

MÁRCIO ROCHA FRANCELINO

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO MONITORAMENTO
AMBIENTAL DA ANTÁRTICA MARÍTIMA: SOLOS,
GEOMORFOLOGIA E COBERTURA VEGETAL
DA PENÍNSULA KELLER**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL

2004

MÁRCIO ROCHA FRANCELINO

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO MONITORAMENTO
AMBIENTAL DA ANTÁRTICA MARÍTIMA: SOLOS,
GEOMORFOLOGIA E COBERTURA VEGETAL
DA PENÍNSULA KELLER**

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

APROVADA: 29 de março de 2004.

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

Prof. Walter Antônio Pereira Abrahão

Prof. Norberto Dani

Prof. Carlos Antônio O. Vieira

Prof. Elpídio Inácio Fernandes Filho
(Orientador)

À minha esposa *Kelia* e ao meu filho *Gabriel*, pelo amor e incentivo.

AGRADECIMENTO

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização do curso.

À CAPES, pela concessão da bolsa.

Ao professor Elpídio Inácio Fernandes Filho, pela orientação e amizade.

Ao professor Carlos Ernesto Schaefer, pela oportunidade dada de participar do Projeto Criossolos, pela co-orientação e pela 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 esposa Kelia e ao meu filho Gabriel, pelo apoio, incentivo e amor ofertado a todo instante, inclusive nas muitas horas ausente.

Aos meus pais e 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 Sérvulo Batista Rezende, pela amizade, pelos ensinamentos e pela valiosa contribuição, a qual enriqueceu muito este trabalho.

Ao professor Liovando Marciano da Costa, pela amizade, pelo incentivo e pelas lições de ciência e de vida.

Aos grupo-base da XXI e XXII OPERANTAR, pela dedicação em realizarmos nossas atividades de campo.

Aos professores Walter Abrahão, Norberto Dani e Carlos A. O. Vieira, pelas importantes sugestões, que muito contribuíram para a finalização deste estudo.

Aos amigos Antárticos Manoel Ricardo, Felipe, Roberto, João Herbert, Miriam, Ulisses, Débora, Luiz Dias, Isaac e Vander, por tudo.

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

Ao senhor Darcy pela confecção do suporte da máquina fotográfica.

Ao professor Mitishita, da UFPR, pela calibração da câmera fotográfica.

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 alpinistas do CAP, pelo apoio irrestrito nos trabalho de campo.

Aos amigos Eufraim e Léo, Valdinar e Carminha, Gualter e Ermelinda, Solon e Ione, Nazaré e Edson, Waldir e Taís, Carlos Severo e Rubiane, Nunes, Claudinha, Elaine, Luiz Alfredo e outros que por descuido não tenha sido citado, que fizeram o tempo de Viçosa mais agradável.

Aos estagiários do LABGEO, Gilberto e Aline, pelo enorme auxílio.

A outros que por descuido não tenham sido citados, mas que, de diferentes formas, contribuíram para a concretização deste trabalho.

BIOGRAFIA

MÁRCIO ROCHA FRANCELINO, filho de Antonio José Francelino e Francisca Rocha Francelino, nasceu no dia 7 de julho de 1966, no município do Rio de Janeiro-RJ.

Graduou-se em Engenharia Agrônômica em 1997 pela Escola Superior de Agricultura de Mossoró, no Rio Grande do Norte. Em 2000, concluiu o mestrado em Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Federal de Viçosa.

Em março de 2000, ingressou no Programa de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal de Viçosa. Para realização da tese, participou das Operações Antártica XXI e XXII.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. CONTEXTO CIENTÍFICO E MOTIVAÇÃO	3
2.1. O ecossistema terrestre da Antártica Marítima: uma síntese	3
2.2. Política ambiental para a Antártica: o Tratado Antártico	6
2.3. Área Antártica Especialmente Gerenciada da Baía do Almirantado	7
2.4. Unidades geoambientais da AAEG da Baía do Almirantado	9
2.5. Antártica Marítima: impactos e indicadores ambientais	10
3. FOTOGRAFIAS AÉREAS E GEOPROCESSAMENTO	15
3.1. Área de estudo	15
3.2. Fotografias aéreas não-convencionais	16
3.2.1. Metodologia para obtenção das fotografias aéreas	18
3.2.2. Fotografias aéreas e monitoramento ambiental	20
3.3. Geoprocessamento	23
3.3.1. Sistema de Informações Geográficas (SIG) aplicado à AAEG da Baía do Almirantado	23
3.3.2. Elaboração dos dados para o Sistema de Informações Geográficas	24

3.3.3. Modelo digital de elevação	25
4. CENÁRIO AMBIENTAL	28
4.1. Clima	28
4.2. Geologia	33
4.2.1. Geologia da Península Keller	35
4.2.1.1. Grupo Enseada Martel	35
4.2.1.2. Intrusão Andina - Grupo Pico Wegger, com sulfetos	37
4.2.1.3. Diques vulcânicos Grupo Baía do Almirantado (Paleoceno até Mioceno)	39
4.2.1.4. Depósitos glaciais Quaternários indiferenciados (till)	39
4.3. Drenagem e Água de Degelo	39
4.3.1. Composição química da água de degelo	42
4.4. Glaciologia e Geomorfologia	44
4.5. Geomorfologia	48
4.5.1. Descrição das principais unidades geomorfológicas	53
4.6. Cobertura Vegetal	61
4.6.1. Ecologia e estratégias adaptativas	62
4.6.2. Cobertura vegetal e geoformas	63
4.7. Solos	70
4.8. Monitoramento e Indicadores Ambientais	76
4.8.1. Bioindicadores e biomonitoramento	76
4.8.2. Biomonitoramento aplicado à EACF	77
4.8.3. Solos e monitoramento ambiental	81
4.8.4. Água de degelo	86
CONCLUSÕES	88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90

RESUMO

FRANCELINO, Márcio Rocha, D.S., Universidade Federal de Viçosa, março de 2004.
Geoprocessamento aplicado ao monitoramento ambiental da Antártica Marítima: solos, geomorfologia e cobertura vegetal da Península Keller.
Orientador: Elpídio Inácio Fernandes Filho. Conselheiros: Carlos Ernesto G.R. Schaefer e Liovando Marciano da Costa.

Este trabalho teve como objetivo elaborar uma base cartográfica em escala adequada, constituída de mapas ambientais temáticos da Península Keller, bem como propor indicadores para o monitoramento ambiental permanente da Área Antártica Especialmente Gerenciada da Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica. Pouco se conhece sobre as inter-relações das unidades geoambientais e suas influências nos ecossistemas da Antártica Marítima, o que torna necessário estudo mais detalhado dos ambientes terrestres a fim de subsidiar as atividades de avaliação de impacto e monitoramento ambiental. Foram realizados intensos trabalhos de campo durante as Operações Antártica XXI e XXII (verões de 2002/2003 e 2003/2004), como parte do Projeto Criossolos Austrais: solos criogênicos da Antártica - distribuição, ciclagem biogeoquímica, seqüestro de carbono e retenção de metais pesados - CRIOSSOLOS. Na primeira etapa obtivemos as fotografias aéreas utilizando suporte desenvolvido especificamente para este fim, o que permitiu, através da fotoanálise, a confecção dos mapas de solos, geomorfologia, cobertura vegetal e drenagem, além do melhor detalhamento do mapa geológico já existente. Os pontos de controle obtidos com o uso

de receptor DGPS serviram de base para a elaboração do modelo digital do terreno da península, auxiliando na confecção do mosaico e na interpretação das feições do relevo de Keller. As unidades geomorfológicas são predominantemente de natureza deposicional e refletem ação de erosão periglacial, sendo os processos de solifluxão sua característica mais marcante. Foi verificada estreita relação entre as geoformas e a presença de cobertura vegetal, como reflexo do aporte nutricional oriundo das atividades ornitogênicas, que possuem clara preferência pelas feições mais estáveis. Esta associação condiciona a formação de condições pedogenéticas favoráveis. A cobertura vegetal, constituída principalmente de líquens e briófitas, apresentou distribuição estreitamente relacionada com o relevo e solos, constituindo-se em importantes indicadores de alterações ambientais. Análises de metais pesados nos materiais vegetais indicaram diferentes fontes conforme o tipo de cobertura vegetal ou solo. Os Leptosolos e Criossolos são os solos predominantes na Península Keller, sendo caracterizados pela pouca profundidade e presença de *permafrost* descontínuo. Foi verificado, no entanto, que o sistema da FAO, utilizado para classificar os solos criogênicos da área de estudo, se apresentou limitante pela obrigatoriedade da presença do *permafrost*, por ser este atributo descontínuo na Península Keller. Além disso, o sistema da FAO não considera a contribuição ornitogênica, de grande destaque na área, nem mesmo em segundo nível categórico.

ABSTRACT

FRANCELINO, Márcio Rocha, D.S., Universidade Federal de Viçosa, March of 2001.
Geoprocessing applied to the environmental monitoring of the Maritime Antarctic: soils, geomorphology and vegetable cover of the Keller Peninsula.
Adviser: Elpídio Inácio Fernandes Filho. Committee Members: Carlos Ernesto G.R. Schaefer and Liovando Marciano da Costa.

This work aimed to produce a cartographic basis at an adequate scale, in the form of thematic environmental maps of Keller Peninsula, as well as to propose indicators for the environmental permanent monitoring of the ASMA of Admiralty Bay, King George Island, Antarctic. Little is known about the relationship between different aspects of the geoenvironmental and their influence upon the Maritime Antarctic ecosystems, urging more detailed studies in the terrestrial environments to help the environmental monitoring and impact assessment. There were accomplished intensive field work during the XXI and XXII Brazilian Antarctic Operation (summers 2002/2003 and 2003/2004), as part of the Austral Cryosoil Project. In the first part aerial photographs were obtained, using support specifically developed to this aim allowing the taking of aerophotos using the Navy Helicopter. Following the interpretation of these aerial photos, soil, geomorphology, vegetation and drainage maps were produced at 1:2500 scale. In the second part, by using differential GPS, a digital elevation model was built for Keller Peninsula, helping to interpreting some glaciogenic features of Keller morphology. The geomorphological units were predominantly of depositional nature and result from periglacial processes, solifluxion being a prominent

characteristic. There is a close interplay between vegetation and landforms, as result of higher colonization on stable surfaces. This in turn, leads to greater pedogenic. The vegetation is basically lichens and Bryophytes with a clear relation with soils and landform distribution, being important environmental indicators. Heavy metal analysis of plant materials of different sources have indicate the characteristic od each soil/landform associated. Leptosol and Cryosol are the dominant soils of Keller Peninsula, being generally shallow and possessing discontinuous permafrost. The use of FAO system of soil classification was constrained by the requirement for the permafrost obligatory presence, as well as to the disregard to ornithogenic, are important feature of Antarctic soil.

1. INTRODUÇÃO

O sistema natural do continente Antártico é bem menos complexo do que os de ambientes de baixa latitude. Essa simplicidade o torna mais frágil e, por isso, mais suscetível a danos ambientais permanentes, devido à lenta taxa em que os processos de reabilitação avançam.

A Antártica Continental é mais fria e seca, enquanto a sua parte marítima é mais úmida e possui um ecossistema mais diversificado e dinâmico. Pelas características distintas do seu meio físico, esta região apresenta diferentes respostas aos impactos ambientais.

Na Ilha Rei George, no arquipélago das Shetlands do Sul, desde 1984 está localizada a estação de pesquisa brasileira (Estação Antártica Comandante Ferraz - EACF). Ao ratificar o Tratado da Antártica, o Brasil “assumiu compromissos internacionais que implicam no dever de realizar pesquisa científica e de preservar o meio ambiente antártico” (MMA, 2002).

Diante desse compromisso, foi estabelecido, através de esforço conjunto de órgãos governamentais, um amplo projeto para estudar as mudanças ambientais naquele continente. Para tanto, foram instituídas duas linhas de atuação, na forma de redes de pesquisa: mudança ambiental global e seu impacto no território brasileiro (Rede 1) e monitoramento dos indicadores ambientais básicos para avaliação do impacto local causado pelas atividades do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR) na Antártica (Rede 2) (MMA, 2002).

Como parte da Rede 2, o Projeto Criossolos Austrais: solos criogênicos da Antártica - distribuição, ciclagem biogeoquímica, sequestro de carbono e retenção de metais pesados, coordenado pelo professor Carlos Ernesto R.G. Schaefer, da Universidade Federal de Viçosa, contribui com estudos sobre os diferentes aspectos dos ecossistemas terrestres com ênfase em solos.

As inter-relações das unidades geoambientais e sua influência nos ecossistemas locais na Antártica Marítima ainda são pouco conhecidas, razão pela qual é necessário maior compreensão desse sistema a fim de subsidiar as atividades de avaliação de impacto e monitoramento ambiental das áreas livres de gelo da Baía do Almirantado.

Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo estudar e mapear em detalhe a geomorfologia, os solos e a cobertura vegetal da Península Keller, onde se localiza a EACF, bem como propor indicadores de forma a subsidiar o monitoramento ambiental da Área Antártica Especialmente Gerenciada (AAEG) da Baía do Almirantado.

2. CONTEXTO CIENTÍFICO E MOTIVAÇÃO

2.1. O ecossistema terrestre da Antártica Marítima: uma síntese

As áreas costeiras da Antártica são sítios de procriação e repouso para focas e aves. No caso das focas, a maioria vive sobre blocos de gelo flutuantes e, ocasionalmente, na terra (BONNER, 1984). A foca de Wedell (*Leptonychotes weddellileopardos*), por exemplo, é facilmente encontrada nos neveiros próximo das praias de seixos da Península Keller, durante o verão (Figura 1). Outros mamíferos comuns nas áreas livres de gelo da Baía do Almirantado são o elefante-marinho (*Mirounga leonina*) e o lobo-marinho (*Arctocephalus gazella*).

Dezenove espécies de aves vivem na Antártica. Assim como os mamíferos, sua alimentação está intimamente ligada ao oceano. Todas elas vivem em terra, com exceção do pingüim imperador (*Aptenodytes forsteri*), que habita as banquisas de gelo (CROXALL, 1984). Na área da Península Keller é possível encontrar atualmente sete espécies de aves: os pingüins Adélia (*Pygoscelis adeliae*), Antártico (*Pygoscelis antarctica*) e o Papua (*Pygoscelis papua*), e mais quatro outras espécies que nidificam na área: a skua parda (*Catharacta lonnbergii*) (Figura 2), trinta-réis (*Sterna vittata*), gaivotão (*Larus dominicanus*) e petrel (*Oceanites oceanicus*).



Figura 1 – Foca de Wedell (*Leptonychotes weddellileopardos*) na Península Keller.

A flora terrestre da Ilha Rei George é constituída, basicamente, por vegetais inferiores, caracterizados pela presença de cianobactérias, algas verdes, fungos, [liquens](#) e [musgos](#). São encontradas somente duas espécies de vegetais superiores, a gramínea *Deschampsia antarctica* (Figura 3) e a cariofilácea *Colobanthus quitencis*. Fatores locais, tais como temperatura, estabilidade mecânica da superfície, tipo de rocha e erosão eólica, são críticos para sua ocorrência, estabelecendo nítida definição nos limites de sobrevivência de cada grupo. Estas plantas são altamente especializadas e os seus nichos são, às vezes, tão restritos que podem ser bons indicadores de mudanças ambientais.

Os animais invertebrados consistem de micro-artrópodes, nematóides, protozoários e outros, somando, aproximadamente, 150 em toda a Antártica (SMITH, 1984). Os ecossistemas terrestres incluem ainda comunidades de microorganismos que vivem nas rochas ou nos solos, ou nas adjacências dos neveiros e das geleiras.

Em contraste com a riqueza do oceano, a parte terrestre da Antártica é caracterizada pela baixa diversidade de espécies, menor biomassa total, taxa de ciclagem lenta e cadeia alimentar simplificada, apresentando poucos níveis tróficos (PARKER, 1978). As taxas baixas de fluxo de energia e ciclagem de nutrientes, associado ao lento desenvolvimento das comunidades vegetais, fazem com que esses ecossistemas possuam uma grande sensibilidade a perturbações, das quais se recuperam mais lentamente (WALKER *et al*, 1997).

De maneira geral, o espaço restrito de áreas livres de gelo na Antártica (menos de 2%), juntamente com a redução de alimentos no inverno, são os principais fatores limitantes ao crescimento da população de aves e mamíferos (CROXALL, 1984).



Figura 2 – Skua parda (*Catharacta lonnbergii*).



Figura 3 – Campo de *Deschampsia antarctica* ocupada por pingüins Antárticos (*P. antarctica*).

2.2. Política ambiental para a Antártica: o Tratado Antártico

Em 1957, o Conselho Internacional de União Científica (CIUC) aprovou a criação do Comitê Especial para Pesquisas Antárticas, atualmente Comitê Científico para Pesquisas Antárticas (*Scientific Committee on Antarctic Research - SCAR*), formado por delegados de 12 países engajados em pesquisas antárticas. Uma vez encerrada a etapa inicial, os países participantes das pesquisas antárticas mantiveram suas estações, reafirmando seu interesse na região, o que motivou a convocação para a conferência de Washington em 1959, que discutiria o futuro do Continente. Os diversos interesses manifestados pelos países atuantes na Antártica, alguns dos quais reivindicando soberania territorial, somado ao clima de guerra fria vigente naquela época, pois a antiga União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) estabeleceu bases nas proximidades das áreas adjacentes aos setores reivindicados por diversas nações, apressaram a busca de um regime jurídico apropriado para a solução da complexa situação criada na região (MMA, 2002).

Como resultado da conferência de Washington, os 12 países que dela participaram assinaram, em 1º de dezembro de 1959, o Tratado da Antártica, que entrou em vigor em 23 de junho de 1961. Ele possui um regime jurídico que estende a outros países, além dos 12 iniciais, a possibilidade de se tornarem Partes Consultivas nas discussões que regem o "status" do Continente quando, demonstrando seu interesse, realizarem atividades de pesquisa científica substanciais (MMA, 2002).

A área abrangida pelo Tratado da Antártica situa-se ao sul do paralelo de 60°S, na qual se aplicam os seus 14 artigos, que consagraram princípios como: a liberdade para a pesquisa científica, a cooperação internacional para esse fim e a utilização pacífica da Antártica, proibindo expressamente a militarização da região e sua utilização para explosões nucleares ou como depósito de resíduos radioativos (MMA, 2002).

Como o Tratado expirava em 30 anos, em 1991 realizou-se em Madri a XI Reunião Consultiva Especial do Tratado da Antártica, com a aprovação do protocolo sobre proteção ambiental para o Tratado da Antártica, que ficou conhecido como Protocolo de Madri, cujo documento consta de vinte e sete artigos, com quatro anexos referentes à determinação do impacto ambiental, conservação da fauna e flora Antártica, deposição e manejo de lixo, prevenção da poluição marinha (ATCPs, 1993).

Há itens específicos dentro do Tratado que definem áreas sob proteção especial, existindo cinco categorias:

- Área Especialmente Protegida;
- Sítio de Especial Interesse Científico;
- Sítio e Monumentos Históricos;
- Área Especialmente Reservada; e
- áreas de Planejamento de Uso Múltiplo.

Já o anexo V do Protocolo de Madri faz uma distinção mais clara entre sítios protegidos e sítios gerenciados, estabelecendo assim duas novas categorias:

- Áreas Antárticas Especialmente Protegidas (AAEP); e
- Áreas Antárticas Especialmente Gerenciadas (AAEG).

Os objetivos de criar áreas “Especialmente Gerenciadas” da Antártica são: auxiliar o planejamento e a coordenação das atividades científicas e logísticas, evitar possíveis conflitos diplomáticos, melhorar a cooperação entre países que atuam na mesma área geográfica e minimizar os impactos ambientais (ATCPs, 1993). É necessária a apresentação de um plano de gerenciamento, o qual deve ser revisado a cada cinco anos, podendo incluir áreas onde as atividades oferecem riscos de interferência mútua ou impacto ambiental cumulativo, além de locais ou monumentos de reconhecido valor histórico (ATCPs, 1993).

2.3. Área Antártica Especialmente Gerenciada da Baía do Almirantado

No continente Antártico, a Península Antártica apresenta condições climáticas diferenciadas, tratando-se de uma zona de transição entre uma costa oeste polar-marítima e uma costa leste continental (BRAUN e GOSSMANN, 2002). Por causa dessa condição climática particular e da sua localização como uma barreira física para circulação atmosférica, a Península representa uma área de alta sensibilidade a mudanças no sistema climático (BRAUN e RAUL, 2000).

Ao noroeste da Península Antártica está localizado o Arquipélago das Shetlands do Sul, compreendendo 29 ilhas, entre as quais a Ilha Rei George (Figura 4) (ORHEIM e GOVORUKHA, 1982).

A Ilha Rei George é a maior das Ilhas Shetland do Sul e possui 93% de sua área coberta por gelo (BRAUN e RAUL, 2000). No entanto, em decorrência de sua posição geográfica e da espessura de sua cobertura glacial, a ilha tem sua massa de gelo muito

próxima do ponto de fusão, ou mesmo coincidente com ele (ARIGONY NETO *et al*, 2001). A ilha vem apresentando, principalmente a partir da década de 1950, uma significativa retração glacial, sendo detectada uma diminuição de 7,7% (3,55 km²) na sua área de gelo (BRAUN, 2001; ARIGONY NETO *et al*, 2001), expondo grandes áreas de solos e sedimentos. Essas áreas livres de gelo sofrem fortes impactos das geleiras, principalmente no que se refere à sucessão vegetal e ao transporte de sedimentos das águas derretidas das geleiras para a Baía do Almirantado (BRAUN *et al*, 2000). Por essas características, a Ilha Rei George tornou-se um importante ponto de estudos de diversas áreas do conhecimento, principalmente meteorológicos e glaciológicos, o que se refletiu em aumento no número de pesquisadores na região, além da presença crescente de turistas, ocasionando maior pressão sobre seus ecossistemas.

A Ilha Rei George, desde que foi descoberta em 1819 por William Smith, tem sido submetida a vários tipos de exploração e objeto de várias expedições científicas (SIMÕES *et al*, 2000). Atualmente, é uma das principais atrações do turismo antártico (SIMÕES *et al*, 2000), chegando a receber até mais de 4.000 turistas durante o verão, devido principalmente à sua paisagem tipicamente antártica, à proximidade e à presença de abundante vida selvagem (ARIGONY NETO, 2001).

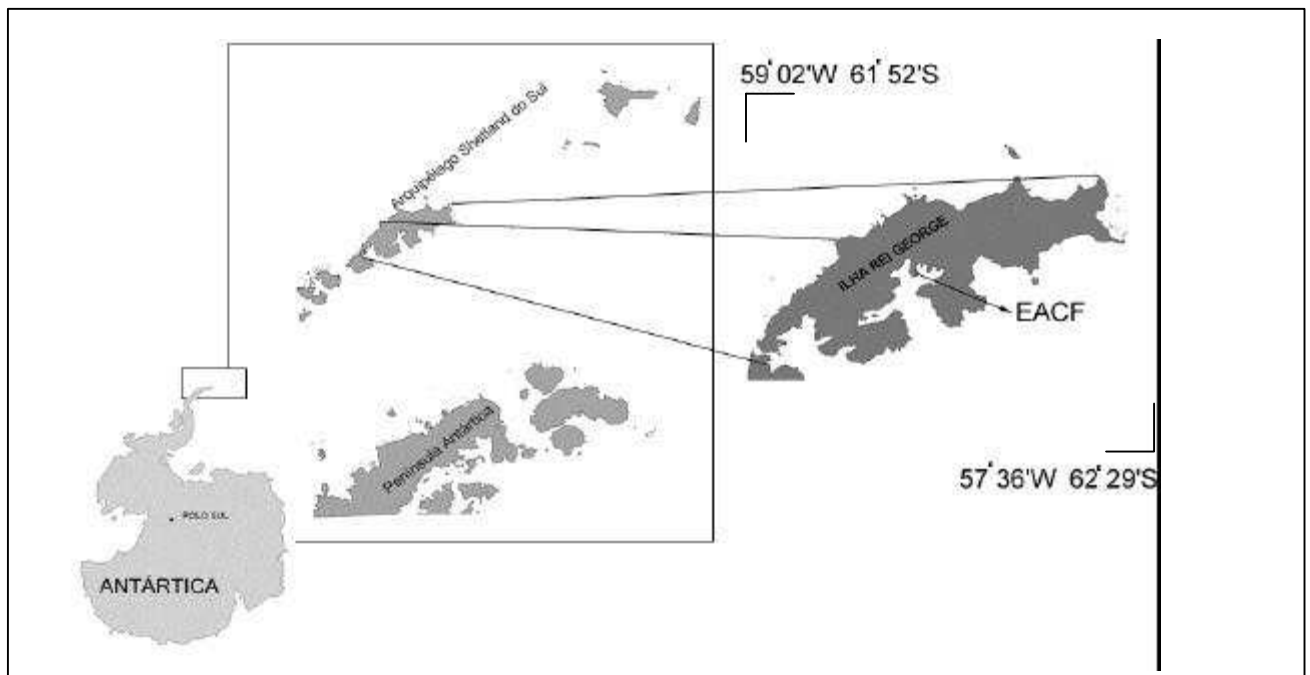


Figura 4 – Localização do Arquipélago Shetland do Sul, com destaque para a Ilha Rei George.

A ilha abriga hoje nove estações científicas, das quais três estão na área da Baía do Almirantado, que tem a seu favor sua condição de ancoradouro natural, proporcionando melhor proteção contra as intempéries climáticas típicas da região. Em 1996, devido ao aumento do número de atividades humanas na área da Baía do Almirantado, o que poderia causar impactos no ecossistema local, foi proposta pelos dois principais programas antárticos que operam na região (Brasil e Polônia), a criação da primeira Área Antártica Especialmente Gerenciada (AAEG) (ATCPs, 1996), o que teve apoio do Equador e do Peru, países que também desenvolvem atividades na área da baía. No mesmo ano, a proposta foi adotada e o plano de manejo aceito pelos países contratantes (ATCPs, 1996). A fronteira da AAEG corresponde aproximadamente aos limites das bacias glaciais que fluem para a baía e parte da Área de Interesse Científico Especial (AICE) nº 8 (Figura 5), somando uma área de 362 km², incluindo 186 km² de geleiras e mais 32 km² de área livre de gelo (ARIGONY NETO, 2001). O restante da área inclui a água da baía e pequenas áreas adjacentes ao Estreito de Bransfield (SIMÕES *et al*, 2000).

2.4. Unidades geoambientais da AAEG da Baía do Almirantado

O conceito de unidades geoambientais compreende realidades diversas, de acordo com as áreas do conhecimento contempladas (geografia, ecologia, pedologia, etc.). Para RICHÉ & TONNEAU (1989), uma unidade geoambiental é definida como a entidade espacializada, na qual o substrato (material de origem do solo), a vegetação natural, a topografia e a natureza e distribuição dos solos constituem um conjunto de problemática homogênea, cuja variabilidade é mínima, de acordo com a escala cartográfica. Considerando as especificidades de um ambiente subpolar marítimo, a compreensão das relações entre as unidades geoambientais existentes, além de desafiadora, é importante e necessária para a implementação de ações de preservação e monitoramento. No caso da AAEG da Baía do Almirantado, em seus 8,8% de área livre de gelo está presente um ecossistema terrestre fortemente afetado pela presença humana e que necessita de estudos mais detalhados para melhor compreender possíveis mudanças que possam estar ocorrendo em seu equilíbrio.

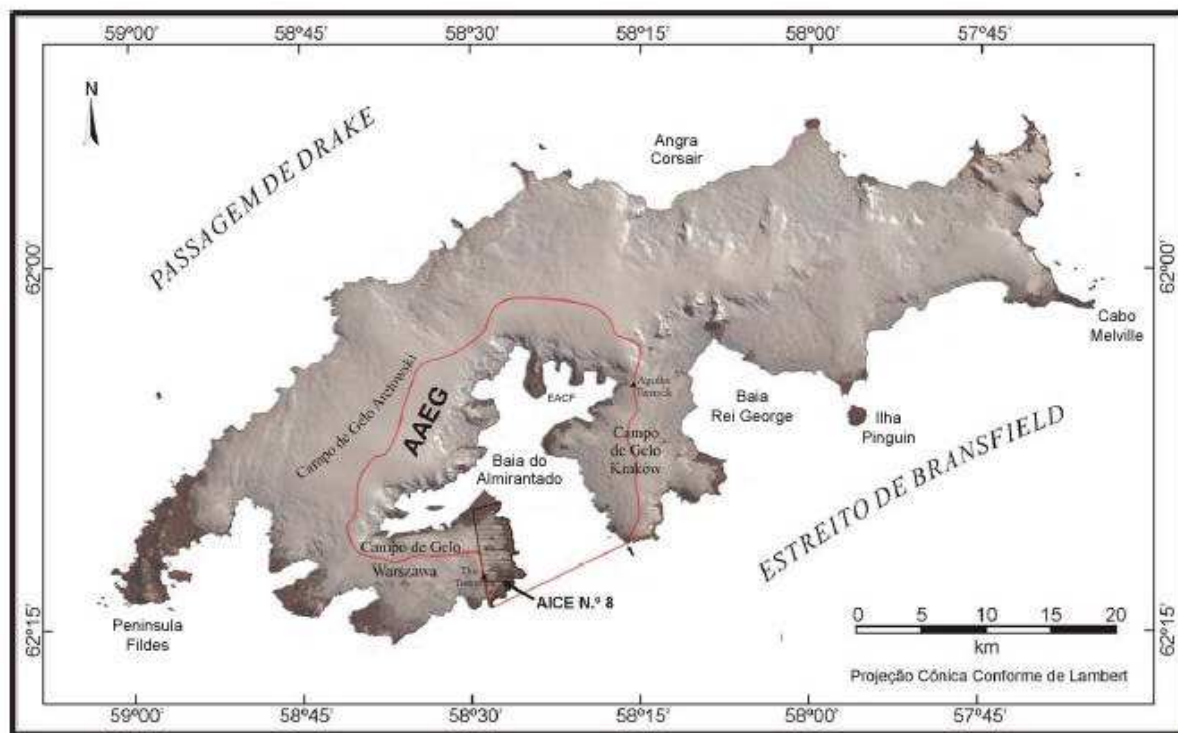


Figura 5 – Limite da AEG da Baía do Almirantado, na Ilha Rei George (Fonte: ARIGONY NETO, 2001).

2.5. Antártica Marítima: impactos e indicadores ambientais

Em seu art. 8º, o Protocolo diferencia três graus de impacto ambiental:

- inferior a um impacto menor ou transitório;
- um impacto menor ou transitório; ou
- superior a um impacto menor ou transitório.

Portanto, não sendo definidos os parâmetros correspondentes a "um impacto menor ou transitório". A dificuldade em qualificá-lo se deve ao fato de que a amplitude ou intensidade de um impacto variam com a duração, localização e intensidade da atividade, bem como dependem das características do ecossistema, ou seja, variam de acordo com as circunstâncias de cada caso.

De modo geral, conforme o art.1º da Resolução 001/86 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, um impacto ambiental corresponde a “quaisquer alterações das propriedades físicas, químicas ou biológicas do meio ambiente, causadas por qualquer forma de matéria ou energia resultante de atividades que, direta ou indiretamente, afetem: a) a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

b) as atividades sociais e econômicas; c) a biota; d) as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e e) a qualidade dos recursos naturais”.

O PROANTAR (Programa Antártico Brasileiro) adotou as seguintes definições para o conceito de Impacto Menor ou Transitório (IMT) (MMA, 2002):

1- Será considerado impacto menor ou transitório aquele que for observável durante apenas um curto período de tempo, que não ultrapasse a capacidade assimiladora natural local de seus efeitos e que, em particular, não introduza espécies exóticas na região, modifique de forma claramente visível os habitats naturais e turísticos, a fisiografia local, os valores estéticos, históricos, naturais e turísticos, introduza contaminantes em níveis superiores aos padrões internacionais, gere ruídos e odores que possam perturbar o comportamento normal das espécies da região, perturbe outras atividades e a segurança humana e que, conseqüentemente, ainda que possa requerer algumas medidas de mitigação, não exige medidas de recuperação, nem de avaliação de alternativas locais e tecnológicas.

2- Será considerado impacto superior a um impacto menor ou transitório todo aquele cujos efeitos sejam de curta ou longa duração, que ultrapasse a capacidade assimiladora natural local de seus efeitos, que viole acordos internacionais sobre a proteção dos ecossistemas antárticos e de seus recursos naturais, bem como provoque riscos à segurança humana e, em particular, reduza a diversidade específica, e que, conseqüentemente, requeira medidas efetivas de mitigação/eliminação, através, inclusive, da avaliação de alternativas locais e tecnológicas, assim como de recuperação de ambientes atingidos. Atividades indutoras deste nível de impacto são, entre outras, a construção de edifícios, o abandono de estações de pesquisas, as perfurações no gelo usando fluidos para essa atividade, a construção e operação de novas estações de pesquisas, a construção de aeroportos e as operações de navios de passageiros ou de transporte (reparos, disposição de resíduos, vazamentos diversos, navegação fora das rotas permitidas, desembarque de passageiros em áreas não permitidas, etc.)

3- Será considerado inferior a um impacto menor ou transitório aquele que seja de muito curta duração, que não induza qualquer efeito mencionado no primeiro item, em qualquer grau, nível e extensão, intensidade, etc., que não requeira qualquer medida de mitigação e, em especial, que possa ser repetido sem atingir o limite da capacidade assimiladora de seus efeitos e que, estritamente, se caracterize como uma

pequena atividade resultante ou necessária a uma pesquisa científica/tecnológica, bem como as que forem ser realizadas em estações permanentes ou estacionais de pesquisa. Serão também consideradas deste nível operações com aviões utilizando áreas não previamente preparadas para a sua aterrissagem, pequenas embarcações, a renovação de resíduos de estações de pesquisa abandonadas e as atividades necessárias à conservação de locais históricos.

Métodos alternativos de avaliação de impactos têm sido sugeridos por vários pesquisadores (PETER, 2003; PEGORINI *et al*, 2001; ZHAO & XU, 2000), assim como a determinação de indicadores ambientais. Para avaliar os impactos ambientais ocasionados pela atividade turística. PETER (2003) idealizou cinco indicadores:

- 1) O número de aves oceânicas procriando na área de interesse.
- 2) A mudança de comportamento das aves (fuga, voar para uma área mais distante). Dados fisiológicos adicionais, como taxa cardíaca, podem indicar respostas de estresse dos pássaros devido à presença humana.
- 3) O impacto na vegetação pode ser medido usando a diversidade de espécies e a ocorrência especial de líquens, musgos e plantas superiores (gramíneas); contudo, os limites apresentam dificuldades na identificação das espécies individuais, em virtude do crescimento lento da vegetação.
- 4) Danos em importantes feições geológicas e geomorfológicas.
- 5) Finalmente, as próprias atividades de visita (número, distribuição temporal e espacial das áreas de desembarque dos turistas) são um indicador essencial para uma avaliação da área.

De maneira geral, a integridade do ambiente é definida como a condição de um estado físico ou biológico tal que retenha todas suas características qualitativas essenciais em uma escala considerável (BOUTRON *et al*, 1994). No caso do estado biológico, o elemento-chave é sua capacidade para resistir a mudanças devido ao impacto (resistência) ou de recuperar-se de um impacto (resiliência). BOUTRON *et al* (1994) sugerem que a condição de resiliência dos ecossistemas seja utilizada como o ponto de referência central no esforço de controle da dinâmica evolutiva dos sistemas naturais.

A Antártica marítima é a área mais suscetível a sofrer impactos ambientais; existem seis grupos principais de poluentes em ecossistemas litorâneos que são originados de atividades humanas (científicas ou turísticas): metais pesados, resíduos sólidos, esgotos, petróleo, compostos orgânicos sintéticos e nutrientes (SANTOS *et*

al, 2004).

Além dos fatores locais, essa região também sofre com a ação antrópica em regiões mais distantes. Poluentes orgânicos persistentes volatilizam nas partes mais quentes do planeta e são transportados pela atmosfera até condensarem no frio da Antártica (SHEPPARD *et al.*, 2000). Resíduos destes poluentes vêm sendo encontrados em diversos mamíferos marinhos (LUCKAS *et al.*, 1990).

Na área da Baía do Almirantado, segundo PECHERZEWSKI (1987), a quantidade estimada de substâncias transportadas (particulados e sedimentos) da atmosfera pelas precipitações é de 2,5 t/km² ao ano. Estudo sobre a origem dos elementos nos aerossóis atmosféricos na atmosfera da Ilha Rei George (PRÉNDEZ e ESQUIVEL, 2002) mostra que o estrôncio, manganês e cobalto têm uma origem local. Já o cobre, níquel, zinco e cádmio têm origem antrópica, local ou regional. A presença de elementos antropogênicos na atmosfera da Ilha Rei George permite demonstrar que o ambiente antártico é um sistema aberto, com influências extracontinentais que afetam o seu meio físico e, conseqüentemente, seus ecossistemas (PRÉNDEZ e ESQUIVEL, 2002).

De maneira geral, os ecossistemas diferem marcadamente com respeito ao seu grau de estabilidade e resiliência para um ou mais tipo de perturbação. Comunidades dentro de um ecossistema podem ser muito resilientes e instáveis onde outras podem ser muito estáveis e não muito resilientes (SMITH, 1984).

Para WHITTAKER (1975), a idéia de que a diversidade gera estabilidade (quanto maior a diversidade, maior a estabilidade) e maior resiliência, não é comprovada por dados de laboratório ou de campo, e os atributos das espécies individuais podem ser mais significantes do que a diversidade em geral.

A falta de informações científicas adequadas da homeóstase¹ do ecossistema antártico, não permite uma avaliação razoável da sua resistência ou resiliência com respeito aos impactos ambientais ocorridos pela presença humana naquela região (RUDOLPH, 1977). Já para PARKER e ANGINO (1990), avaliar a resistência e resiliência do ecossistema antártico é difícil, se não impossível, pois populações, comunidades e ecossistemas dentro de uma observação de curto prazo podem parecer estáveis, o que conduz a uma avaliação enganosa da existência de uma provável

¹ Homeóstase diz respeito a manutenção natural do equilíbrio no sistema através dos mecanismos de controle e realimentação. É a soma de todos os processos e mecanismos naturais pelo qual um ecossistema preserva sua integridade (PARKER e ANGINO, 1990).

estabilidade ou resiliência.

Para a Antártica tem-se assumido, por falta de informações contrárias, que o estado atual do ecossistema é natural e imutável, representando o estado ótimo. Entretanto, diversos impactos locais ou regionais têm ocorrido, como o derramamento de petróleo na estação Palmer (EUA), ocasionando a morte de toneladas de krill (PARKER e ANGINO, 1990), vazamento de óleo diesel nas estações McMurdo (EUA) (CAMPBELL e CLARIDGE, 1987) e Ferraz (BRA), além do caso de derramamento de 600.000 l de óleo diesel na Península Antártica, quando o navio *Bahia Paraiso* afundou em 1989 (CAMPBELL e CLARIDGE, 1987). Embora tenham sido casos isolados, o risco de acidentes tende a aumentar com a popularização das viagens à Antártica.

Uso de helicópteros, presença de navios e embarcações menores e emissão de CO₂ pelos geradores são outros exemplos de atividades geradoras de impactos ambientais.

As modificações ambientais mais evidentes na Antártica Marítima são proporcionadas pelo recuo das geleiras. Análise de fotografias aéreas e imagens de satélites tem 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 rápido recuo de algumas geleiras, como a Ecology, que no período de 1957 a 2001 recuou 450 metros (BIRKENMAJER, 2002). Esse fenômeno ocasiona uma série de transformações locais, como a mudança do padrão do albedo, que pode estar afetando o microclima do solo, ocasionado maior derretimento do *permafrost* e gerando alterações no regime hídrico dos solos. Outro fato associado com a maior intensidade do degelo é que, quando grande quantidade de sedimentos é transportada para o mar, ocasiona considerável impacto no ciclo de vida marinha, devido à diminuição da profundidade de visibilidade da água (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1993; BRAUN, 2001), que na Baía do Almirantado durante o verão é de 2-3 metros enquanto que no inverno é de 32 m (LIPSKI, 1987; GURGUL, 1993). KLÖSER e ARNTZ (1994) afirmam que a concentração de fitoplâncton diminui com o abaixamento da salinidade e com a alta concentração de partículas inorgânicas. Por causa da dependência em relação à produtividade do ecossistema marinho, os efeitos da maior carga de sedimentos acabam por se repetir nos ecossistemas terrestres.

3. FOTOGRAFIAS AÉREAS E GEOPROCESSAMENTO

3.1. Área de estudo

O estudo foi realizado na Península Keller, local de atuação mais direta das atividades científicas brasileiras na Antártica. Esta península está localizada na Baía do Almirantado, na Ilha Rei George (Figura 6), entre as enseadas Martel e MacKellar. Possui uma área próxima dos 500 ha, com seu eixo principal no sentido norte-sul com mais de 3.950 m e o seu eixo leste-oeste mais largo alcançando cerca de 1.840 metros. Possui um relevo bastante movimentado, com altitude maior próxima de 340 m (Monte Birkenmajer).

Nesta península, além da Estação Antártica Comandante Ferraz, são encontrados mais três refúgios brasileiros: Punta Plaza; Ipanema, entre as pontas Harpoon e a Speil; e o refúgio 2, próximo da Ponta Ore. Próximo da Ponta British, local da antiga base “G” inglesa, atualmente existem dois monumentos históricos não-oficiais: o esqueleto da baleia montada pelo explorador francês Jacques Cousteau e uma antiga arpoadeira inglesa.

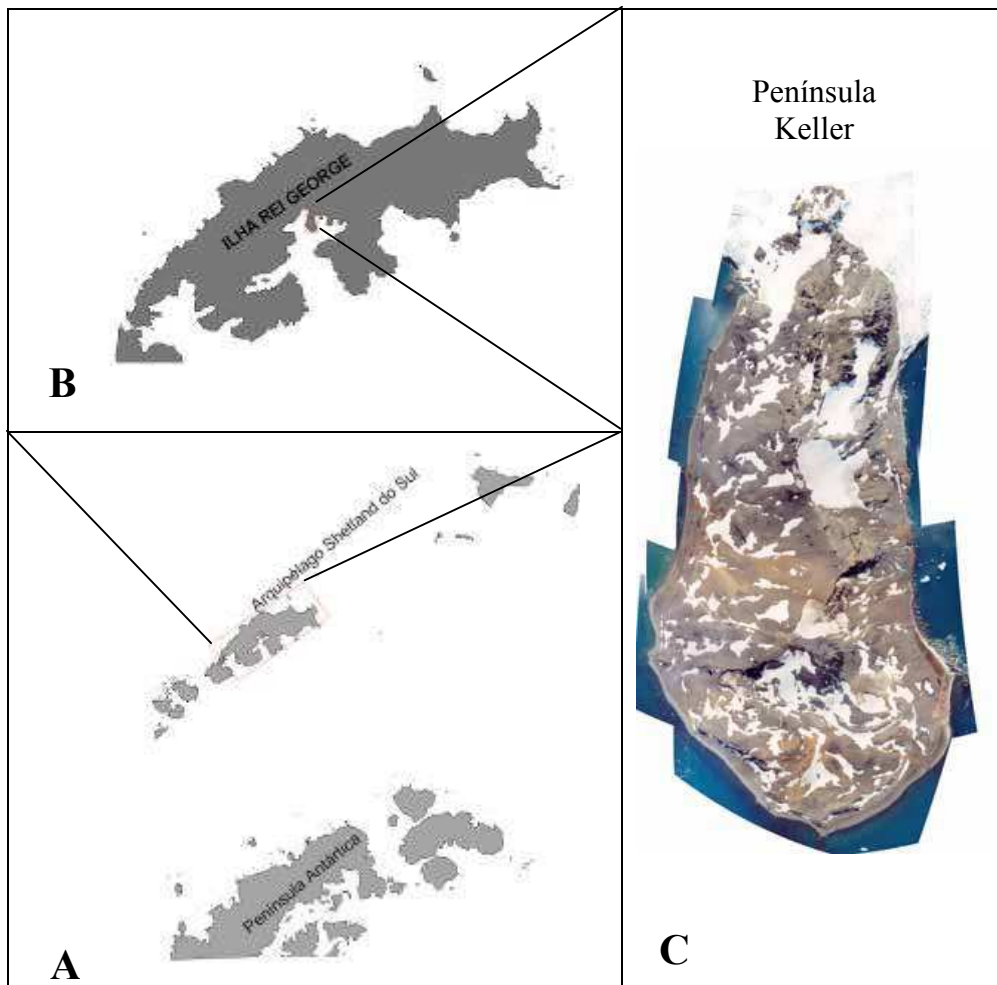


Figura 6 – Localização da Península Keller.

3.2. Fotografias aéreas não-convencionais

A dificuldade de obtenção de imagens de satélite de alta resolução espacial na Antártica, que apresentem baixa cobertura de nuvens, e o seu alto custo faz das fotografias aéreas uma alternativa viável. Em escalas maiores, elas permitem a geração de mapas mais precisos, tornando-se importante ferramenta para alimentar o banco de dados do SIG da AAEG da Baía do Almirantado. As fotografias existentes atualmente daquela região, além de serem escassas, apresentam alto índice de cobertura por neve sobre o terreno. Nesse contexto, a utilização de fotografias aéreas não-convencionais coloridas, com baixo custo operacional torna-se uma alternativa viável, principalmente considerando a experiência e os equipamentos disponíveis no Departamento de Solos, por meio do seu Núcleo de Estudo do Planejamento e Uso da Terra (NEPUT).

O problema fundamental da fotogrametria é transformar uma projeção cônica central em uma projeção ortogonal (LOCH e LAPOLLI, 1994), utilizando-se os princípios da geometria projetiva. Assim, a confecção de cartas precisas empregando fotografias aéreas, só é possível, a princípio, com câmeras métricas, construídas especificamente para essa finalidade. No entanto, é possível utilizar outras câmeras não-métricas e de pequeno formato, desde que seus parâmetros de distorção sejam determinados.

As fotografias obtidas por câmeras fotográficas de 70 mm resultam uma área do filme no tamanho de 60 x 60 mm. Na maioria das vezes, o sistema de lentes e a própria câmera não são elaborados para apresentar a alta qualidade e exatidão exigidas nas câmeras fotogramétricas. Quando isso ocorre, as câmeras são ditas não-métricas. O recobrimento aéreo é dito aerofotogramétrico e aerofotográfico quando do uso de câmeras métricas e não-métricas, respectivamente.

Segundo ANDRADE (1998), desde a década de 1950 inúmeros estudos tem sido realizados visando à obtenção de fotografias aéreas através de câmeras fotográficas convencionais do tipo 35 e 70 mm. Atualmente esse procedimento de obtenção de fotografias já está solidamente estabelecido nos Estados Unidos, no Canadá, na Austrália e em alguns países europeus. A grande vantagem do uso desta técnica, entre outros aspectos, refere-se ao baixo custo de aquisição das fotografias aéreas, devido ao uso de equipamentos mais simples, em comparação com as fotografias aéreas provenientes de câmeras aerofotogramétricas, e sua principal limitação restringe-se à aplicação em pequenas áreas (DISPERATI, 1991).

Para DISPERATI (1992), apesar das recentes evoluções, a técnica das fotos não-convencionais não deve ser considerada uma panacéia para o mapeamento temático nem um substitutivo integral da técnica das convencionais, mas apenas como um meio mais simples, mais econômico e suplementar as obtidas por câmeras não-métricas, que têm sido usadas mais para mapeamento temático, no qual é mais importante a extração das informações do que os aspectos geométricos da imagem fotográfica.

O aspecto econômico é a principal vantagem do método não-convencional (WARNER *et al*, 1996), juntamente com a possibilidade de adaptação a pequenas aeronaves, como os helicópteros.

Para medidas e mapas de precisão a partir de fotografias aéreas de pequeno formato, deve-se observar que as duas maiores limitações são a instabilidade geométrica e o tamanho do filme (VASCO, 1999). Os filmes de pequeno formato

introduzem problemas associados à limitação na área coberta pelas fotografias e ao tempo consumido na orientação de numerosos pares estereoscópicos (ANDRADE, 1998).

Existem, porém, câmeras de médio formato métricas que, além de terem a geometria interna conhecida, possuem uma placa *Reseau*, que está estrategicamente posicionada diante do plano do filme, registrando na fotografia as marcas fiduciais. Entretanto, mesmo com uma câmera de médio formato métrica, ainda persiste o problema de escala e de coleta de pontos de controle, que pode ser amenizado com o uso de técnicas de aerotriangulação, que reduzem em mais de 60% a necessidade de tomada desses pontos de controle.

3.2.1. Metodologia para obtenção das fotografias aéreas

Para obtenção das fotografias aéreas foi utilizada uma 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 na UFV especialmente para essa finalidade (Figura 7). Esse equipamento foi confeccionado com placas de aço em duas camadas, cujo espaço entre elas, de 5 cm, foi preenchido com lã de vidro de forma a manter a temperatura interna. Um termostato controlava a temperatura considerando um intervalo de 18-24 °C. Abaixo de 18 °C acionava o sistema de aquecimento, compreendido de uma lâmpada halógena de 12V e 100W e alimentado por uma bateria de 12 V e 150 Ah. Acima de 24 °C desligava automaticamente. A câmera era presa na lateral interna do suporte e era acionada por um intervalômetro digital (também foi confeccionado na UFV) que emitia sinal de disparo no intervalo desejado (Figura 8). 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 a extensão Tracking Analyst do software Arcview[®], 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 1:2500. 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 (Figura 9) 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 utilizando 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 terreno. 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.



Figura 7 – Suporte desenvolvido especialmente para realizar as fotografias aéreas na Ilha Rei George.

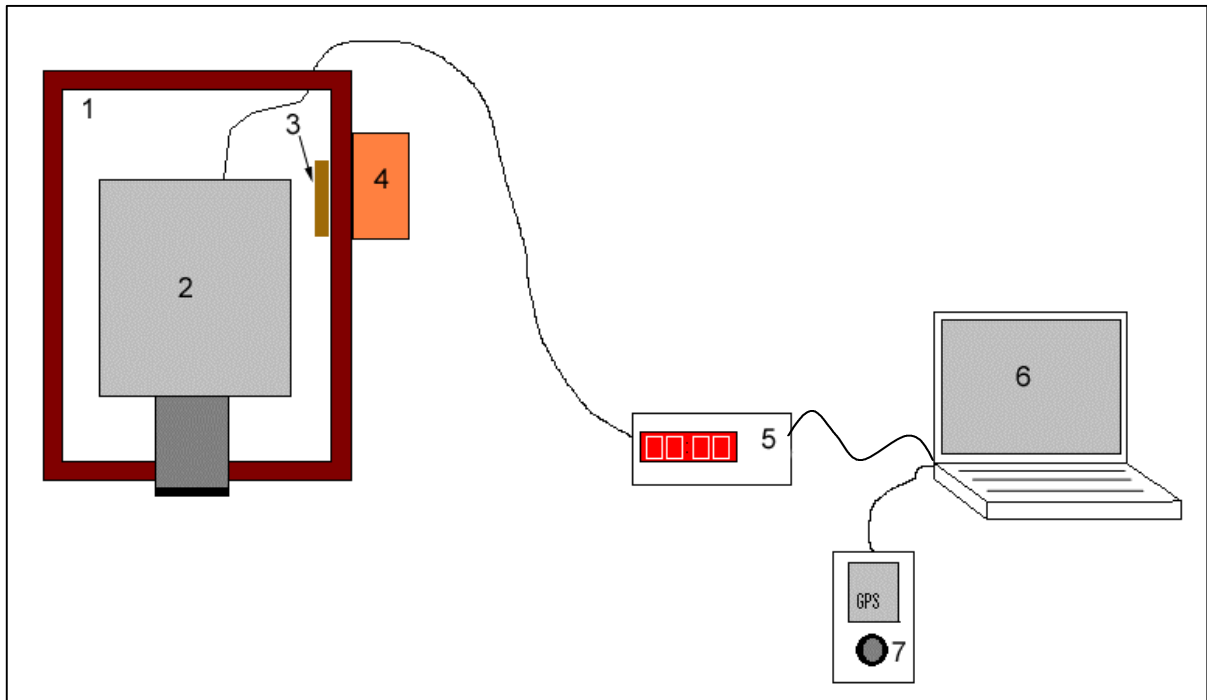


Figura 8 – Esquema do sistema para obtenção das fotografias aéreas. 1: suporte com aproximadamente 14.000 cm³; 2: câmera Hasselblad 553; 3: lâmpada halógena; 4: termostato; 5: intervalômetro digital; 6: Laptop e 7: GPS.

Para amenizar as distorções comuns em máquinas fotográficas não-métricas, foi aplicado o método das Câmeras Convergentes (MITISHITA, 1997), a fim de determinar as distorções radiais e descentradas do equipamento utilizado (Tabela 1). Para este trabalho foi utilizado o campo de calibração do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná.

3.2.2. Fotografias aéreas e monitoramento ambiental

Conforme o Manual de Monitoramento Ambiental da Antártica (GERG, 2000), fotografias aéreas também são ferramentas importantes que podem auxiliar no monitoramento do ambiente terrestre. Podem ser utilizadas para mapear diversas unidades da paisagem, desde que apoiadas por verificações no campo.

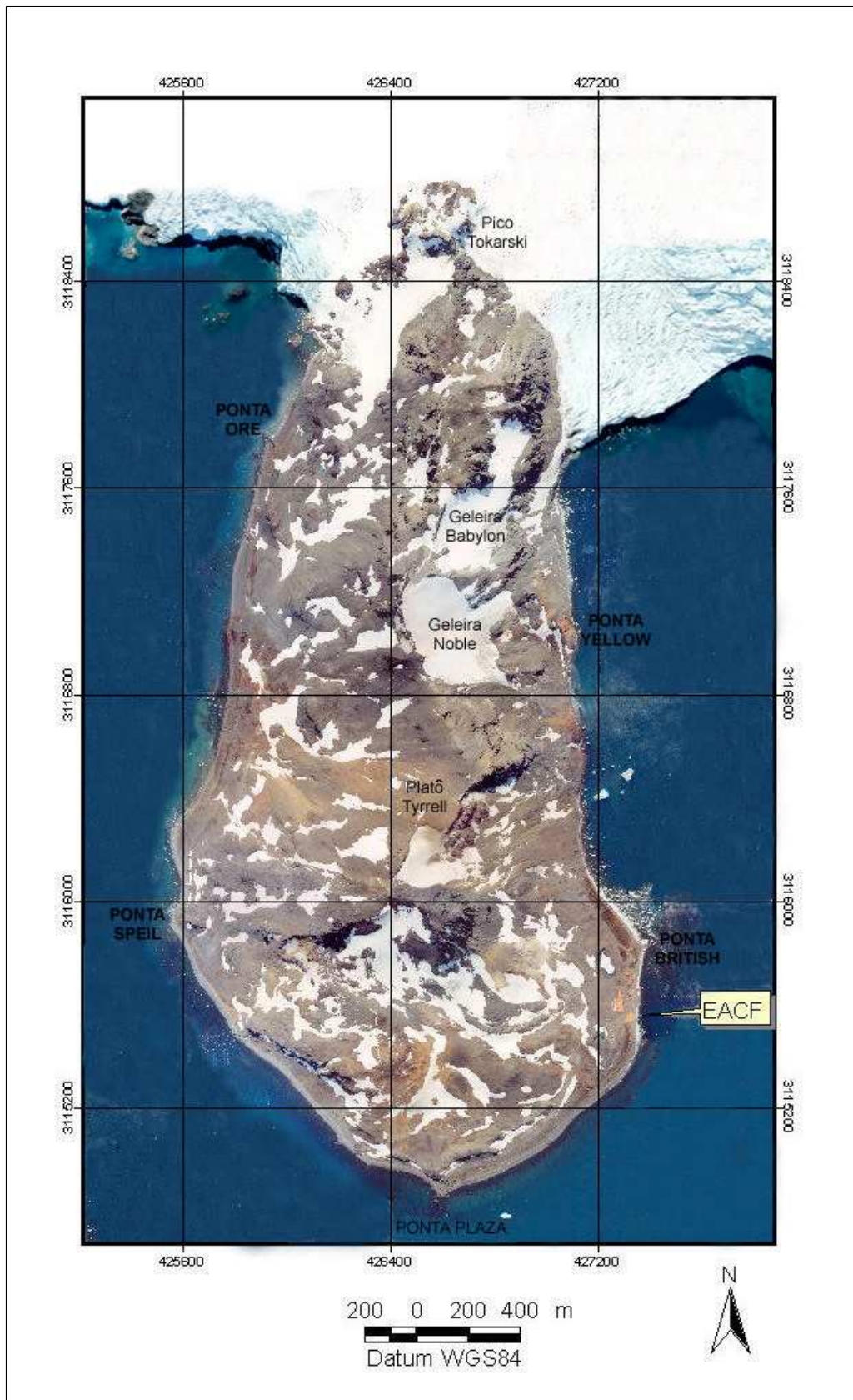


Figura 9 - Mosaico semicontrolado da Península Keller.

Tabela 1 – Parâmetros de calibração da máquina Hasselblad 553 do NEPUT-UFV

Parâmetros	Valores	INTERVALO
Distância Focal Calibrada	50,977 mm	+/- 0,041 mm
Ponto Principal	$x_o = -0,084$ mm $y_o = -0,149$ mm	+/- 0,022 mm +/- 0,023 mm
Distorção Radial Simétrica	$K_1 = -1,81398102 \times 10^{-05}$ mm ⁻² $K_2 = 5,25156573 \times 10^{-09}$ mm ⁻⁴ $K_3 = 5,80729230 \times 10^{-12}$ mm ⁻⁶	+/- $1,7373568 \times 10^{-06}$ mm ⁻² +/- $3,7612859 \times 10^{-09}$ mm ⁻² +/- $2,4594555 \times 10^{-12}$ mm ⁻⁶
Distorção Descentrada	$P_1 = -1,20162248 \times 10^{-05}$ mm ⁻² $P_2 = 2,80164707 \times 10^{-05}$ mm ⁻²	+/- $3,2602443 \times 10^{-06}$ mm ⁻² +/- $3,4505527 \times 10^{-06}$ mm ⁻²

As fotografias aéreas de Keller foram obtidas em baixa altitude, apresentando escala final de 1:2.500. Com resolução geométrica de 0,50 m (quando rasterizada), foi possível gerar vários mapas temáticos da área, 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 e o aumento ou diminuição dos distúrbios físicos, quantificando, assim, as alterações temporais na paisagem de Keller.

Os mapas confeccionados podem ser sobrepostos com outros dados dos demais grupos de pesquisa da Rede 2, tais como áreas de nidificação, e gerar novas informações. Sobrepondo o mapa geomorfológico com o de cobertura vegetal, por exemplo, foi possível verificar a relação entre estas duas unidades ambientais, como visto no item 4.6.2.

Os mapas gerados são melhor utilizados dentro do contexto de um Sistema de Informação Geográfica, que permite acesso rápido aos dados, além de realizar diversas sobreposições de diferentes tipos de dados, incluindo as curvas de níveis que podem ser geradas através das próprias fotografias aéreas.

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.

3.3. Geoprocessamento

3.3.1. Sistema de Informações Geográficas (SIG) aplicado à AAEG da Baía do Almirantado

Em vista da concentração de diferentes atividades humanas na Baía do Almirantado e do próprio compromisso que o Brasil assumiu ao ratificar o Tratado Antártico, os grupos de pesquisas que compõem a Rede 2, vem realizando vários estudos que buscam compreender mais detalhadamente as relações entre os ecossistemas locais e, assim, determinar elementos que possibilitem o monitoramento ambiental da AAEG da Baía do Almirantado. Para agrupar todas as informações levantadas pela Rede, foi proposto a implementação de um banco de dados espacial unificado, gerenciado por um software de SIG (SIMÕES *et al.*, 2000). Este projeto é desenvolvido pelo grupo do Laboratório de Pesquisas Antárticas e Glaciológicas (LAPAG), da UFRGS, (AHLERT *et al.*, 2004) e diversos planos de informações já alimentam o banco de dados, tais como:

- Topografia da superfície (curvas de nível).
- Batimetria.
- Limites da AAEG e do SSSI.
- Presença humana (construções, monumentos históricos).
- Feições glaciológicas.
- Hidrologia (rios, lagos).
- Feições geomorfológicas.
- Geologia.
- Vegetação.
- Fauna (colônias de pingüins, elefantes marinhos).

O sistema de informações geográficas apresenta inúmeras vantagens, como o acesso rápido aos dados, facilidade em gerar mapas temáticos e de efetuar constantes atualizações, entre outras.

Todos os mapas gerados pelo nosso trabalho estão em escalas adequadas (1:5.000) e em formato compatível com o utilizado pelo LAPAG (shapefile). Este SIG será compatível com outros sistemas já implementado para a Antártica, como o Antarctic Digital Database (ADD) e o King George Island Geographic Information System (KGIS), e segue as diretrizes unificadas pelo Grupo de Trabalho em Geodésia e Informações Geográficas (WGGI, 2002) do Comitê Científico em Pesquisa Antártica (SCAR).

A intenção da compatibilidade entre esses sistemas é de diminuir a sobreposição de estudos e padronizar os novos dados a serem levantados, principalmente no que se refere a nomenclaturas, sistemas de coordenadas, datum e formato dos arquivos (SIMÕES *et al*, 2000).

3.3.2. 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 (Tabela 2).

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 e THOMSON (1998), dando prioridade ao primeiro nome registrado.

Todos os mapas 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 2 – Formatos dos mapas gerados da Península Keller

Mapa	Matricial	Vetorial
Solos		X
Geomorfologia		X
Vegetação		X
Drenagem		X
Declividade	X	
Modelo digital de elevação	X	
Geologia		X
Estoque de carbono	X	

3.3.3. Modelo digital de elevação

Para elaborar o modelo digital de elevação (MDE), foram coletados mais de sete mil pontos cinemáticos com DGPS da marca Promark II[®], além de pontos estáticos. A base foi instalada no marco geodésico localizado próximo da base “G”. O erro médio encontrado foi de $\pm 0,3$ m. 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 Arcview[®], através da sua extensão 3D Analyst[®], foi gerado o arquivo TIN (Triangulated Irregular Network), 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 (Figura 10) e o mapa de declividade. A sobreposição do mosaico ao TIN gerou-se uma imagem em 3D da península (Figura 11), o que auxiliou nas interpretações geomorfológicas.

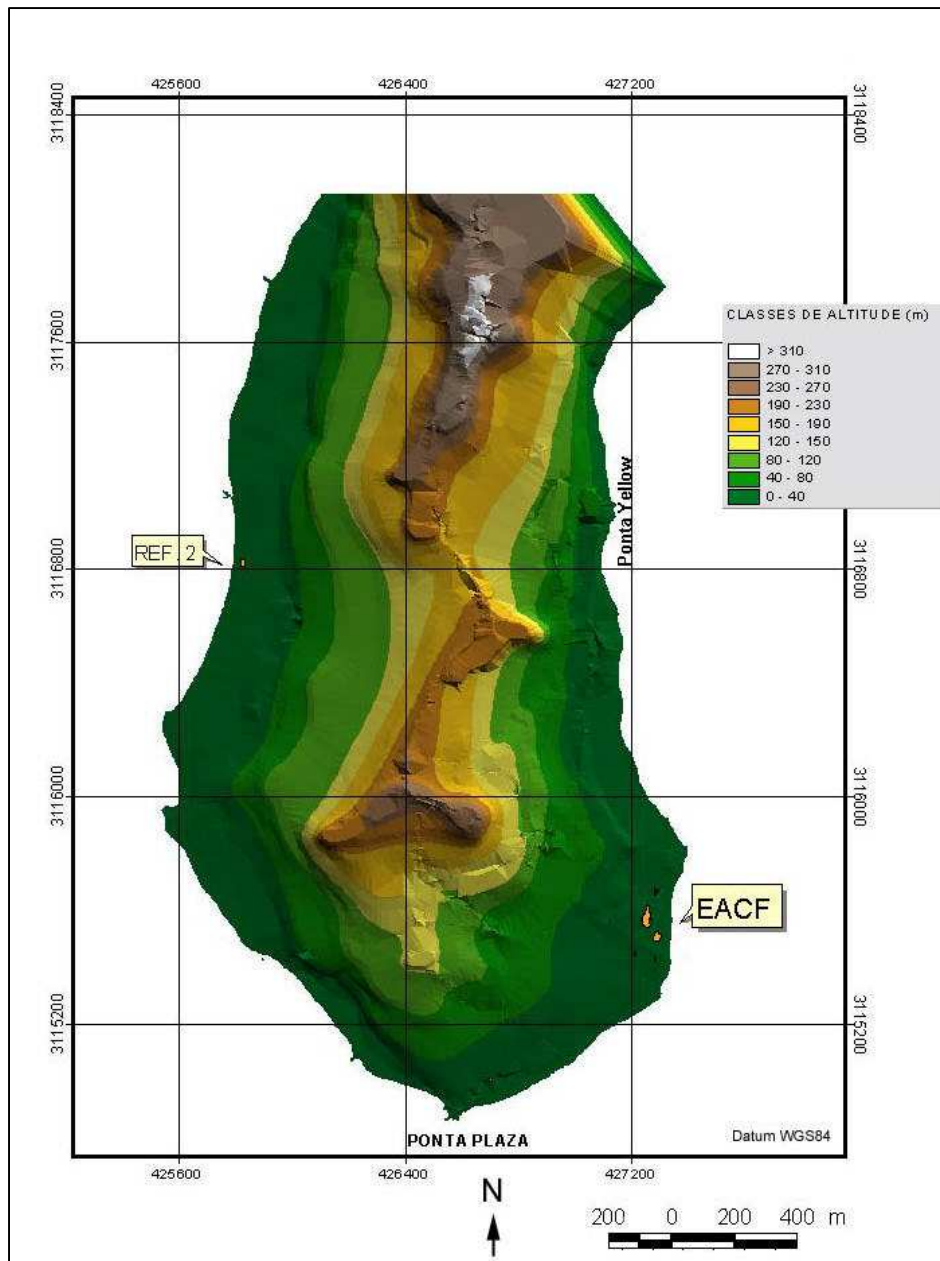


Figura 10 – Modelo digital de elevação da Península Keller.

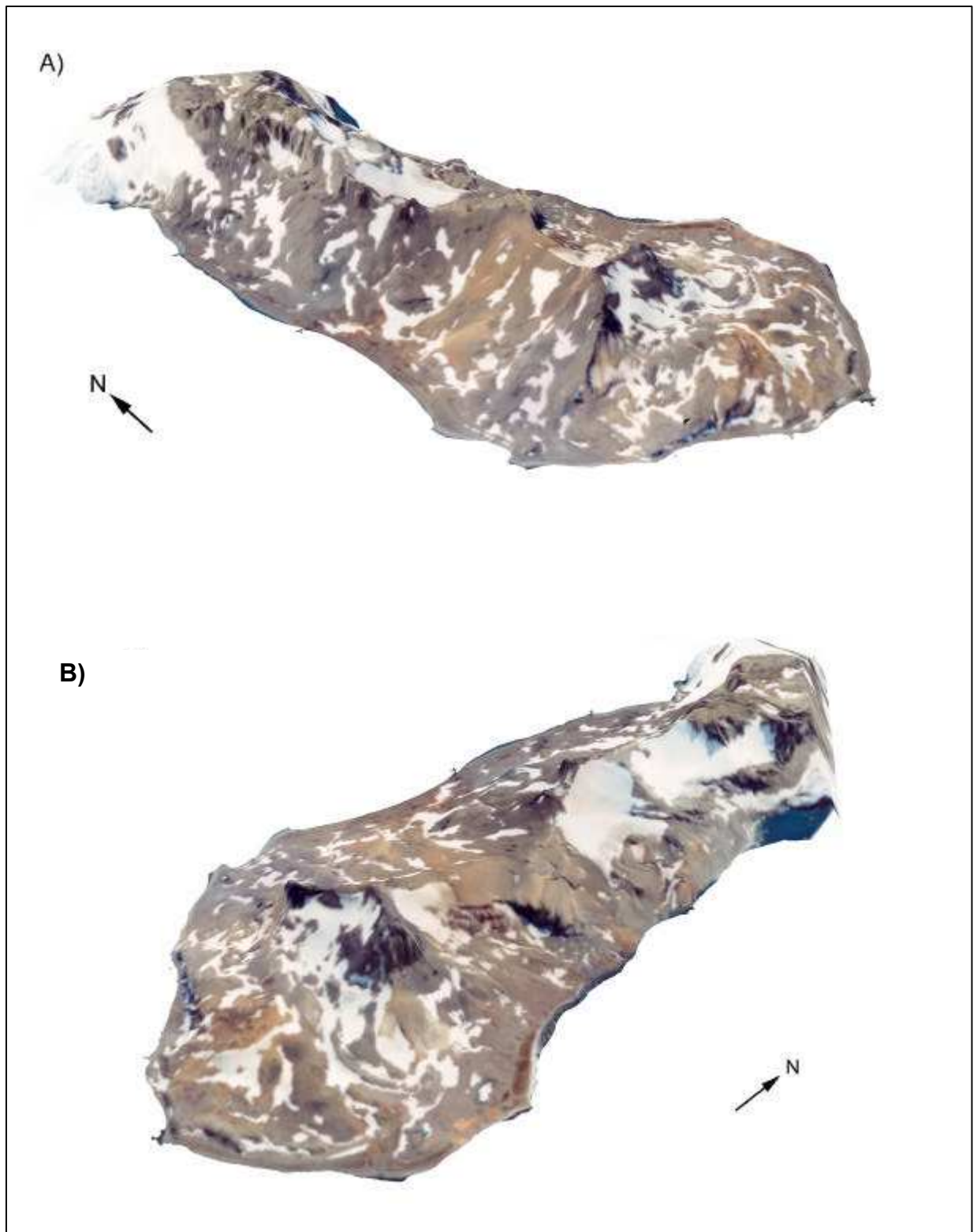


Figura 11 – Visão 3D da Península Keller, sobrepondo o mosaico ao modelo digital de elevação. A) Face oeste e B) Face Leste.

4. CENÁRIO AMBIENTAL

4.1. Clima

O clima na Ilha Rei George é classificado como subpolar marítimo (SETZER e HUNGRIA, 1994), sendo as condições do tempo controladas por uma rápida sucessão de sistemas de baixa pressão que se movem do Mar de Bellingshausen, na direção leste, transportando quantidades relativamente altas de calor e umidade em direção à costa da Antártica (KNAP *et al.*, 1996). A atividade ciclônica é alta no verão, em consequência da migração do centro de baixa pressão no Círculo Polar Antártico. Altas pressões na região da Península Antártica são comumente associadas com temperatura do ar mais baixa na Ilha Rei George, em virtude do advento de massas de ar úmidas e mornas, de nor-noroeste, para as Ilhas Shetland do Sul (BRAUN, 2001).

Durante os meses de verão a temperatura do ar alcança valores acima de 0°C (Tabela 3), e a temperatura média anual da Península Keller é semelhante à encontrada por RAKUSA-SUSZCZEWSKI *et al* (1993) na estação meteorológica da Estação H. Arctowski no período de 1977 a 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 3 - Resumo dos dados climáticos coletados pela estação meteorológica da EACF, de 1986 a 2003.

Mês	Temperatura do ar (°C)			Pressão atmosférica (mbar)			Vel. vento	Precipitação	Umidade relativa
	Media	Mín.	Max.	Media	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: INPE-CPTEC (2003).

Diferentemente 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 concentrada nos meses de março e abril, em que 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 (PRÉNDEZ e ESQUIVEL, 2002).

A umidade relativa está quase sempre acima dos 80%, apresentando uma média anual de 85,2%. Já os ventos apresentam uma média anual de 5,9 m/s (cerca de 21 km/h), sendo maior durante o período de inverno. No entanto, verifica-se constante presença de rajadas, que alcançaram velocidade de 49 m/s, ou seja, 176 km/h (INPE, 2002). Essas rajadas são importante agente de transporte de material intemperizado, e o vento, em geral, ajuda a moldar a geofoma final das áreas livres de gelo. Os solos observados no platô Tyrrel da Península Keller, na Ilha

Rei George, por exemplo, só não são mais profundos em consequência da constante retirada de material pelo vento, formando por vezes, em determinadas faixas, verdadeiros pavimentos desérticos.

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 e CLARIDGE, 1988).

Apesar do frio intenso, a temperatura do solo pode ser relativamente alta no período do verão, algumas vezes ultrapassando os 5°C (Tabela 4). A associação do solo com algum tipo de cobertura vegetal, como briófitas ou *Deschampsia*, possibilita a formação de um microclima com temperaturas mais elevadas (Tabela 5), o que pode beneficiar o desenvolvimento da microbiota e de condições pedogenéticas favoráveis à formação de um horizonte superficial.

O recuo das geleiras na área da Baía do Almirantado (Figura 12), expondo um substrato de cor mais escura, modifica o padrão de albedo antes presente; quando colonizado por criptógamas, resulta em alteração do microclima.

Tabela 4 - Temperatura do solo medida em quatro profundidades no período de 1994 a 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: [INPE-CPTEC \(2002\)](#).

Tabela 5 - Temperaturas em diferentes ambientes nas áreas livres de gelo da Baía do Almirantado

Temperatura do ar (°C)	Cobertura (musgos/liquens/ <i>Deschampsia</i>)	Interface solo/cobertura
2,7	5,4	6,1
7,8	11,6	10,5
1,1	4,1	3,7
5,4	10	-
1,2	10,7	11,1
3,1	11,7	7,2



Figura 12 – Área livre de gelo pelo recuo recente da geleira Esfinge. Ao fundo observa-se a Ponta Ágata.

Os dados de temperatura do solo (Figura 13) obtidos na região pelo INPE (2002), demonstram que a temperatura mínima do solo ocorre no mês de agosto, enquanto do ar é alcançada no mês de julho. Essa diferença ocorre devido ao aprofundamento mais lento da linha de congelamento do solo, decorrente da sua natureza constitucional, ou seja, um corpo sólido e poroso que não é tão eficiente como condutor térmico (SETZER *et al*, 2004).

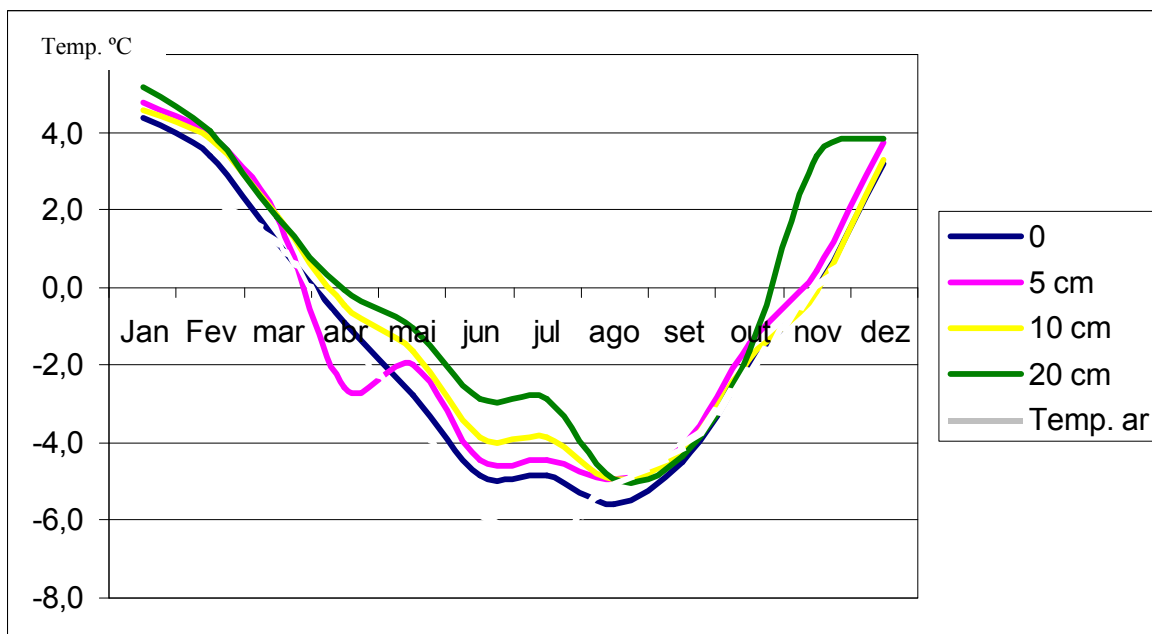


Figura 13 – Comportamento das temperaturas do ar e do solo em quatro diferentes profundidades (Adaptado de (INPE, 2002)).

A região da Baía do Almirantado revela características bem marcadas de clima periglacial. Devido aos verões curtos e temperaturas médias anuais baixas, *permafrost* ocorre nas áreas de solos mais afastados do litoral. Como a precipitação, apesar de baixa, excede a evaporação, observa-se no campo que durante o verão os solos se encontram saturados, induzindo a um hidromorfismo temporário. Diferenças relacionadas à exposição das vertentes e colonização biológica por aves e plantas induzem profunda alteração em nível microclimático.

Os dados gerais demonstram uma relativa estabilidade da temperatura média anual nos últimos 25 anos (1977-2002) na área da Baía do Almirantado, em torno de $-1,8^{\circ}\text{C}$. 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, decorrentes principalmente da presença da água no estado líquido e intensa atividade biológica.

4.2. Geologia

As ilhas Shetlands do Sul expõem rochas vulcânicas e plutônicas do início do Cretáceo ao início do Mioceno, as quais estão relacionadas com a subducção da crosta Oceânica do Pacífico sob a extremidade da crosta litosférica da Antártica (BIRKENMAJER, 1997b; PRIDE *et al*, 1990). A sua evolução geológica está intimamente ligada à formação da Península Antártica e ao Arco de Scotia, que abriu a passagem de Drake e o estreito de Bransfield. A depressão oceânica ao nordeste das Shetlands do Sul, pode ser considerada como um remanescente da subducção, que finalizou-se há cerca de 4 Ma. No final do Plioceno e início do Pleistoceno, o grupo de ilhas foi separado da Península Antártica pela abertura do estreito de Bransfield, sendo, portanto, de origem recente.

BARTON (1965), classificou as rochas da Baía do Almirantado como Rochas Vulcânicas Jurássicas (piroxênio-andesito) com intrusões de quartzo-diorito (Pacote Intrusivo Andino), tendo mais ao sul a ocorrência de lavas cenozóicas (andesitos), classificadas como Grupo Enseada Ezcurra, o que também ocorre na área da Ponta Hennequin e em áreas a sudeste da Enseada Martel, porém sendo classificada como Grupo Ponta Hennequin; finalmente, nas áreas a sudeste da AAEG, ocorrem rochas do tipo olivina-basalto, que fazem parte do Grupo Ilha Pingüim (Figura 14).

A Ilha possui rochas que variam desde o Cretáceo Superior até o Oligoceno. Do ponto de vista tectônico, a Ilha Rei George é formada por uma sucessão escalonada de vários blocos tectônicos, separados por falhas (Falha Ezcurra e Falha Collins, dividindo a AAEG em quatro unidades geotectônicas), constituindo horsts e grabens (BIRKENMAJER, 1983) (Figura 15). As principais unidades geotectônicas são as seguintes:

- Horst de Barton
- Bloco Península Fildes
- Bloco Warsawa
- Bloco Krakow
- Grupo da Ilha Pingüim

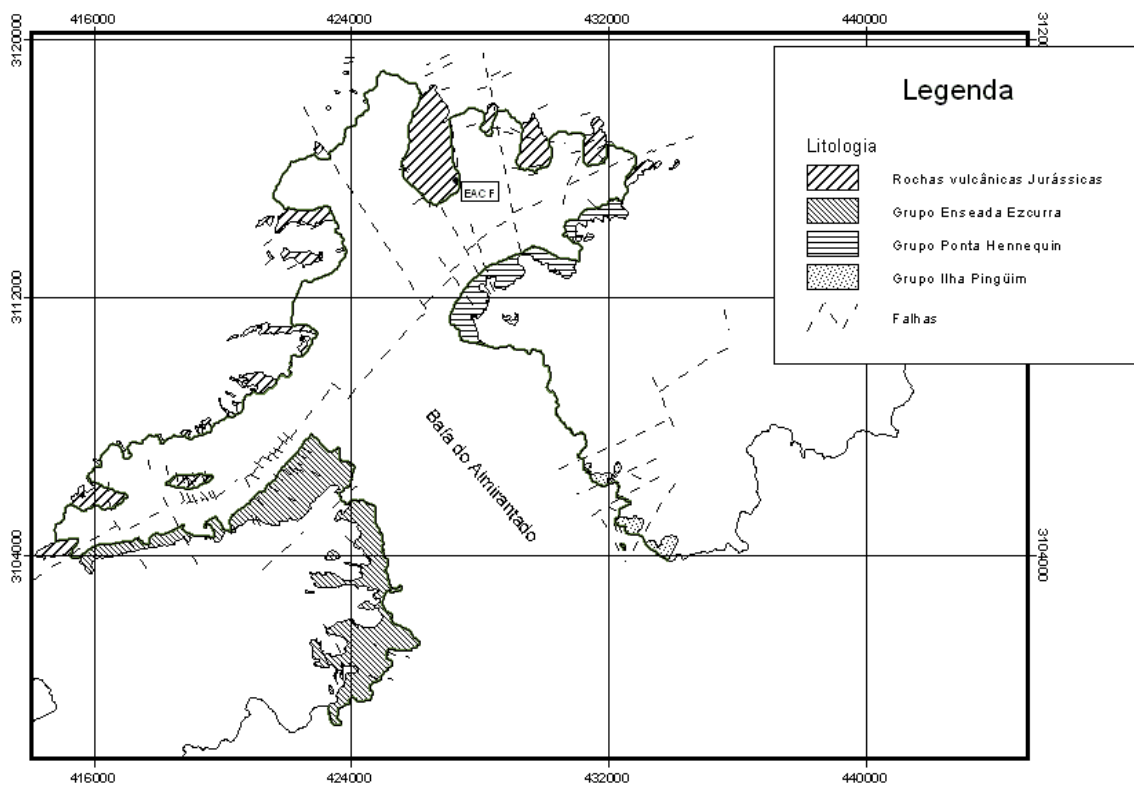


Figura 14 – Geologia das áreas livre de gelo da AAEG da Baía do Almirantado, conforme Birkenmajer (1980) (LAPAG, 2003).

O Horst de Barton forma a parte mais alta da ilha e consiste principalmente de vulcanitos cálcioalcalinos (TOKARSKI, 1987). Essas rochas são principalmente de origem terrestre, com pouca influência marinha (BIRKENMAJER, 1982). Suas idades foram determinadas entre 66,7 e 26 Ma de anos (BIRKENMAJER, 1997b, 1995) (Figura 15).

Já o Bloco Península Fildes consiste principalmente de lavas terrestres fracamente dobradas, tufos, aglomerados basálticos e andesíticos, bem como algumas rochas de composição dacítica, com vários registros de horizontes fósseis (paleossolos). Datações realizadas com **K-Ar** sugerem a idade entre o Paleoceno Superior e o Eoceno Médio/Superior (43-42 Ma) (TOKARSKI, 1987; BIRKENMAJER, 1997a).

As rochas do Bloco Warsawa são classificadas como subalcalinas. Os basaltos possuem alto teor de alumínio (> 19%), característica da série calcioalcalinas, com plagioclásios ricos em Cálcio. Não apresentam evidências de metamorfismo ou dobramentos nem sedimentos subordinados (TOKARSKI, 1987). Esse bloco é referido como Supergrupo Ilha Rei George (BIRKENMAJER, 1980), com idades entre 77 e 37 Ma (GROENEWEG e BEUNGK, 1992).

4.2.1. Geologia da Península Keller

Na Península Keller, os eventos vulcânicos são distinguíveis por uma sucessão de rochas variando de basaltos andesíticos, aluminosos, até rochas andesíticas, tufos e aglomerados. O conjunto é atravessado por diques e intrudido por corpos plutônicos com mineralização sulfetada, que afetam os padrões geoquímicos locais. A ampla redistribuição de sedimentos glaciais quaternários de tálus e scree alterou profundamente a distribuição geoquímica, mascarando os efeitos locais.

FERGUSON (1921) descreveu dois grandes depósitos de quartzo-pirita em rochas vulcânicas na Península Keller, com mais de 2 km de comprimento e 155 m de largura.

Com base no mosaico, observações de campo e dados da literatura, especialmente os mapas geológicos publicados por pesquisadores poloneses (BIRKENMAJER, 1982, 2001), elaborou-se um mapa ajustado e mais detalhado com as principais litologias presentes na Península Keller (Figura 16). Com base neste mapa podem ser reconhecidos os seguintes Grupos e Formações de ocorrência na Península, descritos sucintamente.

4.2.1.1. Grupo Enseada Martel

Segundo BIRKENMAJER (1980, 2001), este Grupo é composto por diversos complexos vulcânicos do tipo estratocone terrestre, emitidos a partir de diferentes centros, e com mais de 1.160 m de espessura, com sobreposições entre emissões. Possui natureza calcioalcalina, relacionada à subducção da crosta do Oceano Pacífico sob a borda continental Antártica. As lavas variam de composição desde basáltico-andesítica até basaltos aluminosos e andesitos, com vulcânicas ácidas-intermediárias subordinadas (riólitos e dacitos). O grupo apresenta-se intensamente cloritizado e carbonatizado.

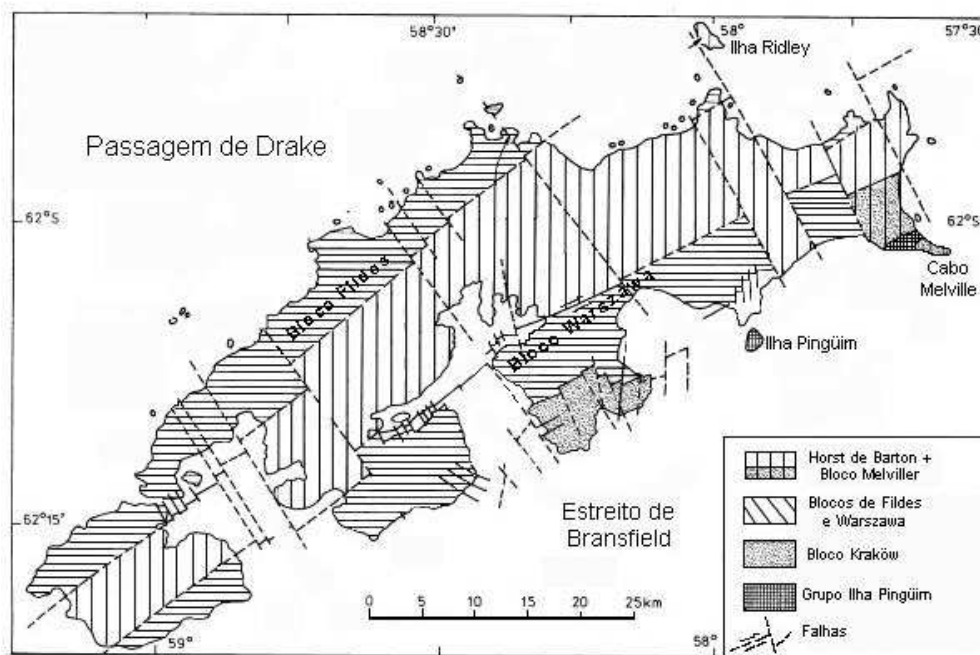


Figura 15 – Unidades geotectônicas da Ilha Rei George (adaptado de BIRKENMAJER, 2001).

Na área de Keller, o Grupo Enseada Martel é subdividido em três formações principais (duas outras formações ocorrem em outras áreas da Baía, fora da península), descritas a seguir.

i. Formação Glaciar Domeyko

Terceira Formação do Grupo Enseada Martel, possui cerca de 320 metros de espessura, repousando sobre a Formação Ancoradouro Visca. Ocorre com frequência na parte norte da Península, em torno do Pico Birkenmajer. Consiste de basaltos andesitos a lavas de andesitos, de cores esverdeadas, acinzentadas e até purpúreas, além de intercalações de tufos e brechas. Cores verdes claras dominantes revelam a intensa cloritização e carbonatação sofridas. A idade mais provável é Paleocênica.

ii. Formação Ancoradouro Visca

Formação intermediária do Grupo Enseada Martel, compreendendo litologias situadas imediatamente abaixo da Formação Glaciar Domeyko, com cerca de 140-145 m, sendo separada da Formação Península Keller por discordância angular bem marcada. Esta Formação é subdividida em dois membros: (1) Membro Barton

Buttress, com 110 m, com andesitos cinza-esverdeados e lavas basálticas, intercalado com brechas vulcânicas de cores variadas, e (2) Membro Crista Tyrrel, com 30-35 m (Paleoceno-66 MA), composto de aglomerados verdes andesíticos, grosseiros, com deposições (intercalações ?) de madeiras petrificadas e tufos palagoníticos na parte superior.

iii. Formação Península Keller

Formação de base e mais antiga do Grupo Enseada Martel, com idades radiométricas que sinalizam uma provável idade do limite Cretáceo-Terciário (66 MA), e possivelmente mais antiga por reaquecimento durante o Terciário. Seu contato basal é desconhecido. Possui espessura estimada entre 235 e 270 m (BIRKENMAJER, 2001). Apresenta inúmeros fragmentos de madeiras fossilizadas, alguns de grandes dimensões, especialmente nos piroclásticos e brechas basais de fluxos de lavas (Figura 17). Possui os Membros Ponta Plaza, com espessas corridas de lavas de basaltos e andesitos, além de paleossolos com intensa carbonatação (SCHAEFER *et al*, 2004a). O Membro Monte Flagstaff, superior, é predominantemente formado por tufos cineríticos, aglomerados e brechas, sendo, portanto, uma típica seqüência de estratocone vulcânico. Fósseis intercalados em ambos os membros denotam sua origem continental.

4.2.1.2. Intrusão Andina - Grupo Pico Wegger, com sulfetos

Este Grupo foi introduzido para representar os inúmeros plútons “tipo andinos” da Ilha Rei George (BIRKENMAJER, 2001). Sua composição varia de quartzo-gabro até quartzo-diorito, sendo freqüentemente associados com mineralizações sulfetadas do tipo quartzo-pirita/calcopirita. Ocorrem apenas no Bloco elevado de Barton (Horst), cortando os depósitos vulcânicos estratiformes do Grupo Enseada Martel. A idade radiométrica desse plutonismo varia de Paleoceno (63 MA) até Oligoceno (32 MA).

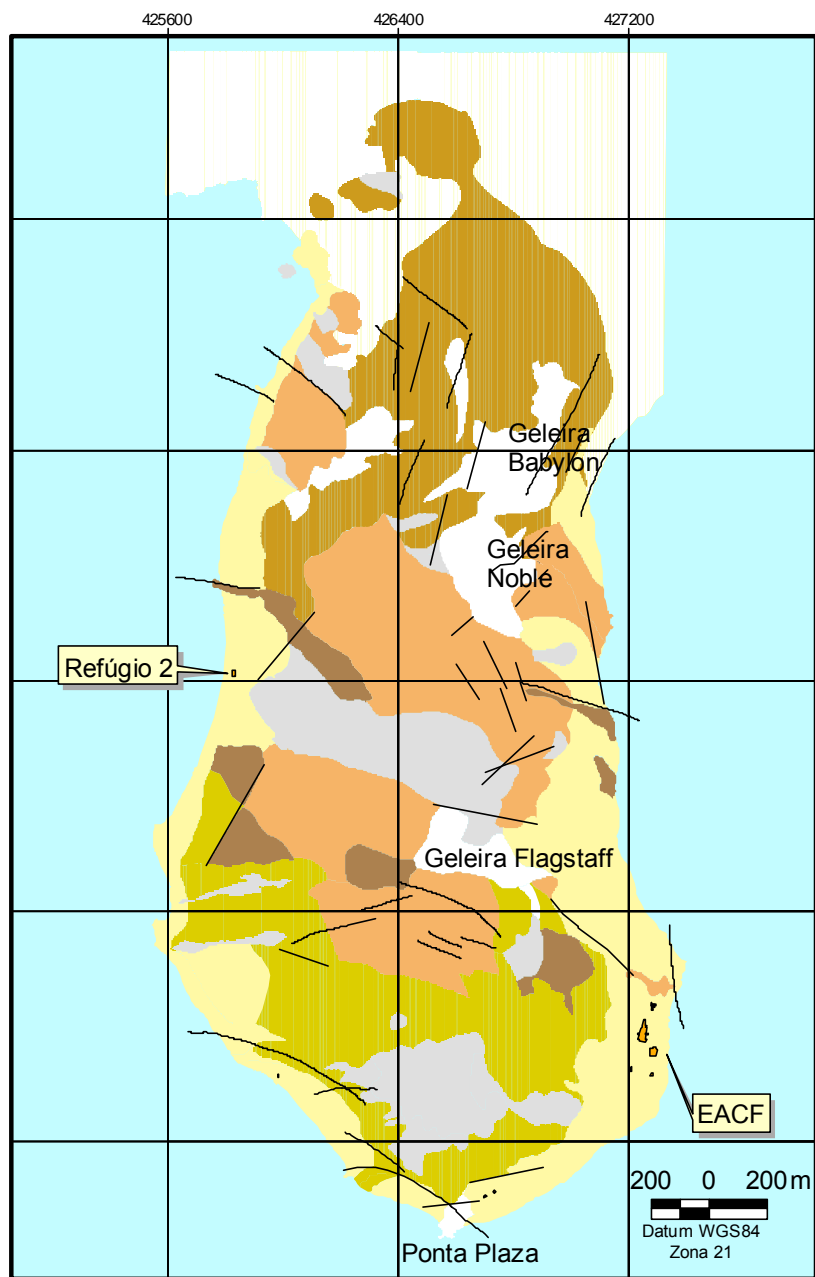


Figura 16 – Mapa geológico, modificado e adaptado de BIRKENMAJER (1980, 2001).



Figura 17 – Exemplo de madeira fossilizada e silicificada.

4.2.1.3. Diques vulcânicos Grupo Baía do Almirantado (Paleoceno até Mioceno)

São diques hipoabissais relacionados a zonas de falhas, de dimensões decamétricas até métricas, que cortam o Grupo Enseada Martel, com composições variando de basaltos a andesitos. Alguns representam condutos vulcânicos do complexo estratiforme, sendo, assim, contemporâneos do vulcanismo Enseada Martel.

4.2.1.4. Depósitos glaciais Quaternários indiferenciados (till)

Depósitos superficiais de scree, terraços marinhos, fluvioglaciais e outros, relacionados a transporte e deposição de geleiras ou águas de degelo. Foram melhor individualizadas no mapa geomorfológico.

4.3. Drenagem e Água de Degelo

A Rede de drenagem é composta basicamente por canais que não ultrapassam 40 cm de largura, com fluxo de água de degelo originada das geleiras e dos campos

de neve, normalmente ativa durante o verão (Figura 18). Geralmente esses canais são pouco profundos, mas podem, por ocasião do degelo mais rápido, apresentar grande volume de água. São importantes agentes modeladores do terreno, transportando quantidades consideráveis de sedimentos para as planícies fluvioglaciais e para as águas da baía, formando plumas de sedimentos (Figura 19). PECHERZEWSKI (1987) estimou que a carga de sedimentos na Baía do Almirantado é de cerca de 2.000 t por dia. Esses sedimentos em suspensão reduzem a profundidade de penetração da luz para 5 m (RAUSCHERT, 1991), afetando diretamente a fotossíntese e a quantidade disponível de energia (SCHLOSS *et al*, 1998). Entretanto, a concentração de sedimentos varia fortemente com o tempo e a localização (SCHLOSS *et al*, 1998), pois diversos fatores influenciam a intensidade da carga, como o relevo, o material de origem presente a jusante, a dinâmica das geleiras presentes, o clima, além de outros. O fato é que, com o aumento do degelo e recuo das geleiras, a carga de sedimento aumentou (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1993).

A presença desses canais também é importante para a sucessão vegetal, visto que estão muito associados com diferentes comunidades de briófitas ao longo de seu curso.

Ocorrem ainda diversos canais abandonados ao longo da península, formando pequenas ravinas (rills), indicando que parte deles, principalmente os menores, apresentam-se itinerantes, modificando constantemente seu percurso a cada verão, influenciado pela intensidade de água de degelo e pela quantidade de sedimentos transportados.

A parte oeste da península, devido ao relevo mais suave, apresenta melhores condição de represamento da água de degelo, formando pequenos lagos proglaciais efêmeros ou permanentes (três no total). No sul da península ainda existem mais dois lagos, que abastecem a estação durante todo o ano. Alguns desses lagos podem ter sido originados a partir da presença de antigos Kettles. Já a face leste apresenta maior quantidade de canais, alimentados principalmente pelas geleiras dos circos glaciais presentes nesta parte da península.



Figura 18 – Canal de água do degelo na Península Keller.

No verão de 2003, em Keller havia 96 canais de degelo, somando cerca de 13 km e com um comprimento médio de 137 m ($dp = 111,63$); o maior deles media cerca de 320 m.

Na península existem três áreas de deposição fluvioglacial, onde ocorre maior concentração de canais, formando feições de estuário, e maior acumulação de sedimentos. A maior destas áreas mede cerca de 4,4 ha, estando localizada próxima do refúgio 2.

A determinação da vazão da água de degelo deve considerar o fluxo subsuperficial que escoo diretamente para o mar, o que dificulta sua determinação precisa. Outro agravante é a sua grande variação temporal, que está sujeita às condições climáticas.



Figura 19 – Vista aérea de pluma de sedimentos próximo de Yellow Point. Península Keller.

4.3.1. Composição química da água de degelo

Na Baía do Almirantado, RAKUSA-SUSZCZEWSKI (1993) observou que a disponibilidade de nutrientes e sua variação sazonal são controladas mais pela taxa hidro-dinâmica do que por processos biológicos.

Segundo COSTA *et al* (2004), a composição química da água está diretamente relacionada ao trajeto percorrido por ela, na superfície do solo ou nas rochas que afloram, ou no seu movimento no espaço poroso dos solos ou sedimentos e, ainda, em fraturas das rochas. Assim, sua constituição depende da riqueza química dos minerais e rochas, da superfície de contato e do tempo em que ela fica em equilíbrio com a fase sólida por onde se movimenta. A análise de várias amostras de água de degelo coletadas em todas as áreas livres de gelo da Baía do Almirantado mostrou grande variabilidade nas concentrações dos elementos analisados, exceto para o vanádio (Tabela 6). Já o Ca, Mg, Al, Fe, Zn, Cu e Ni apresentaram coeficiente de variância (CV) maiores do que 60%.

Usando-se a água do degelo coletada diretamente das geleiras como padrão,

foram delimitados valores para classes comparativas (Tabela 7). Assim, nota-se que mais de 70% das concentrações das amostras são maiores do que os valores do padrão utilizado. Isso indica que o contato da água de degelo com as rochas fragmentadas, sedimentos e solos promove um considerável aumento na concentração dos elementos em questão. Isso não foi observado para os elementos químicos Fe e Al que apresentaram concentrações de 65 e 87%, respectivamente, em relação ao padrão.

Considerando apenas a água de abastecimento da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) e comparando os resultados analíticos com os padrões estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde (OMS) (Tabela 7), verifica-se que somente dois elementos estão acima dos valores máximos da OMS (CEPIS, 2003). O Alumínio se destaca, pois apresenta valores mais de dez vezes acima do valor máximo permitido, enquanto que o Níquel está quase setenta vezes acima do valor máximo recomendado para consumo.

Tabela 6 – Resumo estatístico da análise química das águas de degelo

	Ca	Mg	Al	Fe	Zn	Cu	V	Ni
	mg L ⁻¹							
Mínimo	2,250	0,280	1,830	0,010	0,004	0,039	0,210	0,190
Máximo	159,000	116,000	13,800	6,000	3,820	0,230	0,240	26,700
Média	18,705	11,414	2,412	0,410	0,525	0,048	0,217	1,567
C.V. (%)	136,855	178,750	59,639	274,085	121,469	67,030	2,764	210,676
Desvio-padrão	25,599	20,403	1,439	1,124	0,637	0,032	0,006	3,302
Valor geleira	3,860	0,280	2,630	0,130	0,130	0,040	0,210	0,610

Fonte: COSTA *et al* (2004)

Tabela 7 – Valores médios da análise das águas das lagoas que abastecem a EACF

	Ca	Mg	Al	Fe	Zn	Cu	V	Ni
	mg L ⁻¹							
Lagoa Norte	12,490	7,572	2,170	0,050	0,525	0,042	0,217	0,765
Lagoa Sul	20,475	9,400	2,155	0,060	0,853	0,040	0,220	1,390
OMS ¹	100,000	50,000	0,200	0,300	3,000	2,000	-	0,020

¹ Valores-padrões da Organização Mundial de Saúde; Ca e Mg foi o valor-padrão mais comum entre os países europeus. Fonte: COSTA *et al* (2004).

As amostras das lagoas sul e norte, foram coletadas de forma sistemática, a cada cinco dias durante um período de 40 dias. Os resultados mostram uma maior concentração de elementos constantes nas águas da lagoa sul, principalmente em relação ao cálcio e ao níquel.

4.4. Glaciologia e Geomorfologia

Alguns registros na paisagem atual de Keller somente são explicados considerando os períodos de glaciações e interglaciações ocorridas naquela península. BIRKENMAJER (1992, 1996, 1999) sugere que durante o Terciário, no Bloco Krakow, teria ocorrido a seguinte seqüência:

1. Glaciação Krakow (início/médio Eoceno, 50 Ma).
2. Interglaciação Arctowski (médio Eoceno – Início do Oligoceno, 50-32 Ma).
3. Glaciação Polonez (início do Oligoceno, 32-30 Ma), a qual foi a maior glaciação do Cenozóico na Antártica. A capa de gelo no oeste da Antártica fechou o Estreito de Bransfield e alcançou a Ilha Rei George.
4. Interglaciação Wesele (médio Oligoceno, 30 Ma).
5. Glaciação Legru (final do Oligoceno, 30-26 Ma), glaciação local na Ilha Rei George.
6. Interglaciação Wawel (transição Oligoceno/Mioceno, 26-22 Ma), presença de floresta temperada úmida, abertura do estreito de Bransfield.
7. Glaciação Melville (início do Mioceno, 22-20 Ma).

A datação desses períodos é questionada por outros autores (DINGLE *et al*, 1997; BRAUN, 2001), e as épocas diferem amplamente, dependendo do método utilizado (relativo ou absoluto).

JOHN e SUDGEN (1971) distinguem dois intervalos de glaciação no Quaternário. Na primeira glaciação existia uma calota única ligando as ilhas do arquipélago Shetland do Sul, a qual foi responsável pela moldagem e erosão do terreno. Após um período interglacial seguiu a segunda glaciação, em que cada ilha teve sua própria calota cobrindo a maioria das áreas livres de gelo atuais (CURL, 1980). Provavelmente a maioria dos sedimentos (drift) glaciais da Península Keller foram depositados durante este período. Depois desta glaciação, ocorreram avanços do gelo menores, que estão bem registrados em material de morainas, os quais, de acordo com CLAPPERTON e SUGDEN (1988), correspondem ao final do Holoceno.

BIRKENMAJER (1997b) nomeou a glaciação entre o final do Pleistoceno e início do Holoceno de Warszawa. Têm sido sugerido que a extensão máxima de sua calota tenha ocorrido aproximadamente entre 20.000 e 18.000 anos.

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 Ajax. 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 (Figura 20), 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.

Atualmente a Península Keller apresenta dois ambientes que se distinguem pelos processos que modelam a paisagem (Figura 21). Após o último recuo glacial, o sul foi a primeira faixa a ser exposta onde ocorre o predomínio de processos de natureza periglacial remodelando a antiga paisagem de Keller. Essa faixa representa mais de 50% da área da península. Já na faixa norte, mesmo se verificando a existência de alguns processos periglaciais, a paisagem ainda reflete muito a ação da erosão glacial.

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 estruturas 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 e HERVÉ, 1972a), sendo facilmente observados em Keller. A solifluxão opera de modo lento, geralmente com uma taxa de no máximo 1 m a^{-1} (MATSUOKA, 2001), podendo retirar o material da superfície em taxas maiores que sua reposição. A profundidade de 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; atualmente, esse é o principal processo de transporte de sedimentos na faixa periglacial de Keller (Figura 22). As modificações ocasionadas por esse tipo de erosão dificultam a interpretação das feições dessa faixa.

A presença comum de línguas de sedimentos periglaciais, como observada na Figura 23, é consequência da associação desses processos.

Os sedimentos periglaciais são mais selecionados, pois a capacidade de arrasto da neve é limitada, transportando, além de sedimentos finos (areia, silte e argila), pequenos fragmentos de rochas (1 a 3 cm de diâmetro, podendo aumentar conforme o aumento da declividade do terreno).

O segundo ambiente, ao norte da península, foi e ainda é fortemente marcado pela ação glacial. Ainda existem nessa faixa pequenas geleiras de circos: a Babylon, a Noble, Ferguson e a Flagstaff. Estas geleiras eram tributárias da Stenhouse e atualmente alimentam feições de protálus ali presentes.

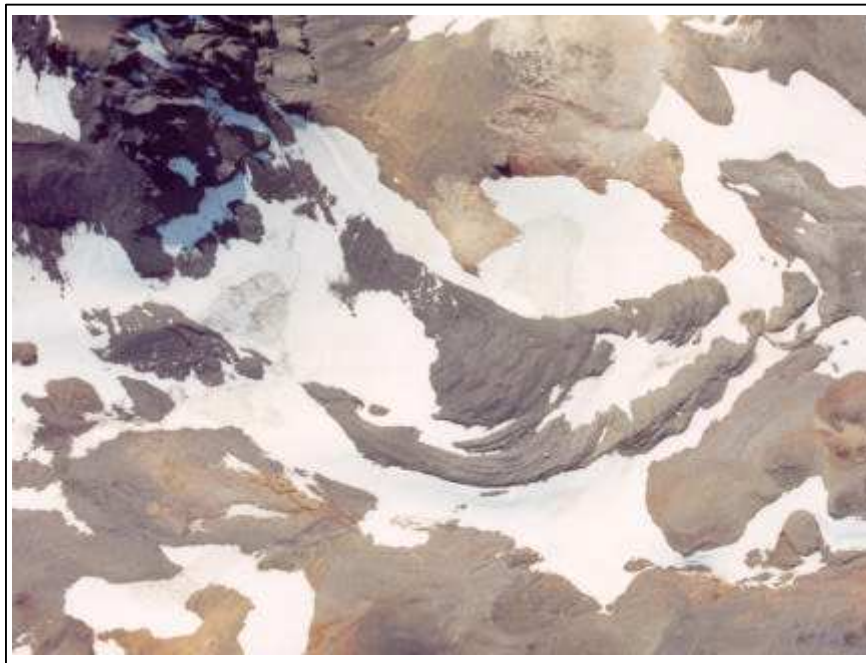


Figura 20 – Fotografia aérea da Península Keller onde se observa a moraina frontal fóssil, próximo da base leste do Morro Flagstaff, formada durante o último período glacial.

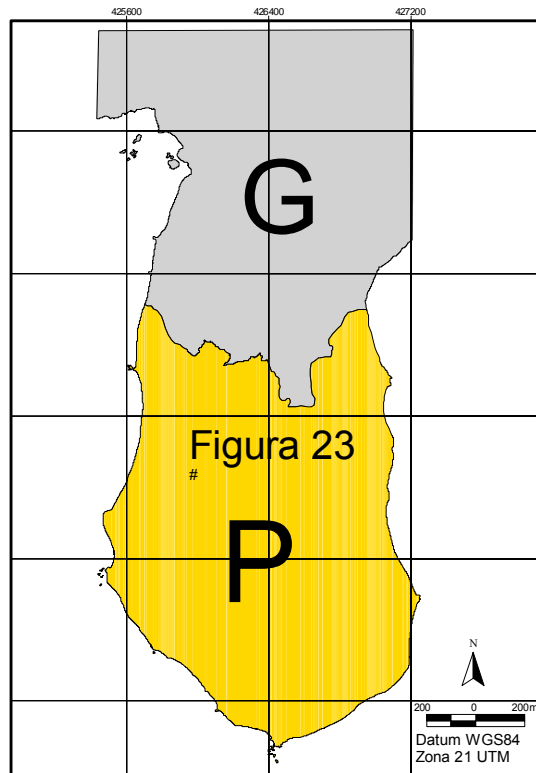


Figura 21 – Limites aproximados das áreas de domínio de erosão glacial (G) ou periglacial (P), na Península Keller.



Figura 22 – Estriamento (rilling) do terreno devido a processo de solifluxão na face oeste da Península Keller (ver figura 21).

Além de processos glaciais e periglaciais, o relevo de Keller também registra ações de natureza tectônica, as quais também afetaram sua geofoma atual. O recente soerguimento da península é uma resposta isostática ao alívio de pressão produzida pela diminuição na espessura da calota de gelo desta ilha (ARAYA e HERVÉ, 1972b), originando diferentes níveis de terraços marinhos soerguidos, enquanto a distribuição das feições geomorfológicas em sua parte sul é fortemente controlada por falhas neo-tectônicas.



Figura 23 – Língua de sedimentos periglaciais cobrindo outros sedimentos mais basálticos ao sul da Península Keller (pode-se verificar a diferença de origem dos sedimentos pela cor. O fundo da foto apresenta cota superior).

4.5. Geomorfologia

O ponto de maior altitude da península está próximo dos 340 metros (Monte Birkenmajer). Cerca de 70% do seu relevo está entre ondulado e forte ondulado, considerando as classes definidas em EMBRAPA (1988) (Tabela 8). Por meio da Figura 24, nota-se a maior suavidade da sua face oeste, em contraste com o relevo bastante movimento na parte leste. O mapa de declividade foi obtido a partir da grade do modelo digital de elevação, utilizando o comando *Derive Slope*, do Arcgis®.

A paisagem da Península Keller reflete todos os avanços e recuos do gelo glacial sobre seu terreno, onde a atual ação periglacial remodela um conjunto variado

de feições de natureza deposicionais. O intenso ciclo de congelamento e descongelamento presente na região é o principal fator de destruição do substrato geológico. A manifestação do intemperismo físico é extrema devido à combinação de fatores tais como umidade disponível relativamente alta durante o verão, temperaturas baixas no inverno com desenvolvimento de *permafrost*, substratos de rochas vulcânicas fraturados e topografia montanhosa. A remoção do material intemperizado ocorre principalmente por ação da erosão periglacial, onde a solifluxão é seu processo mais característico.

Tabela 8 – Classes de declividade presentes na Península Keller

Classes	Área
	%
0-3	5,9
3-8	18,1
8-20	35,4
20-45	32,3
> 45	8,3

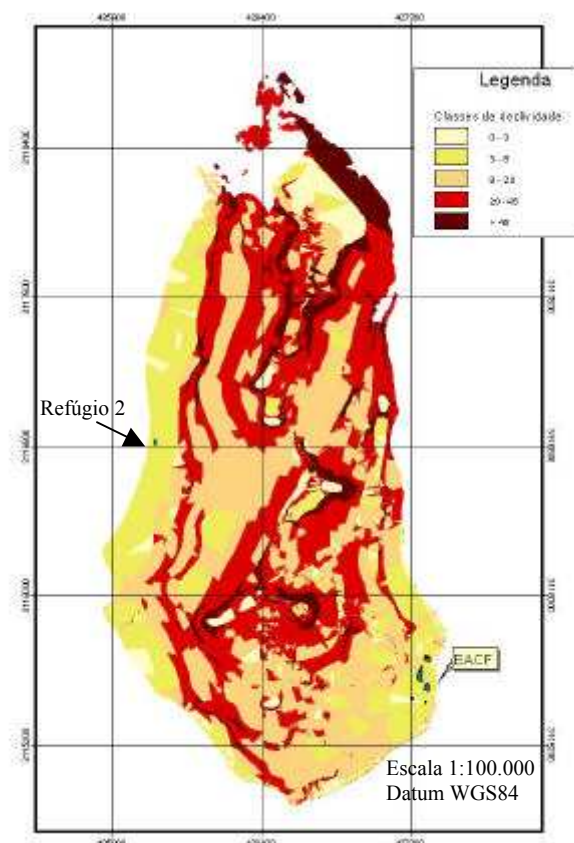


Figura 24 – Mapa de declividade da Península Keller.

Os fortes ventos presentes na região também contribuem para a modelagem final, não só de Keller como das outras áreas livres de gelo da Baía do Almirantado.

A ponta sul da península expõe uma paisagem mais estável, pelo fato de ter sido a primeira zona a ser exposta após o último recuo da geleira. Isso é evidenciado pela presença de feições com formas mais arredondadas e estabilizadas, o que não ocorre na sua face leste, onde existem extensas áreas de solifluxão, que é acentuado pela forte ablação das geleiras dos circos glaciais situados a montante. A parte central da península, no sentido norte-sul, é dividida por cristas agudas (aretês), interrompidas ao sul pelo Monte Flagstaff, no centro pelo platô Tyrrel (com cerca de 40.000 m²) (Figura 25) e ao norte pelo Pico Birkenmajer.

A paisagem ao sul é dominada pela presença do Morro Flagstaff (Morro da Cruz), com cerca de 265 m de altitude, que possui um pequeno platô com cerca de 9.800 m² entre as duas cristas rochosas. Já o norte apresenta altitude média maior, possuindo o ponto mais alto da península, o Monte Birkenmajer, com aproximadamente 340 m.



Figura 25 – Vista de Keller do Alto do Morro Birkenmajer. No primeiro plano pode-se observar os Arêtes. O platô Tyrrel está ao centro da fotografia e no fundo o Monte Flagstaff (Morro da Cruz).

As unidades geomorfológicas da península foram mapeadas através de fotointerpretação em estereoscópio, utilizando papel acetato e com posterior vetorização em mesa digitalizadora. No total foram identificadas 18 unidades (Tabela 9, Figura 26). Os bancos de neves foram considerados uma unidade independente, devido à incapacidade de inferir a feição subjacente, o que poderia gerar erros de interpretação.

Há predominância de feições de natureza deposicional, com destaque para os scree slopes, que somam mais de 25% da área da península. As feições puramente glaciais ou periglaciais somam quase 30% do total.

Tabela 9 – Contribuição de cada feição geomorfológica na paisagem da Península Keller

Feição	Área (m ²)	%
Afloramento de rocha	325.526,5	6,4
Circo glacial	305.078,4	6,0
Escarpa de gelo	12.072,9	0,2
Escarpa e crista rochosa	331.130,7	6,5
Felsenmeer	280.530,2	5,5
Geleira	508.299,5	10,0
Língua glacial	49.759,5	1,0
Moraina	120.360,0	2,4
Neve	630.593,4	12,5
Planície fluvioglacial	68.467,5	1,4
Platô	62.896,6	1,2
Praia	65.957,5	1,3
Protálus	272.702,3	5,4
Scree slope	1.269.798,7	25,1
Tálus	546.736,3	10,7
Terraço marinho 1º nível	56.741,5	1,1
Terraço marinho 2º nível	142.323,1	2,8
Terraço marinho 3º nível	12.828,2	0,3
Total	5.061.803,0	

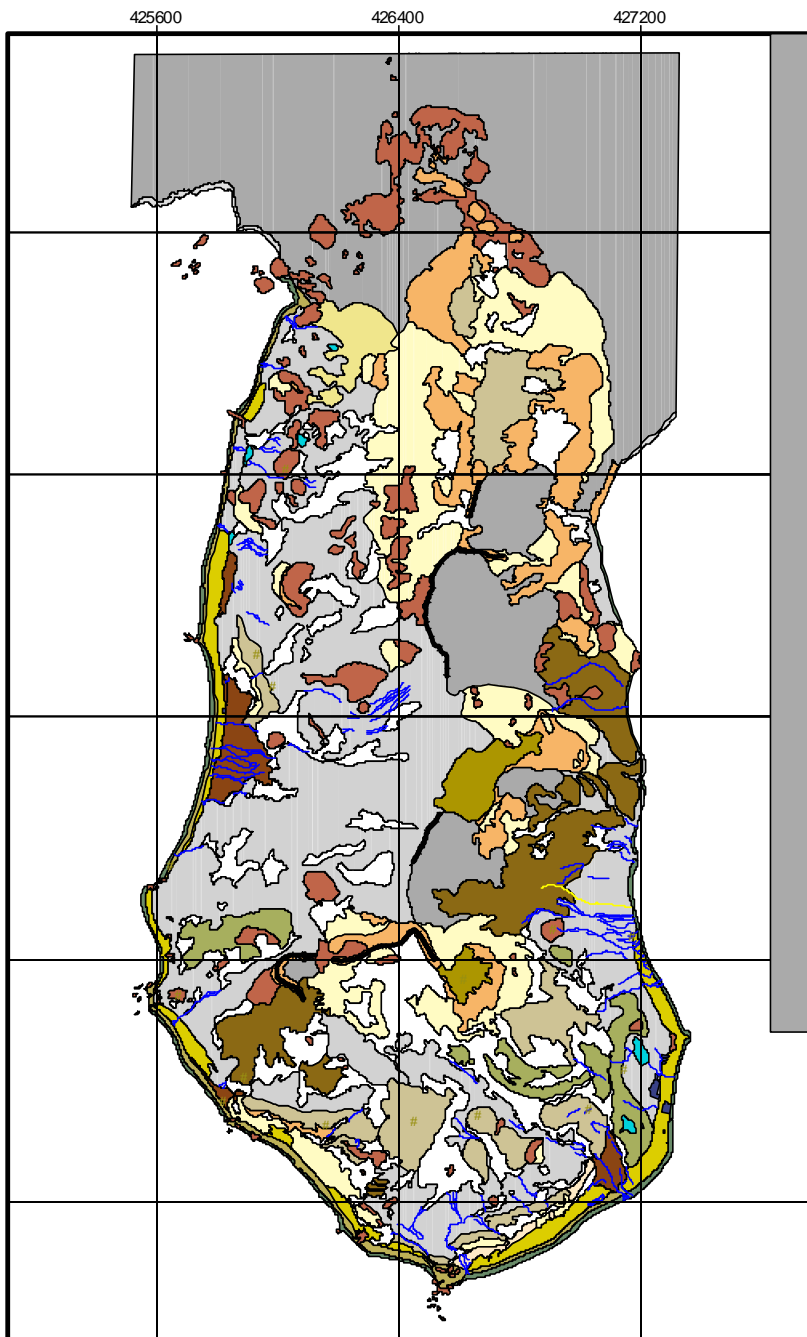


Figura 26 – Mapa da geomorfologia da Península Keller.

4.5.1. Descrição das principais unidades geomorfológicas

Scree slope

O scree slope é a feição mais presente em Keller (quase 22% da área), estando concentrado principalmente na face oeste da península (Figura 27). Ao norte, ele é precedido por uma linha de tálus, ao sopé de escarpas ou relevos mais agressivos, e, na parte central, os arêtes e o platô Tyrrel delimitam seu início. O terço inferior dos screes, já próximo do litoral, apresenta-se mais estável, possibilitando, inclusive, o desenvolvimento de cobertura vegetal. Esta feição está associada à presença de processos de solifluxão.

Praia

As praias da Península Keller são compostas principalmente de seixos que por vezes estão 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 e HERVÉ, 1972a). Juntamente com a presença de blocos de gelos 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. Este arranjo em forma de mosaico somente aparece quando a declividade da superfície é menor do que 3° e quando seus constituintes possuem diâmetros entre 20 e 40 cm (ARAYA e HERVÉ, 1972c). Esse tipo de feição é observado principalmente na praia entre a EACF e a Ponta Plaza.

A persistência dessa estrutura no tempo pode ser revelada pelo fato de cada fragmento estar polido e seixoso, bem como pelo crescimento de algas nos espaços entre os seixos e não na sua superfície.



Figura 27 – Rampa coberta por sedimentos finos e grosseiros, denominada scree slope, na face oeste de Keller.

Planícies fluvioglaciais

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 fluvioglaciais (Figura 28). Na Península Keller foram identificadas quatro áreas de deposições. Na borda dessas planícies, nas partes mais estáveis, é comum a presença de briófitas.

Morainas

Em contraste com outras áreas livres de gelo da Baía do Almirantado, Keller não apresenta muitas morainas, representando apenas 2,4% das feições encontradas na península, nem elas são de grandes dimensões. Esses depósitos não foram formados pelas pequenas geleiras observadas atualmente, mas a partir do avanço e recuo de grandes geleiras sobre Keller durante os últimos períodos glaciais, enquanto as mais alteradas pela erosão periglacial provavelmente sejam do Pleistoceno (PALLÀS *et al*, 1995).

As morainas presentes estão mais concentradas no sul da península, onde o tipo terminal é o mais comum. A presença de erráticos sobre a moraina localizada no pé do Morro Flagstaff indica transporte a longa distância.



Figura 28 – Planície fluvioglacial em Keller.

Terraços marinhos soerguidos

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 península, 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 (Figura 29).

Existe um aparente sincronismo entre a deglaciação do Holoceno e o soerguimento dos terraços marinhos de Keller, 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 e 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 e 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 nos fragmentos das praias atuais, indicando condições climáticas similares.



Figura 29 – Terraço marinho 3º nível na Península Keller.

Circo glacial

Em Keller verifica-se a existência de quatro circos glaciais (corrier), sendo dois deles ainda ocupados por pequenas geleiras (Noble e Babylon), mas que sofrem intensa ablação durante o verão (Figura 30). Circos desta natureza são produtos da erosão cumulativa durante as várias fases de glaciação ocorridas na região, em processo semelhante ao ocorrido na formação dos circos dos Alpes descrito por NELSON e JACKSON JR (2002).

São feições marcantes na paisagem e alimentam os campos de Protálus existentes no local.

Protálus

As condições climáticas da região – com um sistema morfoclimático frio e úmido, disponibilidade alta de água líquida no verão, freqüentes ciclos de congelamento-descongelamento e presença contínua de uma camada ativa de sedimentos saturada -

favorecem o surgimento de processos de solifluxão e, conseqüentemente, a formação de feições denominadas Protálus (Figura 31).

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

Os Protálus de Keller foram agrupados em três campos: Ferguson-Tyrrel, com sentido SO-NE e aproximadamente 420 m de extensão; o campo Noble, com sentido NO-SE e com 260 m de extensão; e Speil, com sentido NE-SO e 290 m de extensão. Juntos eles somam mais de 5% da área de Keller.

Esses Protálus são considerados por SERRANO e LOPEZ-MARTINEZ (2000) como geleiras de pedras; contudo, no presente caso, seguindo sugestões de WHALLEY e AZIZI (2003), trata-se realmente de Protálus, pelo fato de estes não exigirem condições de *permafrost* e de as geleiras de pedras ocorrerem geralmente em terrenos montanhosos elevados, entre paredes de vales.



Figura 30 – Presença de circo glaciais em Keller.



Figura 31 – Protálus parcialmente vegetado.

A superfície dos Protálus em Keller é composta de blocos de dimensões variadas, que estão organizados caoticamente e parcialmente cobertos por líquens. Entre o início da língua de escombros do Protálus Ferguson-Tyrrel e o tálus que o antecede, existe uma depressão (Figura 32) que não encontra na paisagem atual elementos que a justifiquem. Provavelmente é resultado de uma rápida deglaciação ocorrida durante o Holoceno, que ocasionou o recuo inicial rápido da geleira de circo e a conseqüente formação da depressão (Figura 33). Esse fenômeno também é observado nos Protálus do campo Speil.

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 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. Representam 8,6% das

geoformas encontradas e ocorrem envolvendo principalmente o cinturão de escarpas e cristas rochosas ao norte da península e o Morro Flagstaff, mais ao sul, na forma de cone ou não.



Figura 32 – Depressão existente entre o Protálus e o nível atual da geleira Ferguson.

Felsenmeer

São bancos ou superfícies de rochas derivada em grande parte do intemperismo físico do Holoceno, que tem sido retrabalhado pelos processos glaciais e periglaciais (ANDRÉ, 2003). 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*, como é o caso do banco de rochas próximo do Morro Flagstaff (Figura 34).

A grande maioria dos bancos, no entanto, são mais característicos, ou seja, aplainados em terrenos elevados, estando presentes nas áreas estruturais ao norte de Keller, próximos do Pico Birkenmajer. A desintegração física é garantida pelo congelamento ao longo das fraturas e juntas, de modo a originar fragmentos de diferentes tamanhos.

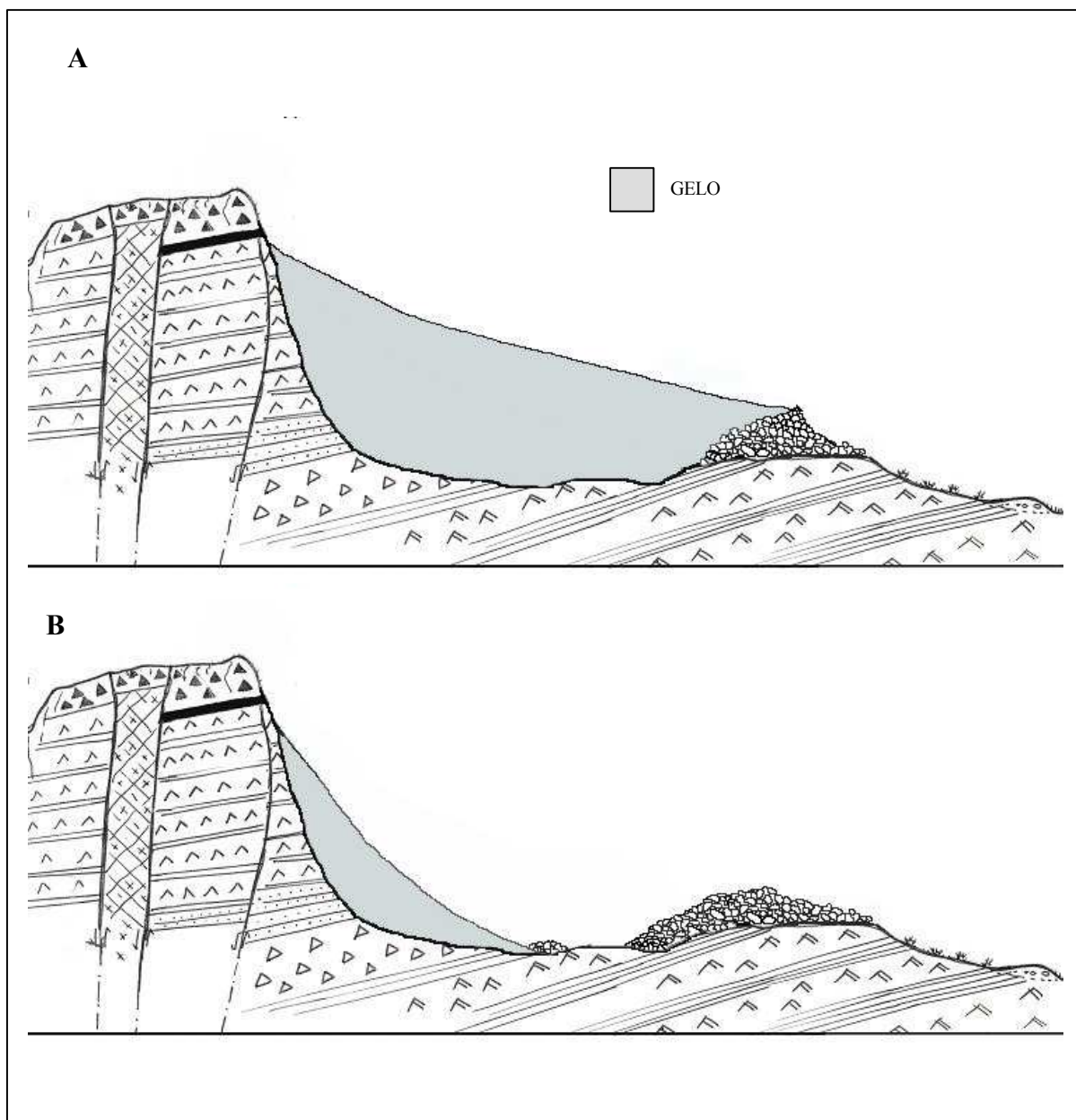


Figura 33 – Formação da depressão anterior à língua do Protálus Ferguson-Tyrrel, mostrando a geleira de circo antes (A) e após (B) a deglaciação.



Figura 34 – Fragmentação *in situ* do afloramento que originou o felsenmeer próximo do Morro Flagstaff.

4.6. Cobertura Vegetal

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* Desv., pertencente à família Gramineae-Poaceae, e *Colobanthus quitensis* (Kunth) Bartl., pertencente à família Caryophyllaceae. 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.

Ocorrem mais de 50 espécies de musgos na Baía do Almirantado, sendo as espécies do gênero *Polytrichum* as mais comuns (OCHYRA, 1984).

As algas macroscópicas terrestres são basicamente duas espécies: *Prasiola crispa* (Lightfoot) Menegh., que é ornitocoprófila, e *Prasiola cladophylla* (Carmich.) Menegh., que é ornitocoprófoba, ambas pertencentes ao filo *Chlorophyta* (algas verdes) (SCHAEFER *et al*, 2004b). Os fungos macroscópicos, segundo PUTZKE e PEREIRA

(1996), estão representados por dez espécies descritas até o momento. Os fungos liquenizados, para ØVSTEDAL e SMITH (2001), reúnem 360 espécies conhecidas.

Na Península Keller existem áreas colonizadas por vegetais, nas quais a formação de solos é acentuada pelos aportes biogênicos de carbono e nutrientes, que incrementam a diversidade dessas comunidades.

4.6.1. Ecologia e estratégias adaptativas

BILLINGS e MOONEY (1968) enfatizaram que a chave para a adaptação aos ambientes polares é o desenvolvimento e a operação de sistema metabólico que possa capturar, estocar e utilizar energia em baixas temperaturas e em curto espaço de tempo. Na Antártica, a fotossíntese ocorre em temperaturas próximas ou abaixo de 0°C em muitas espécies. A saturação luminosa para o ótimo fotossintético é normalmente baixa e a respiração ocorre mesmo em temperaturas abaixo de 0°C.

Os conteúdos de clorofila nas folhas são elevados e devem servir de mecanismo compensatório para manter a fotossíntese mesmo com baixa radiação. Muitas plantas da Antártica alcançam taxas metabólicas normais logo após sua dessecação e exposição prolongada ao congelamento, e muitas briófitas e líquens apresentam cores escuras no início da primavera, para facilitar o aquecimento e a absorção de energia (LEWIS-SMITH, 1984). Compostos de açúcares estocados, além de ácidos orgânicos, podem desempenhar um papel relevante na proteção dos tecidos contra o frio (LEWIS-SMITH, 1984).

Pouco se conhece em relação à fixação de nitrogênio nos ecossistemas antárticos. Cianobactérias de vida livre ou simbiote são geralmente abundantes nos criossolos antárticos, como epífitas sobre briófitas ou crescendo em colônias de algas (BROADY, 1979). Quantidades apreciáveis de N podem ser fixadas por cianobactérias, como *Stigonema* sp. (CROOME, 1973), enquanto tapetes de algas e colônias epifíticas são importantes na fixação de N (LEWIS-SMITH, 1984), sendo, aparentemente, a principal forma de entrada de N nesses ecossistemas. Por outro lado, bactérias fixadoras de N, como *Azotobacter*, também estão presentes em alguns Criossolos Austrais (BOYD *et al*, 1982) e podem ter um papel ativo na ciclagem de N. Na Antártica Marítima, contudo, há poucos dados conclusivos.

4.6.2. Cobertura vegetal e geoformas

As comunidades vegetais nas áreas de degelo da Península Keller são constituídas predominantemente por briófitas; *Sanionia uncinata* (Hedw.) Schwaegr é a espécie que apresenta a maior biomassa; ocorrendo em praticamente todos os tipos de forma de crescimento dos musgos. As cianobactérias ocorrem em superfícies cobertas por sedimentação fina e em pequenos depósitos de água de degelo. As algas macroscópicas terrestres, especialmente *Prasiola crispa*, crescem associadas às colônias ou ninhos de aves (SCHAEFER *et al*, 2004b). Representantes de *Prasiola cladophylla* são raros e ocorrem principalmente em linhas de drenagem com água de degelo. Os líquens (fungos liquenizados) estão representados em praticamente todos os ambientes, constituindo-se no grupo com a maior biodiversidade da região, com mais de sessenta espécies identificadas até o momento (SCHAEFER *et al*, 2004b). As plantas com flores *Colobanthus quitensis* e *Deschampsia antarctica*, crescem associadas com musgos ou líquens fruticulosos, sendo mais freqüentes em áreas onde ocorrem colônias de aves e/ou criossolos ornitogênicos.

A estimativa da extensão das coberturas das comunidades vegetais é importante para se avaliar a sua dinâmica temporal e estudar em maior detalhe as relações ecológicas com os diferentes atributos do meio físico (solos, rochas, relevo, etc.). Sua quantificação mais precisa pode também auxiliar nas estimativas de estoque de carbono nos ecossistemas terrestres na Antártica, bem como sua evolução. Na Antártica Marítima, apesar das condições climáticas relativamente severas, coberturas de líquens, algas, briófitas e raras plantas com flores são capazes de sintetizar e incorporar considerável quantidade de C nos solos, sendo a sua conservação auxiliada pelas baixas temperaturas, que retardam a mineralização (Figuras 35 e 36).



Figura 35 – Comunidade homogênea de *Sanionia uncinata* (Hedw.) Schwaegr.



Figura 36 – Comunidade do tipo miscelânea formada principalmente por *Sanionia uncinata*, *Deschampsia antarctica* e líquens ornitocoprófilos.

A análise do mosaico de Keller permitiu delimitar as áreas que apresentavam algum tipo de cobertura vegetal. As informações levantadas foram posteriormente confirmadas através da sobreposição com os pontos coletados em campo e registrado com GPS.

Em termos quantitativos, as coberturas vegetais na península ocupam pouco

mais de 3% da área total (cerca de 16 ha) da Península (Tabela 10), concentrando-se principalmente próximo da linha costeira (Figura 37). As comunidades se apresentaram de forma homogêneas (briófitas e *Usnea*) e em associação (tipo miscelânea). Há predomínio de briófitas e líquens, que juntas somam mais de 50% das tipologias; as espécies mais representativas são formadas principalmente por musgos (*Sanionia uncinata* (Hedw.) Loeske, *Warnstorfia sarmentosum* (Wahlenb.) Hedenäs, *Tortula* spp. e *Bryum* spp.) e *Usnea antarctica*. As angiospermas *Deschampsia antarctica* Desv. e *Colobanthus quitensis* (Kunth) Bartl somente ocorrem associadas a outras plantas inferiores, devido ao caráter pioneiro destas. A *Deschampsia* ocorre mais abundantemente próximo a pingüineiras abandonadas e locais de concentração de grandes mamíferos, em lugares ainda não colonizados por *Colobanthus* sp. (ZARYCKY, 1993), como foi verificado ao sul da Área de Interesse Científico Especial nº 8.

Percebe-se que existe relação entre a cobertura vegetal e a presença de ninhos, pois são as aves que fornecem a maior parte dos nutrientes para o desenvolvimento inicial das plantas, ou seja, o surgimento das comunidades vegetais é posterior à instalação do ninho e não o inverso.

A camuflagem do ovo da skua (*Catharacta* sp.) - que faz com que ele seja confundido com seixos do terraço marinho desprovidos de vegetação - é um bom exemplo da adaptação desta ave às condições locais (Figura 38).

Tabela 10 – Distribuição percentual das áreas das comunidades vegetais

Comunidade vegetal	n	Soma das áreas	Participação
		M ²	%
Briófita	56	42.716,2	26,9
Briófita + <i>Deschampsia</i>	13	7.891,3	5,0
<i>Deschampsia</i> + <i>Colobanthus</i> + Briófita	2	834,73	0,5
<i>Deschampsia</i> + <i>Colobanthus</i> + <i>Usnea</i> + Briófita	7	2.913,8	1,8
<i>Usnea</i>	36	40.599,8	25,6
<i>Usnea</i> + Briófita	29	16.570,3	10,4
<i>Usnea</i> + Briófita + <i>Deschampsia</i>	62	47.229,7	29,7
Total		158.755,8	

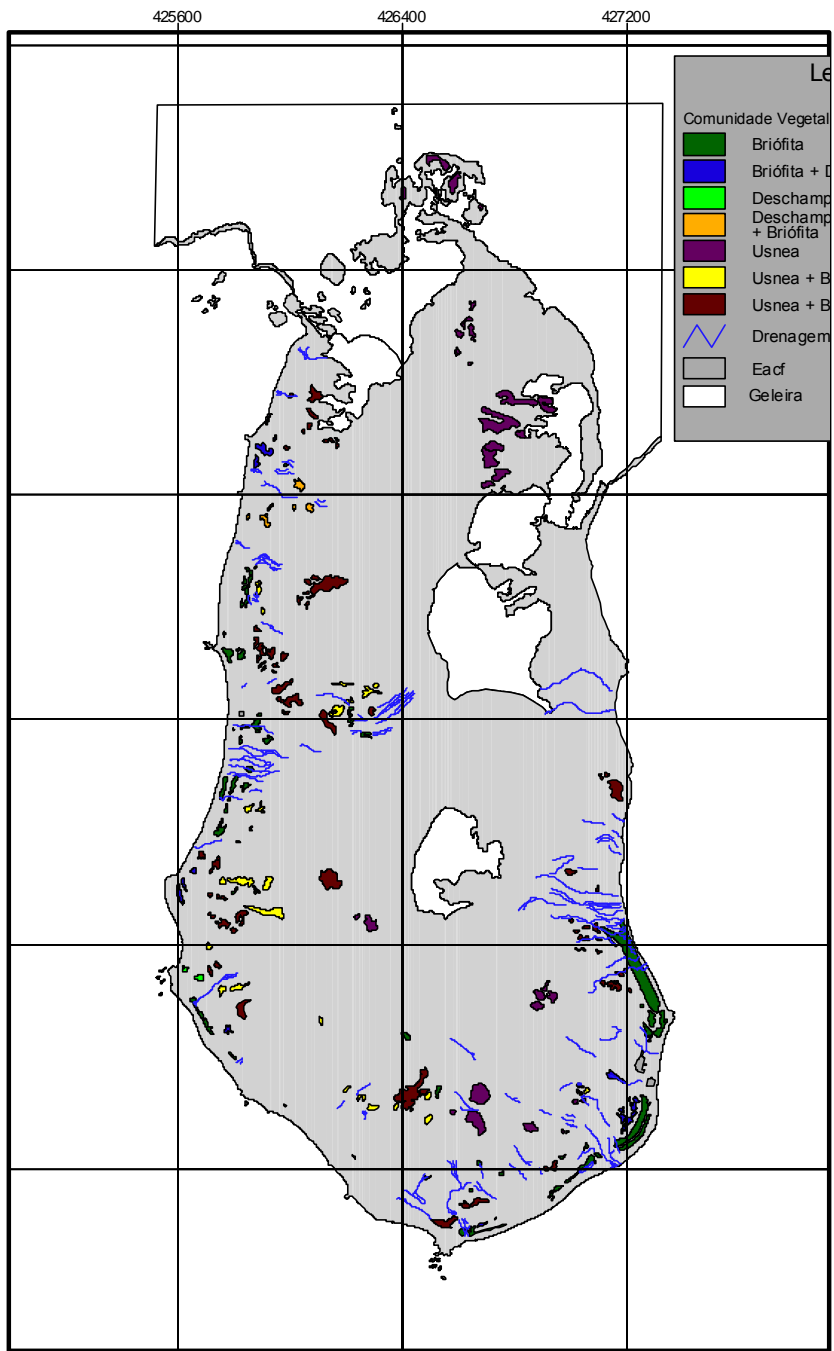


Figura 37 – Mapa da cobertura vegetal da Península Keller.

Entretanto, uma vez presente a cobertura vegetal, esses locais ainda são aproveitados pelas aves para nidificação, o que favorece ainda mais a entrada de fósforo e nitrogênio no sistema, aumentando a atividade biológica e mudando o microclima do solo devido à incorporação de carbono orgânico. Aparentemente, as geoformas biologicamente cobertas são menos propensas aos mecanismos de congelamento-descongelamento, em razão da presença do carbono no solo, mudando o albedo de superfície. A localização dos ninhos, porém, parece estar muito mais associada às geoformas, pois as aves buscam locais de maior estabilidade, como os topos aplainados dos afloramentos de rochas, o que explica ser esta feição a única que abriga todos os tipos de planta (Tabela 11).

Em locais de melhor drenagem, como a superfície dos *felsenmeers*, e nas partes mais elevadas da península, onde a ação dos ventos é mais severa e a água disponível é baixa, há predominância de líquens crustosos e fruticulosos, principalmente *Usnea aurantiaco-atra* (Jacq.) Bory, enquanto nas depressões úmidas, como os terraços marinhos soerguidos, ocorrem predominantemente as briófitas. As baixas altitudes, em geral, são dominadas pela associação de briófitas e *Deschampsia*, com ou sem *Colobanthus*.

Os dados da Tabela 11 ainda demonstram que a comunidade homogênea de briófitas está estreitamente relacionada com feições onde ocorre acúmulo de água. Quando presente nos scree slopes, conforme observações de campo, estão localizadas ao longo dos canais de degelo. Os terraços marinhos de segundo nível, que abrigam mais da metade de todas as coberturas de briófitas, são os locais onde toda a água de degelo a jusante se destina antes à descarga final na baía, e, por vezes, devido ao acúmulo de sedimentos mais finos, permite o represamento de parte desta água, formando o ambiente ideal para o desenvolvimento dos musgos.



Figura 38 – Ninho da skua em terraço marinho soerguido.

Tabela 11 – Relação da presença das comunidades vegetais com as feições da geoforma

Feições	B	B + D	D + C + B	D + C + U + B	U	U + B	U + B + D
	%						
Afloramento de rocha	0,11	1,95	64,64	100	12,06	10,58	18,40
Circo glacial	-	-	-	-	-	-	-
Escarpa de gelo	-	-	-	-	-	-	-
Escarpa e crista rochosa	-	-	-	-	4,00	-	0,05
Felsenmeer	1,07	-	-	-	70,63	19,13	30,84
Geleira	-	-	-	-	-	-	-
Língua glacial	-	-	-	-	-	-	-
Moraina	-	45,51	-	-	8,75	-	2,95
Neve	-	-	-	-	-	-	-
Planície fluvioglacial	14,60	-	-	-	-	-	-
Platô	-	-	-	-	0,62	-	-
Praia	0,2	-	-	-	-	-	-
Protálus	-	-	-	-	-	16,81	13,37
Scree slope	23,12	49,12	35,36	-	0,75	53,48	34,31
Tálus	0,14	-	-	-	3,18	-	0,07
Terraço marinho 1º nível	3,37	-	-	-	-	-	-
Terraço marinho 2º nível	56,53	3,41	-	-	-	-	-
Terraço marinho 3º nível	0,86	-	-	-	-	-	-

B = Briófitas; D = Deschampsia; U = *Usnea* e C = *Colobanthus*.

A comunidade mais complexa somente foi encontrada nos topos planos dos afloramentos de rochas, tanto pela estabilidade desta geoforma como também pela maior disponibilidade de nutrientes nesses locais.

Já *Usnea* praticamente ocorre somente sobre feições que apresentam drenagem excessiva, principalmente sobre os felsenmeers (70%), e estabilidade que permita seu lento desenvolvimento.

Das comunidades de líquens mapeadas, somente foram identificadas as da espécie *Usnea*, pois é a única que forma manchas visíveis nas fotografias aéreas; contudo, em campo, foram observadas outras espécies que também apresentam estreita relação com as geoformas. Nas formações rochosas e mais protegidas de Punta Plaza, na parte sul de Keller, ocorre uma comunidade de líquens tipicamente ornitocóprófilos, muito vistosa pelo colorido. devido à presença, principalmente, de *Caloplaca regalis* (Vain.) Zahlbr e *Xanthoria elegans* (Link.) Th. Fr. A existência dessas espécies no local deve-se à presença de aves, como o gaivotão (*Larus dominicanus*), que utiliza o local como comedouro.

A formação mais extensa de *Deschampsia antarctica* e *Colobanthus quitensis* está associada à maior colônia de gaivotão (*Larus dominicanus*) da Península Keller; além dessas espécies, ocorre na mesma área uma das mais interessantes comunidades de plantas ornitocóprófilas da região.

No interior da Península Keller, em áreas onde ocorrem criossolos rasos, como áreas estáveis no platô das elevações, crescem comunidades vegetais onde predominam principalmente *Usnea antarctica* e *Sanionia uncinata*, com virtual ausência de *Deschampsia antarctica*, *Colobanthus quitensis* e *Polytrichum* spp. Representantes do gênero *Bryum* ocorrem nas linhas de drenagem, enquanto nas bordas dos afloramentos de rocha têm-se os líquens fruticulosos, sendo os principais *Usnea aurantiaco-atra* e *U. antarctica*; entre as rochas encontram-se espécies do gênero *Cladonia* e, às vezes, *Stereocaulon alpinum* Laur.

Para avaliar a contribuição de cada feição para a presença das coberturas vegetais, ponderado pelas áreas ocupadas, foi estabelecido um índice de valor (I.V.) e estabelecidos três graus de possibilidade de determinada feição apresentar algum tipo de cobertura (Tabela 12).

Os maiores índices de valor foram apresentados pelas feições de tipo terraço marinho soerguido segundo nível e felsenmeer (Tabela 13), o que reflete as

condições ideais desses tipos de geoformas para as respectivas comunidades. De modo geral, as feições que apresentaram I.V. maior que 1 são aquelas que possuem maior estabilidade, condição fundamental para a presença de qualquer tipo de comunidade vegetal.

Tabela 12 – Contribuição da geoforma em relação à presença de algum tipo de cobertura vegetal

Feição	Classes de I.V.
$0 < I.V. < 1$	Baixa possibilidade de possuir cobertura vegetal
$I.V. = 0$	Nenhuma possibilidade de possuir cobertura vegetal
$I.V. \geq 1^*$	Alta possibilidade de possuir cobertura vegetal

* Quanto maior o valor, maior a possibilidade.

Geoformas mais ativas e instáveis, como os tálus, possuem pouca expressão de cobertura vegetal (0,9% do total), enquanto os scree slopes, com 25% do total de cobertura, representam a principal geoforma colonizada por vegetais na Península. Nessas vertentes as coberturas estão concentradas principalmente no terço inferior, justamente a sua parte mais estável. Outro motivo para essa superioridade é que as vertentes de scree representam a geoforma mais presente em Keller, ocupando mais de 25% de sua área.

Dos terraços marinhos, apenas o de segundo nível de soerguimento é representante em termos de cobertura vegetal, pois o de primeiro nível sofre ainda muita influência do mar, enquanto o de terceiro nível recebe muita carga de sedimentos (finos e grosseiros, como fragmentos de rochas) das feições localizadas a montante.

4.7. Solos

Para realizar a classificação dos solos da Península Keller, foi utilizado o sistema da FAO (FAO, 1999), sendo identificados quatro grupos do primeiro nível e sete do segundo nível categórico (Tabela 14). Foi ainda acrescentado, no segundo nível categórico, o caráter ornitogênico, como proposto por BÖLTER *et al* (1999), para designar os solos cuja gênese sofreu influências direta de atividades de aves.

Tabela 13 – Determinação dos índices de valor para cada geoforma presente em Keller

Feição	X	Y	I.V.
	----- % -----		
Afloramento de rocha	6,4	12,0	1,9
Circo glacial	6,0	0	0,0
Escarpa e crista rochosa	6,5	1,0	0,2
Escarpa de gelo	0,2	0	0,0
Felsenmeer	5,5	29,4	5,3
Geleira	10,0	0	0,0
Língua glacial	1,0	0	0,0
Moraina	1,7	5,4	3,2
Neve	12,5	0	0,0
Planície fluvioglacial	1,4	3,9	2,9
Platô	1,2	0,2	0,1
Praia	1,3	0,1	0,0
Protálus	6,1	5,7	0,9
Scree slope	25,1	25,0	1,0
Tálus	10,8	0,9	0,1
Terraço marinho 1º nível	1,1	0,9	0,8
Terraço marinho 2º nível	2,8	15,4	5,5
Terraço marinho 3º nível	0,3	0,2	0,9

X = percentagem da área de cada feição em relação à área total. Y = percentagem da área de cada cobertura vegetal em relação à área total ocupada. IV = índice de valor = Y/X.

A legenda de identificação dos solos é composta por unidades homogêneas e associações compostas por duas ou três classes de solos. Nas associações, figuram em primeiro lugar as classes mais representativas. As definições de elementos formativos para unidades de nível inferior estão sumarizadas na Tabela 15. Para realizar o mapeamento das classes de solos, foram descritos 26 perfis. 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 mapeados 15 unidades de solos e três tipos de terrenos (Figura 39, Tabela 16), verificando-se o predomínio dos Criossolos e Leptossolos.

O Criossolo foi introduzido em um nível mais alto no sistema da Base Referencial Mundial do Recurso Solo para identificar um grupo de solos que ocorrem em condições de ciclos de congelamento e descongelamento, apresentando

permafrost dentro dos 100 cm desde a superfície, além de mostrarem evidências de crioturbação (FAO, 1999). Estes solos são frequentemente rasos (< 1 m) e permanecem saturados de água durante o período de degelo (verão), porém sem as feições associadas de redução e redistribuição de ferro. De acordo com a nova versão da Soil Taxonomy, os solos afetados por *permafrost* são denominados Gelisoils (SOIL SURVEY STAFF, 1998).

Tabela 14 – Níveis categóricos segundo sistema de classificação da FAO (1998)

Primeiro nível categórico	Segundo nível categórico
Criossolos	Léptico
Leptossolos	Lítico
Fluvisolos	Gélico
Regossolos	Gelistágnico
	Vítrico
	-Esquelético
	-Paralítico
	-Ornitogênico*

* Proposto por BÖLTER *et al* (1999).

O ciclo de congelamento e descongelamento da camada superficial 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 características típicas associadas com processos criogênicos (FAO, 1999):

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

A camada de gelo cimentante é geralmente encontrada entre 20 e 100 cm da superfície do solo durante o período máximo de degelo.

O alto teor de gelo reduz a capacidade de drenagem e promove condições hidromórficas no solo durante o período de descongelamento, quando a massa de solo fica saturada; quando localizada em terreno declivoso, favorece o processo de solifluxão.

Tabela 15 – Definições de elementos formativos para unidades de nível inferior

Caráter	Características
Esquelético	Que tem entre 40 e 90 por cento (em peso) de calhaus ou outros fragmentos grossos até uma profundidade de 100 cm a partir da superfície do solo.
Gélico	Que possui <i>permafrost</i> dentro dos 200 cm iniciais a partir da superfície do solo.
Gelistágnico	Que tem saturação com água temporária na superfície causada por um subsolo congelado.
Léptico	Que 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.
Paralítico	Apresenta dentro dos 10 cm iniciais do solo um contato com rocha partida com fissuras separadas menos de 10 cm que permitem que as raízes penetrem na rocha subjacente.
Vítrico	Que tem um horizonte vítrico dentro dos 100 cm desde a superfície do solo e não tem um horizonte ândico por cima de um horizonte vítrico.

Fonte: FAO, 1999.

A falta de uma ação intensiva dos processos criogênicos (processos que ocorrem no solo com temperatura abaixo de zero e que são condicionados pelas mudanças da fase sólida para líquida da água do solo) nos solos de Keller se deve à descontinuidade do *permafrost* e à dificuldade de determinar sua extensão.

Tanto o sistema da FAO como o Soil Taxonomy (SOIL SURVEY STAFF, 1998) consideram a presença do *permafrost* - e o conhecimento da sua profundidade - como principal critério para a classificação dos Criossolos e Gelissolos, respectivamente (BEYER, 2000). No entanto, a identificação do *permafrost* e sua profundidade no campo é ponto crítico para os pedólogos trabalhando em ambientes frios (THORN e DARMODY, 2002).

Permafrost é um conceito puramente pedoclimático, sem significância genética, sendo sua aplicação viável apenas em região de clima extremamente frio que garanta sua existência (BEYER *et al*, 2000). Entretanto, em ambientes onde a presença do *permafrost* é descontínua, como é o caso de Keller, ou mesmo esporádica, sua determinação é quase impraticável. A real contribuição para classificação do *permafrost* em solos muito rasos, como os ornitogênicos sobre afloramento de rochas, é questionável.

A maior parte das paisagens livres de neve está coberta por sedimentos

oriundos da fragmentação das rochas, representando aproximadamente 45% da área da Península. Já os Leptossolos são solos com profundidade limitada por rocha dura contínua dentro dos 25 cm iniciais. O Leptossolo é o equivalente aproximado ao Neossolo Litólico de perfil A/R no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999).

Nas planícies de deposição fluvioglacial ocorre o desenvolvimento dos Fluvisolos, que ocupam apenas 0,2% do território total da península. Os Cambissolos e os Regossolos, todos com caráter gélido, somente ocorrem associados a outros solos.

Tabela 16 – Unidades de solos e terrenos da Península Keller

Unidades de solos e terrenos	Legenda FAO	Área	%
Afloramento de rocha*	AR	256.050,2	5,1
Criossolo Lítico + Leptossolo Gélido	CRli + Lpge	77.582,0	1,5
Criossolo Lítico + Regossolo Esqueletic-gélido	CRli + RGsk	82.635,5	1,6
Criossolo Lítico + Regossolo Esqueletic-gélido + Leptossolo Ornitogenic-gélido	CRli + RGsk + LPoge	43.640,0	0,9
Criossolo Paralítico + Cambissolo Leptic-gélido	CRlip + CMle	89.380,1	1,8
Criossolo Esquelético + Cambissolo Esqueletic-gélido	CRsk + CMsk	143.112,9	2,8
Criossolo Esquelético + Leptossolo Gélido	CRsk + LPge	41.233,1	0,8
Criossolo Vitric-léptico + Leptossolo Orthithioni-gélido + Regossolo Gelistágnico	CRvi + LPoge + RGge	46.111,9	0,9
Criossolo Vitric-léptico + Regossolo Gelistágnico	CRvi + RGgt	57.336,3	1,1
Criossolo Vitric-léptico + Regossolo Gelistágnico + Leptossolo Gélido	CRvi + RGgt + Lpge	46.733,1	0,9
Fluvisolo Gélido	FLge	3.542,9	0,1
Fluvisolo Vitric-gélido	FLvi,ge	7.588,3	0,1
Leptossolo Ornitogenic-gélido + Regossolo Paralítico	LPge + RG	122.822,8	2,4
Leptossolo Ornitogenic-gélido	LPoge	86.820,0	1,7
Leptossolo Vitric-gélido + Regossolo Gelistágnico	LPvi + RGgt	14.361,3	0,3
Neveiro + geleira + escarpa de gelo + língua glacial + circo glacial*	N	1.504.595,4	29,7
Praias de seixos e calhaus + terraço marinho 1º nível*	PR	130.615,3	2,6
Rocha fragmentada*	RF	2.307.642,0	45,6
Total		5.061.803,0	

* Tipo de terreno.

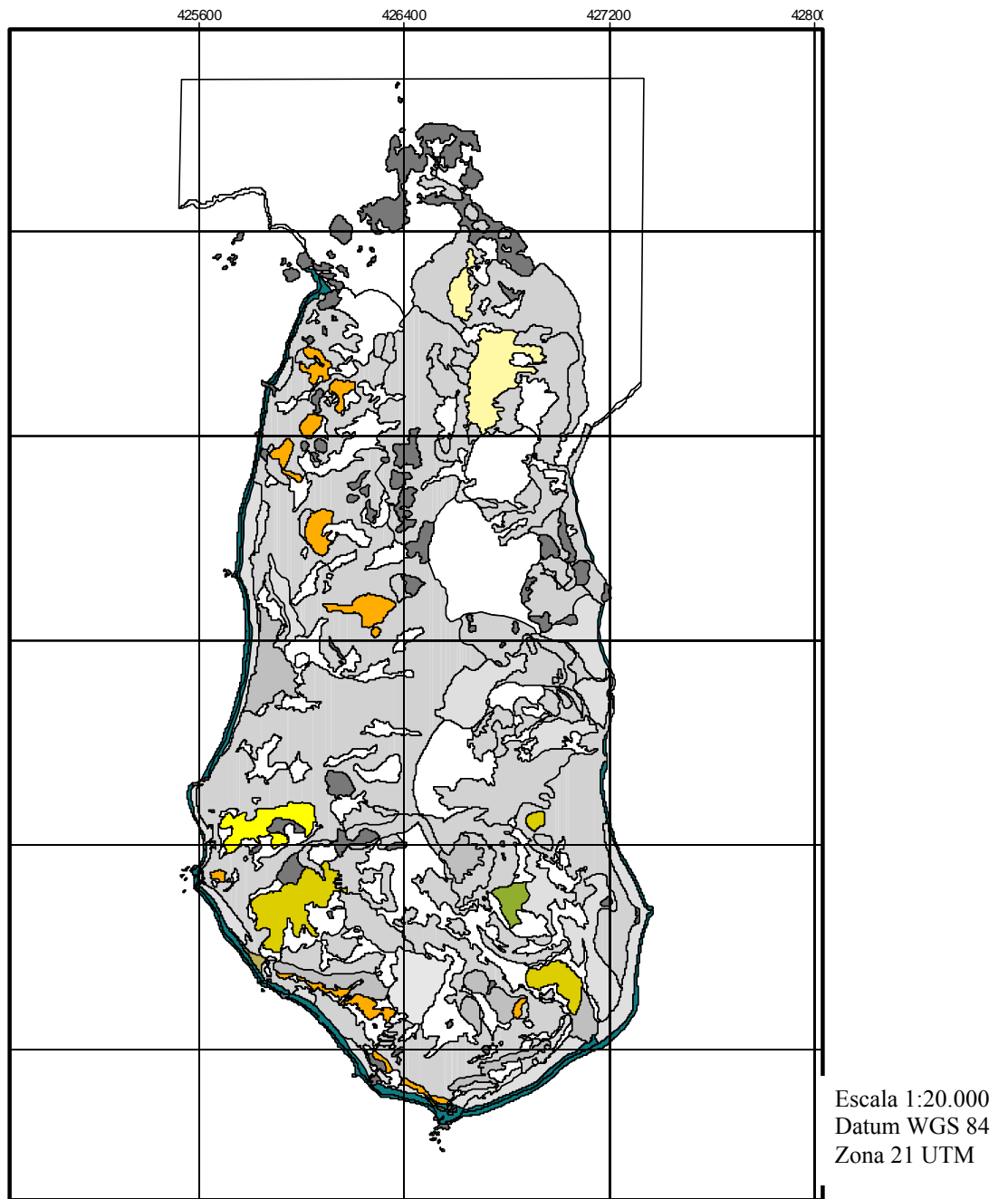


Figura 39 – Mapa de solos da Península Keller.

4.8. Monitoramento e Indicadores Ambientais

4.8.1. Bioindicadores e biomonitoramento

Na avaliação das alterações ocorridas em um determinado ambiente, é necessário estabelecer elementos que sirvam de parâmetros comparativos ou que indiquem a presença de agentes externos ao sistema. Para o monitoramento ambiental das regiões polares, a deposição atmosférica tem sido avaliada, principalmente através da análise de neve, gelo e ar (BOUTRON e PATTERSON, 1987). Contudo, cada vez mais tem sido sugerido o uso de bioindicadores, principalmente líquens e musgos, na avaliação de poluição tanto no Ártico como na Antártica (BARGAGLI *et al*, 1999; GARTY, 2001; OLECH, 1993). Esses organismos constituem-se nos principais componentes da biomassa vegetal da Antártica e o estudo dos elementos absorvidos e liberados por esses organismos também é necessário para entender a ciclagem dos elementos nos ecossistemas terrestres (BÖLTER, 1992).

As briófitas são conhecidas pela alta capacidade de se ligar aos metais presentes no substrato (PEÑUELAS e FILELLA, 2002), enquanto os líquens estão mais associados aos elementos presentes na atmosfera.

Como o intemperismo das rochas na região antártica é extremamente lento e os líquens não possuem raízes, eles absorvem os nutrientes principalmente do ar em seu redor (CHIPEV, 2000). Conseqüentemente, quando os nutrientes são absorvidos, outros elementos, não necessariamente requeridos para o crescimento, também o são.

Em razão da capacidade de agirem como interceptores eficientes e bioacumuladores de metais pesados, os líquens e os musgos têm sido largamente utilizados no monitoramento ambiental (biomonitoramento) e vários estudos tentaram avaliar as concentrações-padrões de metais pesados em diferentes espécies desses organismos, bem como estabelecer níveis de contaminação como resultado de atividades humanas na Antártica (OLECH, 1993; BARGAGLI *et al*, 1999; POBLET *et al*, 1997). No entanto, é muito difícil avaliar se a deposição dos elementos-traço em regiões polares é de origem local ou de fontes antropogênicas remotas. Estudos em altas latitudes no hemisfério norte indicam que os metais são principalmente derivados de deposição atmosférica de origem local, como os

aerossóis marinhos, e que a entrada de material de origem antropogênica geralmente é mínima (BARGAGLI *et al*, 1999).

Embora a maior parte dos metais pesados acumulados nos líquens seja de origem atmosférica, BARGAGLI *et al* (1999) cogitam que a neve possa ser a principal fonte de elementos para os líquens em regiões polares. Entretanto, a contribuição do substrato dever ser considerada. A grande variabilidade entre os valores dos teores de metais pesados encontrados na literatura pode ser explicada por fatores ambientais, principalmente pelas características geológicas do substrato, que podem afetar a composição dos líquens epilíticos.

PEÑUELAS e FILELLA (2002) encontraram estreita correlação entre os elementos presentes em amostras de solos e de líquens, o que indica uma contaminação pela adsorção/absorção de partículas do solo. Por exemplo, BARGAGLI *et al* (1999) verificaram que na costa norte de Victoria Land, os teores de Zn, Mn, Cu, Cr e Pb encontrados na *Umbilicaria decussata* foram baixos, indicando não haver nenhum impacto devido a atividades humanas e que, o teor dos elementos presentes foram afetados somente pela atração de partículas do solo e da rocha e pela captura de elementos solúveis do substrato.

O uso do termo “bioindicador” está relacionado com a resposta dos organismos a diferentes níveis de poluição e se refere à capacidade de o organismo indicar a presença e a quantidade de poluentes atmosféricos (GARTY, 2001). Bioindicadores e bioacumuladores que fornecem informações quantitativas dos níveis de poluição e permitem a identificação das mudanças no curso do tempo são definidos como biomonitores. O uso do biomonitoramento é recomendado ou como um método complementar ou como um método alternativo para pesquisas mais detalhadas, sempre que o uso extensivo de equipamento no campo for caro ou não-prático (GARTY, 2001). O biomonitoramento tem a vantagem de poder confirmar os dados físicos e químicos pelos dados fisiológicos.

4.8.2. Biomonitoramento aplicado à EACF

Estudos realizados na Baía do Almirantado indicam alto teor de metais pesados, particularmente nos talos da *Usnea* spp. (OLECH, 1991, 1998); alguns dados publicados sugerem a presença de concentrações elevadas de metais pesados na Antártica, em áreas próximas das estações de pesquisa (BARGAGLI *et al*,

1999).

Como a *Usnea* spp. e as briófitas estão presentes em toda a Península Keller, foram determinados os teores de metais pesados presentes nesses organismos por SCHAEFER *et al* (2004b). Estes autores coletaram e analisaram 34 amostras de *Usnea antarctica*, briófitas e *Deschampsia*, de forma a cobrir toda a península. As amostras foram submetidas à digestão nitro-perclórica, sendo os valores totais obtidos após leitura dos extratos por meio de espectrofotometria de emissão óptica com plasma acoplado por indução. Os resultados foram submetidos à análise estatística e estão sumarizados na Tabela 17.

Foram levantados na literatura diversos valores de metais em líquens e briófitas, os quais serviram de referência para a discussão dos resultados (Tabela 18).

Tabela 17 – Análise estatística dos teores de metais em amostras de plantas da Península Keller¹

	Al	Ca	Mg	P	Fe	B	Ba	Cu	Mn	Sr	Ti	V	Zn
-----mg kg ⁻¹ -----													
Briófita													
Média	15263,3	6724,7	5255,8	1685,7	18052,5	95,2	69,7	40,7	315,9	56,8	130,0	32,3	32,8
Mínimo	203,0	285,0	90,0	57,0	321,0	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Máximo	34985,0	14033,0	9398,0	3965,0	48046,0	246,0	232,0	118,0	718,0	111,0	680,0	77,0	81,0
Desvio-padrão	10327,1	3620,6	2070,9	1071,3	13126,9	62,7	55,5	37,9	187,8	26,1	152,5	24,5	17,2
C.V. (%)	67,7	53,8	39,4	63,5	72,7	65,9	79,6	92,9	59,4	45,9	117,3	76,0	52,3
<i>Usnea</i>													
Média	8461,8	14054,9	2222,7	739,0	10024,2	51,7	21,7	19,3	138,8	34,6	103,8	17,7	23,9
Mínimo	1740,0	4696,0	662,0	485,0	2160,0	17,0	0,0	0,0	26,0	21,0	14,0	0,0	8,0
Máximo	35101,0	44416,0	7682,0	1187,0	37660,0	168,0	99,0	69,0	549,0	65,0	248,0	53,0	62,0
Desvio-padrão	10344,1	12494,9	2158,0	207,0	10905,6	46,4	30,8	24,8	160,6	14,1	83,9	20,2	17,0
C.V. (%)	122,2	88,9	97,1	28,0	108,8	89,8	142,0	128,3	115,7	40,9	80,9	114,4	71,3
<i>Deschampsia</i>													
Média	4969,4	4875,2	2729,0	2204,4	6490,2	41,8	17,8	13,8	254,0	43,4	49,0	7,6	38,4
Mínimo	414,0	440,0	194,0	2,0	600,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Máximo	15059,0	8363,0	4200,0	4249,0	21904,0	98,0	56,0	56,0	503,0	72,0	103,0	30,0	75,0
Desvio-padrão	5860,2	3184,3	1609,2	1719,0	8761,5	33,5	23,2	24,1	209,9	28,9	46,0	12,8	31,6
C.V. (%)	117,9	65,3	59,0	78,0	135,0	80,2	130,5	174,8	82,7	66,6	93,8	167,9	82,3

¹ A partir de dados compilados de SCHAEFER *et al* (2004b).

Tabela 18 – Valores-limite de metais pesados em musgos e líquens (mg kg⁻¹ de massa seca) de diferentes regiões, incluindo a Antártica

Cobertura	Região	Al	Ca	Mg	P	Fe	B	Ba	Cu	Mn	Sr	Ti	V	Zn
Musgos	Antártica ¹	-	-	-	-	1420-8200	-	-	4,7-15	-	-	-	-	27-104
	Livingstone ²	-	-	-	-	1533-3486	-	-	7-23	-	-	-	-	18-48,1
	Polônia ³	-	-	-	-	800	3,4	-	9,20	176	-	-	-	69
	Referência ⁴	-	-	-	-	500	-	-	13,5	-	-	-	1,4	30
Líquens	Livingstone ⁵	-	-	-	-	510-3642	-	-	0,54-1,65	-	-	-	-	0,8-4,9
	<i>Usnea</i> spp ⁶	440-944	1900-8700	640-1600	190-1285	400	13-24	10-44	1,3-16	40-330	12-30	5-10	100	-
	Referência ⁷	<400	200-1000	100-1000	200-2000	50-1600	<17	-	1-50	10-130	-	5-10	100	20-500
	Fildes ⁸	-	-	-	-	696	-	-	7,9	9,5	-	-	-	20,7

1- BARGAGLI *et al*, 1998.; 2- YURUKOVA e GANEVA, 1999; 3- KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 1984; 4- LEBLANC, 1969; 5- CHIPEV e KOVACHEV, 1996; 6 – GOUGH *et al*, 1988 ; 7- NIEBOER e RICHARDSON, 1980; 8- ZHAO e XU (2000).

Os elementos Pb, Ni, Mo, Cd, As e Se não foram detectados na análise, o que também ocorreu nas amostras das águas de degelo, com exceção do níquel. Isso pode indicar que a circulação atmosférica destes elementos nesta área é desprezível e, conseqüentemente, que não existem fontes significativas deste poluente em Keller.

Os teores de P, Ba, Cu, Mn, Sr e Zn nas amostras de *Usnea* estão dentro dos limites de referência encontrados na literatura, enquanto Ca, Mg, B, Fe, Al e Ti estão com valores acima; os valores de Al e Ti estão nove e dez vezes, respectivamente, superiores aos de referência. Teor alto de Al também foi registrado na análise da água dos lagos que abastecem a estação de pesquisa brasileira. O único elemento que apresentou valor baixo foi o vanádio. Tal fato pode ser atribuído à natureza basalto-aluminosa do vulcanismo, e ao pH baixo presente em muitos solos.

Já em relação às briófitas, todos os valores encontrados estão acima da referência, inclusive o de Vanádio. Apesar deste elemento estar muito associado à queima de combustível fóssil (NRIAGU e PACYNA, 1988); provavelmente, esse maior teor de vanádio está associado ao fato de estas plantas se encontrarem geralmente em ambientes hidromórficos - como estes são em geral salinizados e eutrofizados, ocorre maior absorção de elementos solúveis em condições redutoras, como Fe, Mn e V, normalmente elevados em rochas vulcânicas

(ALBUQUERQUE FILHO *et al.*, 2004).

Embora essas comparações sejam limitadas devido às diferenças entre os ambientes, entre as espécies de líquens e briófitas estudadas e a metodologia de análise utilizada, elas são importantes para estabelecer um referencial que aponte se essas plantas estão incorporando elementos, incluindo os metais pesados, do ambiente onde elas vivem.

Os resultados, mesmo sendo preliminares, demonstram que metais pesados podem ser acumulados por essas espécies, indicando que durante seu crescimento elas têm sido expostas a poluentes na área avaliada. Essa conclusão é sustentada considerando que é de conhecimento amplo que os líquens não possuem raízes e que, conseqüentemente, sua nutrição mineral depende da deposição atmosférica (FOCARDI *et al.*, 1991). Esta poluição, segundo POBLET *et al.* (1997), pode estar relacionada com as atividades desenvolvidas por diferentes estações de pesquisa localizadas na Ilha Rei George, que poderia presumivelmente ser a fonte destes elementos, em razão da queima de combustíveis fósseis, lixo e intemperismo das estruturas metálicas das estações.

Um ponto importante a ser destacado é que os resultados também mostram que tanto a *Usnea* como as briófitas são úteis para identificar padrões de deposição de metais pesados, confirmando a possibilidade de estudar a variação da distribuição espacial destes elementos não somente em escala local, como em escala regional.

Estudos complementares estão sendo realizados pela equipe do Projeto Criossolos para determinar a contribuição do substrato no teor de metais pesados nas plantas da Península Keller. Todavia, líquens e musgos podem ser usados como biomonitores da poluição ao redor de estações de pesquisa. Contudo, o estudo da deposição de elementos-traço no ar na Antártica apresenta outros desafios. A bioacumulação na vegetação antártica pode permitir um estudo maior, em escala global, que envolva a circulação atmosférica e a deposição de metais pesados nos ambientes polares.

A distribuição espacial dos teores dos principais elementos analisados foi obtida submetendo os valores dos metais presente nas briófitas a uma interpolação geoestatística, a *krigagem* (Figura 40). Trata-se de um processo de estimativa por médias móveis, de valores de variáveis distribuídas no espaço a partir de valores adjacentes, enquanto considerados como interdependentes por uma função

denominada *variograma*. A *krigagem* usa informações a partir do *variograma* para encontrar os valores ótimos a serem associados às amostras com valores conhecidos que irão estimar pontos desconhecidos. Essa técnica de análise de regressão procura minimizar a variância estimada a partir de um modelo prévio, que leva em conta a dependência estocástica entre os dados distribuídos no espaço. Foi escolhida a briófitas pelo fato de possuir maior número de amostras e estar melhor distribuída na península.

Percebe-se um comportamento muito semelhante na distribuição do B, Fe, V e Zn. De modo geral, ocorre maior concentração de metais na faixa sul de Keller, principalmente sobre área com material sulfetado. O único elemento presente em maior quantidade próximo da estação Comandante Ferraz foi o zinco. Provavelmente, sua origem é local, visto existir maior concentração natural em local próximo. A presença de substrato com influência de sulfetos, por aumentar a solubilidade dos metais, pode ser responsável pelos teores elevados nas briófitas, ocasionando o aumento da presença de metais pesados nessa cobertura. A contribuição de uma possível deposição atmosférica de metais pesados não pode ser espacializada, devido à pouca quantidade de amostras de líquens coletadas (nove no total).

4.8.3. Solos e monitoramento ambiental

Apenas 8,8% da Ilha Rei George são áreas livres de gelo, e nestes ambientes se concentram várias espécies de animais e vegetais como também ocorrem os maiores impactos antrópicos ao ecossistema local (HARRIS, 1991).

O conceito de ecossistema incorpora um número de princípios ecológicos os quais são relevantes para uma avaliação de impacto ambiental. Estes princípios são a base pela qual se identificam áreas potencialmente vulneráveis a impacto devido a atividades humanas na Antártica. Tais áreas são chamadas de “pontos de pressão” e têm sido identificadas em termos de impactos causados por atividades científicas e logísticas (PARKER e ANGINO, 1990). Pelo histórico de ocupação do solo, os pontos de pressão de Keller sempre se concentraram na área próxima da Ponta British, primeiro pela presença dos ingleses e argentinos, que em 1947 construíram pequenas bases e, posteriormente pelos brasileiros, que desde 1984 ocupam o mesmo local com uma estação que atualmente possui uma área

construída de 2.250 m².

Considerando este contexto, o monitoramento das características e propriedades naturais dos solos devem se concentrar principalmente nesse ponto. Como a avaliação está sendo realizada posteriormente à instalação da EACF, as áreas mais distantes da estação serviram de testemunhas, na busca de valores de referência para determinar uma base comparativa. Porém é preciso levar em conta que as presenças de outras variáveis poderão mascarar o resultado, como por exemplo, geoforma e litologia distintas que originaram substratos com características diferentes.

Os solos do entorno da EACF estão sujeitos a processos de compactação devido ao trânsito intenso de pessoas e máquina, o que pode prejudicar a capacidade de infiltração, alterando o regime hídrico dos substratos. Além de sofrerem com distúrbios físicos e mecânicos, os solos expõem os organismos aos poluentes, quando presentes, pois eles são os últimos repositórios destas substâncias quando liberadas no ambiente e podem acumulá-los por longos períodos. A determinação da concentração e distribuição de contaminantes associados aos solos é importante para compreender mudanças ocorridas em comunidades biológicas. Foi verificada uma rala cobertura de líquens na área de entorno da estação, que pode ser consequência da maior sensibilidade deste organismo à poluição atmosférica e distúrbios mecânicos.

Outros parâmetros de interesse para o monitoramento incluem características básicas do solo como textura e teor de carbono e determinações quantitativas da distribuição de hidrocarbonetos e metais pesados.

Conhecer a granulometria do solo é importante, pois vários estudos têm mostrado uma correlação entre concentração de poluentes e tamanho das partículas do solo (ZAH e UEHLINGER, 2001; PEGORINI *et al*, 2001; NASCIMENTO *et al*, 1999; CUNHA, 1996; AROSTEIN e ALEXANDER, 1993). Como a maioria dos solos de Keller analisados por ALBUQUERQUE FILHO *et al* (2004) apresentam textura franco-argilosa, eles apresentam boa capacidade de reter poluentes.

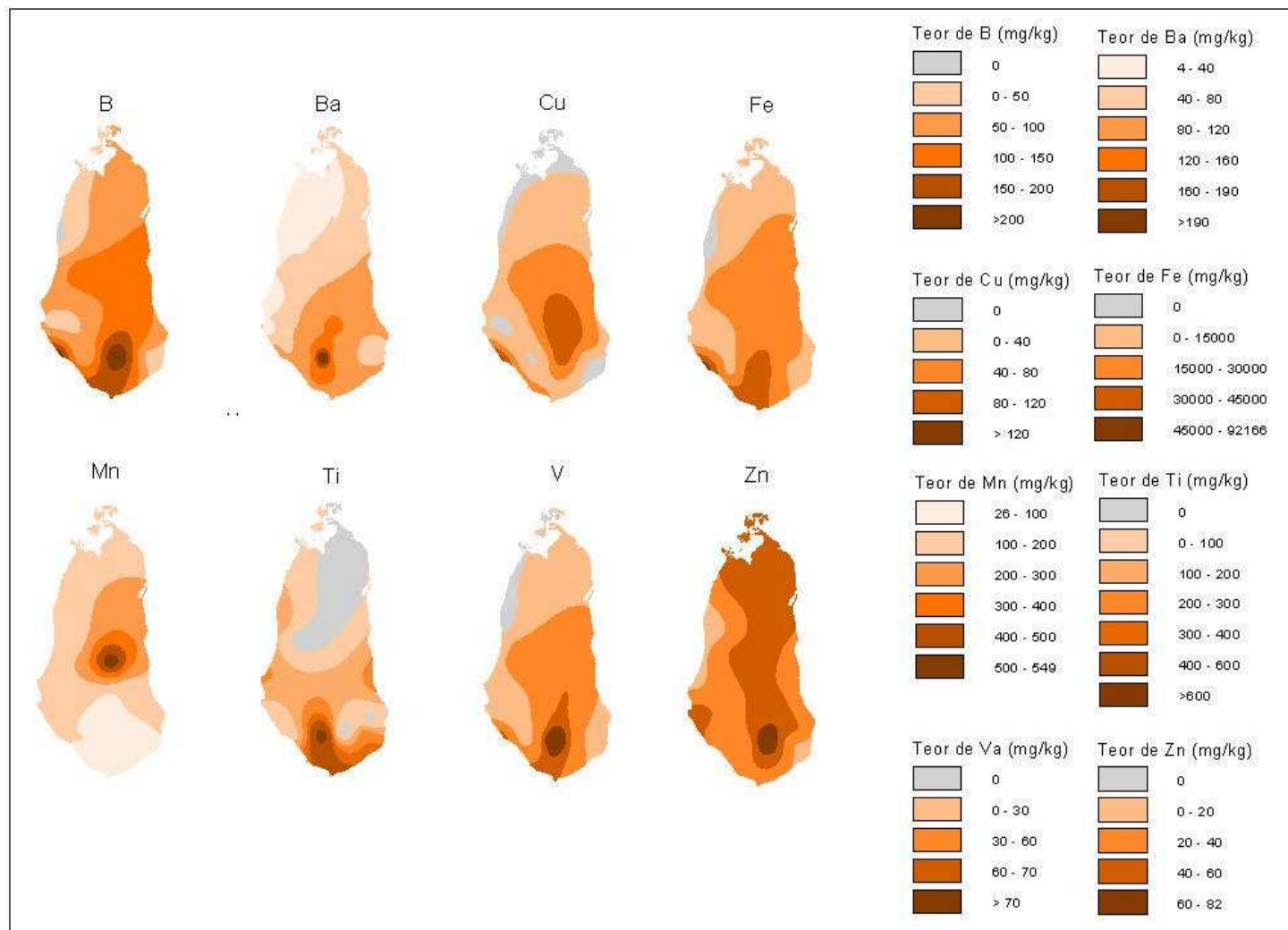


Figura 40 – Distribuição espacial dos teores de alguns dos metais estudados na Península Keller.

A partir das análises realizadas por SCHAEFER *et al* (2004b) em amostras de solos da Península Keller, considerando apenas os teores de elementos presentes no horizonte mais superficial de cada perfil, foi aplicado uma interpolação dos resultados semelhante à realizada no item 4.8.2 com as briófitas, considerando apenas os metais Fe, Mn, Ni, V, Zn e Cu (Figura 41). Em relação ao Fe, ocorreu uma maior concentração deste elemento no sul de Keller, principalmente próximo da Ponta Speil, em áreas de descarga de sedimentos sulfetados. O Mn, como ocorrido com as briófitas, também apresentou maior concentração na área em frente à geleira de circo Ferguson. O níquel apresentou valores entre 60-120 mg/kg em quase toda a península, enquanto que os teores de Zn foram relativamente baixos (0-30 mg/kg). Vanádio e cobre apresentaram comportamento semelhante e maiores concentrações, principalmente de Cu, na área do campo de protalus Ferguson-Tyrrel.

Este tipo de interpretação é limitado por considerar apenas a variável distância entre os pontos amostrais, mas fornece uma idéia do comportamento geral destes elementos nos substratos de Keller. É necessário uma melhor espacialização da amostragem e incluir outras variáveis da paisagem na análise.

Apesar das condições climáticas extremas, o sistema é capaz 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*, 2004). SIMAS *et al* (2004) verificaram ainda que a cobertura vegetal existente em Keller consegue realizar seqüestro de carbono, porém os teores de COT nos solos são, de maneira geral, muito baixos, exceto nos locais com ornitogênese mais pronunciada, onde os teores de C são de até 3,2 dg kg⁻¹. A partir do mapa geomorfológico, estes autores confeccionaram o mapa de estoque do carbono orgânico total (COT) da Península Keller. Outro ponto importante de se avaliar é a presença de hidrocarbonetos no solo, visto a verificação de grande quantidade de óleo diesel no solo de entorno dos tanques de armazenamento.

Para quantificar este derramamento foi realizada uma amostragem detalhada, em forma de grade, dos solos no entorno da EACF, com maior detalhamento em torno dos tanques por ser ponto de maior pressão (Figura 42). As amostras ainda estão sendo analisadas.

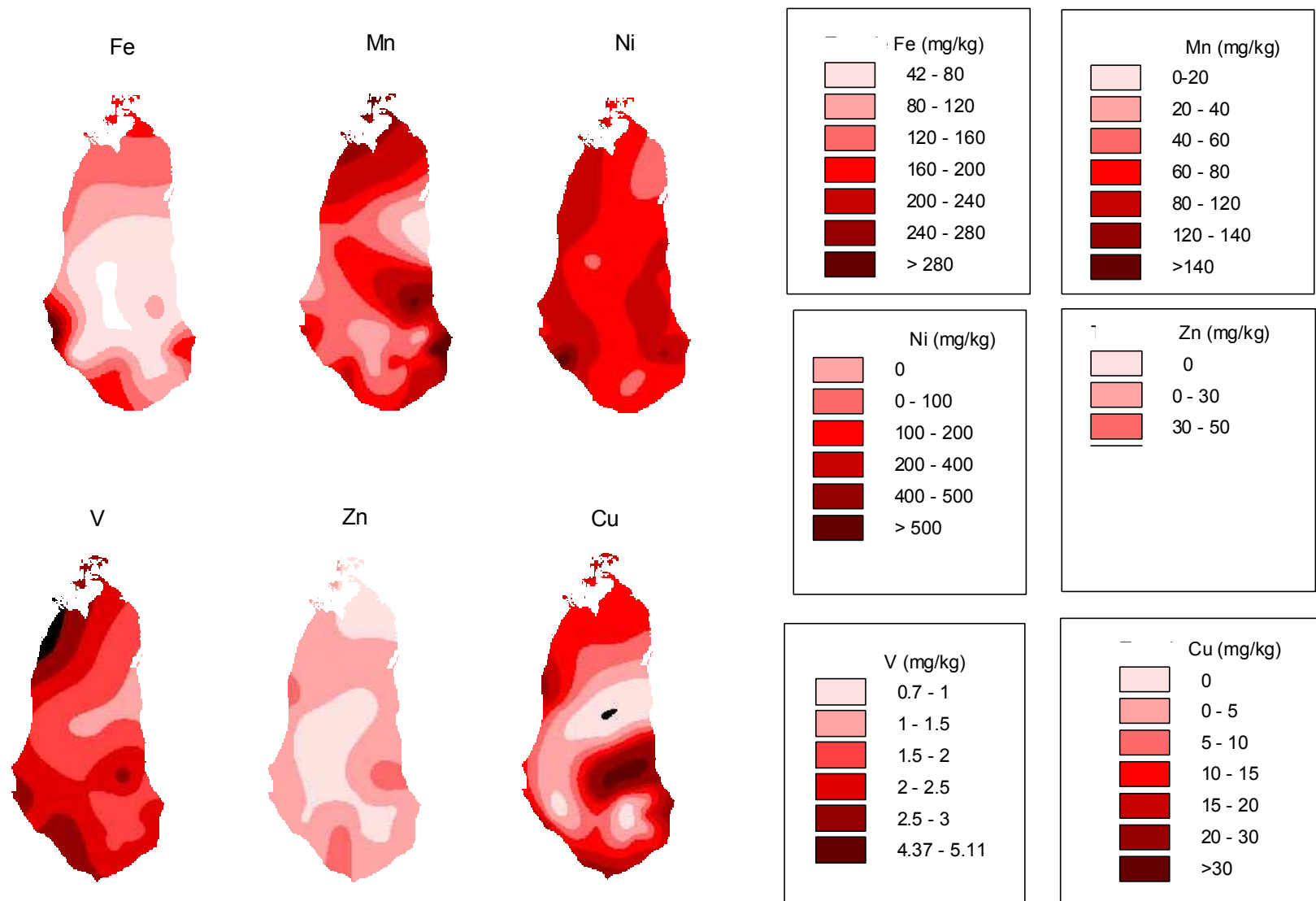


Figura 41 – Distribuição espacial de metais em solos da Península Keller.

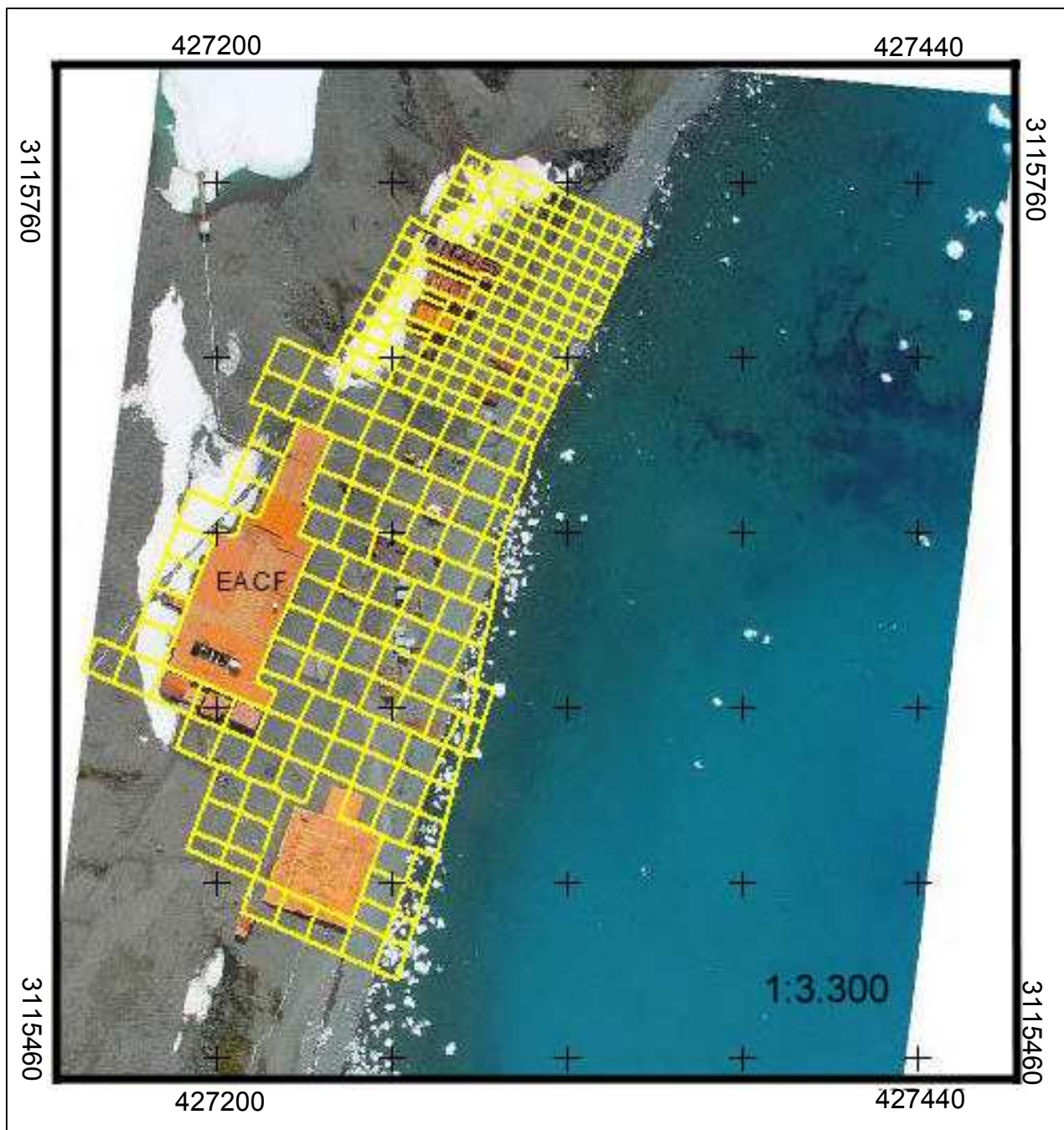


Figura 42 – Grade de amostragem de solos no entorno da EACF. A grade encontra-se deslocada para dentro do mar devido a coleta da parte sul ter sido realizada durante maré baixa.

4.8.4. Água de degelo

A água do degelo pode transportar poluentes da superfície do solo para ambientes adjacentes, aquáticos ou não, é importante para estabelecer os impactos relacionados com a presença humana (Figuras 43 e 44). Os parâmetros de interesse

poderão incluir, além dos já analisados neste trabalho (item 4.3.1), os sólidos em suspensão total, oxigênio dissolvido (para os lagos), nitrato (NO_3), pH, condutividade, temperatura, bactérias e biomassa de fitoplâncton (para a água dos lagos). Pode ainda incluir a demanda biológica de oxigênio.

A determinação do material em suspensão, que pode ser produzido devido a fatores naturais bem como pode ser consequência de atividades antrópicas, como a remoção do horizonte superficial do solo por máquinas, reduz a transparência da água pode inibir o crescimento de organismos biológicos que dependem da luz solar como fonte de energia, como os fitoplânctons. Porém, a análise deve estar concentrada na área de entorno da estação e a amostragem devem ser mais sistemática, incluindo amostras dos lagos que abastecem a estação.



Figura 43 – Mancha de óleo diesel (à esquerda) e de esgoto da EACF (à direita).



Figura 44 – Detalhe da água de degelo contaminada com hidrocarboneto próximo da EACF.

Conclusões

Apesar da natureza exploratória, o trabalho permitiu avanços em relação ao entendimento da estrutura do ecossistema terrestre presente nas áreas livres de gelo da Baía do Almirantado.

As fotografias aéreas obtidas da Península Keller, apresentaram alta resolução espacial suficiente para identificar facilmente diversas unidades ambientais, permitindo a confecção de mapas temáticos na escala de 1:5.000. Realizando novas tomadas em épocas diferentes, será possível acompanhar as alterações temporais na paisagem de Keller, constituindo-se, assim, em importante ferramenta para o monitoramento ambiental da AAEG.

Todas as vantagens na manipulação dos planos de informações gerados neste trabalho, são potencializadas quando utilizados dentro do contexto de um Sistema de Informação Geográfica, principalmente considerando as possibilidades de cruzamentos com outros dados gerados pelos grupos de pesquisas que compõem a Rede 2.

A Península Keller possui feições peculiares que a diferencia das demais áreas livres de gelo da Baía do Almirantado. Os circos glaciais (corries) de pequena dimensão são as unidades geomorfológica mais marcante da paisagem de Keller, enquanto que a rampa de deposição (scree slope) é a mais comum, ocupando cerca de 25% da área da península. A paisagem de Keller apresenta registros dos períodos de glaciação mais intensa

que ocorreram na região. Atualmente, verifica-se o predomínio de erosão periglacial, onde a solifluxão é o principal processo de transporte de sedimentos.

Existe uma estreita relação entre a cobertura vegetal e a geoforma. Quanto mais estável a unidade geomorfológica, maior a possibilidade de atividade ornitogênica, o que ocasionará o aporte inicial de nutrientes, favorecendo, assim, o desenvolvimento de algum tipo de cobertura vegetal e, conseqüentemente, de solos. Outra característica importante é o regime hídrico do substrato; locais mais drenados, como *felsenmeer*, favorecem o surgimento da *Usnea*, enquanto que áreas mais úmidas, como os terraços marinhos soerguidos, prevalecem briófitas. Esta associação entre geoforma e cobertura vegetal permitiu a formação dos Leptossolos Ornitogênico gélido, que estão presentes principalmente nos topos planos dos afloramentos de rochas. Criossolos e Leptossolos são os solos predominantes na Península, embora se tenha constatado que o sistema da FAO, utilizado neste trabalho, é limitante para a classificação destes tipos de solos, tanto pela obrigatoriedade da presença do *permafrost*, visto a descontinuidade deste caráter na Península Keller, como por não considerar, mesmo em segundo nível categórico, a contribuição ornitogênica. Keller não possui áreas de pingüineiras, apenas locais de muda e repouso. Ninhais de Skua parda (*Catharacta lonnbergii*) e Gaivotões são os principais responsáveis pela atividade ornitogênica.

Quase 8% de Keller está coberta por sedimentos que apresentam algum grau de xantização (cor amarela), o que é ocasionado pela presença de materiais sulfetados, que podem ser responsáveis pelo teor elevado de metais pesados nos tecidos vegetais analisados.

As coberturas vegetais, juntamente com a água de degelo e os solos, podem ser utilizadas como indicadores de mudanças ambientais de natureza antrópica. Em relação à cobertura vegetal, a *Usnea* apresenta-se com destaque devido sua sensibilidade a deposições atmosféricas. Os estudos da água de degelo e dos solos devem concentrar-se na área de entorno da EACF.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHLERT, S.; ARIGONY NETO, A.; BREMER, U.F.; DANI, N.; DEBIASI, P.; NIEVINSKI, F.G. & FRANCELINO, M.R. Sistema de Informação Geográfica para a AAEG Baía do Almirantado: uma ferramenta para o monitoramento de impacto ambiental. In: SCHAEFER, C.E.G.R., FRANCELINO, M.R., SIMAS, F.N.B.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R. & sistemas Terrestres e Solos da Antártica Marítima. 2004. 192p.
- ALBUQUERQUE FILHO, M.R.; SCHAEFER, C.E.G.R.; SIMAS, F.N.B.; COSTA, L.M.; DIAS, J.R.; PEREIRA, V.V. & COELHO, L.M. Características físicas e químicas de solos sobre rochas vulcânicas na Península Keller, Antártica Marítima. In: SCHAEFER, C.E.G.R., FRANCELINO, M.R., SIMAS, F.N.B.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R. Ecosistemas Terrestres e Solos da Antártica Marítima. 2004. 192p.
- ANDRADE, J.B. de; Fotogrametria. Curitiba, 1998. 258p.
- ANDRÉ, M.F. Do periglacial landscape evolve under periglacial condition? *Geomorphology*. V.52, p.149-164, 2003
- 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, 1972a.
- 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, 1972b.

- 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, 1972c.
- 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.
- 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. 2001. 84p.
- AROSTEIN, B.N. & ALEXANDER, M. Effect of non-ionic surfactant added to the soil surface on the biodegradation of aromatic hidrocarbons within the soil. Applied Microbiology & Biotechnology, vol. 39, p. 386-390. 1993.
- ATCPs. Protocol on Environmental Protection on the Antarctic Treaty, with Annexes. Polar Record, 2:256-275; SCAR Bulletin 110, julho, 1993.
- 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.
- BARGAGLI, R.; SANCHEZ-HERNANDEZ, J.C. & MARTELLA, L. Mercury, Cadmium and lead accumulation in antarctic mosses growing along nutrient and moisture gradients. Polar Biology, v.19, p.316-322. 1998.
- BARGAGLI, R.; SANCHEZ-HERNANDEZ, J.C. & MONACI, F. Baseline concentrations of elements in the antarctic macrolichen: *Umbilicaria decussata*. Chemosphere, 38(3):p.475-487, 1999.
- BARTON, C. M. The geology of South Shetland Islands. III. The stratigraphy of King George Island. British Antarctic Survey Report. V. 44, p. 1-33. 1965.
- BEYER, L. Properties, formation, and geo-ecological significance of organic soils in the coastal region of East Antarctica Wilkes Land. Catena v.39. p.79-93p, 2000.
- BEYER, L. & BÖLTER, M. Chemical and biological properties, formation, occurrence and classification of Spodic Cryosols in a terrestrial ecosystem of East Antarctica (Wilkes Land). Catena, 39(2), 95-119. 2000.
- BEYER, L.; PINGPANK, K.; WRIEDT, G. & BÖLTER, M. Soil formation in costal continental Antarctica (Wilkes Land). Geoderma: v.95. p.283-304, 2000.
- BILLINGS, W.D. & MOONEY, H.A. The ecology of Artic and alpine plants. Biological Reviews v. 43, p.481-529. 1968

- BIRKENMAJER, K. Report on geological investigations of King George Island, South Shetland Islands in 1980-1981. *Studia Geologica Polonica*, v. 74, p.175-197, 1980.
- BIRKENMAJER, K. Late Cenozoic phases of block-faulting on King George Island (South Shetlands Islands, Antarctic). *Bulletin de L'Academie Polonaise des Sciences* 30 (1/2): p. 21-32, 1983.
- BIRKENMAJER, K. Late Cenozoic phases of block-faulting on King George Island (South Shetland Islands, West Antarctica). *Bulletin Polish Academy of Sciences, Terre* v.30, p.21-32, 1982.
- BIRKENMAJER, K. Cenozoic glacial history of the South Shetlands Islands and northern Antarctic Peninsula. In: López-Martínez, J. *Geología de la Antártida Occidental. III Congreso Latinoamericano de Geología*, Salamanca, España. p. 251-260, 1992.
- BIRKENMAJER, K. Glacier retreat and raised marine beaches at Three Sisters Point, King George Island (South Shetland Islands, west Antarctica). *Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Earth Sciences* 43 (2), p.135-141, 1995.
- BIRKENMAJER, K. Tertiary Glacial/Interglacial Palaeoenvironments and Sea-Level Changes, King George Island, West Antarctica. An Overview. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Earth Sciences* 44 (3): p.157-181. 1996.
- BIRKENMAJER, K. Quaternary geology at Arctowski Station, King George Island, South Shetland Islands (West Antarctica). *Studia Geologica Polonica*, v.110, p.91-104, 1997a.
- BIRKENMAJER, K. Geology of the northern coast of King George Island, South Shetland Islands (West Antarctica). *Studia Geologica Polonica*, v.110, p.7-26, 1997b.
- BIRKENMAJER, K. Present and past glaciation: a geological perspective. In WETTLAUFER J. S., DASH, J. G. & UNTERSTEINER, N. (eds.): *Ice Physics and Natural Environment*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. NATO ASI Series, 1(56):109-119, 1999.
- BIRKENMAJER, K. Mesozoic and Cenozoic Stratigraphic units in parts of the South Shetlands Islands and northern Antarctic Peninsula. *Studia Geologica Polonica* 118, 2001.188p.
- 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.
- BOELHOUWERS, J.; HOLNESS, S. & SUMNER, P. The maritime Subantarctic: a distinct periglacial environment. *Geomorphology*, v.52. p.39-55, 2003.

- BÖLTER, M. Environmental conditions and microbiological properties of soils and lichens from Antarctica (Casey Station, Wilkes Land), *Polar Biol.* v.11, p.591-599 (1992).
- 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.
- BONNER, W. Introduced mammals. In: *Antarctic ecology*, editado por LAWNS, R.M.. London: Academic Press, 1984. 371p.
- BOUSTRON, C.F. & PATTERSON, C.C. Relative levels of natural and anthropogenic lead in recent Antarctic snow, *Journal Geophysics Research* v.92, p.8.545-8.464, 1987.
- 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.
- BOYD, H.; SMITH, G. E. J. e COOCH, F. G. The lesser snow geese of the eastern Canadian Arctic: their status during 1964-1979 and their management from 1982-1990. *Canadian Wildlife Service Occasional Paper Number 46*, Ottawa, Ontario. 1982.
- BRAUN, M. Ablation on the ice cap of King George Island (Antarctica). Doctoral Thesis. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. Freiburg: 2001. 165p.
- 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, *Geoecology 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 firn 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.; 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.
- BROADY, P.A. The Signy Island terrestrial reference sites: IX. The ecology of the algae of site 2, a moss carpet. *British Antarctic Survey Bulletin* 47: 13-29. 1979.

- CALVET, J.; CORBERA, J. & FURDADA, G. Variación del frente glaciar 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, 1987. 368p.
- CAMPBELL, I.B. & CLARIDGE, G.G.C. Landscape evolution in Antarctica. Earth-Science Reviews, 25, p. 345-353, 1988.
- CARVER, A.J. Fotografia aérea para planejadores de uso da terra. Tradução Ruth Ferraz do Amaral. Brasília: MA/SNAP/SRN/CCSA, 1988. 77p.
- CEPIS, Council of European Professional Informatics Societies. Contém informações institucionais, técnicas, notícias, projetos, publicações e serviços. Disponível em: <<http://www.cepis.org/>>. Acesso em: 21 set. 2003.
- CHIPEV, N. Lichens as biomonitors with special reference to the Antarctic. Bulgaria: Central Laboratory of General Ecology. p.1-5. 2000
- CHIPEV, N. & KOVACHEV, A. Preliminary data on heavy metal contents in lichens from the Livingston Island (the Antarctic). In: Bulgarian Antarctic Research: Life Sciences, v.2, p.106-109. 1996.
- CLOWES, A. & COMFORT, P. Process and landform: conceptual frameworks in Geography. 2ª Ed. Oliver & Boyd. London. 1991.
- CLAPPERTON, C.M. & SUGDEN, D. Holocene glacier fluctuations in South America and Antarctica. Quaternary Science Reviews, v.7, p.185-198, 1988.
- COSTA, L.M.; FRANCELINO, M.R.; SCHAEFER, C.E.G.R.; DIAS, L.E.; BORGES Jr. & M. MENDONÇA, E.S. Química das águas de degelo na Ilha Rei George, Antártica. 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. 1992p.
- COX, D.E. Drumlins and diluvial currents. Creation Research Society Quarterly, v.16(3), p. 154-162. 1979.
- CROOME, R.L. Nitrogen fixation in the algal mats on Marion Island. South African Journal of Antarctic Research 3, 64-67. 1973.
- CROXALL, J.P. Seabirds. In: Antarctic ecology, editado por LAWNS, R.M.. London: Academic Press, 1984. 371p.

- CUNHA, C.D. Avaliação da Biodegradação de Gasolina em Solo. Tese M. Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, Brasil, 97p. 1996.
- CURL, J.E. A glacial history of the South Shetland Islands, Antarctica. Institute of Polar Studies Report, Columbus, Ohio 63, 1980. 129 p.
- DINGLE, R.V.; MCARTHUR, J.M. & VROON, P. Oligocene and Pliocene interglacial events in the Antarctic Peninsula dated using strontium isotope stratigraphy. *Journal of the Geological Society of London* 154, p. 257-264, 1997.
- DISPERATI, A.A. Obtenção e uso de fotografias de pequeno formato. Ed. Universidade Federal do Paraná - UFPR, Fundação de Pesquisas Florestais – FUPEF, Curitiba, PR, 1991. 87p.
- DISPERATI, A.A. Vantagens do uso de fotografias aéreas de pequeno formato para recuperação de áreas degradadas. In: Simpósio Nacional Sobre Recuperação De Áreas Degradadas, 1992, Curitiba. Anais... Curitiba: UFPR, p.145-155, 1992.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento: normas em uso pelo SNLCS. Rio de Janeiro: 1988, 67p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília; Rio de Janeiro: 1999. v.26, 412p.
- FAO – ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA E LA ALIMENTACIÓN; SICS – SOCIEDAD INTERNACIONALES DE LA CIENCIAS DEL SUELOS e ISRIC – CENTRO INTERNACIONAL DE REFERENCIA E INFORMACIÓN EN SUELOS. Base referencial mundial del recurso suelo. Roma: Informes sobre recursos mundiales de suelos nº 84. 1999. 98p.
- FERGUSON, D. Geological observation in the South Shetlands, Lamer Archipelago, and Gram. Land, Antarctica. *Trans. R. Soc. Edinburgh*, 53, part 1. p.29-55. 1921.
- FOCARDI, S.; GAGGI, C.; CHEMOLLO, G. & BACCI, E. Organochlorine residues in moss and lichen samples from two Antarctic areas. *Polar Rec.* v.27, p. 241-244. 1991.
- GARTY, J. Biomonitoring Atmospheric Heavy Metals with Lichens: Theory and Application. *Critical Reviews in Plant Sciences*, v.20, nº4, p.309–371. 2001
- GERG - GEOCHEMICAL AND ENVIRONMENTAL RESEARCH GROUP. Antarctic Environmental Monitoring Handbook. Austrália: Council of Managers

- of National Antarctic Programs (COMNAP) and Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR). 2000. 218p.
- GOUGH, L.P.; JACKSON, L.L. & SACKLIN, J.A. Determining baseline element composition of lichens. II. *Hypogymnia enteromorpha* and *Usnea* spp. at Redwood National Park, California. *Water, Air, and Soil Pollution*. v.38: p.169-180. 1988.
- GROENEWEG, W.J. & BEUNGK, F.F. The petrography and geochemistry of the King George Island Supergroup and the Admiralty Bay Group volcanics, South Shetland Islands. In J. López-Martinez (ed.). *Geología de la antártica Occidental*, Simposios T3, III Congreso Geológico de España y VIII Congreso Latinoamericano de Geología, Salamanca, España, p.43-60, 1992.
- 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
- HARRIS, C.M. Environmental management on King George Island, South Shetland Islands, Antarctica. *Polar Record*, v.27 n.16. p.1-24. 1991.
- 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.
- JOHN, B.S. & SUDGEN, D. Raised marine features and phases of glaciations in the South Shetland Islands. *British Antarctic Survey Bulletin*, v. 24, p.45-111, 1971.
- KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. CRC Press, Inc. Boca Raton. 1984. 315 p.
- KLÖSER, H. & ARNTZ, W.E.R. Research on Antarctic Shallow Coastal and Littoral Systems. *Polarforschung*, v. 64, n°1, p.27-41, 1994.
- KNAP, W.H.; OERLEMANS, J. & CADÉE, M. Climate sensitivity of the ice cap of King George Island, South Shetland Island, Antarctica. *Annals of Glaciology*, v.23, p.154-154p, 1996
- LAPAG – LABORATÓRIO DE PESQUISAS ANTÁRTICAS E GLACIOLÓGICAS. CD-Room. Projeto Integração de dados ambientais da área AAEG da Baía do Almirantado. Porto Alegre: UFRGS, 2003.
- LEBLANC, F. Epiphytes and air pollution. In: *Proceedings of the First European Congress on the influence of air pollution on plants and animals*. Wageningen, Netherlands: Center for Agriculture Publishing and Documentation: p.211-221. 1969.

- LEWIS-SMITH, R.I. Terrestrial plant biology. In: Antarctic ecology, editado por LAWNS, R.M. London: Academic Press, 1984. 371p.
- 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.
- LOCH, C. & LAPOLLI, E.M. Elementos básicos da fotogrametria e sua utilização prática. 3.ed. Florianópolis: UFSC, 1994. 194p.
- 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), p.11-19, 1990.
- MATSUOKA, N. Solifluction rates, processes and landforms: a global review. Earth-Science Reviews, v. 55, p.107-134. 2001.
- 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.
- MITISHITA, E.A. Monorestituição digital de aerofotos, associada com sistema de computação gráfica CAD, para fins de mapeamento na área florestal. Curitiba: UFPR, 1997. 252p. (Tese de Doutorado)
- NASCIMENTO, C.T.C.; KOIDE, S. PIRES, A.C.B. & MELLO, G.A. Pseudo-seções elétricas na avaliação da contaminação do subsolo. Revista Brasileira de Geociências v. 29(4), p.621-626, 1999.
- NELSON, F.E.N. & JACKSON JR., L.E. Cirque forms and alpine glaciation during the Pleistocene, west-central Yukon. Geological Fieldwork, p. 183-198. 2002.
- NIEBOER, E. & RICHARDSON, D.H.S. The replacement of the nondescript term 'heavy metals' by a biologically and chemically significant classification of metal ions. Environmental Pollution, Series B. v.1: p.3-26. 1980.
- NRIAGU, J.O. & PACYNA, J.M.. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. Nature, v.333, p.134-139. 1988.
- OCHYRA, R. A Record of *Schistidium falcatum* (Bryophyta; Musci) from the Antarctic. British Antarctic Survey, Bulletin 64, p. 77-79, 1984.
- OLECH, M. Preliminary observations on the content of heavy metals in thalli of *Usnea Antarctica* Du Rietz (Lichens in the vicinity of the H. Arctowski Polish Antarctic Station) Pol. Polar Rese. 12(1), p. 129-131, 1991.

- OLECH, M. Lower plants. In: RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. The Maritime Antarctic Coastal ecosystem of Admiralty Bay. Warsaw: Polish Academy of Sciences. p.181-189., 1993.
- OLECH, M.; KWIAŁTEC, W.M. & DUTKIEWICZ, E.M.. Lead pollution in the Antarctic region. *X-Ray Spectr.* v.27:p.232–235. 1998.
- ORHEIN, O. & GOVORUKHA, L.S. Present-day glaciations in the Shetland Islands. *Journal of Glaciology* 3. p.233-238, 1982.
- ØVSTEDAL, D.O. & SMITH, R.I.L. Lichen flora of Antarctica and South Georgia. A guide to their identification and ecology. United Kingdom: Cambridge University Press. 2001. 411pp.
- 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. Terrestrial adaptations in polar regions. In: *Polar Research: To the Present and Future*. AAAS Selected Symp. Ser. Vol.7, p.203-229, 1978.
- 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.
- 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.
- PEÑUELAS, J. & FILELLA, I. Metal pollution in Spanish terrestrial ecosystems during the twentieth century. *Chemosphere* v. 46, p.501–505. 2002.
- 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.
- PEREIRA, V.V.; GUERRA, M.B.B. & GOMES, M.R.M.. Indicadores biogeoquímicos de metais pesados e elementos maiores em solos e coberturas vegetais na Península Keller, Antártica. In: SCHAEFER, C.E.G.R., FRANCELINO, M.R., SIMAS, F.N.B.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R. *Ecosistemas Terrestres e Solos da Antártica Marítima*. 2004. 192p.
- 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.

- POBLET, A.; ANDRADE, S.; SCAGLIOLA, M.; VODOPIVEZ, C.; CURTOSI, A.O.; PUCCI, A. & MARCOVECCHIO, J. The use of epilithic Antarctic lichens (*Usnea aurantiacoatra* and *U. antarctica*) to determine deposition patterns of heavy metals in the Shetland Islands, Antarctica. *The Science of the Total Environment*. v.207, p187-194. 1997.
- 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.
- PRIDE, D.E.; COX, C.A; MOODY, S.V.; CONELEA, R.R. & ROSEN, M.A. Investigation of mineralization in the South Shetland Islands, Gerlache Strait, and Anvers Island, Northern Antarctic Peninsula. *Antarctic Research Series*, v.51. p.69-94, 1990
- PUTZKE, J. & PEREIRA, A.B. Macroscopic Fungi from the South Shetlands, Antarctica. *Ser. Científica INACH*. v.46: p.31-39. 1996.
- PUTZKE, J. & PEREIRA, A.B. Floristic Composition of Stinker Point, Elephant Island, Antarctica. *Korian Journal of Polar Research*. v.5 (2):37-47. 1994.
- 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. *The maritime Antarctic coastal Ecosystem of Admiralty Bay*. Department of Antarctic Biology, Polish Academy of Sciences, Warsaw, 1993. 216 p.
- RAUSCHERT, M. Ergebnisse der faunistischen Arbeiten im Benthos von King George Island (Süd Shetland Inseln, Antarktis). *Berichte zur Polarforschung* v. 76, 1991, 75 p.
- RICHE, G.R. & TONNEAU, J.P. Stratification du milieu l'exemple de Ouricuri. *Les Cahiers de la Recherche Développement*, n.24, p.57-76, 1989.
- 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, 1977. p.1-59.
- 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*. 2004. 192p.

- SANDERS, J.E. & MERGUERIAN, C.M. The glacial geology of New York City and Vicinity, in BENIMOFF, A. I., ed., The Geology of Staten Island, New York, Field Guide and Proceedings, The Geological Association of New Jersey, XI Annual Meeting, 1994. 296 p.
- 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. 2004a. 192p.
- SCHAEFER, C.E.G.R.; PEREIRA, A.B.; FRANCELINO, M.R.; FERNANDES FILHO, E.I.; SIMAS, F.N.B.; COSTA, L.M. & OLIVEIRA, A.C. Comunidades vegetais na Península Keller: ecologia e padrões de distribuição In: SCHAEFER, C.E.G.R., FRANCELINO, M.R., SIMAS. F.N.B.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R. Ecossistemas Terrestres e Solos da Antártica Marítima. 2004b. 192p.
- SCHAEFER, C.E.G.R.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R.; SIMAS, F.N.B.; COSTA, L.M.; PEREIRA, V.V.; GUERRA, M.B.B. e GOMES, M.R.M. Indicadores biogeoquímicos de metais pesados e elementos maiores em solos e coberturas vegetais na Península Keller, Antártica. In: SCHAEFER, C.E.G.R., FRANCELINO, M.R., SIMAS. F.N.B.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R. Ecossistemas Terrestres e Solos da Antártica Marítima. 2004b. 192p.
- SMITH, R.I.L. Terrestrial plant biology. In: LAWNS, R.M. (ed.) Antarctic ecology. London, Academic Press, 1984. 371p.
- SCHLOSS I.; FERREYRA G. & KLÖSER, H. Seasonal variation of the conditions for phytoplankton growth in Potter Cove. *Berichte zur Polarforschung*, n.299, p.59-66, 1998.
- SERRANO, E. & LOPEZ-MARTINEZ, J. Rock glaciers in the South Shetland Islands, Western Antarctica. *Geomorphology*, v.35. p.145–162. 2000.
- SETZER, A.W. & HUNGRIA, C.S. Meteorologia na Península Antártica – Alguns aspectos práticos. São José dos Campos: INPE, 1994. 101p.
- SETZER, A.W.; ROMÃO, M.O.; FRANCELINO, M.R.; SCHAEFER, C.E.R.G.; COSTA, L.M. & BREMER, U.F. Regime climático na Baía do Almirantado: relações com o ecossistema terrestre. In: SCHAEFER C.E.G.R., FRANCELINO, M.R., SIMAS. F.N.B. & ALBUQUERQUE FILHO, M.R. Ecossistemas Terrestres e Solos da Antártica Marítima. 2004. 192p.
- 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: SCHAEFER, C.E.G.R., FRANCELINO, M.R.; SIMAS, F.N.B. & ALBUQUERQUE FILHO, M.R. Ecosistemas Terrestres e Solos da Antártica Marítima. 2004b. 192p.
- 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.
- SOIL SURVEY STAFF. Keys to Soil Taxonomy. 8^a Edn. Washington: USDA-NCR. 1998.
- TOKARSKI, A.K. Reoprt on geological investigations on King George Islands, South Shetland Islands in 1986. Studia Geologica Polonica, v. 93: p.123-130, 1987.
- 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.
- VASCO, L.S.T. Subsídios para obtenção e atualização de base cartográfica a partir de fotografias aéreas de pequeno formato. Viçosa, MG:UFV, 1999. 88p. Dissertação (mestrado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- WARNER, W.S.; GRAHAM, R.W. & READ, R.E. Small format aerial photography. Scotland: Whittles, 199. 348p.
- WALKER, T.R.; REID, K.; ARNOULD, J.P.Y. & CROXALL, J.P. Marine debris surveys at Bird Island, South Georgia 1990-1995. Mar. Pollut. Bull., v.34, n.1: p.61-65, 1997.
- WHALLEY, W.B. & AZIZI, F. Rock glaciers and protalus landforms: Analogous forms and ice sources on Earth and Mars. Journal of Geophysical Research, v.108, n° E4, p.GDS1-17, 2003.
- WHITTAKER, R.H. Communities and ecosystems, Nova York: McMillan. 1975. 387p.
- 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.
- YURUKOVA, L. & GANEVA, A.. Bioaccumulative and floristic characteristics of mosses near St. Kliment Ohridski Antarctic Base of Bulgaria. Journal of Balkan Ecology, v.2 (4), p.65-71. 1999.

ZAH, R. & UEHLINGER, U. Particulate organic matter inputs to a glacial stream ecosystem in the Swiss Alps. *Freshwater Biology* v.46, p.1597-1608. 2001.

ZARYCKY, K. Vascular plants and terrestrial biotope. In: RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. *The Maritime Antarctic Coastal ecosystem of Admiralty Bay*. Warsaw: Polish Academy of Sciences. p.181-189., 1993.

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.