

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

ISABEL PAULA SOUZA

**RELAÇÃO SOLO-VEGETAÇÃO EM *FELSENMEERS*
DE HARMONY POINT – ILHA NELSON, ANTÁRTICA MARÍTIMA.**

UBERLÂNDIA

2020

ISABEL PAULA SOUZA

**RELAÇÃO SOLO-VEGETAÇÃO EM *FELSENMEERS*
DE HARMONY POINT – ILHA NELSON, ANTÁRTICA MARÍTIMA.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial à qualificação para obtenção do título de mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Guilherme Resende Corrêa.

UBERLÂNDIA
2020

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

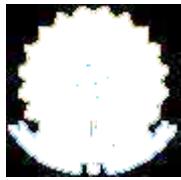
S729 Souza, Isabel Paula, 1989-
2020 Relação Solo-Vegetação em Felsenmeers de Harmony Point - Ilha Nelson, Antártica Marítima. [recurso eletrônico] / Isabel Paula Souza. - 2020.

Orientador: Guilherme Resende Corrêa.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Pós-graduação em Geografia.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2020.273>
Inclui bibliografia.

1. Geografia. I. Corrêa, Guilherme Resende, 1981-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Geografia. III. Título.

CDU: 910.1

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geografia

Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1H, Sala 1H35 - Bairro Santa Monica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
Telefone: (34) 3239-4381/3291-6304 - www.pgeo.ig.ufu.br - posgeo@ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	PPGGeo			
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, Número 486, do PPGGeo			
Data:	19 de fevereiro de 2020	Hora de início:	14h:00m	Hora de encerramento:
Matrícula do Discente:	11812GEO009			
Nome do Discente:	Isabel Paula Souza			
Título do Trabalho:	RELAÇÃO SOLO-VEGETAÇÃO EM FELSENMEERS DE HARMONY POINT - ILHA NELSON - ANTÁRTICA MARÍTIMA			
Área de concentração:	GEOGRAFIA E GESTÃO DO TERRITÓRIO			
Linha de pesquisa:	ANÁLISE, PLANEJAMENTO E GESTÃO AMBIENTAL/GEOPROCESSAMENTO			
Projeto de Pesquisa de vinculação:				

Reuniu-se no Anfiteatro/Sala [\[Bloco 1 H - Sala 14\]](#), Campus Santa Mônica, da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em **GEOGRAFIA**, assim composta: Professores Doutores: **DANIELA SCHMITZ - UFV-MG; DANIEL MEIRA ARRUDA - UFMG-MG e GUILHERME RESENDE CORRÊA - IG-UFU** orientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr(a). **GUILHERME RESENDE CORRÊA**, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(as) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

[Aprovado\(a\).](#)

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de **Mestre**.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Guilherme Resende Correa, Professor(a) do Magistério Superior**, em 20/02/2020, às 17:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Daniel Meira Arruda, Usuário Externo**, em 21/02/2020, às 10:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Daniela Schmitz, Usuário Externo**, em 21/02/2020, às 15:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site
https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1878127** e o código CRC **118CAAFE**.

ISABEL PAULA SOUZA

**RELAÇÃO SOLO-VEGETAÇÃO EM *FELSENMEERS*
DE HORMONY POINT – ILHA NELSON, ANTÁRTICA MARÍTIMA.**

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre, Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, pela seguinte banca examinadora:

Prof. Dr. Guilherme Resende Corrêa (Orientador)

Dra. Daniela Schmitz

Dr. Daniel Meira Arruda

Uberlândia, 19 de fevereiro de 2020.

“Sempre restará muito o que fazer”
Marinha do Brasil

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Alberto e Doralice, por todo o apoio ao longo da vida acadêmica, por tanto se preocuparem e torcerem para a realização dos meus sonhos. Sobretudo meu pai, por todo o incentivo, carinho, amizade e apoio emocional. Sem você eu não chegaria tão longe!

À Universidade Federal de Uberlândia, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia e ao Laboratório de Pedologia e Estudos da Paisagem, pela aprendizagem e possibilidade de realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Guilherme Resende Corrêa pela orientação, confiança, e oportunidade de conhecer e me deslumbrar pela pesquisa Antártica.

Aos professores Carlos Schaefer, Jair Putzke, Guilherme, a amiga Iorrana, ao alpinista Edson Vandeira companheiros de acampamento na Antártica e que me ajudaram a realizar o trabalho de campo e a todos os demais amigos feitos durante a OPERANTAR XXXVII, em especial ao Will e a Fernanda por toda a energia boa durante a espera no navio.

Ao professor Carlos pelo direcionamento para a pesquisa e ao professor Jair que através de todo seu conhecimento e experiência antártica realizou o levantamento e reconhecimento florístico da área.

Ao alpinista e fotógrafo Edson Vandeira pela amizade no navio e no acampamento, e ainda por me ceder belas fotografias que guardarei como saudosas lembranças.

Ao querido Pedro Manuel Villa pelos ensinamentos, apoio e colaboração nas etapas desse trabalho, principalmente nas análises estatísticas.

À agência financiadora CAPES pela bolsa concedida.

Ao PROANTAR e Marinha do Brasil por toda logística em campo.

Ao INCT-CRIOSFERA pelo auxílio financeiro e logístico. Ao Núcleo de Estudos dos Ecossistemas Terrestres – TERRANTAR – Universidade Federal de Viçosa e ao Núcleo de Estudos da Vegetação Antártica – NEVA da Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA pelo apoio na execução deste trabalho.

À banca examinadora pela disponibilidade e contribuições tão importantes para o trabalho.

Aos meus grandes companheiros Maiko, Malu e Aline, agradeço com muito carinho por todo o apoio e incentivo, pelas intensas conversas, gostosas risadas e por todas as dúvidas que vocês me auxiliaram a solucionar. Em especial ao Maiko por ter sido um grande pilar durante a realização desse trabalho, e a Malu e Aline por dedicarem tempo e disposição em levantar ajuda financeira para me manter no trabalho de campo.

Aos meus colegas de laboratório, Pedro, Paula, G. Palucci, Rafael, G. Bernardes, Diogo, Ana, Flavia e Viviane que tanto me ouviram, me fizeram rir e auxiliaram tantas vezes.

Ao querido amigo Alison Teixeira por todo o apoio e suporte ao longo da pós-graduação e também na construção desse trabalho.

Ao meu consagrado amigo Daniell pelo carinho e amizade e por todas as conversas que não fazem sentido.

Ao povo brasileiro que custeia as bolsas de estudo bem como toda a pesquisa brasileira na Antártica.

A todos o meu muito obrigada!

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	7
Referências	10
CAPÍTULO 1- COMUNIDADES VEGETAIS EM FELSENMEERS – HARMONY POINT, ANTÁRTICA.	14
1. Introdução.....	16
2. Materiais e métodos	17
2.1 Área de estudo	17
2.2 Levantamento da vegetação	20
3. Resultados	21
3.1 F1 – <i>Felsenmeer</i> de basalto andesítico – Comunidade Carpete de Musgo/Macroalga - Associação <i>Sanionia uncinata</i> – <i>Prasiola crispa</i>	23
3.2 F2 – <i>Felsenmeer</i> de basalto andesítico – Comunidade Carpete de Musgo - Associação <i>Sanionia uncinata</i> – <i>Thyronectria hyperantarctica</i>	25
3.3 F3 – <i>Felsenmeer</i> de basalto – Comunidade Carpete de Musgo - Associação <i>Sanionia uncinata</i> – <i>Andreaea gainii</i>	25
3.4 F4 – <i>Felsenmeer</i> de basalto andesítico – Comunidade Carpete de Musgo - Associação <i>Sanionia uncinata</i> – <i>Polytrichastrum alpinum</i>	26
3.5 F5 – <i>Felsenmeer</i> de basalto andesítico – Comunidade de Musgo/Líquen Fruticoso - Associação <i>Sanionia uncinata</i> – <i>Cladonia borealis</i>	28
3.6 F6 – <i>Felsenmeer</i> de basalto andesítico – Comunidade de Musgo/Líquen Fruticoso - Associação <i>Sanionia uncinata</i> – <i>Cladonia borealis</i>	29
3.7 F7 – <i>Felsenmeer</i> de basalto – Comunidade Carpete de Musgo - Associação <i>Sanionia uncinata</i> – <i>Sanionia georgiouncinata</i>	30
3.8 <i>Felsenmeers</i> com ninhais ativos – Comunidade de Musgo/Líquen Fruticoso - Associação <i>Sanionia uncinata</i> – <i>Cladonia borealis</i>	31
3.9 <i>Felsenmeers</i> com ninhais inativos – Comunidade de Musgo/Líquen Fruticoso – Associação <i>Sanionia uncinata</i> – <i>Cladonia borealis</i>	32
4. Discussão	35
5. Conclusão	39
REFERÊNCIAS	40
Apêndice A	43
CAPÍTULO 2 - INTERAÇÃO SOLO-VEGETAÇÃO EM FELSENMEERS – HARMONY POINT, ANTÁRTICA.	48
1. Introdução.....	50
2. Materiais e Métodos	51
2.1 Área de estudo	51

2.2 Levantamento das propriedades do solo	52
2.3 Levantamento da vegetação	55
2.4 Análise dos dados	55
3. Resultados	57
3.1. Características do solo	57
3.2. Análise dos Componentes Principais (PCA)	57
3.3. Padrão de riqueza, cobertura e composição de espécies.....	58
3.4. Índice de Significância Ecológica (IES).....	59
3.5. Relações solo-vegetação	62
3.6. Efeitos das propriedades do solo na riqueza e composição das espécies	63
4. Discussão	64
4.1 Diversidade e estrutura da comunidade.....	64
4.2 Análise dos <i>felsenmeers</i>	65
4.3 Associações de espécies e tipos de comunidades	66
5. Conclusão	68
REFERÊNCIAS	70
Apêndice B	75

INTRODUÇÃO GERAL

Os ecossistemas da Antártica são resultado de uma adequação a intensas condições climáticas (BARGAGLI *et al.*, 1998). A vulnerabilidade para mudanças ambientais faz parte de suas características, afetando a sua recuperação (BARGAGLI *et al.*, 1998). O ambiente antártico é resultado da combinação de fatores climáticos, hidrológicos, geológicos, geomorfológicos e pedológicos associados a atividades biológicas. A visão integrada dos sistemas naturais, a partir de um método sistêmico, revela-se útil para a análise da dinâmica e evolução da paisagem (FRANCELINO *et al.*, 2010). O continente antártico pode ser dividido conforme zonas latitudinais que correspondem a diferentes regiões climáticas, e são classificadas em zona Antártica Marítima, zona Subantártica e zona Continental (GREENE, 1967; LEWIS SMITH, 1984; OCHYRA *et al.*, 2008).

O conjunto das plantas não vasculares antárticas possui uma abundância de espécies de líquens e musgos, ocorrendo basicamente nos locais livres de gelo principalmente em áreas costeiras da Antártica Marítima (SCHMITZ, 2015). O recuo das geleiras cria novos espaços de colonização por aves que, em função da grande quantidade desses indivíduos, proporciona o desenvolvimento da vegetação em lugares mais distantes da costa. Normalmente, são áreas próximas a ninhais, indicativas de solos férteis, promovendo o estabelecimento de comunidades vegetais mais complexas (FARIA, 2010).

Para a Antártica existem duas espécies de angiospermas, a *Deschampsia antarctica* Desv. e *Colobanthus quitensis* (Kunth.) Bartl. (OVSTEDAL; LEWIS SMITH, 2001). A gramínea *C. quitensis* aparece constantemente em baixas altitudes ou em encostas com maior radiação solar e em solos pedogeneticamente mais desenvolvidos (LONGTON, 1988; THOMAZINI *et al.*, 2014). Entretanto, nenhuma dessas espécies ocorreu na área de estudo.

Na Antártica Marítima as temperaturas são mais altas que na Antártica Continental, dessa forma, os ciclos hidrológicos, pedológicos e biológicos nessas regiões são mais intensificados (GROENEWEG; BEUNK, 1992). Essa zona possui clima oceânico gelado e úmido, com temperaturas médias mensais inferiores a 0 °C, principalmente nos meses de inverno (LONGTON, 1973). É uma região composta por extensos e diversos ambientes. Ao longo do ano sofre mudanças sazonais, tendo um período de degelo com duração limitada e um período de inverno mais longo (FRENCH,

2007). Dessa forma, é uma localidade predisposta para o monitoramento das mudanças climáticas e ambientais. As áreas livres de gelo, durante o período de derretimento, ficam submetidas ao uso por colônias de animais, e à intensa erosão hídrica junto com a eólica. Todos esses fatores atuam como agentes dinâmicos que modelam a paisagem (FARIA, 2010).

A Antártica Marítima sustenta grande diversidade biológica em seus ecossistemas terrestres (CASANOVAS *et al.*, 2015). Os diversos tipos de ambientes foram formados a partir do recuo das geleiras nos últimos 10.000 anos (FRANCELINO *et al.*, 2010). Anteriormente modeladas apenas por ações glaciais, as ilhas passaram a receber intemperismo e morfogênese periglacial (FARIA, 2010).

O arquipélago das ilhas Shetlands do Sul, localizado na Antártica Marítima, possui áreas livres de gelo constituídas por terrenos de exposição holocênica, drenados por canais intermitentes, formando ambientes com *permafrost* descontínuo (BOCKHEIM, 1995). A paisagem pode ser estratificada em diferentes unidades ou geoambientes que, entre si, possuem homogeneidade em relação a fatores determinados (DIAS *et al.*, 2002). Os ambientes podem ser definidos através de diferentes escalas, contudo, seus fatores ocorrem dependentes uns dos outros (DIAS *et al.*, 2002).

A península de Harmony Point está situada na porção oeste da Ilha Nelson, que pertence ao arquipélago das Ilhas Shetland do Sul. É a maior área livre de gelo da ilha, intensamente vegetada, com expressivas colônias de pinguins e um grande número de aves e mamíferos. Compõe uma das Áreas Especialmente Protegidas da Antártica – ASPA nº133 (RODRIGUES *et al.*, 2019).

Em Harmony Point, duas espécies de pinguins nidificam a região, *Pygoscelis antarcticus* (Forster, 1781) e *Pygoscelis papua* (Forster, 1781), que formam colônias com um grande número de indivíduos. A espécie *Macronectes giganteus* (Gmelin, 1789), conhecida como petrel gigante, também expressa grande representatividade na quantidade de ninhais. Essas espécies de aves marinhas constituem fontes de aporte de matéria orgânica nos ambientes da península.

Os locais que permanecem livres de gelo e neve, quando individualizados, exibem compartimentações que necessitam de parâmetros para uma percepção mais acertada da paisagem. Observa-se na península de Harmony Point alguns ambientes como área de *felsenmeer*, *thermokarst*, plataformas de crioplanação, terraços marinhos e solos com padrões.

Felsenmeer são áreas de afloramentos rochosos, principalmente constituídos por rochas vulcânicas basálticas, apresentam contribuição de ciclos de congelamento e descongelamento da água presente nas rochas (crioclastia). Estão localizados em áreas periglaciais e o intemperismo físico é dominante (CAMPBELL; CLARIDGE, 1988; FARIA, 2010). Devido ao recuo dos glaciares, os topos dos *felsenmeers* recebem nidificação por aves e possuem solos ornitogênicos, apresentam vegetação densa de líquens e musgos representando hotspots de biodiversidade no meio das plataformas superiores (RODRIGUES *et al.*, 2019).

O termo ornitogênico foi caracterizado pela presença de solos orgânicos do continente antártico (TATUR, 1997). Estes solos se caracterizam por aspectos como pH baixo, elevadas quantidades de P, níveis variados de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ no complexo de troca e forte acidólise, ocasionados a partir da decomposição dos excrementos de aves (SIMAS *et al.*, 2003; SIMAS *et al.*, 2007).

Fatores ambientais como erosão eólica, disponibilidade de água, temperatura e umidade do solo, período de degelo da camada ativa e condições pedogeomorfológicas (estabilidade da superfície e tipo de rocha/solo) são decisivos para formar padrões dentro da vegetação (D'OLIVEIRA 2012; MICHEL *et al.*, 2012). Ainda, fatores bióticos, como a ação microbiana e de comunidades de aves, contribuem na ciclagem de nutrientes no conjunto vegetal (MENDONÇA *et al.*, 2010; ALMEIDA *et al.*, 2014; FERRARI, 2018). O guano, resultado do acúmulo de excrementos e restos mortais de aves, libera compostos nitrogenados, ocasionando o desenvolvimento de espécies vegetais nitrófilas (PEREIRA; PUTZKE, 1994; PUTZKE; PEREIRA, 2001).

Informações relacionadas à colonização das espécies não vasculares, em particular das espécies dominantes e seus fatores limitantes, são necessários para predizer como os ecossistemas em áreas de degelo se estabelecem e ainda como vão reagir às mudanças climáticas no futuro (NAKATSUBO *et al.*, 2010).

Na Antártica Marítima, ocorre forte relação entre o solo e a vegetação (MICHEL *et al.*, 2006). Acredita-se que o substrato controla a vegetação, dada uma umidade maior e a presença de grandes blocos de rochas onde as espécies vegetais podem se ancorar. Trabalhos como de Ferrari (2018), Thomazini *et al.* (2018) e Schmitz *et al.* (2020) abordam o substrato controlando a florística na Antártica, contudo, esses trabalhos possuem uma abordagem geral da paisagem. Este estudo procura realizar essa investigação em escala reduzida da paisagem. Para a ilha de Nelson, estudos de Putzke *et*

al. (1998; 2015) realizaram um levantamento direcionado exclusivamente para a comunidade de musgos em Rip Point.

As comunidades vegetais e os solos podem ser consideradas variáveis que compõem os ambientes antárticos. Compreender as dinâmicas de atuação desses ambientes em relação às suas diferenças e similaridades são essenciais para o uso e preservação da área, sobretudo quando o estudo tem um caráter local em uma porção limitada da paisagem.

Esse trabalho tem como objetivo descrever as comunidades vegetais e investigar sua relação com o solo dos *felsenmeers* de Harmony Point. Para tanto torna-se necessário ampliar a compreensão entre solos e plantas nos *felsenmeers*. Assim como ampliar o entendimento sobre distribuição de espécies vegetais e interação com elementos no solo.

Referências

- ALMEIDA, I. C. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES, R. B. A.; PEREIRA, T. T. C.; NIEUWENDAM, A. T.; PEREIRA, A. B. Active layer thermal regime at different vegetation covers at Lions Rump, King George Island, Maritime Antarctica. **Geomorphology**, Amsterdam, v. 225, p. 36-46, 2014. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.03.048> . Acesso em: 05 ago. 2019.
- BARGAGLI, R.; SANCHEZ-HERNADEZ, J. C.; MARTELL, L. Mercury, cadmium and lead accumulation in Antarctic mosses growing along nutrient and moisture gradients. **Polar Biology**, Toronto, v. 19, n. 5, p. 316-322, 1998. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s003000050252> . Acesso em: 10 ago. 2019.
- BOCKHEIM, J. G. Properties and classification of cold desert soils from Antarctica. **Soil Science Society of America**, Madison, v. 61, p. 224-231, 1995. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100010031x>. Acesso em: 25 abr. 2019.
- CAMPBELL, I. B.; CLARIDGE, G. G. C. Landscape evolution in Antarctica. **Earth Science Reviews**, Toronto, v. 25, v. 5, n. 6, p. 345-353, dec. 1988.
- CASANOVAS, P.; BLACK, M.; FRETWELL, P.; CONVEY, P. Mapping lichen distribution on the Antarctic Peninsula using remote sensing, lichen spectra and photographic documentation by citizen scientists. **Polar Research**, Warszawa, v. 34, p. 1-8, 2015. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.3402/polar.v34.25633> . Acesso em: 25 jul. 2019.
- D'OLIVEIRA, C. B. **Comunidades vegetais em áreas de degelo na Antártica Marítima**: revisão e estudo de caso. 2012. 72 f. (Dissertação) – Faculdade de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pampa, São Gabriel, RS, 2012.
- DIAS, H. C. T.; FERNANDES FILHO, E. I.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FONTES, L. E. F.; VENTORIM, L. B. Geoambientes do Parque Estadual do Ibitipoca, município de

Lima Duarte - MG. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p. 777-786, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-67622002000600014> . Acesso em: maio 2019.

FARIA, A. L. L. **Solos geomorfologia e relações ecológicas na parte sudoeste da península de Byers, Ilha Livingston, Antártica Marítima**. 2010. 76 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

FERRARI, F. R. **Relações Solo-Vegetação e implicações ambientais em toposequência na Ilha Rei George, Antártica Marítima**. 2018. 94 f. (Dissertação) - Departamento de Biologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2018.

FRANCELINO, M. R. **Geoprocessamento aplicado ao monitoramento ambiental da Antártica Marítima: solos e geomorfologia da Península Keller**. 2004. 143 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.

FRANCELINO, M. R.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES FILHO, E.; COSTA, L. M., SIMAS, F. N. B. **Geomorphology and soil formation under paraglacial conditions in on ice-free área of Admiralty Bay, Antártica**. Catena, [s.n.], 2010.

FRENCH, H. **The periglacial environment**. Chichester: Wiley, 2007. 458 p.

GREENE, S. W. Plants of the land. In: PRIESTLEY, R.; ADIE, R. J.; ROBIN, G. de Q. (ed.). **Antarctic research: a review of british scientific achievements in Antarctica**. London: Butterworth, 1967. p. 239-253

GROENEWEG, W. J.; BEUNK, F. F. The petrography and geochemistry of the king george island supergroup and the admiralty bay group volcanics, south shetlands Islands. In: CONGRESO GEOLÓGICO DE ESPAÑA, 3. LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. (ed.). **Geología de la Antartida Ocidental**. [S.l.:s.n.], 1992. p. 43-60.

LEWIS SMITH, R. I. Terrestrial plant biology of the sub-Antarctic and Antarctic. In: R. M. Laws (ed.). **Antarctic Ecology**. London: Academic Press: 1984. p. 61-162.

LONGTON, R. E. A classification of terrestrial vegetation near McMurdo Sound, continental Antarctica. **Canadian Journal of Botany**, 1973, v. 51, p. 2339-2346.

LONGTON, R. E. **Biology of polar bryophytes and lichens**. Cambridge: Cambridge University Press, 1988. 391 p. 1988.

MENDONÇA, E. S.; LA SCALA, N.; PANOSO, A. R.; SIMAS, F. N. B.; SCHAEFER, C. E. G. R. Spatial variability models of CO₂ emissions from soils colonized by grass (*Deschampsia antarctica*) and moss (*Sanionia uncinata*) in Admiralty Bay, King George Island. **Antarctic Science**, v. 3. p. 27–33, 2010. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1017/s0954102010000581>. Acesso em: maio 2019.

MICHEL, R. F. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; DIAS, L.; SIMAS, F. N. B.; BENITES, V.; MENDONÇA, E.S. Ornithogenic Gelisols (Cryosols) from Maritime Antarctica: pedogenesis, vegetation and carbon studies. **Soil Science Society America**. v. 70, p. 370-1376, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0178> . Acesso em: jul. 2019.

MICHEL, R. F. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; POELKING, E. L.; SIMAS, F. N. B.; FERNANDES FILHO, E. I.; BOCKHEIM, J. G. Active layer temperature in two Cryosols from King George Island, Maritime Antarctica. **Geomorphology**, v. 155- 156. p. 12-19, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.12.013> . Acesso em: maio 2019.

NAKATSUBO, T; FUJIYOSHI, M; YOSHITAKE, S; KOIZUMI, H; UCHIDA, M. Colonization of the polar willow Salix Polaris on the early stage of succession after glacier glacier retreat in the High Arctic, Ny-Ålesund, Svalbard. **Polar Research**, Warszawa, v. 29 n. 3, p. 385-390, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1751-8369.2010.00170.x> . Acesso em: abr. 2019.

OCHYRA, R.; LEWIS SMITH, R. I.; BEDNAREK-OCHYRA H. 2008. **The illustrated moss flora of Antarctica**. Cambridge: Cambridge University Press, p. 685

ØVSTEDAL, D.O. LEWIS SMITH, R. I. Additions and corrections to the lichens of Antarctica and South Georgia. **Cryptogame. Mycologie**, 2001v. 25, p.323-331.

PEREIRA, A. B; PUTZKE, J. Floristic composition of Stinker Point, Elephant Island, Antarctica. **Journal of Polar Research**. 1994, v. 5 n. 2, p. 37-47.

PUTZKE, J., PEREIRA, A. B., PUTZKE, M. L. Moss communities of Rip Point in northern Nelson Island, South Shetlands Islands, Antarctica. **Pes. Ant. Bras**, 1998, v.3, p. 103–115. 1998.

PUTZKE, J.; PEREIRA, A. B. The Antarctic Mosses With Special Reference to the South Shetlands Islands. 1. ed. Canoas, RS: Editora da Ulbra, 2001. 196 p.

PUTZKE, J.; ATHANÁSIO, C. G.; DE ALBURQUERQUE, M. P.; VICTORIA, F. C.; PEREIRA, A. B. **Ver. Chil. Hist. Nat.**, v. 88, p. 1-6, 2015.

RODRIGUES, W. F., OLIVEIRA, F. S. SCHAEFER, C. E. G. R. LEITE, M. G. P. GAUZZI, T. BOCKHEIM, J. G. PUTZKE, J. **Geomorphology Soil-landscape interplays at Harmony Point, Nelson Island , Maritime Antarctica: chemistry , mineralogy and classification**. **Geomorphology**, v. 336, p. 77–94, 2019. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.03.030> . Acesso em: 01 fev. 2020.

SIMAS, F. N. B.; SCHAEFER, C. E. G. R; ALBUQUERQUE FILHO, M. R; MICHEL R. F. M.; COSTA, L. M.; MENDONÇA, E. S.; PEDROSO, I. V. C. P. Carbono imobilizado: indicador ambiental nos criossolos da Península Keller. *In: ECOSSISTEMAS terrestres e solos da antártica marítima*. Viçosa, MG: Núcleo de Estudo de Planejamento e Uso da Terra, 2003. p. 32-38.

SIMAS, F. N. B.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MELO, V. F., ALBUQUERQUE-FILHO, M. R.; MICHEL, R. F. M.; PEREIRA, V. V.; GOMES, M. R. R.; COSTA, L. M. ornithogenic cryosols from maritime Antarctica: phosphatization as a soil forming process, **Geoderma**, v. 138, p. 191–203. 2007. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.11.011> . Acesso em: 10 fev. 2020.

SCHMITZ, D. **Comunidades vegetais de área de degelo da Ilha Half Moon, arquipélago das Shetlands do Sul**. 2015. 48 f. Dissertação (Mestrado). Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pampa, São Gabriel, RS, 2015.

SCHMITZ, D.; SCHAEFER, C. E. G. R.; PUTZKE, J.; FRANCELINO, M. R.; FERRARI, F. R.; CORRÊA, G. R.; VILLA, P. M. How does the pedoenvironmental gradient shape non-vascular species assemblages and community structures in Maritime Antarctica?. **Ecological Indicators**, v. 108, p. 1-14, 2020. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105726> . Acesso em: 2 fev. 2020.

TATUR, A. Ornithogenic soils of the maritime Antarctic: taxonomic position. **Polish Polar Research**, Warszawa, v. 10, n. 4, p. 481-532, 1997.

THOMAZINI, A.; TEIXEIRA D. B.; TURBAY, C.V.G., A. L.; LA SCALA JR., N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MENDONÇA, E. S. Spatial variability of CO₂ emissions from newly exposed paraglacial soils at a glacier retretta zone on King George Island, Maritime Antarctica. **Permafro.**, Periglac. Process. v. 25, p. 233-242, 2014. DOI: Disponível em <https://doi.org/10.1002/ppp.1818>. Acesso em: 05 dez. 2019.

THOMAZINI, A.; FRANCELINO, M. R.; PEREIRA, A. B.; SCHÜNEMANN, A. L.; MENDONÇA, E. S.; SCHAEFER, C. E. G. R. The spatial variability structure of soil attributes using a detailed sampling grid in a typical periglacial area of Maritime Antarctica. **Environ. Earth Sci.**, v. 77, n. 18, p. 1-15, 2018. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7818-3> . Acesso em: 05 dez. 2019.

CAPÍTULO 1

COMUNIDADES VEGETAIS EM *FELSENMEERS* – HARMONY POINT, ANTÁRTICA.

RESUMO

Souza, Isabel Paula, M.Sc., Universidade Federal de Uberlândia, fevereiro de 2020. **Comunidades vegetais em *felsenmeers* – Harmony Point, Antártica.** Orientador: Guilherme Resende Corrêa.

A Antártica Marítima é um dos principais ecossistemas terrestres do mundo dominados principalmente por plantas não vasculares (líquens e musgos), que representam importantes indicadores ecológicos de mudanças climáticas. O objetivo principal deste estudo foi descrever as comunidades de plantas não vasculares e tipos de associações de espécies ao longo de *felsenmeers* na área norte da península Harmony Point. Durante o verão austral de 2018/19 foi realizado um trabalho de campo em Harmony Point, Ilha Nelson que compõe o Arquipélago das Ilhas Shetlands do Sul na Antártica Marítima. O método dos quadrados amostrais foi utilizado para o levantamento da fitossociologia e descrição das comunidades. Ao todo foram amostrados 70 quadrados e encontradas 19 famílias divididas em 12 espécies de briófitas, 21 espécies de líquens e uma espécie de alga macroscópica. A espécie *Sanionia uncinata* forma comunidades com altos índices de significância ecológica e o líquen nitrófilo *Acarospora macrocyclos* está presente em todos os *felsenmeers*. Ao longo dos sete *felsenmeers* amostrados identificou-se quatro comunidades carpete de Musgo, duas comunidades carpete de Musgo/Líquen fruticoso e uma comunidade carpete de Musgo/Macroalga. Para os dois ambientes definidos a partir da presença ou ausência de nidificação atual, foi identificada a comunidade carpete de Musgo/Líquen fruticoso. Os locais com ninhais abandonados é o mais diversificado, com maior índice de Shannon e maior equabilidade. A equabilidade de Pielou explica uma tendência a maior uniformidade entre as espécies nos *felsenmeers*. A maior diversidade ($H' = 2,6$) de espécies na comunidade carpete de Musgo/Líquen fruticoso está em deposição de material proveniente do guano. Os resultados deste estudo revelam que existem diferentes tipos de comunidades e associações de plantas não vasculares ao longo dos *felsenmeers*. Os resultados sugerem que existe uma alta variabilidade na distribuição espacial da riqueza e composição de espécies em pequenas escalas, entre *felsenmeers* da ilha Nelson.

Palavras-chave: Fitossociologia; Vegetação antártica; Ornitogênese.

ABSTRACT

Souza, Isabel Paula, M.Sc., Universidade Federal de Uberlândia, February, 2020.
Vegetable communities in *felsenmeers* Harmony Point, Antarctica. Adviser: Guilherme Resende Corrêa.

Antarctic Maritime is one of the main terrestrial ecosystems in the world dominated mainly by non-vascular plants (lichens and mosses), which represent important ecological indicators of climate change. The main objective of this study was to describe non-vascular plant communities and types of species associations along the felsenmeers located in the northern area of the Harmony Point peninsula, Nelson Island. During the southern summer of 2018/19, fieldwork was carried out at Harmony Point, Nelson Island that makes up the archipelago of the South Shetlands Islands in Maritime Antarctica. The sample square method was used to survey phytosociology and describe communities. In all, 70 squares were sampled and 19 families were found, divided into 12 species of bryophytes, 21 species of lichens and a species of macroscopic algae. The species *Sanionia uncinata* forms communities with high levels of ecological significance and the nitrophilic lichen *Acarospora macrocyclos* is present in all felsenmeers. Throughout the seven sampled felsenmeers, four moss carpet communities, two moss / fruit lichen carpet communities and a moss / macroalgae carpet community were identified. For the two environments defined based on the presence or absence of current nesting, the carpeted Mossy Lichen community was identified. The environment with abandoned nests is the most diversified, due to its higher Shannon index and greater equability. Pielou's equability explains a tendency towards greater maximum uniformity of species in felsenmeers. The greatest diversity ($H' = 2.6$) of vegetation in the carpeted community of Moss/fruticosa Lichen is on the deposition of material from guano. The results of this study reveal that there are different types of plant communities and types of associations of non-vascular plants along the analyzed felsenmeers. The results suggest that there is a high variability in the spatial distribution of species richness and composition at small scales, among Nelson island felsenmeers.

Keywords: Phytosociology; Antarctic vegetation; Ornithogenesis.

1. Introdução

O isolamento geográfico do continente Antártico e as condições climáticas e ambientais afetam intensamente o desenvolvimento da vegetação nas áreas livres de gelo e esta é, em geral, uma tundra pouco desenvolvida, das quais líquens e musgos se unem compondo comunidades (OCHYRA *et al.*, 2008). O ambiente antártico representa para a pesquisa científica uma oportunidade de estudar fenômenos que se expressam em condições únicas (MICHEL *et al.*, 2006). Investigar as comunidades vegetais antárticas permite uma base para estudos que avaliem a substituição de espécies e o aumento ou recuo das manchas de vegetação. Dados estes, que podem indicar mudanças na temperatura e no aporte de umidade, entre outros. O entendimento da colonização vegetal é um importante instrumento para preservar a biodiversidade ameaçada pelas mudanças climáticas (SCHMITZ, 2015).

No estudo da área sul de Harmony Point, Rodrigues *et al.* (2019) encontraram solos que variam de acordo com a interação entre relevo, material parental e vegetação. Os solos rasos, rochosos e crioturbicos (horizontes mesclados), podem apresentar características distróficas e eutróficas. A maioria dos solos em *felsenmeers* (afloramentos rochosos fragmentados por crioclastia) são ornitogênicos, devido a nidificação por *Macronectes giganteus* (Gmelin, 1789) e são cobertos por vegetação densa de líquens e musgos (RODRIGUES *et al.*, 2019). O acúmulo de excrementos de aves favorece o surgimento de áreas ornitogênicas em que se desenvolvem espécies vegetais nitrófilas e ornitocópofilas, além de solos ricos em material orgânico (MICHEL *et al.*, 2006). O aporte desse material nos ambientes terrestres influencia diretamente as relações tróficas e rotas de transferência de matéria e energia no ecossistema terrestre (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1993; SIMAS *et al.*, 2007; MOURA, 2010).

O degelo inicial da deglaciação que ocorreu há aproximadamente 4.5 mil anos (BJÖRCK *et al.*, 1991, 1996; BJÖRCK e ZALE, 1996), provavelmente formou *nunataks*, áreas preferenciais de colonização por aves, e, posteriormente, com o avanço do derretimento, os *felsenmeers* se sobressaíram na paisagem. Os solos dos *felsenmeers*, por se localizarem em porções elevadas e geralmente apresentarem uma cobertura quase completa de musgos e líquens podem ser caracterizados como lixiviados e bem drenados (EVERETT, 1976).

A vegetação encontrada na Antártica é basicamente composta por espécies de musgos e líquens adaptadas a rigorosas condições climáticas. Os musgos mais comuns são *Sanionia uncinata* (Hedw.) Loeske e *Polytrichastrum alpinum* (Hedw.) G.L.Sm.

(OCHYRA, 1998). A Ilha de Nelson possui uma área total de 165 km² com apenas 5% (8 km²) de sua extensão sem gelo. Harmony Point é a maior região livre de gelo da ilha (4 km²) e faz parte da Área Especialmente Protegida da Antártica – ASPA nº133 devido à sua exuberante flora e fauna (RODRIGUES *et al.*, 2019). Dentre as penínsulas da Antártica Marítima, Harmony Point é uma área intensamente vegetada e pouco estudada. Na parte sul da península, líquens muscícolas como *Ochrolechia frigida* (Sw.) Lynge, *Psoroma hypnorum* (Vahl) Gray e *Cladonia* spp, são muito comuns. A formação de *Andreaea* spp., cobre as rochas expostas como um colonizador primário, às vezes livre de líquens. Em *felsenmeers* o líquen *Usnea aurantiacoatra* (Jacq.) Bory é encontrado associado a musgos e outros líquens (RODRIGUES *et al.*, 2019).

Compreender as informações das comunidades de espécies não vasculares que compõem a Antártica Marítima, sobretudo em escala reduzida da paisagem, pode auxiliar na preservação e no estudo dessas áreas. O presente estudo teve como objetivo realizar a classificação e descrição das comunidades vegetais em *felsenmeers*. Para tanto, realizou-se o levantamento da composição florística das comunidades vegetais nos *felsenmeers* localizados na área norte da península.

2. Materiais e métodos

2.1 Área de estudo

A Ilha Nelson (62°18'S 59°03'W) faz parte do arquipélago das Ilhas Shetlands do Sul, localizadas na Antártica Marítima, situadas ao noroeste da Península Antártica. Essa é uma região que apresenta um clima marítimo frio e úmido, diferente do encontrado no interior do continente. No verão a temperatura média mensal é de 0 °C e, no inverno, varia de -10 a -12 °C. A precipitação média é de 350-500 mm por ano, sendo concentrada no verão (OCHYRA *et al.*, 2008).

A área estudada está localizada na parte norte da península de Harmony Point – Ilha Nelson. O movimento glacio-isostático como resposta elástica da crosta frente ao derretimento de grandes massas de gelo (FRANCELINO *et al.*, 2006) caracterizou a geomorfologia da área. Os *felsenmeers* se encontram entre duas feições formadas por dois níveis de terraços marinhos soerguidos, seguidos de dois níveis de áreas de crioplanação (Fig. 1).

As Ilhas Shetlands do Sul são formadas pela atividade vulcânica, sobre um embasamento sedimentar ativo desde o Jurássico até o presente. A Ilha Nelson é geologicamente composta por um núcleo de andesito cercado por lavas, tufos e

aglomerados. As rochas vulcânicas são datadas do Jurássico Superior-Cretáceo Inferior (SMELLIE *et al.*, 1984). Os *felsenmeers* em Harmony Point são formados por lavas endurecidas, principalmente andesitos e andesitos basálticos que frequentemente formam áreas de relevo proeminente de grande destaque na paisagem (SMELLIE *et al.*, 1984).

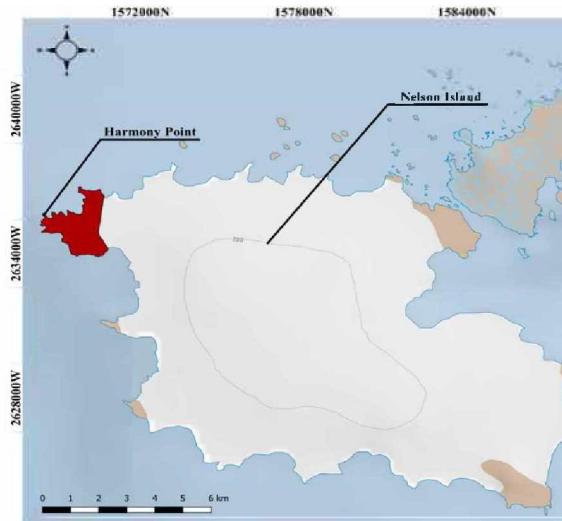
A ilha possui uma geleira remanescente de uma calota de gelo outrora de maior extensão. A área próxima à moraina frontal da geleira de Harmony, está recoberta por *drift*, nesse sentido, todos os *felsenmeers* estão localizados em uma área periglacial. *Felsenmeers* são formações de rochas afetadas por crioclastia, compostas de grande blocos. São resistentes e proeminentes com características heterogêneas, geralmente com maior acumulação de matéria orgânica (RODRIGUES *et al.*, 2019).

Foram observados sete *felsenmeers* na área norte da península, amostrados próximos à geleira de Nelson, no interior da península e próximo ao mar de Drake. O relevo predominante é suave ondulado, de topografia pouco movimentada e com declives suaves (F2, F4 e F5). Entretanto, um dos *felsenmeers* apresenta um relevo ondulado com declives moderados (F3) e outro é classificado como forte ondulado com a topografia movimentada e com declives fortes (F1). Ademais, dois apresentam um relevo montanhoso de topografia robusta, com domínio de formas acidentadas e declives fortes e muito fortes (F6 e F7). As rochas são predominantemente basaltos, em sua maior parte andesíticos.

Com o derretimento da geleira, e a exposição do topo do *felsenmeer*, aves geralmente o utilizam como área para o estabelecimento de ninhos. Nos *felsenmeers* estudados foram identificados a ocorrência de ninhos com a presença das aves, e ninhos abandonados, dessa forma foram distinguidos dois ambientes de nidificação: ativo e inativo.

Figura 1 – Localização dos Felsenmeers em Harmony Point.

Harmony Point Felsenmeers F1



Harmony Point
Nelson Island
Ice Free Areas



F2



F3



F4



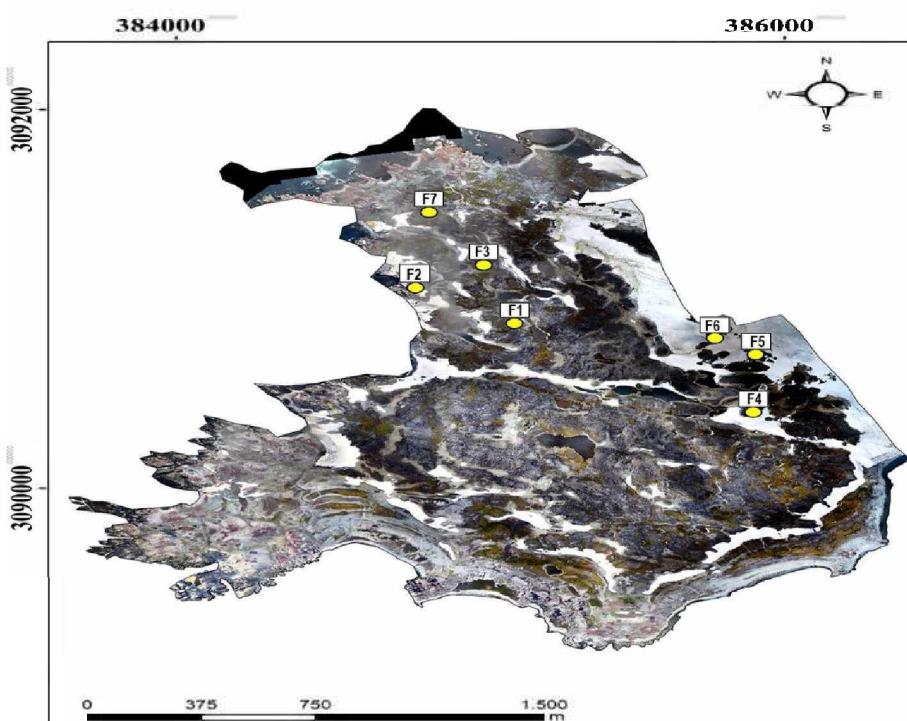
F5



F6



F7



Felsenmeers

Source of data: MATSUOKA, K.; SKOGLUND, A.; DESCHWANDEN, A. V. 2013. PUTZKE, J. 2019. SOUZA, I. P. 2019
 Geodetic datum: WGS 1984
 Projection: Universal Transverse Mercator
 Elaboration: SILVA, R.C. 2019

2.2 Levantamento da vegetação

Amostrou-se a vegetação nos sítios selecionados no mês de janeiro do verão austral de 2018/19. Para isso, utilizou-se o método fitossociológico de Braun-Blanquet (1932), adaptado a quadrados de 20 por 20 cm, subdivididos em 100 quadrados menores.

O levantamento foi efetuado a partir de parcelas amostrais seguindo um alinhamento de norte a sul, do nível do *felsenmeer* até seu ponto superior. As áreas das parcelas foram selecionadas de dois em dois metros, distribuídas aleatoriamente dentro da variação de altitude, somando 10 parcelas para cada *felsenmeer* estudado.

Foi realizado o levantamento fitossociológico para cada um dos sete *felsenmeers* amostrados. Ainda, para fins de analisar a composição das comunidades em ambientes distintos, os *felsenmeers* foram divididos a partir de características de presença pretérita e atual de avifauna, definindo assim dois ambientes ornitogênicos diferentes.

O levantamento florístico foi realizado a partir de 70 parcelas amostradas ao longo de sete *felsenmeers* (Fig. 1). Os dados fitossociológicos foram utilizados para o cálculo do Índice de Significância Ecológica (IES) que combina os parâmetros de abundância (cobertura – C e frequência – F) descritos como $IES = F / (1 + C)$, determinando a importância das espécies na área estudada (LARA; MAZIMPAKA, 1998; VICTORIA; PEREIRA, 2007). A cobertura da espécie é medida em cada quadrado individualmente. A frequência relativa é a proporção da frequência absoluta, ou seja, é a relação que cada espécie ocupa no espaço na comunidade em função da soma de todas as espécies. (LARA; MAZIMPAKA, 1998).

Contudo, essa abordagem pode evidenciar uma baixa cobertura de espécies naturalmente distribuídas nas áreas de degelo da Antártica. As espécies podem não apresentar valores de importância no índice, mas podem ser representativas em suas frequências. Isso significa que as espécies que apresentam um IES alto darão nome para a comunidade, e as com valores inferiores devem ser levados em consideração.

Para classificar a comunidade foi utilizado o IES com os valores mais altos para indicar quais foram as espécies mais representativas seguindo a classificação de Longton (1988). A identificação taxonômica foi realizada de acordo com Ochyra (1998, 2008) e Putzke & Pereira (2001) para musgos; e Redon (1985), Ovstedral & Smith (2001) e Olech (2004) para identificar as espécies de líquens. A classificação da vegetação foi gerada tanto no método dos quadrados amostrais como também a descrição de uma forma geral no entorno de cada um dos *felsenmeers*.

Índices de diversidade e equabilidade foram calculados usando a frequência absoluta das espécies para cada *felsenmeer* e para os ambientes que estes formam. Para tanto, utilizou-se a fórmula de Shannon-Wiener (H') e equabilidade de Pielou (J) (SCHMITZ, 2015). Com a utilização do software R (R Core Team 2019) foi confeccionado um diagrama de Venn a partir das espécies específicas e compartilhadas entre os diferentes ambientes, respectivamente.

3. Resultados

Foram encontradas seis associações: quatro formadas entre musgos (Comunidade Carpete de Musgo – Associações: *Sanionia uncinata* – *Thyronectria hyperantarctica* (F2); *Sanionia uncinata* – *Andreaea gainii* (F3); *Sanionia uncinata* – *Polytrichastrum alpinum* (F4); *Sanionia uncinata* – *Sanionia georgicouncinata* (F7)), duas compostas entre musgo e líquen (Comunidade de Musgo/Líquen Fruticoso – Associação *Sanionia* – *Cladonia borealis* (F5 e F6)), e outra entre musgo e macroalga (Comunidade Carpete de Musgo/Macroalga – Associação *Sanionia uncinata* – *Prasiola crispa* (F1)). Carpetes de *Sanionia uncinata* são amplamente distribuídos em todos os *felsenmeers*, incluindo áreas próximas ao campo de neve (Tabela 1). Com base na fitossociologia foram encontradas 19 famílias, sendo 12 espécies de briófitas, 21 espécies de líquens e uma alga macroscópica (Tabela 2). Algumas espécies foram identificadas fora do levantamento fitossociológico para fins de descrição geral do *felsenmeer* e, por esse motivo, não estão listadas na Tabela 2.

As espécies de líquen *Acarospora macrocyclos* e de musgo *Sanionia uncinata* foram observadas em todos os *felsenmeers* amostrados. As espécies *Cladonia borealis* e *Ochrolechia frigida* só não foram observadas no segundo *felsenmeer*, sendo este o que apresentou o menor número de espécies (Tabela A.1).

Tabela 1- Descrição sucinta das áreas amostradas, com as suas respectivas coordenadas.

Felsenmeer	Elevação (m)	Coordenadas Geográficas	Relevo	Geologia	Vegetação
F1	44	59.21531°S 62.29606°W	Forte ondulado	Basalto andesítico (Tálu rochoso)	Comunidade Carpete de Musgo/Macroalga - Associação <i>Sanionia – Prasiola</i>
F2	30	59.22145°S 62.29427°W	Suave ondulado	Basalto andesítico cristalino	Comunidade Carpete de Musgo - Associação <i>Sanionia – Thryonectria</i>
F3	39	59.21712°S 62.29327°W	Ondulado	Basalto	Comunidade Carpete de Musgo - Associação <i>Sanionia – Andreeaea</i>
F4	59	59.20050°S 62.30051°W	Suave ondulado	Basalto andesítico	Comunidade Carpete de Musgo - Associação <i>Sanionia – Polytrichastrum</i>
F5	61	59.20015°S 62.29778°W	Suave ondulado	Basalto andesítico	Comunidade de Musgo/Líquen Fruticoso -Associação <i>Sanionia – Cladonia</i>
F6	56	59.20266°S 62.29696°W	Montanhoso	Basalto andesítico	Comunidade de Musgo/Líquen Fruticoso -Associação <i>Sanionia – Cladonia</i>
F7	22	59.22034°S 62.29071°W	Montanhoso	Basalto	Comunidade Carpete de Musgo - Associação <i>Sanionia uncinata – Sanionia georgicuncinata.</i>

Tabela 2 - Lista de famílias, espécies e os respectivos grupos das sete áreas de afloramentos com cobertura vegetal.

Família	Espécie	Grupo
Acarosporaceae	Acarospora macrocyclos Vain.	Líquen
Amblystegiaceae	Sanionia georgicouncinata (Müll Hal.) Ochyra & Hedenas	Musgo
Amblystegiaceae	Sanionia uncinata (Hedw.) Loeske	Musgo
Andreaeaceae	Andreaea gainii Cardot	Musgo
Bryaceae	Bryum archangelicum Bruch & Schimp (=Bryum amblyodon Müll. Hal.)	Musgo
Bryaceae	Pohlia drummondii (Müll. Hal.) A. L. Andrews	Musgo
Cladoniaceae	Cladonia borealis S. Stenroos	Líquen
Cladoniaceae	Cladonia rangiferina (L.) Weber	Líquen
Dicranaceae	Chorisodontium aciphyllum (Hook. f. & Wills.) Broth.	Musgo
Lecanoraceae	Lecania brialmontii (Vain.) Zahlbr.	Líquen
Lecanoraceae	Usnea antarctica Du Rietz	Líquen
Lecideaceae	Rhizoplaca aspidophora (Vain.) Redon	Líquen
Ochrolechiaceae	Ochrolechia antarctica (Müll. Arg.) Darb.-	Líquen
Ochrolechiaceae	Ochrolechia frigida (Sw.) Lynge	Líquen
Pannariaceae	Pannaria hookeri (Borrer ex Sm.) Nyl.	Líquen
Pannariaceae	Psoroma cinnamomeum Malme	Líquen
Pannariaceae	Psoroma hypnorum (Vahl) Gray	Líquen
Parmeliaceae	Himantormia lugubris (Hue) I. M. Lamb	Musgo
Physciaceae	Buellia anisomera Vain.	Líquen
Physciaceae	Buellia latemarginata Darb.	Líquen
Physciaceae	Physcia caesia (Hoffm.) Fürnr.	Líquen
Polytrichiaceae	Polytrichastrum alpinum (Hedw.) G.L.Sm.	Musgo
Polytrichiaceae	Polytrichum juniperinum Hedw.	Musgo
Pottiaceae	Hennediella heimii (Hedw.) R. H. Zander.	Musgo
Pottiaceae	Hennediella antarctica (Angström) Ochyra & Matteri	Musgo
Prasiolaceae	Prasiola crispa (Lightfoot) Kützing.	Macroalga
Stereocaulaceae	Stereocaulon glabrum (Müll. Arg.) Vain.	Líquen
Stereocaulaceae	Stereocaulon sp.	Líquen
Umbilicariaceae	Umbilicaria antarctica Frey et Lamb	Líquen
Verrucariaceae	Cystocoleus niger (Huds.) Hariot	Líquen
Verrucariaceae	Verrucaria antarctica	Líquen
Verrucariaceae	Verrucaria racovitzae Vain.	Líquen
Verrucariaceae	Verrucaria sp.	Líquen
Thyridiaceae	Thyronectria hyperantarctica (D. Hawksw.) D. Hawksw. & Spooner	Musgo

3.1 F1 – *Felsenmeer* de basalto andesítico – Comunidade Carpete de Musgo/Macroalga - Associação *Sanionia uncinata* – *Prasiola crispa*.

Com afloramento de basalto andesítico e um relevo local fortemente ondulado, atinge cerca de 44 metros de altitude (Fig. A.1). Recebe influência ornitogênica, devido à colonização pela ave *Macronectes giganteus* (petrel gigante), tendo sido observados 14 indivíduos dessa espécie nidificando a área.

No entorno do *felsenmeer* a vegetação é constituída por um grande tapete formado principalmente por *Sanionia uncinata* e *Andreaea gainii*, algumas vezes associado à *Polytrichastrum alpinum*. O topo do campo de musgo é coberto por uma grande formação de *Prasiola crispa* (macroalga que ocorre em ambientes ricos de P e N) e solo sem vegetação.

Os valores do IES (Tabela 3) apontam para uma Comunidade Carpete de Musgo/Macroalga com associação do musgo *Sanionia uncinata* (IES=832,14; F=18,84%; C=43,17%) e a macroalga *Prasiola crispa* (IES=151; F=14,49%; C=9,42%). As espécies pouco diferem na porcentagem da frequência, com a área de cobertura da *S. uncinata* maior, sendo a macroalga restrita aos ninhais (Tabela 3). O musgo *Andreaea gainii* (IES=97,42; F=8,69%; C=10,20%) através da porcentagem de cobertura, aponta sua evidente presença no carpete formado pela espécie *S. uncinata*, em especial por sua relação com rochas expostas ao longo dessa formação, já que é saxícola.

O valor da frequência do musgo *Polytrichastrum alpinum* (IES=28,55; F=5,80%; C=3,92%) explica sua presença no carpete. O solo exposto (IES=102,59; F=11,59%; C=7,85%) apresenta dados significativos para a disposição da comunidade.

Tabela 3 - Espécies representativas de F1 – Comunidade Carpete de Musgo/Macroalga - Associação *Sanionia uncinata* – *Prasiola crispa*. Onde: IES = Índice de Significância Ecológica.

Espécie	Frequência (%)	Cobertura (%)	IES
<i>Sanionia uncinata</i>	18,84	43,17	832,14
<i>Prasiola crispa</i>	14,49	9,42	151
<i>Andreaea gainii</i>	8,69	10,20	97,42
<i>Cladonia borealis</i>	7,25	4,71	41,37
<i>Hennediella heimii</i>	5,80	3,92	28,55
<i>Polytrichastrum alpinum</i>	5,80	3,92	28,55
<i>Ochrolechia frigida</i>	5,80	3,14	24
<i>Buellia anisomera</i>	4,35	3,92	21,41
<i>Acarospora macrocyclos</i>	4,35	3,14	18
<i>Lecania brialmontii</i>	4,35	2,35	14,58
<i>Buellia latemarginata</i>	1,45	0,78	2,59
<i>Hennediella antarctica</i>	1,45	0,78	2,59
<i>Psoroma hypnorum</i>	1,45	0,78	2,59
<i>Rhizoplaca aspidophora</i>	1,45	0,78	2,59
<i>Stereocaulon glabrum</i>	1,45	0,78	2,59
<i>Usnea antarctica</i>	1,45	0,78	2,59
Rocha exposta	11,59	7,85	102,59

3.2 F2 – *Felsenmeer* de basalto andesítico – Comunidade Carpete de Musgo - Associação *Sanionia uncinata* – *Thyronectria hyperantarctica*.

Estruturado em basalto andesítico, com relevo suave ondulado e elevação de 30 metros. Ocorre ninhal do pinguim *Pygoscelis papua*, sendo observado no local um pequeno número de indivíduos (Fig. A.2).

A estrutura da comunidade é formada por um carpete de musgo com associação de *Sanionia uncinata* (IES=2528,31; F=36%; C=69,23%) e *Thyronectria hyperantarctica*, um fungo muscícola (IES=114,46; F=16%; C=6,15%) (Tabela 4). F2 apresentou um crescimento robusto do tapete de *S. uncinata*, ameaçado em parte pelo fungo parasita (Tabela 4).

Pela proximidade com o mar, a área recebe influência do spray marinho, rico em sais, o que explica a ocorrência de *Verrucaria* spp. nas rochas entre o tapete de *Sanionia* spp. A rocha exposta (IES=173,85; F=20%; C=7,69%) apresenta valores de frequência e índice de significância representativos para a disposição da comunidade no *felsenmeer*.

Tabela 4 – Espécies representativas de F2 – Comunidade Carpete de Musgo - Associação *Sanionia uncinata* – *Thyronectria hyperantarctica*. Onde: IES = Índice de Significância Ecológica.

Espécie	Frequência (%)	Cobertura (%)	IES
<i>Sanionia uncinata</i>	36	69,23	2528,31
<i>Thyronectria hyperantarctica</i>	16	6,15	114,46
<i>Verrucaria racovitzae</i>	12	4,62	67,38
<i>Stereocaulon</i> sp.	4	7,69	34,77
<i>Acarospora macrocyclos</i>	4	1,54	10,15
<i>Sanionia georgicounicinata</i>	4	1,54	10,15
<i>Verrucaria</i> sp.	4	1,54	10,15
Rocha exposta	20	7,69	173,85

3.3 F3 – *Felsenmeer* de basalto – Comunidade Carpete de Musgo - Associação *Sanionia uncinata* – *Andreaea gainii*.

Apresenta litologia de basalto mais puro, relevo ondulado e altitude de 39 metros, com presença de 11 ninhos de petrel gigante, sendo fonte constante de material ornitogênico. Localizado no interior da península entre os dois *felsenmeers* anteriormente descritos (Fig. A. 3).

A vegetação é composta por um grande tapete de *Sanionia uncinata* com pequenas manchas da espécie *Prasiola crispa* distribuídas aleatoriamente. Despontam grandes rochas que em sua maioria estão cobertas pelas espécies de líquens *Buellia anisomera* e *Acarospora macrocyclos*.

Os dados da fitossociologia apresentam uma comunidade de carpete de musgo com associação entre as espécies *Sanionia uncinata* (IES=693,23; F=16,67%; C=40,59%) e *Andreaea gainii* (IES=161,83; F=11,67%; C=12,87%). As espécies *Polytrichastrum alpinum* (IES=69,41; F=10%; C=5,94%), *Acarospora macrocyclos* (IES=57,84; F=8,33%; C=5,94%) e *Cladonia borealis* (IES=57,84; F=8,33%; C=5,94%) apresentam valores de índice representativos para a estrutura da comunidade (Tabela 5). A rocha exposta apresentou IES=69,41; F=10%; C=5,94%.

Tabela 5 – Espécies representativas do F3 – Comunidade Carpete de Musgo - Associação *Sanionia uncinata* – *Andreaea gainii*. Onde: IES = Índice de Significância Ecológica.

Espécie	Frequência (%)	Cobertura (%)	IES
<i>Sanionia uncinata</i>	16,67	40,59	693,23
<i>Andreaea gainii</i>	11,67	12,87	161,83
<i>Polytrichastrum alpinum</i>	10	5,94	69,41
<i>Acarospora macrocyclos</i>	8,33	5,94	57,84
<i>Cladonia borealis</i>	8,33	5,94	57,84
<i>Psoroma hypnorum</i>	6,67	4,95	39,67
<i>Ochrolechia frigida</i>	5	2,97	19,85
<i>Physcia caesia</i>	5	2,97	19,85
<i>Bryum archangelicum</i>	3,33	2,97	13,23
<i>Buellia anisomera</i>	3,33	1,98	9,93
<i>Hennediella heimii</i>	3,33	1,98	9,93
<i>Lecania brialmontii</i>	3,33	1,98	9,93
<i>Ochrolechia antarctica</i>	1,67	0,99	3,32
<i>Rhizoplaca aspidophora</i>	1,67	0,99	3,32
<i>Stereocaulon glabrum</i>	1,67	0,99	3,32
Rocha exposta	10	5,94	69,41

3.4 F4 – *Felsenmeer* de basalto andesítico – Comunidade Carpete de Musgo - Associação *Sanionia uncinata* – *Polytrichastrum alpinum*.

Com presença de basalto andesítico, em área de relevo montanhoso, com elevação de 59 metros e presença de ninhal pretérito. Entende-se que o local já foi colonizado por petrel gigante e é possível observar uma abundante presença de espécies de líquens ornitocópicos (Fig. A. 4). Atualmente, não foram encontrados ninhos ativos.

No entorno da área são encontrados dois pequenos tapetes de *Sanionia uncinata*, bastante densos e espessos com vários tufo de *Polytrichastrum alpinum* e *Polytrichum*

juniperinum intercalados. Nas rochas observa-se a presença de *Usnea antarctica* estéreis. Há também um conjunto de rochas com *Himantormia lugubris*.

Sobre os musgos ocorrem muitos líquens muscícolas, em especial, *Cladonia rangiferina* que está bem desenvolvida com podócios avançados. Há presença de *Cladonia borealis*, *Cladonia metacoralifera*, intercalada por *Ochrolechia frigida*, e *Psoroma hypnorum*, formando então, um denso aglomerado de muscícolas, principalmente nas partes mais altas.

Na área encontra-se *Lecidea* spp., ainda que não litrófilas, *Lecidea sciatrapha* atualmente nomeada como *Carbonea* acontecendo junto com várias *Buellia* spp. Observa-se uma certa quantidade do líquen *Acarospora macrocyclos* e da espécie *Rinodina pettermanii*, sobressaindo o musgo *Andreaea gainii* também com muscícolas do grupo da *Ochrolechia*.

A estrutura da comunidade como um carpete de musgo dá-se pela associação de *Sanionia uncinata* (IES=526,44; F=15,63%; C=32,69%) e *Polytrichastrum alpinum* (IES=257,45; F=14,06%; C=17,31%). Espécies como *Ochrolechia frigida* (IES=180,77; F=12,50%; C=13,46%) e *Chorisodontium aciphyllum* (IES=95,07; F=10,94%; C=7,69%) não apresentam valores para dar nome à comunidade, porém demonstram valores muito altos para a representatividade dessas espécies na comunidade (Tabela 6).

Tabela 6 – Espécies representativas de F4 – Comunidade Carpete de Musgo - Associação *Sanionia uncinata* – *Polytrichastrum alpinum*. Onde: IES = Índice de Significância Ecológica.

Espécie	Frequência (%)	Cobertura (%)	IES
<i>Sanionia uncinata</i>	15,63	32,69	526,44
<i>Polytrichastrum alpinum</i>	14,06	17,31	257,45
<i>Ochrolechia frigida</i>	12,50	13,46	180,77
<i>Chorisodontium aciphyllum</i>	10,94	7,69	95,07
<i>Andreaea gainii</i>	7,81	4,81	45,37
<i>Acarospora macrocyclos</i>	4,69	2,88	18,21
<i>Cystocoleus niger</i>	4,69	2,88	18,21
<i>Hennediella heimii</i>	4,69	2,88	18,21
<i>Umbilicaria antarctica</i>	4,69	2,88	18,21
<i>Cladonia borealis</i>	3,13	1,92	9,13
<i>Cladonia rangiferina</i>	3,13	1,92	9,13
<i>Himantormia lugubris</i>	3,13	1,92	9,13
<i>Ochrolechia antarctica</i>	3,13	1,92	9,13
<i>Pannaria hookeri</i>	3,13	1,92	9,13
<i>Psoroma hypnorum</i>	1,56	0,96	3,06
<i>Stereocaulon glabrum</i>	1,56	0,96	3,06

<i>Verrucaria antarctica</i>	1,56	0,96	3,06
------------------------------	------	------	------

3.5 F5 – *Felsenmeer* de basalto andesítico – Comunidade de Musgo/Líquen Fruticoso - Associação *Sanionia uncinata* – *Cladonia borealis*.

Composto por basalto andesítico em relevo local suave ondulado e elevação de 61 m, inclinado para encosta próxima à geleira. Presença de paleoninhais e conchas vazias de *Nacella concinna* (Strebel, 1908) o que indica que a área foi colonizada por *Larus dominicanus* (Lichtenstein, 1823) (gaivotão). Algumas das conchas marinhas estão cobertas por líquens, especialmente *Caloplaca* sp. indicando longo tempo de abandono do ninhal.

Um tapete de *Sanionia uncinata* associado a vários líquens muscícolas foi observado no meio do *felsenmeer*, correndo de sul a norte (Fig. A.5). *Polytrichum piliferum* está se desenvolvendo junto com pequenos tuhos de *Polytrichum alpinum*. Líquens nitrófilos estão cobrindo as rochas, especialmente *Acarospora macrocyclos*.

A parte superior do tapete de musgo está manchada com líquens muscícolas, em sua maioria compostos por *Cladonia* spp., com destaque para a presença de *Cladonia borealis* e *Cladonia rangiferina*. Na parte inferior e na lateral se manifestam alguns líquens *Ochrolechia* sp., contudo a predominância é de *Cladonia* sp. Ao longo de F5 ocorre moderadamente a presença de *Andreaea* sp., *Polytrichastrum alpinum*, intercalada com *Hennediella heimii*. O lado oposto apresenta alguns tuhos de *Polytrichum piliferum* e associações de espécies ornitocoprófilas como a *Rhizoplaca aspidophora* e *Acarospora macrocyclos*.

A partir dos dados do IES tem-se a Comunidade de Musgo/Líquen Fruticoso com a associação *Sanionia uncinata* (IES=1084,54; F=21,74%; C=48,89%) e *Cladonia borealis* (IES=323,91; F=19,57%; C=15,56%). Espécies como *Buellia anisomera* (IES=191,30; F=17,39%; C=10%) e *Hennediella heimii* (IES=128,99; F=13,04%; C=8,89%) apresentaram valores significativos de índice, frequência e cobertura das espécies em torno do *felsenmeer* (Tabela 7).

Tabela 7 – Espécies representativas de F5 – Comunidade de Musgo/Líquen Fruticoso - Associação *Sanionia uncinata* – *Cladonia borealis*. Onde: IES = Índice de Significância Ecológica.

Espécie	Frequência (%)	Cobertura (%)	IES
<i>Sanionia uncinata</i>	21,74	48,89	1084,54
<i>Cladonia borealis</i>	19,57	15,56	323,91
<i>Buellia anisomera</i>	17,39	10,00	191,30
<i>Hennediella heimii</i>	13,04	8,89	128,99
<i>Cystocoleus niger</i>	6,52	5,56	42,75
<i>Ochrolechia frigida</i>	6,52	3,33	28,26
<i>Acarospora macrocyclos</i>	4,35	2,22	14,01
<i>Pohlia drummondii</i>	4,35	2,22	14,01
<i>Bryum archangelicum</i>	2,17	1,11	4,59
<i>Chorisodontium aciphyllum</i>	2,17	1,11	4,59
<i>Prasiola crispa</i>	2,17	1,11	4,59

3.6 F6 – *Felsenmeer* de basalto andesítico – Comunidade de Musgo/Líquen Fruticoso - Associação *Sanionia uncinata* – *Cladonia borealis*.

Felsenmeer de basalto andesítico com relevo montanhoso e elevação de 56 m, e presença de ninhal de *Macronectes giganteus* (Fig. A.6). Ocorrem líquens ornitocófilos em rochas expostas como: *Verrucaria racovitzae*, *Acarospora macrocyclos*, *Rhizoplaca aspidophora* e várias *Buellia* spp. (Tabela A.1).

A área é composta por campo de *Sanionia uncinata* com algumas *Sanionia georgicuncinata* e esparsos *Polytrichastrum alpinum*, o topo apresenta forte presença do líquen muscícola *Ochrolechia frigida*. Na parte central e baixa do *felsenmeer* a *Ochrolechia frigida* é substituída por *Cladonia* spp.

Na parte basal alguns talos de *Psoroma hypnorum* competem com *Cladonia borealis* e *Cladonia metacoralifera*. A vegetação apresenta, ainda, *Cystocoleus niger* e tufos mais densos de *Polytrichastrum alpinum*. A espécie *Umbilicaria antarctica* é encontrada cobrindo abundantemente algumas superfícies de rochas verticais e outras são cobertas por um grande número de *Rhizoplaca aspidophora*.

A fitossociologia apresenta a Comunidade de Musgo/Líquen Fruticoso por uma associação de *Sanionia uncinata* (IES=1168,67; F=25,64%; C=44,58%) e *Cladonia borealis* (IES=581,71; F=25,64%; C=21,69%). As duas espécies apresentam altos valores de significância, frequência relativa e cobertura para a comunidade (Tabela 8).

Espécies como *Ochrolechia frigida* (IES=255,82; F=17,95%; C=13,25%) e *Buellia anisomera* (IES=136,39; F=12,82%; C=9,64%), não apresentam valores para dar

nome à comunidade vegetal. Contudo, essas espécies expressam números de índice, cobertura e frequência significativos para a comunidade ao longo do *felsenmeer*. Ainda, *Cystocoleus niger* (IES=35,50; F=7,69%; C=3,61%) com um baixo valor do índice de significância, possui frequência relevante, também compondo a distribuição da vegetação.

Tabela 8– Espécies representativas de F6 – Comunidade de Musgo/Líquen Fruticoso - Associação *Sanionia uncinata* – *Cladonia borealis*. Onde: IES = Índice de Significância Ecológica.

Espécie	Frequência (%)	Cobertura (%)	IES
<i>Sanionia uncinata</i>	25,64	44,58	1168,67
<i>Cladonia borealis</i>	25,64	21,69	581,71
<i>Ochrolechia frigida</i>	17,95	13,25	255,82
<i>Buellia anisomera</i>	12,82	9,64	136,39
<i>Cystocoleus niger</i>	7,69	3,61	35,50
<i>Polytrichastrum alpinum</i>	2,56	3,61	11,83
<i>Acarospora macrocyclos</i>	2,56	1,20	5,65
<i>Andreaea gainii</i>	2,56	1,20	5,65
<i>Rhizoplaca aspidophora</i>	2,56	1,20	5,65

3.7 F7 – *Felsenmeer* de basalto – Comunidade Carpete de Musgo - Associação *Sanionia uncinata* – *Sanionia georgicouncinata*.

Felsenmeer de basalto com elevação de 22 m em relevo montanhoso. Verificou-se apenas um ninho de petrel gigante. A ocorrência de uma ampla camada de pedregulhos bem selecionados, indica que a área já foi nidificada por pinguins. A expressiva colonização vegetal evidencia o longo período de abandono dos ninhos (Fig. A.7).

As faces verticais do rochedo estão recobertas com líquens associados ao spray salino, devido à proximidade com o mar de Drake, como *Caloplaca regularis* e *Caloplaca sublobulata*, ocorrendo associados *Xanthoria elegans*, *Xanthoria candelaria*, *Ramalina terebrata* e *Mastodia tessellata*.

O carpete de *Sanionia* spp. possui poucas espécies associadas, em especial *Bryum archangelicum* e outras espécies muscícolas, como *Ochrolechia frigida* e *Cladonia* spp. e um pequeno número de tufos de *Polytrichastrum alpinum* e *Polytrichum juniperinum*. No topo do *felsenmeer* ocorrem associados às rochas espécies de líquens crustosos do gênero *Buellia* e fruticosos do gênero *Usnea*. A parte superior está bastante colonizada por líquen muscícola, destaque para a *Cladonia borealis* e *Cladonia metacoralifera*. Ocorrem rochas cobertas por *Acarospora macrocyclos*, *Buellia anisomera*, *Buellia russa*,

Buellia latemarginata, um pouco acima há a presença de *Caloplaca regalis* e *Caloplaca cinericola*, além de *Lecania brialmontii* e tufo de *Henediella heimii* intercalados em alguns pontos.

A fitossociologia aponta uma comunidade de carpete de musgo formada pela associação de *Sanionia uncinata* (IES=1486; F=36%; C=40,28%) e *Sanionia georgicouncinata* (IES=957,33; F=24%; C=38,89%). As espécies *Polytrichum juniperinum* (IES=112; F=12%; C=8,33%) e *Buellia anisomera* (IES=62,00; F=12%; C=4,17%) apresentam valores que correspondem à significância das mesmas para a comunidade (Tabela 9).

Tabela 9 – Espécies representativas de F7 – Comunidade Carpete de Musgo - Associação *Sanionia uncinata* – *Sanionia georgicouncinata*. Onde: IES = Índice de Significância Ecológica.

Espécie	Frequência (%)	Cobertura (%)	IES
<i>Sanionia uncinata</i>	36	40,28	1486
<i>Sanionia georgicouncinata</i>	24	38,89	957,33
<i>Polytrichum juniperinum</i>	12	8,33	112
<i>Buellia anisomera</i>	12	4,17	62,00
<i>Cladonia borealis</i>	4	4,17	20,67
<i>Acarospora macrocyclos</i>	4	1,39	9,56
<i>Andreaea gainii</i>	4	1,39	9,56
<i>Ochrolechia frigida</i>	4	1,39	9,56

3.8 Felsenmeers com ninhais ativos – Comunidade de Musgo/Líquen Fruticoso - Associação *Sanionia uncinata* – *Cladonia borealis*.

Nos *felsenmeers* com a presença ativa de aves (F1, F2, F3 e F6) a tabela de fitossociologia aponta Comunidade de Musgo/Líquen Fruticoso com associação entre as espécies *Sanionia uncinata* e *Cladonia borealis*. O musgo *Sanionia uncinata* (IES=773.25; F=21.8%; C=34.5%) possui o maior índice de significância e a maior porcentagem de cobertura desses *felsenmeers* (Tabela 10).

As espécies *Cladonia borealis* (IES=96.10; F=10.4%; C=8.3%), *Andreaea gainii* (IES= 67.27; F=7.3%; C=8.3%), *Ochrolechia frigida* (IES=51.61; F=7.3%; C=6.1%) apresentam valores significantes para a comunidade. O líquen *Rhizoplaca aspidophora* (IES=20.47; F=9.8%; C=1.1%) possui baixo valor para o índice, mas uma alta frequência na estrutura da comunidade de *felsenmeers* que apresentam nidificação.

Espécies nitrófilas como *Prasiola crispa* (IES=29.41; F=5.2%; C=4.7%) e *Acarospora macrocyclos* (IES=20.47; F=5.2%; C=4.0%) não apresentaram altos valores

para dar nome a comunidade, contudo, apresentam-se representativas para sua estrutura. O musgo *Polytrichastrum alpinum* (IES=34.40; F=5.7%; C=5.0%) apresenta frequência e cobertura similares às das espécies nitrólficas.

Tabela 10 – *Felsenmeers* que recebem influência de colonização de aves Comunidade de Musgo/Líquen Fruticoso – Associação *Sanionia uncinata – Cladonia borealis*. Onde: IES= Índice de Significância Ecológica.

Espécie	Frequência (%)	Cobertura (%)	IES
<i>Sanionia uncinata</i>	21.8	34.5	773.25
<i>Cladonia borealis</i>	10.4	8.3	96.10
<i>Andreaea gainii</i>	7.3	8.3	67.27
<i>Ochrolechia frigida</i>	7.3	6.1	51.61
<i>Buellia anisômera</i>	5.2	6.8	40.59
<i>Polytrichastrum alpinum</i>	5.7	5.0	34.40
<i>Prasiola crispa</i>	5.2	4.7	29.41
<i>Acarospora macrocyclos</i>	5.2	4.0	25.68
<i>Rhizoplaca aspidophora</i>	9.8	1.1	20.47
<i>Henediella heimii</i>	3.1	3.6	14.29
<i>Lecania brialmontii</i>	2.6	2.2	8.18
<i>Thyronectria hyperantarctica</i>	2.1	2.2	6.55
<i>Psoroma hypnorum</i>	1.6	2.9	6.03
<i>Cystocoleus niger</i>	1.6	1.8	4.35
<i>Physcia caesia</i>	1.6	1.4	3.79
<i>Verrucaria racovitzae</i>	1.6	1.1	3.23
<i>Bryum archangelicum</i>	1.0	1.4	2.53
<i>Stereocaulon glabrum</i>	1.0	0.7	1.78
<i>Stereocaulon sp.</i>	0.5	1.4	1.26
<i>Usnea antarctica</i>	0.5	0.7	0.89
<i>Buellia latemarginata</i>	0.5	0.4	0.70
<i>Henediella antarctica</i>	0.5	0.4	0.70
<i>Ochrolechia antarctica</i>	0.5	0.4	0.70
<i>Sanionia georgicuncinata</i>	0.5	0.4	0.70
<i>Verrucaria sp.</i>	0.5	0.4	0.70

3.9 *Felsenmeers* com ninhais inativos – Comunidade de Musgo/Líquen Fruticoso – Associação *Sanionia uncinata – Cladonia borealis*.

Nos *felsenmeers* em que os ninhais foram abandonados (F4, F5 e F7) identificou-se a Comunidade de Musgo/Líquen Fruticoso com associação entre as espécies *Sanionia uncinata* e *Cladonia borealis* (Tabela 11). A espécie *Sanionia uncinata* (IES= 625.96; F=21.17%; C=28.57%), se apresenta como a espécie mais representativa seguida pelas espécies muscícolas *Cladonia borealis* (IES=77.01; F=8.76%; C=7.79%), *Ochrolechia frigida* (IES=69.43; F=8.76%; C=6.93%).

As espécies *Buellia anisomera* (IES=53.22; F=8.03%; C=5.63%) e *Polytrichastrum alpinum* (IES=52.07; F=6.57%; C=6.93%) também apresentaram valores significativos para o índice. O musgo *Sanionia georgicouncinata* (IES=46.09; F=4.38%; C=9.52%) não apresenta um alto valor de índice, contudo, sua porcentagem de cobertura é representativa para esse ambiente de *felsenmeer*.

Tabela 11 – Afloramentos que possuem ninhais abandonados Comunidade de Musgo/Líquen Fruticoso – Associação *Sanionia uncinata* – *Cladonia borealis*. Onde: IES= Índice de Significância Ecológica.

Espécie	Frequência (%)	Cobertura (%)	IES
<i>Sanionia uncinata</i>	21.17	28.57	625.96
<i>Cladonia borealis</i>	8.76	7.79	77.01
<i>Ochrolechia frigida</i>	8.76	6.93	69.43
<i>Buellia anisomera</i>	8.03	5.63	53.22
<i>Polytrichastrum alpinum</i>	6.57	6.93	52.07
<i>Sanionia georgicouncinata</i>	4.38	9.52	46.09
<i>Henediella heimii</i>	6.57	5.63	43.54
<i>Chorisodontium aciphyllum</i>	5.84	5.19	36.17
<i>Andreaea gainii</i>	5.11	3.90	25.02
<i>Cystocoleus niger</i>	4.38	4.33	23.34
<i>Acarospora macrocyclos</i>	4.38	2.16	13.86
<i>Polytrichum juniperinum</i>	2.19	3.46	9.77
<i>Umbilicaria antarctica</i>	2.19	1.30	5.03
<i>Pannaria hookeri</i>	2.19	0.87	4.09
<i>Ochrolechia antarctica</i>	1.46	1.73	3.99
<i>Cladonia rangiferina</i>	1.46	1.30	3.36
<i>Pohlia drummondii</i>	1.46	1.30	3.36
<i>Himantormia lugubris</i>	1.46	0.87	2.72
<i>Psoroma hypnorum</i>	0.73	0.87	1.36
<i>Bryum archangelicum</i>	0.73	0.43	1.05
<i>Prasiola crispa</i>	0.73	0.43	1.05
<i>Stereocaulon glabrum</i>	0.73	0.43	1.05
<i>Verrucaria antarctica</i>	0.73	0.43	1.05

A diversidade do índice de Shannon (H') para os *felsenmeers* variou de 2,1 a 2,6 (F1, F3, F4 e F5) e entre 1,6 a 1,8 (F2, F6 e F7). Os valores encontrados são altos e aponta que F4 possui maior diversidade florística, seguido por F1 e F5. Para os ambientes ativos e inativos, o índice calculou $H'= 2,7$ indicando a mesma diversidade florística para os distintos ambientes.

Para o Índice de Equabilidade de Pielou (J) a variação foi de 0,8 (F2, F6 e F7) a 0,9 (F1, F3, F4 e F5). Os ambientes de *felsenmeer* com presença atual de ninhos apresentaram um índice 0,8 e o ambiente sem os ninhos 0,9 (Tabela 12). Os resultados

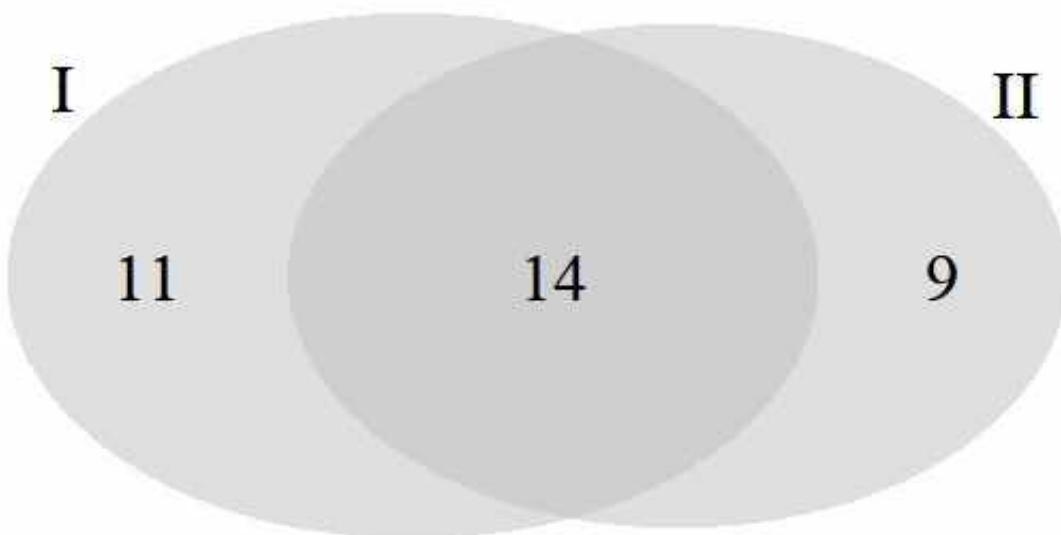
demostram, que os valores tendem a uniformidade máxima das espécies. Em F1 e F4 foi observada a maior riqueza de espécies.

Os ambientes com presença atual de ninhais (I) e com ninhais abandonados (II) apresentaram 14 espécies em comuns (Fig. 2). O musgo *Hennediella antarctica* e as espécies de líquen *Buellia latemarginata* e *Usnea antarctica* só foram encontradas no F1(ninal ativo). A espécie de líquen folhoso *Physcia caesia* foi encontrado somente em F3 (ninal ativo) e o musgo *Pohlia drummondii* apenas no F5 (ninal inativo).

Tabela 12 – Diversidade e equabilidade das espécies em cada um dos *felsenmeers* e nos diferentes ambientes. Onde: N = Número de espécies; H' = Índice de Diversidade de Shannon; J = Equabilidade de Pielou.

<i>Felsenmeer</i>	N	H'	J
1	17	2,5	0,9
2	7	1,6	0,8
3	15	2,5	0,9
4	17	2,6	0,9
5	11	2,1	0,9
6	9	1,8	0,8
7	8	1,7	0,8
Ativos	25	2,7	0,8
Inativos	23	2,7	0,9

Figura 2 – Diagrama de Venn para as espécies dos diferentes ambientes dos afloramentos. Onde: I = Felsenmeers com presença atual ninhais; II = Felsenmeers com ninhais abandonados.



4. Discussão

Todos os *felsenmeers* apresentaram acentuada porcentagem de cobertura vegetal. O recuo glacial eleva as temperaturas do solo, com aumento concomitante da disponibilidade de água na camada ativa e atividade microbiana, o que promove uma pedogênese e favorece o desenvolvimento da vegetação (CAMPBEL; CLARIDGE, 1987). As comunidades formadas por musgos foram identificadas em todos os *felsenmeers*, ocorrendo em locais secos, próximos ao mar e à geleira. Os líquens estão distribuídos em espécies crostosas, muscicolas, saxícolas e ornitocópofilas.

Em levantamentos da vegetação na ilha de Nelson, Schmitz *et al.* (2020) identificaram um número de espécies inferior ao relatado por Putzke *et al.* (1998), que registraram 33 espécies de briófitas. Em outro estudo, Putzke *et al.* (2015) apontaram 18 espécies de briófitas. Este estudo identificou nos *felsenmeers* da área norte da península de Harmony Point 12 espécies de briófitas, e 21 espécies de líquens. A composição das espécies foi semelhante com os outros estudos nos quais *Sanionia* é o gênero dominante.

Estudando a área sul de Harmony Point, Rodrigues *et al.* (2019) encontraram no topo dos *felsenmeers* solos ácidos com maiores concentrações de carbono total e cobertos por carpete de musgos. A localização dos ninhais está muitas vezes relacionada às formas do relevo, o que explica áreas com maiores variedades de cobertura vegetal (SANTOS, 2016). Em Harmony Point a deglaciação pode estar relacionada com a diversidade das espécies, tendo em vista que o rebaixamento da camada de gelo permite a ampliação de *nunataks* que normalmente são imediatamente colonizados por aves e pela vegetação.

Putzke *et al.* (1998) descrevem que para Rip Point, área livre de gelo do outro lado da Geleira de Nelson, ocorrem esparsas e pequenas colônias de aves. Foram identificadas nessa pesquisa duas comunidades semelhantes as encontradas pelos autores em Rip Point. A associação *S. Uncinata* e *Andreaea* ssp. ocorreu em lugares mais altos e misturada com líquens muscicolas como *Psorama hypnorum* e *Sterocaulon* sp., o mesmo padrão foi observado para F3.

Os altos valores na significância, frequência relativa e cobertura de *S. uncinata* apontam para uma estabilidade do solo presente em F2 o que possibilitou um crescimento robusto do tapete de musgo

No interior da península de Rip Point também em locais altos a associação *Polytrichastrum alpinum* e *Sanionia uncinata* está colonizada por líquens muscicolas como *Ochrolechia frigida* e *Cladonia* sp. e a espécie *Andreaea gainii* também está presente (PUTZKE *et al.* 1998). Esse padrão se repete em F4, contudo, ao contrário da

área vizinha, a espécie que apresenta maior dominância para a comunidade é *Sanionia uncinata*.

F5 possui a maior elevação da paisagem, seguido por F4, sendo estes circunvizinhos e adjacentes à geleira. Com o recuo da geleira de Nelson estes *felsenmeers* proporcionaram o início da colonização por aves, já que à medida que as condições para a vida se tornam mais adequadas, por exemplo, umidade suficiente, as comunidades de plantas podem se formar e o conteúdo orgânico do solo pode aumentar. Já o *felsenmeer* com a menor elevação se encontra junto ao mar de Drake.

O crescimento dos musgos e a estabilidade da paisagem tornam a paludificação uma processo ativo nos *felsenmeers*, com materiais hísticos em média mais de 48 cm de espessura (RODRIGUES *et al.*, 2019). A Antártica Marítima registra *Sanionia uncinata* e *Polytrichastrum alpinum* como espécies de musgos com maior abundância e biomassa (OCHYRA, 1998). A fitossociologia registrou *S. uncinata* formando vastos carpetes com altos índices de significância ecológica em todos os afloramentos e *P. alpinum* surge apenas nos *felsenmeers* que já não recebem material ornitogênico.

Rodrigues *et al.* (2019) identificaram na área sul, que abaixo dos ninhos de alguns *felsenmeers*, as superfícies rochosas são cobertas por *Umbilicaria* spp. e *Usnea* spp. associado a *Lecidea* spp. e *Buellia* spp. Em superfícies rochosas mais estáveis, outros líquens crustosos são comuns, particularmente *Rhizoplaca* spp., *Lecidea* spp., *Carbonea* spp. e *Buellia* spp., com ocorrência ocasional da espécie *Rhizocarpon geographicum* em locais sem a presença de guano. O levantamento florístico deste estudo reconhece a presença destas espécies nos *felsenmeers* da área norte de Harmony Point.

A espécie saxícola *Buellia anisomera*, ao que parece, é endêmica da região da Antártica Marítima (REDON, 1985). Esta ocorre em grande parte dos *felsenmeers*, apesar de não possuir valores representativos (Tabelas F1 – F5) e aparece como relevante no ambiente em que os ninhais estão desativados (IES=53,22). O musgo *Polytrichastrum alpinum* que pode ser encontrado próximo a colônias de aves (OCHYRA *et al.*, 2008) foi uma das espécies descritas apenas para o ambiente sem nidificação.

Sanionia uncinata é um musgo amplamente distribuído e muitas vezes uma das espécies mais comuns e abundantes das ilhas e arquipélagos antárticos (OCHYRA *et al.*, 2008). Nesse estudo, todas as comunidades apresentaram *Sanionia uncinata* como uma das espécies associadas, na sua maior parte, comunidades de Carpete de Musgo. Assim, grande parte dos *felsenmeers* apresentaram altos índices de significância ecológica para essa espécie (F2: IES=2528; F5: IES= 1084; F6: IES=1168,67; F7: IES=1486). Esses

valores representam o desenvolvimento e expansão dessa espécie o que pode indicar o tempo de estabilidade da paisagem após o recuo da geleira. O musgo *Sanionia uncinata* ocorre no habitat seco dos *felsenmeers*, associado com espécies de líquens e outras espécies de musgo, não sendo identificado apenas no topo dos *felsenmeers*.

A espécie *Cladonia borealis* presente na maior parte de associações das comunidades ocorre frequentemente acompanhada por *Andreaea gainii* e *Ochrolechia frigida* (OCHYRA *et al.*, 2008). O líquen *Ochrolechia frigida* cresce sobre musgos como *Sanionia uncinata* e *Andreaea* spp. (PUTZKE; PEREIRA, 2012) justificando essas associações ao longo dos *felsenmeers*.

Nos ecossistemas terrestres da Antártica, os líquens apresentam grande diversidade e ocorrem ao longo de todo o continente (CASANOVAS *et al.*, 2015). O líquen *Acarospora macrocyclos* com baixos valores de significância (F2: IES=10,15; F5: IES= 14,01; F6: IES=5,65; F7: IES=9,56) se mostra presente em todos os *felsenmeers*, o que pode ser explicado pela característica nitrófila dessa espécie. As colônias abandonadas por pinguins, devido ao soerguimento glacio-isostático, possuem abundância de nutrientes, maior teor de argila e revelam uma vegetação mais diversa (RODRIGUES *et al.*, 2019). O material ornitogênico está presente nos *felsenmeers*, contudo, os valores de significância das espécies ornitocórfitas se demonstraram baixos.

Os *felsenmeers* F5 e F6 apresentam formação de Comunidade de Musgo/Líquen Fruticoso – Associação *Sanionia uncinata* – *Cladonia borealis*, estão próximos e se diferenciam por apresentar paleoninal no primeiro e ninhal ativo no segundo. No F5, as espécies estão distribuídas entre musgos e líquens muscícolas, já F6 tem como principal espécie a *S. uncinata*, porém o maior número de espécies descritas são líquens ornitocórfilos.

Os ambientes diferenciados por ausência e presença atual de nidificação apresentaram a mesma comunidade vegetal formada pela associação *Sanionia uncinata* e *Cladonia borealis*. Essa comunidade também foi encontrada para F5 (ninhais inativos) e F6 (ninhais ativos), o que valida a representatividade dessas espécies para os ambientes. O ambiente com ninhais ativos aponta maiores valores de índice de significância (Tabela 8). A macroalga *Prasiola crispa* apresenta IES= 29.41 no ambiente ativo e IES= 1.05 no inativo evidenciando a condição de presença atual de aves para sua ocorrência.

Entende-se que em um ninhal ativo, o pisoteio constante e o excesso de nutrientes dificultam o estabelecimento da vegetação. Contudo, no entorno da área nidificada, e após

seu abandono, a macroalga *Prasiola crispa* dá início à sucessão da vegetação levando a uma uniformidade e diversidade de outras espécies (TATUR *et al.*, 1997; RAKUSA-SUSZCZEWSKI *et al.*, 1998; FERRARI, 2018).

A espécie *Prasiola crispa*, apresenta valores de índice para dar nome à comunidade de F1 (IES= 151). Entretanto, apesar de ocorrer próximo a áreas com nidificação, apresenta baixos valores para o índice; o que pode estar relacionado ao fato de o substrato não possuir alta incidência de ácido úrico e compostos nitrogenados, fundamentais para o estabelecimento dessa espécie (CARVALHO *et al.*, 2018). Ainda, a rocha exposta ao vento constante e o pisoteio provocado pelas colônias de aves podem ser um dos motivos que explicam os valores encontrados.

Os *felsenmeers* com ninhos abandonados apresentam forte cobertura vegetal e a presença da espécie *Prasiola crispa* demonstra ser significativa apenas no F1 (IES=151), uma área colonizada; já para os *felsenmeers* abandonados não se apresenta relevante. Isso é evidenciado na estrutura da fitossociologia dos ambientes em que o índice dessa espécie para as áreas inativas é de 1,05. O que pode apontar que a macroalga atua como uma espécie pioneira para o estabelecimento da vegetação.

Os solos ornitogênicos se diferenciam dos não ornitogênicos pelo pH ácido e baixa saturação por bases, altos teores de P, Al³⁺ trocável, carbono orgânico e N total. Os conteúdos de silte e argila são mais baixos e o horizonte A levemente profundo e rico em matéria orgânica (TATUR *et al.*, 1997; SIMAS *et al.*, 2007). Observou-se nos *felsenmeers* a presença simultânea de espécies como *Andreaea gainii*, *Usnea antarctica*, *Sanionia uncinata*, e de *Umbilicaria antarctica* e *Prasiola crispa*, espécies ornitocófilas. Dessa forma, a ocorrência de espécies tanto dependentes como não dependentes da ação ornitogênica, anuncia uma grande complexidade na escala dos *felsenmeers*.

As espécies em comum para os *felsenmeers* com nidificação ativa e inativa estão divididas em seis espécies de musgo, sete de líquens e a única espécie de macroalga, todas tolerantes ao guano. Para as espécies comuns no ambiente com a presença atual de ninhais a maioria é de líquens *Lecania brialmontii*, *Usnea antarctica* e *Physcia caesia*, e o fungo parasita *Thyronectria hyperantarctica* e podem estar relacionadas a atividade das aves. Foram observadas cinco espécies de musgos restritas para o ambiente em que os ninhais foram abandonados: *Pohlia drummondii*, *Chorisodontium aciphyllum*, *Himantormia*

lugubris, *Polytrichastrum alpinum* e *Polytrichum juniperinum* e podem ser espécies que caracterizem um estágio mais avançado de sucessão vegetal (Fig. A.8).

Putzke *et al.*, 2015 encontraram para a ilha de Nelson um índice de Shannon $H' = 2.8$, evidenciando uma diversidade moderada. Analisando os índices de diversidade para os *felsenmeers* de Harmony Point, a Comunidade Carpete de Musgo de F4 é a mais diversificada por apresentar maior índice de Shannon (H') e maior equabilidade (J). O ambiente em que os ninhais foram abandonados se mostra o mais diversificado, mesmo com menor número de espécies, demonstrando ser uma comunidade mais estável. A alta equabilidade observada nas comunidades pode indicar que há uma equivalência entre as abundâncias das espécies.

Em Harmony Point a vegetação é composta por uma variedade de comunidades semelhantes as da Ilha Rei George (VICTORIA; PEREIRA, 2007). A vegetação se estabelece em locais que prevalecem fatores ambientais favoráveis. Esses fatores incluem status de umidade satisfatório, temperaturas adequadas, solo com textura fina, valores de pH neutro e de nutrientes dos excrementos de aves (CAMPBELL; CLARIDGE, 1987).

5. Conclusão

- O soerguimento glacio-isostático juntamente com a estabilidade da paisagem e a nidificação dos *felsenmeers* favorecem o desenvolvimento e diversidade das espécies de líquens e musgos.
- A colonização de aves é base para o surgimento e estabelecimento da vegetação, bem como a diversidade de espécies na área.
- As comunidades diferenciaram-se apesar de formadas em sua maioria por carpetes de musgos. Grande parte das espécies encontradas no levantamento fitossociológico foi de líquens, que são os primeiros colonizadores das rochas, mas que nos *felsenmeers* formam associações muscícolas.
- Os ambientes diferenciados por ausência e presença atual de nidificação apresentaram a mesma comunidade vegetal. Ocorrem espécies específicas para cada um desses ambientes, no entorno da área nidificada, e após seu abandono, são criadas condições ambientais que favorecem a uniformidade e diversidade das espécies vegetais.

REFERÊNCIAS

- BJÖRCK, S.; HAKANSSON, H.; ZALE, R.; KARLEN, W.; JONSSON, B. L. A late holocene lake sediment sequence from livingston Island, south shetland Islands, with palaeoclimatic implications. *Antarct.* v. 3, 61-72 p. 1991. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1017/s095410209100010x> . Acesso em: 3 jun. 2019.
- BJÖRCK, S.; HIORT, C.; INGOLFSSON, O.; ZALE, R.; ISING, J. Holocene deglaciation chronology from lake sediments. In: LÓPEZ-MARTÍNEZ, J., THOMSON, M. R. A.; THOMSON, J. (ed.) **Geomorphological Map of Byers Peninsula, Livingston Island, BAS Geomap Series, Sheet 5A**. Cambridge: British Antarctic Survey, 1996. p. 49–51.
- BRAUN-BLANQUET, J. **Plant sociology**: the study of plant communities. New York: McGraw-Hill, 1932. 439 p.
- CAMPBELL, I. B.; CLARIDGE, G. G. C. **Antarctica**: soils, weathering processes and environment. Amsterdam: Elsevier, 1987. 368 p.
- CARVALHO, E. L. MACIEL, L. F. MACEDO P. E. DEZORDI, F. Z. ABREU, M. E. T. VICTÓRIA, F. C. PEREIRA, A. B. BOLDO, J. T. WALLAU, G. L. PINTO, P. M. De novo Assembly and Annotation of the Antarctic Alga *Prasiola crispa* Transcriptome. *Frontiers in Molecular Biosciences*, [s. l.], v. 4, p. 1–5, jan. 2018. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmolb.2017.00089> . Acesso em: 2 set. 2019.
- CASANOVAS, P.; BLACK, M.; FRETWELL, P.; CONVEY, P. Mapping lichen distribution on the Antarctic Peninsula using remote sensing, lichen spectra and photographic documentation by citizen scientists. *Polar Res*, v. 34, p. 1-8, 2015. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.3402/polar.v34.25633> . Acesso em: jul. 2019.
- EVERETT, K. R. A survey of the soils in the region of the South Shetland Islands and adjacent part of the Antarctic Peninsula - Ohio State. Univ. *Ins. Polar*, v. 58, p. 1- 44, 1976.
- FERRARI, F. R. **Relações Solo-Vegetação e implicações ambientais em topossequência na Ilha Rei George, Antártica Marítima**. 2018. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Biologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2018.
- FRANCELINO, M. R.; SCHAEFER, C. E. R. G.; FERNANDES FILHO, E. I.; PEREIRA, A. B.; SÁ, M. M. F. Relação entre geoforma e a cobertura vegetal: um estudo de caso na peninsula keller, Ilha Rei George, Antarctica. In: SIMPOSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 4., 2006, Goiania. *Anais* [...] Goiania: [s.n.], 2006, p. 1–7.
- LARA, F.; MAZIMPAKA, V. **Succession of epiphytic bryophytes in a *Quercus pyrenaica* forest Francisco Lara and Vicente Mazimpaka Study área As phorophyte characteristics and epiphyte interactions are both climate-dependent**. [S. l.:s.n.], 1998. p. 125–138.

LONGTON, R. E. **Biology of polar bryophytes and lichens.** Cambridge: Cambridge University Press, 1988. 391 p. 1988.

MICHEL, R. F. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; DIAS, L.; SIMAS, F. N. B.; BENITES, V.; MENDONÇA, E. S. Ornithogenic Gelisols (Cryosols) from Maritime Antarctica: pedogenesis, vegetation and carbon studies. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 70, p. 1370-1376, 2006. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0178> . Acesso em: 23 jul. 2019.

MOURA, P. A. Solos Criogênicos da Porção Norte da Península Byers, Ilha Livingston, Antártica Marítima: Contribuições ao Monitoramento Ambiental. 2010. 153 f. Dissertação (Mestrado). Ciências Ambientais e Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2010.

OCHYRA, R. **The moss flora of King George Island Antarctica.** Cracow: Polish Academy of Sciences, 1998. 279 p.

OCHYRA, R.; LEWIS SMITH, R. I.; BEDNAREK-OCHYRA, H. **The illustrated moss flora of Antarctica.** Cambridge: Cambridge University Press, 2008. 685 p.

OLECH, M., 2004. **Lichens of King George Island Antarctica.** The Intitute of Botany of the Jagiellonian University, Cracow: p. 391.

OVSTEDAL, D. O.; LEWIS SMITH, R. I. Additions and corrections to the lichens of Antarctica and South Georgia. **Cryptogamie Mycologie**, v. 25, p. 323- 331, 2001.

PUTZKE, J.; PEREIRA, A. B.; PUTZKE, M. L. 1998. Moss communities of Rip Point in northern Nelson Island, South Shetlands Islands, Antarctica. **Pes. Ant. Bras.**, v. 3, p. 103-115. 1998.

PUTZKE, J. & PEREIRA, A. B. 2001. **The Antarctic Mosses With Special Reference to the South Shetlands Islands.** 1^aed. Editora da Ulbra, p. 196.

PUTZKE, J.; PEREIRA, A. B. Fungos muscícolas na Ilha Elefante – Antártica. **Caderno de Pesquisa**, v. 24, n. 1. p. 155-164, 2012.

PUTZKE, J.; ATHANÁSIO, C. G.; ALBURQUERQUE, M. P.; VICTORIA, F. C.; PEREIRA, A. B. Comparative study of mosses diversity in South Shetland Islands and in the Antarctic Peninsula. **Ver. Chil. Hist. Nat.** v. 88, p. 1-6, 2015.

RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. (ed.). **The maritime Antarctic coastal ecosystem of Admiralty Bay.** Warsaw: Polish Academy of Science, 1993.

RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S.; JAŻDŻEWSKI, K.; MYRCHA, A.; OLECH, M. Biological and ecological studies carried out at the Polish Antarctic Station Henryk Arctowski, 1977-1997. **Polish Polar Research**, v. 19, n. 1-2, p. 37-60, 1998.

REDON, J. **Liquenes antarticos.** Santiago: Instituto Antártico Chileno, 1985.

RODRIGUES, W. F.; OLIVEIRA, F. S.; SCHAEFER, C. E.G.R.; LEITE, M. G. P. GAUZZI, T.; BOCKHEIM, J. G.; PUTZKE, J. Geomorphology Soil-landscape interplays at Harmony Point, Nelson Island , Maritime Antarctica : Chemistry , mineralogy and classification. **Geomorphology**, v. 336, p. 77–94, 2019. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.03.030> . Acesso em: 3 fev. 2020.

SANTOS, E. C. **Uso de sensoriamento remoto para estudo da biogeografia de Harmony Point – Ilha Nelson – Antártica Marítima.** 73 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre,RS, 2016.

SCHMITZ, D. **Comunidades Vegetais de área de degelo da Ilha Half Moon, Arquipélago das Shetlands do Sul.** Dissertação (Mestrado) - Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pampa, São Gabriel,RS, 2015.

SCHMITZ, D.; SCHAEFER, C. E. G. R.; PUTZKE, J.; FRANCELINO, M. R.; FERRARI, F. R.; CORRÊA, G. R.; VILLA, P. M. How does the pedoenvironmental gradient shape non-vascular species assemblages and community structures in Maritime Antarctica? **Ecological Indicators**, v. 108, p. 1-14, 2020. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105726> . Acesso em: 2 fev. 2020.

SIMAS, F. N. B.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MELO, V. F., ALBUQUERQUE-FILHO, M. R.; MICHEL, R. F. M.; PEREIRA, V. V.; GOMES, M. R. R.; COSTA, L. M. Ornithogenic cryosols from Maritime Antarctica: phosphatization as a soil forming process, **Geoderma**, v.138, n. 3-4, p. 191–203, 2007. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.11.011> . Acesso em: 2 fev. 2020.

SMELLIE, J. L.; PANKHURST, R. J.; THOMSON, M. R. A.; DAVIES, R. E. S. **The geology of the South Shetland Islands:** VI stratigraphy, geochemistry and evolution. Cambridge: British Antarctic Survey, 1984.

TATUR, A.; MYRCHA, A.; NIEGODZISZ, J. Formation of abandoned penguin rookery ecosystems in the maritime Antarctic. **Polar Biology**, v. 17, p. 405-417, 1997. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s003000050135> . Acesso em: 4 sep. 2019.

THOMAZINI, A.; FRANCELINO, M. R.; PEREIRA, A. B.; SCHÜNEMANN, A. L.; MENDONÇA, E. S.; SCHAEFER, C. E. G. R. 2018. The spatial variability structure of soil attributes using a detailed sampling grid in a typical periglacial area of Maritime Antarctica. **Environ. Earth Sci.** v. 77, n. 18, p. 1-15, 2018. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7818-3> . Acesso em: 15 dez. 2019.

VICTORIA, F. C.; PEREIRA, A. B. Índice de valor ecológico (IES) como ferramenta para estudos fitossociológicos e conservação das espécies de musgos na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica Marítima. **Oecologia Brasiliensis**, v. 11, n. 1, p. 50–55, 2007. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.4257/oeco.2007.1101.06> . Acesso em: 20 abr. 2019.

Apêndice A: Dados Suplementares

Tabela A.1 - Relação de espécies por área registradas na fitossociologia ao longo dos afloramentos. Onde: Área = Felseenmers.

Espécie	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5	Área 6	Área 7
<i>Acarospora macrocyclos</i>	x	x	x	x	x	x	x
<i>Andreaea gainii</i>	x		x	x		x	x
<i>Bryum archangelicum</i>			x		x		
<i>Buellia anisomera</i>	x		x		x	x	x
<i>Buellia latemarginata</i>	x						
<i>Chorisodontium aciphyllum</i>				x	x		
<i>Cladonia borealis</i>	x		x	x	x	x	x
<i>Cladonia rangiferina</i>				x			
<i>Cystocoleus niger</i>				x	x	x	
<i>Hennediella heimii</i>	x		x	x	x		
<i>Hennediella antarctica</i>	x						
<i>Himantormia lugubris</i>				x			
<i>Lecania brialmontii</i>	x		x				
<i>Ochrolechia antarctica</i>			x	x			
<i>Ochrolechia frigida</i>	x		x	x	x	x	x
<i>Pannaria hookeri</i>				x			
<i>Physcia caesia</i>			x				
<i>Pohlia drummondii</i>					x		
<i>Polytrichastrum alpinum</i>	x		x	x		x	
<i>Polytrichum juniperinum</i>							x
<i>Prasiola crispa</i>	x				x		
<i>Psoroma cinnamomeum</i>	x						
<i>Psoroma hypnorum</i>	x		x	x			
<i>Rhizoplaca aspidophora</i>	x		x				x
<i>Sanionia georgicounicinata</i>		x					x
<i>Sanionia uncinata</i>	x	x	x	x	x	x	x
<i>Stereocaulon glabrum</i>	x		x	x			
<i>Stereocaulon</i> sp.		x					
<i>Thryonectria hyperantarctica</i>		x					
<i>Umbilicaria antarctica</i>				x			
<i>Usnea antarctica</i>	x				x		
<i>Verrucaria antarctica</i>				x			
<i>Verrucaria racovitzae</i>		x					
<i>Verrucaria</i> sp.		x					

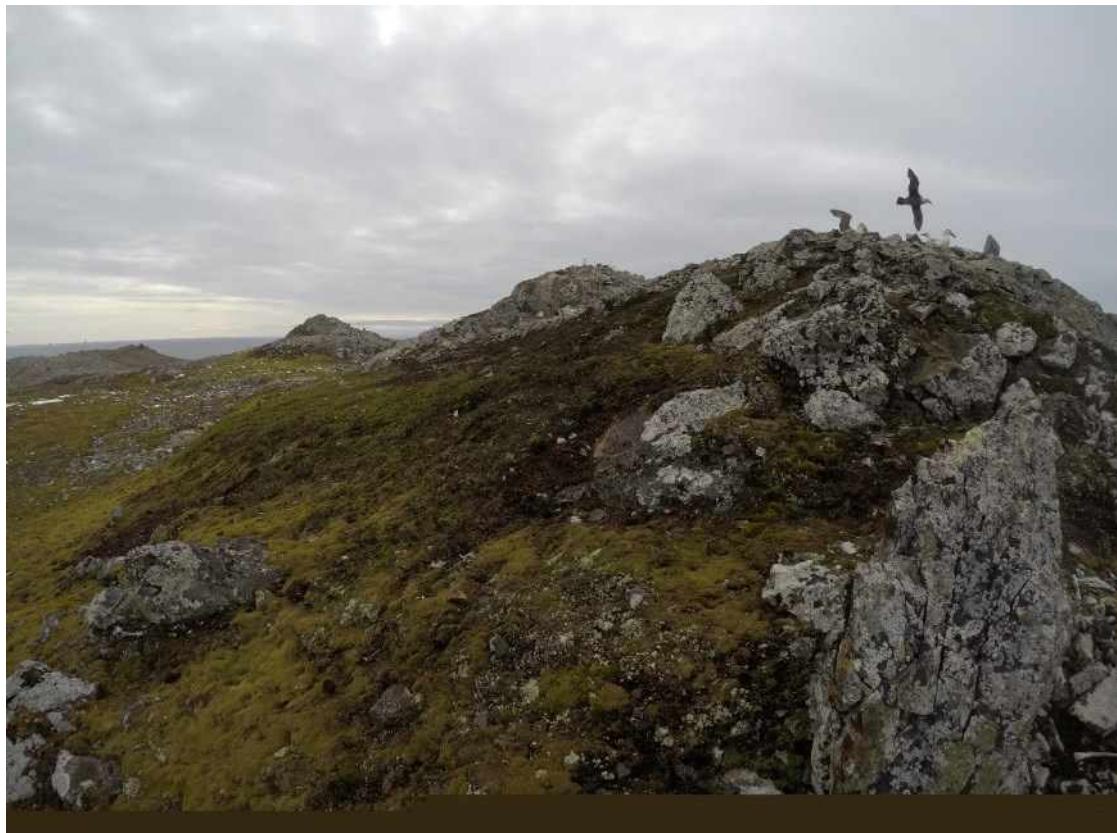


Figura A.1 -Felsenmeer F1 com Comunidade de Carpete de Musgo e a presença de ninhais de petrel gigante



Figura A.2 – Felsenmeer F2 com Comunidade Carpete de Musgo localizado em um penhasco próximo ao mar de Drake.



Figura A.3 – Felsenmeer F3 com Comunidade Carpete de Musgo as rochas maiores estão recobertas pelas espécies de líquens *Buellia anisomera* e *Acarospora macrocyclos*.



Figura 3 – Felsenmeer F4 com Comunidade Carpete de Musgo próximo a geleira.



Figura A.4 – Felsenmeers F5 com tapete de *Sanionia uncinata* próximo ao topo.

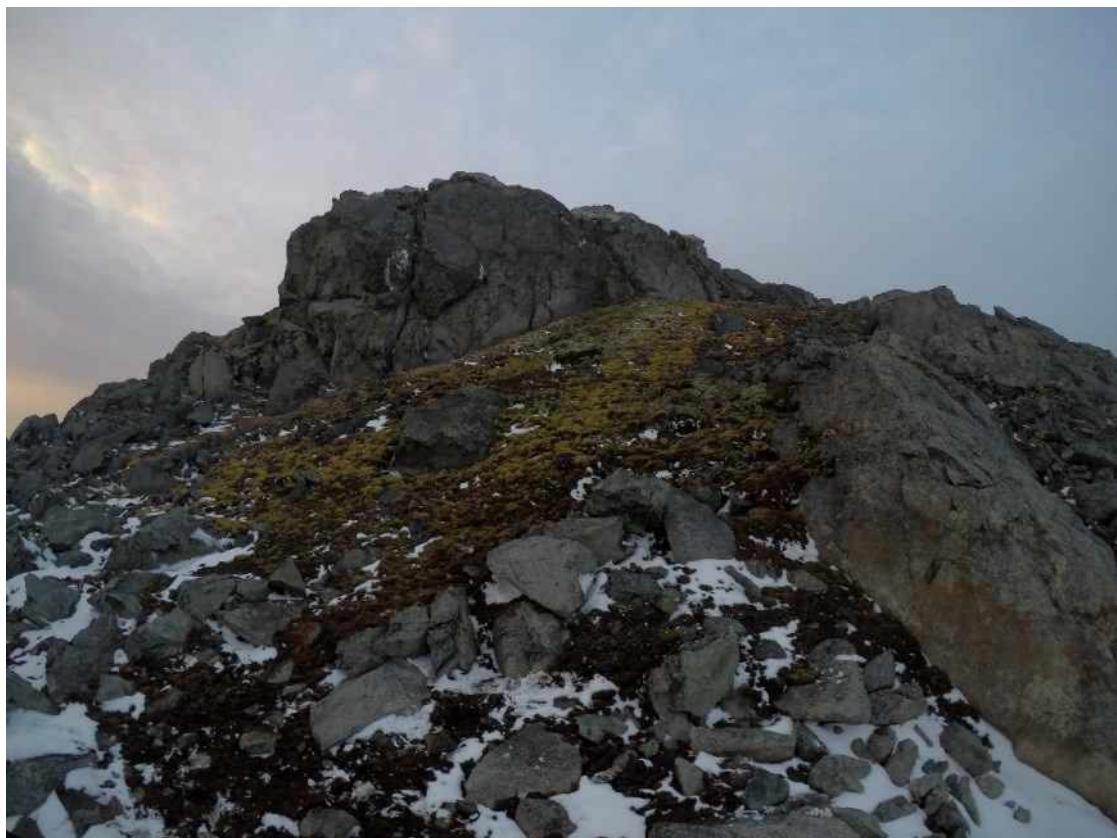


Figura A.5 – Felsenmeer F6 com Comunidade de Musgo/Líquen Fruticoso próximo a geleira.



Figura A.6 – Felsenmeer F7 com comunidade de Carpete de Musgo próximo ao mar de Drake.

CAPÍTULO 2

INTERAÇÃO SOLO-VEGETAÇÃO EM *FELSENMEERS* – HARMONY POINT, ANTÁRTICA.

RESUMO

Souza, Isabel Paula, M.Sc., Universidade Federal de Uberlândia, fevereiro de 2020. **Interação Solo-Vegetação em *Felsenmeers* – Harmony Point, Ilha Nelson.** Orientador: Guilherme Resende Corrêa.

A vegetação antártica, formada por líquens e musgos, restringe-se as áreas livres de gelo, afetada fortemente pelo isolamento geográfico e condições climáticas. A formação dos solos é favorecida pela influência da zona climática no status hídrico e diferenças morfoclimáticas. Este estudo teve como objetivo analisar a composição e a riqueza das espécies vegetais a partir do solo de *felsenmeers* situados na área norte da península Harmony Point, Ilha Nelson, Antártica Marítima. Os dados de amostras de solo com profundidade de 0-10 cm e da fitossociologia de 74 parcelas foram utilizados para examinar do efeito da textura e da química do solo, na riqueza e composição de espécies nos *felsenmeers*. Os resultados revelam que a cobertura vegetal, se mostra mais significativa na riqueza das espécies, e juntamente com a textura do solo demonstraram ser um valioso determinante da composição das espécies. A filtragem pedoambiental aparentemente não teve efeito sobre a riqueza de espécies, mas determinou diferenças na composição das mesmas. Assim, este estudo revelou que a heterogeneidade dos *felsenmeers* contribuiu para associações de espécies. Os teores de P e Ca²⁺ em *felsenmeers* com nidificação atual e pretérita de pinguins indicam que o tamanho das colônias formadas pelas espécies de aves irá interferir no aporte de guano para o *felsenmeer*, e consequentemente, na colonização de diferentes espécies vegetais.

Palavras-chave: Ornitogênese, Felsenmmsers, Vegetação Antártica

ABSTRACT

Souza, Isabel Paula, M.Sc., Universidade Federal de Uberlândia, February, 2020. **Soil-Vegetation Interaction in *Felsenmeers* - Harmony Point, Nelson Island.** Adviser: Guilherme Resende Corrêa.

Antarctic vegetation, formed by lichens and mosses, is restricted to ice-free areas, strongly affected by geographic isolation and climatic conditions. Soil formation is favored by the influence of the climatic zone on water status and morphoclimatic differences. This study aimed to analyze the composition and richness of plant species from a felsenmeers located in the northern area of the Harmony Point peninsula, Nelson Island, Antarctic Maritime. The data from soil samples with a depth of 0-10 cm and the phytosociology of 74 plots were used to examine the effect of vegetation cover, texture and soil chemistry, on the richness and composition of species in felsenmeers. The results reveal that the vegetation cover, shows more significant in the species richness, and together with the soil texture it proved to be a valuable predictor of the species composition. Pedoenvironmental filtration apparently had no effect on species richness, but determined differences in species composition. Thus, this study revealed that the heterogeneity of the felsenmeers contributed to species associations. The levels of P and Ca^{2+} in felsenmeers with current and past nesting carried out by penguin species, indicates that the size of the colonies formed by the bird species will interfere with the supply of guano to the felsenmeers.

Keyword: Ornithogenesis, Felsenmeers, Antarctic vegetation

1. Introdução

Na Antártica Marítima o recuo recente dos glaciares, promove a exposição de áreas e soerguimento glacio isostático, proporcionando ambientes singulares para o estudo da colonização vegetal e sua relação com processos pedogenéticos, sob condições extremas de frio (FARIA, 2010). Um exemplo desses ambientes são os *felsenmeers* que compõem áreas de afloramentos rochosos, constituídos principalmente por rochas vulcânicas basálticas, fragmentados por crioclastia (fratura na rocha formados pela contribuição de ciclos de congelamento e descongelamento da água).

A umidade da Antártica Marítima é determinada pela variabilidade da precipitação e do degelo, que também influenciam diferentes processos do solo (MICHEL *et al.*, 2012). Essa região, recebe maior radiação solar, pois há mais horas de luz, e as temperaturas são mais altas também devido à proximidade do mar (CAMPBEL; CLARIDGE, 1987). Os solos são diferentes da maioria das outras partes da Antártica, na medida em que são mais úmidos, mostram grau de pedogênese mais avançado e sustentam as comunidades vegetais (VICTORIA *et al.*, 2013; BENAVENT-GONZÁLEZ *et al.*, 2018). O solo exposto pode permanecer quente e úmido o suficiente para que as plantas cresçam em situações protegidas (CAMPBEL; CLARIDGE, 1987). Ao longo do ano, essa região sofre mudanças sazonais, apresentando um curto período de degelo e um período de inverno intenso (FRENCH, 2007; MICHEL *et al.* 2012). Assim, os ambientes da Antártica Marítima são dominados pela dinâmica periglacial, extremamente sensível aos impactos das mudanças climáticas (CANNONE *et al.*, 2012; THOMAZINI *et al.*, 2018). Essa região demonstra ser prioritária para o monitoramento das mudanças climáticas, avaliando seus impactos sobre indicadores ecológicos, como por exemplo, a diversidade biológica (AMESBURY *et al.*, 2017).

Os ambientes antárticos são susceptíveis a variações, em situação hostil, os organismos são capazes de se adaptar a microambientes favoráveis, tornando o padrão biológico dos solos antárticos relativamente complexo (CAMPBEL; CLARIDGE, 1987). A presença dos ninhais tem possibilitado o desenvolvimento dos solos ornitogênicos, localmente muito ricos em fosfatos (SIMAS *et al.*, 2006). O acúmulo dos dejetos das aves favorece o surgimento de áreas ornitogênicas em que se desenvolvem solos ricos em material orgânico (guano, urina, penas, casca de ovos, restos animais/vegetais e conchas) (MICHEL *et al.*, 2006; SIMAS *et al.*, 2007; SCHAEFER *et al.*, 2008).

Nas áreas livres de gelo da Antártica Marítima os ninhos abandonados se encontram na maioria das vezes já colonizados por algum tipo de cobertura vegetal

(SANTOS, 2016). Para a compreensão da distribuição espacial das coberturas vegetais, o entendimento do material ornitogênico relacionado ao solo é fundamental, já que o desenvolvimento da vegetação nesse ambiente é relacionado a características edáficas (SANTOS, 2016; SCHMITZ *et al.* 2018). Fatores climáticos tais como a temperatura, cobertura de neve, ventos, insolação, disponibilidade de água e a presença de atividade animal também influenciam o crescimento e a distribuição espacial das plantas na Antártica (ALBERDI *et al.*, 2002; FRANCELINO *et al.*, 2006). A associação de espécies vegetais pode ser conduzida por diferentes processos em diferentes escalas espaciais, selecionando um conjunto de espécies em determinado habitat, através de uma filtragem ambiental (KRAFT; ACKERLY, 2010; SCHMITZ *et al.* 2020). Por exemplo, nas áreas livres de gelo na região de Arctowski, em locais próximos a atuais colônias de pinguins e linhas de drenagem, espécies de musgos como *Sanionia uncinata* (Hedw.) Loeske e *Polytrichastrum alpinum* (Hedw.) G.L.Sm., e a gramínea *Deschampsia antarctica* (Desvaux) apresentaram valores de diversidade e riqueza menores comparados com áreas mais secas e sem colônias ativas (VICTORIA *et al.*, 2009; SCHMITZ *et al.* 2018; 2020). Locais com nidificação, proporcionam o crescimento de espécies tolerantes ao aporte concentrado de guano, denominadas espécies ornitocoprófilas, como a macroalga *Prasiola crispa* (Lightfoot) Kützing (LONGTON, 1988; SIMAS *et al.*, 2003). Dessa forma, a distribuição das comunidades de espécies avasculares pode estar correlacionada a condições pedoambientais.

Este estudo teve como objetivo verificar em fina escala, o efeito do solo na organização da comunidade ambiental dos *felsenmeers* da área norte da península de Harmony Point. Para tanto, levantou-se os seguintes questionamentos: a partir das associações das espécies é possível detalhar suas inter-relações com os atributos químicos e físicos do solo? A nidificação atual e pretérita dos *felsenmeers* influencia nas inter-relações?

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de estudo

No verão austral de 2018/19 realizou-se o trabalho de campo na península de Harmony Point ($62^{\circ} 18'S$ e $59^{\circ} 12'W$), localizada na Ilha Nelson, situada no arquipélago de Shetland do Sul (Fig. 1). As áreas livres de gelo das ilhas Shetlands do Sul são formadas por terrenos jovens, de exposição holocênica, e drenados por canais intermitentes (BOCKHEIM, 1995). A península está estabelecida na área vulcânica mais

recente da Antártica e sua geologia é principalmente composta por rochas que variam de basaltos a andesitos, além de tufos vulcânicos.

A região apresenta invernos longos e verões curtos, com climas mais quentes e úmidos, em relação a Antártica continental. O solo apresenta maior umidade relativa, com uma camada ativa profunda e *permafrost* descontínuo (HAUCK *et al.*, 2007). O curto período de verão manifesta temperatura média de 0 °C e, no inverno, varia de -10 a -12 °C (OCHYRA *et al.*, 2008). Em Harmony Point, a deglaciação do Holoceno e a exposição da parte superior das plataformas ainda não foram datadas; a península de Fildes, circunvizinha a área de estudo, apresenta datação que varia de 9,7 a 6,2 ka, e deve ser considerada como a idade mínima (RODRIGUES *et al.*, 2019).

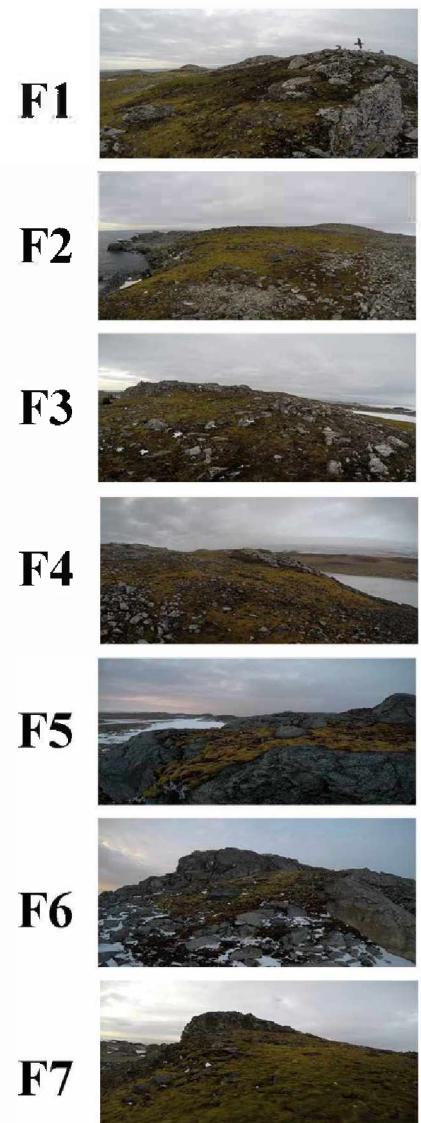
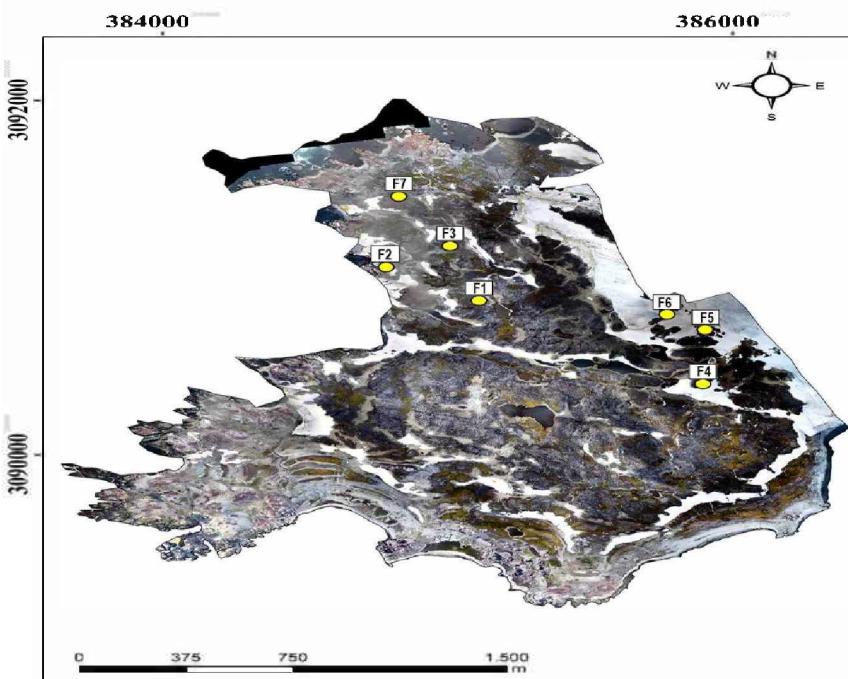
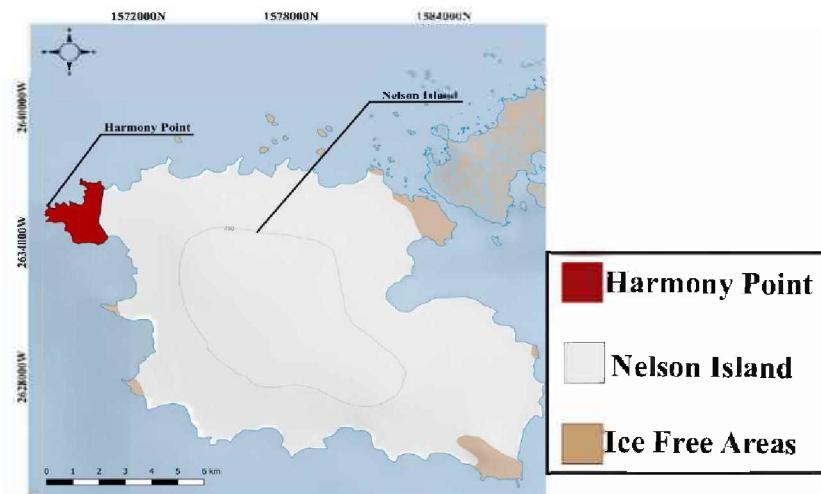
Resultantes do processo de deglaciação e do soerguimento glacio-isostático, os *felsenmeers* analisados são compostos por afloramentos rochosos localizados entre dois níveis de terraços marinhos soerguidos, seguidos de dois níveis de áreas de crioplanação. Os ninhais encontrados nos *felsenmeers* atuam para um maior desenvolvimento dos solos e, consequentemente, para o estabelecimento da cobertura vegetal (SANTOS, 2016).

Foram selecionados sete *felsenmeers* na parte norte de Harmony Point, próximos ao mar de Drake (F2 e F7), no interior da península (F1 e F3) e próximos ao glaciar de Nelson (F4, F5 e F6). O delineamento amostral abrangeu *felsenmeers* que apresentaram a atividade das aves e sua interação com os ninhos (F1 – F3 e F6), e evidências de abandono (F4, F5 e F7), como a ausência das aves e a ocorrência de pedriscos (típicos em ninhais) abaixo da vegetação (Fig.1).

2.2 Levantamento das propriedades do solo

Os locais amostrados foram selecionados próximos a Geleira de Nelson, no interior da península e adjacentes ao mar, representando a porção norte da península (Fig. 1; Tabela 1; Fig. B.1-B.7). Foram escolhidos *felsenmeers* na área norte da península a fim de compor um gradiente ambiental. O delineamento procurou incluir áreas com nidificação ativa e inativa por aves marinhas como *Macronectes giganteus* (Gmelin, 1789) (petrel gigante) e *Pygoscelis* ssp. (pinguim) (Tabela 1). Para tanto, fez-se a identificação das espécies em campo por meio de parcelas, juntamente com coletas de solo, em diferentes *felsenmeers*.

Harmony Point Felsenmeers F1



Felsenmeers

Source of data: MATSUOKA, K.; SKOGLUND, A.; DESCHWANDEN, A. V. 2013. PUTZKE, J. 2019. SOUZA, I. P. 2019
 Geodetic datum: WGS 1984
 Projection: Universal Transverse Mercator
 Elaboration: SILVA, R.C. 2019

Figura 1 – Localização dos *Felsenmeers* em Harmony Point.

Tabela 1. Áreas amostradas, com as respectivas comunidades vegetais e características abióticas.

Felsenmeer	Ninhais	Elevação (m)	Coordenadas Geográficas	Relevo	Geologia	Vegetação
F1	Ativo	44	59.21531°S - 62.29606°W	Forte ondulado	Basalto andesítico (Tálu rochoso)	Comunidade Carpete de Musgo/Macroalga - Associação <i>Sanionia – Prasiola</i>
F2	Ativo	30	59.22145°S 62.29427°W	Suave ondulado	Basalto andesítico cristalino	Comunidade Carpete de Musgo - Associação <i>Sanionia – Thryonectria</i>
F3	Ativo	39	59.21712°S 62.29327°W	Ondulado	Basalto	Comunidade Carpete de Musgo - Associação <i>Sanionia – Andreaea</i>
F4	Inativo	59	59.20050°S 62.30051°W	Suave ondulado	Basalto andesítico	Comunidade Carpete de Musgo - Associação <i>Sanionia – Polytrichastrum</i>
F5	Inativo	61	59.20015°S 62.29778°W	Suave ondulado	Basalto andesítico	Comunidade de Musgo/Líquen Fruticoso - Associação <i>Sanionia – Cladonia</i>
F6	Ativo	56	59.20266°S 62.29696°W	Montanhoso	Basalto andesítico	Comunidade de Musgo/Líquen Fruticoso - Associação <i>Sanionia – Cladonia</i>
F7	Inativo	22	59.22034°S 62.29071°W	Montanhoso	Dique de basalto	Comunidade Carpete de Musgo - Associação <i>Sanionia uncinata – Sanionia georgicuncinata.</i>

Para caracterizar as propriedades do solo foram realizadas coletas de 0-10 cm de profundidade da superfície, cerca de 10 amostras em cada sítio estudado. As análises do solo foram realizadas de acordo com os métodos descritos por Embrapa, 2017. Os seguintes parâmetros foram avaliados: fósforo (P), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), sódio (Na^+), magnésio (Mg^{2+}), alumínio (Al^{3+}); micronutrientes: ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn), zinco (Zn); acidez trocável (H + Al), pH (H_2O), matéria orgânica (MO), soma de base trocáveis (SB), capacidade efetiva de troca catiônica (t), capacidade total de troca catiônica (T), fósforo remanescente (P-Rem), saturação de bases (V), saturação por alumínio (m), saturação por sódio (ISNa) e a textura do solo: areia grossa (course_sand), areia fina (fine_sand), argila (clay), silte (silt) e a porcentagem de calhaus e cascalhos (stone).

2.3 Levantamento da vegetação

O levantamento da vegetação, assim como nas coletas de solo, foi realizado a partir de parcelas no nível inferior até o terço superior dos *felsenmeers*, através do método fitossociológico de Braun-Blanquet (1932). Os dados da vegetação foram levantados a partir do Índice de Significância Ecológica (IES) que combina os parâmetros de cobertura (C) e frequência (F) descritos como $IES = F (1 + C)$, determinando a importância das espécies na área estudada (LARA; MAZIMPAKA, 1998; VICTORIA; PEREIRA, 2007).

Empregou-se análises de rarefação para avaliar a variação da riqueza em função do solo, e o escalonamento multidimensional não métrico (NMDS) para ordenar, agrupar e identificar possíveis diferenças entre as comunidades vegetais dos *felsenmeers*. As curvas de rarefação e extração foram estimadas para o cálculo da curva de acumulação de espécies baseadas no primeiro número de Hill (CHAO *et al.*, 2014; SHIMTZ *et al.*, 2020). Extrações foram feitas com base na presença/ausência de espécies nos dados da parcela usando número de Hill ordem 0 (COLWELL *et al.*, 2012; SHIMTZ *et al.*, 2020), com o objetivo de avaliar a suficiência de amostragem em cada *felsenmeer*.

2.4 Análise dos dados

Utilizou-se a análise de componentes principais (PCA) para verificar a ocorrência de um gradiente edáfico entre os *felsenmeers* (VILLA *et al.*, 2018; Schmitz *et al.* 2020); todas as variáveis foram padronizadas. Foram calculadas correlações de Pearson entre as propriedades do solo. Para investigar uma eventual correlação entre o solo e as espécies vegetais, efetuou-se uma análise de correspondência canônica (CCA). A CCA expressa a

variação da composição florística em função dos atributos ambientais dos *felsenmeers*. A significância das variáveis do solo na definição da composição das espécies foi avaliada com a aplicação de randomizações de Monte Carlo (999 randomizações). Para complementar a CCA realizou-se, através da distância euclidiana, um *cluster* de dois caminhos apontando para distância de similaridade entre as espécies vegetais (Fig. B.13).

O efeito de preditores do solo na riqueza e composição de espécies foi avaliado através de modelos lineares de efeitos mistos (LMMs). A variação da composição de espécies ao longo dos *felsenmeers*, foi observada através dos valores do eixo 1 do escalonamento multimensional não métrico (NMDS).

Para investigar um possível efeito de aninhamento das propriedades do solo na riqueza das espécies, ou seja, dependência entre os *felsenmeers* ou entre as parcelas foi utilizado um modelo misto linear generalizado (GLMMs) com distribuição de erros de Poisson. A composição das espécies (eixo 1 da NMDS) foi avaliada usando LMMs após analisar o teste de Shapiro-Wilk quanto à normalidade e Q-Q gráficos (CRAWLEY, 2013).

Os resultados químicos, texturais do solo e a cobertura vegetal foram utilizadas como variáveis preditoras. A cobertura vegetal é definida como a proporção da superfície da comunidade vegetal ocupada em cada *felsenmeer* (JI *et al.*, 2009; SCHMITZ *et al.*, 2020). Os componentes de diversidade, riqueza e composição de espécies (eixo 1 da NMDS), foram analisados como as variáveis respostas. Para a seleção dos preditores, foi avaliada a colinearidade entre variáveis preditivas usando a análise de correlação de Spearman. Quando duas variáveis estavam fortemente correlacionadas ($r \geq 0,6$), foram selecionados os preditores mais relevantes em termos ecológicos, que foram incluídos em modelos separados (Figura B.11).

Em todos os modelos mistos, os *felsenmeers* foram incluídos como fator aleatório e a riqueza e composição de espécies (eixo 1 da NMDS) foram usadas como fator fixo (SCHMITZ *et al.*, 2020). Para determinar quais variáveis foram decisivas nas mudanças da riqueza e da composição das espécies, foi realizada uma abordagem da teoria da informação baseada no critério de informação de Akaike (AIC), com uma correção para tamanhos de amostras finitos (AICc) e pesos da AIC (BURNHAM; ANDERSON, 2002; SCHMITZ *et al.*, 2020). O modelo com o AICc mais baixo foi considerado o melhor (BURNHAM *et al.*, 2011; SCHMITZ *et al.*, 2020).

Para analisar diferenças entre os *felsenmeers* em termos da composição de espécies utilizou-se a escala multidimensional não métrica (NMDS) usando

dissimilaridades euclidianas (CLARKE, 1993; SCHMITZ *et al.*, 2020). A análise multivariada permutacional de variância (Permutações PERMANOVA, 9999) foi empregada para determinar variações e diferenças ao longo do gradiente ambiental. Essa análise aponta como as espécies se arranjam na composição florística. A distância euclidiana fornece o *stress* que estima a confiabilidade da análise.

As análises foram realizadas usando o programa R Environment (R CORE TEAM, 2019). Para todas as variáveis, foi testada a distribuição normal dos dados com teste de Shapiro-Wilk e avaliado o gráfico Q-Q (CRAWLEY, 2013; SCHMITZ *et al.*, 2020). Para comparar as propriedades do solo (dados sem distribuição normal), a riqueza de espécies, e cobertura vegetal entre os diferentes *felsenmeers*, foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis seguido pelo método post-hoc de Dunn (DINNO, 2017; SCHMITZ *et al.*, 2020).

3. Resultados

3.1. Características do solo

O solo é fortemente ácido (pH entre 4,4 e 5,3) e apresentou valores altos de acidez trocável, CTC, K^+ e Fe^{2+} (Tabela 2). Todos os *felsenmeers* apresentaram grande quantidade de P, sendo os mais influenciados pela deposição de guano (ornitogênese) F7 (6.299,9 mg/kg), e F2 (2.211,2 mg/kg). A quantidade de Na^+ é alta, com médias maiores que 245,1 mg/Kg e atingindo 616,1 mg/Kg, valores que podem ser explicados pelo spray marinho transportado pelo vento. Os altos valores de Al^{3+} contribuem para a acidez do solo nos *felsenmeers*, sobretudo em F6 (5,0 cmolc/kg) e F1 (4,2 cmolc/kg). As quantidades observadas para MO também foram altas (Tabela 2; Fig. B.10). Os solos foram dominados pela textura franco-argila-arenosa, com altos valores de areia e argila, apenas F1 apresentou textura franco-arenosa.

3.2. Análise dos Componentes Principais (PCA)

Os dois primeiros eixos da PCA explicaram 50,5% da variação nos dados (Fig. 2). O primeiro eixo explicou 29,8% das variâncias e correlacionou-se positivamente com P ($R = 0,84$) e os calhaus ($R = 0,64$) (Tabela B.3). O segundo eixo explicou 20,7% da variação nos dados do solo e correlacionou-se positivamente com a areia ($R = 0,83$) e negativamente com o silte ($R = -0,76$) (Tabela A.3). De acordo com os eixos da PCA o *felsenmeer* F7 se distanciou dos demais (Fig. 2).

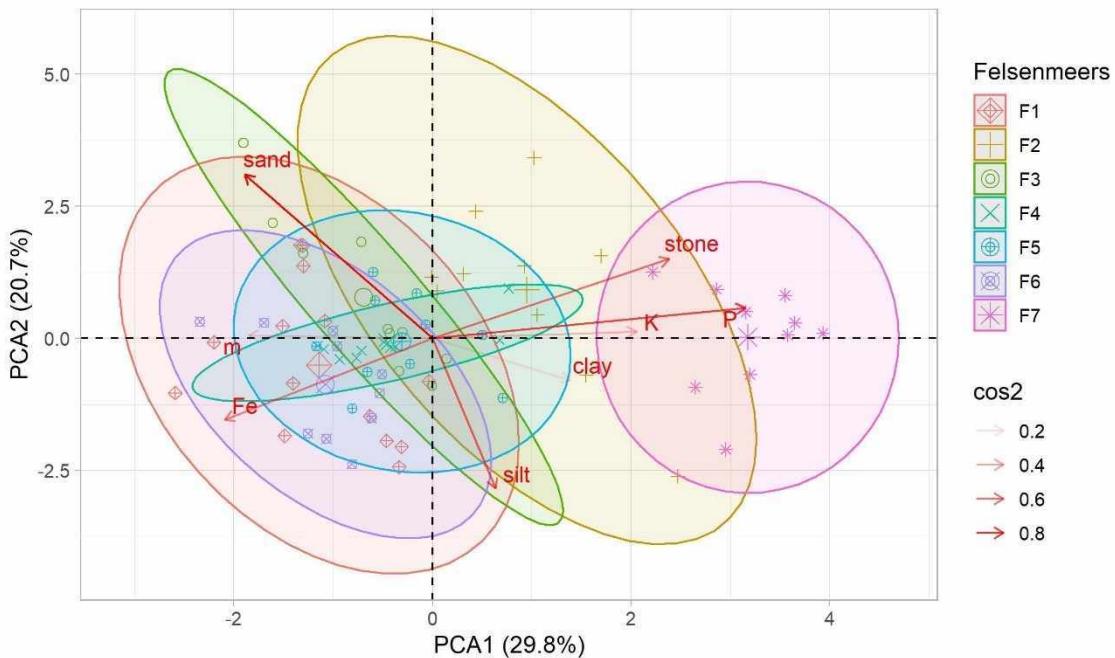


Figura 2: Análise de Componentes Principais (PCA) para os parâmetros do solo de diferentes *felsenmeers*. Para análise: P, K, Fe, porcentagem de saturação por alumínio (m), a textura do solo areia (sand), argila (clay), silte (silt) e porcentagem de calhaus (stone). O nível de correlação de Pearson de cada vetor é indicado (\cos^2).

3.3. Padrão de riqueza, cobertura e composição de espécies

Foram identificadas 19 famílias divididas em 21 espécies de líquens, 12 espécies de briófitas e uma espécie de alga macroscópica (Tabela B.1). As famílias mais ricas foram as de líquens, Verrucariaceae com quatro espécies, seguida por Physciacea e Pannariaceae com três espécies cada.

As curvas de acumulação de espécies indicaram suficiência amostral, e foram observados padrões semelhantes de riqueza e diferenças na acumulação de espécies ao longo dos *felsenmeers*. Os *felsenmeers* F1 e F4 apresentaram 17 espécies (Fig. 3A; Fig. B.13). De acordo com a rarefação, os *felsenmeers* se sobrepõem entre si evidenciando um padrão na riqueza de espécies. Ocorreram entre sete a dezessete espécies em cada *felsenmeer*.

A cobertura vegetal variou significativamente ($\chi^2 = 32$, $df = 6$, $p < 0,001$) ao longo do *felsenmeers* (Fig. 3C). A distribuição da cobertura das espécies mudou ao longo do gradiente, sendo os *felsenmeers* F4 e F5, com ninhais abandonados, os que apresentaram maior cobertura vegetal, seguidos por F3, um *felsenmeer* com nidificação atual (Fig. 3C). O NMDS revelou que os *felsenmeers* F3 e F4 se distribuem melhor, já F2, F5 e F7 apresentaram uma sobreposição acentuada entre o gradiente (Fig. 4). A Análise

Permutacional de Variância (PERMANOVA) apontou que existem diferenças na composição florística entre *felsenmeers* ($F_{6,67} = 5.22$, $p < 0.001$).

3.4. Índice de Significância Ecológica (IES)

Todos os *felsenmeers* se apresentaram com forte cobertura vegetal. Ao longo dos *felsenmeers* foram identificadas quatro comunidades carpete de Musgo (F2, F3, F4, F7), duas comunidades carpete de Musgo/Líquen fruticoso (F5, F6) e uma comunidade carpete de Musgo/Macroalga (F1).

O musgo *Sanionia uncinata* formou comunidades com altos índices de significância ecológica (Tabela B.2), apresentando dominância em todas as associações dos *felsenmeers*. As espécies significativas para as comunidades variaram em associações distintas com o musgo *S. uncinata* (Tabela B.2).

A espécie *Cladonia borealis* S. Stenroos está presente na maior parte de associações das comunidades dos *felsenmeers*. O líquen *Ochrolechia frigida* (Sw.) Lyngé cresce sobre musgos como *Sanionia uncinata* e *Andreaea* spp. O que pode explicar suas associações ao longo dos *felsenmeers*. A macroalga *Prasiola crispa* apresentou valores significativos (IES= 151) apenas no F1. As espécies do F5 estão distribuídas entre musgos e líquens muscícolas e a maior quantidade de espécies descritas para F6 são de líquens ornitocoprófilos. O líquen nitrófilo *Acarospora macrocyclos* Vain. ocorreu em todos os *felsenmeers*, contudo apresentou baixos valores de significância.

Tabela 2: Estatística descritiva dos valores médios dos atributos do solo para os *felsenmeers* em áreas livres de gelo em Harmony Point, Ilha Nelson, Antártica Marítima.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
pH H ₂ O	4,6 ± 0,3 ab	4,4 ± 0,2 c	4,6 ± 0,2 ab	4,9 ± 0,1 de	5,3 ± 0,4 d	4,7 ± 0,2 ae	4,3 ± 0,3 bc
P (mg/kg)	448,1 ± 275,5 a	2211,2 ± 696,6 bc	850,4 ± 297,5 bd	402,3 ± 185,3 a	764,6 ± 387,5 ad	494,1 ± 395,2 ad	6299,9 ± 2292,3 c
K (mg/kg)	159,4 ± 38,9 ab	310,6 ± 139,3 c	164,8 ± 48,5 ab	249,0 ± 109,9 ac	159,5 ± 33,2 ab	113,5 ± 40,3 b	262,7 ± 51,1 c
Na (mg/kg)	338,3 ± 81,0 a	377,9 ± 159,2 ab	245,1 ± 36,9 a	322,2 ± 52,3 ab	393,6 ± 63,4 bc	403,4 ± 118,4 bc	616,1 ± 168,0 c
Ca ²⁺ (cmolc/kg)	2,5 ± 0,8 ab	6,1 ± 3,2 c	1,5 ± 0,4 a	4,8 ± 1,7 bc	8,9 ± 4,6 c	5,7 ± 1,9 c	6,2 ± 1,6 c
Mg ²⁺ (cmolc/kg)	1,1 ± 0,4 ab	1,7 ± 1,1 ab	0,9 ± 0,5 a	2,9 ± 0,9 cd	3,3 ± 0,9 cd	3,9 ± 1,5 c	1,9 ± 0,6 bd
Al ³⁺ (cmolc/kg)	4,2 ± 2,0 a	3,6 ± 1,1 a	3,4 ± 0,5 ab	3,3 ± 0,9 ab	1,4 ± 0,9 c	5,0 ± 2,9 a	2,4 ± 0,7 bc
H+Al (cmolc/kg)	35,7 ± 9,4	39,6 ± 8,8	27,6 ± 5,4	34,9 ± 6,6	27,7 ± 7,5	41,1 ± 16,9	36,9 ± 3,1
SB (cmolc/kg)	5,5 ± 1,3 a	10,2 ± 5,2 b	3,9 ± 1,1 a	9,6 ± 2,7 b	14,3 ± 5,7 b	11,7 ± 3,8 b	11,4 ± 2,9 b
t (cmolc/kg)	9,7 ± 2,8 a	13,8 ± 5,8 b	7,3 ± 1,2 a	12,9 ± 2,5 b	15,7 ± 5,1 b	16,7 ± 6,1 b	13,9 ± 2,5 b
T (cmolc/kg)	10,4 ± 7,0 ab	18,3 ± 7,1 ac	13,0 ± 5,0 ab	9,3 ± 6,2 b	12,2 ± 5,4 ab	6,7 ± 5,5 b	49,2 ± 15,2 c
Cu (mg/kg)	10,4 ± 7,0 ab	18,3 ± 7,1 ac	13,0 ± 5,0 ab	9,3 ± 6,2 b	12,2 ± 5,4 ab	6,7 ± 5,5 b	49,2 ± 15,2 c
Mn (mg/kg)	5,0 ± 2,0 a	8,0 ± 4,7 ab	4,3 ± 3,1 a	10,8 ± 5,7 b	25,8 ± 36,6 b	7,9 ± 3,3 ab	13,3 ± 5,4 b
Fe (mg/kg)	1065,4 ± 678,3 a	519,0 ± 145,3 bc	683,4 ± 134,6 abc	1010,0 ± 213,2 a	780,1 ± 313,0 ab	1081,4 ± 311,4 a	457,8 ± 122,5 c
Zn (mg/kg)	3,1 ± 1,0 ab	21,5 ± 19,4 cd	2,8 ± 2,6 a	4,9 ± 2,7 abc	9,9 ± 13,0 bc	5,9 ± 2,7 abc	68,0 ± 33,7 d
P-Rem (mg/l)	19,1 ± 15,3 a	71,7 ± 35,1 b	12,3 ± 5,8 a	19,7 ± 5,8 a	18,2 ± 8,9 a	67,7 ± 45,0 b	81,0 ± 9,5 b
V (%)	13,7 ± 3,1 a	18,1 ± 5,8 ab	12,2 ± 2,1 a	22,1 ± 5,2 bc	34,2 ± 13,3 c	22,9 ± 3,5 bc	23,3 ± 3,7 bc
m (%)	42,1 ± 9,7 a	29,3 ± 10,2 b	47,6 ± 6,1 a	26,3 ± 8,8 b	10,8 ± 7,0 c	29,0 ± 8,1 b	18,7 ± 8,8 bc
ISNa (%)	3,6 ± 0,4 ab	3,0 ± 0,6 a	3,4 ± 0,6 a	3,1 ± 0,4 a	4,1 ± 0,6 bc	3,5 ± 0,6 ab	5,5 ± 1,0 c
OM (dag/kg)	28,4 ± 9,6 ab	30,3 ± 12,0 abc	19,2 ± 7,0 c	36,2 ± 6,6 ab	29,4 ± 2,9 abc	44,9 ± 15,5 a	27,0 ± 10,3 bc
Coarse sand (g/kg)	0,25 ± 0,04 a	0,39 ± 0,14 b	0,32 ± 0,11 b	0,27 ± 0,0 ab	0,30 ± 0,07 ab	0,28 ± 0,08 b	0,29 ± 0,05 ab
Fine sand (g/kg)	0,33 ± 0,06 a	0,22 ± 0,09 bc	0,26 ± 0,07 abc	0,29 ± 0,0 a	0,26 ± 0,06 ab	0,25 ± 0,06 abc	0,19 ± 0,05 c
Silt (g/kg)	0,22 ± 0,08	0,19 ± 0,10	0,20 ± 0,07	0,19 ± 0,0	0,21 ± 0,05	0,22 ± 0,05	0,24 ± 0,03
Clay (g/kg)	0,19 ± 0,01 a	0,20 ± 0,10 a	0,21 ± 0,03 ab	0,25 ± 0,0 bc	0,23 ± 0,08 abc	0,26 ± 0,06 c	0,28 ± 0,05 c
Stone (%)	23,4 ± 12,3 ab	60,1 ± 21,9 c	44,8 ± 15,0 ac	15,4 ± 23,0 bd	10,7 ± 10,3 bd	2,9 ± 5,7 d	72,0 ± 14,4 c
Texture	Franco-Arenosa	Franco-Argilo-Arenosa	Franco-Argilo-Arenosa	Franco-Argilo-Arenosa	Franco-Argilo-Arenosa	Franco-Argilo-Arenosa	Franco-Argilo-Arenosa

pH (H₂O); P: fósforo; K: potássio; Na: sódio (extrator Mehlich 1); Ca: cálcio; Mg: magnésio; H + Al: potencial de acidez (extrator de acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0);

SB: soma dos trocáveis bases; t: capacidade efetiva de troca catiônica; T: capacidade total de troca catiônica; Cu: cobre; Mn: manganês; Fe: ferro; Zn: zinco; P-Rem: fósforo remanescente; V: saturação de bases; m: saturação por alumínio; ISNa: saturação por sódio OM: matéria orgânica; os conteúdos da textura do solo: areia grossa (course_sand), areia fina (fine_sand), argila (clay), silte (silt) e a porcentagem de calhaus (stone). Letras diferentes indicam diferenças significativas nas análises a posteriori (P < 0,05) entre os *felsenmeers* com o teste Dunn.

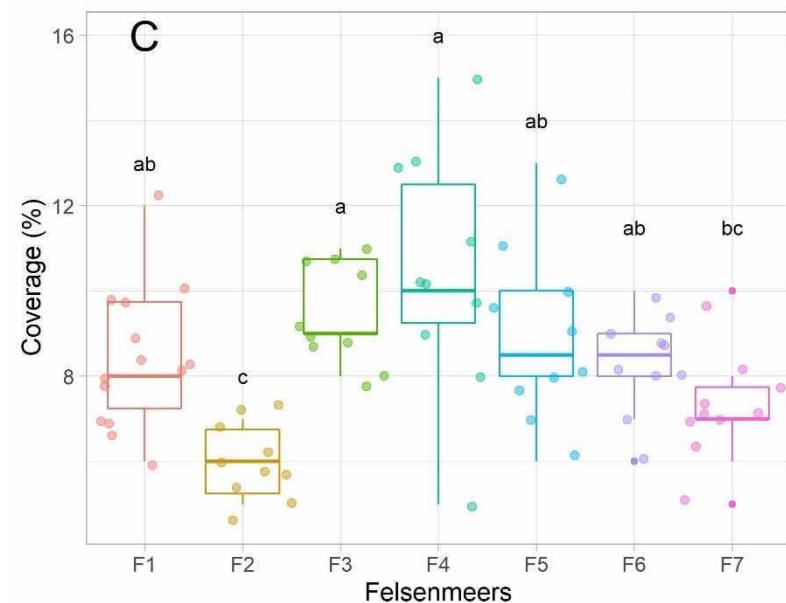
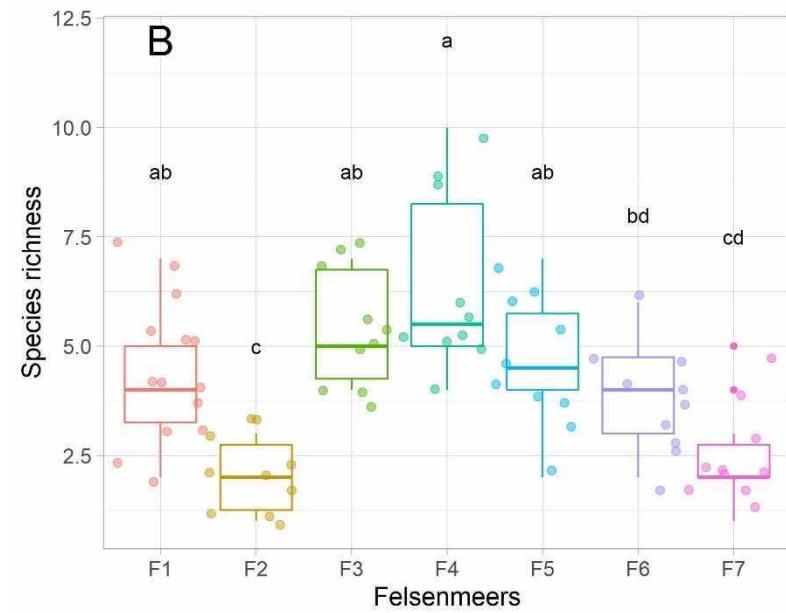
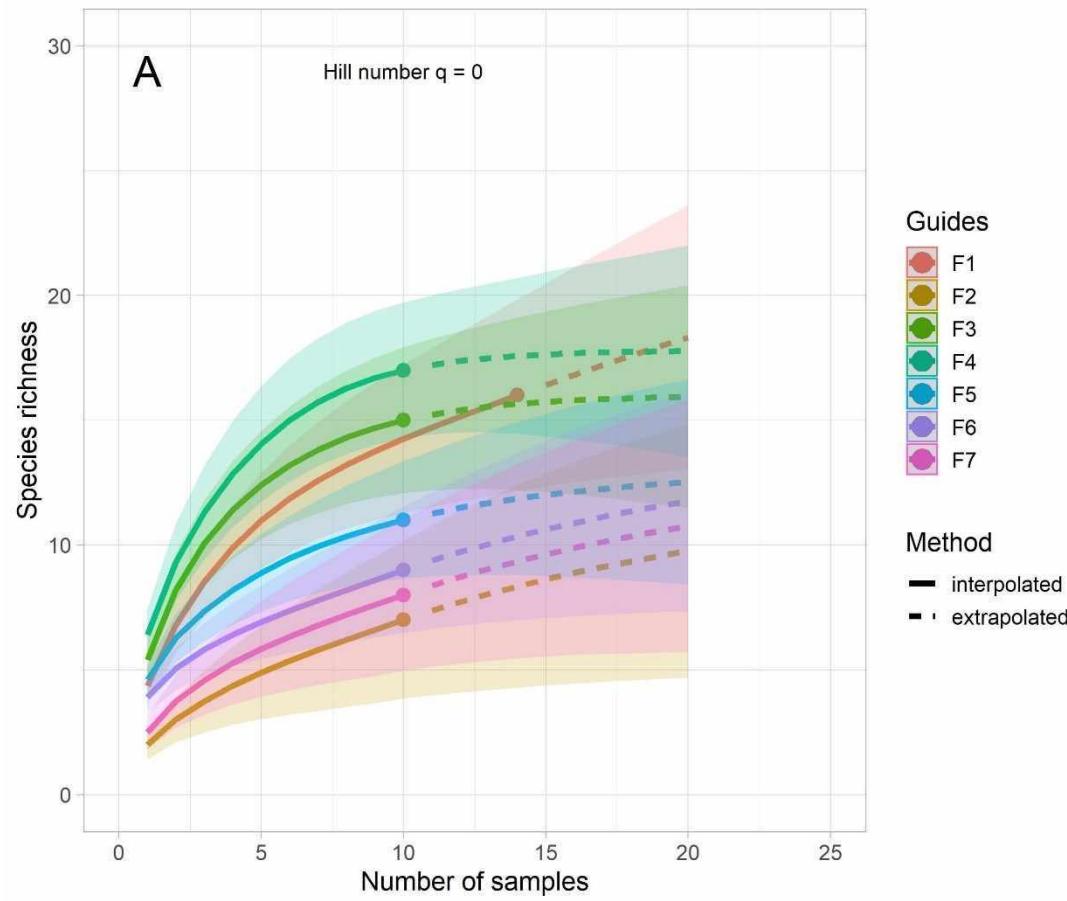


Figura 3: Curvas de rarefação com base na amostra (linhas sólidas) e extração (linhas tracejadas) da diversidade de espécies com base nos primeiros números de Hill ($q = 0$) para os felsenmeers (A), riqueza (B) e cobertura (C) entre o gradiente ambiental. As curvas de rarefação e extração apresentam as linhas que representam os valores médios e as faixas o desvio padrão com intervalos de confiança de 95%.

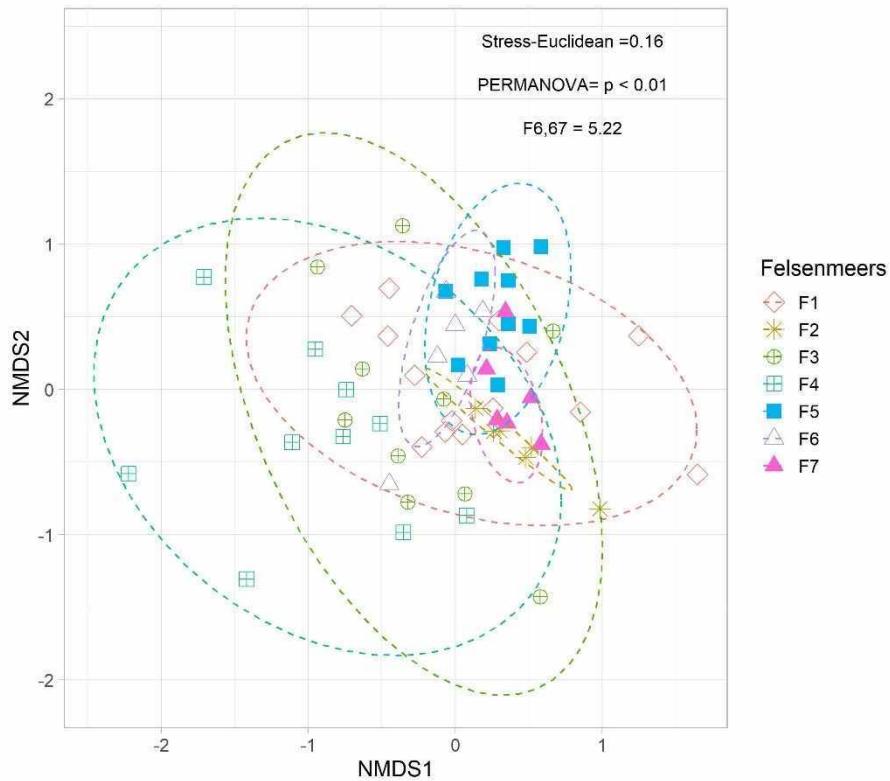


Figura 4: Escala multidimensional não métrica (NMDS) baseada na composição de espécies de diferentes locais pedoambientais

3.5. Relações solo-vegetação

O primeiro eixo da CCA explicou 22,99% da composição de espécies com diferentes propriedades do solo, enquanto o segundo eixo explicou 16,44% (Fig. 5). A CCA apontou que as espécies, ao longo dos *felsenmeers*, se agrupam ao longo dos micronutrientes, pH e textura (areia) do solo. A *Buellia anisomera* Vain. foi associada com teores de Mn. A areia grossa e a saturação por alumínio (m) estão relacionadas com as espécies *Prasiola crispa*, *Pohlia drummondii* (Müll. Hal.) A. L. Andrews, e *Andreaea gainii*. Por outro lado, espécies como *Hennediella heimii* (Hedw.) R. H. Zander e *Bryum archangelicum* Bruch & Schimp foram associadas ao pH, Fe e Mg²⁺ (Fig. 5; Fig. B.13).

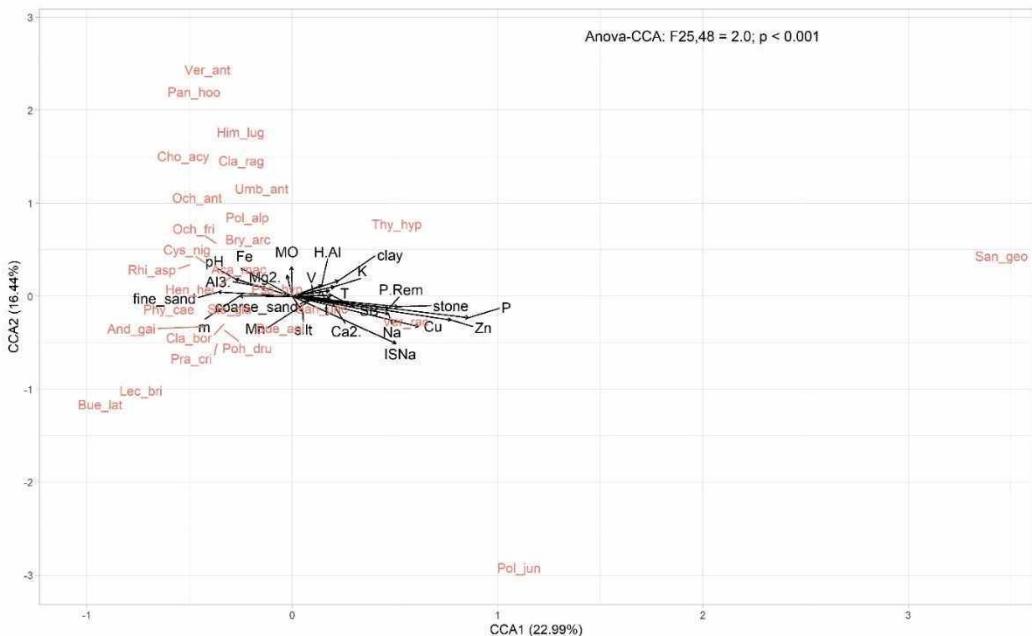


Figura 5: Análise de correspondência canônica (CCA) mostrando as pontuações de espécies e parcelas em função das propriedades do solo amostradas em diferentes tipos de *felsenmeers*. Para análise: P, Ca^{2+} , Na, Mg^{2+} , Fe, Cu, Mn, Zn, Al^{3+} , acidez trocável ($\text{H} + \text{Al}$), pH (H_2O), matéria orgânica (MO), soma das bases trocáveis (SB), saturação por sódio (ISNa), saturação de bases (V); foram incluídas a capacidade de troca catiônica total (T), fósforo remanescente (P-Rem), porcentagem de saturação por alumínio (m), a textura do solo areia grossa (sand_course), areia fina (sand_fine), argila (clay), silte (silt) e porcentagem de calhaus (stone).

3.6. Efeitos das propriedades do solo na riqueza e composição das espécies

Os modelos incluindo cobertura vegetal, textura do solo e algumas variáveis químicas do solo (V, Ca^{2+} , pH, m, SB) tiveram efeitos significativos na riqueza e composição de espécies, (Tabela 3; Fig. B.14;). De acordo com o melhor modelo observado, apenas a cobertura vegetal influenciou na riqueza das espécies. Para a composição de espécies o melhor modelo foi dado para o silte, seguido pelos preditores, argila, areia grossa e cobertura. (Tabela 3; Fig. B.14;). Foram compreendidos como melhores modelos aqueles com valores de $\Delta\text{AICc} < 2$.

Tabela 3: Modelo de efeitos mistos – lme com distribuição de Poisson e modelo de efeitos mistos lineares – glmer. Os preditores são: areia grossa (sand course), argila (clay), silte (silt), calhaus (stone), Ca^{2+} , m, pH, SB, V, cobertura.

Response variable	Predictor	df	logLik	AICc	ΔAICc	AICw
Species composition	~ Silt	4	-55.4	119.4	0.0	0.3
	~ Clay	4	-55.4	119.4	0.0	0.3
	~ Sand coarse	4	-55.7	119.9	0.5	0.2
	~ Cover	4	-55.9	120.4	1.0	0.2
	~ pH	4	-57.1	122.8	3.5	0.0
	~ Ca^{2+}	4	-58.9	126.4	7.0	0.0
	~ SB	4	-59.5	127.6	8.2	0.0
	~ V	4	-60.0	128.6	9.2	0.0
	~ m	4	-60.6	129.7	10.3	0.0
	~ Stone	4	-61.2	131.0	11.6	0.0
Response variable	Predictor	df	logLik	AICc	ΔAICc	AICw
Richness	~ Cover	4	-86.5	181.7	0	1
	~ Clay	4	-137.7	284	102.4	0
	~ Silt	4	-137.9	284.4	102.7	0
	~ Sand course	4	-138.3	285.1	103.5	0
	~ pH	4	-139.2	287	105.3	0
	~ Ca^{2+}	4	-141.4	291.5	109.8	0
	~ SB	4	-141.6	291.8	110.1	0
	~ V	4	-142.6	293.7	112.0	0
	~ m	4	-143.1	294.7	113.0	0
	~ Stone	4	-143.6	295.9	114.2	0

Abreviações: O critério de informação de Akaike corrigido para amostras pequenas (AICc), o melhor modelo (ΔAICc) e pesos do modelo (AICwt).

4. Discussão

4.1 Diversidade e estrutura da comunidade

Foram encontradas diferenças significativas na organização da comunidade (riqueza de espécies, composição de espécies) e estrutura (cobertura vegetal) ao longo do *felsenmeers*. Contudo, essas diferenças não foram totalmente explicadas nos modelos testados. Dessa maneira, entende-se que os filtros ambientais utilizados nesse estudo (propriedades do solo e cobertura vegetal), não são o principal determinante da riqueza e composição de espécies. Assim como Schmitz *et al.* (2020), a partir da análise dos resultados obtidos entende-se que outros fatores ecológicos (limitação de dispersão, teoria neutra e interações bióticas) não levantados para esse estudo podem contribuir para as diferenças observadas.

Houve sobreposições na composição de espécies (NMDS) entre os *felsenmeers*, com destaque a uma variação nos *felsenmeers* F3 e F4. Das mudanças observadas nas propriedades do solo ao longo dos *felsenmeers* presume-se a maior troca das espécies entre *felsenmeers*, semelhante ao demonstrado com a variação na composição das espécies (NMDS). A heterogeneidade dos *felsenmeers* promoveu diferentes associações

de espécies que determinaram as diferentes comunidades vegetais. Na riqueza das espécies, a importância da cobertura se demonstrou maior do que os atributos do solo.

A espécie *Sanionia uncinata* está amplamente distribuída, sendo uma das espécies mais comuns e abundantes da Antártica (OCHYRA *et al.*, 2008). Nesse estudo, apresentou vastos carpetes com altos índices de significância ecológica em todos os *felsenmeers*, porém não direcionou nenhuma predileção por nutrientes ou textura do solo, resultado semelhante ao encontrado por Schmitz *et al.* (2020).

Sanionia uncinata foi a espécie dominante estando presente em todas as parcelas dos *felsenmeers* e com os maiores valores de cobertura. Essa espécie ocorre nos locais menos úmidos dos afloramentos, com solos rasos e rochosos, associada com espécies de líquens e outras espécies de musgos (Tabela B.2).

4.2 Análise dos *felsenmeers*

Foram selecionados como pontos de amostragem, *felsenmeers* (afloramentos rochosos fragmentados por crioclastia) com características da deposição atual e pretérita de material ornitogênico. O guano apresenta um papel marcante na fertilidade do solo em áreas marítimas (SCHMITZ *et al.*, 2020). A PCA com base nas propriedades do solo mostrou um pronunciado enriquecimento por bases e a acidificação do solo (Fig. 4), conforme os trabalhos de Schaefer *et al.* (2008), Moura *et al.* (2012), Thomazini *et al.* (2018) para outras áreas livres de gelo da Antártica, e Rodrigues *et al.* (2019) e Schmitz *et al.* (2020) para a ilha de Nelson.

Todos os *felsenmeers* apresentaram valores relevantes de P (Tabela 2), contudo, apenas F2, F3, F5 e F7 mostraram valores maiores que 500 mg/kg⁻¹ de P extraível, sendo então caracterizados como solos ornitogênicos (SIMAS *et al.*, 2007; SCHAEFER *et al.*, 2008). Os solos de F1 e F6 encontram-se sob atuação de ninhais de petrel gigante, já o F5 é um local de ninho inativo de *Larus dominicanus* (gaivotão). Já os *felsenmeers* identificados pela presença de pinguineiras (F2 e F7) tiveram como resultado os maiores teores de P extraível em superfície. A ocorrência dos ninhos constitui fonte de fases primárias de minerais de P e Ca⁺ (ex. apatita de osso, carbonato de cálcio biogênico) e a acidez do solo favorece a degradação mineralógica (SIMAS *et al.*, 2007; SCHAEFER *et al.*, 2010).

Os baixos valores de Ca²⁺ de F1 e F3 apontam para uma atividade menor das aves nestes locais, enquanto os demais *felsenmeers* foram influenciados mais intensamente pelo material ornitogênico. O baixo pH, os baixos teores de Ca²⁺ e altos teores de Al³⁺

denotam um *felsenmeer* favorável à formação de fosfatos de alumínio (SIMAS *et al.*, 2007; SCHAEFER *et al.*, 2010).

No estudo de Rodrigues *et al.*, (2019) os solos presentes em locais de nidificação recente possuem altas concentrações de cátions trocáveis. Contudo, foram nos *felsenmeers* com ninhais ativos que o aumento nos valores P foi acompanhado por aumento nos teores de Al^{3+} . Isso indica que, nos afloramentos com a atual presença de aves, o desgaste químico causado pela mineralização do guano é maior, devido a acidificação.

Os valores de P disponível variam entre 402.3 e 6299.9 mg/kg sendo similares aos valores em solos ornitogênicos da parte sul de Harmony Point (RODRIGUES *et al.*, 2019). A menor concentração de P é observada em F4, *felsenmeer* caracterizado por nidificação pretérita de petrel gigante. Esses dados indicam que os *felsenmeers* colonizados por pinguineiras depositam enormes quantidades de guano no solo, diferente dos ninhos de petréis, que apresentam número menor de indivíduos. Portanto, a deposição de guano nesses locais é inferior ao observado para os *felsenmeers* de pinguineiras (F2 e F7).

A análise dos *felsenmeers* (Fig.5) apontou que a disponibilidade de recursos do solo (pH e micronutrientes) e condições físicas (textura), podem determinar mudanças na distribuição das espécies ao longo dos *felsenmeers*. No entanto, com base apenas nos modelos testados apenas a cobertura vegetal teve um efeito significativo na riqueza das espécies. Assim, as comunidades vegetais podem estar estruturadas pela influência do guano no ambiente, bem como por processos provavelmente ligados às condições específicas de crescimento de algumas espécies (SCHMITZ *et al.*, 2020).

A localização dos ninhais está relacionada a áreas elevadas, menos propensas ao congelamento e descongelamento, o que explica em alguns locais maior variedade de cobertura vegetal (SANTOS, 2016). A cobertura da comunidade representa a proporção do espaço físico disponível realmente ocupada pelas espécies (JI *et al.*, 2009). Assim, as comunidades vegetais com alta cobertura têm maior probabilidade de usar recursos com mais eficiência do que aqueles com baixa cobertura, resultando no aumento da diversidade a partir da quantidade de cobertura vegetal (JI *et al.*, 2009).

4.3 Associações de espécies e tipos de comunidades

Os resultados analisados do gradiente edáfico determinaram um padrão de diversidade, bem como o tipo de comunidade e a associação de espécies. No F1 marcado pela presença de ninhos de petrel gigante a comunidade formada por um carpete de

Musgo/Macroalga - Associação *Sanionia uncinata* – *Prasiola crispa* ocorreu intimamente associada à areia fina e alta porcentagem de acidez do solo (Fig. 5). Por outro lado, no F2, com evidente presença de ninhal do pinguim *Pygoscelis papua*, a comunidade carpete de Musgo - Associação *S. uncinata* – *Polytrichastrum alpinum* se agrupou com características de acidez do solo e da capacidade de transferência de P da solução para o solo, medida pelo P-Rem.

O *felsenmeer* F4, afloramento com ninhais inativos, foi a área com maior riqueza de espécies, em solos com altos valores de Fe e Al^{3+} , baixo valor de pH e P, e de textura fina, formando comunidade carpete de Musgo - Associação *S. uncinata* – *Polytrichastrum alpinum*. A comunidade carpete de Musgo - Associação *S. uncinata* – *Andreaea gainii* identificada para o F3 possui a presença atual de ninhos de petrel gigante, o que pode explicar sua proximidade com os altos valores da porcentagem de saturação por alumínio apontados pelo solo.

Os *felsenmeers* F5 e F6 apresentam formação de Comunidade de Musgo/Líquen Fruticoso – Associação *Sanionia uncinata* – *Cladonia borealis*, e manifestam aproximação com a matéria orgânica e o macronutriente Mg^{2+} . Esses *felsenmeers* se diferenciam na paisagem por F5 apresentar paleoninal e a maioria das espécies de líquens ser muscícolas, já em F6 o ninhal está ativo o que explica a presença maior de líquens ornitocófilos.

A comunidade Carpete de Musgo - Associação *Sanionia uncinata* – *Sanionia georgicuncinata* localizada no F7 se estabeleceu em solos com altos valores de Cu, P e Zn, o que pode estar associado à presença pretérita de uma colônia de pinguins. Dessa maneira, esse *felsenmeer* apresentou a maior influência ornitogênica, devido aos altos níveis de macro e micronutrientes relacionados a atividade da avifauna, como excrementos e resto de animais (Tabela 2, Figs.2 e 5).

A comunidade formada pela associação *Sanionia uncinata* e *Cladonia borealis* foi identificada para F5 (ninhais inativos) e F6 (ninhais ativos), denotando a representatividade dessas espécies para o *felsenmeers*. Contudo, o *felsenmeer* com ninhais ativos apontou maiores valores de índice de significância para as espécies dominantes (Tabela B.2). A macroalga *Prasiola crispa* apresentou maior significância em *felsenmeers* com ninhais ativos evidenciando a influência direta do guano ao solo para a ocorrência dessa espécie.

Nas áreas mais expostas e antigas, os *felsenmeers* com afloramentos mais altos, especialmente próximos aos ninhais de petréis, foi observada a presença do líquen

ornitocóprio *Umbilicaria antarctica* Frey et Lamb. A presença dessa espécie é relatada por Rodrigues *et al.* (2019) para a região sul de Harmony Point, e se mostra notável nas áreas mais estáveis da península, com preferência a locais com Al^{3+} e Mg^{2+} disponíveis (Fig. 5). O que pode indicar que a área de estudo possui uma colonização biológica antiga, provavelmente relacionada a fase de *nunataks*, na base dos afloramentos não se encontra *U. antarctica* o que pode indicar que a espécie é remanescente de uma cobertura antiga que ocupou os topões rochosos quando os ninhais foram inicialmente ocupados.

A ocorrência conjunta de espécies dependentes (*Umbilicaria antarctica* e *Prasiola crispa*) como não dependentes (*Sanionia uncinata* e *Usnea antarctica*) (OCHYRA, 2008; OLECH, 2004) da ação ornitogênica, anuncia uma grande complexidade da distribuição das espécies na escala do gradiente *felsenmeer*.

A distribuição de espécies ao longo de um gradiente ambiental se dá pela atuação de forças estruturantes como o ambiente biótico e abiótico. Dessa maneira, insere-se a questão de limitação por dispersão de uma espécie para colonizar outro lugar que possa ter as condições ambientais ou de solo necessárias para que essa espécie se desenvolva. A espécie pode possuir características de reprodução que são limitadas, como por exemplo, estratégias assexuais de dispersão (BENASSI *et al.*, 2011; SCHMITZ *et al.*, 2020), que faz com que a espécie se restrinja geograficamente, tendo dificuldades de colonizar determinados ambientes. A limitação não é só biológica, mas também é geográfica, assim, podem existir barreiras.

Mesmo ao longo dos gradientes em uma escala local ou regional, a filtragem é uma condição determinística, o que indica características diferentes com restrição ambiental (SILVA *et al.*, 2014). Mesmo que o local tenha condições de fertilidade e que a espécie tenha capacidade de se dispersar, pode ocorrer a chegada de outra espécie mais adaptada, excluindo-a por competição. Assim também há uma relação biótica atuando como um filtro. Portanto, são três forças que moldam a comunidade completa.

Os diferentes processos periglaciais, o grau de intemperismo e o material parental podem ser fatores que controlem as variações dos componentes da diversidade na Antártica Marítima (SCHMITZ *et al.*, 2020) e devem ser estudados mais detalhadamente.

5. Conclusão

- A filtragem pedoambiental aparentemente não teve efeito sobre a riqueza de espécies, mas determinou diferenças na composição das mesmas. A cobertura vegetal

demonstrou um papel importante, principalmente na riqueza da comunidade, muito mais que o solo.

- A comparação entre os *felsenmeers* evidencia, que o efeito da ornitogênese nas características químicas na camada superficial do solo, não se acentua com o abandono das colônias de aves. Porém, a ampla ocorrência de fosfatização mostra grande importância na transferência de nutrientes para a formação do solo e desenvolvimento da vegetação.

REFERÊNCIAS

- ALBERDI, M.; BRAVO L. A.; GUTIÉRREZ, A.; GIDEKEL, M.; CORCUERA, L. J. Ecophysiology of Antarctic vascular plants. *Physiologia Plantarum*, v. 115, n. 4, p. 479–486, 2002. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2002.1150401.x> . Acesso em: 7 abr. 2019.
- AMESBURY, M. J.; ROLAND, T. P.; ROYLES, J.; HODGSON, D. A.; CONVEY, P.; GRIFFITHS, H.; CHARMAN, D. J. Widespread biological response to rapid warming on the Antarctic Peninsula. *Current Biology*, v. 27, p. 1-7, 2017. DOI: Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2017.04.034>. Acesso em: 4 fev. 2020.
- BENASSI, M.; STARK, L. R.; BRINDA, J. C.; MCLETCHIE, D. N.; BONINE, M.; MISHLER, B. D. Plant size, a sex expression and sexual reproduction along an elevation gradient in a desert moss. *Bryologist*, v. 114, n. 2, p. 227–288, 2011. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1639/0007-2745-114.2.277>. Acesso em: 15 dez. 2019.
- BENAVENT-GONZÁLEZ, A.; DELGADO-BAQUERIZO, M.; FERNÁNDEZ-BRUM, L.; SINGH, B. K.; MAESTRE, F. T.; SANCHO, L. G. Identity of plant, lichen and moss species connects with microbial abundance and soil functioning in maritime Antarctica. *Plant Soil*, 2018, v. 429, n. 1-2, p. 35-52, 2018. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3721-7> . Acesso em: 10 jan. 2020.
- BRAUN-BLANQUET, J. **Plant sociology**: the study of plant communities. New York: McGraw-Hill, 1932. 439 p.
- BOCKHEIM, J. G. Properties and classification of cold desert soils from Antarctica. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 61, p. 224-231, 1995.
- BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. Model selection and multi-model inference: a practical information-theoretic approach. New York: Springer, 2002.
- BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R.; HUYVAERT, K. P. AIC model selection and multimodel inference in behavioral ecology: some background, observations, and comparisons. *Behav. Ecol. Sociobiol*, v. 65, p. 23–35, 2011. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00265-010-1029-6>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- CAMPBELL, I. B.; CLARIDGE, G. G. C. *In: ANTARCTICA: soils, weathering processes and environment*. Amsterdam: Elsevier, 1987. 368 p.
- CANNONE, N.; BINELLI, G; WORLAND, M. R.; CONVEY, P.; GUGLIELMIN, M. CO₂ fluxes among different vegetation types during the growing season in Marguerite Bay (Antarctic Peninsula). *Geoderma*, v. 189-190, p. 595-605.2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.06.026> . Acesso em: set. 2019.
- CHAO, A.; GOTELLI, N. J.; HSIEH, T. C.; SANDER, E. L.; MA, K. H.; COLWELL, R. K.; ELLISON, A. M. Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecol. Monog*, v. 84, p. 45–67,

2014. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1890/13-0133.1> . Acesso em: 12 dez. 2019.

CLARKE, K. R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. **Aust. J. Ecol.**, v. 18, p. 117–143, 1993. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1993.tb00438.x> . Acesso em: 5 dez. 2019.

COLWELL, R. K.; CHAO, A.; GOTELLI, N. J.; LIN, S. Y.; MAO, C. X.; CHAZDON, R. L.; LONGINO, J. T. Models and estimators linking individual-based and sample based rarefaction, extrapolation and comparison of assemblages. **J. Plant Ecol.**, v. 5, p. 3–21, 2012. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jpe/rtr044> . Acesso em: 6 dez. 2019.

CRAWLEY, M. J. **The R Book**. 2. ed. London: Wiley, 2013.

DINNO, A. **“Dunn.test” package**: dunn's test of multiple comparisons using rank sums. <http://CRAN.R-project.org/package=dunn.test>. [S.I.]: RStudio package version, 2017.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. 230 p.

FARIA, A. L. L. **Solos geomorfologia e relações ecológicas na parte sudoeste da península de Byers, Ilha Livingston, Antártica Marítima**. 2010. 76 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

FRANCELINO, M. R.; SCHAEFER, C. E. R. G.; FERNANDES FILHO, E. I.; PEREIRA, A. B.; SÁ, M. M. F. **Relação entre geoforma e a cobertura vegetal: um estudo de caso na peninsula keller, Ilha Rei George, Antarctica**, [s. l.], n. 21, p. 1–7, 2006.

FRENCH, H. **The periglacial environment**. Chichester: Wiley, Chichester, 2007. 458 p.

HAUCK, C.; VIEIRA, G.; GRUBER, S.; BLANCO, J.; RAMOS, M. Geophysical identification of permafrost in Livingston Island, maritime Antarctica. **Journal of Geophysical Research**, v. 112, p. 1–19, 2007. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2006jf000544> . Acesso em: 16 set. 2019.

JI, S.; GENG, Y.; LI, D.; WANG, G. Plant coverage is more important than species richness in enhancing aboveground biomass in a premature grassland, northern China. **Agric. Ecosyst. Environ.**, v. 129, p. 491–496, 2009. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.11.002>. Acesso em: 5 jan. 2020.

KRAFT, N. J. B.; ACKERLY, D. D. Functional trait and phylogenetic of community assembly across spatial scales in an Amazonian forest. **Ecol. Mon.**, v. 80, p. 401–422, 2010. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1890/09-1672.1>. Acesso em: 6 dez. 2019.

LARA.; F. MAZIMPAKA, V. **Succession of epiphytic bryophytes in a Quercus pyrenaica forest** Francisco Lara and Vicente Mazimpaka Study área As phorophyte characteristics and epiphyte interactions are both climate-dependent. [S. l.], 1998.

LONGTON, R. E. Biology of polar ryophytes and Lichens. Cambridge, Cambridge University Press (Studies in Polar Research). 391 p.1998.

MICHEL, R.F.M.; SCHAEFER, C.E.G.R.; DIAS, L.; SIMAS, F.N.B.; BENITES, V.; MENDONÇA, E.S. Ornithogenic Gelisols (Cryosols) from Maritime Antarctica: pedogenesis, vegetation and carbon studies. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2006, v.70, 1370-1376 p. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0178>. Acesso em: 10 jul. 2019.

MICHEL, R.F.M., SCHAEFER, C.E.G.R., POELKING, E.L., SIMAS, F.N.B., FERNANDES FILHO, E.I., BOCKHEIM, J.G. Active layer temperature in two Cryosols from King George Island, Maritime Antarctica. **Geomorphology**, 2012, v.155–156, p. 12–9, 2012. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.12.013>. Acesso em: 14 abr. 2019.

MOURA, P. A.; FRANCELINO; M. R.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SIMAS, F. N.B.; de MENDONCA, B. A. F. Distribution and characterization of soils and landform relationship in Byers Peninsula, Livingston Island, Maritime Antarctica **Geomorphology**, 2012, v. 155-156, 'p. 45–54, 2012. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.12.011> . Acesso em: 10 abr. 2019.

OCHYRA, R.; LEWIS SMITH, R. I.; BEDNAREK-OCHYRA, H. The illustrated moss flora of Antarctica. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. p.685.

OLECH, M., 2004. **Lichens of King George Island Antarctica**. The Intitute of Botany of the Jagiellonian University, Cracow: p. 391.

R CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2019.

RODRIGUES, W. F., OLIVEIRA, F. S. SCHAEFER, C. E.G.R. LEITE, M. G. P. GAUZZI, T. BOCKHEIM, J. G. PUTZKE, J. Geomorphology Soil-landscape interplays at Harmony Point, Nelson Island , Maritime Antarctica : Chemistry , mineralogy and classification. **Geomorphology**, v. 336, p. 77–94, 2019. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.03.030> . Acesso em: 8 fev. 2020.

SANTOS, E. C. **Uso de sensoriamento remoto para estudo da biogeografia de Harmony Point – Ilha Nelson – Antártica Marítima**. 2016. 73 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre,RS, 2016.

SCHAEFER, C. E. G. R.; SIMAS, F. N. B.; GILKES, R. J.; MATHISON, C.; COSTA, L. M.; ALBUQUERQUE, M. A. Micromorphology and microchemistry of selected Cryosols from Maritime Antarctica. **Geoderma**, v.144, p. 104–115, 2008. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.10.018> . Acesso em: 5 maio

2019.

SCHAEFER, C. E. G. R.; SIMAS, F. N. B.; ALBUQUERQUE, M. A.; SOUZA, E. de; DELPUPPO, K. K. Fosfatização de solos e evolução da paisagem no arquipélago de Abrolhos, BA. **Revista Escola de Minas**, v. 63, n. 4, p. 727-734, out./dec, 2010. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0370-44672010000400019> . Acesso em: 6 dez. 2019.

SCHMITZ, D.; PUTZKE, J.; ALBUQUERQUE, M. P. de; SCHÜNNEMAN, A. L.; VIEIRA, F. C. B.; VICTORIA, F. de C.; PEREIRA, A. B. Description of plants communities from Half Moon Island, Antarctica. **Polar Research**, v. 37, p. 1-12, 2018. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17518369.2018.1523663> . Acesso em: 10 dez. 2019.

SCHMITZ, D.; SCHAEFER, C. E. G. R.; PUTZKE, J.; FRANCELINO, M. R.; FERRARI, F. R.; CORRÊA, G. R.; VILLA, P. M. How does the pedoenvironmental gradient shape non-vascular species assemblages and community structures in Maritime Antarctica?. **Ecological Indicators**, v. 108, p. 1-14, 2020. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105726> . Acesso em: 1 fev. 2020.

SILVA, J. B.; SANTOS, N. D.; PÔRTO, K. C. Beta-diversity: effects of geographical distance and environmental gradients on the rocky outcrop bryophytes. **Crypt. Bryol.** 2014, v. 35, p. 133–163. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.7872/cryb.v35.iss2.2014.133> . Acesso em: 20 jan. 2020.

SIMAS, F. N. B.; SCHAEFER, C. E. G. R.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; MICHEL R. F. M.; COSTA, L. M.; MENDONÇA, E. S.; PEDROSO, I. V. C. P. Carbono imobilizado: indicador ambiental nos criossolos da Península Keller. In: ECOSSISTEMAS terrestres e solos da Antártica Marítima. Viçosa, MG: Núcleo de Estudo de Planejamento e Uso da Terra, 2003. p. 32-38.

SIMAS, F. N. B.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MELO, V. F.; ALBUQUERQUE-FILHO, M. R.; MICHEL, R. F. M.; PEREIRA, V. V.; GOMES, M. R. R.; COSTA, L. M. Ornithogenic cryosols from Maritime Antarctica: phosphatization as a soil forming process, **Geoderma**, 2007, v.138 (3-4), 191–203 p. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.11.011> . Acesso em: 2 fev. 2020

SCHAEFER, C. E. G. R.; SIMAS, F. N. B.; GILKES, R. J.; MATHISON, C.; COSTA, L. M.; ALBUQUERQUE, M. A. Micromorphology and microchemistry of selected Cryosols from Maritime Antarctica. **Geoderma**, v. 144, p. 104–115, 2008. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.10.018> . Acesso em: 5 set. 2019.

THOMAZINI, A.; FRANCELINO, M. R.; PEREIRA, A. B.; SCHÜNNEMANN, A. L.; MENDONÇA, E. S.; SCHAEFER, C. E. G. R. The spatial variability structure of soil attributes using a detailed sampling grid in a typical periglacial area of Maritime Antarctica. **Environ. Earth Sci.** v. 77, n. 18, p. 1-15, 2018. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7818-3> . Acesso em: 11 dez. 2019.

VICTORIA, F. C.; PEREIRA, A. B. Índice de valor ecológico (IES) como ferramenta para estudos fitossociológicos e conservação das espécies de musgos na Baia do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica Marítima. **Oecologia Brasiliensis**, v. 11, n. 1, p. 50–55, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.4257/oeco.2007.1101.06> . Acesso em: abr. 2019

VICTORIA, F. C.; PEREIRA, A. B.; COSTA, D. P. Composition and distribution of moss formations in the ice-free areas adjoining the Arctowski region, Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. **Iheringia**, v. 64, n. 1, p. 81-91, 2009.

VILLA, P. M.; MARTINS, S. V.; OLIVEIRA NETO, S. N.; RODRIGUES, A. C.; MARTORANO, L.; DELGADO, L.; CANCIO, N. M.; GASTAUERG, M. Intensification of shifting cultivation reduces forest resilience in the northern Amazon. **For. Ecol. Manage**, v. 430, p. 312–320, 2018. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.08.014> . Acesso em: 5 dez. 2019.

Apêndice B: Dados Suplementares

Tabela B.1: Lista das espécies identificadas na área de estudo.

Família	Espécie	Abreviação	Grupo
Acarosporaceae	<i>Acarospora macrocyclos</i> Vain.	Aca_mac	Líquen
Amblystegiaceae	<i>Sanionia georgicouncinata</i> (Müll Hal.) Ochyra & Hedenas	San_geo	Musgo
Amblystegiaceae	<i>Sanionia uncinata</i> (Hedw.) Loeske	San_unc	Musgo
Andreaeaceae	<i>Andreaea gainii</i> Cardot	And_gai	Musgo
Bryaceae	<i>Bryum archangelicum</i> Bruch & Schimp (= <i>Bryum amblyodon</i> Müll. Hal.)	Bry_arc	Musgo
Bryaceae	<i>Pohlia drummondii</i> (Müll. Hal.) A. L. Andrews	Poh_dru	Musgo
Cladoniaceae	<i>Cladonia borealis</i> S. Stenroos	Cla_bor	Líquen
Cladoniaceae	<i>Cladonia rangiferina</i> (L.) Weber	Cla_ran	Líquen
Dicranaceae	<i>Chorisodontium aciphyllum</i> (Hook. f. & Wills.) Broth.	Cho_aci	Musgo
Lecanoraceae	<i>Lecania brialmontii</i> (Vain.) Zahlbr.	Lec_bri	Líquen
Lecanoraceae	<i>Usnea antarctica</i> Du Rietz	Usn_ant	Líquen
Lecideaceae	<i>Rhizoplaca aspidophora</i> (Vain.) Redon	Rhi_asp	Líquen
Ochrolechiaceae	<i>Ochrolechia antarctica</i> (Müll. Arg.) Darb.-	Och_ant	Líquen
Ochrolechiaceae	<i>Ochrolechia frigida</i> (Sw.) Lyngé	Och_fri	Líquen
Pannariaceae	<i>Pannaria hookeri</i> (Borrer ex Sm.) Nyl.	Pan_hoo	Líquen
Pannariaceae	<i>Psoroma cinnamomeum</i> Malme	Pso_cin	Líquen
Pannariaceae	<i>Psoroma hypnorum</i> (Vahl) Gray	Pso_hyp	Líquen
Parmeliaceae	<i>Himantormia lugubris</i> (Hue) I. M. Lamb	Him_lug	Musgo
Physciaceae	<i>Buellia anisomera</i> Vain.	Bue_ani	Líquen
Physciaceae	<i>Buellia latemarginata</i> Darb.	Bue_lat	Líquen
Physciaceae	<i>Physcia caesia</i> (Hoffm.) Fürnr.	Phy_cae	Líquen
Polytrichiaceae	<i>Polytrichastrum alpinum</i> (Hedw.) G.L.Sm.	Pol_alp	Musgo
Polytrichiaceae	<i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw.	Pol_jun	Musgo
Pottiaceae	<i>Hennediella heimii</i> (Hedw.) R. H. Zander.	Hen_hei	Musgo
Pottiaceae	<i>Hennediella antarctica</i> (Angström) Ochyra & Matteri	Hen_ant	Musgo
Prasiolaceae	<i>Prasiola crispa</i> (Lightfoot) Kützing.	Pra_cri	Macroalga
Stereocaulaceae	<i>Stereocaulon glabrum</i> (Müll. Arg.) Vain.	Ste_gla	Líquen
Stereocaulaceae	<i>Stereocaulon</i> sp.	Ste_sp.	Líquen
Umbilicariaceae	<i>Umbilicaria antarctica</i> Frey et Lamb	Umb_ant	Líquen
Verrucariaceae	<i>Cystocoleus niger</i> (Huds.) Hariot	Cys_nin	Líquen
Verrucariaceae	<i>Verrucaria antarctica</i>	Ver_ant	Líquen
Verrucariaceae	<i>Verrucaria racovitzae</i> Vain.	Ver_rac	Líquen
Verrucariaceae	<i>Verrucaria</i> sp.	Ver_sp.	Líquen
Thyridiaceae	<i>Thyronectria hyperantarctica</i> (D. Hawksw.) D. Hawksw. & Spooner	Thy_hyp	Musgo

Tabela B.2: Onde: F = frequência relativa da espécie; C = cobertura *; IES = Índice de Significância Ecológica

Felsenmeer	Espécie	Frequência (%)	Cobertura (%)	IES
F1	<i>Sanionia uncinata</i>	18,84	43,17	832,14
F1	<i>Prasiola crispa</i>	14,49	9,42	151
F1	<i>Andreaea gainii</i>	8,69	10,20	97,42
F1	<i>Cladonia borealis</i>	7,25	4,71	41,37
F1	<i>Hennediella heimii</i>	5,80	3,92	28,55
F1	<i>Polytrichastrum alpinum</i>	5,80	3,92	28,55
F1	<i>Ochrolechia frigida</i>	5,80	3,14	24
F1	<i>Buellia anisomera</i>	4,35	3,92	21,41
F1	<i>Acarospora macrocyclos</i>	4,35	3,14	18
F1	<i>Lecania brialmontii</i>	4,35	2,35	14,58
F1	<i>Buellia latemarginata</i>	1,45	0,78	2,59
F1	<i>Hennediella antarctica</i>	1,45	0,78	2,59
F1	<i>Psoroma hypnorum</i>	1,45	0,78	2,59
F1	<i>Rhizoplaca aspidophora</i>	1,45	0,78	2,59
F1	<i>Stereocaulon glabrum</i>	1,45	0,78	2,59
F1	<i>Usnea antarctica</i>	1,45	0,78	2,59
F1	Rocha exposta	11,59	7,85	102,59
F2	<i>Sanionia uncinata</i>	36	69,23	2528,31
F2	<i>Thyronectria hyperantarctica</i>	16	6,15	114,46
F2	<i>Verrucaria racovitzae</i>	12	4,62	67,38
F2	<i>Stereocaulon</i> sp.	4	7,69	34,77
F2	<i>Acarospora macrocyclos</i>	4	1,54	10,15
F2	<i>Sanionia georgicouncinata</i>	4	1,54	10,15
F2	<i>Verrucaria</i> sp.	4	1,54	10,15
F2	Rocha exposta	20	7,69	173,85
F3	<i>Sanionia uncinata</i>	16,67	40,59	693,23
F3	<i>Andreaea gainii</i>	11,67	12,87	161,83
F3	<i>Polytrichastrum alpinum</i>	10	5,94	69,41
F3	<i>Acarospora macrocyclos</i>	8,33	5,94	57,84
F3	<i>Cladonia borealis</i>	8,33	5,94	57,84
F3	<i>Psoroma hypnorum</i>	6,67	4,95	39,67
F3	<i>Ochrolechia frigida</i>	5	2,97	19,85
F3	<i>Physcia caesia</i>	5	2,97	19,85
F3	<i>Bryum archangelicum</i>	3,33	2,97	13,23
F3	<i>Buellia anisomera</i>	3,33	1,98	9,93
F3	<i>Hennediella heimii</i>	3,33	1,98	9,93
F3	<i>Lecania brialmontii</i>	3,33	1,98	9,93
F3	<i>Ochrolechia antarctica</i>	1,67	0,99	3,32
F3	<i>Rhizoplaca aspidophora</i>	1,67	0,99	3,32
F3	<i>Stereocaulon glabrum</i>	1,67	0,99	3,32

F3	<i>Rocha exposta</i>	10	5,94	69,41
F4	<i>Sanionia uncinata</i>	15,63	32,69	526,44
F4	<i>Polytrichastrum alpinum</i>	14,06	17,31	257,45
F4	<i>Ochrolechia frigida</i>	12,50	13,46	180,77
F4	<i>Chorisodontium aciphyllum</i>	10,94	7,69	95,07
F4	<i>Andreaea gainii</i>	7,81	4,81	45,37
F4	<i>Acarospora macrocyclos</i>	4,69	2,88	18,21
F4	<i>Cystocoleus niger</i>	4,69	2,88	18,21
F4	<i>Hennediella heimii</i>	4,69	2,88	18,21
F4	<i>Umbilicaria antarctica</i>	4,69	2,88	18,21
F4	<i>Cladonia borealis</i>	3,13	1,92	9,13
F4	<i>Cladonia rangiferina</i>	3,13	1,92	9,13
F4	<i>Himantormia lugubris</i>	3,13	1,92	9,13
F4	<i>Ochrolechia antarctica</i>	3,13	1,92	9,13
F4	<i>Pannaria hookeri</i>	3,13	1,92	9,13
F4	<i>Psoroma hypnorum</i>	1,56	0,96	3,06
F4	<i>Stereocaulon glabrum</i>	1,56	0,96	3,06
F4	<i>Verrucaria antarctica</i>	1,56	0,96	3,06
F5	<i>Sanionia uncinata</i>	21,74	48,89	1084,54
F5	<i>Cladonia borealis</i>	19,57	15,56	323,91
F5	<i>Buellia anisomera</i>	17,39	10,00	191,30
F5	<i>Hennediella heimii</i>	13,04	8,89	128,99
F5	<i>Cystocoleus niger</i>	6,52	5,56	42,75
F5	<i>Ochrolechia frigida</i>	6,52	3,33	28,26
F5	<i>Acarospora macrocyclos</i>	4,35	2,22	14,01
F5	<i>Pohlia drummondii</i>	4,35	2,22	14,01
F5	<i>Bryum archangelicum</i>	2,17	1,11	4,59
F5	<i>Chorisodontium aciphyllum</i>	2,17	1,11	4,59
F5	<i>Prasiola crispa</i>	2,17	1,11	4,59
F6	<i>Sanionia uncinata</i>	25,64	44,58	1168,67
F6	<i>Cladonia borealis</i>	25,64	21,69	581,71
F6	<i>Ochrolechia frigida</i>	17,95	13,25	255,82
F6	<i>Buellia anisomera</i>	12,82	9,64	136,39
F6	<i>Cystocoleus niger</i>	7,69	3,61	35,50
F6	<i>Polytrichastrum alpinum</i>	2,56	3,61	11,83
F6	<i>Acarospora macrocyclos</i>	2,56	1,20	5,65
F6	<i>Andreaea gainii</i>	2,56	1,20	5,65
F6	<i>Rhizoplaca aspidophora</i>	2,56	1,20	5,65
F7	<i>Sanionia uncinata</i>	36	40,28	1486
F7	<i>Sanionia georgicouncinata</i>	24	38,89	957,33
F7	<i>Polytrichum juniperinum</i>	12	8,33	112

F7	<i>Buellia anisomera</i>	12	4,17	62,00
F7	<i>Cladonia borealis</i>	4	4,17	20,67
F7	<i>Acarospora macrocyclos</i>	4	1,39	9,56
F7	<i>Andreaea gainii</i>	4	1,39	9,56
F7	<i>Ochrolechia frigida</i>	4	1,39	9,56

Tabela B.3: Os níveis de significância são baseados nos coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros do solo e os principais componentes do PCA ao longo dos gradientes pedoambientais.

<i>Soil parameters</i>	PCA1	PCA2
P	0.84	0.15
K	0.55	0.03
Fe	-0.56	-0.41
m	-0.49	0.01
Sand (%)	-0.50	0.83
Silt (%)	0.17	-0.76
Clay (%)	0.37	-0.21
Stone (%)	0.64	0.40

Os fatores que se correlacionam significativamente com os eixos PCA são destacados em negrito. Para análise, P disponível, K disponível, Fe disponível, porcentagem de saturação por alumínio (m), areia (sand), silte (silt), argila (clay), calhaus (stone).



Figura B.1: *Felsenmeer 1* – Comunidade de Carpete de Musgo.



Figura B.2: *Felsenmeer 2* – Comunidade Carpete de Musgo localizado em um penhasco próximo ao mar de Drake.



Figura B.3: *Felsenmeer* 3 – Comunidade Carpete de Musgo as rochas maiores estão recobertas pelas espécies de líquens *Buellia anisomera* e *Acarospora macrocyclos*.



Figura B.4: *Felsenmeer* 4 – Comunidade Carpete de Musgo próximo a geleira.



Figuras B.5: Felsenmeer 5 - Comunidade de Musgo/Líquen Fruticoso - Associação *Sanionia uncinata* – *Cladonia borealis*.



Figura B.6: Felsenmeer 6 – Comunidade de Musgo/Líquen Fruticoso próximo a geleira.



Figura B.7: *Felsenmeer* 7 – Comunidade Carpete de Musgo próximo ao mar de Drake.



Figura B.8: Fitossociologia pela metodologia do quadrado de Braun-blanquet adaptada às condições antárticas (20x20cm).

Kruskal-wallis rank sum test

```
data: richness and group
Kruskal-wallis chi-squared = 38.3709, df = 6, p-value = 0
```

A

		Comparison of richness by group (No adjustment)					
Col Mean-	Row Mean	F1	F2	F3	F4	F5	F6
	F2	3.191606 0.0007*					
	F3	-1.414424 0.0786	-4.264356 0.0000*				
	F4	-2.035014 0.0209*	-4.838910 0.0000*	-0.574554 0.2828			
	F5	-0.378210 0.3526	-3.305007 0.0005*	0.959348 0.1687	1.533903 0.0625		
	F6	0.572602 0.2835	-2.424726 0.0077*	1.839629 0.0329	2.414184 0.0079*	0.880281 0.1894	
	F7	2.531161 0.0057*	-0.611452 0.2704	3.652903 0.0001*	4.227458 0.0000*	2.693554 0.0035*	1.813273 0.0349

alpha = 0.05

Kruskal-wallis rank sum test

```
data: cover and group
Kruskal-wallis chi-squared = 32.149, df = 6, p-value = 0
```

B

		Comparison of cover by group (No adjustment)					
Col Mean-	Row Mean	F1	F2	F3	F4	F5	F6
	F2	3.143812 0.0008*					
	F3	-1.562162 0.0591	-4.356886 0.0000*				
	F4	-1.863390 0.0312	-4.635769 0.0000*	-0.278882 0.3902			
	F5	-0.618694 0.2681	-3.483404 0.0002*	0.873482 0.1912	1.152364 0.1246		
	F6	-0.004871 0.4981	-2.915114 0.0018*	1.441771 0.0747	1.720654 0.0427	0.568289 0.2849	
	F7	1.626305 0.0519	-1.404937 0.0800	2.951948 0.0016*	3.230831 0.0006*	2.078466 0.0188*	1.510176 0.0655

alpha = 0.05

Figure B.9: Resultados do teste de Dunn (P <0,05) para riqueza (A) e cobertura (B) de espécies entre os *Felsenmeers* (F1-F7).

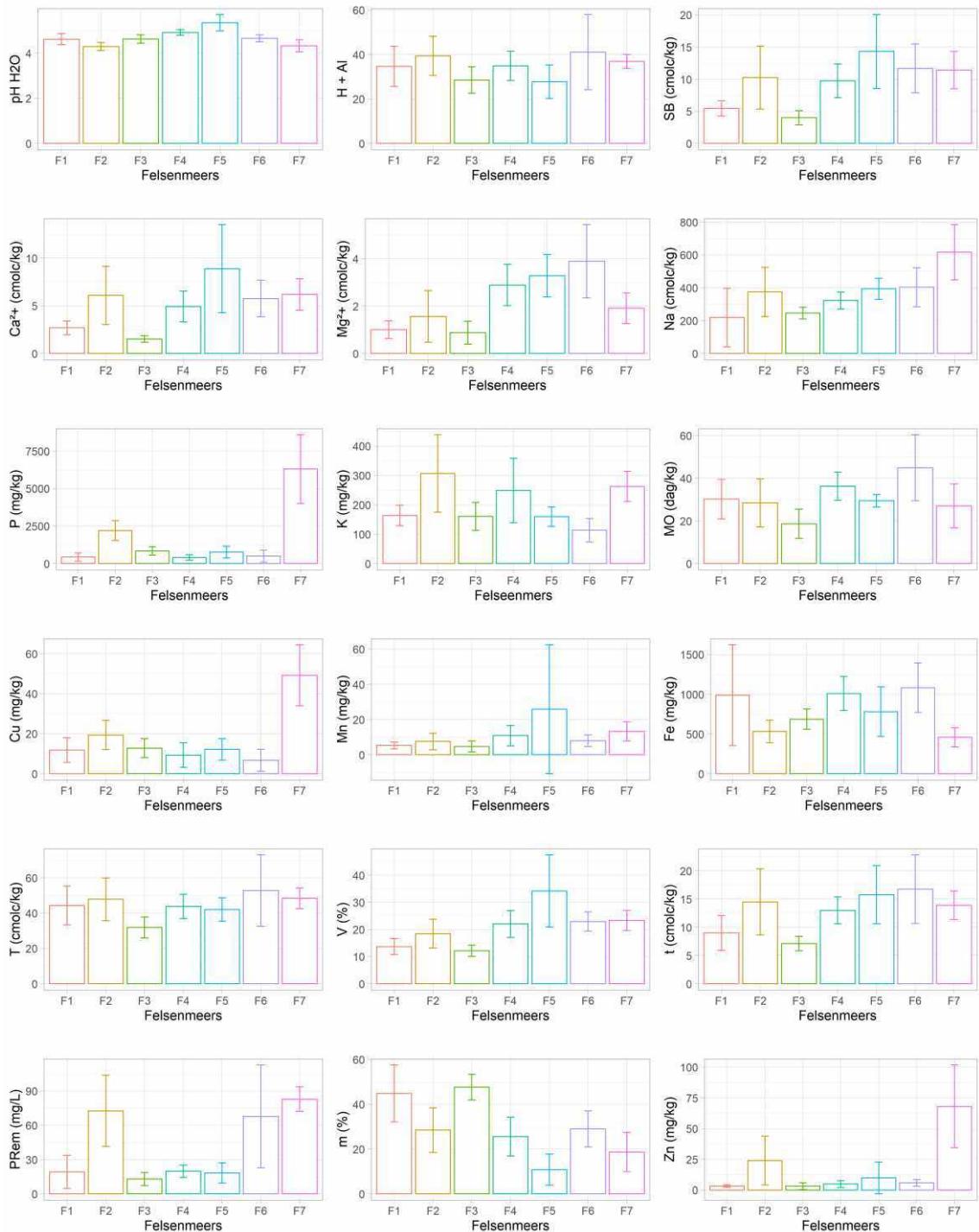


Figura B.10: Boxplot representa as propriedades do solo. Para análise, disponível: P, K, Ca, Na, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, acidez trocável (H + Al), pH (H₂O), matéria orgânica (MO), soma de bases trocáveis (SB), saturação por alumínio (m), fósforo remanescente (PRem), saturação de bases (V), capacidade de troca catiônica (T) e a capacidade efetiva de troca catiônica (t).

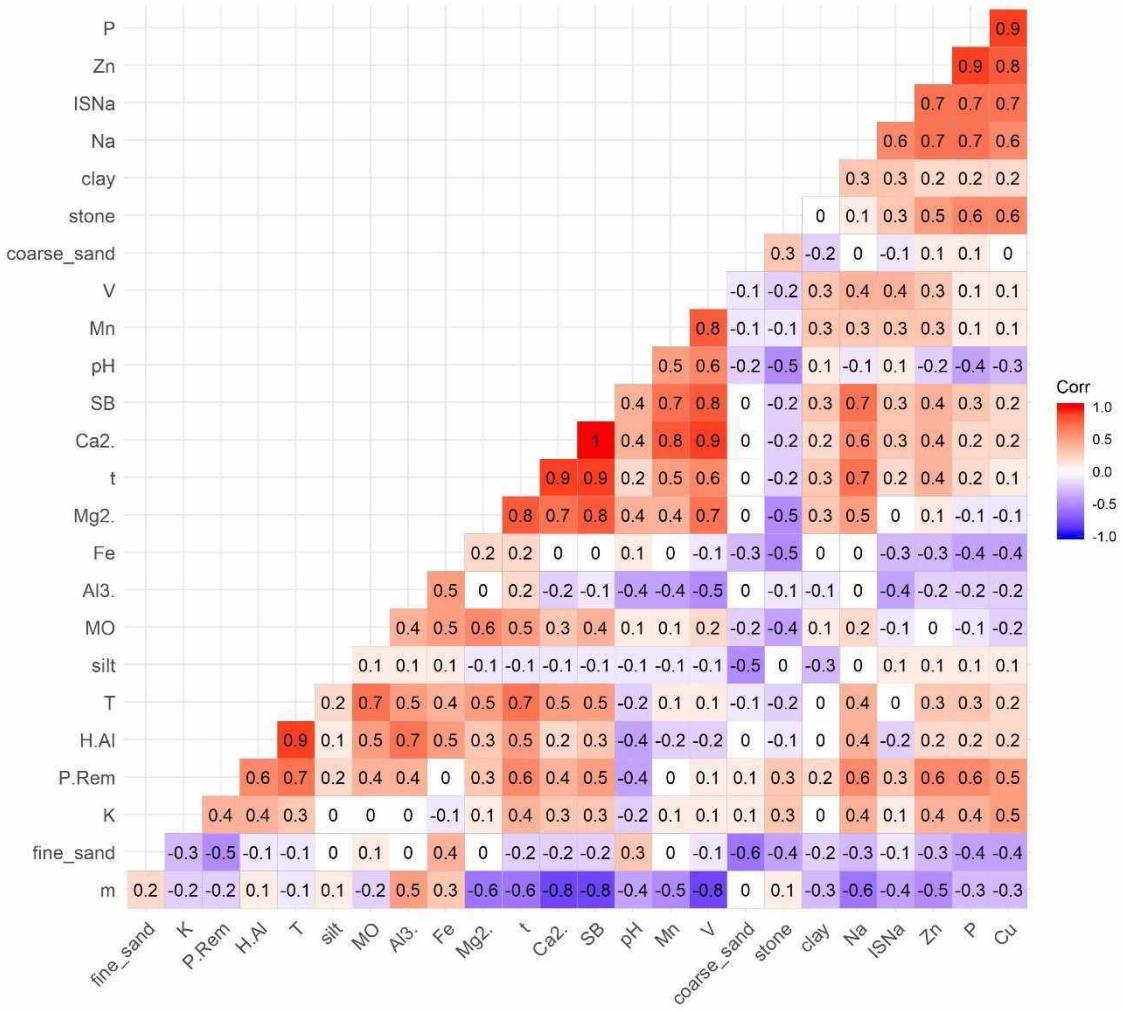


Figura B.11: Correlação de Pearson entre todas as variáveis individuais e os escores dos componentes de PCA ao longo dos *felsenmeers*. Para análise: P, K, Ca, Na, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, acidez trocável (H + Al), pH (H₂O), matéria orgânica (MO), soma das bases trocáveis (SB); a capacidade efetiva de troca catiônica (t) e a textura do solo como areia grossa (Sand_c), argila, silte e calhaus (stone) foram incluídas.

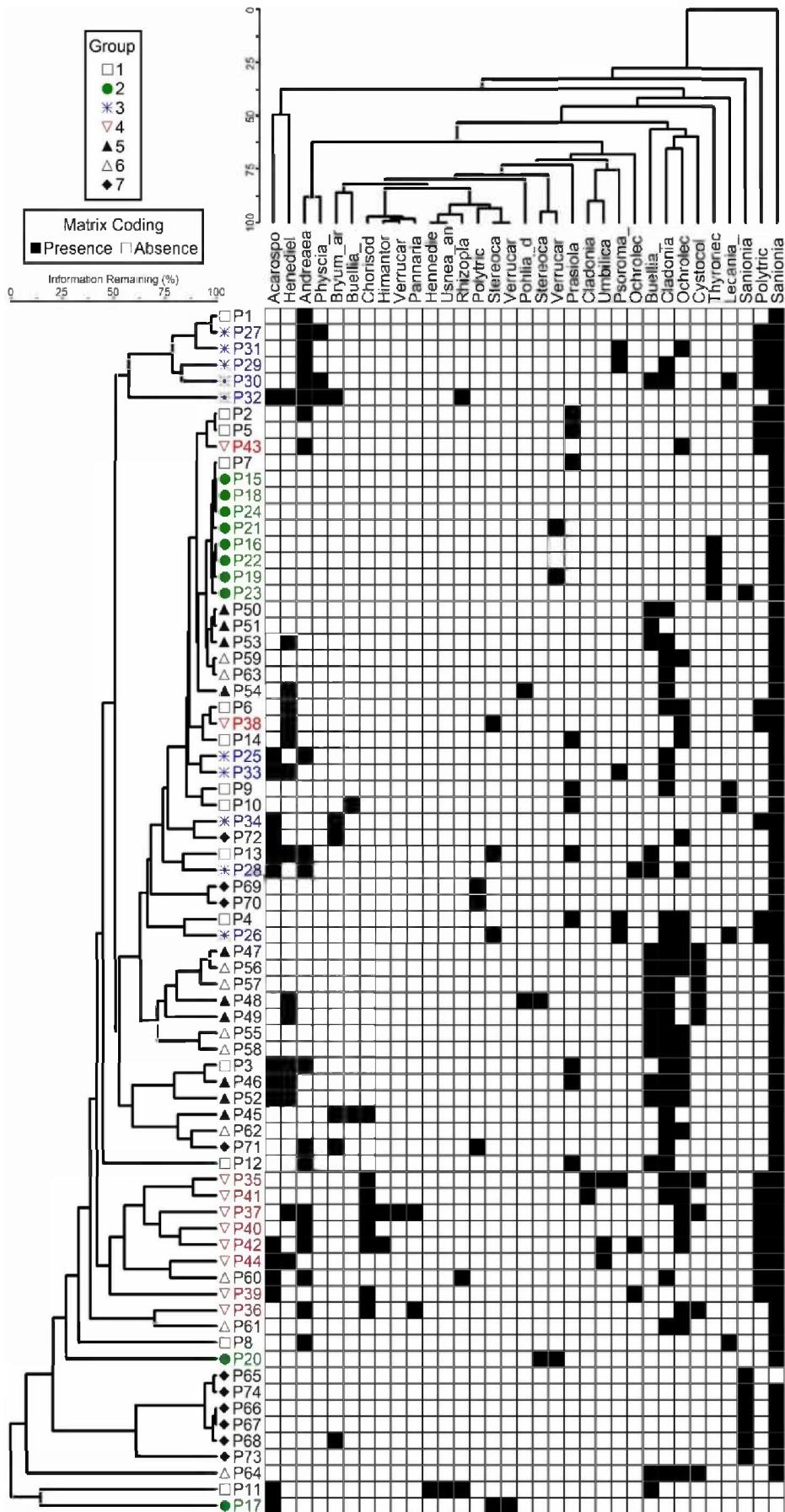


Figure B.13: Dendograma de aproximação das espécies ao longo dos *Felsenmeers* (1-7).

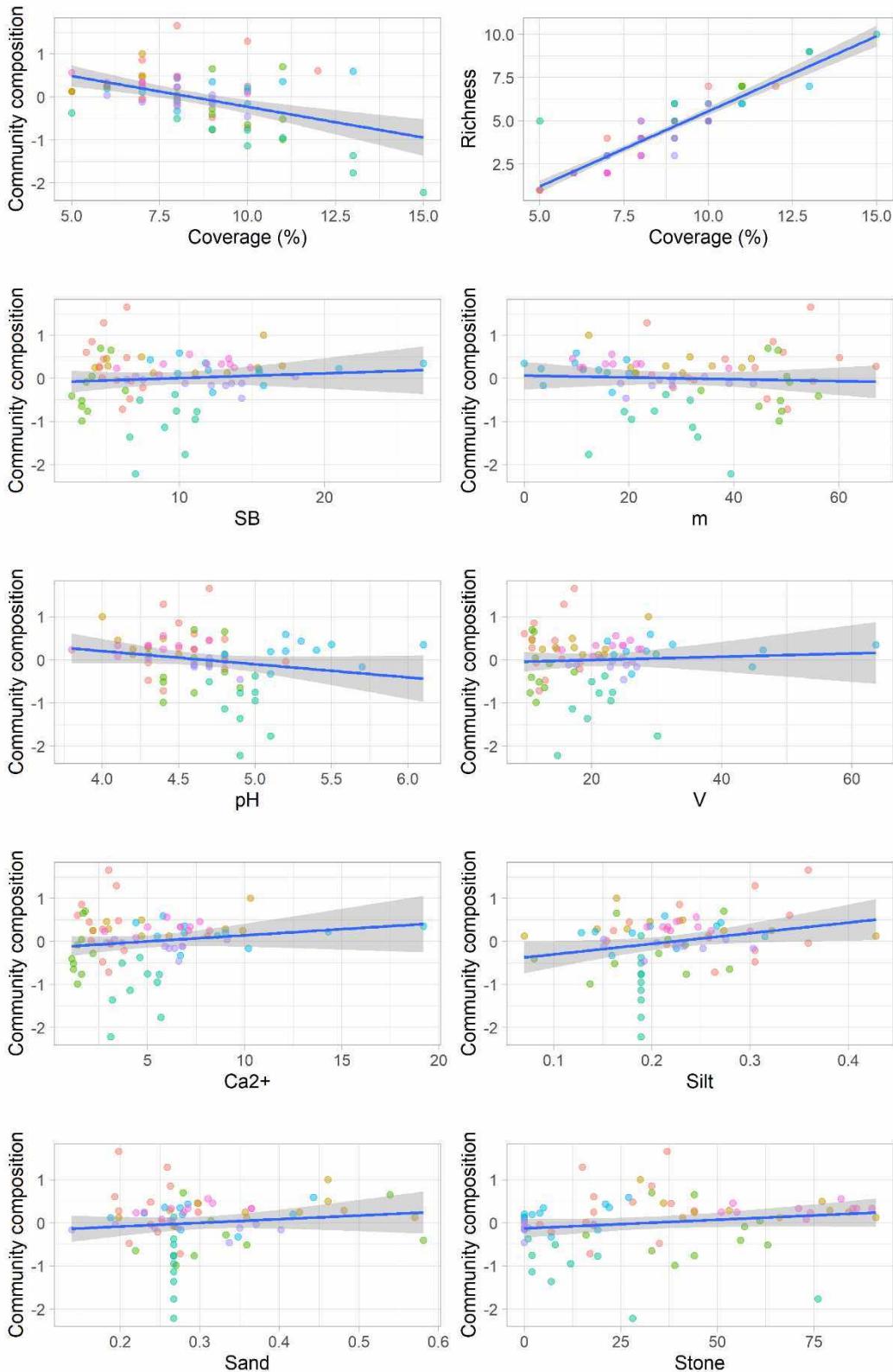


Figure B.14: Modelos de efeitos mistos que preveem a riqueza de espécies e a composição da comunidade com os seguintes preditores: cobertura (cover), soma de bases (SB), saturação por alumínio (m), pH, saturação de bases (V), cálcio (Ca²⁺) silte (silt), areia grossa (sand) e calhaus (stone).