 20 - 30cm, Bruno (7,5YR4/3, úmido); franco-arenosa; moderada média granular; dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

C 30 - 40cm, Bruno (7,5YR5/4, úmido); franco-arenosa; moderada média granular; dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Cr 40 - 50cm, Bruno-avermelhado (5YR4/4, úmido); franco-arenosa; fraca média granular; macia, solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.

Raízes: Talos abundantes no A, e poucos no BA.

Observações:

- Per. I descrito e coletado em trincheira de 50cm de profundidade.

- Presença de mata cões no horizonte A, ocupando aproximadamente, 5% do horizonte, com diâmetro variando de 5 a 20cm.

- Intensa atividade de pássaros nas proximidades do perfil.

* Classificação feita de acordo com o a Base de Referência Mundial para Recursos do Solo até o 3º nível categórico.

** Classificação feita de acordo com Soil Taxonomy até o 2º nível categórico.

Perfil-6

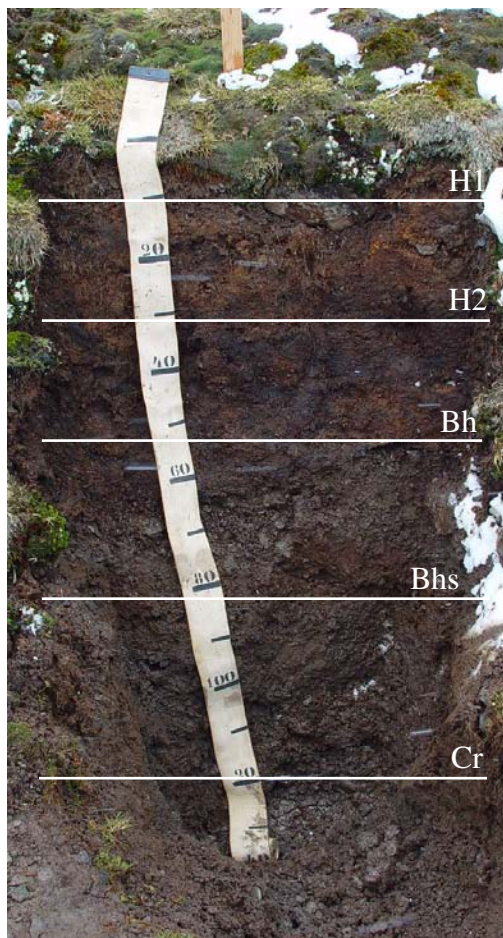


Figura-19: Perfil Copa-6, Criosolo Ornitogênico Hístico

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL N° - 06 data- 16/01/2004

CLASSIFICAÇÃO Base de Referência Mundial- CRIOSSOLO ORNITOGÊNICO HÍSTICO*, textura Franco Arenosa/Franca, A hístico, fase Cobertura Mista Tapetes de Musgos e Gramínea, ondulado.

CLASSIFICAÇÃO Soil Taxonomy- Lithic Fibristels **.

UNIDADE DE MAPEAMENTO - CRohi.

LOCALIZAÇÃO - localiza-se em moraina antiga ao lado da moraina lateral do Glaciar Ecology; representa provavelmente a primeira área a ser colonizada por pinguins Adélia após o recuo glacial a 40m acima do nível do mar - Ponta Llnao, Baía do Almirantado, Ilha Rei George. UTM 22S SAD 1969 Lat 424219 e Long 3105334.

* Classificação feita de acordo com o a Base de Referência Mundial para Recursos do Solo até o 3º nível categórico.

** Classificação feita de acordo com Soil Taxonomy até o 2º nível categórico.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – moraina estável suavizada, com cerca de 18% de declive e sob cobertura de musgos.

ALTITUDE - 40 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA - rochas vulcânicas intemperizadas, em sua maioria basaltos andesíticos e materiais transportados pelo Glaciar Ecology. Bloco Warszawa, Supergrupo Ilha Rei George. Paleoceno (77Ma) até Oligoceno (37Ma).

MATERIAL ORIGINÁRIO produto de meteorização dos basaltos andesíticos, afetados por retrabalhamento do Glaciar Ecology.

PEDREGOSIDADE –pedregosa.

ROCHOSIDADE - não rochosa.

RELEVO LOCAL – ondulado.

RELEVO REGIONAL - ondulado e forte ondulado.

EROSÃO – não aparente.

DRENAGEM – imperfeitamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Cobertura Mista Tapetes de Musgos e Graminea.

USO ATUAL – Área de Especial Interesse Científico.

DESCRITO E COLETADO POR – Carlos Ernesto G. R. Schaefer, Felipe Nogueira Bello Simas, Roberto Ferreira Machado Michel e Ulisses Bremer.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

H1 0 - 10cm, Bruno-escuro (7,5YR3/3, úmido); franco-arenosa; moderada média granular; ligeiramente dura, firme, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

H2 10 - 30cm, Bruno-avermelhado-escuro (5YR3/4, úmido); franco-arenosa; moderada média granular; ligeiramente dura, firme, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

Bh 30 - 55cm, Bruno-avermelhado (7,5YR3/3, úmido); franco-arenosa; moderada média granular; dura, firme, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

Bhs 55 - 80cm, Bruno (7,5YR4/4, úmido); franco; maciça; macia, friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

Cr 80 – 120cm, Bruno (5YR4/3, úmido) e XXX(5YR5/2); franco; maciça; macia, friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

Raízes: Talos abundantes no H1, H2 e Bh.

Observações:

- Per. I descrito e coletado em trincheira de 120cm de profundidade.

- Presença de mata cões no H1, H2, A e Bh, ocupando, aproximadamente, 15% do horizonte, com diâmetro variando de 5 a 20cm.

- Intensa atividade de pássaros nas proximidades do perfil.

* Classificação feita de acordo com o a Base de Referência Mundial para Recursos do Solo até o 3º nível categórico.

** Classificação feita de acordo com Soil Taxonomy até o 2º nível categórico.

Perfil-7

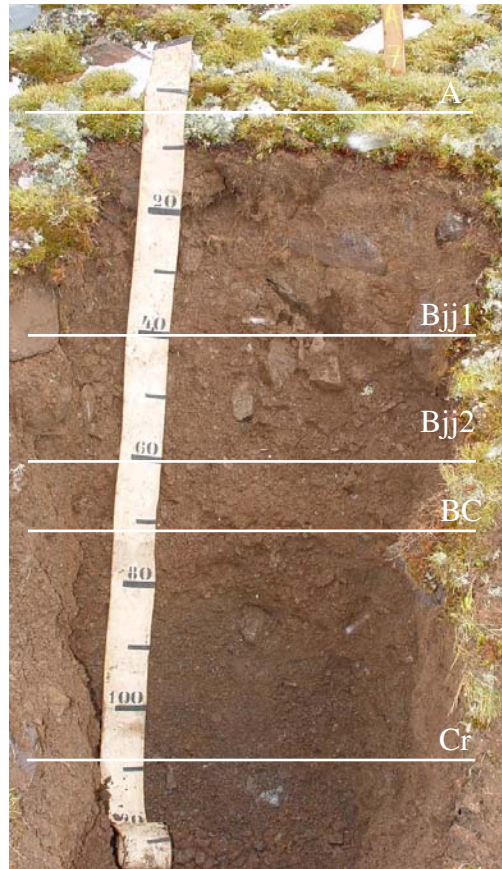


Figura-20: Perfil Copa-7, Criosolo Ornitógeno Túrbico

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL N° - 07 data- 16/01/2004

CLASSIFICAÇÃO Base de Referência Mundial- CRIOSOLO ORNITOGÊNICO TÚRBICO*, textura Franco Arenosa/Areia Franca, A proeminente, Cobertura Mista Tapetes de Musgos e Gramínea, ondulado **CLASSIFICAÇÃO Soil Taxonomy**- Typic Psammenturbels**.

UNIDADE DE MAPEAMENTO - CRotu.

LOCALIZAÇÃO - localizado imediatamente abaixo de ninhal de Petrel Gigante a 50m acima do nível do mar - Ponta Llnao, Baía do Almirantado, Ilha Rei George. UTM 22S SAD 1969 Lat 424449 e Long 3105217.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – terço inferior de moraina estável suavizada, com cerca de 32% de declive e sob cobertura mista de musgos e gramínea.

ALTITUDE - 50 metros.

* Classificação feita de acordo com o a Base de Referência Mundial para Recursos do Solo até o 3º nível categórico.

** Classificação feita de acordo com Soil Taxonomy até o 2º nível categórico.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA - rochas vulcânicas intemperizadas, em sua maioria basaltos andesíticos e materiais transportados pelo Glaciar Ecology. Bloco Warszawa, Supergrupo Ilha Rei George. Paleoceno (77Ma) até Oligoceno (37Ma).

MATERIAL ORIGINÁRIO - produto produto de meteorização dos basaltos andesíticos, afetados por retrabalhamento do Glaciar Ecology.

PEDREGOSIDADE – muito Pedregosa.

ROCHOSIDADE - não rochosa.

RELEVO LOCAL – suave ondulado.

RELEVO REGIONAL - ondulado e forte ondulado.

EROSÃO – não aparente.

DRENAGEM – bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Cobertura Mista Tapetes de Musgos e Graminea.

USO ATUAL – Área de Especial Interesse Científico.

DESCRITO E COLETADO POR – Carlos Ernesto G. R. Schaefer, Felipe Nogueira Bello Simas, Roberto Ferreira Machado Michel e Ulisses Bremer.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0 - 15cm, Bruno (7,5YR4/3, úmido); franco-arenosa; moderada/forte média granular; ligeiramente dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Bjj1 15 - 50cm, Bruno-avermelhado (5YR5/4, úmido); franco-arenosa; moderada/forte média granular; ligeiramente dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Bjj2 50 - 70cm, Bruno (7,5YR4/4, úmido); franco-arenosa; moderada média granular; dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

BC 70 - 80cm, Bruno-avermelhado (5YR4/4, úmido); areia franca; grãos simples; ligeiramente dura, solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.

Cr 80 - 120cm, Cinzento-avermelhado (5YR5/2, úmido); areia franca; grãos simples; ligeiramente dura, solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.

Raízes: Talos abundantes no A, e poucos no Bjj1.

Observações:

- Per. I descrito e coletado em trincheira de 120cm de profundidade.

- Presença de mata cões em todos os horizontes, ocupando aproximadamente, 17% do horizonte, com diâmetro variando de 5 a 20cm.

* Classificação feita de acordo com o a Base de Referência Mundial para Recursos do Solo até o 3º nível categórico.

** Classificação feita de acordo com Soil Taxonomy até o 2º nível categórico.

Perfil-8

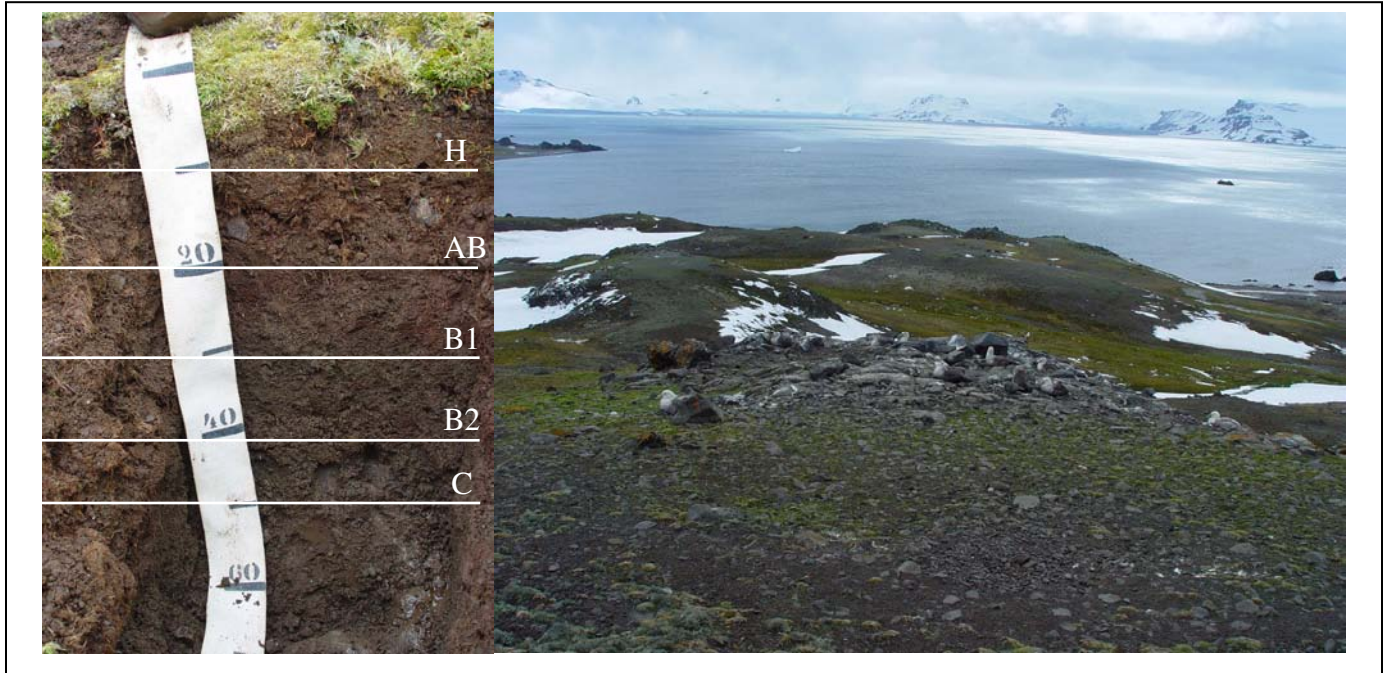


Figura-21: Perfil Copa-8, Criosolo Ornitogênico Hístico

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL Nº - 08 data- 20/01/2004

CLASSIFICAÇÃO Base de Referência Mundial- CRIOSOLO ORNITOGÊNICO HÍSTICO*,
textura Franco Arenosa/Areia Franca, A hístico, fase Cobertura Mista Tapetes de Musgos
e Gramínea, ondulado

CLASSIFICAÇÃO Soil Taxonomy- Lithic Fibrístels **.

UNIDADE DE MAPEAMENTO - CRotu.

LOCALIZAÇÃO - localizado próximo a áreas de nidificação por Petrel Gigante a 61m
acima do nível do mar - Ponta Llnao, Baía do Almirantado, Ilha Rei George. UTM 22S
SAD 1969 Lat 424386 e Long 3105229.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – terço
médio de moraina estável suavizada, com cerca de 45% de declive e sob cobertura mista
de musgos e gramínea.**ALTITUDE** - 40 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA - rochas
vulcânicas intemperizadas, em sua maioria basaltos andesíticos e materiais transportados

* Classificação feita de acordo com o a Base de Referência Mundial para Recursos do Solo até o 3º nível categórico.

** Classificação feita de acordo com Soil Taxonomy até o 2º nível categórico.

pelo Glaciário Ecology. Bloco Warszawa, Supergrupo Ilha Rei George. Paleoceno (77Ma) até Oligoceno (37Ma).

MATERIAL ORIGINÁRIO - produto de meteorização dos basaltos andesíticos, afetados por retrabalhamento do Glaciário Ecology.

PEDREGOSIDADE – muito Pedregosa.

ROCHOSIDADE - não rochosa.

RELEVO LOCAL – ondulado.

RELEVO REGIONAL - ondulado e forte ondulado.

EROSÃO – não aparente.

DRENAGEM – bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Cobertura Mista Tapetes de Musgos e Gramíneas.

USO ATUAL – Área de Especial Interesse Científico.

DESCRITO E COLETADO POR – Carlos Ernesto G. R. Schaefer, Felipe Nogueira Bello Simas, Roberto Ferreira Machado Michel e Ulisses Bremer.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

H 0 - 10cm, Bruno (7,5YR4/4, úmido); areia franca; grãos simples; ligeiramente dura, solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e difusa.

AB 10 - 20cm, Bruno (7,5YR4/4, úmido); franco-arenosa; moderada média granular; ligeiramente dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.

B1 20 - 30cm, Bruno (7,5YR4/4, úmido); franco-arenosa; moderada média granular; dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.

B2 30 - 40cm, Bruno-forte (7,5YR4/6, úmido); franco-arenosa; moderada/forte média granular; dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.

C 40 - 50cm, Bruno-avermelhado (5YR5/4, úmido); franco-arenosa; moderada/forte média granular; dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.

Raízes: Talos abundantes no A, AB, e B1.

Observações:

- Per. I descrito e coletado em trincheira de 50cm de profundidade.
- Presença de mata cães em todos os horizontes, ocupando aproximadamente, 16% do horizonte, com diâmetro variando de 5 a 10cm.
- Intensa atividade de pássaros nas proximidades do perfil.

* Classificação feita de acordo com o a Base de Referência Mundial para Recursos do Solo até o 3º nível categórico.

** Classificação feita de acordo com Soil Taxonomy até o 2º nível categórico.

Perfil-9

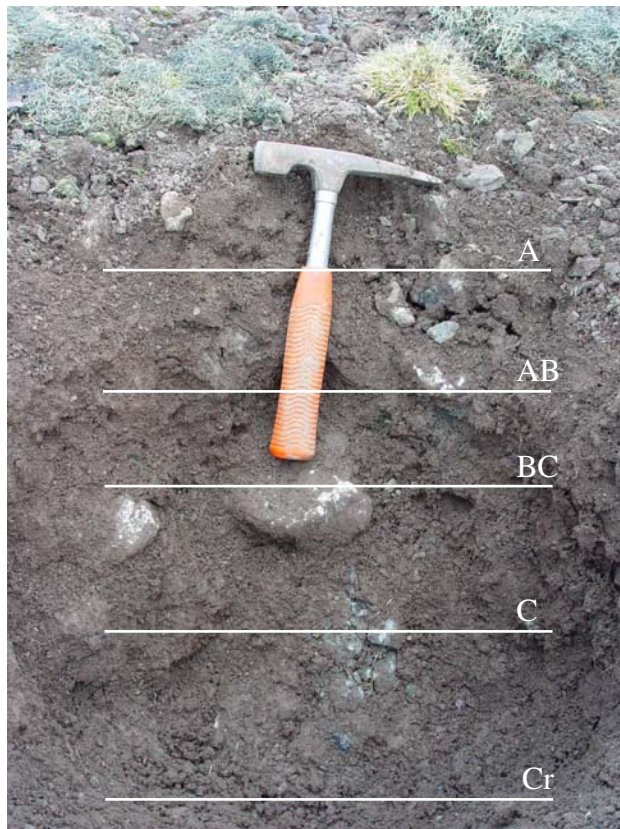


Figura-22: Perfil Copa-9, Criosolo Léptico

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL Nº - 09 data- 18/12/2002

CLASSIFICAÇÃO Base de Referência Mundial- CRIOSSOLO LÉPTICO*, textura Franco Arenosa/Areia Franca, A moderado, fase vegetação incipiente, suave ondulado

CLASSIFICAÇÃO Soil Taxonomy- Glacic Haploturbels**.

UNIDADE DE MAPEAMENTO - CR1e.

LOCALIZAÇÃO - localizado no nível superior de uma moraina lateral a 73m acima do nível do mar - Ponta Llnao, Baía do Almirantado, Ilha Rei George. UTM 22S SAD 1969 Lat 424368 e Long 3105183.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – topo de moraina estável, com cerca de 9% de declive e sob vegetação incipiente.

ALTITUDE - 73 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA - rochas vulcânicas intemperizadas, em sua maioria basaltos andesíticos e materiais transportados pelo Glaciar Ecology. Bloco Warszawa, Supergrupo Ilha Rei George. Paleoceno (77Ma) até Oligoceno (37Ma).

MATERIAL ORIGINÁRIO - produto de meteorização dos basaltos andesíticos,

* Classificação feita de acordo com o a Base de Referência Mundial para Recursos do Solo até o 3º nível categórico.

** Classificação feita de acordo com Soil Taxonomy até o 2º nível categórico.

afetados por retrabalhamento do Glaciar Ecology.

PEDREGOSIDADE – muito Pedregosa.

ROCHOSIDADE - não rochosa.

RELEVO LOCAL – suave ondulado.

RELEVO REGIONAL - ondulado e forte ondulado.

EROSÃO – não aparente.

DRENAGEM – bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – vegetação incipiente.

USO ATUAL – Área de Especial Interesse Científico.

DESCRITO E COLETADO POR – Carlos Ernesto G. R. Schaefer, Felipe Nogueira Bello Simas, Manuel R. de Albuquerque Filho.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0 - 10cm, Bruno-acinzentado (10YR5/2, úmido); areia franca; grãos simples; macia, solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e difusa.

AB 10 - 20cm, Bruno muito escuro (10YR2/2, úmido); franco-arenosa; moderada média granular; macia, solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e difusa

BC 20 - 30cm, Bruno-acinzentado muito escuro (10YR3/2, úmido); franco-arenosa; moderada média granular; macia, solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e difusa.

C 30 - 40cm, Bruno-acinzentado muito escuro (10YR3/2, úmido); franco-arenosa; moderada média granular; macia, solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e difusa.

Cr 40 - 50cm, Bruno-acinzentado muito escuro (10YR3/2, úmido); franco-arenosa; moderada/fraca média granular; macia, solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e difusa.

Raízes: Talos raros no A.

Observações:

- Per. I descrito e coletado em trincheira de 60cm de profundidade.

- Presença de mata cães em todos os horizontes, ocupando aproximadamente, 30% do horizonte, com diâmetro variando de 5 a 20cm.

* Classificação feita de acordo com o a Base de Referência Mundial para Recursos do Solo até o 3º nível categórico.

** Classificação feita de acordo com Soil Taxonomy até o 2º nível categórico.

Perfil-10



Figura-23: Perfil Copa-10, Criosolo Lítico

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL Nº - 10 data- 25/01/2004

CLASSIFICAÇÃO Base de Referência Mundial- CRIOSOLO LÍTICO*, textura Franco Arenosa, A moderado, fase Campo de Liqueus, forte ondulado

CLASSIFICAÇÃO Soil Taxonomy- Lithic Haploturbels**.

UNIDADE DE MAPEAMENTO - CRli.

LOCALIZAÇÃO - localizado no em área elevada atrás da estação Copacabana a 56m acima do nível do mar - Ponta Llnao, Baía do Almirantado, Ilha Rei George. UTM 22S SAD 1969 Lat 424601 e Long 3104961.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL platô estável, com cerca de 35% de declive e sob campo de usnea.

ALTITUDE - 53 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA rochas vulcânicas intemperizadas, em sua maioria basaltos andesíticos e materiais transportados pelo Glaciar Ecology. Bloco Warszawa, Supergrupo Ilha Rei George. Paleoceno (77Ma) até Oligoceno (37Ma).

MATERIAL ORIGINÁRIO - produto de meteorização dos basaltos andesíticos, afetados por retrabalhamento do Glaciar Ecology.

PEDREGOSIDADE – extremamente Pedregosa.

ROCHOSIDADE - não rochosa.

* Classificação feita de acordo com o a Base de Referência Mundial para Recursos do Solo até o 3º nível categórico.

** Classificação feita de acordo com Soil Taxonomy até o 2º nível categórico.

RELEVO LOCAL – forte ondulado.

RELEVO REGIONAL - ondulado e forte ondulado.

EROSÃO – não aparente.

DRENAGEM – bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Campo de Líquens.

USO ATUAL – Área de Especial Interesse Científico.

DESCRITO E COLETADO POR – Carlos Ernesto G. R. Schaefer, Felipe Nogueira Bello Simas, Roberto Ferreira Machado Michel.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0 - 10cm, Cinzento-avermelhado-escuro (5YR4/2, úmido); franco arenosa; moderada media granular; macia, solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta.

Observações:

- Per. 1 descrito e coletado em trincheira de 10cm de profundidade.

- Presença de mata cães no horizonte A, ocupando aproximadamente, 50% do horizonte, com diâmetro variando de 5 a 15cm.

* Classificação feita de acordo com o a Base de Referência Mundial para Recursos do Solo até o 3º nível categórico.

** Classificação feita de acordo com Soil Taxonomy até o 2º nível categórico.

4.6 Classificação dos Solos

Os solos estudados não são passíveis de classificação pelos princípios vigentes no atual Sistema Brasileiro de Classificação de solos (EMBRAPA, 1999), seja pela ausência de formalização para solos criogênicos em nível categórico elevado (a exemplo das classes de Criosols – WRB, ou Gelisols – Soil Taxonomy), seja pela inexistência de conceituação em nível de subgrupo ou mais baixos. De acordo com FRANCELINO (2004) tal fato poderia ser resolvido pela introdução de atributos diagnósticos (presença de permafrost, materiais gélidos, crioturbação, regime crítico/pergélido, fosfatização) e sua conceituação para subdivisão em níveis categóricos inferiores de classes como Neossolos, Cambissolos, ou Organossolos. Por esta razão, os solos foram classificados no sistema internacional da Base de Referencia Mundial para os Recursos do Solo (ISSS WORKING GRUP RB, 1998), na sua maioria dentro da ordem dos Criosolos e Leptossolos; e no sistema de Classificação de Solos Americano (Soil Survey Staff, 1998).

Os dez perfis coletados, embora não abranjam a totalidade dos solos presentes na área, podem ser considerados representativos, uma vez que contemplam todos os tipos de coberturas vegetais presentes, e níveis altimétricos. O estudo possibilita, assim, a geração de um modelo pedogenético consistente, capaz de gerar um mapeamento detalhado. A distribuição das diferentes classes foi fortemente influenciada pelo tempo de exposição das vertentes e conseqüente nidificação. A partir do início da deglaciação diferentes áreas foram expostas e colonizadas pela fauna; com o passar do tempo e em conseqüência do enorme alívio de peso causado pelo derretimento e diminuição dos glaciares, o soerguimento glacioisostático da ilha forçou a fauna a buscar novos locais de nidificação mais próximos da costa (figura-24). Desta forma os perfis ornitogênicos coletados a uma maior distância da costa foram mais

desenvolvidos expressando grande crescimento da vegetação e acúmulo de material orgânico, em contrapartida aqueles localizados próximos a costa e aos atuais locais de nidificação se mostraram rasos, com menores teores de C orgânico e menor desenvolvimento de estrutura.

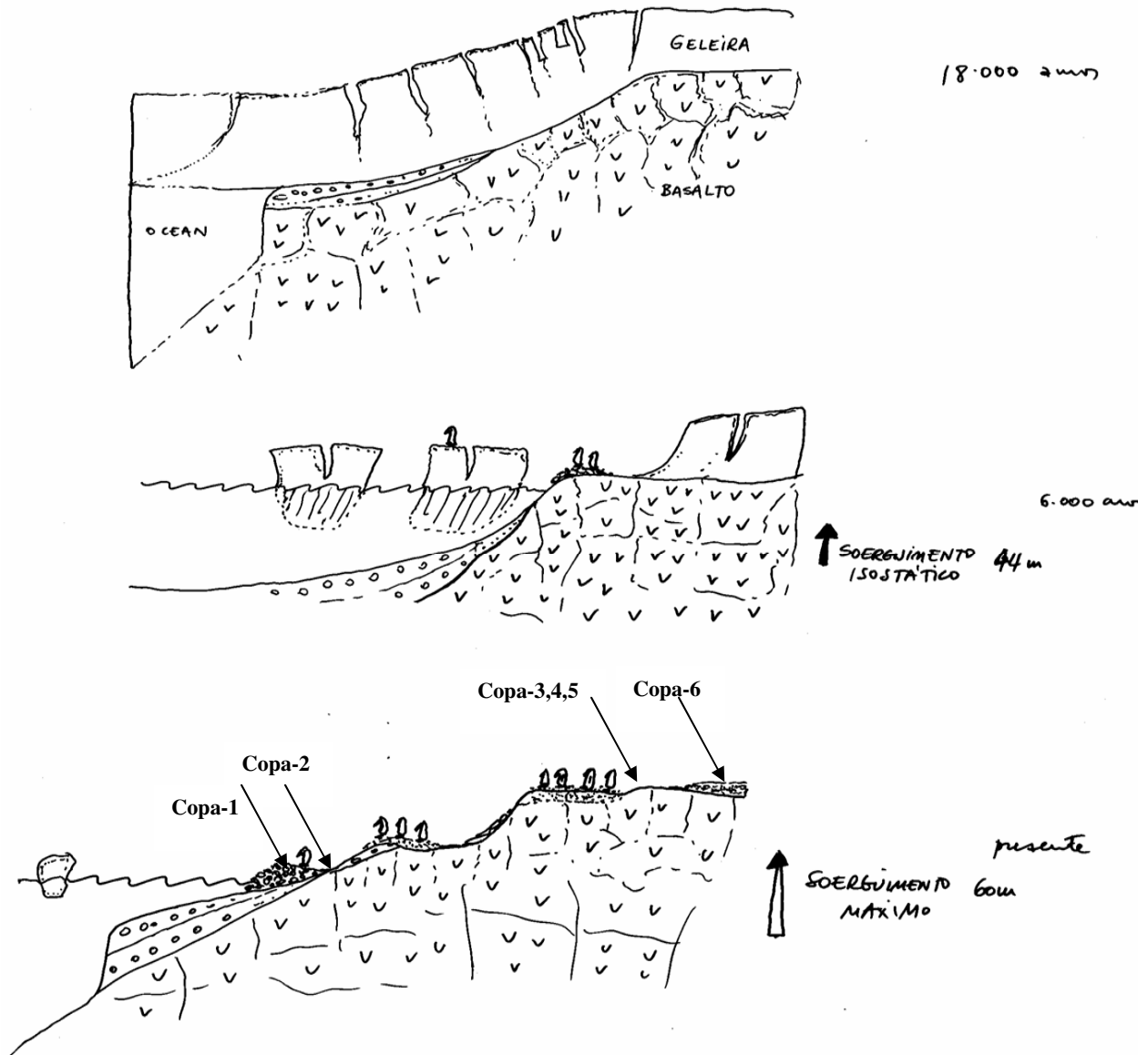


Figura-24: Corte esquemático da evolução da paisagem nos arredores da Ponta Llano

4.3.1 Sistema Internacional da Base de Referencia Mundial para os Recursos do Solo

Foram identificados dois grupos no primeiro nível e quatro no segundo nível categórico, sendo ainda acrescentado no segundo nível categórico, o caráter ornitogênico, corroborando a proposta de BÖLTER et al (1999), para designar os solos cuja gênese sofreu influência direta de atividades de aves.

A legenda de identificação dos solos foi composta por unidades homogêneas, consistentes em nível de detalhamento pretendido. Para realizar o mapeamento, foram descritos 10 perfis, sendo feitas intensas observações de campo. Os pontos georreferenciados de cada perfil foram sobrepostos, juntamente com os mapas de geomorfologia e cobertura vegetal, ao mosaico, permitindo delimitar as áreas referentes a cada classe. Foram mapeadas 15 unidades de solos e Classes de terreno, onde se verifica o predomínio de rocha fragmentada e geleira. Dentre os solos encontramos o predomínio dos Fluvisolos Gélicos e Criossolos Ornitogênicos gleicos.

Os Criossolos foram introduzidos em nível mais alto no sistema da Base Referencial Mundial do Recurso Solo (figura-25) para identificar solos que ocorrem em condições periglaciais ou glaciais, onde ocorrem ciclos de congelamento e descongelamento, apresentando permafrost dentro dos 100 cm desde a superfície, além de mostrarem evidências de crioturbação (ISSS WORKING GROUP RB, 1998). Estes solos são freqüentemente rasos (< 1 m) e permanecem saturados de água durante o período de degelo (verão), porém com cores brunadas, sem as feições associadas de redução e redistribuição de ferro.

O ciclo de congelamento e descongelamento da camada ativa e a temperatura abaixo de zero do subsolo ocasionam as condições específicas que caracterizam os Criossolos (BEYER e BÖLTER, 2000), cuja definição é baseada em três feições típicas associadas com processos criogênicos (ISSS WORKING GROUP RB, 1998):

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

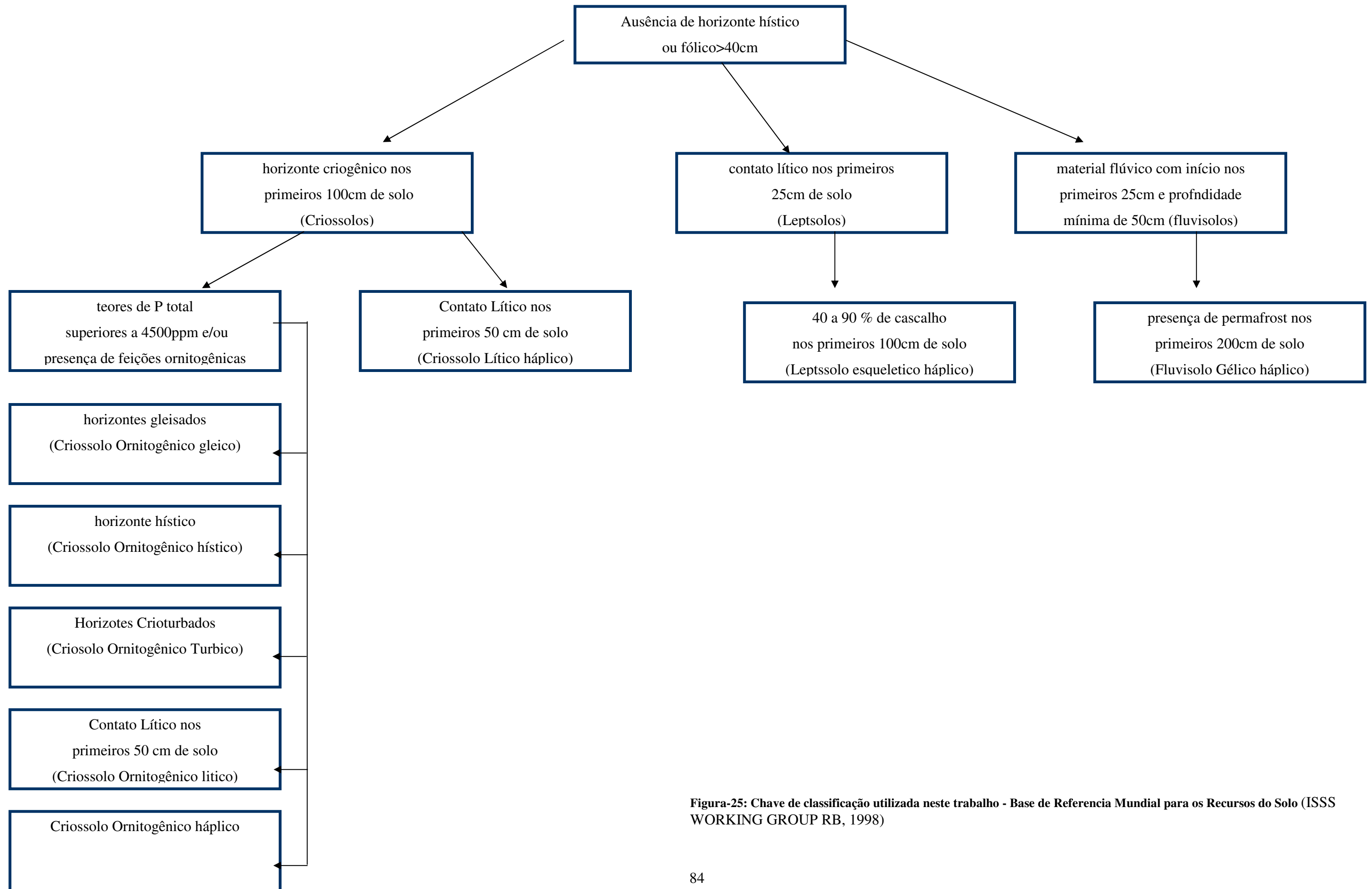


Figura-25: Chave de classificação utilizada neste trabalho - Base de Referência Mundial para os Recursos do Solo (ISSS WORKING GROUP RB, 1998)

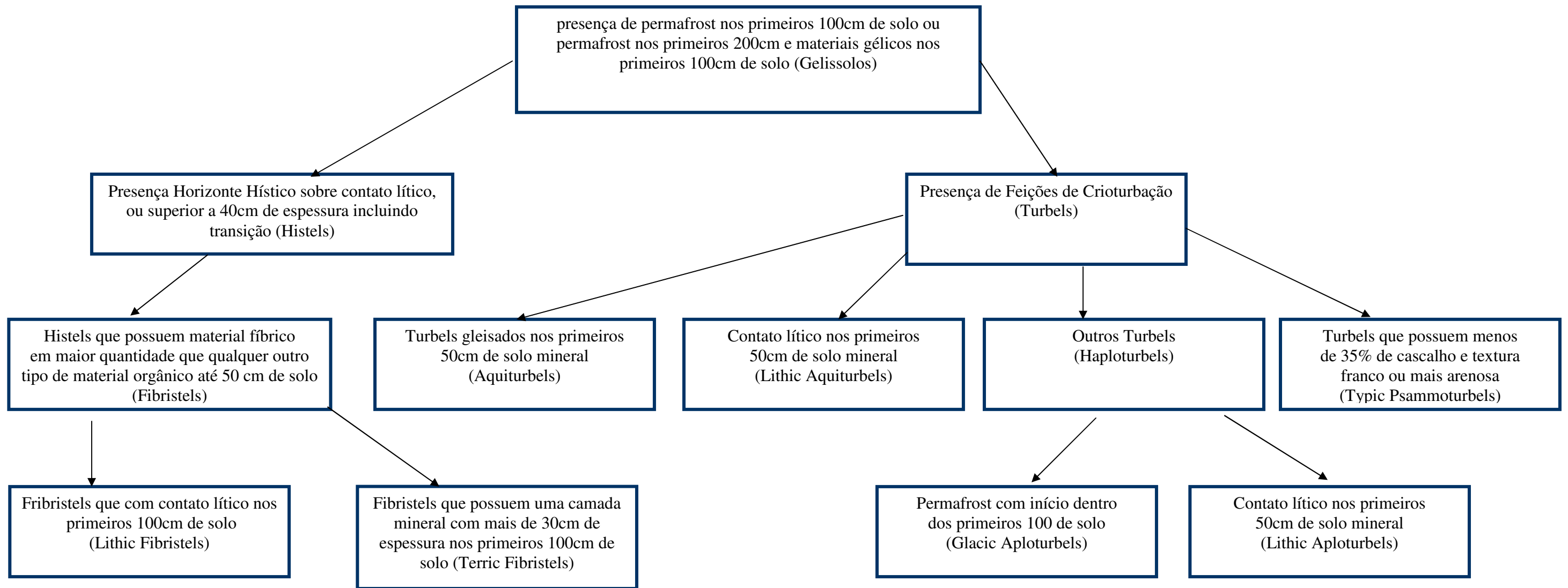


Figura-26: Chave de classificação utilizada neste trabalho – Sistema Americano de Classificação de solos (SOIL SURVEY STAFF, 1998)

A identificação de permafrost e sua profundidade é ponto chave para a classificação dos Criossolos, porém sua determinação em nível de campo se mostra muitas vezes tarefa difícil. BLUME et al., (2002) trabalhando em áreas adjacentes de exposição mais antiga encontrou em sua classificação diversas sub-unidades gélicas de histossolos, Leptossolos, podzols e Regossolos, em função da ausência de permafrost nos primeiros 100 cm de solo. Nos arredores da Ponta Llano, mesmo nas primeiras áreas expostas após a última glaciação, foi encontrado permafrost e/ou feições gélicas nos primeiros 100 cm de solo para a totalidade dos perfis coletados. Mesmo que alguns destes perfis tenham sido coletados a maiores profundidades, a parte inferior do perfil apresentava feições gélicas e regime térmico característicos de Criossolos (tabela-6). Áreas de vegetação incipiente sobre morainas e geoformas sujeitas a solifluxão foram classificadas como tipo de terreno, e englobadas na unidade de mapeamento “rocha fragmentada” em função do pequeno grau de evolução pedogenética.

A área em estudo mostra elevada variedade pedogenética evidenciando, porém o predomínio de tipos de terreno derivados de intemperismo físico recente como é o caso das áreas mapeadas como rocha fragmentada. É notável a elevada ocorrência de Fluviossolos Gélicos, representando aproximadamente 10% da área com mais de 17ha; evidenciando a dinâmica e magnitude das transferências de massa dentro dos ambientes periglaciais. Em virtude dos ciclos de congelamento a crioturbação é processo pedogenético marcante, sendo que os Criossolos Ornitógenicos Túrbicos representam mais de 3% da área (tabela-8). O regime hídrico do solo representou outro importante fator de formação, responsável pela ocorrência de Criossolos Ornitógenicos Gleicos em 3,7% da área. A fosfatização se faz representativa como processo pedogenético diretamente atuante em aproximadamente 12% da área em estudo; o tamanho da

população de P. adélia e o tempo de colonização, após a última glaciação garantiram a fertiização com posterior fosfatização de extensas áreas no entorno da Ponta Llano.

Tabela-6: Diferentes níveis categóricos encontrados na área em estudo. (ISS WORKING GROUP RB, 1998).

Primeiro nível categórico	Segundo nível categórico	Terceiro nível categórico
Criossolo	Ornitogênico*	Gleico
		Hístico
		Lítico
		Túrbico
		Háplico
Fluvissoilo	Lítico	Háplico
	Léptico	
	Gélico	Háplico

* Proposto por BÖLTER *et al* (1999).

Tabela-7: Definições de elementos formativos para unidades de nível inferior. (ISS WORKING GROUP RB, 1998).

Caráter	Características
Gleico	Apresenta propriedades hidromórficas nos primeiros 100cm de profundidade.
Hístico	Possui horizonte hístico nos primeiros 40cm de profundidade.
Háplico	Possui expressões típicas de certas feições (não existe nenhuma outra caracterização significativa).
Léptico	Apresenta rocha dura contínua entre 25 e 100 cm desde a superfície do solo.
Lítico	Possui rocha dura contínua dentro dos 10 cm a partir da superfície do solo.
Gélico	Possui permafrost dentro de 200cm de profundidade
Túrbico	Possui feições criotúrbicas (material misturado, descontinuidade de horizontes, intrusões orgânicas segregação granulométrica) dentro dos primeiros 100cm de profundidade.

Tabela-8: Contribuição relativa dos diferentes Solos e Tipos de Terreno nos arredores da Ponta Llano, Ilha Rei George

Solos e Tipos de Terreno	Área (m ²)	Contribuição Relativa (%)
Afloramento Rochoso	4208,83	0,22
Colônias de Pinguim de Adelia	19357,13	1,03
Criossolo Léptico	2461,12	0,13
Criossolo Lítico	25337,11	1,35
Criossolo Ornitogênico Léptico	52654,23	2,81
Criossolo Ornitogênico Gleico	69476,20	3,71
Criossolo Ornitogênico Hístico	8270,86	0,44
Criossolo Ornitogênico Túrbico	68563,62	3,66
Criossolo Ornitogênico Túrbico, fase fosfatizada	32886,77	1,76
Fluvissole Géllico	172106,17	9,19
Geleira	629645,09	33,63
Lago	6281,00	0,34
Ninhais de Petrel Gigante	3512,72	0,19
Praia	37755,58	2,02
Rocha Fragmentada	739553,29	39,50
Total	1872069,7	100,00

4.3.1 Sistema Americano de Classificação de Solos (SACS)

De acordo com a nova versão do SACS (figura-26), os solos afetados por permafrost são denominados Gelisols (SOIL SURVEY STAFF, 1998). Visando um melhor entendimento dos dois principais sistemas de classificação de solos afetados por permafrost e suas implicações a área em estudo, os perfis coletados também foram classificados no sistema Americano. Como comentado anteriormente o SACS apresenta precedência taxonômica diferenciada, posicionando os gelissolos antes dos histossolos, englobando desta forma todos os solos afetados por permafrost na mesma classe (tabela-9).

Todos os solos descritos foram enquadrados na ordem dos Gelissolos. Em nível de sub-ordem foram encontrados Hitels e Turbels, sendo que os grandes grupos dos Fibrístels,

Haploturbels, Aquiturbels, Haploturbels e Psammoturbels ocorreram nos arredores da Ponta Llano (tabelas-10 e 11).

Tabela-9: Diferentes níveis categóricos encontrados na área em estudo. (ISSS WORKING GROUP RB, 1998).

Ordens	Sub-ordens	Grandes Grupos	Sub-grupos
Gelisols	Histels	Fíbric	Lithic
	Turbels	Aquic	Terric
		Psamic	Lithic
		Haplic	Typic
			Glacic
			Lithic
			Typic

Tabela-10: Definições de elementos formativos para unidades de nível inferior. (ISSS WORKING GROUP RB, 1998).

Caráter	Características
Fíbric	Histels com maior quantidade de material fíbrico que qualquer outro material orgânico até uma profundidade de 50 cm ou até um contato lítico.
Aquic	Turbels com condições áquicas em anos normais e croma 2 ou menor.
Psamic	Turbels com menos de 35% de fragmentos de rocha e textura fraco-arenosa ou mais grosseira.
Haplic	Turbels com expressões típicas de crioturbação (não existe nenhuma outra caracterização significativa).
Terric	Fibristels que possuem uma camada mineral com espessura superior a 3° cm dentro dos primeiros 100 cm de solo.
Glacic	Haploturbels que possuem uma camada congelada dentro dos primeiros 100 cm de solo.
Typic	Outros Haplotuebels
Lithic	Haplotuebels com contato lítico nos primeiros 50 cm de solo.

Tabela-11: Diferentes níveis categóricos encontrados na área em estudo. (ISSS WORKING GROUP RB, 1998).

Perfil	Sistema de Classificação de solos Americano	Base Mundial de Referência para os Recursos do Solo
P1	Lithic Aquiturbels	Criossolo Ornitogênico Gleyco
P2	Lithic Aquiturbels	Criossolo Ornitogênico Gleyco
P3	Lithic Fibrístels	Criossolo Ornitogênico Hístico
P4	Typic Haploturbels	Criossolo Ornitogênico Túrbico
P5	Typic Psammoturbels	Criossolo Ornitogênico Lítico
P6	Terric Fibrístel	Criossolo Ornitogênico Hístico
P7	Typic Psammoturbels	Criossolo Ornitogênico Túrbico
P8	Lithic Fibrístels	Criossolo Ornitogênico Hístico
P9	Glacic Haploturbels	Criossolo Léptico
P10	Lithic Haploturbels	Criossolo Lítico

De forma geral o SACS mostrou-se simples de usar e adequado, sua chave de classificação é objetiva e hierarquizada de forma eficiente os diferentes fatores de formação atuantes em ambientes periglaciais. Assim como o ISSS-RB o SACS não é completamente adequado para as áreas costeiras da Antártica Marítima por não incluir em sua chave a ornitogênese como fator de formação.

Como dito anteriormente os solos estudados não são passíveis de classificação no atual Sistema Brasileiro de Classificação de solos (EMBRAPA, 1999). Isto se dá pela inexistência de formalização para solos afetados por permafrost em nível categórico elevado, e pela inexistência de conceituação em níveis mais baixos. Em resposta a demanda crescente de pesquisadores das mais diferentes áreas na Antártica e a expansão da pedologia periglacial brasileira, é

oportuno a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo a inclusão no Sistema Brasileiro de Classificação de solos de uma nova classe que abranja os solos afetados por permafrost. É sugestão deste trabalho a criação de uma nova classe de solos estruturada nos moldes do grande grupo dos Criossolos da ISSS-RB, com a inclusão dos processos ornitogênicos como fatores de formação de solo em segundo nível categórico e observação da precedência taxonômica dos Criossolos sobre os Histossolos, como adotado pelo SACS.

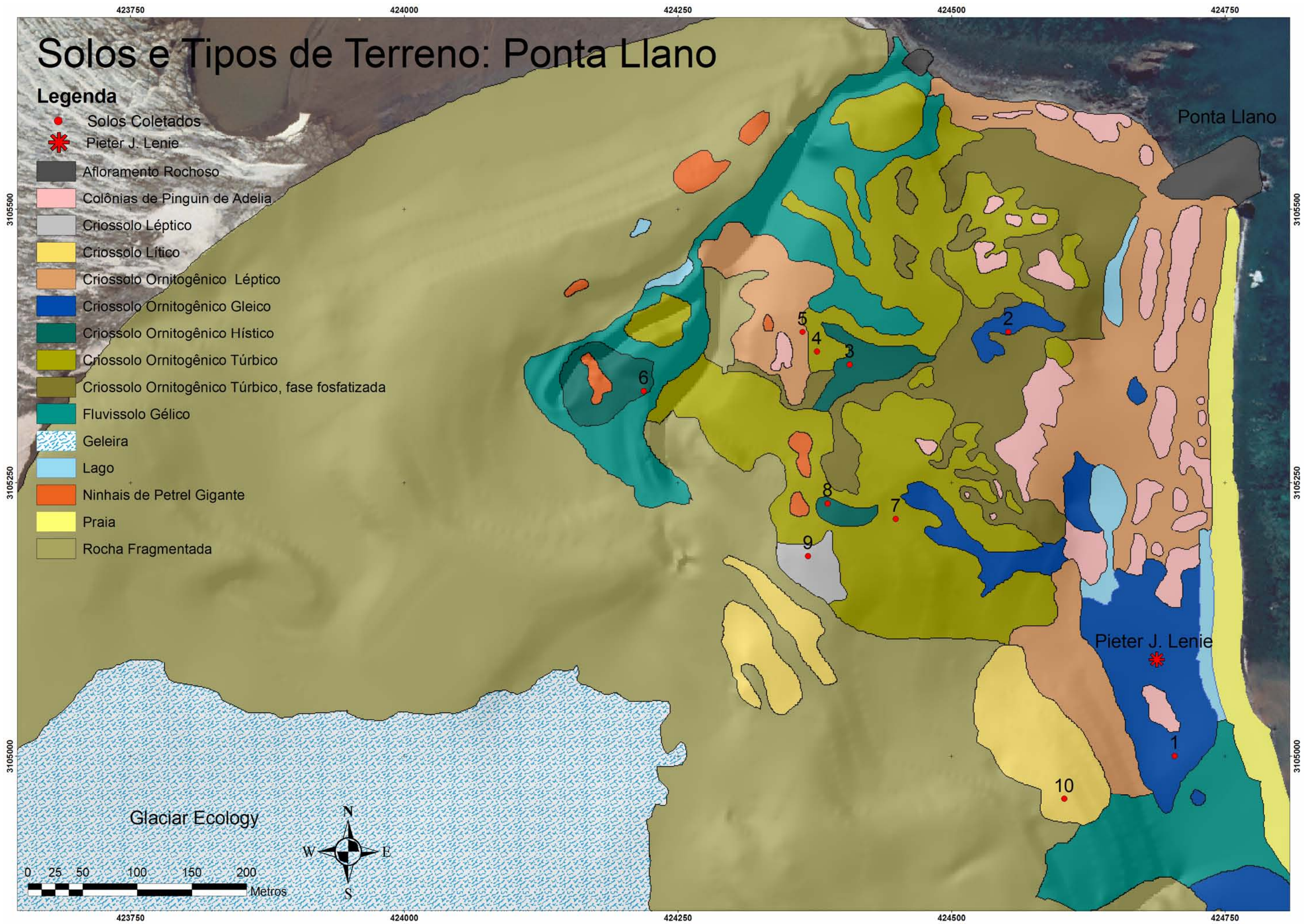


Figura-27: Mapa de solos e de terreno da Ponta Llano

4.7 Distribuição da vegetação

Ecossistemas terrestres ornitogênicos da Ponta Llano se desenvolvem graças ao aporte de biomassa de origem marinha realizado pela fauna. O processo de intensa decomposição microbiológica do excremento de aves domina os ecossistemas terrestres ornitogênicos em colônias ativas. Além do intenso pisoteio da fauna, a concentração elevada de nutrientes na forma mineral, liberados durante a decomposição da matéria orgânica, inibe a colonização pela vegetação nestas áreas. Apenas a alga *Prasiola crispa* consegue se estabelecer em ambiente tão fértil e dinâmico. A gramínea *Deschampsia antarctica* cresce apenas em áreas marginais e afetadas pela zona de aporte atual. Entretanto, a influência das colônias nos ecossistemas terrestres não se limita à área colonizada. Íons de amônia volatilizados para a atmosfera durante a mineralização do guano podem ser carregados pelo vento, atingindo afloramentos rochosos e possibilitando o desenvolvimento de líquens nitrofilicos e musgos crustosos (TATUR & MYRCHA 1984). Predadores de pingüins se alimentam na colônia e fazem seus ninhos em pontos distantes, espalhados por toda a área, dispersando nutrientes e fertilizando sítios localizados.

O abandono dos locais de procriação em pelos pingüins é ponto de partida para o desenvolvimento da vegetação nos ecossistemas ornitogênicos. O número de ninhais de predadores declina juntamente com sua presa, e a exportação de amônia via atmosférica decresce. A microflora autóctone pode rapidamente substituir a feição vegetacional específica da colônia quando o aporte de guano fresco cessa. Deste ponto em diante, o impacto espacial da ornitogênese é restrito a ambientes diretamente fertilizados pela água de degelo que atravessa as antigas colônias.

Para este estudo foi estabelecido um sistema de classificação próprio embasado na identificação de diferentes nichos pedológicos, observações de campo e interpretação

das fotografias aéreas. Este muito se assemelha a outras propostas de classificação para a Antártica Marítima (Longton, 1967), com o diferencial de não se basear na identificação específica dos indivíduos presentes na comunidade. É composto de sete classes que englobam as comunidades Fanerogâmica, Criptogâmica e cianobactérias.

Formação Tapete de Líquens e Musgos

Bancos de formação turfosa alta de musgos são uma feição marcante em diversas localidades da Antártica Marítima. Estas comunidades, freqüentemente extensas, são formadas por densos talos eretos, aparentemente evoluídos da coalescência de tufos discretos. A superfície dos bancos é ondulada, sendo que a colonização por líquens é extensa nas partes mais elevadas e expostas. Esta formação ocupa preferencialmente o sopé de escarpas e vertentes estáveis e bem drenadas especialmente em faces Norte e Oeste em áreas costeiras. Nesta formação existem evidências de erosão, especialmente em superfícies desuniformes e no caminho de canais de degelo, evidenciando a necessidade de certa estabilidade para seu completo desenvolvimento.

Formação Montículos de Musgo

A Sub-Formação Tapete de Musgos é típica de ambientes de drenagem deficiente ou em sopés que recebem grande quantidade de água de degelo na Ponta Llano. A vegetação consiste de musgos pleurocárpicos formando extensos carpetes macios e esponjosos cobrindo muitas vezes depósitos de solos turfosos. A forma de crescimento é finamente compactada, ereta, com talos surgindo de uma massa fibrosa. Nichos ecológicos típicos englobam áreas abauladas, canais de drenagem, margens de lagos, lagos de degelo e declives suaves irrigados com o degelo a montante.

Formação Mista Tapetes de Musgos e Gramínea

Indivíduos esparsos da grama *Deschampsia antarctica* e a pequena *Colobantus* ocorrem entremeados a população criptogâmica da Antártica Marítima, sendo que em algumas áreas sua abundância cresce a ponto destes se tornarem os vegetais dominantes em pequenos stands de vegetação fanerogâmica. As comunidades de plantas vasculares ocorrem principalmente em vertentes bem drenadas com face noroeste e nordeste, entretanto um importante fator que controla sua ocorrência é a disponibilidade de água. Em alguns casos estas plantas formam stands praticamente homogêneos, em ambientes onde uma população abundante em briófitas não seria esperada; porém em localidades tradicionalmente colonizadas por musgos estas podem se estabelecer com sucesso em micro-sítios elevados.

Formação Algas Talosas

A formação Algas Talosas compreende uma comunidade dominada pela alga verde *Prasiola crispa*, formando extensos tapetes compostos por talos no perímetro de colônias de aves e elefantes marinhos (*Mironga leonina*). Os maiores stands deste tipo de vegetação se concentram na periferia de colônias de pingüins de diversas espécies, com menores áreas ocorrendo ao redor de ninhais de pássaros como o Petrel Gigante (*Macronectes giganteus*) e Skuas (*Catharacta skua*).

Formação Campo de Liquens

A formação campos de liquens ocorre sobre geofomas estáveis, rasas, compostas por rochas fragmentadas. Recebe alguma fertilização da colônia de pingüins em atividade de forma indireta, seja pelo vento ou pela nidificação de predadores. É composta de grande quantidade de liquens intercalados por raros musgos.

Formação Musgos e Liquens Crustosos

A Formação Musgos e Líquens Crustosos consiste de uma delgada crosta de pequenos tufo de musgos, intensamente colonizado por líquens crustosos, de forma que a vegetação como um todo assume a cor do líquen mais abundante. Normalmente comunidades deste tipo colonizam vertentes suaves de tufo vulcânicos e rochedos colonizados pela avefauna.

Cianobactérias

Engloba todos os lagos formados pela água ou canais de degelo durante o verão. Neste ambiente grande quantidade de colônias de cianobactérias se desenvolve demonstrando intensa atividade através da produção de bolhas.

Ausência de Vegetação/Vegetação Incipiente

No topo de morainas ou em áreas sujeitas a solifluxão a colonização vegetal avança de forma modesta, sendo possível identificar pequenos stands de líquens e alguns raros musgos em locais mais protegidos ou em margens de lagos de degelo.

4.7.1 Sucessão

A sucessão da vegetação na seqüência de sítios abandonados começa com a invasão da alga *Prasiola Crispa* (Formação Algas Talosas), em seguida os seixos são inicialmente colonizados por líquens crustosos, com domínio da comunidade nitrofilica (Formação Musgos e Líquens Crustosos), e posteriormente por associações mais diversas. Gradualmente os líquens cobrem a totalidade dos seixos nas colônias abandonadas. Em seguida as depressões entre os seixos são colonizadas por extensas coberturas de musgos (Formação tapete de Líquens e Musgos) cobrindo o solo entre os seixos. Finalmente um denso tapete misto de *Deschampsia antarctica* e musgos cobre os solos ornitogênicos mais antigos e desenvolvidos (Formação Mista Tapetes de Musgos e Gramínea) (figura-28). Em áreas com maior impedimento de drenagem ou

influenciadas por grandes quantidades de água de degelo, feições compostas por musgos pleurocárpicos formando extensos carpetes esponjosos se desenvolvem (Formação Montículos de Musgo) (tabela-12). Em áreas úmidas, abandonadas desde longa data, comunidades freqüentemente extensas formadas por densos musgos de talos eretos, evoluídas da coalescência de tufos discretos, também ocorrem. A superfície dos bancos é ondulada, sendo que a colonização por líquens é extensa nas partes mais elevadas e expostas (Formação tapete de Líquens e Musgos). Quando mal drenado este tipo de nicho de elevada estabilidade é partilhado pela Formação Montículos de Musgo.

A ocorrência e as diferenciações das comunidades são principalmente afetadas pelas condições climáticas, particularmente pela duração da cobertura de neve e vento, além da quantidade de água disponível, do tipo de substrato e da presença de atividade animal (OLECH, 1993). Essas plantas são especializadas, e os seus nichos são tão restritos que elas podem ser bons indicadores de mudanças globais em condições ambientais.

Feições de Vegetação	Área (m ²)	Contribuição Relativa (%)
Cianobactérias	6876,77	0,56
Sub-formação Algas Talosas	16168,63	1,32
Sub-formação Algas Talosas + Montículos de Musgo	20183,18	1,65
Sub-formação Campo de Líquens	39532,59	3,24
Sub-formação Mista Tapetes de Musgos e Gramínea	131603,12	10,78
Sub-formação Montículos de Musgo	164050,59	13,44
Sub-formação Musgos e Líquens Crustosos	7430,21	0,61
Sub-formação Tapete de Líquens e Musgos	81004,74	6,63
Vegetação Incipiente	754211,97	61,77
Total geral	1221061,8	100,00

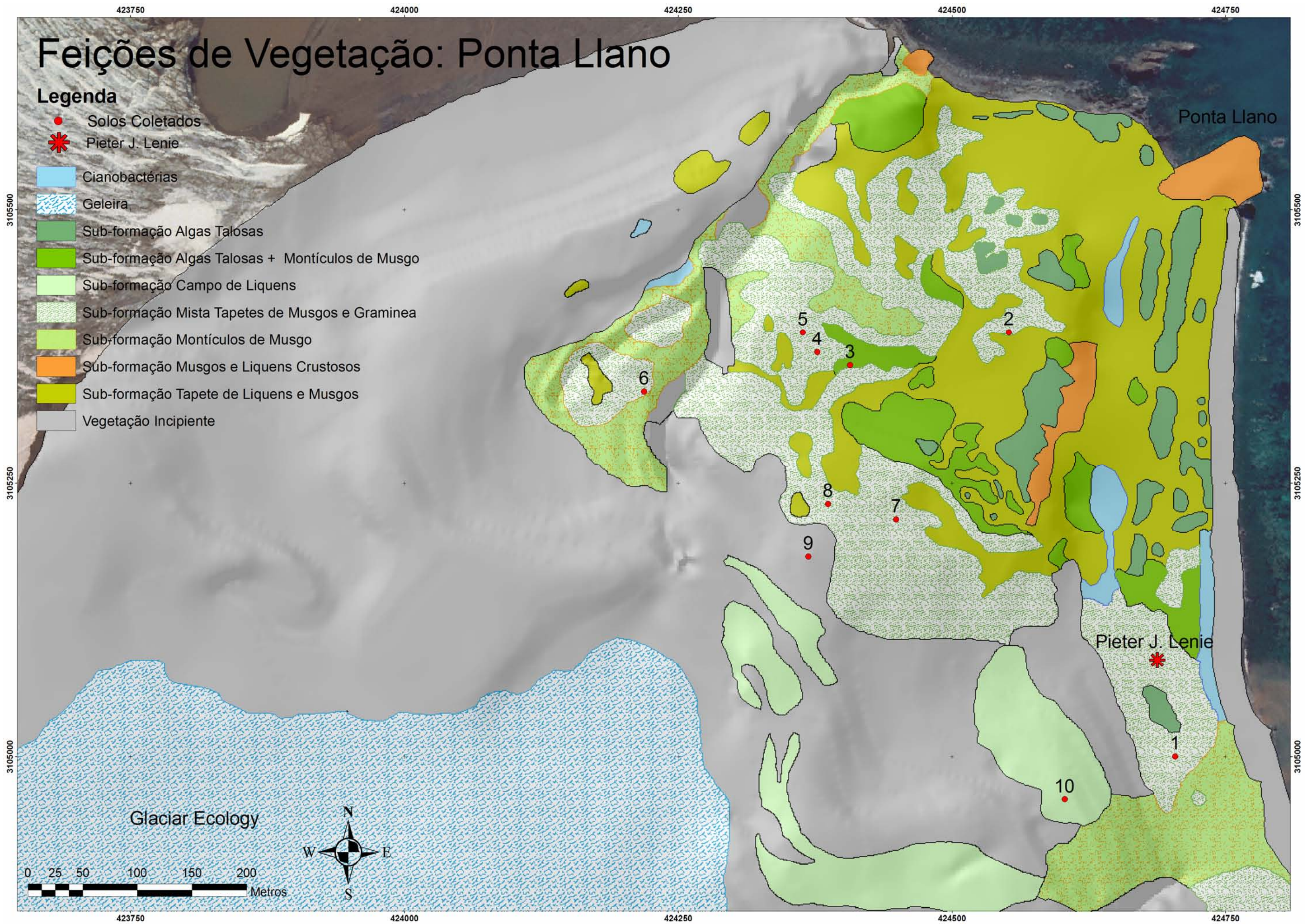


Figura-28: Mapa de Vegetação da Ponta Llano

4.8 Atributos Químicos – Aspectos Gerais

Muito pouco se conhece sobre a natureza físico-química e gênese dos solos derivados de rochas vulcânicas na Antártica Marítima, e pouco se fez em termos pedológicos desde o primeiro trabalho de compilação ampla de dados sobre Criossolos da Antártica realizado por CAMPBELL & CLARIDGE (1987). O entorno da Ponta Llano é formado por litologias vulcânicas de composição variada, desde tufos ácidos até basaltos, com predomínio de andesitos e rochas relacionadas. Em função de fatores como relevo, litologia, colonização biológica, aporte de sais marinhos, presença de aves e exposição de vertente, os solos da Ponta Llano apresentam notáveis variações morfológicas e químicas, apesar da constância do frio e da presença quase generalizada de permafrost.

4.8.1 Criossolos não Ornitogênicos (Perfis 9 e 10)

Estes solos apresentam características químicas comparáveis aos solos de desertos polares da Antártica, nos quais o teor de sais é bastante elevado. Em relação aos solos de áreas mais baixas, os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+ são mais elevados, o pH é mais elevado, e os teores de Al^{3+} comparativamente mais baixos. A estrutura granular presente parece estar associada à floculação de partículas finas devido a alta salinidade e a processos mecânicos durante os ciclos de congelamento.

Na parte mais elevada da toposequência, com características de solos rasos sobre rochas (Neossolo litólico, P9 e P10), os teores de P, embora elevados (185 a 323 mg dm^{-3}) são os mais baixos entre os solos estudados (Tabela-9), em virtude da baixa intensidade de aportes biogênicos. Os teores de Ca^{2+} são relativamente elevados e o Na^+ , oriundo de spray salino marinho, também. No solo P10 sob campo de Usnea, os teores de P são similares aos encontrados em P9, ambos em virtude do baixo grau de desenvolvimento e limitado aporte de excrementos. Diferem no pH sendo P10 de natureza ácida com considerável atividade de Al^{3+} , e P9 alcalino, fato provavelmente associado ao maior teor de carbono em P10, em função da

acumulação de restos dos líquens ali presentes. P10 se encontra em escarpa elevada a poucos metros do litoral, ponto de observação Skuas, o que faz com que este pedon raso apresente atualmente um ciclo biogeoquímico intenso. Foram observadas evidências de nidificação pretérita de Skuas neste solo, como pequenos fragmentos de ossos, indicando um grau moderado de influência ornitogênica. Ambos apresentam teores médios de micronutrientes sendo que P10 apresenta maiores teores de Zn^{2+} e Mn^{2+} .

4.8.2 Criosolos Ornitogênicos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8)– Aspectos Gerais

Na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, estes solos são comumente observados nos terraços marinhos ao longo da costa oeste onde a atividade de aves, principalmente *P. adeliae*, é a principal via de transferência de nutrientes do mar para a terra.

Os solos ornitogênicos podem ocorrer tanto em terraços atuais, em pingüineiras ativas, ou em paleoterraços (soerguidos isostaticamente devido ao recuo das geleiras), onde antigas pingüineiras foram abandonadas pelas aves em busca de áreas mais próximas ao mar.

Os solos desenvolvidos em pingüineiras atuais ou abandonadas distinguem-se claramente dos solos dos vales áridos em relação a diversas características químicas como: valores de pH mais baixos (3,8-5,8), valores de P disponível muito altos, alta atividade de Al^{3+} e níveis variáveis de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ no complexo de troca. Os solos próximos as pingüineiras atuais (P1 e P2) apresentaram os maiores teores de P disponível pelo extrator de Melich-1 (700-1800 mg/dm³), sendo a distribuição de P em profundidade regular. Os teores de Al^{3+} trocável são mais altos, portanto, grande parte do P pode estar em compostos Al-P de baixa cristalinidade, como proposto por TATUR & MYRCHA (1984).

Os solos localizados em terraços mais afastados das colônias atuais (P4, P5, P7) apresentam teores de P menos elevados, e evidenciam a transformação das formas de P e lixiviação em profundidade, onde formas reativas de Al são mais abundantes. Nestes solos, os valores de pH são mais elevados, com teores mais elevados de Ca^{2+} e Mg^{2+} e menores

teores de K^+ trocável, devido ao menor aporte atual de guano (rico em K) pela avifauna e maior desenvolvimento e lixiviação dos solos.

4.8.3 Criossolos Ornitogênicos Hísticos (P3 e P6)

Esta classe é caracterizada pelo alto grau de pedogênese, horizonte H expresso e pelos teores de P bem acima da média, com incremento em profundidade. São provavelmente produtos de uma colonização pretérita intensa e duradoura.

A concentração dos elementos estudados é fortemente afetada pela textura e mineralogia dos solos, mas denota a natureza quimicamente rica dos solos desenvolvidos de materiais vulcânicos na Ponta Llano, comuns aos solos da Antártica Marítima.

No P3, os valores de P em superfície são extremamente elevados, com algum incremento em profundidade, os valores de cálcio juntamente com Mg, são altos mantendo-se uma relação Ca/Mg 2:1 constante em todos os horizontes. O pH gira em torno de 4 sendo observado algum incremento de acidez trocável em profundidade. Com elevados teores de carbono, observa-se neste solo uma CTC efetiva elevada e uma CTC a pH 7 três vezes maior; indicativo da elevada polaridade da matriz mineral, dependente de pH, juntamente com o material orgânico presente. O perfil 6 pode ser considerado o mais desenvolvido coletado neste trabalho, localizado na área de recuo mais antiga da Ponta Llano, em uma moraina preservada da ação da erosão periglacial, apresenta intensa feições de ornitogênese. Seus teores de P e K^+ , embora elevados, são inferiores a P3, mas ambos apresentam uma formação pedogenética semelhante, expressa em graus diferentes. Existe um incremento de Na^+ em profundidade, fato pouco comum, possível evidência de sua antiga posição mais próxima da costa. Seus valores de pH são contrastantes com acidez em superfície e basicidade em profundidade. Este é um fator capaz de potencializar o processo de podzolização evidenciado pelos maiores teores de Fe^{2+} e elevados teores de carbono em profundidade. O P-rem em P6 mostrou-se baixo em todo o perfil, forte indicativo de influência de tufos vulcânicos no

material de origem, o que explica os valores muito elevados de Ca^{2+} e Mg^{2+} em profundidade (20 e 10 cmolc/dm^3 respectivamente). Os valores de N se mostraram baixos em ambos perfis, comprovando a natureza fíbrica de grande parte do material orgânico, calculando-se uma relação C/N em torno de 70 para os horizontes superficiais. Apresentam teores médios de micronutrientes sendo que P6 possui maiores teores de Zn^{2+} e Mn^{2+} , possível consequência do maior tempo de exposição.

4.8.4 Criosolos Ornitogênicos Gleicos (P1 e P2)

Os Criosolos Ornitogênicos Gleicos encontrados na Ponta Llano são de forma geral rasos, férteis, de textura franco arenosa, podendo apresentar alguma migração de partículas menores em profundidade. Recebem grandes quantidades de sedimentos e água de degelo, apresentando elevada saturação de água durante todo o verão. Quando situados em posições muito baixas na paisagem, como nos terraços marinhos, podem apresentar teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} muito elevados em virtude da contribuição de colônias de pingüins em atividade e proximidade do mar. Localizado próximo a um canal de degelo, o solo P2 recebe alta influência ornitogênica principalmente em superfície. Sua posição, abaixo de colônias ativas, faz com que lixiviados ricos aportem anualmente. Seu pH é ácido, com alta atividade de Al^{3+} , elevados teores de P e teores médios de K^+ . Seus teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e micronutrientes são médios, corroborando com a idéia de um ambiente sujeito à lavagem. O solo P1 no terraço marinho, reflete a química de um ambiente de acumulação recente, com pH em torno de 6,3, teores de P baixos para solos da região, com teor de K^+ semelhante a P2. Mostrou incremento das frações granulométricas menores em profundidade juntamente com aumento dos teores de P, Ca^{2+} e Mg^{2+} , sendo que estes dois últimos atingiram a casa de 20 e 10 cmolc /dm^3 , respectivamente.

4.8.5 Criossolos Ornitogênicos Túbicos (P4, P7 e P8)

Os Criossolos Ornitogênicos Túbicos descritos foram sempre profundos, bem drenados, com elevados valores de croma, com elevados teores de P, K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} . Apresentam-se completamente turbados, sendo ainda possível identificar horizontes enterrados. Todos foram colonizados no passado com diferentes intensidades, sendo comum encontrar bolsões com elevados teores de C, enterrados.

O perfil 4 localiza-se abaixo de uma área de nidificação da Petréis, apresentando ainda forte influência pretérita de pingüins, em sub-superfície. Seu pH é ácido apresentando elevada atividade de Al e altos teores de P com incrementos em profundidade (tabela-14). Este fato aliado a ocorrência de seixos indicam a presença de um horizonte enterrado. Os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} são elevados em superfície, diminuindo em profundidade. Valores de K^+ são elevados, em torno de 180 mg/dm^3 ; N é baixo, porém superior aos demais criossolos túrbicos e sua relação C/N está em torno de 50. Os perfis 7 e 8 estão localizados na mesma moraina, estando P8 em posição superior apresentando pH em torno de 4,0, enquanto que em P7, em torno de 5,0. Os teores de P são superiores em superfície para P8 sendo que a tendência se inverte para P7, fato que pode ser explicado pela atividade da fauna nas proximidades de P8 atualmente, enquanto a influência ornitogênica de P7 parece ser, na maior parte, pretérita. A maior profundidade de P8 se deve a camada ativa mais espessa em posição mais elevada da moraina, os valores mais elevados de Ca^{2+} e Mg^{2+} e a menor relação C/N de P8 corroboram com o maior desenvolvimento deste perfil. Foram encontrados teores de micronutrientes médios para ambos os perfis com maiores valores para P7, privilegiado pelo aporte de nutrientes de montante.

4.8.6 Criossolos Ornitogênicos Líticos (P5)

Os Criossolos Ornitogênicos Líticos da Ponta Llano são caracterizados por uma delgada camada ativa e teores de nutrientes elevados e baixos teores de argila. Em P5, desenvolvido

abaixo de uma colônia de Petréis, os teores de P e Ca^{2+} são altos em superfície, com incremento de P em profundidade, e indícios de movimentação ou influências pretéritas. Os teores de K, Ca^{2+} e Mg^{2+} são médios com estreita relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$, o pH é baixo, com considerável atividade de Al, os valores de micronutrientes são baixos com destaque para o Mn^{2+} com valores em torno de 5,1 cmoc/dm³ (tabela-14).

A adsorção de anions específicos como fluoretos e fosfatos ocorre extensivamente em minerais amorfos como alofanas e imogolitas (Wada, 1992). Grandes quantidades de hidroxila são substituídas por anions quando a adsorção acontece. Este efeito é observado em soluções de 50ml de NaF 1M e 1 grama de solo após dois minutos (Fields e Perrott, 1966), um pH final superior a 9.4 indica que a amostra contém quantidade apreciável de alofana. Apesar de sua utilidade o teste pode não é conclusivo, uma vez que o reagente irá interagir com qualquer Al associado a hidroxilas, como no caso de fosfatos de alumínio, abundantes na área de estudo.

Vários dos perfis estudados apresentaram pH em NaF 1 M superior a 9,4 (tabela-13) chegando a valores superiores a 11. Os perfis 6, 7, e 8 também apresentam elevada capacidade de adsorção de fósforo, um indicativo de que parte de sua argila deriva de alofanas ou estruturas semelhantes. Os perfis 1 e 2, localizados em regiões fortemente influenciadas por material alóctone e lixiviados, expressam pH em NaF 1 M elevado e elevados teores de p-rem, um indicativo de que grande parte das hidroxilas deslocadas para a solução pelo reagente se originaram minerais contendo Al.

Tabela 13: Valores de pH dos perfis coletados (H₂O, KCl, NaF, CaCl₂)

Perfil	pH			
	H ₂ O	KCl	NaF	CaCl ₂
Copa 1- Criossolo Ornitogênico Gleico				
10-20	6,26	3,97	10,39	4,84
20-30	6,37	4,10	10,42	5,09
30-40	6,40	4,36	10,38	5,58
40-50	6,70	4,41	10,48	5,50
Copa 2- Criossolo Ornitogênico Gleico				
10-20	4,22	3,17	8,47	3,61
20-30	4,19	3,11	9,42	3,44
30-40	4,12	3,00	9,48	3,47
40-50	4,14	3,20	10,25	3,57
Copa 3- Criossolo Ornitogênico Hístico				
0-10	5,02	3,86	9,52	4,05
10-20	4,81	3,44	8,27	3,64
20-30	4,61	3,41	8,41	3,62
30-40	4,60	3,42	8,55	3,64
40-50	4,32	3,31	9,10	3,64
Copa 4- Criossolo Ornitogênico Túrbico				
0-10	4,75	3,29	8,72	3,63
10-20	4,50	3,17	8,42	3,49
20-30	4,33	3,02	8,48	3,45
30-40	4,15	3,01	8,43	3,43
40-50	4,16	3,26	8,65	3,44
50-60	4,09	3,15	8,33	3,37
Copa 5- Criossolo Ornitogênico Lítico				
0-10	4,52	3,43	7,96	3,79
10-20	4,83	3,07	9,13	3,74
20-30	4,50	2,91	9,55	3,60
30-40	4,34	2,98	9,38	3,53
40-50	4,50	3,00	9,28	3,49
Copa 6- Criossolo Ornitogênico Hístico				
0-10	4,62	3,64	9,29	3,95
10-30	4,60	3,65	9,06	3,87
30-55	4,59	3,63	8,47	3,84
55-80	5,05	3,51	10,52	4,12
80-100	5,94	3,88	9,88	4,49
100-120	6,95	5,08	9,78	6,45
Copa 7- Criossolo Ornitogênico Túrbico				
0-15	5,21	3,73	10,07	4,29
15-50	5,34	3,67	10,28	4,07
50-70	5,16	3,64	10,72	3,96
70-80	5,45	3,66	10,89	4,03
80-120	5,54	3,54	11,44	4,20
Copa 8- Criossolo Ornitogênico Hístico				
10-20	4,75	3,42	8,76	3,82
20-30	4,99	3,49	9,25	3,84
30-40	4,86	3,53	9,56	3,82
40-50	5,05	3,71	11,05	3,96
50-60	4,93	3,74	11,19	3,98
Copa 9- Criossolo Léptico				
0-10	5,87	4,35	9,94	6,04
10-20	7,10	6,14	10,24	6,87
20-30	7,76	5,66	10,41	7,35
30-40	8,16	6,31	10,53	7,36
40-50	7,98	6,39		
50-60	8,45	6,55		
Copa 10- Criossolo Lítico				
0-10	5,16	3,54	9,32	4,03

H₂O: pH em água 1:2,5; KCl: pH em KCl 1 mol/L; CaCl₂: pH em CaCl₂ 0,01 mol/L; NaF: pH em NaF 1 mol/L

Tabela-14: Atributos químicos dos perfis coletados

Horiz.	pH	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC(t)	CTC(T)	N	V	m	IsNa	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	Cor
	H ₂ O	mg/dm ³			cmolc/dm ³	cmolc/dm ³			cmolc/dm ³			%					mg/dm ³				
Copa 1- Criossolo Ornitógeno Gleico																					
10-20	6,2	117,0	153	206	15,0	17,7	2,4	7,0	34,0	36,4	41,0	0,08	82,9	6,6	2,4	22,2	0,52	75,70	13,10	5,35	5YR4/3
20-30	6,3	125,3	154	214	18,5	19,0	1,0	4,8	38,9	39,9	43,7	0,06	89,0	2,7	2,3	28,9	0,38	62,90	11,40	4,40	7,5YR5/2
30-40	6,4	236,6	169	226	22,1	19,5	0,2	3,0	43,1	43,3	46,1	0,05	93,5	0,7	2,2	29,7	0,48	66,60	19,20	5,24	7,5YR5/2
40-50	6,7	412,3	115	182	20,4	14,9	0,2	4,8	36,5	36,8	41,3	0,06	88,4	0,8	2,1	37,0	5,10	179,50	10,80	8,38	5YR4/2
Copa 2- Criossolo Ornitógeno Gleico																					
10-20	4,2	819,9	150	146	1,1	0,5	6,8	22,8	2,7	9,5	25,5	0,10	10,8	71,1	6,6	34,6	0,84	129,00	1,80	6,33	10YR3/3
20-30	4,2	1002,2	162	164	1,1	0,5	6,8	25,7	2,8	9,6	28,5	0,04	9,9	70,8	7,4	29,9	0,91	150,00	1,80	7,22	10YR3/1
30-40	4,1	673,4	150	158	1,3	0,6	8,8	25,7	3,0	11,8	28,7	0,04	10,5	74,6	5,8	38,9	0,89	162,20	2,00	5,38	10YR3/1
40-50	4,1	487,3	168	128	1,3	0,6	9,8	24,4	3,0	12,8	27,4	0,10	10,9	76,6	4,4	35,1	0,76	169,00	2,30	4,63	10YR3/1
Copa 3- Criossolo Ornitógeno Hístico																					
0-10	5,0	933,0	144	184	3,3	1,3	1,8	18,8	5,8	7,6	24,6	0,17	23,8	23,4	10,4	32,8	2,43	117,20	10,30	5,67	10YR3/3
10-20	4,8	561,9	196	162	3,7	1,3	3,8	24,4	6,2	10,0	30,6	0,10	20,4	37,8	7,0	39,8	1,57	164,30	9,40	6,41	10YR3/2
20-30	4,6	695,9	198	204	3,8	1,5	4,6	23,8	6,7	11,3	30,5	0,15	22,1	40,5	7,8	36,2	1,56	182,90	8,30	6,68	10YR2/2
30-40	4,6	658,4	182	146	3,3	1,1	3,8	29,4	5,5	9,3	34,9	0,17	15,8	40,8	6,8	28,0	1,42	151,50	8,20	5,87	7,5YR4/3
40-50	4,3	950,3	196	174	3,6	1,2	6,2	38,9	6,1	12,3	45,0	0,13	13,7	50,2	6,1	23,5	1,58	177,50	8,20	5,32	10YR4/3
Copa 4- Criossolo Ornitógeno Túrbico																					
0-10	4,8	414,2	200	232	3,5	2,5	5,6	11,9	7,6	13,2	19,5	0,08	39,2	42,2	7,6	26,6	3,91	150,80	8,60	10,65	10YR3/2
10-20	4,5	712,4	260	216	2,2	1,1	6,6	28,0	4,9	11,5	32,9	0,08	15,1	57,0	8,1	30,9	3,59	158,60	5,50	12,62	10YR4/2
20-30	4,3	1033,6	280	204	1,7	0,7	5,4	33,3	4,1	9,5	37,4	0,08	11,0	56,7	9,3	35,9	3,52	165,40	5,60	12,22	10YR4/2
30-40	4,2	945,9	236	152	1,7	0,7	5,2	34,7	3,7	8,9	38,4	0,10	9,8	58,1	7,4	38,0	2,42	170,30	5,20	10,56	10YR4/2
40-50	4,2	1118,6	164	90	1,4	0,6	3,8	22,8	2,8	6,6	25,6	0,12	11,0	57,4	5,9	37,7	1,48	190,70	5,40	15,42	7,5YR3/3
50-60	4,1	722,2	170	100	1,6	0,7	4,2	33,0	3,2	7,4	36,2	0,09	8,9	56,5	5,8	34,0	2,15	172,10	4,80	12,67	7,5YR3/3
Copa 5- Criossolo Ornitógeno Lítico																					
0-10	4,5	258,0	145	188	2,0	2,2	3,1	16,5	5,4	8,6	21,9	0,11	24,9	36,7	9,5	44,3	1,94	175,70	5,10	6,20	5YR3/4
10-20	4,8	494,5	179	210	1,8	1,4	5,8	23,1	4,6	10,4	27,7	0,06	16,6	56,0	8,7	31,9	2,71	195,00	4,00	6,98	5YR4/3
20-30	4,5	803,3	197	202	1,2	0,7	5,8	29,9	3,3	9,2	33,2	0,05	10,1	63,6	9,5	34,7	3,35	292,00	2,90	10,52	7,5YR4/3
30-40	4,3	1185,8	179	184	1,3	0,6	5,6	31,7	3,2	8,9	34,9	0,06	9,3	63,5	9,0	33,1	1,65	409,40	2,90	11,53	7,5YR5/4
40-50	4,5	981,0	143	125	1,9	1,0	8,5	31,8	3,9	12,4	35,7	0,06	10,9	68,6	4,3	37,7	0,99	404,20	4,50	10,11	5YR4/4
Copa 6- Criossolo Ornitógeno Hístico																					
0-10	4,6	264,0	80	172	2,9	2,4	5,6	22,5	6,2	11,9	28,7	0,15	21,8	47,4	6,2	11,1	20,30	260,50	28,90	6,98	7,5YR3/3
10-30	4,6	322,7	66	111	0,7	0,5	2,5	16,8	1,9	4,4	18,7	0,20	10,5	55,8	10,7	13,1	11,35	342,50	4,80	4,52	5YR3/4
30-55	4,5	293,5	56	79	0,9	0,4	1,9	15,0	1,8	3,7	16,8	0,18	10,7	51,6	9,2	19,8	1,57	356,50	2,20	8,36	7,5YR3/3
55-80	5,0	418,0	282	170	0,2	0,1	0,0	20,8	1,4	1,4	22,2	0,04	6,6	0,0	50,6	21,3	8,61	225,90	45,70	14,64	7,5YR4/4
80-100	5,9	342,3	381	257	19,2	9,58	1,2	6,7	30,9	32,2	37,6	0,01	82,2	3,9	3,4	31,4	2,03	176,20	28,10	11,6	5YR4/3
100-120	6,9	357,0	367	301	21,1	10,2	0,0	2,2	33,6	33,6	35,8	0,00	93,9	0,0	3,9	47,1	10,45	144,90	42,20	12,51	5YR5/2
Copa 7- Criossolo Ornitógeno Túrbico																					
0-15	5,2	177,6	129	214	5,2	6,9	6,0	16,5	13,4	19,5	29,9	0,07	44,9	31,0	4,7	12,5	1,57	148,30	9,60	5,17	7,5YR4/3
15-50	5,3	219,2	117	206	3,2	4,1	8,5	21,4	8,6	17,1	30,0	0,07	28,7	49,8	5,2	8,1	1,30	165,30	7,10	5,41	5YR5/4
50-70	5,1	465,2	89	186	1,7	1,7	11,4	0,8	4,5	15,9	5,3	0,07	84,9	71,7	5,0	13,2	0,59	278,70	7,70	8,06	7,5YR4/4
70-80	5,4	515,1	89	182	1,9	1,8	14,3	26,8	4,8	19,1	31,6	0,04	15,3	74,7	4,1	9,0	1,61	314,00	17,10	6,68	5YR4/4
80-120	5,5	292,3	117	237	3,6	4,1	10,7	23,6	9,1	19,9	32,7	0,02	28,0	53,9	5,1	19,3	7,56	136,40	9,20	4,12	5YR5/2
Copa 8- Criossolo Ornitógeno Hístico																					
10-20	4,7	221,5	103	158	2,2	3,6	6,8	18,8	6,7	13,6	25,5	0,09	26,5	50,1	5,0	17,4	0,87	246,60	5,60	4,82	7,5YR4/4
20-30	4,9	241,3	76	138	1,7	2,4	6,8	19,2	5,0	11,8	24,2	0,07	20,7	57,6	5,1	15,3	2,41	239,80	3,60	4,51	7,5YR4/4
30-40	4,8	353,0	85	123	1,5	1,6	9,0	24,6	3,9	12,9	28,5	0,08	13,8	69,7	4,1	7,6	0,55	345,20	3,10	9,53	7,5YR4/4
40-50	5,0	171,0	60	89	1,6	1,4	10,7	21,5	3,6	14,3	25,1	0,06	14,3	74,9	2,7	8,1	1,07	311,50	4,50	5,16	7,5YR4/6
50-60	4,9	180,9	83	93	1,8	1,3	12,3	0,8	3,7	16,1	4,5	0,04	82,5	76,6	2,5	9,3	0,59	295,30	4,40	4,68	5YR5/4
Copa 9- Criossolo Léptico																					
0-10	5,9	185,3	228	396	15,4	5,0	0,2	4,6	22,7	22,9	27,3	0,06	83,2	0,9	7,5	33,7	0,88	100,60	80,60	12,97	10YR5/2
10-20	7,1	392,2	244	388	7,8	4,9	0,0	0,0	15,1	15,1	15,1	0,01	100,0	0,0	11,2	37,7	0,62	123,80	91,00	17,91	10YR2/2
20-30	7,8	290,3	224	376	8,1	2,6	0,0	0,0	13,0	13,0	13,0	0,00	100,0	0,0	12,5	38,3	0,49	131,60	61,10	15,32	10YR3/2
30-40	8,2	245,9	216	320	7,7	4,6	0,0	0,0	14,3	14,3	14,3	0,00	100,0	0,0	9,7	38,5	0,36	127,40	64,10	15,33	10YR3/2
40-50	8,0	323,8	244	380	7,8	4,4	0,0	0,0	14,5	14,5	14,5	0,00	100,0	0,0	11,3	40,6	0,47	135,90	57,30	17,31	10YR3/2
50-60	8,5	297,7	232	344	7,8	4,4	0,0	0,0	14,3	14,3	14,3	0,00	100,0	0,0	10,4	38,4	0,18	131,80	55,50	15,77	10YR3/2
Copa 10- Criossolo Lítico																					
0-10	5,1	205,5	167	190	3,1	5,6	7,0	20,4	10,0	17,0	30,4	0,07	33,0	41,1	4,8	19,7	1,09	198,00	5,50	4,49	5YR4/2

Ph: H₂O 1:2,5; P-Na-K-Fe-Zn-Mn-Cu: Melich-1; Ca-Mg-Al: KCl 1 N; H+Al: Acetato de Cálcio 0,5 N; S: Soma de Bases; CTA(t): Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC(T): Capacidade de Troca Catiônica pH 7,0; V: Índice de Saturação de Bases; m: Índice de saturação de Alumínio; IsNa: Índice de saturação de Sódio; P-Rem: Fósforo Remanescente.

4.9 Caracterização das diferentes frações de P nos solos estudados

4.9.1 P Total

Os teores totais de P dos solos ornitogênicos foram sempre muito superiores em relação aos solos não ornitogênicos, o que representa um excelente indicador da ornitogênese nos solos antárticos (tabela-9). Por outro lado, áreas localizadas em posições mais estáveis na paisagem, como o perfil 10, apresentaram elevados teores de P, atingindo 4222,06 mg/dm³ (tabela15). De forma geral os teores foram similares, porém sempre inferiores aos relatados por TATUR *et al.* (1997) para solos ornitogênicos da Ponta Stranger, onde foi utilizada metodologia semelhante, capaz de abrir a amostra de forma completa. Grandes diferenças nas concentrações totais de P foram encontradas em função da posição na paisagem. Essas diferenças, em horizontes profundos indicam não só a heterogeneidade do material de origem, a crioturbação, como também a forte influência do aporte de guano em toda a área.

4.9.2 Frações Inorgânicas

A fração de P prontamente disponível (Pi-resina + Pi- NaHCO₃) foi responsável por pequena parte do P total na maioria dos solos; variando de 8 a 18% em solos sob a influência ornitogênica (figura-29). Os valores de Pi-NaOH representaram 50 a 90% do P total nos perfis influenciados por pinguins, 48 a 60% naqueles influenciados por Petréis (P5, P6 e P8) e 18 a 37% nos solos não ornitogênicos (figura-28). Esta é uma fração moderadamente lábil e representa a maior fonte de P para solos sob influência ornitogênica.

Os valores de P inorgânico extraído com H₂SO₄ foram elevados, sendo a segunda fração de maior importância para solos ornitogênicos, e para o perfil 10; foi a fração de maior importância no perfil 1, localizado no terraço marinho (tabela-9). Esta fração é de grande importância para o ambiente da ponta Llano, por representar uma fonte de maior alta estabilidade, parte em apatita primária, e de resíduos de ossos em colônias abandonadas. A relação entre esta fração e o P total do solo pode ser utilizada para estimar o grau de

desenvolvimento dos solos, o que talvez não se justifique para solos ornitogênicos. Na maioria das amostras esta relação foi maior para os perfis ornitogênicos (perfis 3, 4, 5, 6), alcançando valores muito baixos para solos sob influência ocasional de guano (perfis 2 e 9). No caso específico de solos ornitogênicos, onde a fosfatização é o processo dominante (SCHAEFER et al, 2004), a presença de fosfatos de cálcio de origem biogênica é um indicador de sítios pouco desenvolvidos do ponto de vista pedogenético.

4.9.3 Frações Orgânicas

As frações orgânicas, compostas por Po-NaHCO₃ e Po-NaOH tiveram uma contribuição relativa média no P total (4-10% em colônias abandonadas, 6-21% em perfis fertilizados por Petreis e até 40% no perfil-4) (tabela-15). O compartimento orgânico foi sempre superior para solos localizados em áreas de colônias abandonadas, sendo possível identificar influências distintas em superfície e sub-superfície, no perfil-5. Em todos os perfis, concentrações variáveis foram encontradas em diferentes horizontes, sempre acompanhando o comportamento do material orgânico. Elevados valores de Po-NaOH em horizontes profundos representa um indicativo de elevada mobilidade de P-orgânico solúvel, mobilizado até a parte superior do permafrost. Po-NaOH foi a fração de P extraída mais expressiva, sendo esta forma particular de acumulação característica de solos com aporte limitado de P, em condições tropicais (ARAUJO *et al.*, 2004). A razão C/Po variou de 45 a 83, alcançando 684 apenas para o horizonte superficial do P1. Em condições úmidas de frio extremo a matéria orgânica do solo tende a ser preservada, sendo assim acompanhada do P orgânico, que aparenta ser estável, pois a baixa temperatura resulta em menor decomposição do material orgânico e relações C/Po baixas. Trabalhos anteriores de caracterização de ácidos orgânicos da Antártica Marítima revelam uma estrutura alifática rica em proteínas, moléculas ricas em P (ARAUJO *et al.*, 2004).

Tabela-15: Diferentes frações de P dos perfis coletados

Horizon	Frações Inorgânicas			Frações Orgânicas				Total-P	P-Lábil	P-Orgânico
	Resina	NaCO3-Pi	NaOH-Pi	H2SO4-Pi	NaCO3-Po	NaOH-Po	Residual-P			
mg/kg (ppm)										
Copa 1- Criossolo Ornitológico Gleico										
0-10	78,42	150,44	427,64	1684,70	13,42	19,32	61,11	2435,06	261,61	32,74
10-20	73,97	276,82	245,81	1380,78	85,23	14,67	47,10	2124,37	450,68	99,90
20-30	58,88	71,76	487,34	963,60	4,82	7,71	37,11	1631,21	143,16	12,53
30-40	92,26	275,32	516,24	1843,94	16,24	12,45	53,26	2809,72	396,28	28,69
Copa 2- Criossolo Ornitológico Gleico										
10-20	656,22	859,62	16430,93	36,67	84,56	158,44	9,69	18236,12	1758,84	243,00
20-30	670,23	980,49	15229,75	35,64	145,56	123,41	63,00	17248,08	1919,70	268,97
30-40	946,10	1126,21	16366,28	40,52	342,76	140,24	105,11	19067,21	2555,31	483,00
Copa 3- Criossolo Ornitológico Hístico										
0-10	593,77	1109,62	9793,91	2065,08	1014,21	477,39	123,93	15177,90	3194,98	1491,60
10-20	636,57	1052,77	11589,75	1853,54	315,33	612,48	73,68	16134,11	2617,15	927,81
20-30	823,86	1116,98	9682,09	1276,75	372,64	1181,03	56,34	14509,70	3494,51	1553,67
30-40	877,10	1258,44	9121,84	4106,49	452,53	1208,14	118,22	17142,77	3796,21	1660,67
40-50	1080,33	753,28	13426,48	2771,49	253,73	1277,36	109,08	19671,74	3364,70	1531,09
Copa 4- Criossolo Ornitológico Túrbico										
0-10	622,54	1206,45	13184,26	3518,67	360,99	586,27	110,21	19589,38	2776,24	947,26
10-20	944,58	1979,16	17905,76	3523,44	163,39	789,85	117,35	25423,53	3876,98	953,24
20-30	1040,27	1679,50	17880,64	2163,91	381,06	812,15	160,19	24117,73	3912,98	1193,21
30-40	1203,68	450,83	12874,72	995,05	413,46	642,23	110,34	16690,32	2710,20	1055,69
40-50	1201,73	1320,74	9235,99	2358,29	462,23	1023,25	100,71	15702,93	4007,94	1485,48
Copa 5- Criossolo Ornitológico Lítico										
10-20	181,58	554,65	4020,49	1314,66	278,97	277,97	59,55	6687,87	1293,17	556,94
10-20	500,39	909,74	11598,96	3167,98	142,06	963,07	123,87	17406,06	2515,25	1105,13
20-30	769,60	1548,50	15085,02	3238,97	221,52	955,23	142,56	21961,40	3494,85	1176,75
30-40	805,61	1705,40	15265,68	2930,26	279,64	949,79	116,22	22052,61	3740,44	1229,43
40-50	801,45	1249,91	9479,16	1539,38	234,09	1207,85	28,74	14540,58	3493,30	1441,94
Copa 6- Criossolo Ornitológico Hístico										
0-10	242,87	541,40	2943,18	881,40	151,68	1163,81	85,86	6010,20	2099,76	1315,49
10-30	211,17	501,88	2747,79	779,90	242,84	723,71	72,77	5280,06	1679,60	966,54
30-55	222,01	489,75	3123,39	560,43	247,80	979,18	101,24	5723,81	1938,75	1226,99
55-80	351,09	635,36	4019,76	1724,08	89,96	163,45	148,21	7131,89	1239,85	253,40
80-100	151,22	307,38	858,50	1664,52	17,16	18,49	78,74	3096,00	494,25	35,65
100-120	65,87	76,02	68,06	1596,42	12,77	7,33	51,75	1878,23	162,00	20,10
Copa 7- Criossolo Ornitológico Túrbico										
0-15	123,38	352,42	2186,10	1333,74	182,33	430,88	171,03	4779,87	1089,01	613,21
15-50	229,02	528,98	3625,23	1043,05	267,67	518,40	94,40	6306,74	1544,07	786,06
50-70	299,73	613,89	6426,14	1306,63	178,63	407,35	167,79	9400,16	1499,59	585,98
70-80	278,38	623,32	6562,16	2312,22	255,28	450,32	152,69	10634,36	1607,30	705,60
80-120	205,99	574,37	7453,93	1268,86	35,02	490,45	95,86	10124,48	1305,84	525,47
Copa 8- Criossolo Ornitológico Hístico										
0-10	275,39	386,78	1678,43	1206,26	179,35	400,30	142,60	4269,10	1241,81	579,65
10-20	235,68	490,01	2177,56	1107,92	186,90	504,21	171,96	4874,24	1416,79	691,11
20-30	310,62	492,30	2971,21	1201,15	202,70	439,06	76,53	5693,57	1444,68	641,75
30-40	148,26	229,41	2023,50	624,85	108,32	98,12	43,02	3275,49	584,11	206,44
40-50	98,05	253,70	2027,97	1565,07	88,16	10,32	48,52	4091,78	450,23	98,47
Copa 9- Criossolo Léptico										
0-10	49,99	81,26	75,13	16,52	21,52	151,90	38,37	434,69	304,67	173,42
10-20	34,49	38,71	88,44	16,76	13,64	38,52	35,14	265,70	125,36	52,16
20-30	26,15	24,67	17,00	17,20	3,02	25,41	33,00	146,45	79,25	28,43
30-40	19,49	17,40	92,97	17,12	4,93	18,84	39,41	210,16	60,66	23,77
40-50	23,98	28,22	27,35	16,87	6,21	14,32	0,00	116,95	72,73	20,53
Copa 10- Criossolo Lítico										
0-10	286,95	628,61	1603,15	1172,56	282,39	136,24	112,16	4222,06	1334,19	418,63

Resina: Resina Aniônica; NaCO3-Pi: bicarbonato de sódio 0,5 mol/L fração inorgânica; NaOH-Pi: hidróxido de sódio 0,1 mol/L fração inorgânica; H2SO4-Pi: Ácido Sulfúrico e Peróxido de Hidrogênio; NaCO3-Po: Bicarbonato de Sódio 0,5 mol/L-fração orgânica; NaOH-Po: Hidróxido de Sódio 0,1 mol/L fração orgânica

Contribuição Relativa das Diferentes Formas de P

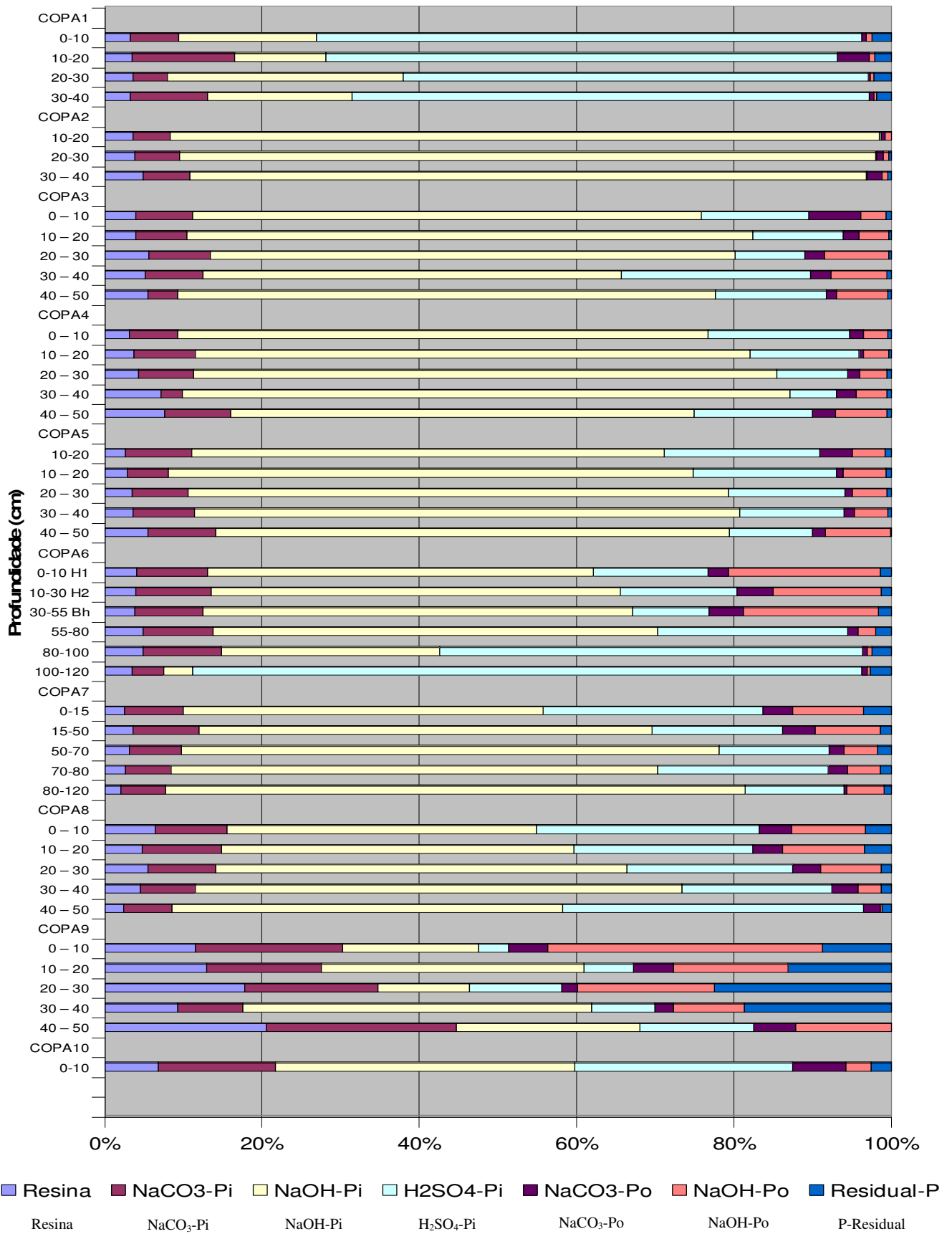


Figura-29: Contribuição relativa das diferentes formas de P

4.10 Enxofre

De uma forma geral, toda a área em estudo apresenta elevado fator capacidade e teores de S, considerados bons a muito bons pelos critérios de fertilidade do estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999), concentrados predominantemente nas formas orgânicas facilmente mineralizáveis em superfície, formas sulfetadas em sub-superfície (ALBUQUERQUE FILHO, 2005) e formas solúveis ou fracamente adsorvidas à fração mineral (Tabela 16). Os valores foram sempre mais elevados para perfis com influência ornitogênica marcante, sendo que o terraço marinho apresentou valores de S orgânico muito acima da média geral, como possível consequência de sua posição na paisagem, sobre uma planície fluvioglacial de acumulação. O perfil 10, localizado em um platô vegetado por *Usnea Antarctica* apresentou valores muito elevados, levando-se em consideração o aporte limitado de material orgânico exclusivo de líquens. Houve pouca correlação dos valores encontrados para as diversas frações de S e o P extraído com Melich-1; apesar de ambos os elementos supostamente entrarem no sistema predominantemente via aporte orgânico, os valores de referência para a área são expressivos e os respectivos comportamentos químicos na área em estudo diferem muito.

Foi observada lixiviação de varias formas de S através do perfil, principalmente na fração extraída em acetato de amônio (S-ac) e resina de troca aniônica (S-resin), que corresponde ao S em solução e aquele fracamente adsorvido a fração mineral do solo (ALVAREZ *et al.* 2001). O S quantificado pela oxidação parcial da matéria orgânica do solo, supostamente enxofre orgânico da oxidação forte, foi influenciado pela presença de sulfetos em sub-superfície, conforme demonstrado para outros solos da região por ALBUQUERQUE FILHO (2005), notando-se mesmo certa tendência de maiores valores em profundidade; em superfície os valores se relacionaram com o enxofre de origem orgânica, o que denota a pouca capacidade de distinção da metodologia no que se refere às frações orgânicas e formas

reduzidas de S. Desta forma, pouca correlação foi encontrada para S-MO e os teores de carbono orgânico total (COT) das amostras.

O S extraído com resina de troca aniônica (48h de agitação), ou S rapidamente lábil foi significativo para todos os perfis estudados (tabela 16), representando a segunda maior fração para muitos dos solos. Foi sempre superior para os solos ornitogênicos, atingindo valores muito altos em profundidade, um resultado que pode estar fortemente influenciado pela variação sazonal das formas de S nos solos devido as altas taxas de mineralização do verão. A fração extraída com cloreto de cálcio (S-c), correspondente ao $S-SO_4^{-2}$ em solução e $S-SO_4^{-2}$ fracamente adsorvido, se mostrou pouco expressiva sob condições de frio extremo, estando presente em maiores quantidades apenas nos solos 5 e 6, sobre forte influência ornitogênica, onde a oxidação é maior (figura 30). Os valores de S-ac se mostraram superiores aos de S-c para a totalidade dos perfis, um indicativo de que o $S-SO_4^{-2}$ presentes no solo se encontra fortemente adsorvido ou ligado ao material orgânico. DIAS (1992) encontrou comportamento inverso para solos arenosos após adição de diferentes doses de S, um indicativo de que apesar dos solos em estudo apresentarem textura grosseira a natureza do material coloidal mineral (alofanas) aliada ao pH do solo, confere a este elevada capacidade de adsorção de sulfatos, característico de solos mais argilosos. Os expressivos valores de S extraído com monofosfato de cálcio (S-p), capaz de extrair formas mais fortemente adsorvidas corroboram com esta idéia. FARINA & CHANNON (1988) sugerem que a diferença entre S-p e S-c pode refletir a adsorção ou precipitação de sulfatos.

Tabela-16: Diferentes Formas de S nos Solos amostrados, Ponta Llano, Ilha Rei George

Perfil	Ch ₃ Cooh/Ch ₃ CooNH ₄ mg/dm ³	CaCl ₂	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	Oxidação parcial	Resina
Copa 1- Criossolo Ornitogênico Gleico					
10-20	5,74	1,42	0,77	111,70	20,15
20-30	4,81	0,00	0,07	52,66	18,07
30-40	4,46	1,25	4,78	27,33	18,30
40-50	4,39	0,25	0,91	92,45	18,76
Copa 5- Criossolo Ornitogênico Lítico					
0-10	7,52	4,11	17,01	57,23	13,23
10-20	14,35	4,79	19,33	75,22	79,22
20-30	36,79	5,80	27,07	69,39	62,60
30-40	36,98	9,16	22,43	56,21	50,84
40-50	14,07	2,26	4,99	52,92	15,07
Copa 6- Criossolo Ornitogênico Hístico					
0-10	12,43	4,79	8,09	64,32	17,15
10-30	36,30	5,29	9,70	57,99	17,38
30-55	5,45	12,36	13,71	53,17	18,30
55-80	6,02	2,10	0,00	24,29	18,30
80-100	3,25	1,59	0,14	78,76	15,53
100-120	12,08	0,75	15,54	23,78	11,84
Copa 7- Criossolo Ornitogênico Túrbico					
0-15	9,16	3,44	3,80	49,37	17,38
15-50	8,52	1,09	0,56	64,32	15,07
50-70	8,23	1,93	0,49	59,00	17,84
70-80	9,16	0,75	2,46	51,90	33,07
80-120	7,02	1,59	0,00	25,81	16,92
Copa 8- Criossolo Ornitogênico Hístico					
10-20	8,52	3,27	2,67	49,12	29,38
20-30	7,73	2,60	1,76	49,37	22,46
30-40	7,80	0,00	1,13	63,05	22,22
40-50	12,00	2,43	4,43	25,55	18,07
50-60	36,37	2,94	9,49	17,70	30,76
Copa 10- Criossolo Lítico					
0-10	11,86	7,31	5,55	45,06	24,53

Ch₃Cooh/Ch₃CooNH₄: Acetato de Amônio 0,5 mol/l e Ácido Acético 0,25 mol/l; CaCl₂: Cloreto de Cálcio 10mmol/l;
Oxidação parcial: Oxidação parcial da matéria orgânica; Resina: Resina de troca aniônica.

Difrentes Formas de S no solo

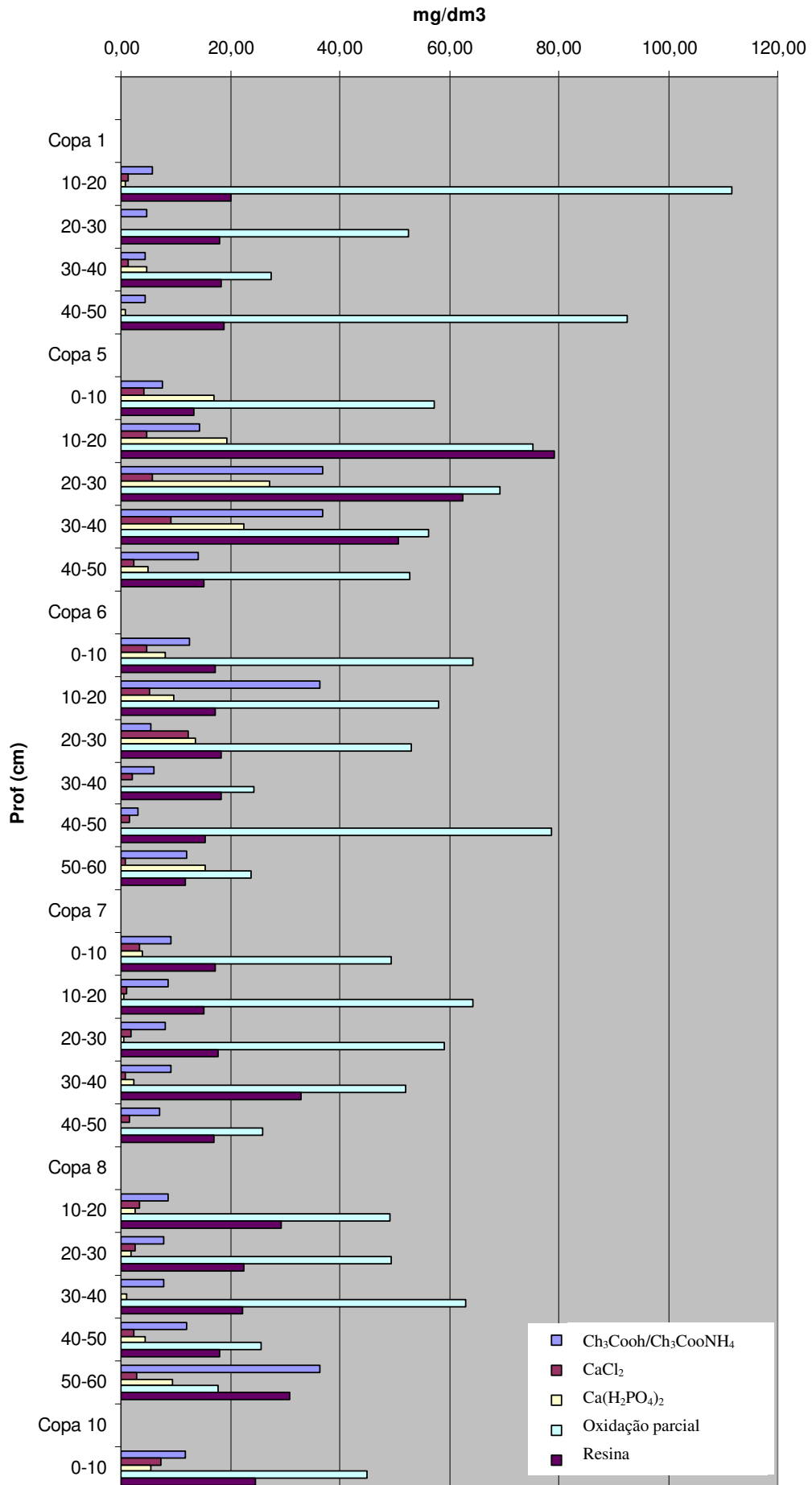


Figura-30: Teores de S nas diferentes frações analisadas

4.11 Carbono Orgânico e Suas Frações

Devido à intensa crioturbação, o material orgânico foi incorporado em profundidade; os horizontes de forma geral mostram pouca diferença em cor e croma com transições difusas, típicas de Criossolos Antárticos.

Os conteúdos de carbono orgânico foram, em geral, altos devido à elevada preservação do material em condições de frio intenso; os horizontes superficiais de todos os perfis apresentaram pouca diferença (por volta de 30%) para valores de C orgânico determinados por NELSON & SOMMERS (1982) e YOEMANS & BREMNER (1998). Estes resultados demonstram que mesmo as frações mais estáveis do material orgânico são compostas por moléculas facilmente degradáveis combinadas, com uma matriz fíbrica.

A relação FAH/FAF mostrou valores em torno de 1,0 para horizontes superficiais, com rápido incremento em profundidade para os perfis P2 e P4, atingindo 1,39 em P3, estes resultados são um indicativo de que o material orgânico migra em profundidade, seja por crioturbação ou lavagem, atingindo camadas inferiores, onde a policondensação ocorre e substâncias húmicas de maior recalcitrância tendem a acumular.

Foi observada concentração de N durante a humificação, o que sugere uma importante participação de aminoácidos neste processo em solos da Antártica Marítima. A relação COT/N é maior que a normalmente encontrada para horizontes de solos minerais como P9. Os elevados teores de matéria orgânica não extraída (17mg.g^{-1}) podem ser explicados pela natureza fíbrica do material, associado a pequena contribuição da fauna do solo na fragmentação da matéria orgânica leve, levando a preservação deste material por longos períodos (tabela-17).

Outro importante fator de conservação deste material pode estar ligado a natureza amorfa da fração mineral, que adsorve o material orgânico conferindo proteção física. Estes minerais oferecerem inúmeros sítios de adsorção para exercendo ação protetora contra a

degradação biótica, adsorvendo e conseqüentemente reduzindo a atividade de importantes agentes da decomposição como amilases, proteases e seus substratos.

A natureza particular da distribuição das frações orgânicas nos solos estudados, com maior tendência à formação de substâncias húmicas densamente carregadas e de limitada estabilidade mostra o domínio periglacial como um ambiente sensível ao aquecimento global e conseqüente incremento da entropia do sistema. Pequenos incrementos na média anual de temperatura podem fazer com que este sistema passe de um balanço positivo a um negativo em termos de estoque de C orgânico no solo (tabela-17). O monitoramento destas frações em sítios específicos podem auxiliar nos estudos de impacto global em função de sua dinâmica sensível a pequenos aumentos de temperatura. A previsão dos impactos causados por um possível incremento nas taxas de mineralização do material orgânico torna-se um desafio, pois este poderá vir acompanhado de um aumento de produtividade primária com substituição das feições vegetacionais dominantes. Tais mudanças podem levar a um possível incremento das frações fúlvicas e húmicas, com gradual substituição das frações orgânicas atuais por outras mais recalcitrantes.

A taxa de humificação na Antártica Marítima é controlada pelo microclima, biota do solo e regime de umidade do solo. A Antártica é virtualmente livre de plantas produtoras de lignina devido a dominância de líquens e briófitas. A formação de substâncias húmicas nestes ambientes, onde a lignina e seus sub-produtos de degradação não prevalecem, deve ocorrer somente através da condensação de compostos de amino-açúcares, ou por reações entre cetonas e aminoácidos. As condições climáticas severas deste ambiente levam a formação de ácidos húmicos e fúlvicos densamente carregados, sendo que sua diferença de solubilidade se deve principalmente ao tamanho da molécula. As substâncias húmicas assim formadas atuam de forma marcante no perfil, conferindo maior quantidade de sítios de ligação e complexação, cátions e metais.

Tabela-17: Fracionamento de Substâncias húmicas

Horizonte.	COT		FAF	FAH	MONE	YB/WB	FAH/FAF	EA/H
	WB	YB						
	mg g ⁻¹							
Copa 1- Criossolo Ornitogênico Gleico								
10-20	4,4	22,4	5,0	7,0	7,4	5,5	1,4	1,6
20-30	1,5	3,4	1,0	0,1	1,8	3,0	0,1	0,6
30-40	5,0	39,1	7,0	9,0	12,3	7,8	1,3	1,3
40-50	7,0	38,9	5,0	11,0	17,2	5,6	2,2	0,9
Copa 2- Criossolo Ornitogênico Gleico								
10-20	35,3	56,0	10,6	7,4	35,0	1,6	0,7	0,5
20-30	26,5	50,4	8,4	7,3	29,0	1,9	0,9	0,5
30-40	11,8	23,2	4,2	4,3	12,6	1,9	1,0	0,7
40-50	9,6	11,7	2,5	2,2	6,3	1,2	0,9	0,7
Copa 3- Criossolo Ornitogênico Hístico								
0-10	86,0	123,8	17,6	19,7	65,8	1,4	1,1	0,6
10-20	58,1	78,3	14,8	18,1	39,4	1,3	1,2	0,8
20-30	47,0	53,9	13,5	10,2	26,9	1,1	0,8	0,9
30-40	76,5	106,7	21,6	28,4	51,2	1,4	1,3	1,0
40-50	76,5	92,8	18,5	25,8	45,5	1,2	1,4	1,0
Copa 4- Criossolo Ornitogênico Túrbico								
0-10	44,8	46,5	11,5	5,4	26,4	1,0	0,5	0,6
10-20	28,0	33,9	6,7	4,6	17,8	1,2	0,7	0,6
20-30	27,2	26,4	6,0	4,6	13,6	1,0	0,8	0,8
30-40	25,0	37,7	11,5	8,5	17,4	1,5	0,7	1,1
40-50	59,6	76,9	15,5	16,1	39,5	1,3	1,0	0,8
50-60	73,5	100,4	20,3	21,0	45,2	1,4	1,0	0,9
Copa 5- Criossolo Ornitogênico Lítico								
0-10	117,6	114,5	13,2	13,2	80,5	1,0	1,0	0,3
10-20	17,6	22,0	5,1	4,1	9,6	1,2	0,8	1,0
20-30	19,8	19,4	6,2	4,0	8,2	1,0	0,6	1,2
30-40	23,5	27,3	8,2	7,9	7,3	1,1	1,0	2,2
40-50	36,0	40,5	10,7	14,7	8,4	1,1	1,4	3,0
Copa 6- Criossolo Ornitogênico Hístico								
0-10	123,1	114,8	19,4	34,6	46,5	0,9	1,8	1,2
10-30	154,4	154,1	22,2	29,5	82,3	1,0	1,3	0,6
30-55	125,0	132,5	20,5	39,3	47,2	1,1	1,9	1,3
55-80	27,2	25,5	5,5	6,3	9,6	1,0	1,1	1,2
80-100	3,0	3,8	0,6	0,7	2,0	1,3	1,2	0,7
100-120	0,8	1,3	0,0	0,0	1,2	1,0	0,0	0,0
Copa 7- Criossolo Ornitogênico Túrbico								
0-15	47,8	44,5	5,5	6,3	28,5	0,9	1,1	0,4
15-50	44,8	44,0	10,0	9,1	18,5	1,0	0,9	1,0
50-70	33,8	35,0	11,2	9,7	8,9	0,6	0,9	2,3
70-80	18,4	19,0	8,7	9,2	1,2	0,9	1,1	14,9
80-120	5,2	24,6	6,0	6,9	8,9	5,0	1,2	1,4
Copa 8- Criossolo Ornitogênico Hístico								
10-20	58,8	134,0	13,7	21,6	76,4	2,3	1,6	0,5
20-30	64,3	121,0	19,4	18,9	69,3	1,9	1,0	0,6
30-40	57,0	100,8	13,9	18,1	61,2	1,8	1,3	0,5
40-50		136,5	5,3	4,1	89,7	-	0,8	0,1
50-60		110,5	3,2	1,8	89,6	-	0,6	0,1
Copa 9- Criossolo Léptico								
0-10	9,6	11,0	1,2	0,7	9,5	1,1	0,6	0,2
10-20	0,8	2,7	-	-	-	3,0	-	-
20-30	0,8	1,3	-	-	-	1,0	-	-
30-40	1,0	1,2	-	-	-	1,0	-	-
40-50	1,0	1,4	-	-	-	1,0	-	-
50-60	1,2	1,4	-	-	-	1,0	-	-
Copa 10- Criossolo Lítico								
0-10	36,0	40,0	12,7	19,8	3,4	1,0	1,6	9,6

COT: Carbono Orgânico Total; WB: WALKLEY E BLACK (1947); YB: YOEMANS E BREMNER, J. M.; FAF: Fração Ácido Fúlvico; FAH: Fração Ácido Húmico; MONE: Matéria Orgânica Não Extraída; EA/H: Extrato Alcalino (FAF+FAH)/Humina

4.11.1 Caracterização Química e Termogravimetria dos Ácidos Húmicos

A análise elementar de ácidos húmicos purificados mostrou seu alto conteúdo de N com elevada relação H/C (Tabela-18). Estes resultados são um indicativo da baixa aromaticidade das substâncias húmicas de solos ornitogênicos da Antártica Marítima, em comparação com padrões da Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas, corroborando com a predominância de substâncias húmicas derivadas de plantas inferiores.

As curvas termogravimétricas mostram a existência de moléculas facilmente termodegradáveis, comparadas com substâncias húmicas extraídas de solos tropicais (BENITES *et al.*, 2005). Os dados de termogravimetria também revelam compostos de baixa aromaticidade, com picos de degradação atingindo 300°C, característicos de compostos alifáticos e proteínas. Por outro lado, compostos aromáticos foram identificados com picos de degradação superiores a 350°C. Possíveis fontes destes compostos são aminoácidos aromáticos e produtos de síntese microbiana a partir de estruturas cetônicas e carboxílicas. Esta rota de formação ocorre como um processo alternativo para a formação de substâncias húmicas mais aceita atualmente, através da preservação de estruturas aromáticas herdadas da lignina. Pequenas quantidades de *black carbon* poderiam ser co-extraídas com ácidos húmicos gerando o sinal de aromaticidade nas análises termogravimétricas (figura-31).

A análise térmica em Differential Scanning Calorimetry (DSC) estimou a quantidade de energia liberada pela degradação dos ácidos húmicos, refletindo a dinâmica do desenvolvimento do material orgânico do solo. A quantidade de calor avaliada por DSC e

Table-18 Composição elementar da fração dos ácidos húmicos, umidade, teor de cinzas e índice termogravimétrico

Amostra	C	H	N	O	Razão Atômica			Umidade	Cinzas	TGI
	% base seca sem cinzas				H/C	C/N	O/C	%	%	
P-3 0-10	50.3	7.2	7.3	35.2	1.71	8.0	0.52	12.77	3.83	1.17
P-3 10-20	53.3	7.3	7.1	32.4	1.64	8.8	0.46	4.74	15.39	1.60
P-3 20-30	50.2	7.6	7.9	34.3	1.83	7.4	0.51	7.74	10.48	1.01
P-3 30-40	49.8	6.5	6.3	37.4	1.57	9.3	0.56	6.69	13.63	1.22
IHSS	56.4	3.8	3.7	37.3	0.81	17.8	0.50	8.1	1.9	2.74

IHSS: solo padrão-International Humic Substances Society; TGI: Índice Termogravimétrico.

calculada pela integração da área total abaixo da curva de DSC é influenciada pelo grau de humificação e pelo conteúdo de oxigênio na molécula húmica. Quanto maior o grau de aromaticidade maior a quantidade de energia liberada, sendo que a quantidade de oxigênio na molécula influencia o resultado de forma inversa. Vale salientar que a amostra superficial de P3 (0-10) liberou uma quantidade de energia comparável a outras substâncias húmicas (BENITES *et al.*, 2005). A contribuição do primeiro estágio de decomposição foi significativamente maior quando comparada a substâncias húmicas de clima tropical, e a menor temperatura de início de evolução de energia sugere menor estabilidade. De forma geral os dados indicam uma lenta contribuição da biota nos processos de formação de solo; comparado a climas mais quentes, culminando com um conteúdo de moléculas biodegradáveis significativamente superior nos ácidos húmicos da Antártica Marítima (figura-32).

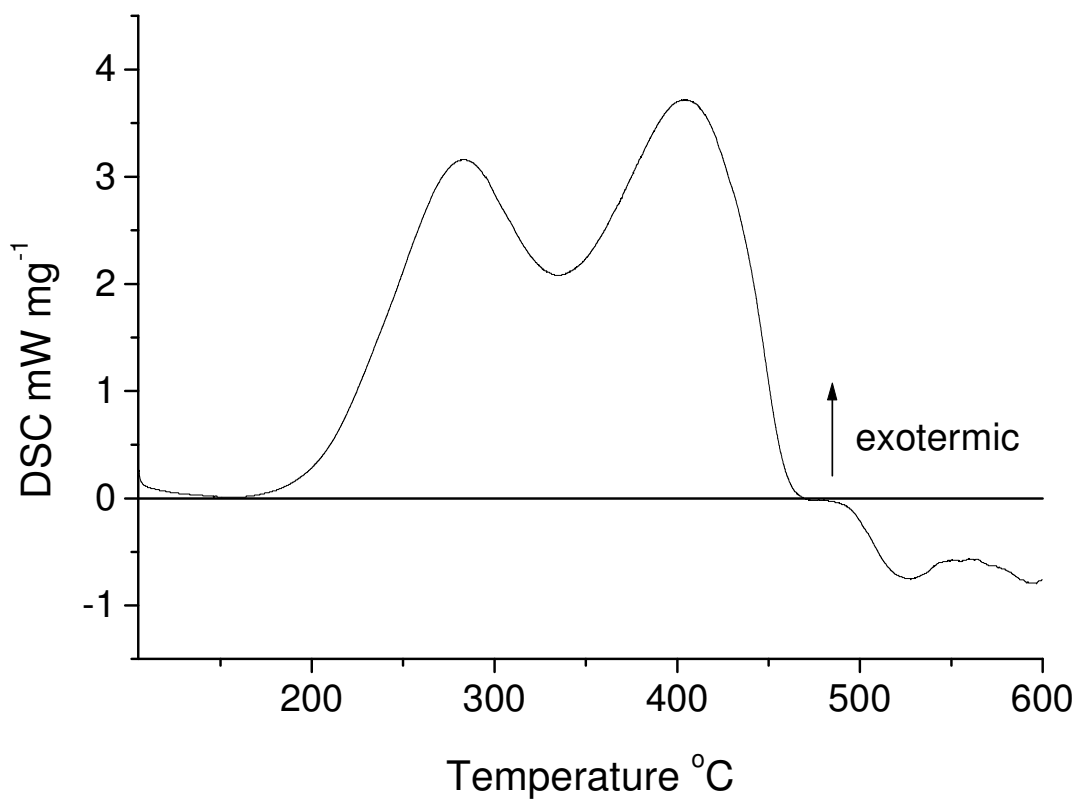


Figura-31: Differential Scanning Calorimetry do perfil 3

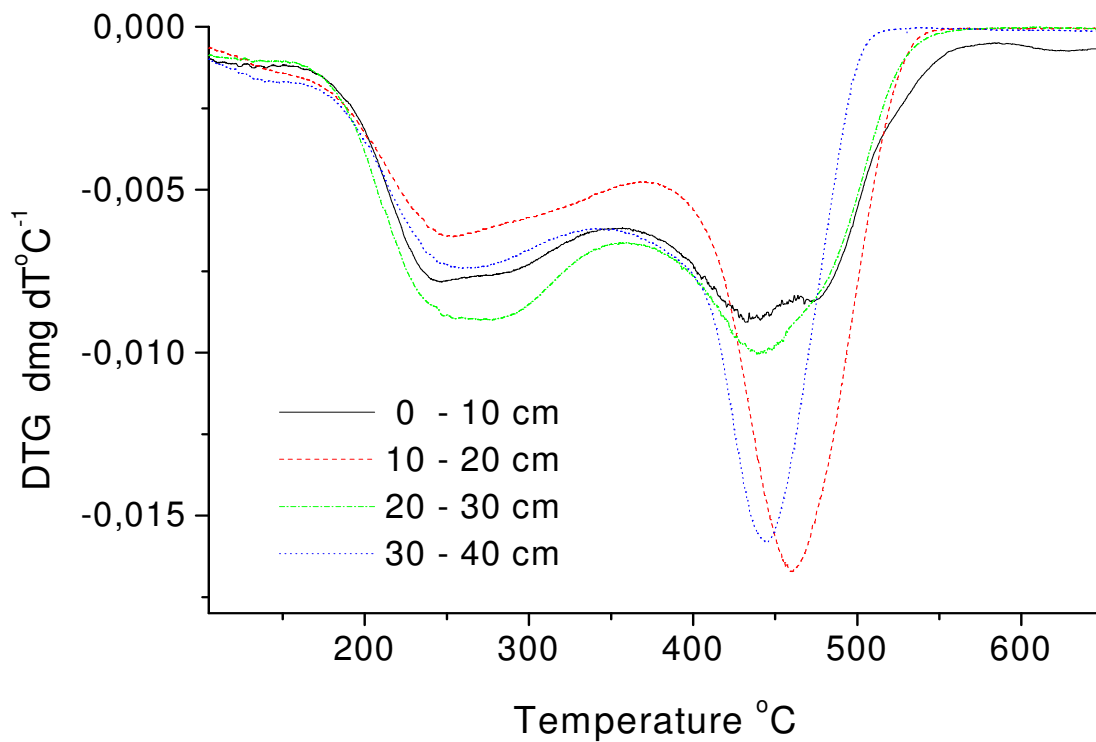


Figura-32: Termogravimetria de diferentes profundidades do perfil 3

4.11.2 Carbono Imobilizado como Indicador Ambiental na Ponta Llano

Para se avaliar a dinâmica de carbono nos ecossistemas terrestres, torna-se fundamental avaliar o conteúdo de carbono orgânico total (COT) incorporado ao solo, que constitui um dos mais importantes reservatórios de C do planeta. Na Antártica Marítima, apesar das condições extremas de clima, cobertura microfíticas de líquens, algas, briófitas e raras plantas superiores são capazes de fixar o C atmosférico e incorporá-lo ao solo, sendo a sua conservação auxiliada pelas baixas temperaturas, que retardam a mineralização.

A atividade biológica nos solos da Antártica é em geral baixa, sendo fortemente determinada por condições microclimáticas onde a temperatura e as condições hídricas do solo condicionam a produção primária e a fixação de carbono no sistema. Desta forma, apesar do predomínio de solos com baixo teor de carbono (0,1-0,4 dag/kg), o acúmulo de matéria orgânica é um processo importante na gênese de solos (CAMPBELL & CLARIDGE, 1987; BEYER *ET AL.*, 1995; BEYER, 2000; BEYER & BÖLTER, 2000).

Os valores de C são independentes da capacidade de troca catiônica (CTC) e dos teores de argila, ao contrário do que ocorre em solos sob condições tropicais. A CTC da fração mineral é bem mais importante que a CTC da fração orgânica nas propriedades eletroquímicas dos Criosolos da Antártica. A fração argila dos Criosolos é produto principalmente do intemperismo físico do material de origem (origem litogênica). Nos solos ornitogênicos esta fração é constituída em grande parte de minerais fosfáticos, não representando argilominerais (origem ornitogênica), e sua dissolução depende de condições de pH, estabilidade do solo e ciclos redox.

4.11.3 Estoques de Carbono

A densidade do solo calculada variou de 1,20 a valores extremamente baixos como 0,1 para horizontes ricos em C, desta forma a densidade de 0,40 foi adota como mínima. Apesar desta determinação indireta ser um tanto quanto arbitrária os valores utilizados para os solos estudados estão dentro dos limites reportados para solos afetados por permafrost (Batjes, 1996; Ping et al., 1997; Bocheim et al., 1999).

Os estoques de carbono foram calculados pela média de cada perfil pra sua profundidade e para as profundidades de 0-30 cm e 0-100 cm. Os valores de estoque de carbono, em teores absolutos mostraram uma relação com a estabilidade das vertentes, sendo mais elevados nos solos da parte central da área em estudo (Terraços Marinheiros soerguidos) e substancialmente maiores nas áreas colonizadas com coberturas microfíticas, com valores de até 11,08 Mg/m² (Copa-7). Materiais basálticos e andesíticos, de larga ocorrência na área, apresentam maior resistência originando solos extremamente pedregosos e rasos, no entanto, apesar da pedregosidade, as áreas mais elevadas possuem valores bastante significativos de C estocado nos solos.

A área a oeste da Ponta Llano, onde o tempo de exposição é maior, revela os maiores valores de C estocados, evidenciando a importância do avanço do degelo no seqüestro de imobilização de carbono nos ecossistemas frígicos da Baía do Almirantado.

Os estoques de C nos perfis estudados revelam que as áreas sob forte influência ornitogênica constituem os principais reservatórios de C nos ecossistemas terrestres da Ponta Llano (tabela-19). Isto implica que pequenas áreas destes solos imobilizam mais C do que grandes extensões de solos não-ornitogênicos, como no caso da das áreas de vegetação incipiente. Isto se deve principalmente ao elevado aporte de nutrientes, especialmente fósforo e nitrogênio, para o ambiente terrestre possibilitando um desenvolvimento exuberante da vegetação microfítica. Observa-se que a presença de vegetais superiores (*Deschampsia*

4.12 Fosfatização como Processo de Formação de Criossolos na Ponta Llano

Solos ornitogênicos ricos em formas de fosfato são de ampla ocorrência na Antártica Marítima, embora os processos pedogenéticos neste solos sejam muito pouco conhecidos e estudados. Na pedologia clássica, a fosfatização não é reconhecida como um processo específico de formação de solos, como a salinização e a calcificação, mas sua ocorrência generalizada em áreas criogênicas sob ação ornitogênica conduzem à hipótese de que represente um importante processo primário de formação de solos na região. A seguir é apresentada a caracterização, micromorfológicas e submicroscópicas de três solos com forte influência ornitogênica pretérita, selecionados pela colonização vegetal abundante de líquens, briófitas, cianobactérias e raras gramíneas, já apresentando um grau bem evoluído de pedogênese e diferenciação de horizontes (SCHAEFER *et al.*, 2004).

Os pingüins são responsáveis pelos maiores aportes de guano ao ambiente terrestre da Antártica. Na margem oeste da Baía do Almirantado, Ilha Rei George, em especial na Ponta Llano, formam-se diversas colônias (pingüineiras) com milhares de indivíduos. A maior parte dos trabalhos restringe-se ao estudo da fosfatização nos solos e evidenciam a ocorrência de fosfatos minerais típicos de solos agrícolas fertilizados e raros em ambientes naturais (TATUR & BARCZUC, 1983; TATUR & MYRCHA, 1993). RAKUSA-SUSZCZEWSKI (1993), em extensa revisão sobre a dinâmica de matéria e energia na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, cita como principais fontes de material orgânico do ecossistema marinho para o terrestre: guano, urina, penas, casca de ovos, pêlos, restos animais e vegetais e conchas (figura-33).

Nestes solos, observa-se a ocorrência de diversos minerais de argila fosfatados incomuns em solos de outros ambientes naturais do planeta. Durante o processo de mineralização da matéria orgânica, ocorre à rápida decomposição de formas menos persistentes, que são volatilizadas ou lixiviadas, acompanhada pela gradual concentração de

materiais orgânicos mais resistentes como quitina, ácido úrico e minerais de fosfato (hidroxiapatita e struvita) (MYRCHA *et al.*, 1983).

No presente estudo foram reportadas algumas características micromorfológicas e microquímicas das formas de fosfatização presentes nos solos ornitogênicos.

Os solos criogênicos apresentam uma estrutura organogênica superficial, formada por abundante trama de tálus de briófitas e líquens, com caráter fíbrico, passando abruptamente a um horizonte organomineral fosfático, de microestrutura granular sub-arredondada de tamanho médio, onde coexistem fragmentos de ossos e restos orgânicos ricos em P com diversas formas nodulares de P secundário, notadamente ricos em K, Al, Fe e Mg, mas pobres em Ca. Em todos os horizontes dos solos ornitogênicos, fragmentos grosseiros de rochas de composição diversas ocorrem, predominando tufos e lavas, ricas em inclusões de magnetita e apatita (tabela-20). Os agregados granulares são formados de silte, com poucos argilominerais, e quase sempre englobado por uma fina deposição pedogênica e iluvial de fosfato biogênico secundário, além de formas de preenchimento de fraturas e linhas de fraqueza das rochas e agregados. A microagregação granular ovóide é mais desenvolvida em COPA 3, em virtude da fosfatização associada ao maior tempo de pedogênese e exposição, pois se localiza mais próximo ao terraço marinho atual em Ponta Llano.

Com base nos resultados de microscopia eletrônica de varredura com EDS e WDS em elevada magnificação foi possível detalhar a composição química e a morfologia diferenciada das formas de fosfato em ambos os solos, em relação à estrutura dos solos criogênicos. Essas feições iluviais confirmam a natureza particular do processo de fosfatização no ambiente criogênico, com intensa mobilidade de P e neoformação de fosfatos secundários nas partes mais baixas da paisagem local, tais como Taranakita, Minyulita e Leucofosfita, particularmente nos perfis mais ricos como P2 e P4. A formação de fosfatos de alumínio e ferro em P2 e P9, na profundidade estudada, indica abundante fase pouco cristalina de

alumínio nos solos derivados de rochas vulcânicas e tufos, ao lado de fosfatos mistos de Al e K, associados a lixiviados mais recentes e menos evoluídos, próximos da superfície. Dados de WDS e EDS para as formas de fosfato no plasma do solo são consistentes com sua natureza iluvial. em P3 , os fosfatos de Al são comuns e ilustram maior maturidade da fosfatização, com progressiva lixiviação das formas ricas em K.

Tabela-20: Análises de WDS em agregados e feições selecionadas em COPA3, média de 3 repetições

Solo-Feição Pedológica	Fe ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	K ₂ O	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	MgO
COPA 3 - E	7,42	0,69	49,3	0,65	15,7	3,2	2,4
COPA 3 – F	0,32	0,05	0,09	5,1	29,2	42,7	0,1
COPA 3 – G	0,46	0,10	0,24	4,4	31,2	42,8	0,1
COPA 3 – H	10,7	0,92	0,32	1,3	17,3	38,5	0,1

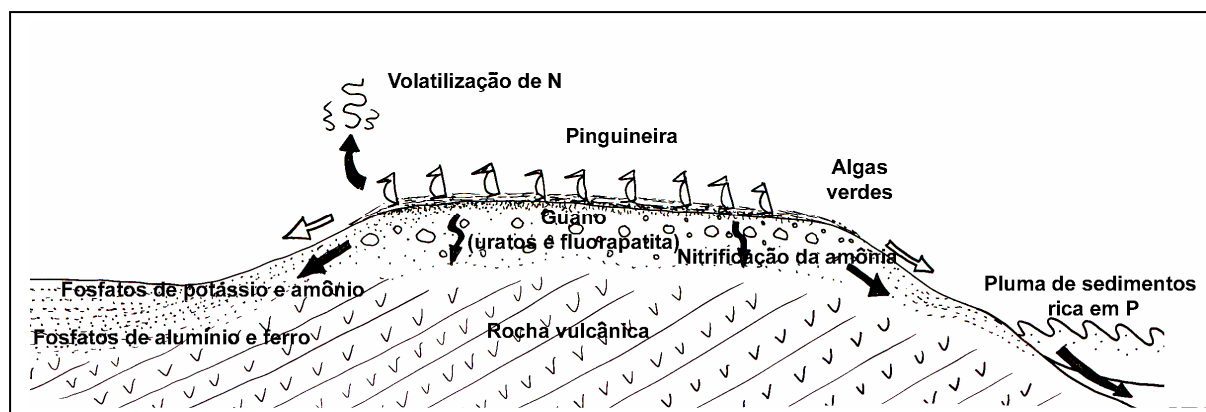


Figura 33: Bloco diagrama de detalhe de uma Pinguineira, ilustrando os aspectos mais importantes do processo de ornitogênese dos criossolos e a distribuição preferencial de P-Al e P-Fe em profundidade, e P-(K-NH₄-Mg) em áreas mais jovens e superficiais

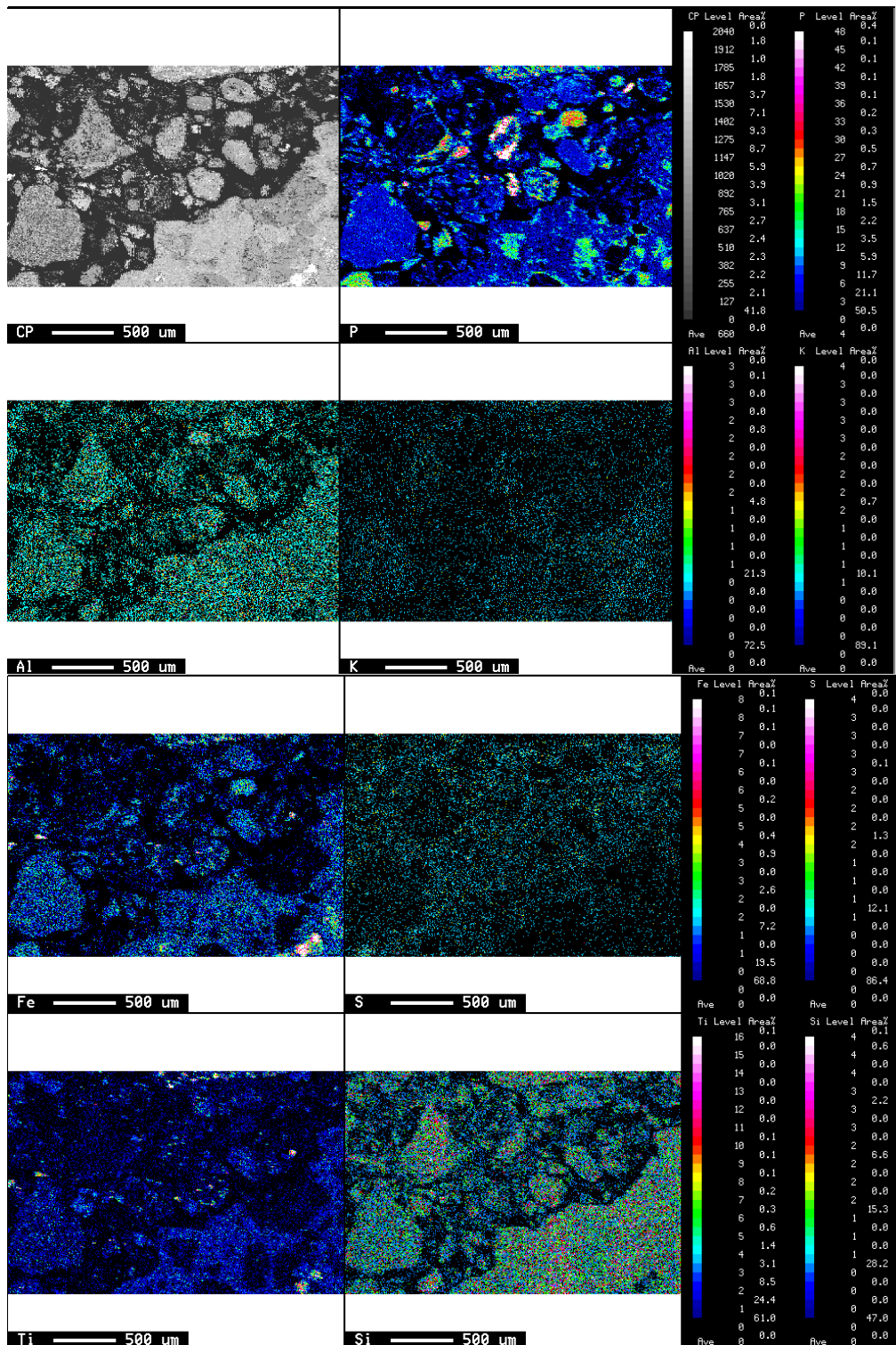


Figura 34. Microimagens e mapas microquímicos selecionados de agregados criogênicos com e sem fosfato, e grão de rocha vulcânica (parte baixa da foto). Perfil COPA-3.

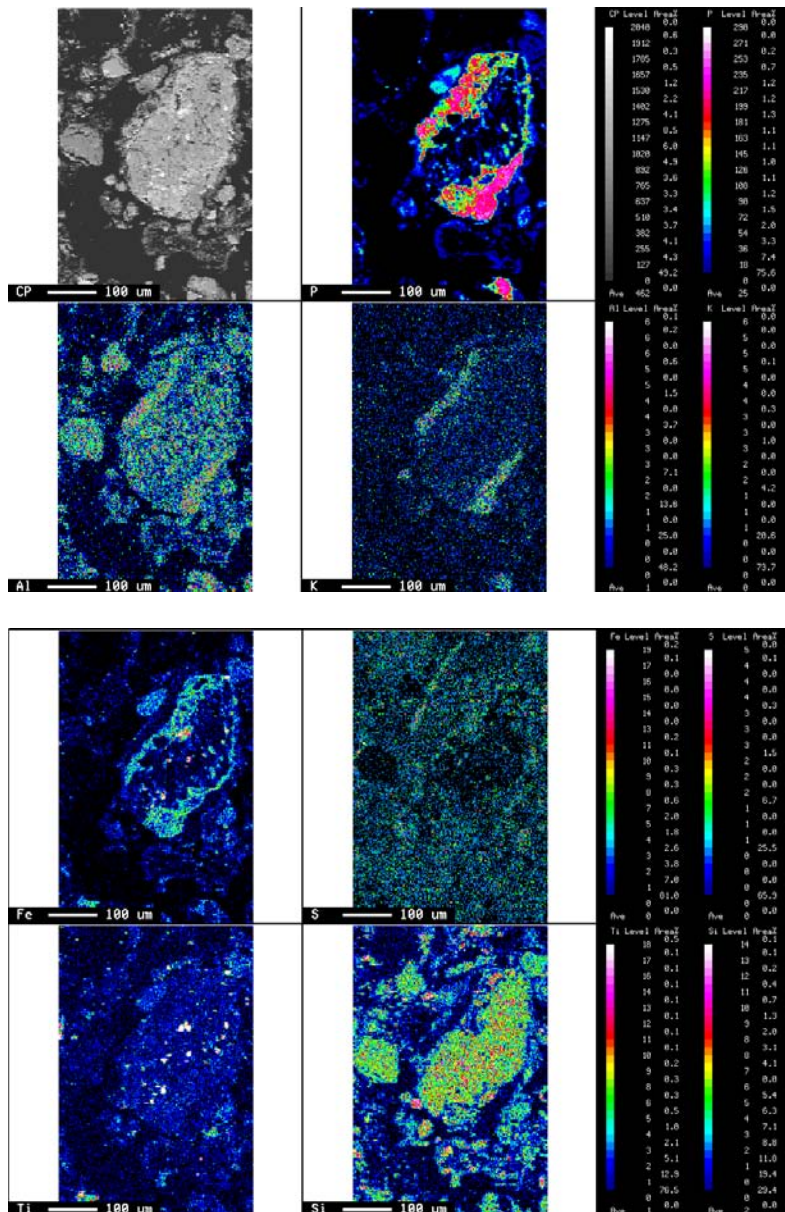


Figura 35. Microimagens em retroespalhamento eletrônico de WDS e mapas microquímicos. Agregado fosfático com recobrimento, ovóide, reportado como COPA 3, F,G,H (Tabela 2), com Fe e K elevados (parte intragranular interna analisada em COPA 3-H, tabela 2), e envolvimento de Taranakita (43% P_2O_5 , 4,4% K_2O), ao lado de agregado fraturado e recoberto com fosfato iluvial, rico em K (COPA 3, F, G).

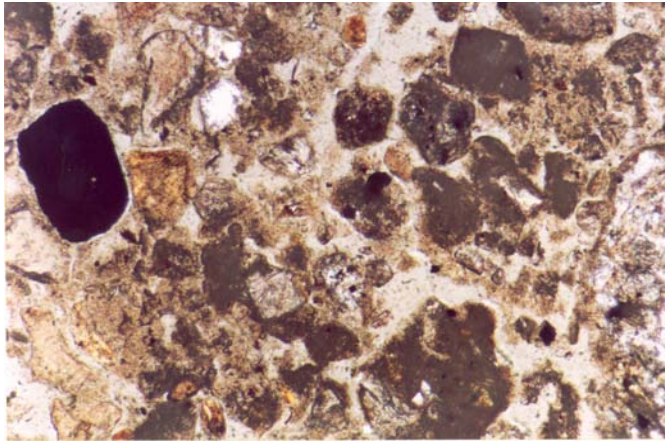


Figura 36. Fotomicrografias da estrutura granular ovóide bem desenvolvida em COPA 3, com presença de osso escurecido, parcialmente mineralizado. Plasma siltoso.

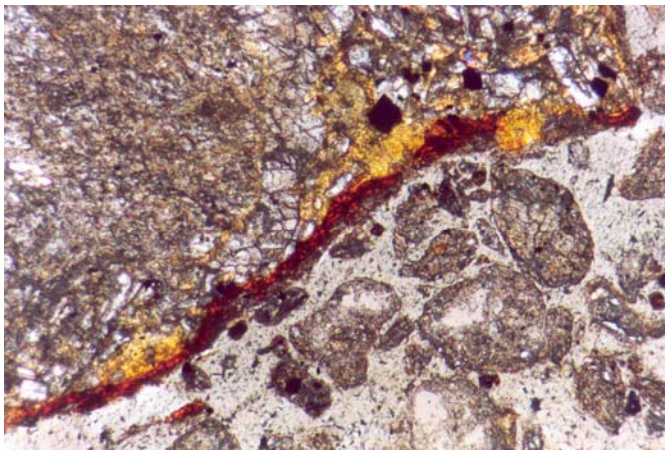


Figura 37. Fotomicrografias da estrutura granular ovóide bem desenvolvida em COPA 2, em contato com litorelíquia com recobrimento iluvial fosfático de Fe / Al. Plasma siltoso, de vidro vulcânico alofânico.

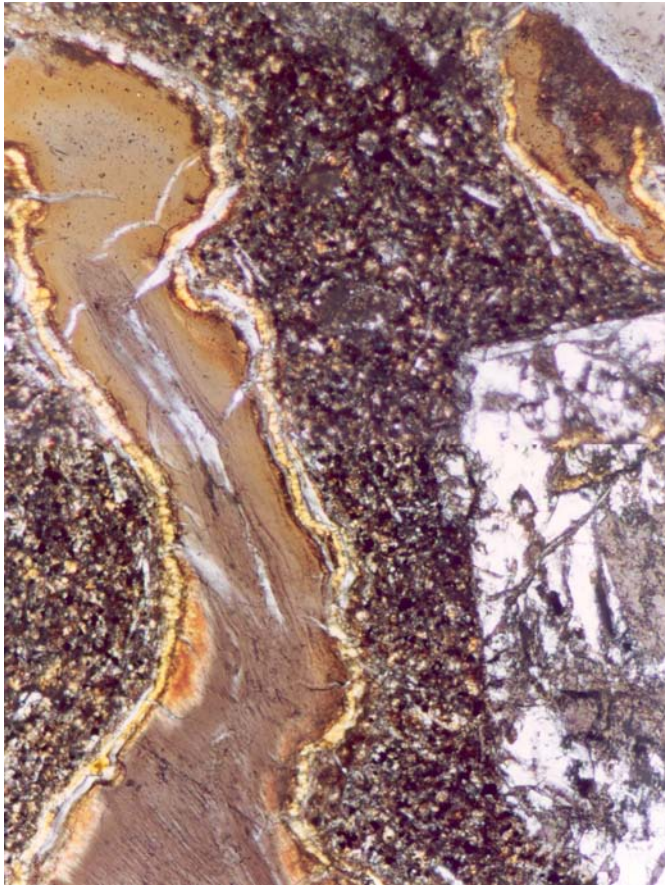


Figura 38. Fosfatização iluvial intra-litológica, com forte deposição de Taranakita nos litoporos de vidro vulcânico pouco alterado, no perfil COPA 3.

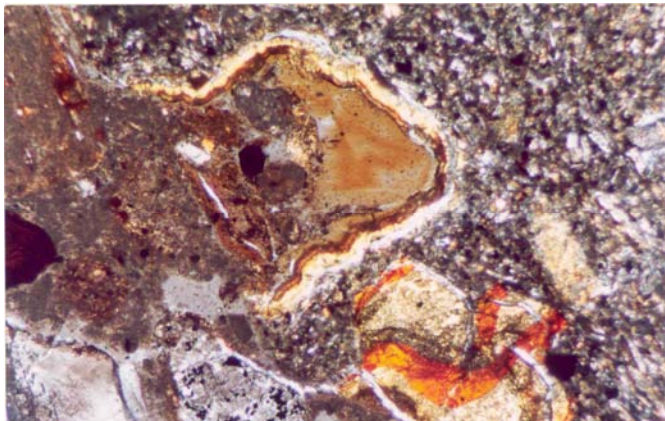


Figura 39. Recobrimentos iluviais de fosfato (Taranakita) recobrindo litorelíquias de rochas vulcânicas pouco alteradas (COPA 3).



Figura 40. Fragmento arredondado de osso parcialmente fosfatizado, de cor escura, com agregados ovóides típicos de solos criogênicos. Perfil COPA 3

As principais implicações sobre a dinâmica ambiental da região da Antártica Marítima são representados pelo controle dos fluxos de fósforo entre os ecossistemas marinhos e continentais da Antártica. Áreas de solos fosfatizados da Baía do Almirantado são zonas de grande concentração de nutrientes imobilizados temporariamente na forma de Al/Fe/K/NH₄/Mg-fosfatos, provenientes de antigas colonizações por pinguins. Esse processo é parte essencial da tendência atual de aquecimento dessa zona Antártica, favorecendo as transferências mar-terra. Parte desses nutrientes, notadamente P, Ca, N, K e Mg, são naturalmente solubilizados pela intensa atividade biológica, e tornados biodisponíveis e solúveis, sendo transportados de volta ao ambiente marinho raso, propiciando elevadas produtividades primárias nesses locais. Formas mais persistentes e menos solúveis de Al-P podem ser acumuladas em profundidade, resistindo por mais tempo nos ecossistemas terrestres, representando assim uma reserva de P de longo termo. A degradação e erosão dessas áreas de antigas pinguineiras podem acelerar a transferência de nutrientes terra-mar, afetando toda a delicada cadeia alimentar na Baía do Almirantado.

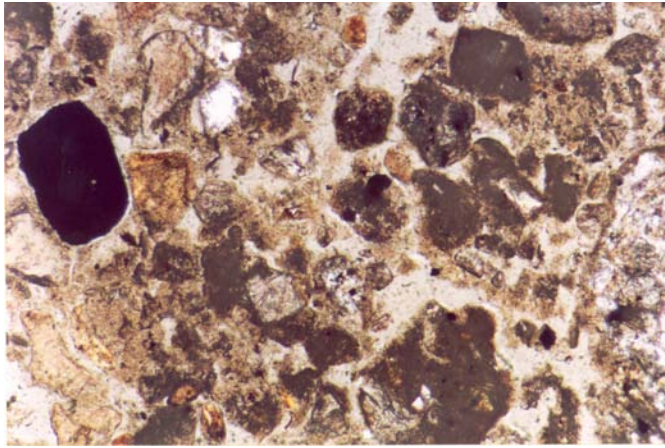


Figura 41. Fotomicrografia da microestrutura típica de solos ornitogênicos, em COPA 3, com plasma siltoso formando agregados estáveis, ricos em fosfatos secundários e alofanas.

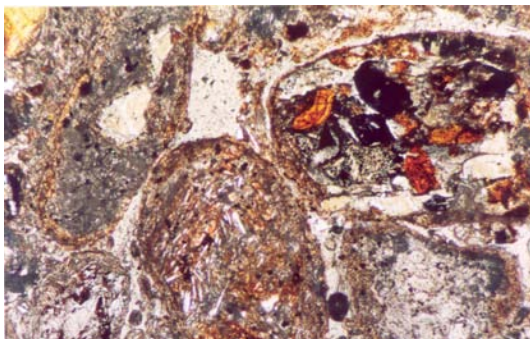
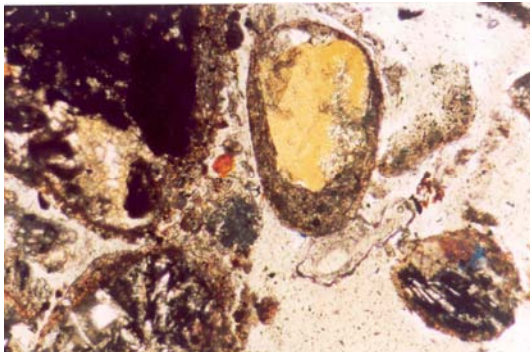
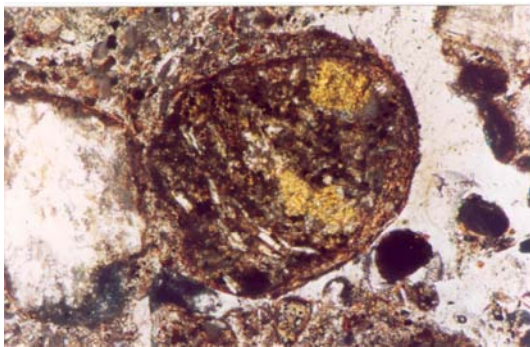


Figura 42. Fotomicrografias da estrutura granular biogênica, subarredondada dos solos Criogênicos COPA 4. Foto A ilustra agregado organo mineral intensamente fosfatizado, de origem biogênica. Notar a natureza iluvial do material envolvente, rico em fosfato. São ilustradas várias feições de iluviação fosfática formando acumulações de taranakita ou Fe-Al-fosfatos.

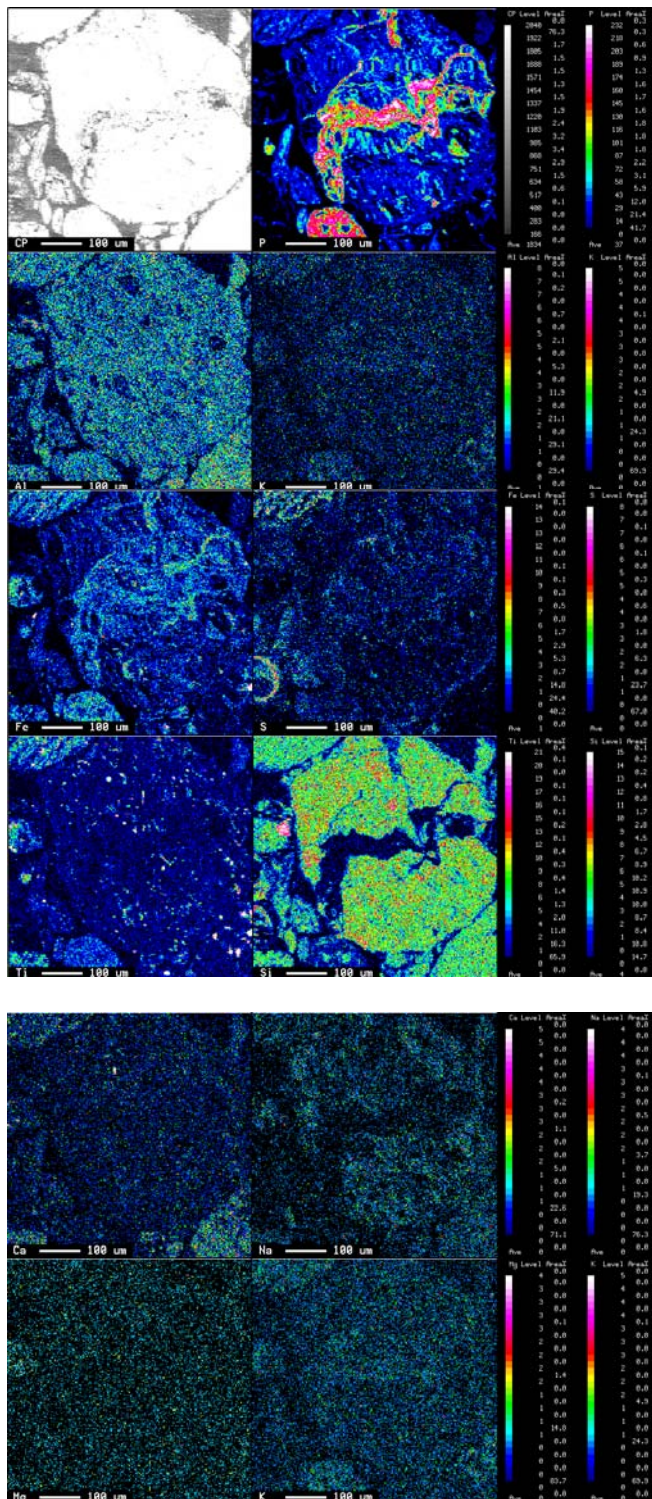


Figura 43. Fotomicrografias e mapas microquímicos em retroespalhamento eletrônico de um agregado pedogênico do criossolo de COPA 3, com fraturamento preenchido por acumulações iluviais de fosfato de Al, Fe e K (Taranakita).

CONCLUSÕES

O grande nível de detalhamento do trabalho possibilitou avançar no entendimento da morfologia de Criosolos Ornitogênicos. O mapeamento dos solos, cobertura vegetal e geoformas permitiu a visualização espacial do fenômeno de enriquecimento da paisagem pela ação das aves, que com o avançar do soerguimento glacioisostático exerceu grande influência na pedogênese dos solos estudados.

Nas áreas mais elevadas, sem cobertura vegetal e sem influência ornitogênica, os solos são arídicos, com baixos teores de P, pH elevado e altos teores de Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , associado. Em cotas mais baixas, englobando os terraços marinhos de 1º 2º e 3º níveis e morainas adjacentes, os solos são ornitogênicos com valores extremamente elevados de Al^{3+} trocável e P, pH mais baixo, menores teores de Na^+ e níveis variáveis de K^+ , associados a deposição de guano e concentração por fluxo lateral.

A disponibilidade de P é fator importante no desenvolvimento da vegetação. Esta é exuberante em microambientes mais protegidos dos ventos dominantes, onde a umidade é suficiente para promover percolação, lixiviação e o intemperismo químico.

A produção primária nos solos ornitogênicos é mais elevada do que nos solos não ornitogênicos. A eutrofização de terraços marinhos soerguidos deve-se à atividade de *Pygoscelis adeliae* e nidificação de predadores, como *Catharacta spp.*, expandindo a área com valores anômalos de P as elevações do entorno da colônia. O desenvolvimento dos solos e o movimento vertical e lateral de nutrientes biodisponíveis são intensificados pela ornitogênese, sendo clara uma forte relação entre ornitogênese, diversidade vegetal, produção de biomassa e incorporação expressiva de C nos solos. A acidólise promovida pela atividade biológica nas pingüineiras é extrema, sendo capaz de acelerar o desenvolvimento de solos nestes oásis antárticos da Baía do Almirantado.

Os valores de carbono imobilizados nos arredores da Ponta Llano, apesar de elevados, representam um estoque total modesto em relação aos solos de regiões tropicais, principalmente pela área restrita de ocorrência e pouca profundidade dos solos. Entretanto o sistema parece apresentar um balanço positivo, com seqüestro contínuo; isto ilustra a capacidade dos ecossistemas terrestres de responderem a mudanças climáticas que favorecem a produtividade primária biológica. Transferências de carbono para o solo, principal compartimento de seqüestro de carbono orgânico nos ecossistemas terrestres, ocorrem de forma rápida e intensa, onde a ornitogênese, ou o microclima, são favoráveis.

De forma geral a área apresenta-se preservada, pouco afetada pela atividade humana, podendo ser considerada um ponto estratégico para o monitoramento dos impactos locais e globais. O acompanhamento dos teores de carbono e suas frações nos solos da Ponta Llano é alternativa viável de monitoramento, uma vez que reflete mudanças sutis no balanço energético do sistema. Os teores de carbono orgânico total evidenciam a influência destacada do material de origem (pedregosidade), da geoforma e da colonização biológica, no seqüestro de C. Apesar do recuo recente do gelo na Ponta Llano, existem áreas densamente colonizadas por vegetais e animais, as quais exercem um papel ativo no seqüestro de C. O mapeamento

dos Criosolos permitiu, assim, estimar os estoques de matéria orgânica nos ecossistemas terrestres da Ponta Llano, sugerindo seu uso como um dos indicadores de mudanças ambientais, sensíveis às mudanças globais e impactos antrópicos.

BIBLIOGRAFIA

- ALBUQUERQUE FILHO, M., R. Geoquímica de solos da Península Keller, Ilha Rei George, Antártica, como subsídio ao monitoramento ambiental. Viçosa: UFV. 103p. Dissertação (Doutorado em solos e Nutrição de plantas)-Universidade Federal de Viçosa 2005.
- ALVAREZ V., V.H.; DIAS, L.E., RIBEIRO JUNIOR, E. S., SOUZA, R. B., FONSECA, C.A. da. Métodos de análises de enxofre em solos e plantas. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2001. 131p.
- ARAÚJO, M.B., SCHAEFER, C.E.R., SAMPAIO, E.V.S.B., Plant phosphorus availability in latossols and luvisols from northeastern semi-arid Brazil. *Communication in soil science. and plant analysis*, vol.34, Nos 3 & , pp. 407-425, 2003.
- ARAYA, R. & HERVÉ, F. Attempt at reconstructing the ancient coastal geomorphology and littoral environment in the South Shetland Islands. In: ADIE, R.J. (Ed.) *Antarctic geology and geophysics*. N.1. Universitetsforlaget. p.115, 1972a.
- ARAYA, R. & HERVÉ, F. Patterned gravel beaches em the South Shetland Islands. In: ADIE, R.J. (Ed.) *Antarctic geology and geophysics*. N.1. Universitetsforlaget. 1972c. p.111-114, 1972b.
- ARAYA, R. & HERVÉ, F. Periglacial phenomena in the South Shetland Islands. In: ADIE, R.J. (Ed.) *Antarctic geology and geophysics*. N.1. Universitetsforlaget. p.105-109, 1972c

- ARIGONY NETO, J. Determinação e interpretação de características glaciológicas e geográficas com sistema de informações geográficas na Área Antártica Especialmente Gerenciada Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica. Tese de Mestrado. UFRGS. 84p. 2001.
- ARIGONY NETO, J., BREMER, U.F. & SIMÕES, J.C. Variações nas frentes de gelo da Enseada Martel, Ilha Rei George, Antártica, entre 1956 e 2000. Anais X SBSR. Foz Iguaçu. INPE. p.709-711, 2001.
- ATCPs. A proposal prepared by Brazil and Poland, in co-ordination with Equador and Peru, that Admiralty Bay, King George Island (South Shetland Island) be designated as an Antarctic Special Managed Area (ASMA). Twentieth Antarctic Treaty Consultative Meeting, Utrecht, Netherlands, 29 April- 10 May, 1996.
- BATJES, N.H. 1996. Total Carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*.
- BENITES, V.M., J. Kucerik, B. Madari. 2005a. Thermal Analysis of Humic Substances Extracted From Contrasting Pedoenvironments. *Proc. of Chem. and Life*. 87:55-59. 3rd Meeting on Chemistry & Life, Brno, Czech Republic, 2005.
- BEYER, L. Properties, Formation and Geo-ecological significance of organic soils in the Coastal region of East Antarctica. *Geoderma* 39:79-93, 2000.
- BEYER, L., BÖLTER, M. Chemical and biological properties, formation, occurrence and classification Spodic Cryosols in a terrestrial ecosystem of East Antarctica (Wilkes Land). *Catena* 39:95-119, 2000.
- BEYER, L., SORGE, C., BLUME, H.P., SCHULTEN, H.R. Soil organic matter composition and transformation in Gelic Histosols of coastal Continental Antarctica. *Soil Biology and Biochemistry* 27 (10) 1279-1288, 1995.
- BIRKENMAJER, K. Retreat of Ecology glacier, Admiralty Bay, King George Island (South Shetlands Islands, West Antarctica), 1956-2001. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences*, v. 50, n°1.p.15-29, 2002.
- BOCKHEIM, J.G., TARNOCAI, C. Recognition of cryoturbation for classifying permafrost-affected soils. *Geoderma* 81:281-293, 1998.
- BOELHOUWERS, J., HOLNESS, S. & SUMNER, P. The maritime Subantarctic: a distinct periglacial environment. *Geomorphology*, v.52. p.39-55, 2003.
- BÖLTER, M., BLUME, H.P., BEYER, L. & SCHEIDER, D. Soil biological investigation in the maritime and continental Antarctic (King George Island and Windmill Islands): 2.Dissolved and particulate organic nutrients. *Polar Biology*. v.20. 1999.

- BOUSTRON, C.F., CANDELONE, J.P. & HONG, S. Past and recent changes in the large-scale tropospheric cycles of lead and other heavy metals as documented in Antarctic and Greenland snow and ice: A review. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.58, n°13: p.3217-3225, 1994.
- BRAUN, M. & GOSSMANN, H. Glacial Changes in the Areas of Admiralty Bay and Potter Cove, King George Island, Maritime Antarctica. In: L. Beyer M. Bölter, *Geocology of Antarctic Ice-Free Coastal Landscapes*. Ed. Springer-Verlag, Berlin. p. 75-89, 2002.
- BRAUN, M. & RAU, F. Using a multi-year data archive of erssar imagery for the monitoring of firm line positions and ablation patterns on the King George Island ice cap (Antarctica). *Proceedings of EARSeL-SIG-Workshop Land Ice and Snow, Dresden/FRG, June, p.16–17, 2000.*
- BRAUN, M. Ablation on the ice cap of King George Island (Antarctica). Doctoral Thesis. Albert–Ludwigs–Universität Freiburg. Freiburg: 165p. 2001.
- BRAUN, M., RAUL F. & SIMÕES, J.C.A. GIS-based glacier inventory for the Antarctic Peninsula and the South Shetland Islands - a first case study on King George Island *Geo-Spatial Information Science Quarterly 2* (2000). *Proceedings of the SCAR WG-GGI International GIS Workshop on Antarctic King George Island, 6/7 July, Whuan, China. p.15-24, 2000.*
- BROADBENT, F.E., JACKMAN, R.H., MCNICOLL, J. Mineralization of C and N in some New Zealand allophanic soils. *Soil Science 98*, 118-132. 1964.
- BURN, C.R., Recent ground warming inferred from the temperature near Mato, Yukon Territory. In *Periglacial geomorphology*. J.C. Dixon and A.D. Abraham (eds). Chichester: John Wiley and Sons Ltd, pp. 327-350. 1992.
- CALVET, J., CORBERA, J. & FURDADA, G. Variación del frente glaciario en Bahía Sur y Punta Siddons entre 1956 y 1991, Isla Livingston, Islas Shetland del Sur. In LÓPEZ-MARTINEZ J. (Ed.): *Geología de la Antártida Occidental*. Simposios T3, III Congreso Geológico de España y VIII Congreso Latinoamericano de Geología, Salamanca, España, p.283-292, 1992.
- CAMPBELL, B. & CLARIDGE, G.G.C. Antarctica: soil, weathering processes and environment. Nova York: Elsevier, 368p. 1987.
- CAMPBELL, I.B., & CLARIDGE, G.G.C. site and soil differences in the Brown Hills region of the Darin Glacier, Antarctica. *N.Z.J. Sci. 9*: 361-72. 1966.
- CARVER, A.J. *Fotografia aérea para planejadores de uso da terra*. Tradução Ruth Ferraz do Amaral. Brasília: MA/SNAP/SRN/CCSA, 77p. 1988.
- CHESNIM, L., YIEN, C.H. Turbimetric determination of available sulfates. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, v. 15, p.149-151, 1950.
- CLAPPERTON, C.M. & SUGDEN, D. Holocene glacier fluctuations in South America and Antarctica. *Quaternary Science Reviews*, v.7, p.185-198, 1988.

- DIAS, L., E. Dinâmica de formas de enxofre e de cátions trocáveis em colunas de solo tratadas com diferentes doses de fósforo e de gesso. Viçosa: UFV, 1992. 146p. Dissertação (Doutorado em solos e Nutrição de plantas)-Universidade Federal de Viçosa 1992.
- EMBRAPA - Manual de métodos de análise de solo. 2ed.Rio de Janeiro, EMBRAPA/CNPS, 212 p. 1997.
- EMBRAPA – Sistema Brasileiro de Classificação de solos. 1ed.Rio de Janeiro, EMBRAPA/CNPS, 412 p. 1999.
- FARINA, M. P. W., & CHANNON, P. Acid subsoil amelioration: II. Gypsum effects on growth and subsoil chemical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2:175-180, 1988.
- FIELDES, M., PERROT, K.W. The nature of allophane in soils. III. Rapid field and laboratory test for allophane. *N.Z.J. Sci* 9:623-629. 1966.
- FRANCELINO, M. R. Geoprocessamento aplicado ao monitoramento ambiental da antártica marítima: solos, geomorfologia e cobertura vegetal da península keller. Tese de Doutorado, Viçosa, UFV. 102p. 2004.
- FRANCELINO, M. R., SCHAEFER, C. E. G. R., FERNANDES FILHO E. I., SIMAS, F. N.B., COSTA, L. M., OLIVEIRA, A. C., MIRANDA, V. J., Coberturas vegetais na Península Keller: distribuição relações com a geoforma e solos. In *Ecossistemas Terrestres e Solos da Antártica Marítima, Viçosa Núcleo De Estudo De Planejamento E Uso Da Terra – NEPUT*, p.67-72. 2003.
- FRENCH, H.M. Periglacial geomorphology in North America: Current research and future trends. *Progress in Physical Geography*, 11. 569-587. 1987.
- GURGUL, H. Description of quantity and dispersion distribution changes of mineral suspensions occurring in the Ezcurra Inlet waters, King George Island within a year cycle. *Korean Journal of Polar Research* 4 (1), p.3-14, 1993
- HALL, K. & HALL, A. Thermal gradients and rock weathering at low temperatures: some simulation data. *Permafrost an periglacial processes*, 2, 103-112. 1992.
- HEDLEY, M.J., STEWART, J.W.B. E CHAUHAN, B.S. Changes in organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*; 46:970-976, 1982.
- HOLDGATE, M. W. Terrestrial ecology in the Maritime Antarctic. In *Biologie Antarctique*, pp. 181-94. Ed. Carrick, R., Holdgate, M. W. and Prévost, J. Paris: Herman. 1964.
- INPE. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Contém informações institucionais, técnicas, notícias, projetos, publicações e serviços. Disponível em: <<http://www.ceptec.inpe.br/antartica>>. Acesso em: 18 set. 2003.

- ISSS WORKING GROUP RB. World Reference Base For Soil Resources. International Society of Soil Sciences (ISSS). International Soil Reference and Information (ISRIC) and Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). World soil Resources Report 84. FAO. Rome. 91 pp. (<http://www.fao.org/whicent/faoinfo/agricult/agl/wrb/wrbhome.html>). 1998.
- KLÖSER, H. & ARNTZ, W.E.R. Research on Antarctic Shallow Coastal and Litoral Systems. *Polarforschung*, v. 64, n°1, p.27-41, 1994.
- LIPSKI, M. Variations of physical conditions and chlorophyll a contents in Admiralty Bay, King George Island, South Shetland Islands (1979). *Polish Polar Research* 8 (4), p.307-332, 1987.
- LONGTON, R.E. A discussion on the terrestrial Antarctic Ecosystem. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 213-235. 1967
- LUCKAS, B., VETTER, W., FISCHER, P., HEIDEMANN, G. & PLOTZ, J. Characteristic chlorinated hydrocarbon patterns in the blubber of seals from different marine regions. *Chemosphere*, 21 (1-2):67-102. 1990
- MARTIN, J.P., ZUNINO, H., PEIRANO, P, CAIOZZI, M., HAIDER, K. Decomposition of ¹⁴C-labelled lignins, model humic acid polymers and fungal melanins in allophanic soils. *Soils Biol. Biochem.* Vol. 14, p. 289-293, 1982.
- MATSUOKA, N. A model of the rate of frost shattering: application to field data from Japan, Svalbard and Antarctica. *Permafrost and periglacial processes*, 2, 271-281. 2001.
- MCCRAW. Soils of the Taylor Dry Vale. *N.Z.J. Geol. Geophys.* 10: 498-539. 1967.
- MMA, Brasília. Ministério do Meio Ambiente. Programa Antártico Brasileiro. Contém informações institucionais, técnicas, notícias, projetos, publicações e serviços. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/port/sbf/dap/antarpro.html>>. Acesso em: 11 dez. 2002.
- MÜNSEL color. Soil color chart . New Windsor: Macbeth, 10p. 1994.
- MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta*, 26 (1), 31-36. 1962.
- MYRCHA, A., PIETR, S.J., TATUR, A. The role of Pygoscelid Penguin Rockeries in Nutrient Cycles at Admiralty Bay, King George Island. In: W.R. Siegfried, P.R. Condy, R.M. Laws (eds). *Antarctic Nutrient Cycles and Food Webs*. Springer-Verlag, Berlin, Alemanha. 700 p. 1983.
- NELSON, O.W., SOMMERS, L.E., Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.Z. (Eds.), *Methods of Soil Analysis: Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, 2nd edn. American Society of Agronomy, Madison, pp. 539-577. 1982.

- OLECH, M. Lower plants. In: RAKUSA-SUSZCZEWSKI. The Maritime Antarctic Coastal ecosystem of Admiralty Bay. Warsaw: Polish Academy of Sciences. p.181-189. 1993.
- ORHEIN, O. & GOVORUKHA, L.S. Present-day glaciations in the Shetland Islands. *Journal of Glaciology* 3. p.233-238, 1982.
- OSTROUMOV, V. Impact of freezing on distribution of ions in soils. *Euro. Soil Sci.* 5:614-619. 1998.
- PALLÀS, R., VILAPLANA, J.M. & SÀBAT, F. Geomorphological and neotectonic of Hurd Peninsula, Livingston Island, South Shetlands Islands. *Antarctic Science* 7 (4): p.395-406, 1995.
- PARKER, B.C. & ANGINO, E.E. Environmental impacts of exploiting mineral resources and effects of tourism in Antarctica. *Mineral Resources Potential of Antarctica. In: Antarctic Research Series. V.51. p. 237-258, 1990.*
- PASTOR, J., BOCKHEIM, J.G. Soil development on moraines of Taylor Glacier, lower Taylor Valley, Antarctica. *Soils Sci. Soc. Amer. J.* 44:3410348. 1980.
- PECHERZEWSKI, G. Air pollution and natural sedimentation from the atmosphere in the region of the Admiralty Bay (South Shetland Islands). *Polish Polar Research, vol.8. n° 2. p.145-151, 1987.*
- PEGORINI, E.S., ANDREOLI, C.V. & SOUZA, M.L.P. Desenvolvimento de um sistema de avaliação da aptidão de solos e de impactos ambientais para a disposição agrícola do lodo de esgoto. In: *Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Londrina: SBCS (CD). 2001.*
- PETER, H.U. Survey and Management Plans for two Tourist Sites in the Antarctic – Scientific Basis and Indicators for the Development of Management Plans for Frequently Used Visitor Sites in the Antarctic. Berlin: Institute of Ecology, University of Jena, XXV ATCM. 2003.
- POLSKIEJ AKADEMII NAUK. Admiralty Bay, King George Island. Warsaw. 1990.
- PRÉNDEZ, M. & ESQUIVEL, L. Elementos químicos se depositan sobre la isla Rey Jorge *Boletim Antártico Chileno vol. 21 n°1, p.8-11, 2002.*
- PRICE, L. W. Rates of mass wasting in the ruby range, Yucon Territory. In: *Permafrost; North American contribution, second international permafrost conference, Yakutsk, USSR. Washinton DC: National Academu of Science, publication, 2115, pp.235-254. 1973.*
- RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. Matter Transport and Budgets in the Admiralty Bay Area. In: S. Rakusa-Suszczewski (ed.) *The Antarctic Coastal Ecosystem of Admiralty Bay. Polish Academy of Sciences, Warsaw. p. 199-212. 216 p. 1993.*

- RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S., MIETUS, M. & PIASECKI, J. Weather and climate. In: RAKUSA-SSZCZEWSKI, (Ed.) The Maritime Antarctic Coastal Ecosystem of Admiralty Bay, Department of Antarctic Biology, Polish Academy of Sciences, p. 19-25, 1993.
- RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S., MIETUS, M. & PIASECKI, J. Weather and climate. In: RAKUSA-SSZCZEWSKI, (Ed.) The Maritime Antarctic Coastal Ecosystem of Admiralty Bay, Department of Antarctic Biology, Polish Academy of Sciences, p. 19-25, 1993.
- RUDOLPH, E.D. Antarctic terrestrial ecosystems. In: A framework for assessing environmental of possible Antarctic mineral development, editado por ELLIOT, D.H. Institute of Polar Studies, p.1-59. 1977.
- SANTOS, I.R.; SCHAEFER, C.E.G.R.; SILVA FILHO, E.V. & ALBUQUERQUE, M.A. Contaminantes antrópicos em ecossistemas antárticos: estado-de-arte. In: SCHAEFER, C.E.G.R., FRANCELINO, M.R., SIMAS, F.N.B.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R. Ecossistemas Terrestres e Solos da Antártica Marítima. 192p. 2004.
- SCHAEFER, C.E.G.R., SIMAS, F.N.B., ALBUQUERQUE FILHO, M.R., VIANA, J.H.M., MICHEL R.F.M., TATUR, A. Fosfatização : Processo de formação de solos na Baía do Almirantado e implicações ambientais. In Ecossistemas Terrestres e Solos da Antártica Marítima, Viçosa Núcleo De Estudo De Planejamento E Uso Da Terra – NEPUT, p.45-59. 2003.
- SCHAEFER, C.E.R.G., FRANCELINO, M.R., SIMAS, F.N.B. & COSTA, L.M. Geologia e Geotectônica. In: SCHAEFER C.E.G.R., FRANCELINO, M.R., SIMAS, F.N.B.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R. Ecossistemas Terrestres e Solos da Antártica Marítima. p.7-14.. 192p. 2004.
- SHEPPARD, G.S., CLARIDGE, C.G.C. & CAMPBELL, I.B. Metals contamination of soils of Scott Base, Antarctica. Applied Geochemistry. 15, p.513-530. 2000.
- SIEVERS, J. & THOMSON, W. Adopting one name per feature on maps of Antarctica: an experimental application – Topographic Map (Satellite Image Map) 1:250.000 Trinity Peninsula SP21-22/13. Polarforschung 65(3), p.123-131p, 1998.
- SIMAS, F.N.B., SCHAEFER, C.E.G.R., ALBUQUERQUE FILHO, M.R., MICHEL R.F.M., COSTA, L. M., MENDONÇA, E.S., PEDROSO, I.V.C.P., Carbono imobilizado: indicador ambiental nos criossolos da Península Keller, In Ecossistemas Terrestres e Solos da Antártica Marítima, Viçosa Núcleo De Estudo De Planejamento E Uso Da Terra – NEPUT, p.32-38. 2003.
- SIMÕES, J.C., FERRON, F.A., BRAUN, M., ARIGONY NETO, J. & AQUINO, F.E. A GIS for the Antarctic Specially Managed Area (ASMA) of Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. Geo-Spatial Information Science Quarterly 2. Proceedings of the SCAR WG-GGI, International GIS Workshop on Antarctic King George Island, 6/7 July. p.8-14, 2000.

- SMITH, R.I.L. Terrestrial plant biology. In: LAWNS, R.M. (ed.) Antarctic ecology. London, Academic Press, 371p. 1984.
- SOIL SURVEY STAFF. Keys to Soil Taxonomy. 8^a Edn. Washington: USDA-NCR. 1998.
- SOIL SURVEY STAFF. SSSIR no. 42, Soil Survey Laboratory Methods Manual. U.S Dept.Agr. 716 pp. 1996.
- SWIFT, R.S. 1996 Organic matter characterization (chap 35). pp. 1018-1020. In D.L. Sparks et al. (eds) *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*. Soil Sci. Soc. Am. Book Series: 5. Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI
- SYROETCHKOVSKY, E. E. The role of animals in the fosfatization of primary soils under the condition of circumpolar regions of earth (Antarctica). *Zoolog. Zhur.* 38: 1770-1775. 1959.
- TARNOCAI C., Broll G., Blume H.P. Classification of Prmafrost-Afected sils in the WRB. In *Cryosols, Permafrost Affected Soils*, New York, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p.627-637. 2004.
- TATUR, A. & BARCZUK, A. Ornithogenic Phosphates on King George Island, Maritime Antarctic. In: W.R. Siegfried, P.R. Condy, R.M. Laws (eds). *Antarctic Nutrient Cycles and Food Webs*. Springer-Verlag, Berlin, Alemanha. 700 p. 1983.
- TATUR, A. & MYRCHA, A. 1984. Soils and vegetation in abandoned penguin rockerries (Maritime Antartic). *Proc. NIPR Symp. Polar Biol.*, 2, 181-189, 1989.
- TATUR, A. & MYRCHA, A. Ornithogenic Soils. In: S. Rakusa-Suszczewski (ed.) *The Antarctic Coastal Ecosystem of Admiralty Bay*. Polish Academy of Sciences, Warsaw. p.161-165. 216p. 1993.
- TATUR, A. & MYRCHA. A. Ornithogenic soils of King George Island. *Polish Polar Research* 5:31-60. 1984.
- TATUR, A. 1997: Ornithogenic soils of the Maritime Antarctic: taxonomic position. *Pol Polar Stu.* 24th Polar symposium, Warszawa.
- TEDROV, J.C.F & UGOLINI, F.C. Antarctic Soils. Ser 8: 161-177. In J.C.F. Tedrov (Ed.) *Antarctic Soils and soil forming process*. Am. Geophys. Union Antarct.Res. 1966.
- THORN, C.E. & DARMODY, R.G. Permafrost and ground temperature regimes: a challenging soil classification problem in low arctic and alpine environments. *Geografisk Tidsskrift, Danish Journal of Geography* V.102: p.1-9. 2002.
- UGOLINI, F.C. Ornithogenic soils of Antactica. 20: 181-193. In: G.A. Llano (ed), *Antarctic Terrestrial Biology*. Am. Geographies. Union Antact. Res. Ser. 1972.
- UGOLINI, F.C. Weathering and mineral synthesis in Antarctic soils. *Antarct. J. U. S.* 11:248-249. 1976

- WALKLEY, A., BLACK, A. Critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils-effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Science*. 63, 251-264. 1947.
- WELLMWN, H.W., WILSON, A.T. Salt weathering a neglected geological erosive agent in coastal and arid environments. *Nature* 205: 1087-1098. 1965.
- WGGGI. Working Group of Geodesy & Geographic Information. Composite Gazetter of Antarctica. Disponível em <http://www.pnra.it/SCAR_GAZE>. Acessado em 19 de julho de 2002
- WHITTAKER, R.H. *Communities and ecosystems*, Nova York: McMillan. 1975. 387p.
- WILLIAMS, P.J. Climatic Factors Controlling Distribution of Certain Frozen Ground phenomena. *Geografiska Annaler*, 43, 339-360. 1961.
- YOEMANS, J. C. E BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 19: 1467-1476. 1988.
- ZHAO, Y. & XU, C. Human impact on the terrestrial ecosystem of Fildes Peninsula of King George Island, Antarctica. *Journal Environmental of the. Science*. v.12:12-17, 2000.
- ZUNINO, H., BORIE, F., AGUILERA, S., MARTIN, J.P., HAIDER, K. Decomposition of ¹⁴C-labelled glucose, plant and microbial products and phenols in volcanic ash-derived soils of Chile. 1981.