UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E HUMANIDADES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE

JOEL AUGUSTO SAMANEZ SARMIENTO

**Avaliação ambiental da enseada MacKellar, ilha Rei George, Antártica, por
meio de indicadores biológicos (foraminíferos) e sedimentológicos**

São Paulo

2021

JOEL AUGUSTO SAMANEZ SARMIENTO

Avaliação ambiental da enseada MacKellar, ilha Rei George, Antártica, por meio de indicadores biológicos (foraminíferos) e sedimentológicos

Versão corrigida

Dissertação apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciências, pelo Programa de Pós-graduação em Sustentabilidade.

Área de Concentração:

Ciência e Tecnologia ambiental

Orientadora:

Prof. Dra. Wânia Duleba

São Paulo

2021

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO

(Universidade de São Paulo. Escola de Artes, Ciências e Humanidades. Biblioteca)
CRB 8 -4936

Samanez Sarmiento, Joel Augusto

Avaliação ambiental da enseada MacKellar, ilha Rei George, Antártica, por meio de indicadores biológicos (foraminíferos) e sedimentológicos / Joel Augusto Samanez Sarmiento ; orientadora, Wânia Duleba – 2021.

138 f : il.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo
Versão corrigida

1. Ecologia marinha - Antártica. 2. Foraminífera - Antártica.
3. Sustentabilidade. I. Duleba, Wânia, orient. II. Título

CDD 22.ed. – 577.709167

Nome: SAMANEZ SARMIENTO, Joel Augusto

Título: Avaliação ambiental da enseada MacKellar, ilha Rei George, Antártica, por meio de indicadores biológicos (foraminíferos) e sedimentológicos.

Dissertação apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciências, pelo Programa de Pós-graduação em Sustentabilidade.

Área de Concentração:

Ciência e Tecnologia ambiental

Aprovado em: 17/12/2020

Banca Examinadora

Prof^a. Dr^a. Wânia Duleba

Universidade de São Paulo. Escola de Artes, Ciências e Humanidades

Prof^a. Dr^a. Rosalinda Carmela Montone

Universidade de São Paulo. Instituto Oceanográfico

Prof^a. Dr^a. Maria Virginia Alves Martins

Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Geologia

Aos meus pais, Leoncio e Jesusa.

Agradecimentos

À minha orientadora Prof.^a Dr.^a Wânia Duleba, pela valiosa orientação, por toda confiança depositada em mim, pela paciência e pelo apoio incondicional. Por sempre ficar preocupada meu bem-estar e pelo grande carinho que me demonstra sempre.

Ao Instituto do Mar do Peru, pela confiança depositada em minha pessoa e ter a oportunidade de fazer ciência na antártica como parte da equipe científica no programa antártico peruano ANTAR XXVI.

À Prof.^a Dr.^a Rosalinda Montone, pela ajuda inestimável nas análises químicas, informação de grande valor para a culminação desta dissertação. E também pelo apoio na comunicação com o chefe da Estação Comandante Ferraz para poder trazer as amostras.

Ao Ministério de Relações Exteriores do Peru, pela logística e excelente liderança na vigésima sexta expedição do Peru à Antártica.

À Marinha de Guerra do Peru, principalmente à tripulação do BAP Carrasco, por levarmos à Antártica de maneira eficiente e segura.

Ao exército do Peru, principalmente à COA (Companhia de Operações Antárticas), pela ajuda inestimável na coleta de amostras e pela excelente convivência na Estação Científica Antártica Machu Picchu (ECAMP).

À Autoridade Nacional de Serviço Civil (SERVIR), pelo apoio financeiro durante minha estância no Brasil.

Ao meu caro amigo Leonardo, pelo apoio, pela paciência, por compartilhar seus conhecimentos comigo e por fazer minha estância no Brasil mais amena.

Às minhas amigas Camila e Rayssa, por ter me compartilhado seus conhecimentos e por me ajudar nas análises das amostras nos diferentes laboratórios.

E finalmente, agradecer infinitamente aos meus pais Leoncio e Jesusa, já que sem o apoio eles, não seria a pessoa que sou hoje.

“O que com muito trabalho que se consegue, mais você ama.”

Aristóteles (384 AC – 322AC)

RESUMO

SAMANEZ SARMIENTO, Joel Augusto. **Avaliação ambiental da enseada MacKellar, ilha Rei George, Antártica, por meio de indicadores biológicos (foraminíferos) e sedimentológicos.** 2021. 138 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. Versão corrigida.

Ecossistemas do continente antártico têm características únicas devido ao seu isolamento geográfico. O continente ainda tem ambientes quase intangíveis que dependem dos ecossistemas marinhos, especialmente de águas costeiras. Por causa da variedade de fatores que influenciam os ecossistemas marinhos, o estudo das relações entre organismos e parâmetros abióticos é necessário para obter uma compreensão de todo o ecossistema. O Peru é um país signatário do Tratado Antártico (1981), e desde 1988, vem realizando estudos de pesquisa principalmente na baía do Almirantado e áreas próximas. Conta com a Estação Científica Antártica Machu Picchu (ECAMP), localizada na enseada MacKellar, a qual mantém suas atividades durante o verão austral. Nesse contexto, o presente estudo tem por objetivo fazer a avaliação ambiental da enseada MacKellar por meio de indicadores biológicos e sedimentológicos (nutrientes, elementos metálicos e metaloide). Para isto foram analisadas 37 amostras de sedimento superficial, coletadas no verão de 2019. As amostras, coletadas em profundidade de 20 a 109 m, apresentam predominância de sedimentos litoclásticos siltico-argilosos (83%), com matéria orgânica de origem predominantemente marinha. As associações de foraminíferos encontradas são típicas da zona costeira antártica, com baixos valores de densidade de indivíduos vivos e mortos, diversidade e riqueza, e com predominância de espécies calcárias. Nos pontos amostrais situados próximos à linha de costa e às geleiras, os valores de densidade são muito baixos ($1 \text{ a } 20 \text{ ind.60cm}^{-3}$), provavelmente devido ao revolvimento do fundo por ocasião de passagens de frentes frias, além da concentração de blocos de gelo. Nas partes centrais mais profundas e próximas a entrada da enseada, os valores de densidade são maiores na biocenose ($>100 \text{ ind.60cm}^{-3}$) e na tanatocenose ($>200 \text{ ind.cm}^{-3}$). Na biocenose foram encontradas 2251

carapaças pertencentes a 25 gêneros e 28 espécies, sendo *Epistominella exigua* com 22,59% e *Bolivinelina pseudopunctata* com 22,22%, as espécies dominantes. Na tanatocenose, foram encontradas 6961 carapaças, as quais pertencem a 31 gêneros e 34 espécies. *Globocassidulina bitor* com 42,61% foi a espécie dominante. A análise de componentes principais (ACP) permitiu ver que a distribuição dos foraminíferos está fortemente ligada às variáveis físico-químicas. Na biocenose, as principais espécies de foraminíferos apresentam uma correlação positiva com os teores de CaCO_3 , $\text{C}_{\text{org total}}$ e a profundidade e por sua vez, uma correlação negativa com a salinidade. Na tanatocenose, os foraminíferos apresentam uma correlação positiva muito fraca com a profundidade e o oxigênio dissolvido (OD), por sua vez, apresentam correlação positiva com silte, $\text{C}_{\text{org total}}$ e N_{total} . Com respeito às concentrações de metais e metalóide, exceto pelo cobre (Cu) e arsênio (As) com concentrações média de 83 e 12.3 mg.kg⁻¹, respectivamente, que estão entre TEL e PEL; os demais estão abaixo dos valores de TEL estabelecido pela legislação canadense e do nível 1 da resolução CONAMA 344. A presença de metais nos sedimentos, não evidencia poluição antrópica na enseada, pelo contrário, indica influência do intemperismo de fontes terrígenas nas áreas próximas.

Palavras-chave: Associações de foraminíferos. Foraminíferos bentônicos. Enseada Mackellar. Península Antártica. Indicadores sedimentológicos.

ABSTRACT

SAMANEZ SARMIENTO, Joel Augusto. **Environmental assessment of MacKellar Inlet, King George Island, Antarctica, using biological (foraminifera) and sedimentological indicators**. 2021. 138 p. Dissertation (Master in Science) – School of Arts, Sciences and Humanities, University of São Paulo, São Paulo, 2020. Corrected version.

Ecosystems on the Antarctic continent have unique characteristics due to their geographical isolation. The continent still has almost intangible environments that depend on marine ecosystems, especially coastal waters. Because of the variety of factors that influence marine ecosystems, the study of the relationships between organisms and abiotic parameters is necessary to gain an understanding of the entire ecosystem. Peru is a signatory country to the Antarctic Treaty (1981), and since 1988, it has been conducting research studies mainly in the Admiralty Bay and nearby areas. It has the Antarctic Scientific Station Machu Picchu (ECAMP), located in the MacKellar inlet, which maintains its activities during the southern summer. In this context, the present study aims to carry out the environmental assessment of the MacKellar inlet using biological and sedimentological indicators (nutrients, metallic elements and metalloid). For this, 37 surface sediment samples, collected in the summer of 2019, were analyzed. The samples, collected at depths of 20 to 109m, have a predominance of silty-clay lithoclastic sediments (83%), with organic matter of predominantly marine origin. The associations of foraminifera found are typical of the antarctic coastal zone, with low values of density of living and dead individuals, diversity and richness, and with a predominance of calcareous species. In the sampling points located close to the coast line and the glaciers, the density values are very low (1 to $20 \text{ ind.}60\text{cm}^{-3}$), probably due to the revolving of the bottom during passages of cold fronts, in addition to the concentration of blocks of ice. In the deepest central parts and close to the entrance of the inlet, the density values are higher in biocenosis ($> 100 \text{ ind.}60\text{cm}^{-3}$) and in thanatocoenosis ($> 200 \text{ ind.}60\text{cm}^{-3}$). In biocenosis, 2251 tests belonging to 25 genera and 28 species were found, *Epistominella exigua* with 22.59% and *Bolivinelina pseudopunctata* with 22.22%, was the dominant species. In thanatocoenoses, 6961

carapaces were found, which belong to 31 genera and 34 species, *Globocassidulina bionia* with 42.61% was the dominant species. Principal component analysis (PCA) showed that the distribution of foraminifera is strongly linked to physical-chemical variables. In biocenosis, the main foraminifera species have a positive correlation with the levels of CaCO_3 , total organic carbon and depth, on the contrary, a negative correlation with salinity. In thanatocoenosis, foraminifera have a very weak positive correlation with depth and dissolved oxygen (DO), however, has a positive correlation with silt, total organic carbon and total nitrogen. With respect to the concentrations of metals and metalloids, except for copper (Cu) and arsenic (As) with average concentrations of 83 and 12.3 mg.kg^{-1} , respectively, which are between TEL and PEL; the rest are below the TEL values established by Canadian legislation and level 1 of CONAMA 344 resolution. The presence of metals in the sediments does not show anthropic pollution in the inlet, on the contrary, it indicates the influence of weathering from terrestrial sources in the surrounding areas.

Keywords: Foraminifera assemblages. Benthic foraminifera. MacKellar inlet. Antarctic Peninsula. Sedimentological indicators

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estruturas observadas em um foraminífero vivo.	20
Figura 2 - Ciclo de vida clássico dos foraminíferos de ciclo regular, alternância de gerações entre gamonte e agamonte.	20
Figura 3 - Classificação de protistas.	21
Figura 4 - Classificação de Eukariota e seus respectivos super grupos.	23
Figura 5 - Árvore filogenética bayesiana mostrando a nova filogenia de foraminíferos inferida a partir de 53 sequencias completas de SSU rDNA. A árvore foi enraizada com <i>Allogromia</i> sp., <i>A. triangularis</i> e <i>A. rara</i>	26
Figura 6 - a. Mapa da região da Península Antártica e b. Circulação oceânica de fundo da região da Península Antártica.	30
Figura 7 - Enseadas MacKellar, Martel, Ezcurra, Baía do Alimirantado, Antártica.	33
Figura 8 - Estações de amostragem na enseada MacKellar.	36
Figura 9 - Coleta de amostras na enseada MacKellar.	38
Figura 10 - Presença de blocos de gelo na enseada.	38
Figura 11 - Coleta de sedimento com pegador Van Veen.	39
Figura 12 - Pegador Van Veen, pronto para ser lançado.	40
Figura 13 - Pegador Van Veen carregado de sedimento.	41
Figura 14 - Coleta de sedimento superficial, com detalhe da camada oxidada.	41
Figura 15 - Armazenamento das amostras em recipientes plásticos.	42
Figura 16 - Análise granulométrica por meio do difratômetro laser Malvern 2000. IGc-USP.	45
Figura 17 - Lavagem do sedimento em peneiras de 250 µm e 63 µm.	47
Figura 18 - Lavagem dos filtros para tirar os remanentes de ZnCl ₂	48
Figura 19 - Frações dos sedimentos das estações da enseada MacKellar.	54
Figura 20 - Distribuição das frações de sedimento na enseada MacKellar.	55
Figura 21 - Porcentagens dos metais pesados e elementos traço na enseada MacKellar.	59
Figura 22 - Alta predominância da diatomácea <i>Triceratium</i> sp, na estação 1.	60
Figura 23 - Alta predominância da diatomácea <i>Fragilariopsis</i> sp, na estação 11.	61

Figura 24 - Foraminíferos bentônicos encontrados na biocenose e na tanatocenose (calcários e aglutinantes) das amostras coletadas no verão de 2019 na enseada MacKellar, Antártica.....	62
Figura 25 - Valores da densidade (ind.60cm ⁻³) de foraminíferos vivos (biocenose). Em vermelho, amostras com valores de densidade < 100 ind.60cm ⁻³ , em preto > 100 ind.60cm ⁻³ e em laranja > 100 ind.80cm ⁻³	67
Figura 26 - Número de espécies de foraminíferos vivos nos sedimentos.	67
Figura 27 - Porcentagens das principais espécies da biocenose.....	69
Figura 28 - Variação da dominância na biocenose.	70
Figura 29 - Diversidade de espécies da biocenose segundo a diversidade de Simpson (1-D).	71
Figura 30 - Diversidade de espécies da biocenose segundo o Índice de Shannon. .	71
Figura 31 - Variação dos valores de equitabilidade da biocenose.	72
Figura 32 - Valores de densidade (ind.60cm ⁻³) de foraminíferos mortos (tanatocenose). Em vermelho, amostras com valores de densidade <200 ind.60cm ⁻³ , em negro >200 ind.60cm ⁻³ e em laranja >200 ind.80cm ⁻³	76
Figura 33 - Número de espécies de foraminíferos mortos nos sedimentos.....	77
Figura 34 - Porcentagens das principais espécies da tanatocenose.....	78
Figura 35 - Variação da dominância na tanatocenose.	79
Figura 36 - Diversidade de espécies da tanatocenose.....	80
Figura 37 - Diversidade de espécies da tanatocenose segundo o Índice de Shannon.....	80
Figura 38 - Variação dos valores de equitabilidade da tanatocenose.	81
Figura 39 - Dendograma de similaridade entre as estações (biocenose) elaborado a partir do método Ward com distância Euclidiana.	82
Figura 40 - Dendograma de similaridade entre espécies da Biocenose elaborado a partir do método Ward com distância Euclidiana.	83
Figura 41 - Dendograma de similaridade entre as estações (tanatocenose) elaborado a partir do método Ward com distância Euclidiana.	85
Figura 42 - Dendograma de similaridade entre espécies da Tanatocenose elaborado a partir do método Ward com distância Euclidiana.	86

Figura 43 - Agrupamento das estações da biocenose, segundo a ACP.	88
Figura 44 - ACP entre as variáveis bióticas (foraminíferos da biocenose) e abióticas, de amostras coletadas na enseada MacKellar, Antártica, durante o verão de 2019.	89
Figura 45 - Matriz de correlação entre as variáveis bióticas (foraminíferos da biocenose) e abióticas de amostras coletadas na enseada MacKellar, Antártica, durante o verão de 2019.	91
Figura 46 - Agrupamento das estações da tanatocenose, segundo a ACP.	93
Figura 47 - ACP entre as variáveis bióticas (foraminíferos) e abióticas, de amostras coletadas na enseada MacKellar, Antártica, durante o verão de 2019 (Tanatocenose).	94
Figura 48 - Matriz de correlação entre as variáveis bióticas (tanatocenose) e abióticas de amostras coletas na enseada de MacKellar, Antártica, durante verão de 2019.	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coordenadas geográficas das estações de amostragem.	36
Tabela 2 - Valores guia da qualidade de sedimentos segundo a Lista Canadense e CONAMA.....	46
Tabela 3 - Parâmetros físico-químicos das estações da enseada MacKellar.	53
Tabela 4 - Porcentagens do tamanho de grão e sua classificação segundo Shepard (1954) dos sedimentos da enseada MacKellar.....	56
Tabela 5 - Concentrações de Carbono orgânico total (C_{org}), nitrogênio total (N_{total}), razão C/N, classificação da origem da matéria orgânica segundo Stein (1991), teores de $CaCO_3$ e sua classificação segundo Larssonneur et al. (1982) das amostras de sedimento da enseada MacKellar.....	57
Tabela 6 - Concentrações de metais pesados e metalóides na enseada MacKellar.....	58
Tabela 7 - Classificação taxonômica das espécies encontradas na biocenose.	63
Tabela 8 - Abundância absoluta, volume de sedimento utilizado (cm^3) e valores de densidade, riqueza, diversidade, dominância e equitabilidade dos foraminíferos vivos da enseada MacKellar, coletados no verão de 2019.....	65
Tabela 9 - Classificação taxonômica das espécies encontradas na tanatocenose...	72
Tabela 10 - Abundância absoluta, volume de sedimento utilizado (cm^3) e valores de densidade, riqueza, diversidade, dominância e equitabilidade dos foraminíferos mortos da enseada MacKellar, coletados no verão de 2019.	74

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Antártica.....	16
1.2 Foraminíferos.....	19
1.3 Área de estudo.....	29
2 OBJETIVOS	34
2.1 Objetivo Geral	34
2.2 Objetivos Específicos.....	34
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
3.1 Coleta de dados batimétricos, hidrográficos e amostras de sedimento em campo	37
3.2 Granulometria	42
3.3 Análises de conteúdo de carbonato de cálcio (CaCO_3), carbono orgânico e nitrogênio total.	43
3.4 Análise dos elementos metálicos	45
3.5 Análise da foraminíferos.....	46
3.5.1 Identificação taxonômica	49
3.5.2 Determinação de parâmetros estatísticos bióticos.....	49
3.5.3 Índices estatísticos, dendograma de similaridade e análise de componentes principais (ACP)	52
4 RESULTADOS	53
4.1 Parâmetros físico-químicos (profundidade, temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido e pH)	53
4.2 Granulometria	54
4.3 Carbono, nitrogênio e teores de CaCO_3	57
4.4 Metais pesados e metaloides.....	58
4.5 Foraminíferos	60

4.5.1 Estrutura da biocenose	61
62	
4.5.2 Estrutura da tanatocenose	72
4.5.3 Análise de agrupamento da biocenose	81
4.5.4 Análise de agrupamento da tanatocenose	84
4.5.5 Análise de componentes principais da biocenose	87
4.5.6 Matriz de correlação da biocenose	90
4.5.7 Análise de componentes principais da tanatocenose	92
4.5.8 Matriz de correlação da tanatocenose	95
5 DISCUSSÃO	98
6 CONCLUSÃO.....	109
REFERÊNCIAS.....	111
APÊNDICE	126
APÊNDICE A – Variâncias calculadas nas diferentes dimensões da ACP da biocenose.....	126
APÊNDICE B – Fatores de carga das estações, para a dimensão 1, dimensão 2 e dimensão 3 da Análise de Componentes Principais (ACP) da biocenose.	127
APÊNDICE C – Fatores de carga das variáveis bióticas e abióticas, para a dimensão 1, dimensão 2 e dimensão 3 da Análise de Componentes Principais (ACP) da biocenose.....	128
APÊNDICE D – Correlação de Spearman, das variáveis bióticas e abióticas da biocenose.....	129
APÊNDICE E – Variâncias calculadas nas diferentes dimensões da ACP da tantocenose.	131
APÊNDICE F – Fatores de carga das estações, para a dimensão 1, dimensão 2 e dimensão 3 da Análise de Componentes Principais (ACP) da tanatocenose.	132

APÊNDICE G – Fatores de carga das variáveis bióticas e abióticas, para a dimensão 1, dimensão 2 e dimensão 3 da Análise de Componentes Principais (ACP) da tanatocenose.....	133
APÊNDICE H – Correlação de Spearman, das variáveis bióticas e abióticas da tantocenose.	134

1 INTRODUÇÃO

1.1 Antártica

A Antártica está localizada no hemisfério sul, quase inteiramente ao sul do círculo polar antártico. É o continente mais isolado geograficamente dos demais e desempenha um papel essencial na regulação do clima da Terra (PUDSEY; BAKER; HAMILTON, 1988; ROBERTSON et al., 2002). É o continente mais frio, com mais vento e mais seco, com um depósito de mais de 70% da água doce da Terra em forma de manto de gelo, o que o torna o maior concentrador de água doce do planeta, com mais de 70% (ALVARINHO, 2013; TURNER et al., 2013). Em seu entorno, o Oceano Antártico (OA) é um ambiente único, pois é a origem de vários corpos d'água que percorrem o planeta, através da circulação termohalina (SANTINI, 2013), além de ser responsável pela absorção de 40% de dióxido de carbono antropogênico (CO₂) (KHATIWALA et al., 2009).

Com 70 km de extensão, a Península Antártica (PA) é a porção mais setentrional da Antártica, atingindo a latitude 63°S, que estava ligada à América do Sul há 30 milhões de anos. Com a abertura da Passagem Drake (PD), a PA pode ser considerada o único obstáculo encontrado pela Corrente Circumpolar Antártica (CCA), que ainda tem uma importância central na circulação da região, por ser a única corrente a conectar os oceanos Atlântico, Índico e Pacífico (TURNER et al., 2005).

A região periférica da PA possui grande número de plataformas de gelo que têm a função de estabilizar as geleiras continentais adjacentes (GILLE, 2014). No total, as plataformas de gelo representam 11% da área do continente Antártico (VÄLISUO et al., 2014). A temperatura atmosférica é a grande responsável por manter as plataformas conectadas ao continente antártico e as oscilações do clima podem desestabilizá-las, principalmente aquelas localizadas mais ao norte da PA. A desestruturação dessas plataformas no oceano pode ter consequências graves, como a elevação do nível do mar (VAUGHAN; DOAKE, 1996). Há previsões que indicam uma elevação global do nível do mar de cerca de 3 m no lado oeste da PA (JOUGHIN; ALLEY, 2011).

Um exemplo claro dessas destabilizações é o colapso das plataformas Larsen A em 1995 e Larsen B em 2002, ambas no lado leste de PA, que lançaram fragmentos de icebergs compactos no oceano a uma velocidade nunca vista na história geológica do Terra (KUIPERS-MUNNEKE et al., 2014).

Em particular, as áreas norte e oeste da PA apresentam uma tendência de aquecimento médio anual acima dos valores encontrados para outras regiões da Antártica, com aumento de 3 °C desde 1951 (TURNER et al., 2005). Isso, juntamente com o aquecimento das águas superficiais, em mais de 1°C (MEREDITH; KING, 2005) pode levar ao rompimento das plataformas de gelo e também à destabilização de bolsas de metano no sedimento.

Assim, temos que PA é uma das regiões da Terra que experimentou alguns dos maiores índices de aquecimento durante as últimas décadas do século passado (SANCHO et al., 2017), que tem vindo a aumentar desde o início da revolução industrial, com a liberação de gases de efeito estufa que amplificam a conservação e retenção de calor na atmosfera terrestre (HAMILL; TOON, 1991).

Além da importância de reguladora do clima da Terra e detentora de expressivas quantidades de água doce, a Antártica possui reservas biológicas (e.g. krill, peixes e mariscos), de hidrocarbonetos, carvão e minerais. A Península Antártica, por exemplo, possui grandes reservas de hidratos de gás, situadas na região das bacias de Larsen e adjacências, no mar de Weddell. Devido a essa riqueza em bens naturais e combustíveis fósseis, houve disputas geopolíticas e reivindicações territoriais por alguns países no século passado, cujas divergências se acentuaram notadamente durante a Guerra Fria. No intuito de evitar conflitos desnecessários e desgastantes entre os países, foi elaborado o Tratado da Antártica.

Nesse contexto, o Tratado da Antártica, assinado em 1959 e em vigor internacional em 1961, designa o uso do continente Antártico apenas para fins científicos e pacíficos, bem como estabelece o intercâmbio de informações científicas e proíbe novas reivindicações territoriais. Em 1991, para complementá-lo, foi assinado o Protocolo de Proteção Ambiental do Tratado da Antártica, também conhecido como Protocolo de Madri. O encaminhamento é o resultado de diversas convenções

internacionais sobre a conservação de recursos naturais, proibindo qualquer atividade de exploração de recursos minerais e bélicas. O Protocolo de Madri visa garantir a proteção global do meio ambiente antártico e ecossistemas dependentes e associados, declarando à Antártica como Reserva Natural, dedicada à paz e à ciência por um período de 50 anos, até o ano de 2048 (HUGHES et al., 2018).

O Peru aderiu ao Tratado da Antártida em 1981, e sua primeira visita ao continente foi no verão meridional de 1988, com a incumbência de explorar a Ilha Rei George, e a segunda, no ano seguinte, dedicada à construção da base Machu Picchu, localizada na Ilha Rei George, arquipélago das Ilhas Shetland do Sul, na Península Antártica. O Peru vem realizando expedições científicas anuais, denominadas ANTAR. Nas expedições ANTAR foram realizados estudos oceanográficos, hidrográficos, de biologia marinha, glaciológicos, paleontológicos, paleoclimáticos, geológicos, meteorológicos, astronômicos, tecnologia de satélites aplicada à pesquisa e ao uso de energias alternativas no continente Antártico, entre outros.

Sendo então a PA, e a Antártica como um todo, vitais para o equilíbrio do clima terrestre, nota-se a importância da pesquisa e da preservação daquele continente. Santini (2011) tratou anteriormente da dificuldade em realizar essas investigações e levantamentos de informações principalmente na região da PA. Por ser de difícil navegação, com condições climáticas adversas e com intensas correntes de superfície e de fundo, trabalhos com recuperação de sedimentos marinhos ainda são escassos, principalmente no caso de foraminíferos recentes.

Após a década de 1960, estudos recentes de foraminíferos bentônicos foram realizados na margem continental da PA ao sul das Ilhas Shetland do Sul ou a oeste do Estreito de Bransfield (ANDERSON, 1976; CORNELIUS; GOODAY, 2004; FINGER; LIPPS, 1981; GORDON; NOWLIN, 1978; HARLOFF; MACKENSEN, 1997; ISHMAN; DOMACK, 1994; LI et al., 2000; MACKENSEN et al., 1990; MAJEWSKI, 2013; MAJEWSKI et al., 2007; MURRAY; PUDSEY, 2004; RODRIGUES et al., 2013; RODRIGUES et al., 2015).

Dentre os estudos realizados na Antártica, a análise do impacto das mudanças climáticas no ambiente bentônico é necessária, uma vez que mudanças na morfologia

das regiões costeiras podem causar alterações nas correntes de fundo, afetando diretamente o substrato, sedimentação e o fluxo descendente de nutrientes (carbono fitodetrítico), modificando a estrutura das comunidades bentônicas, principalmente as condições sedimentológicas e a disponibilidade de nutrientes no sedimento, além do aumento na incidência de icebergs (CLARKE et al., 2007; GUTT et al., 2011).

Atualmente, pouco se sabe sobre os impactos sinérgicos das mudanças climáticas sobre os organismos marinhos (BERNHARD, 2009), principalmente em relação ao bentos, uma vez que essas comunidades são influenciadas por corpos d'água, aporte de nutrientes da superfície, e podem responder de uma forma rápida a essas variações (WOLLENBURG; KUHNT, 2000).

Dentre os organismos pertencentes à comunidade bentônica, encontram-se os foraminíferos, amplamente utilizados em estudos ambientais, paleoclimáticos e paleoceanográficos (MURRAY, 2006). São bioindicadores sensíveis que apresentam diversas vantagens para seu uso, como o baixo custo de diagnosticar o nível de degradação ambiental, bem como seu potencial de preservação no sedimento, e até a facilidade de obtenção de amostras com tamanho amostral significativo para análise estatística (YANKO et al., 1994; ALVE, 1995).

1.2 Foraminíferos

Os foraminíferos são protistas amebóides unicelulares protegidos ou não por uma carapaça, possuindo pseudópodes finos, anastomosados, granulares (figura 1) e reprodução assexuada e sexuada alternada (PAWLOWSKI et al., 2003, ARMSTRONG; BRASIER, 2005) (figura 2).

Figura 1 - Estruturas observadas em um foraminífero vivo.

Fonte: Adaptado de Armstrong e Brasier (2005).

Figura 2 - Ciclo de vida clássico dos foraminíferos de ciclo regular, alternância de gerações entre gamonte e agamonte.

Fonte: Adaptado de Armstrong e Brasier (2005).

De acordo com Adl et al. (2005, 2012), os foraminíferos podem ser classificados como um grupo parafilético de protozoários amebóides, dotados de carapaças, localizados no Supergrupo SAR (composto por Stramenopilos, Alveolata e Rhizaria), sendo o Subgrupo Foraminifera parte do Grupo Rhizaria (figura 3 e figura 4).

Figura 3 - Classificação de protistas.

Fonte: Extraído de Adl et al., (2012).

Esses protistas surgiram há cerca de 570 milhões de anos, no Período Cambriano, e vivem até os dias atuais. Apresentam uma distribuição cosmopolita, podem ser encontrados entre ambientes marinhos e transições mar-continente (estuários, manguezais, pântanos salobres) (BOERSMA, 1978). Mesmo algumas espécies foram relatadas em água doce (SIEMENSMA et al., 2017) e em solos úmidos, que foram identificadas por meio de DNA ribossômico (LEJZEROWICZ et al., 2010).

Para se alimentar, os foraminíferos projetam seus pseudópodes para fora da carapaça formando uma rede, com a qual é possível capturar partículas de matéria orgânica, diatomáceas, bactérias, algas ou outros organismos. O alimento é então absorvido por fluxos de citoplasma na carapaça. Para a excreção, o processo é revertido (BOERSMA, 1978). A estratégia adotada para a alimentação está relacionada ao desenvolvimento do pseudópode e ao formato da carapaça (DEBENAY; FERNANDEZ, 2009).

Figura 4 - Classificação de Eukariota e seus respectivos super grupos.

	Super-groups	Examples
Eukaryota	Amorphea	Amoebozoa Tubulinea Mycetozoa
		Opisthokonta Fungi Choanomonada Metazoa
		Apusomonada
		Breviata
		Excavata Metamonada Malawimonas Discoba
	Diaphoretickes	Cryptophyceae
		Centrohelida
		Telonemia
		Haptophyta
	Sar	Cercozoa Foraminifera “Radiolaria”
		Alveolata Stramenopiles
		Archaeplastida Glaucophyta Rhodophyceae Chloroplastida
	Incertae sedis Eukaryota	
	Incertae sedis	

Fonte: Extraído de Adl et al., (2012).

Os foraminíferos podem ser planctônicos ou bentônicos, sendo os primeiros bons exemplos de evolução por gradualismo já que apresentam formas intermediárias durante seu ciclo de vida (BOUDAGHER-FADEL, 2015). Por sua vez, os bentônicos são usados para determinar a paleobatimetria e sua relação com os ciclos de variação do nível do mar (COSENTINO et al., 2017).

Dos foraminíferos atuais, tem sido reportado cerca de 2.140 espécies bentônicas (MURRAY, 2007) e aproximadamente 50 espécies planctônicas

(SCHIEBEL; HEMLEBEN, 2005). Os foraminíferos planctônicos não toleram grandes flutuações nas condições ambientais (salinidade, pH e turbidez). Por sua vez, os bentônicos apresentam maior tolerância às variações ambientais presentes tanto na coluna d'água quanto no sedimento (SCOTT et al., 2001).

Apesar do grande número de espécies, apenas o ciclo de vida de um número muito pequeno de espécies é conhecido (BELLIER et al., 2010). De uma forma geral, a reprodução dos foraminíferos ocorre por alternância de gerações assexuada (fase obrigatória) ou sexual (facultativa). Na fase assexuada, ocorre simplesmente a divisão de um indivíduo em vários indivíduos. Estes crescem e os adultos, na fase assexuada, produzem gametas biflagelados que se unem aos pares para formar um ovo ou zigoto. O zigoto cresce originando um indivíduo que se reproduz assexuadamente, fechando o ciclo (ARMOSTRONG; BRASIER, 2005). Em caso de estresse ambiental, pode ocorrer predomínio de indivíduos com reprodução assexuada (SCOTT et al., 2001).

O protoplasma dos foraminíferos é circundado por uma carapaça, que também pode ser chamada de teca ou testa, e pode ser composta por calcita, aragonita, sílica, opalina ou formada por elementos aglutinados do ambiente (SEN GUPTA, 2002). A carapaça dos foraminíferos pode ser formada por uma ou mais câmaras (uniloculares ou pluriloculares) que se comunicam através de uma ou mais aberturas chamadas “forame”. A composição e morfologia da casca, com seus diversos elementos estruturais, são peças fundamentais para a classificação taxonômica (LOEBLICH; TAPPAN, 1988).

Várias classificações foram propostas ao longo do tempo, baseadas principalmente na composição da parede e na morfologia da carapaça. A classificação das espécies atuais é constantemente atualizada, devido a análises moleculares e estudos com foco na genética (PAWLOWSKI; HOLZMANN, 2002a).

Porém, ainda há muito a ser descoberto sobre a classificação taxonômica desses organismos por meio do desenvolvimento de novas técnicas moleculares, baseadas nas filogenias de rDNA SSD (PAWLOWSKI; HOLZMANN; TYSZKA, 2013). Um dos grupos mais problemáticos em relação à classificação taxonômica são os allogromídeos (GOODAY, 2002), pertencentes à classe Monothalamea, ordem

Allogromiida (LOEBLICH; TAPPAN, 1988). Eles são organismos de casca morfológicamente simples, delicados, orgânicos ou predominantemente orgânicos. São abundantes em ambientes frios, com baixa hidrodinâmica e sedimentos argilosos. Apresentam uma grande diversidade de espécies e em alguns casos podem representar cerca de 80% dos foraminíferos vivos de uma associação (MAJEWSKY et al., 2007). Estudos moleculares mostram que os allogromídeos não constituem um agrupamento filogenético natural (PAWLOWSKI et al., 2002a; GOODAY, 2002).

De acordo com a classificação taxonômica tradicionalmente utilizada (LOEBLICH; TAPPAN, 1988), foraminíferos que possuem uma única câmara pertencem à classe Monothalamea. Esta classe é dividida em duas ordens, Allogromiida em que estão incluídos os foraminíferos com carapaça orgânica ou predominantemente orgânica e a ordem Astrorhizida que contém foraminíferos com carapaça aglutinante. Essa classificação é a mais comumente usada na maioria dos estudos (GOODAY, 2002; GOODAY et al., 2004; PAWLOWSKI et al., 2002a; SABBATINI et al., 2007; SABBATINI et al., 2019).

Um estudo de Pawlowski et al. (2013) com base na análise molecular filogenética, sugere uma nova classificação para foraminíferos. Os autores não consideram mais a separação das ordens Allogromiida e Astrorhizida, uma vez que a transição entre a parede orgânica e aglutinante ocorre em diferentes linhagens monotálâmicas. Assim, Pawlowski et al. (2013) sugerem a criação de uma associação parafilética denominada monotalamiids (figura 5). Apesar do avanço dos estudos moleculares, ainda há muito a se descobrir sobre a taxonomia dos foraminíferos, principalmente os monotálâmicos, um dos grupos mais problemáticos.

Figura 5 - Árvore filogenética bayesiana mostrando a nova filogenia de foraminíferos inferida a partir de 53 sequências completas de SSU rDNA. A árvore foi enraizada com *Allogromia* sp., *A. triangularis* e *A. rara*.

Fonte: Extraído de Pawlowski et al., (2013).

Em ambientes extremos como a Antártica, sua biota nativa vem se adaptando às condições extremas da região há muitos milhões de anos, particularmente a comunidade bentônica está sujeita a variáveis ambientais que muitas vezes são limitantes para sua sobrevivência. Esses organismos são caracterizados por uma flexibilidade fisiológica e ecológica considerável (CONVEY; PECK, 2019).

Por se tratar de uma região altamente dinâmica com características geológicas particulares, a PA possui uma grande diversidade de ambientes, como regiões costeiras influenciadas pela contribuição de gelo do continente (RODRIGUES et al., 2013), atividades vulcânicas e hidrotermais (FINGER; LIPPS, 1981), emanções de gás metano hidratado (MILKOV, 2000) e regiões de mar profundo com alta atividade bacteriana que decompõe matéria orgânica da superfície (MACKENSEN; KUHN; FÜTTERER, 1990). Algumas regiões apresentam condições climáticas semelhantes às da Antártica, bem como associações de foraminíferos equivalentes, como os fiordes do norte da Europa, em países como Noruega e Escócia, e região do Ártico (GOODAY et al., 2005; MAJEWSKI; PAWLOWSKI; ZAJACZKOWSKI, 2005b; MURRAY; ALVE, 2016; SABBATINI et al., 2007). Particularmente na Antártica, a zona de dissolução do CaCO_3 é mais rasa, em comparação com outras regiões do planeta. Em ambientes antárticos, a zona de compensação de carbonato está entre 430 e 550 m, causando uma predominância de espécies aglutinantes nessas profundidades. À medida que o carbonato de cálcio sofre dissolução, tornando-o inacessível a outras espécies (KENNETT, 1968).

A batimetria gera diferentes condições ambientais nas quais os foraminíferos estão distribuídos. Em ecossistemas de alto mar, por exemplo, a principal fonte de alimento é o fluxo lábil de carbono orgânico da superfície (GOODAY, 1999). Os foraminíferos bentônicos são o primeiro grupo de organismos que reagem ao aumento da disponibilidade de matéria orgânica, apresentando em muitos casos uma resposta rápida à contribuição dos fitodetritos com densidade crescente e variabilidade na composição de espécies das associações (GOODAY; TURLEY, 1990; FONTANIER et al., 2002). Como consequência desse aporte de matéria orgânica, os organismos podem passar por períodos de baixas concentrações de oxigênio dissolvido no

sedimento, o que torna esse ambiente altamente estressante para a sobrevivência de grande parte das espécies. Em regiões costeiras, a baixa profundidade torna o ambiente vulnerável às condições climáticas de superfície, como tempestades, blocos de gelo, abastecimento de água doce e turbidez da coluna d'água (RODRIGUES; BRAGA; EICHLER, 2015). Para colonizar ambientes altamente vulneráveis como esses, as associações de foraminíferos são constituídas por espécies oportunistas, muitas vezes mais suscetíveis a variações extremas de matéria orgânica e oxigênio.

Em relação ao sedimento, os foraminíferos podem habitar diferentes microhabitats. Jones e Charnock (1985) identificaram quatro grupos (especificamente para foraminíferos aglutinantes) com base em seu modo de vida: forma I - formas fixas eretas; forma II - epifaunal, livre ou fixa, uni ou plurilocular; forma III - epifaunais livres; forma IV - espécie epifítica.

Com base na classificação de Jones e Charnock (1985), Kaminski e Gradstein (2005) dividiram os foraminíferos aglutinantes em morfogrupos, de acordo com seu hábito alimentar e estratégia alimentar. As espécies pertencentes ao morfogrupo I, além de serem epifaunais eretas, possuem hábito alimentar suspensívoro; morfogrupo II são epifaunais rasas, epifaunais superficiais e apresentam hábito alimentar depositívoro ativo; O morfogrupo III é uma espécie exclusivamente epifaunal e um hábito alimentar depositívoro passivo e suspensívoro, o morfogrupo IV é composto por espécies da infauna profunda e espécies depositívoras ativas. Algumas espécies de foraminíferos podem alternar seu estilo de obtenção de alimento, comportando-se como epibiontes, ou tendo comportamento epifaunal ou infaunal, dependendo da disponibilidade de matéria orgânica, podendo até se tornar encistos em condições adversas (LINKE; LUTZE, 1993). Além de uma dieta detritívora, algumas espécies praticam o onivorismo e o carnivorismo (SUHR et al., 2008).

Compreender melhor os hábitos de vida desses organismos e correlacionar esses hábitos com as variáveis físico-químicas da área onde se encontram, possibilita um melhor entendimento das associações de foraminíferos na área de estudo. A estrutura das associações de foraminíferos (composição, riqueza, diversidade, equitabilidade, densidade e padrões de distribuição de abundância) está relacionada

a variáveis químicas e físicas como salinidade, pH, concentração de oxigênio dissolvido, temperatura, profundidade, luminosidade, granulometria, disponibilidade de nutrientes, % carbonato de cálcio (CaCO_3) entre outros, que exercem grande influência na distribuição desses organismos (LOEBLICH; TAPPAN, 1988; BOLTOVSKOY et al., 1991; DEBENAY; FERNANDEZ, 2009).

Por todas essas características, esses organismos são um dos principais grupos de microfósseis utilizados para a reconstituição de antigas condições marinhas, principalmente paleocorrentes, paleoprodutividade e nível relativo do mar (MURRAY, 2006).

Em estudos recentes com foraminíferos, esses organismos podem ser utilizados para monitoramento e avaliação ambiental em áreas impactadas como indicadores de contaminação, uma vez que possuem a capacidade de registrar as características físico-químicas do ambiente em que vivem em suas carapaças (SCOTT et al., 2001). Outros estudos baseados em foraminíferos enfocam o papel que desempenham como testemunhas no ciclo do carbono, na regulação do clima, no processo de acidificação dos oceanos (KEUL et al., 2013) e na exploração de hidrocarbonetos (JONES, 1993).

1.3 Área de estudo

A Península Antártica estende-se ao sul de 62°S por mais de 1.500 km a 75°S e 55° a 80°W (figura 6a). Esta região apresenta geleiras amplamente distribuídas e é interrompida apenas por afloramentos rochosos dispersos. Estende-se desde as Ilhas Shetland do Sul até as ilhas a noroeste do Mar de Weddell (INGÓLFSSON; HJORT; HUMLUM, 2003). A Península Antártica tem um clima glacial marítimo polar a subpolar; como tal, sofre consideráveis chuvas de verão e neve de inverno. É dominada por uma cordilheira acidentada, embora não particularmente alta, atingindo mais de 2.000 m de altura em alguns lugares, mas menos de 1.000 m na maior parte de sua extensão (DOMACK, 2003a). A região pode ser dividida em duas zonas climáticas: uma marinha polar a oeste e uma polar continental a leste da península

(MARTIN; PEEL, 1978). O lado oeste da península é mais frequentemente sujeito a ciclones e é relativamente mais quente, com chuvas que podem chegar a 1.500 mm/ano em comparação com o lado leste, onde as chuvas chegam a apenas 200 mm/ano (ROBIN; ADIE, 1964; ARISTARAIN, 1987).

Figura 6 - a. Mapa da região da Península Antártica e b. Circulação oceânica de fundo da região da Península Antártica.

a. Extraído de Ingólfsson et al. (2003) e b. Extraído de Domack (2003a).

A circulação oceânica na PA é complexa, com a Corrente Circumpolar Antártica (CCA) interagindo com as correntes da região, incluindo as massas de água de fundo e a circulação termohalina sul. Devido a isto, a região torna-se altamente dinâmica, com intenso fluxo em direção ao leste forçado principalmente pelos ventos vindos da direção oeste. Vale destacar que a CCA é a maior corrente do mundo (RINTOUL; SILVA, 2018) e interliga os oceanos Pacífico, Atlântico e Índico, permitindo a troca de calor, sal, carbono e outras propriedades físico-químicas e biológicas, e ao mesmo

tempo, isola termicamente a Antártica, limitando o transporte de calor em direção ao polo (TOGGWEILER; BJORNSSON, 2000; MEREDITH et al., 2011). Por isso, a PA é uma região importante para o transporte de massas de água e circulação oceânica, bem como fluxos de calor entre os oceanos.

Uma das principais barreiras ao fluxo do CCA é a PA, que bloqueia parte da corrente, dando origem a uma região altamente hidrodinâmica (LAMY et al., 2015, RINTOUL; SILVA, 2018). A complexidade da circulação oceânica na PA se deve ao fato de haver várias correntes e massas de água atuando na região. Dentre elas, destacam-se duas massas de água de fundo: Água Quente Profunda Circumpolar (do inglês *Circumpolar Warm Deep Water*, CWDW) e Água Transicional do Mar de Weddell (*Weddell Sea Transitional Water*, WSTW) (figura 6b). A primeira apresenta maior influência na porção noroeste da PA e é predominante na plataforma continental do arquipélago de Palmer, estendendo-se pela margem da plataforma, a nordeste das ilhas Shetland do Sul. A temperatura dessa massa de água varia de 0,9 °C a 2,1 °C com salinidade de 34,3 a 43,8 (TOKARCZYK, 1987).

A segunda massa (WSTW) estendem-se ao longo do Estreito de Bransfield e regiões adjacentes, alcançando o Sul até o Arquipélago de Palmer. A temperatura da água é mais fria que o CWDW, variando de -1,6°C a 1,5°C, com salinidade de 33 a 34,6 (DOMACK, 2003b). Estes corpos d'água com características distintas em relação à temperatura e salinidade, contribuem para a existência de duas regiões com condições climáticas a oeste e a leste da península.

Durante os verões meridionais, praticamente todo o gelo da região da PA se derrete (STAMMERJOHN; SMITH, 1996), causando mudanças nas características físico-químicas da região e com as mudanças climáticas esses ciclos tornam-se cada vez mais intensos, causando alterações muitas vezes irreversíveis (VAUGHAN; DOAKE, 1996). As mudanças climáticas, agravadas pelo aumento da liberação de gases de efeito estufa da atividade humana (IPCC, 2013), afetam diretamente o continente sul e, conseqüentemente, sua fauna, uma vez que organismos que habitam ambientes extremos, que são altamente especializados, não têm capacidade de se

adaptar com a mesma velocidade com que essas alterações ocorrem (ROCKSTROM et al., 2009; GUTT et al., 2011).

A aproximadamente 120 km ao norte da PA, estão localizadas as Ilhas Shetland do Sul. Estas são um grupo de ilhas antárticas onde vários países signatários do Tratado Antártico, possuem bases científicas antárticas que são de uso livre para fins não militares ou comerciais. A Ilha Rei George é a maior ilha deste arquipélago e abriga três baías principais, Baía Maxwell, Baía Almirantado e a Baía Rei George. As duas primeiras baías se destacam por possuir a maior concentração de bases científicas da Antártica, como por exemplo as da Argentina, Brasil, Chile, China, Equador, Coreia do Sul, Peru, Polônia, Rússia e Uruguai.

Dentre as três principais baías, destaca-se a Baía Almirantado, localizada na parte sudoeste da Ilha Rei George, que se caracteriza por agrupar fiordes glaciais de origem tectônica, típico da região da PA. Esta baía apresenta uma área de aproximadamente 120.000.000 m² e é dividida em quatro porções principais, constituída por uma bacia central e três fiordes: enseada Martel, enseada Ezcurra, e a enseada MacKellar (PABIS et al., 2014) (Figura 7).

Na enseada Martel, especificamente na Península Keller, encontra-se a Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), pertencente ao Brasil. Outras instalações de uso eventual estão localizadas próximas a EACF, como o refúgio pertencente ao Equador e a Base Copacabana ou Base Capitão Pieter J. Leni dos Estados Unidos. Na enseada Ezcurra, há a estação de pesquisa polonesa Henry Arctowsky que como a EACF, funciona durante todo ano. Já na enseada MacKellar, há a Estação de Pesquisas Machu Picchu (ECAMP) do Peru que funciona somente durante o verão e que vem realizando uma série de pesquisas na mesma enseada e áreas adjacentes.

Dentre os três fiordes, destaca-se a enseada MacKellar que é a área de estudo do presente trabalho. Ela caracteriza-se por apresentar profundidades menores que 150m e está situada à noroeste da baía do Almirantado. Possui uma larga entrada, delimitada pelas pontas Furmancyck e Punta Plaza, que permitem a circulação de correntes e blocos de gelos, oriundos da baía do Almirantado. Em direção ao interior

da enseada há os embaixamentos Aguilera (EA) e Tarragona (ET), que são circundados pela geleira Domeyko (figura 7).

O EA é também delimitado pelo pico Kappitan e por uma pequena planície, onde está a estação peruana Machu Picchu (ECAMP). Já o ET é delimitado pela península Keller, onde tem um pequeno refúgio brasileiro, situado em sua linha de costa.

Figura 7 - Enseadas MacKellar, Martel, Ezcurra, Baía do Almirantado, Antártica.

Fonte: Próprio autor

De acordo com estudos anteriores em ambientes antárticos, foram detectados impactos ambientais antropogênicos típicos de atividades de pesquisa na baía do Almirantado (TIN et al., 2009). Da mesma forma, existem registros de estudos de foraminíferos na Baía Almirantado, com foco na distribuição de suas comunidades (MAJEWSKI; PAWLOWSKI, 2010; RODRIGUES et al., 2013; RODRIGUES et al., 2015) e além de identificar as associações de foraminíferos bentônicos, o entendimento dessas comunidades de organismos podem atuar como bioindicadores

de poluição na área de estudo, uma característica dos foraminíferos que já foi demonstrada em trabalhos prévios (ALVES et al., 2016).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar os padrões de distribuição espacial e ecológicos de associações de foraminíferos (biocenose e tanatocenose) em relação aos parâmetros sedimentológicos e geoquímicos na enseada MacKellar, Ilha Rei George, Antártica, durante o verão de 2019.

2.2 Objetivos Específicos

- Descrever a estrutura das associações (tanatocenose e biocenose) e seus padrões ecológicos ao longo dos sedimentos superficiais, detalhando a composição das espécies, número de indivíduos e espécies, densidade, diversidade e dominância, além de determinar padrões de distribuição espacial;
- Realizar análises estatísticas multivariadas para identificar as variáveis ambientais que podem influenciar a distribuição das associações de foraminíferos e suas relações com as variáveis bióticas (associações de foraminíferos) e abióticas (variáveis físico-químicas).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho faz parte de um estudo mais amplo, coordenado pelo Instituto do Mar do Peru (IMARPE) e pelo Ministério das Relações Exteriores, cujo estudo consistiu na avaliação da qualidade aquática da Enseada MacKellar, no âmbito da expedição ANTAR XXVI, realizado nos meses de janeiro e fevereiro de 2019 (verão austral).

Os indicadores utilizados para este estudo são os foraminíferos, e foram selecionadas 37 estações de coleta, a fim de obter uma maior área de amostragem com locais marcadamente diferentes, com batimetria distinta e áreas adjacentes a geleiras com gradiente de salinidade. Cada estação de coleta foi georreferenciada com um GPS da marca GARMIN, modelo Montana 680 (figura 8 e tabela 1).

Figura 8 - Estações de amostragem na enseada MacKellar.

Tabela 1 - Coordenadas geográficas das estações de amostragem.

Est.	Prof (m)	Data	Lat. (S)	Long. (W)
E1	52	2-fev-19	62° 05' 24.7"	58° 28' 51.2"
E2	20	5-fev-19	62° 04' 49.9"	58° 28' 00.2"
E3	27	5-fev-19	62° 04' 21.8"	58° 26' 33.1"
E4	40	2-fev-19	62° 04' 05.5"	58° 25' 23.7"
E5	51	11-fev-19	62° 05' 37.7"	58° 27' 42.4"
E6	22	5-fev-19	62° 05' 08.3"	58° 26' 45.4"
E7	38	5-fev-19	62° 04' 57.4"	58° 25' 50.1"
E8	37	5-fev-19	62° 04' 33.4"	58° 25' 30.0"
E9	41	11-fev-19	62° 06' 12.8"	58° 27' 11.5"
E10	109	5-fev-19	62° 05' 49.4"	58° 25' 52.3"

E11	40	8-fev-19	62° 05' 33.5"	58° 24' 50.7"
E12	23	5-fev-19	62° 05' 27.1"	58° 28' 58.6"
E13	45	5-fev-19	62° 04' 57.9"	58° 27' 23.5"
E14	40	5-fev-19	62° 05' 01.8"	58° 25' 54.1"
E15	42	5-fev-19	62° 04' 46.9"	58° 26' 23.9"
E16	90	8-fev-19	62° 05' 36.2"	58° 25' 44.0"
E17	46	8-fev-19	62° 03' 49.0"	58° 25' 23.1"
E18	42	8-fev-19	62° 03' 44.0"	58° 25' 55.0"
E19	41	8-fev-19	62° 05' 07.9"	58° 25' 40.6"
E20	52	8-fev-19	62° 05' 23.8"	58° 29' 12.3"
E21	71	8-fev-19	62° 05' 17.7"	58° 28' 51.9"
E22	84	8-fev-19	62° 05' 05.8"	58° 28' 45.7"
E23	85	8-fev-19	62° 05' 04.0"	58° 28' 35.2"
E24	53	8-fev-19	62° 04' 54.1"	58° 28' 15.8"
E25	42	8-fev-19	62° 04' 58.3"	58° 27' 16.2"
E26	38	8-fev-19	62° 04' 40.2"	58° 26' 35.5"
E27	52	8-fev-19	62° 04' 43.1"	58° 26' 20.2"
E28	99	9-fev-19	62° 05' 11.0"	58° 28' 12.2"
E29	84	9-fev-19	62° 04' 27.0"	58° 26' 02.4"
E30	84	9-fev-19	62° 04' 42.3"	58° 25' 55.1"
E31	41	9-fev-19	62° 05' 13.9"	58° 26' 10.6"
E32	71	9-fev-19	62° 05' 18.9"	58° 25' 24.2"
E33	74	11-fev-19	62° 05' 32.3"	58° 26' 01.3"
E34	70	11-fev-19	62° 05' 39.3"	58° 26' 41.3"
E35	91	11-fev-19	62° 05' 59.3"	58° 26' 57.3"
E36	66	11-fev-19	62° 05' 54.9"	58° 27' 16.2"
E37	55	11-fev-19	62° 05' 38.2"	58° 27' 16.2"

3.1 Coleta de dados batimétricos, hidrográficos e amostras de sedimento em campo

Em cada estação de coleta foram obtidos dados de profundidade (m), temperatura (°C), pH e salinidade da água, por meio de uma sonda multiparamétrica da marca WTW, previamente calibrada.

A coleta de sedimentos foi realizada com pegador Van Veen com área de mordida de 0,05 m² a bordo de um barco Zodiac com motor de popa (figuras 9 e 10).

Figura 9 - Coleta de amostras na enseada MacKellar.

Foto: Próprio autor

Figura 10 - Presença de blocos de gelo na enseada.

Foto: Próprio autor

Quando o pegador era trazido para a superfície, ele era aberto em uma bandeja e as amostras destinadas aos foraminíferos eram retiradas primeiro, sempre raspando a camada superficial oxidada do sedimento (0 a 0,5 cm superficial) (figuras 11 e 12).

Figura 11 - Coleta de sedimento com pegador Van Veen.

Foto: Próprio autor

Figura 12 - Pegador Van Veen, pronto para ser lançado.

Foto: Próprio autor

A bordo da embarcação, as amostras de sedimentos foram armazenadas em recipientes plásticos com solução de álcool ao 70% e coradas em solução de Rosa Bengala (WALTON, 1952) (figuras 13, 14 e 15). Posteriormente, foram coletadas amostras para análises granulométricas e geoquímicas (nutrientes e carbonatos) que também foram acondicionadas em potes plásticos e mantidas congeladas até retorno ao Brasil. Além dessa amostragem, foram coletadas com espátula de aço inoxidável para análises de conteúdo de elementos metálicos. Essas amostras foram acondicionadas em potes plásticos, congelados e encaminhadas para o Peru. O estudo dos elementos metálicos é parte de uma pesquisa que está sendo conduzida pelo IMARPE.

Figura 13 - Pegador Van Veen carregado de sedimento.

Foto: Próprio autor

Figura 14 - Coleta de sedimento superficial, com detalhe da camada oxidada.

Foto: Próprio autor

Figura 15 - Armazenamento das amostras em recipientes plásticos.

Foto: Próprio autor

3.2 Granulometria

No Laboratório de Ciências da Terra (LACITE-EACH), as amostras de sedimento foram descongeladas em estufa a 40°C e posteriormente, encaminhadas para o Laboratório de Sedimentologia do IGcUSP (LABSED), onde o autor da presente dissertação realizou as análises granulométricas que são descritas a seguir.

A análise da granulometria das amostras foi realizada por meio do difratômetro laser Malvern 2000 (figura 16), obtendo-se uma curva contínua de distribuição granulométrica em volume, baseada na difração de raios laser em uma amostra dispersa em água (dispersor Hydro, para amostras lamosas). O referido método consiste em submeter o sedimento desagregado (cerca de 2g) a um feixe de luz, fazendo com que essas partículas de sedimento gerem interferência no feixe de luz. Essas interferências são constituídas por feixes claros e escuros, para os quais o tamanho das partículas é calculado de acordo com a distância entre elas. Os sinais gerados são captados por detectores e enviados para um programa que calcula a

banda granulométrica (expressa em porcentagem), bem como o diâmetro médio dos grãos e respectivos desvios-padrão (ϕ), assimetria e curtose. Em todas as amostras, o sedimento foi classificado de acordo com a escala granulométrica estabelecida por Shepard (1954).

3.3 Análises de conteúdo de carbonato de cálcio (CaCO_3), carbono orgânico e nitrogênio total.

As amostras congeladas de sedimento foram secas em estufa a 40°C por três dias no Laboratório de Ciências da Terra (LACITE-EACH). Posteriormente, as amostras foram pulverizadas em moinho de ágata e homogeneizada no laboratório de Química do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP) pelo autor.

O material pulverizado foi então encaminhado para o Instituto Oceanográfico (IO-USP), foram determinados os teores de carbono orgânico total (C_{org}), porcentagem de carbonato de cálcio ($\%\text{CaCO}_3$) e nitrogênio total (N_{total}).

A análise de Carbono Orgânico Total necessitou a queima de carbonato (CaCO_3) das amostras, para isso, tubos (Falcon) vazios de 20 mL foram pesados em balança analítica, o peso de cada tubo foi anotado em uma planilha (planilha de remoção do carbonato) e a balança foi tarada. Com o auxílio de uma espátula se pesou cerca de 1 grama da amostra seca e foi anotado na planilha o peso exato para o cálculo da porcentagem de carbonato de cálcio (CaCO_3).

Adicionou-se para cada amostra, 2 mL de HCl 1M, adicionados com pipeta automática e se efetuou a homogeneização através de um vórtex modelo Whirli Mixer da marca Fisherbrand, sendo mantida em repouso durante a noite para permitir a acidificação de todo o sedimento.

Após um dia, foi adicionado com pipeta de pasteur 1 gota de HCl concentrado às amostras inspecionadas de modo a não haver mais reação química e fragmentos de carbonato.

Em seguida se adicionou 8 mL de água Milli-Q e as amostras foram homogeneizadas novamente, e colocadas em centrifuga por 10 minutos a 2000 rpm. O liquido sobrenadante foi descartado e as amostras lavadas com água Milli-Q cerca de 5 vezes até que todo o ácido fosse retirado do sedimento (verificado com papel universal de pH). Após as lavagens os tubos com as amostras foram colocados na estufa a 60°C por 3 dias. Seguido da secagem os tubos se pesaram para calcular a porcentagem de CaCO_3 . Imediatamente da remoção de carbonato, o sedimento seco foi homogeneizado em almofariz com pistilo e se pesou entre 6-8 mg de amostra na cápsula de estanho e submetidas no analisador elementar acoplado ao detector de espectrometria de massas (EA-IRMS)

Para a análise de Nitrogênio Total, se pesou entre 6 a 8 mg da amostra seca sem ataque de ácido e acondicionadas em cápsulas de estanho próprias para serem injetadas no espectrômetro de massas (IR-MS).

Figura 16 - Análise granulométrica por meio do difratômetro laser Malvern 2000. IGc-USP.

Foto: Próprio autor

3.4 Análise dos elementos metálicos

Para o presente estudo o IMARPE gentilmente cedeu os resultados de dez amostras (E1, E2, E3, E4, E6, E7, E8, E9, E10, E11).

No Peru, as amostras foram descongeladas em estufa à 40°C, homogeneizadas em almofariz de ágata no Laboratório de Contaminação Química (LCQ) do IMARPE. As amostras foram tratadas adicionando 10 ml de água Milli-Q, 5 ml de HNO_3 e 1 ml de HCl . Todos os reagentes de grau P.A. (para análise). Logo foram armazenados a - 4°C até o momento da análise.

Após tratamento, foram avaliadas as concentrações de manganês (Mn), níquel (Ni), cobre (Cu), zinco (Zn), selênio (Se), cádmio (Cd), antimônio (Sb), Chumbo (Pb) e Mercúrio (Hg) por meio de espectrômetro de massa com plasma (ICP-MS).

Os dados obtidos foram tabulados e comparados aos valores-guia de qualidade de sedimentos da Lista Canadense de Qualidade Ambiental, e aos critérios de classificação da qualidade de sedimentos descritos na Resolução CONAMA N° 344/04 (tabela 2).

Tabela 2 - Valores guia da qualidade de sedimentos segundo a Lista Canadense e CONAMA.

Metais (mg.kg ⁻¹)	Arsênio (As)	Cádmio (Cd)	Crômio (Cr)	Cobre (Cu)	Níquel (Ni)	Chumbo (Pb)	Selênio (Se)	Zinco (Zn)	Mercúrio (Hg)
Limite de detecção*	0,6	0,01	-	0,1	0,5	0,2	0,04	0,6	0,03
Limite de quantificação*	2,0	0,2	-	0,2	1,0	1,0	0,1	1,0	0,05
Nível 1 (CONAMA/344)	8,2	1,2	81	34	20,9	46,7	-	150	0,15
Nível 2 (CONAMA/344)	70	9,6	370	270	51,6	218	-	410	0,71
TEL (CCME, 2002)	7,24	0,7	52,3	18,7	15,9	30,2	-	124	0,13
PEL (CCME, 2002)	41,2	4,2	160	108	42,8	112	-	271	0,7

* Limite de detecção e quantificação do equipamento ICP-MS utilizado no LCQ (IMARPE).

3.5 Análise da foraminíferos

Toda a parte referente a análise dos foraminíferos, foi realizada no Laboratório de Ciências da Terra (LACITE – EACH). As amostras de sedimento fixadas em solução de álcool 70% e coradas com Rosa de Bengala, uma vez em laboratório, foram homogeneizadas e alíquotas sucessivas de 10 cm³ foram extraídas, as quais foram lavadas em peneiras de 250 µm e 63 µm, para eliminar frações de silte e argila (SCOTT et al., 2001; MURRAY, 2006; SCHÖNFELD et al., 2012) (figura 17).

Figura 17 - Lavagem do sedimento em peneiras de 250 μm e 63 μm .

Foto: Próprio autor

A partir do material peneirado úmido, o material retido nas peneiras de 250 μm e 63 μm foi classificado diretamente e as etapas da análise densimétrica por flotação-afundamento foram continuadas com Cloreto de Zinco (ZnCl_2) (SEMENSATTO; DIAS-BRITO, 2007). Para isso, os sedimentos foram colocados num béquer contendo uma solução de ZnCl_2 , as carapaças ao ser mais leve ficaram na superfície. O sobrenadante foi colocado num funil e o ZnCl_2 foi removido com ajuda de uma bomba de vácuo, finalmente os remanentes de ZnCl_2 foram lavados (figura 18) e os filtros foram secos em estufa a 40°C.

Figura 18 - Lavagem dos filtros para tirar os remanentes de ZnCl_2 .

Foto: Próprio autor

Após peneiramento úmido nas malhas de 250 μm e 63 μm , o material foi seco em estufa (40 °C) e submetido à análise densimétrica por flotação-afundamento em ZnCl_2 , para separação das carapaças das partículas sedimentares de maior densidade (grãos de quartzo e outros minerais).

O ZnCl_2 foi removido do sobrenadante usando um papel de filtro. Em seguida, foram secos em estufa (40 °C). Depois de seco, o material foi classificado em estereomicroscópio Zeiss Stemi SV6, com aumento variando de 40 a 50X, retirando-se as carapaças com o auxílio de pincel pelo de marta número 0. As carapaças classificadas foram acondicionadas em lâminas com fundo preto, previamente preparadas com a aplicação de uma fina camada de goma adragante para fixação.

Para verificar a eficiência da recuperação das carapaças pelo método de flutuação e afundamento feito com ZnCl_2 , também foram classificados os resíduos das amostras flutuadas, com o objetivo de se obter um controle na perda das carapaças.

Em todas as verificações, obteve-se eficiência de Cloreto de Zinco acima de 90% de recuperação, validando o método.

Em todas as amostras, foram classificadas pelo menos 200 carapaças entre carbonáticas e aglutinantes (tanatocenose) (FATELA; TABORDA, 2002), assim como um mínimo de 100 indivíduos vivos (biocenose), independentemente do tamanho, coloração ou grau de fragmentação. Quando não foi possível obter o número de carapaças necessárias a partir de uma alíquota de 10 cm³, uma nova alíquota de 10 cm³ foi processada e classificada, e assim sucessivamente até se atingir a contagem mínima estabelecida. Foraminíferos vivos (corados com Rosa de Bengala) foram contados separadamente dos mortos em cada alíquota.

3.5.1 Identificação taxonômica

A identificação das espécies de foraminíferos bentônicos (calcários e aglutinantes) foi realizada com base em literatura específica da área de estudo (ANDERSON, 1976; ENGE; KUCERA; HEINZ, 2012; GOODAY et al., 1996; ISHMAN; DOMACK, 1994; LLANO; WALLEN, 1971; MACKENSEN et al., 1990; MAJEWSKI, 2013; MIKHALEVICH, 2004; MURRAY; PUDSEY, 2004; OSTERMAN; KELLOGG, 1979; PAWLOWSKI et al., 2005), tendo sido consultado o catálogo Ellis e Messina (1940 et. seq.) assim como as publicações de Boltovskoy et al. (1980), Loeblich e Tappan (1988) e o World Register of Marine Species - WoRMS (Hayward et al., 2018).

Alguns exemplares foram fotografados por meio da câmara acoplada no microscópio estereoscópio STEMI V11 da Zeiss para ilustração da meiofauna da enseada MacKellar.

3.5.2 Determinação de parâmetros estatísticos bióticos

A análise dos organismos vivos (biocenose) foi realizada com base naqueles indivíduos que ficaram corados com Rosa de Bengala no momento da coleta. Os

organismos não corados representam a fauna de mortos (tanatocenose), sendo essa fauna o acúmulo de indivíduos de vários períodos sazonais de reprodução. A fauna total refere-se ao somatório da fauna de vivos mais a fauna de mortos.

Para a caracterização das associações de foraminíferos nas áreas de estudo foram aplicados índices ecológicos estatísticas mais utilizadas em estudos de foraminíferos bentônicos (MURRAY, 1991; ISHMAN; DOMACK, 1994; MAJEWSKI, 2013). Para isso, foram calculados:

- *Abundância absoluta (n)*: número total de indivíduos (inteiros ou parcialmente fragmentados) em uma amostra, sendo apresentada em valores discretos.
- *Abundância relativa (p)*: número proporcional de indivíduos em uma amostra, apresentada em valores contínuos podendo ser expressos em porcentagem a partir da fórmula:

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

Equação 1

Onde, p_i = abundância relativa das espécies;

n_i = abundância absoluta da espécie na amostra;

N = número total de indivíduos na amostra

- *Densidade (d)*: número de indivíduos coletados por volume total de sedimento analisado.
- *Riqueza (S)*: número total de espécies que ocorrem em uma amostra.
- *Dominância de Simpson (D)*: indica a probabilidade de dois indivíduos escolhidos ao acaso pertencerem a mesma espécie. Os valores variam de 0 a 1, quanto mais próximo a 1 maior a diversidade e menor a dominância, a inclusão de espécies raras não interfere nos valores do índice (MAGURRAN, 2011). O índice de Simpson foi obtido a partir da fórmula:

$$D = \sum \left[\frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)} \right]$$

Equação 2

Onde, n_i = abundância absoluta da espécie i

N = abundância absoluta total da amostra

- *Diversidade de Shannon-Wiener (H')*: índice que mede a distribuição das espécies dentro de uma amostra, assumindo que os indivíduos são amostrados aleatoriamente a partir de uma população indefinidamente grande, supondo que todas as espécies estão representadas na amostra, sendo mais sensível a todas as espécies raras (MAGURRAN, 1988). Quanto menor o valor expresso pelo índice, menor a diversidade na amostra. A diversidade de Shannon foi obtida a partir de fórmula:

$$H' = -\sum p_i \times \ln(p_i)$$

Equação 3

onde, p_i = abundância relativa da espécie i

- *Equitabilidade (E)*: expressam a maneira como os indivíduos de uma mesma amostra se distribuem entre si. É comumente apresentado junto com os valores de H' e $(1-D)$, para medir a uniformidade da distribuição das espécies. Os valores variam de 0 a 1 (mínimo e máximo respectivamente) obtidos através da formula:

$$J' = \frac{H'}{H'_{MAX}} = \frac{H'}{\ln S}$$

Equação 4

onde: H' = diversidade de Shannon –Wiener

S = número total de espécies na amostra

3.5.3 Índices estatísticos, dendograma de similaridade e análise de componentes principais (ACP)

Os índices estatísticos (dominância, diversidade e equitabilidade) foram obtidos mediante o uso do pacote estatístico PAST 4.0.2.

As variáveis bióticas e abióticas foram submetidas a Análise de Componentes Principais (ACP) (Le et al., 2008; Vaissie et al., 2020), Dendograma de similaridade e Matriz de correlação (Kassambara, 2019), as quais foram trabalhadas com a ajuda do programa estatístico R versão 4.0.3. (R Core Team, 2020).

Para as análises da biocenose foram consideradas as estações com mais de 100 indivíduos vivos, e para a tanatocenose, as estações com mais de 200 carapaças vazias. Nestas condições, foram utilizadas todas as espécies (raras e comuns) na confecção das matrizes biológicas.

4 RESULTADOS

4.1 Parâmetros físico-químicos (profundidade, temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido e pH)

Aa profundidades dos pontos amostrais variaram de 20 a 109 m (tabela 2). Os valores de temperatura da água do fundo oscilaram entre 0,45 a 1,18°C e os de salinidade de 33,39 a 34,6 (tabela 2). Os valores de oxigênio dissolvido e pH oscilaram de 5,57 a 8,17 mg/L e de 8,03 a 8,26 (levemente alcalino), respectivamente (tabela 3).

Tabela 3 - Parâmetros físico-químicos das estacoes da enseada MacKellar.

Amostra	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade	Oxigênio dissolvido (mg L ⁻¹)	pH
E1	52	0,56	33,82	5,63	8,05
E2	20	1,18	33,9	8,07	8,22
E3	27	1,05	33,82	7,43	8,17
E4	40	0,61	33,8	5,57	8,2
E5	51	0,86	34,12	6,1	8,23
E6	22	0,96	34,2	7,49	8,07
E7	38	0,9	33,81	5,88	8,15
E8	37	0,69	33,95	7,5	8,17
E9	41	0,99	34,13	5,7	8,09
E10	109	0,45	34,04	6,85	8,1
E11	40	0,59	34,12	6,9	8,03
E12	23	0,98	33,54	7,84	8,23
E13	45	0,9	33,82	5,61	8,04
E14	40	0,84	33,7	7,73	8,13
E15	42	0,81	33,55	7,38	8,04
E16	90	0,61	34,21	7,57	8,2
E17	46	0,89	33,72	8,17	8,17
E18	42	0,85	33,81	8,17	8,13
E19	41	0,9	33,96	7,43	8,09
E20	52	0,84	33,88	5,7	8,08
E21	71	0,65	33,56	7,04	8,08
E22	84	0,66	33,78	7,55	8,19
E23	85	0,72	33,53	7,74	8,15
E24	53	0,66	33,39	6,86	8,06
E25	42	0,81	34,02	6,33	8,06

E26	38	1,02	33,95	5,81	8,19
E27	52	0,76	33,49	7,03	8,22
E28	99	0,56	33,86	7,38	8,16
E29	84	0,66	33,93	6,52	8,21
E30	84	0,55	33,89	6,51	8,13
E31	41	1,12	33,9	5,83	8,17
E32	71	0,96	34,6	5,8	8,04
E33	74	0,57	34,11	6,96	8,16
E34	70	0,84	34,02	6,5	8,15
E35	91	0,83	34,33	6,04	8,22
E36	66	0,64	33,98	7,12	8,26
E37	55	0,64	33,85	7,64	8,15

4.2 Granulometria

Constata-se que os sedimentos na maioria das amostras da Enseada MacKellar, segundo a classificação de Shepard (1954), são silte-argiloso (83%), com exceção das estações 2, 5, 6, 19 e 36 onde ocorre silte-arenoso. O ponto 9 foi a única estação com sedimento da fração areia (figura 19, tabela 4).

Figura 19 - Frações dos sedimentos das estações da enseada MacKellar.

No gráfico 20, observa-se, que a única estação com fração areia (E9), encontra-se no extremo sul; as demais frações silte-argiloso e silte-arenoso se acham distribuídos pela enseada.

Figura 20 - Distribuição das frações de sedimento na enseada MacKellar.

Tabela 4 - Porcentagens do tamanho de grão e sua classificação segundo Shepard (1954) dos sedimentos da enseada MacKellar.

Amostra	Areia (%)					Lama (%)		Classificação Shepard (1954)
	Mto Grossa	Grossa	Média	Fina	Mto Fina	Silte	Argila	
E1	0,03	0,66	2,70	3,90	7,50	62,30	22,91	Silte argiloso
E2	0,01	0,21	4,22	14,97	17,47	47,67	15,44	Silte arenoso
E3	0,00	0,00	1,02	4,38	6,08	62,75	25,77	Silte argiloso
E4	0,30	1,44	3,61	3,31	5,67	63,62	22,06	Silte argiloso
E5	0,00	0,31	3,11	8,34	12,68	58,62	16,94	Silte arenoso
E6	0,02	0,83	3,73	6,92	13,26	57,34	17,89	Silte arenoso
E7	0,00	0,15	1,45	3,56	5,97	60,65	28,21	Silte argiloso
E8	0,00	0,56	4,58	4,41	7,78	63,32	19,36	Silte argiloso
E9	12,02	14,94	36,85	16,91	3,29	11,84	4,14	Areia
E10	0,00	0,25	1,49	2,63	5,07	64,79	25,76	Silte argiloso
E11	0,58	1,19	3,81	3,93	7,29	63,27	19,94	Silte argiloso
E12	0,00	0,65	3,62	5,97	8,85	60,48	20,43	Silte argiloso
E13	0,00	0,00	0,95	3,07	5,49	62,93	27,57	Silte argiloso
E14	0,16	1,81	5,86	5,97	8,54	54,38	23,27	Silte argiloso
E15	0,00	0,21	1,15	2,20	5,28	62,64	28,52	Silte argiloso
E16	0,00	0,21	1,15	1,93	4,10	68,51	24,10	Silte argiloso
E17	0,00	0,21	1,25	0,82	2,54	66,31	28,88	Silte argiloso
E18	0,00	0,15	1,06	1,92	3,10	65,51	28,25	Silte argiloso
E19	0,00	0,94	3,75	5,26	9,47	61,77	18,80	Silte arenoso
E20	0,00	0,40	2,71	4,82	8,05	57,08	26,94	Silte argiloso
E21	0,00	0,24	1,53	2,61	4,61	63,67	27,34	Silte argiloso
E22	0,00	0,00	0,66	2,00	4,09	64,19	29,07	Silte argiloso
E23	0,00	0,28	1,29	1,79	4,30	63,23	29,12	Silte argiloso
E24	0,00	0,06	1,22	2,47	4,25	62,93	29,07	Silte argiloso
E25	0,00	0,39	1,76	1,85	5,02	63,57	27,41	Silte argiloso
E27	0,00	0,12	1,09	1,74	3,49	63,48	30,08	Silte argiloso
E28	0,00	0,10	1,37	3,17	4,99	63,05	27,31	Silte argiloso
E29	0,00	0,21	0,90	1,23	3,52	64,17	29,97	Silte argiloso
E30	0,00	0,00	2,43	8,75	9,09	55,63	24,09	Silte argiloso
E31	0,00	0,09	0,80	1,93	5,57	64,26	27,35	Silte argiloso
E32	0,00	0,00	0,67	2,44	7,78	64,93	24,19	Silte argiloso
E33	0,00	0,02	0,65	1,48	3,61	67,28	26,95	Silte argiloso
E34	0,00	0,05	0,79	1,73	3,89	66,12	27,42	Silte argiloso
E35	0,00	0,26	1,22	3,80	7,28	64,78	22,65	Silte argiloso
E36	0,00	0,85	8,73	11,67	8,14	52,15	18,46	Silte arenoso
E37	0,00	0,00	0,63	2,28	4,39	68,94	23,77	Silte argiloso

4.3 Carbono, nitrogênio e teores de CaCO_3

Nos sedimentos, as porcentagens de $\text{C}_{\text{org total}}$, variaram entre 0,16 e 0,46% e os valores de N_{total} oscilaram entre 0,02 e 0,12%. A razão C/N das amostras apresentaram valores entre 1,77 a 9,66. E segundo a classificação C/N de Stein (1991), grande parte dos sedimentos tem presença de matéria orgânica marinha, só os sedimentos das estações 10 e 33 tem presença de matéria orgânica mista (marinho e continental). Do mesmo modo, os sedimentos são essencialmente litoclásticos (segundo a classificação de Larssonneur et al., 1982), apresentando porcentagens de CaCO_3 abaixo de 30 % (tabela 5).

Tabela 5 - Concentrações de Carbono orgânico total (C_{org}), nitrogênio total (N_{total}), razão C/N, classificação da origem da matéria orgânica segundo Stein (1991), teores de CaCO_3 e sua classificação segundo Larssonneur et al. (1982) das amostras de sedimento da enseada MacKellar.

Amostra	% Carbono Orgânico Total	% Nitrogênio Total	C/N	Classificação C/N Stein (1991)	% CaCO_3	Classificação de Larssonneur et al. (1982)
E1	0,32	0,06	5,33	Marinho	11,71	Litoclástico
E2	n.d.	0,03			9,31	Litoclástico
E3	0,28	n.d.			11,12	Litoclástico
E4	n.d.	0,05			16,59	Litoclástico
E5	0,19	0,04	4,75	Marinho	11,26	Litoclástico
E6	n.d.	0,05			10,57	Litoclástico
E7	0,2	0,06	3,33	Marinho	29,21	Litoclástico
E8	0,29	0,05	5,8	Marinho	14,86	Litoclástico
E9	n.d.	0,02			8,43	Litoclástico
E10	0,41	0,06	6,83	Misto	16,62	Litoclástico
E11	0,29	0,05	5,8	Marinho	12,68	Litoclástico
E12	0,16	0,04	4	Marinho	12,44	Litoclástico
E13	0,17	0,04	4,25	Marinho	10,95	Litoclástico
E14	n.d.	0,03			21,19	Litoclástico
E15	0,25	0,05	5	Marinho	14,29	Litoclástico
E16	0,43	0,11	3,91	Marinho	15,77	Litoclástico
E17	0,24	0,04	6	Marinho	13,54	Litoclástico
E18	0,27	0,07	3,86	Marinho	15,76	Litoclástico
E19	0,29	0,08	3,63	Marinho	14,18	Litoclástico
E20	n.d.	0,03			10,79	Litoclástico
E21	0,2	0,04	5	Marinho	10,13	Litoclástico
E22	0,17	0,04	4,25	Marinho	12,98	Litoclástico

E23	0,19	0,04	4,75	Marinho	12,84	Litoclástico
E24	0,2	0,04	5	Marinho	12,18	Litoclástico
E25	0,17	0,04	4,25	Marinho	10,52	Litoclástico
E27	0,3	0,06	5	Marinho	12,62	Litoclástico
E28	0,19	0,04	4,75	Marinho	11,61	Litoclástico
E29	0,24	0,06	4	Marinho	18,06	Litoclástico
E30	0,26	0,05	5,2	Marinho	13,11	Litoclástico
E31	0,28	0,08	3,5	Marinho	12,93	Litoclástico
E32	0,23	0,09	2,55	Marinho	14,1	Litoclástico
E33	0,29	0,03	9,66	Misto	14,48	Litoclástico
E34	0,4	0,12	3,33	Marinho	14,4	Litoclástico
E35	0,36	0,08	4,5	Marinho	16,68	Litoclástico
E36	0,16	0,09	1,77	Marinho	12,2	Litoclástico
E37	0,46	0,11	4,18	Marinho	13,71	Litoclástico

4.4 Metais pesados e metaloides

As concentrações de manganês (Mn), níquel (Ni), cobre (Cu), zinco (Zn), arsênio (As), selênio (Se), cádmio (Cd), antimônio (Sb), Chumbo (Pb) e Mercúrio (Hg) e seus respectivos valores de causa-efeito estão apresentadas na tabela 6 e figura 21.

Tabela 6 - Concentrações de metais pesados e metaloides na enseada MacKellar.

TEL (CCME, 2002)	-	15,9	18,7	124	7,24	-	0,7	-	30,2	0,13
PEL (CCME, 2002)	-	42,8	108	271	41,6	-	4,2	-	112	0,7
Amostra	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Se	Cd	Sb	Pb	Hg
E1	650	8.5	91.8	60.7	15.2	4.53	0.08	0.13	10.1	<0.03
E2	564	9.9	108	57.1	11.5	3.98	0.07	0.20	9.3	<0.03
E3	586	9.4	88.2	59.6	10.0	2.17	0.09	0.14	9.1	<0.03
E4	670	10.8	85.7	68.0	12.4	1.62	0.12	<0.05	9.4	<0.03
E6	665	10.8	91.9	62.2	13.1	4.34	0.08	0.18	9.1	<0.03
E7	646	9.2	76.5	66.4	11.5	1.36	0.09	0.12	8.8	<0.03
E8	673	9.9	74.3	61.9	13.1	1.28	0.14	0.11	8.6	<0.03
E9	586	9.1	59.9	48.7	12.4	5.01	0.06	0.14	6.9	<0.03
E10	796	12.7	71.6	84.7	13.2	0.35	0.16	0.23	9.4	<0.04
E11	689	9.8	82.5	67.6	10.9	1.42	0.09	0.15	10.0	<0.05

*Valores em mg kg⁻¹

A diretriz de qualidade de sedimento do Canadá, é considerada como a mais restritiva diretriz internacional, também delimita dois níveis de probabilidade de ocorrência de efeitos biológicos adversos: 1) TEL (*Threshold Effect Level*) – indica o nível abaixo do qual não ocorre efeito adverso à comunidade biológica, 2) PEL (*Probable effect level*) – é o nível acima do qual é provável a ocorrência de efeito adverso à comunidade biológica. A faixa entre o TEL e o PEL representa uma possível ocorrência de efeito adverso à comunidade biológica.

Da tabela 6, os valores de Cu e As estão entre os limites de TEL e PEL em todas as estações, indicando que os sedimentos podem causar algum dano à biota.

Figura 21 - Porcentagens dos metais pesados e elementos traço na enseada MacKellar.

4.5 Foraminíferos

Foram triadas 37 amostras de sedimentos nas quais foram encontradas carapaças ou fragmentos de foraminíferos bentônicos calcários e aglutinantes, vivos e mortos. No presente estudo optou-se por trabalhar com a biocenose separada da tanatocenose. Adicionalmente, menciona-se a alta predominância de diatomáceas do gênero *Triceratium* sp. (figura 22) e *Fragilariopsis* sp. (figura 23) nas estações E1, E8, E11, E31 e E32.

Figura 22 - Alta predominância da diatomácea *Triceratium* sp, na estação 1.

Figura 23 - Alta predominância da diatomácea *Fragilariopsis* sp, na estação 11.

4.5.1 Estrutura da biocenose

Das 37 amostras foram triadas um total de 2251 carapaças pertencentes a 25 gêneros e 29 espécies entre calcários e aglutinantes (Tabelas 6 e 7). Algumas espécies identificadas estão representadas na figura 24. As espécies pertencem às classes Monothalamea (1 gênero), Globothalamea (16 gêneros), Tubothalamea (4 gêneros) e Nodosariata (4 gêneros) (Tabela 6).

Figura 24 - Foraminíferos bentônicos encontrados na biocenose e na tanatocenose (calcários e aglutinantes) das amostras coletadas no verão de 2019 na enseada MacKellar, Antártica.

1. *Nodulina dentaliniformis* 2. *Psammosphaera fusca* 3. *Hippocrepinella* hirudínea
4. *Rhabdammina* sp. 5. *Cribrostomides jeffreysii* 6. *Globocassidulina bora* 7. *Sacammina* sp.
8. *Reophax regularis* 9. *Reophax scorpiurus* 10. *Portatrochammina antarctica* subsp. *antarctica*
11. *Lagenammina* sp. 12. *Spiroplectammina biformis* 13. *Bolivinelina pseudopunctata*
14. *Cassidulinoides parkeriana* 15. *Fursenkoina rigii* 16. *Ammodiscus incertus*
17. *Quinqueloculina* sp. 18. *Miliammina arenacea*
19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26.
27. 28. 29. 30. 31. 32.

19. *Cibicidoides wuellerstorfi* 20. *Adercotryma glomeratum* 21. *Eggereloides advenus* 22. *Textularia earlandi* 23. *Glomospira* sp. 24. *Cuneata arctica* 25. *Leptohalysis catella* 26. *Oolina* sp. 27. *Trifarina earlandi* 28. *Lepidoparatrochammina lepida* 29. *Pseudobolivina antarctica* 30. *Epistominella exigua* 31. *Eggerella nitens* 32. *Nonionellina* sp.

Tabela 7 - Classificação taxonômica das espécies encontradas na biocenose.

Classe	Ordem	Espécie
Monothalamea	Astrorhizida	<i>Lagenammina atlantica</i> (Cushman, 1944)
		<i>Lagenammina</i> sp.
Globothalamea	Lituolida	<i>Adercotryma glomeratum</i> (Brady, 1878)
		<i>Cribrostomoides jeffreysii</i> (Williamson, 1858)
		<i>Eggereloides advenus</i> (Cushman, 1922)
		<i>Lepidoparatrochammina lepida</i> (Brönnimann & Whittaker, 1986)
		<i>Portatrochammina antarctica</i> subsp. <i>antarctica</i> (Parr, 1950)
		<i>Pseudobolivina Antarctica</i> Wiesner, 1931
		<i>Spiroplectammina biformis</i> (Parker & Jones, 1865)
	Rotaliida	<i>Bolivinelina pseudopunctata</i> (Höglund, 1947)
		<i>Cassidulinoides parkeriana</i> (Brady, 1881)
		<i>Cibicidoides wuellerstorfi</i> (Schwager, 1866)
		<i>Epistominella exigua</i> (Brady, 1884)
		<i>Fursenkoina riggii</i> (Boltovskoy, 1954)
		<i>Globocassidulina bora</i> (Crespin, 1960)
		<i>Nonionellina</i> sp.
	Textulariida	<i>Eggerella nitens</i> (Wiesner, 1931)
		<i>Eggerella</i> sp.
		<i>Textularia earlandi</i> Parker, 1952
Tubothalamea	Spirillinida	<i>Ammodiscus incertus</i> (d'Orbigny, 1839)
		<i>Glomospira</i> sp.
	Miliolida	<i>Miliammina arenacea</i> (Chapman, 1916)
		<i>Quinqueloculina</i> sp.
Nodosariata	Subord. Hormosinina	<i>Cuneata arctica</i> (Brady, 1881)
		<i>Leptohalysis catella</i> (Höglund, 1947)
		<i>Nodulina dentaliniiformis</i> (Brady, 1881)
		<i>Reophax regularis</i> Höglund, 1947
		<i>Reophax scorpiurus</i> Montfort, 1808

As estações estudadas apresentaram diferentes valores de densidade (número de indivíduos por volume), riqueza, diversidade, dominância e equitabilidade, conforme pode-se constatar na tabela 7.

Tabela 8 - Abundância absoluta, volume de sedimento utilizado (cm³) e valores de densidade, riqueza, diversidade, dominância e equitabilidade dos foraminíferos vivos da enseada MacKellar, coletados no verão de 2019.

Espécies (Biocenose)	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19
Número de indivíduos	6	1	4	8	113	2	29	9	3	107	101	2	19	66	31	181	101	123	27
Alíquota ou volume de sedimento (cm ³)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	40	80	60	60	80	80	40	80	80	60
Densidade (nº indivíduos.60 cm ⁻³)	6	1	4	8	113	2	29	9	3	161	76	2	19	50	23	272	76	92	27
Riqueza (S)	2	1	1	2	18	2	6	4	2	17	11	2	9	12	9	12	12	14	11
Diversidade de Shannon (H')	0.64	0.00	0.00	0.56	2.37	0.69	1.34	1.22	0.64	2.03	1.82	0.69	1.99	2.13	1.74	1.05	1.18	1.57	1.84
Dominância de Simpson (D)	0.56	1.00	1.00	0.63	0.12	0.50	0.34	0.33	0.56	0.23	0.23	0.50	0.17	0.15	0.25	0.58	0.52	0.35	0.25
Diversidade de Simpson (1-D)	0.44	0.00	0.00	0.38	0.88	0.50	0.66	0.67	0.44	0.77	0.77	0.50	0.83	0.85	0.75	0.42	0.48	0.65	0.75
Equitabilidade (E)	0.94	1.00	1.00	0.88	0.59	1.00	0.63	0.84	0.94	0.45	0.56	1.00	0.81	0.70	0.64	0.24	0.27	0.34	0.57
<i>Adercotryma glomeratum</i>					6					2	5					3	1		
<i>Ammodiscus incertus</i>					1									10			1		
<i>Bolivinelina pseudopunctata</i>										47	8			9		137	1	16	1
<i>Cassidulinoides parkeriana</i>					14					10	10			4		14	6	3	1
<i>Cibicidoides wuellerstorfi</i>					2	1				3	1			3	3	1	1	1	
<i>Cibicidoides jeffreysii</i>					1		2			1			3					1	1
<i>Cuneata arctica</i>					1								1				1		
<i>Eggerella</i> sp.					3														
<i>Eggerella nitens</i>					1					1			1					1	
<i>Eggerelloides advenus</i>					5						3			2	1			1	1
<i>Epistominella exigua</i>			2	6	17		1	4	2	8	21			18	3	5	72	69	5
<i>Fursenkoina riggii</i>										9	1			1	1	6	1	9	
<i>Globocassidulina biora</i>	4				21		3	1	1	2		1	1	2	1	5	4	1	2
<i>Globocassidulina subglobosa</i>	2																		
<i>Glomospira</i> sp.					1					1									
<i>Lagenammina atlantica</i>										1									
<i>Lagenammina</i> sp.																			
<i>Lepidoparatrochammina lepida</i>		1			1					4	2			2					
<i>Leptohalysis catella</i>																			
<i>Miliammina arenacea</i>					2					1			1		1				1
<i>Nodulina dentaliniformis</i>																1			
<i>Nonionellina</i> sp.					1					3						2		1	
<i>Portatrochammina antarctica</i>					16		15	3		2	8		2	9	4	1	2	2	1
<i>Pseudobolivina antarctica</i>				2	15	1	7			11	40		2	5	14	5	9	12	12
<i>Quinqueloculina</i> sp.								1										1	
<i>Reophax regularis</i>										1									
<i>Reophax scorpiurus</i>																1			
<i>Spiroplectammina biformis</i>					5		1				2	1	6	1	3		2	5	1

Textularia earlandi

2

1

Continua

Espécies (Biocenose)	E20	E21	E22	E23	E24	E25	E26	E27	E28	E29	E30	E31	E32	E33	E34	E35	E36	E37
Número de indivíduos	7	101	105	51	1	3	10	21	30	185	31	100	106	102	114	114	136	101
Alíquota ou volume de sedimento (cm³)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	80	60	60	60	20	60	10	60	40
Densidade (nº indivíduos.60cm ⁻³)	7	101	105	51	1	3	10	21	30	139	31	100	106	306	114	684	136	152
Riqueza (S)	6	13	10	8	1	3	5	9	8	10	8	13	16	11	15	9	16	15
Diversidade de Shannon (H')	1.54	1.47	1.71	1.67	0.00	1.10	1.23	1.86	1.65	1.14	1.46	2.15	2.24	1.43	2.17	1.37	2.11	2.04
Dominância de Simpson (D)	0.27	0.38	0.25	0.25	1.00	0.33	0.40	0.21	0.25	0.45	0.32	0.14	0.15	0.41	0.17	0.40	0.18	0.20
Diversidade de Simpson (1-D)	0.73	0.62	0.75	0.75	0.00	0.67	0.60	0.79	0.75	0.55	0.68	0.86	0.85	0.59	0.83	0.60	0.82	0.80
Equitabilidade (E)	0.78	0.34	0.55	0.67	1.00	1.00	0.68	0.71	0.65	0.31	0.54	0.66	0.59	0.38	0.58	0.44	0.51	0.51
<i>Adercotryma glomeratum</i>		7	7	2				1		3		3	8	4	5	4	6	1
<i>Ammodiscus incertus</i>		1						1										1
<i>Bolivinelina pseudopunctata</i>												9	18	63	39	70	10	2
<i>Cassidulinoides parkeriana</i>										15	2	16	15	11	10	13	19	7
<i>Cibicidoides wuellerstorfi</i>							1			1			5		2		3	2
<i>Cribratomoides jeffreysii</i>		9	9	2		1			3				1		4		3	
<i>Cuneata arctica</i>			1	2					1		1	1						
<i>Eggerella</i> sp.																		
<i>Eggerella nitens</i>	1	1						4	1	4		1	4		3	1	4	3
<i>Eggerelloides advenus</i>		1										1					1	
<i>Epistominella exigua</i>	2						1	2		117	14	16	8		15	7	48	24
<i>Fursenkoina riggii</i>		2							2	1	1	2	2	2	3	9	2	2
<i>Globocassidulina biora</i>		2	24	3		1	1	8	1	1	1	13	1	2	3		5	35
<i>Globocassidulina subglobosa</i>																		
<i>Glomospira</i> sp.																		5
<i>Lagenammina atlantica</i>																		
<i>Lagenammina</i> sp.														1				
<i>Lepidoparatrochammina lepida</i>	1				1			1		2							1	4
<i>Leptohalysis catella</i>		1	1										1				1	
<i>Miliammina arenacea</i>			4												1			1
<i>Nodulina dentaliniformis</i>		1												2				
<i>Nonionellina</i> sp.												1	4	2	4	5		
<i>Portatrochammina antarctica</i>	1	1	6	8				1	2	1	1	6	4		4		10	6
<i>Pseudobolivina antarctica</i>	5	59	44	22		1	6	1	12	40	9	23	30	9	16	4	20	7
<i>Quinqueloculina</i> sp.											1			1				
<i>Reophax regularis</i>													1			1		
<i>Reophax scorpiurus</i>		1	1	3										5	1			
<i>Spiroplectammina biformis</i>	1	15	8	9			1	2	8			8	2				1	1
<i>Textularia earlandi</i>													2		4		2	

As estações 2 e 24 apresentaram o menor valor de densidade (1 ind. 60cm⁻³) e a estação 35 apresentou o maior valor (684 ind. 60cm⁻³) (figura 25). A riqueza de espécies variou de 1 a 18 espécies, sendo a estação 5 a mais rica (figura 26).

Figura 25 - Valores da densidade (ind.60cm⁻³) de foraminíferos vivos (biocenose). Em vermelho, amostras com valores de densidade < 100 ind.60cm⁻³, em preto > 100 ind.60cm⁻³ e em laranja > 100 ind.80cm⁻³.

Figura 26 - Número de espécies de foraminíferos vivos nos sedimentos.

De um modo geral, as espécies mais abundantes nas 37 estações são, em ordem decrescente de importância, *Epistominella exigua* (487 ind.60cm⁻³), *Pseudobolivina antarctica* (443 ind.60cm⁻³), *Bolivinellina pseudopunctata* (430 ind.60cm⁻³), *Cassidulinoides parkeriana* (170 ind.60cm⁻³), *Globocassidulina biformis* (150 ind.60cm⁻³), *Portatrochammina antarctica subsp. antarctica* (116 ind.60cm⁻³) (Tabela 7).

Para as análises de distribuição espacial das principais espécies dos índices ou 100 ind.80cm⁻³, ou seja, nas 16 amostras: E5, E10, E11, E16-E18, E21, E22, E29, E31-E37 (assinaladas em preto e laranja na figura 25). Os valores das demais estações podem ser consultados na tabela 7.

A partir desse enfoque, constatou-se que *Bolivinellina pseudopunctata*, *Epistominella exigua* e *Pseudobolivina antarctica* são as mais frequentes nas 16 amostras (figura 27). É importante indicar a dominância de *Bolivinellina pseudopunctata* em áreas com maior profundidade localizadas na porção sul da enseada e de *Epistominella exigua* em áreas mais rasas (espalhadas na enseada) (Figura 27). *Pseudobolivina antarctica* é a espécie com frequência de ocorrência de 100% em todas as 16 amostras consideradas. Porém, *Bolivinellina pseudopunctata* é dominante nas amostras E16 (75,69%), E33 (61,76%) e E35 (61,40%) assim como *Epistominella exigua* nas amostras E17 (71,29%) e E29 (63,24%).

As espécies raras com frequência de ocorrência menor, não representadas na figura 27, referem-se a título de exemplo, *Eggerella* sp., *Glomospira* sp., *Lagenammmina atlantica*, *Lagenammmina* sp., *Nodulina dentaliniformis*, *Quinqueloculina* sp., *Reophax regularis* e *Textularia earlandi* (tabela 7).

Figura 27 - Porcentagens das principais espécies da biocenose.

Excetuando nas estações E16, E17 e E29, a maioria das amostras apresenta valores de dominância (D) abaixo de 0,50, indicando maior diversidade de espécies e pouca dominância (figura 28).

Figura 28 - Variação da dominância na biocenose.

Os valores da diversidade de Simpson ($1-D$) variaram entre 0,42 a 0,88 sendo o menor valor observado em E16 (0,42) e o maior em E5 (0,88) (figura 29). O índice de Shannon-Wiener (H') por ser mais sensível a espécies raras apresentou uma maior variação entre as amostras, variando de 1,05 a 2,37 (figura 30) Da mesma maneira como o índice de Simpson, a amostra E16 foi a que apresentou menor valor de H' (1,05) e a amostra E5 (2,37) apresentou o maior valor de H' , indicando maior diversidade de espécies.

Figura 29 - Diversidade de espécies da biocenose segundo a diversidade de Simpson (1-D).

Figura 30 - Diversidade de espécies da biocenose segundo o Índice de Shannon.

Com respeito à equitabilidade, os valores variaram de 0,42 (E16) até 0,84 (E31), a maioria das estações apresentam valores acima de 0,50 o que indica que as diferentes espécies são similares quanto a sua abundância (figura 31).

Figura 31 - Variação dos valores de equitabilidade da biocenose.

4.5.2 Estrutura da tanatocenose

Das 37 amostras foram triadas um total de 6961 carapaças pertencentes a 31 gêneros e 34 espécies entre calcários e aglutinantes (tabelas 8 e 9, figura 24). As espécies pertencem às classes Monothalamea (5 gêneros), Globothalamea (17 gêneros), Tubothalamea (4 gêneros) e Nodosariata (5 gêneros) estão sumarizadas na tabela 8.

Tabela 9 - Classificação taxonômica das espécies encontradas na tanatocenose.

Classe	Ordem	Espécie
Monothalamea	Astrorhizida	<i>Psammosphaera fusca</i> Schulze, 1875
		<i>Hippocrepinella hirudinea</i> Heron-Allen & Earland, 1932

		<i>Lagenammina</i> sp.
		<i>Rhabdammina</i> sp.
		<i>Saccammina</i> sp.
Globothalamea	Lituolida	<i>Adercotryma glomeratum</i> (Brady, 1878)
		<i>Cribrostomoides jeffreysii</i> (Williamson, 1858)
		<i>Eggerelloides advenus</i> (Cushman, 1922)
		<i>Lepidoparatrochammina lepida</i> (Brönnimann & Whittaker, 1986)
		<i>Portatrochammina antarctica subsp. Antarctica</i> (Parr, 1950)
		<i>Pseudobolivina Antarctica</i> Wiesner, 1931
		<i>Spiroplectammina biformis</i> (Parker & Jones, 1865)
	Rotaliida	<i>Bolivinelina pseudopunctata</i> (Höglund, 1947)
		<i>Cassidulinoides parkeriana</i> (Brady, 1881)
		<i>Cibicidoides wuellerstorfi</i> (Schwager, 1866)
		<i>Epistominella exigua</i> (Brady, 1884)
		<i>Fursenkoina riggii</i> (Boltovskoy, 1954)
		<i>Globocassidulina bora</i> (Crespin, 1960)
		<i>Globocassidulina subglobosa</i> (Brady, 1881)
		<i>Nonionellina</i> sp.
		<i>Trifarina earlandi</i> (Parr, 1950)
	Textulariida	<i>Eggerella nitens</i> (Wiesner, 1931)
		<i>Eggerella</i> sp.
		<i>Textularia earlandi</i> Parker, 1952
Tubothalamea	Spirillinida	<i>Ammodiscus incertus</i> (d'Orbigny, 1839)
		<i>Glomospira</i> sp.
	Miliolida	<i>Miliammina arenacea</i> (Chapman, 1916)
		<i>Quinqueloculina</i> sp.
Nodosariata	Subord. Hormosinina	<i>Cuneata arctica</i> (Brady, 1881)
		<i>Leptohalysis catella</i> (Höglund, 1947)
		<i>Nodulina dentaliniformis</i> (Brady, 1881)
		<i>Reophax regularis</i> Höglund, 1947
		<i>Reophax scorpiurus</i> Montfort, 1808
	Polymorphinida	<i>Oolina</i> sp.

As estações estudadas apresentaram diferentes valores de densidade (ind. 60cm⁻³), riqueza, diversidade, dominância e equitabilidade, conforme pode-se constatar na tabela 10.

Tabela 10 - Abundância absoluta, volume de sedimento utilizado (cm³) e valores de densidade, riqueza, diversidade, dominância e equitabilidade dos foraminíferos mortos da enseada MacKellar, coletados no verão de 2019.

Espécies (Tanatocenose)	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19
Número de indivíduos	204	8	37	52	253	57	221	55	6	302	233	22	61	256	239	222	282	263	204
Alíquota ou volume de sedimento (cm ³)	40	60	60	60	40	60	60	60	60	40	40	60	60	80	80	20	80	80	40
Densidade (nº indivíduos.60cm ⁻³)	306	8	37	52	380	57	221	55	6	453	350	22	61	192	179	666	212	197	306
Riqueza (S)	6	2	12	10	23	10	14	9	1	22	22	3	12	21	18	18	13	20	20
Diversidade de Shannon (H')	0.44	0.38	1.88	1.45	1.89	1.78	1.77	1.24	0.00	1.90	2.38	1.00	1.97	2.26	2.10	1.94	1.29	1.33	2.03
Dominância de Simpson (D)	0.82	0.78	0.23	0.37	0.31	0.21	0.25	0.47	1.00	0.32	0.13	0.40	0.19	0.17	0.16	0.27	0.46	0.49	0.23
Diversidade de Simpson (1-D)	0.18	0.22	0.77	0.63	0.69	0.79	0.75	0.53	0.00	0.68	0.87	0.60	0.81	0.83	0.84	0.73	0.54	0.51	0.77
Equitabilidade (E)	0.26	0.73	0.54	0.43	0.29	0.59	0.42	0.38	1.00	0.30	0.49	0.91	0.59	0.46	0.46	0.39	0.28	0.19	0.38
<i>Adercotryma glomeratum</i>				1	6					15	7			2	1	15		1	5
<i>Ammodiscus incertus</i>					8					3	1			5		4	2	1	3
<i>Bolivinelina pseudopunctata</i>					1					12	2					5		1	1
<i>Cassidulinoides parkeriana</i>					4		2			16	19			5	2	18	4	1	3
<i>Cibicidoides wuellerstorfi</i>	5				1					3	2		1	10		2			
<i>Cribr stomoides jeffreysii</i>					1	1	9	1		2	3		2	2	6	2		3	6
<i>Cuneata arctica</i>			2		3		2				2		3	1	3			1	3
<i>Eggerella</i> sp.							1												
<i>Eggerella nitens</i>					3					4	2			1		1			3
<i>Eggerelloides advenus</i>					7					3	7			8	2	1	3	1	1
<i>Epistominella exigua</i>			1	2	2	1	1	3			9			4	4		33	24	2
<i>Fursenkoina riggsii</i>			1	1	2			2		3	3						6	11	1
<i>Globocassidulina bitor</i>	185	7	14	30	137	16	95	37	6	167	51	12	20	56	40	109	187	182	88
<i>Globocassidulina subglobosa</i>					1		1	1							4	1	2		
<i>Glomospira</i> sp.					2					7						8		1	
<i>Hippocrepinella hirudinea</i>														11	1			6	
<i>Lagenammina</i> sp.										1								2	
<i>Lepidoparatrochammina lepida</i>	1				3	1				4	3		1	7	1	3	1		2
<i>Leptohalysis catella</i>														1					
<i>Miliammina arenacea</i>			1	4	1	1	19			17	6		1	8	14	11	21		7
<i>Nodulina dentaliniformis</i>										10	1					9		1	
<i>Nonionellina</i> sp.														1					
<i>Oolina</i> sp.											1			1					
<i>Portatrochammina antarctica</i>	2		2	1	19	8	43	6		18	45		7	80	63	20		4	24
<i>Psammospaera fusca</i>	3		2	2	11	13		3			7	5	11	14	31		3	9	10
<i>Pseudobolivina antarctica</i>			1	1	16		11			4	21		1	7	14	9		2	11
<i>Quinqueloculina</i> sp.			1				1			2					1		7	1	1
<i>Reophax regularis</i>					2					1									
<i>Reophax scoriurus</i>					3					3									
<i>Rhabdammina</i> sp.				1		1													1
<i>Saccammina</i> sp.			1		1	13	1	1			1		3		1				
<i>Spiroplectammina bifurmis</i>	8	1	10	9	19	2	25			4	37	5	10	24	48	3	12	10	30
<i>Textularia earlandi</i>			1				10	1		3	3		1	8	3	1		1	2

Trifarina earlandi

Continua

Espécies (Tanatocenose)	E20	E21	E22	E23	E24	E25	E26	E27	E28	E29	E30	E31	E32	E33	E34	E35	E36	E37
Número de indivíduos	93	215	292	174	46	29	60	66	274	201	200	326	287	212	469	215	261	562
Alíquota (cm³)	60	40	40	60	60	60	60	60	40	80	60	20	30	20	40	10	20	10
Densidade (n indivíduos.60cm-3)	93	323	438	174	46	29	60	66	411	151	200	978	574	636	704	1290	783	3372
Riqueza (S)	12	19	15	12	9	6	11	12	16	19	19	19	25	25	29	22	22	22
Diversidade de Shannon (H')	1.43	2.08	1.75	1.93	1.79	1.67	1.85	2.07	1.75	2.21	1.90	1.75	2.48	2.58	2.69	2.64	1.82	1.38
Dominância de Simpson (D)	0.39	0.19	0.27	0.19	0.20	0.22	0.20	0.16	0.26	0.16	0.26	0.32	0.13	0.11	0.11	0.09	0.32	0.51
Diversidade de Simpson (1-D)	0.61	0.81	0.73	0.81	0.80	0.76	0.80	0.84	0.74	0.84	0.74	0.68	0.87	0.89	0.89	0.90	0.67	0.48
Equitabilidade (E)	0.35	0.42	0.38	0.57	0.66	0.76	0.58	0.66	0.36	0.48	0.35	0.30	0.48	0.53	0.51	0.64	0.28	0.18
<i>Adercotryma glomeratum</i>		7	10	4	1				2	9	2	1	14	36	36	24	17	14
<i>Ammodiscus incertus</i>		7	5					1	3	1	3		2		6		3	4
<i>Bolivinellina pseudopunctata</i>											1	3	1	10	25	22	1	3
<i>Cassidulinoides parkeriana</i>		1						3		10	2	22	23	15	42	25	26	17
<i>Cibicidoides wuellerstorfi</i>	1									1		1	1	1	4		2	9
<i>Cribrostomoides jeffreysii</i>	1	4	3	6	9		1	1	2	2	1		9	2	5	2	2	
<i>Cuneata arctica</i>	1	4	4	2		3	1	1	4	5	1		1		2	2		1
<i>Eggerella</i> sp.																		
<i>Eggerella nitens</i>	2	4	4		1		1	5	5	3		5	11	1	22	4	2	11
<i>Eggerelloides advenus</i>	1	1	1							5		1	4	1	8	3	1	
<i>Epistominella exigua</i>			1				1	2	1	60	24	2	5	5	16	7	8	23
<i>Fursenkoina riggii</i>		1								3	1	3	2	4	4	3		5
<i>Globocassidulina biora</i>	55	47	34	23	7	10	12	14	113	31	94	176	81	44	124	38	143	400
<i>Globocassidulina subglobosa</i>		2							13	6	3	5	13	3	11		10	17
<i>Glomospira</i> sp.		6							1			2	1	1	16	4		15
<i>Hippocrepinella hirudinea</i>				1										1				
<i>Lagenammina</i> sp.														3			1	
<i>Lepidoparatrochammina lepida</i>		1										3	8	2	5	1		6
<i>Leptohalysis catella</i>		1	1				1						1	1				
<i>Miliammina arenacea</i>	1	3	11	7	1	2	1	2	6		11	14	3	6	8	5	1	3
<i>Nodulina dentaliniformis</i>				4					1			1	9	14	11	9	1	1
<i>Nonionellina</i> sp.											1			1	1	3	1	4
<i>Oolina</i> sp.																		
<i>Portatrochammina antarctica</i>	2	3	10	6	3	1	8	8	7	1	10	33	17	17	27	17	13	15
<i>Psammosphaera fusca</i>	6	24	134	44	8	6	14	11	70	7	8	17	11		4		6	1
<i>Pseudobolivina antarctica</i>	3	27	16	20			3	2	8	31	10	9	40	21	32	11	9	5
<i>Quinqueloculina</i> sp.												1	1		1	1		
<i>Reophax regularis</i>													1	1		1	1	
<i>Reophax scorpiurus</i>				4						1	1		1	2	4			
<i>Rhabdammina</i> sp.											2				1			
<i>Saccammina</i> sp.										1					1			
<i>Spiroplectammina biformis</i>	17	70	57	53	15	7	17	16	37	23	24	27	27	11	36	17	10	2
<i>Textularia earlandi</i>	3	2	1		1				1	1	1				4	3	1	2
<i>Trifarina earlandi</i>															1			

A estação 9 apresentou o menor valor de densidade (6 ind.60cm^{-3}) e a estação 37 apresentou o maior valor ($3372 \text{ ind.60cm}^{-3}$) (figura 32). A riqueza de espécies variou de 1 a 29, sendo a estação 34 onde se apresenta o maior número de espécies (figura 33).

Figura 32 - Valores de densidade (ind.60cm^{-3}) de foraminíferos mortos (tanatocenose). Em vermelho, amostras com valores de densidade $<200 \text{ ind.60cm}^{-3}$, em negro $>200 \text{ ind.60cm}^{-3}$ e em laranja $>200 \text{ ind.80cm}^{-3}$.

Figura 33 - Número de espécies de foraminíferos mortos nos sedimentos.

Na figura 34, se observa a distribuição das principais espécies de foraminíferos da tanatocenose, sendo *Globocassidulina bitor*, a espécie claramente dominante na maioria das estações analisadas, seguido por *Spiroplectammina biformis* e *Portatrochammina antarctica* subsp. *antarctica*. Assim como na biocenose, as estações não consideradas nesta análise apresentaram um baixo número de indivíduos possivelmente devido a se localizar muito próximas das geleiras.

Figura 34 - Porcentagens das principais espécies da tanatocenose.

Com respeito a dominância, *Globocassidulina bitor* esteve presente nas amostras E1 com 90,69% e E37 com 71,17% (figura 35). Com respeito às espécies com frequência menor, refere-se a título de exemplo, *Eggerella* sp., *Hippocrepinella hirudinea*, *Lagenammia* sp., *Leptohalysis catella*, *Oolina* sp., *Rhabdammina* sp., *Trifarina earlandi*.

Figura 35 - Variação da dominância na tanatocenose.

Os valores da diversidade de Simpson (1-D) variaram entre 0,18 a 0,91 sendo o menor valor observado em E1(0,18) e o maior em E35 (0,91). Assim como na biocenose, na grande parte das amostras, os valores da diversidade de Simpson estão acima de 0,50, indicando maior diversidade de espécies com pouca dominância (figura 36). O índice de Shannon-Wiener (H') apresentou uma maior variação entre as amostras, variando de 0,44 a 2,69. A amostra E1 foi a que apresentou menor valor de H' (0,44) e a amostra E34 (2,69) apresentou o maior valor de H' , indicando maior diversidade de espécies (figura 37).

A equitabilidade variou de 0,18 (E37) até 0,62 (E35), a maioria das estações apresentam valores abaixo de 0,50 o que indica que as diferentes espécies não guardam similitude quanto a sua abundância (figura 38).

Figura 36 - Diversidade de espécies da tanatocenose.

Figura 37 - Diversidade de espécies da tanatocenose segundo o Índice de Shannon

Figura 38 - Variação dos valores de equitabilidade da tanatocenose.

4.5.3 Análise de agrupamento da biocenose

A partir do dendograma foi possível reconhecer dois grupos subdivididos em 8 subgrupos em função da estrutura das associações de foraminíferos das amostras (figura 39).

Figura 39 - Dendrograma de similaridade entre as estações (biocenose) elaborado a partir do método Ward com distância Euclidiana.

No grupo 1 (G1), encontram-se as estações com o maior número de espécies calcárias e aglutinantes (incluindo as espécies com frequência de ocorrência rara) e com tipo de sedimento marinho e misto. O subgrupo 1 (SG1) apresenta os maiores valores da razão C/N. No subgrupo 2 (SG2), observa-se a menor razão C/N e a maior concentração de $C_{org\ total}$. O teor de $CaCO_3$ teve o valor máximo no subgrupo 3 (SG3), assim como as menores densidades, porém, com as maiores contagens de *Epistominella exigua*. O subgrupo 4 (SG4) se caracterizou por ter a maior quantidade de *Bolivinellina pseudopunctata* das amostras coletadas e as maiores profundidades, sedimento silte-argiloso e as maiores concentrações de N_{total} , bem como as estações com as menores riquezas, maiores dominâncias e densidades.

No grupo 2 (G2), encontram-se as estações com matéria orgânica de origem exclusivamente marinha e número reduzido de espécies calcárias (exceto por *Globocassidulina bitor*), com as menores concentrações de $C_{org\ total}$, N_{total} e $CaCO_3$. Assim temos, no subgrupo 5 (SG5) a maior abundância de *Pseudobolivina antarctica*. E por último o subgrupo 6 (SG6), com a maior riqueza, menor dominância e com o

maior número de *Globocassidulina biora*, o único foraminífero calcário com alta presença neste grupo.

Na análise entre espécies da biocenose, os foraminíferos se agruparam também em 2 grupos com 8 subgrupos (figura 40).

Figura 40 - Dendograma de similaridade entre espécies da Biocenose elaborado a partir do método Ward com distância Euclidiana.

No primeiro grupo (G1), estão agrupadas as espécies com as frequências de ocorrência acessória e rara, assim como foraminíferos com frequência constante, mas com as menores porcentagens do total de biocenose. Assim, no subgrupo 1 (SG1) está representado pelas 19 espécies com frequências acessória e rara, no subgrupo 2 (SG2), as espécies com frequência de ocorrência constante *Cribrostomoides jeffreysii* (1,53%), *Spiroplectammina biformis* (2,59%), *Adercotryma glomeratum* (3,44%) e *Portatrochammina antarctica* subsp. *antarctica* (3,65%), no subgrupo 3 estão representados por *Cassidulinoides parkeriana* (8,62%) e *Globocassidulina bitor* (6,30%).

O grupo 2 (G2) está representado pelos foraminíferos com maior frequência de ocorrência e com maiores porcentagens com respeito do total da biocenose analisada. Tendo a *Bolivinelina pseudopunctata* (22,22%), *Epistominella exigua* (22,59%) e *Pseudobolivina antarctica* (18,20%), sendo esta última a espécie com frequência de ocorrência constante de 100%.

Da figura 40, é possível reparar que o número de espécies aglutinantes com respeito das calcarias é maior, porém, as espécies calcarias são as dominantes e estão em maior proporção na biocenose.

4.5.4 Análise de agrupamento da tanatocenose

Com base ao dendograma das estações da tanatocenose, foi possível reconhecer 2 grupos e 7 subgrupos, em função da estrutura das associações de foraminíferos (figura 41).

Figura 41 - Dendrograma de similaridade entre as estações (tanatocenose) elaborado a partir do método Ward com distância Euclidiana.

O primeiro grupo (G1), composto pela E34, apresenta a maior riqueza (28 espécies) e o maior índice de diversidade (H') (2,64).

O segundo grupo (G2) subdividido em 7 subgrupos. Assim, temos ao subgrupo 1 (SB1), com os maiores valores de densidade e equitabilidade (E10, E32, E33 e E35). Seguido pelo subgrupo 2 (SG2) com a E37, com o maior valor de densidade (56,2 indivíduos cm^{-3}) e baixo valor de equitabilidade. No subgrupo 3 (SG3) as estações E1, E16, E17, E18, E19, E30, E31 e E36, apresentam baixas densidades, altos valores do índice de diversidade (H') e a menor riqueza (6 espécies). A E14, compõe o subgrupo 4 (SG4), também com baixa densidade, alta diversidade e alta equitabilidade. O subgrupo 5 (SG5) composto pela E7, com baixa densidade e diversidade (H'). As estações E21, E22 e E28 compõem o subgrupo 6 (SG6), com baixas densidades e valores meios de dominância e diversidade (H'). E por último o subgrupo 7 (SG7), com as estações E5, E11, E15 e E29, as quais apresentam os valores mais baixos de densidade (2,51 indivíduos cm^{-3}), mas com altos valores de diversidade (H') e equitabilidade.

Na análise entre espécies mortas, os foraminíferos se agruparam em 2 grupos com 3 subgrupos (figura 42).

Figura 42 - Dendrograma de similaridade entre espécies da Tanatocenose elaborado a partir do método Ward com distância Euclidiana.

O primeiro grupo (G1), composto inteiramente por *Globocassidulina bitor*, quem conta a maior abundância (2622 carapaças equivalente a 42,61% do total da tanatocenose) e com frequência de ocorrência de 100%.

No segundo grupo (G2), o subgrupo 1 (SG1) está representando as espécies aglutinantes com as maiores porcentagens, *Spiroplectammina biformis* (9,12%), *Portatrochammina antarctica* subsp. *antarctica* (7,93%) e *Psammosphaera fusca* (6,01%). O subgrupo 2 (SG2), está composto pelas 26 espécies com frequência de ocorrência acessória e rara. E por último o subgrupo 3 (SG3), composto por espécies calcárias e aglutinantes com frequência de ocorrência constante e com baixas porcentagens, *Epistominella exigua* (3,75%), *Pseudobolivina antarctica* (5,10%), *Adercotryma glomeratum* (3,64%) e *Cassidulinoides parkeriana* (4,18%).

Da figura 45, ao igual que com a biocenose, na tanatocenose também é possível reparar que o número de espécies aglutinantes com respeito das calcárias é maior, porém, *Globocassidulina bitor* é a espécie dominante com respeito às espécies aglutinantes.

4.5.5 Análise de componentes principais da biocenose

Os parâmetros físico-químicos e biológicos (espécies de foraminíferos) foram submetidos à análise de componentes principais (ACP) para estabelecer uma relação bem definida entre as variáveis e as estações avaliadas (figura 43 e figura 44).

Na figura 43, temos na dimensão 1, no eixo horizontal, as estações E35, E16 e E10 (G1) (à direita do gráfico, caracterizada por uma coordenada fortemente positiva no eixo) se opõem com as estações E5, E36 (G2) e E21, E22 (G3) (à esquerda do gráfico, caracterizada por uma coordenada fortemente negativa no eixo). Na dimensão 2, no eixo vertical, as estações E5 e E36 (G2) (na parte superior do gráfico, caracterizada por uma coordenada fortemente positiva no eixo) se opõem com as estações E21, E22 (G3) e E33, E18 (G4) (na parte inferior do gráfico, caracterizada por uma coordenada fortemente negativo no eixo).

Figura 43 - Agrupamento das estações da biocenose, segundo a ACP.

As variáveis bióticas e abióticas, segundo a ACP apresentam as seguintes relações:

- No G1, tem valores altos de C_{org} total, $CaCO_3$ e profundidade, junto com as espécies *Nonionellina* sp., *Reophax regularis*, *Bolivinellina pseudopunctata* e *Fursenkiona rigii*;
- O G2 com as estações E5 e E36, caracteriza-se por apresentar altos porcentagens de areia junto com as espécies *Portatrochammina antarctica* subsp. *antarctica*, *Egerelloides advenus* e *Egerella nitens*, relacionadas valores baixos de silte e argila;
- No G3, com as estações E21 e E22 foram encontrados altos valores das espécies *Cribr stomoides jeffreysii*, *Pseudobolivina antarctica*, *Spiroplectammina*

biformis e *Leptohalysis catella*, e baixos valores de salinidade e da espécie *Cassidulinoides parkeriana*.

- Por último o G4, caracteriza-se pela abundância de *Quinqueloculina* sp. e *Lagenammina* sp.

Figura 44 - ACP entre as variáveis bióticas (foraminíferos da biocenose) e abióticas, de amostras coletadas na enseada MacKellar, Antártica, durante o verão de 2019.

Adercotryma glomeratum (Aglo), *Ammodiscus incertus* (Aince), *Bolivenillina pseudopunctata* (Bpseu), *Cassidulinoides parkeriana* (Cpark), *Cibicidoides wuellerstorfi* (Cwue), *Cribr stomoides jeffreysii* (Cjef), *Cuneata arctica* (Carc), *Eggerella* sp. (Egg), *Eggerella nitens*

(Enit), *Eggerelloides advenus* (Eadv), *Epistominella exigua* (Eexi), *Fursenkoina rigii* (Frig), *Globocassidulina bora* (Gbio), *Glomospira* sp.(Glom), *Lagenammmina atlantica* (Latla), *Lagenammmina* sp. (Lagen), *Lepidoparatrochammina lepida* (Llep), *Leptohalysis catella* (Lcat), *Miliammmina arenacea* (Mare), *Nodulina dentaliniformis* (Ndent), *Nonionellina* sp. (Noni), *Portatrochammina Antarctica subsp. antarctica* (Port), *Pseudobolivina antarctica* (Pseu), *Quinqueloculina* sp. (Quin), *Reophax regularis* (Rreg), *Reophax scorpiurus* (Rscor), *Spiroplectammmina biformis* (Sbif), *Textularia earlandi* (Text).

4.5.6 Matriz de correlação da biocenose

Nesta matriz é possível observar as correlações de maneira individual entre as diferentes variáveis (bióticas e abióticas). Os resultados obtidos nesta matriz são concordantes com a análise de componentes principais, porém, permite um melhor entendimento, já que também é possível observar detalhadamente as correlações das variáveis (correlação de Spearman) que não foram mostradas na ACP (figura 45).

Figura 45 - Matriz de correlação entre as variáveis bióticas (foraminíferos da biocenose) e abióticas de amostras coletadas na enseada MacKellar, Antártica, durante o verão de 2019.

Adercotryma glomeratum (Aglo), *Ammodiscus incertus* (Aince), *Bolivenillina pseudopunctata* (Bpseu), *Cassidulinoides parkeriana* (Cpark), *Cibicidoides wuellerstorfi* (Cwue), *Cribrostomoides jeffreysii* (Cjef), *Cuneata arctica* (Carc), *Eggerella* sp. (Egg), *Eggerella nitens* (Enit), *Eggerelloides advenus* (Eadv), *Epistominella exigua* (Eexi), *Fursenkoina rigii* (Frig), *Globocassidulina bora* (Gbio), *Glomospira* sp.(Glom), *Lagenammina atlantica* (Latia), *Lagenammina* sp. (Lagen), *Lepidoparatrochammina lepida* (Llep), *Leptohalysis catella* (Lcat), *Miliammina arenacea* (Mare), *Nodulina dentaliniformis* (Ndent), *Nonionellina* sp. (Noni), *Portatrochammina Antarctica subsp. antarctica* (Port), *Pseudobolivina antarctica* (Pseu), *Quinqueloculina* sp. (Quin), *Reophax regularis* (Rreg), *Reophax scorpiurus* (Rscor), *Spiroplectammina biformis* (Sbif), *Textularia earlandi* (Text).

Na matriz de correlação da biocenose, com respeito às variáveis abióticas, pode-se observar que os teores de CaCO_3 tem uma forte correlação positiva com silte, argila, profundidade e salinidade. Já o $C_{\text{org total}}$ por sua vez, está ligado com a salinidade, N_{total} e silte. Com respeito aos foraminíferos, temos as seguintes correlações: *Adercotryma glomeratum*, *Eggerella* sp., *Eggerelloides advenus* e *Portatrochammina antarctica* subsp. *antarctica* correlacionam-se positivamente com areia; *Eggerella nitens* e *Textularia earlandi* com N_{total} ; *Glomospira* sp. e *Lepidoparatrochammina lepida* com $C_{\text{org total}}$; *Lagenammina atlantica* com CaCO_3 e $C_{\text{org total}}$; *Cuneata arctica* com a temperatura e o pH; *Epsitominella exigua* com CaCO_3 e argila; *Nonionellina* sp. com a salinidade, N_{total} , $C_{\text{org total}}$ e CaCO_3 ; *Fursenkoina rigii* com a profundidade, $C_{\text{org total}}$ e CaCO_3 ; *Cibicidoides wuellerstorfi* e *Cassidulinoides parkeriana* com a salinidade, N_{total} e areia; *Bolivinelina pseudopunctata* com a profundidade, salinidade, N_{total} , $C_{\text{org total}}$ e CaCO_3 e silte.

4.5.7 Análise de componentes principais da tanatocenose

Assim como na biocenose, os parâmetros físico-químicos e biológicos correspondentes à tanatocenose, foram submetidos à análise de componentes principais (ACP) e se estabeleceram as relações bem definidas entre os parâmetros e as estações avaliadas (figura 46 e figura 47).

Na figura 46, na dimensão 1, no eixo horizontal, as estações E32, E35 e E37 (G1) junto com a E34 (G2) (à direita do gráfico, são caracterizadas por uma coordenada fortemente positiva no eixo) as quais se opõem com as estações E7, E11, E14 e E15 (G3) (à esquerda do gráfico, caracterizada por uma coordenada fortemente negativa no eixo).

Na dimensão 2, no eixo vertical, as estações E7, E11, E14 e E15 (G3) (na parte superior do gráfico, caracterizada por uma coordenada fortemente positiva no eixo) se apõem com as estações E17 e E18 (G4) (na parte inferior do gráfico, caracterizada por uma coordenada fortemente negativo no eixo).

Figura 46 - Agrupamento das estações da tanatocenose, segundo a ACP.

As variáveis bióticas e abióticas, segundo a ACP apresentam as seguintes relações:

- No G1, altos valores de profundidade, *Reophax regularis* e *Nodulina dentaliniformis*, junto com baixos números da espécie *Saccamina* sp.;
- O G2 (E34) se caracteriza por ter a maior riqueza, com a maior presença das espécies *Trifarina earlandi*, *Rhabdammina* sp., *Eggerella nitens*, *Reophax scorpiurus*, *Adercotryma glomeratum*, *Cassidulinoides parkeriana*, *Bolivinellina pseudopunctata* e *Glomospira* sp.;
- No G3, valores altos de areia junto com as espécies *Portatrochammina antarctica* subsp. *antarctica*, *Textularia earlandi*, *Spiroplectammina biformis*, *Oolina* sp. e *Saccamina* sp. Do outro lado, neste grupo também temos baixos valores de *Nodulina dentaliniformis*, profundidade, silte, C_{org} total e N_{total} .

- O G4, apresenta valores altos das espécies *Fursenkoina riggi*, *Epistominella exigua* e *Quinqueloculina* sp., e oxigênio dissolvido (OD).

Figura 47 - ACP entre as variáveis bióticas (foraminíferos) e abióticas, de amostras coletadas na enseada MacKellar, Antártica, durante o verão de 2019 (Tanatocenose).

Adercotryma glomeratum (Aglo), *Ammodiscus incertus* (Aince), *Bolivenillina pseudopunctata* (Bpseu), *Cassidulinoides parkeriana* (Cpark), *Cibicidoides wuellerstorfi* (Cwue), *Cribrostomoides jeffreysii* (Cjef), *Cuneata arctica* (Carc), *Eggerella* sp. (Egg), *Eggerella nitens* (Enit), *Eggerelloides advenus* (Eadv), *Epistominella exigua* (Eexi), *Fursenkoina riggi* (Frig),

Globocassidulina bora (Gbio), *Glomospira* sp.(Glom), *Lagenammia atlantica* (Latla), *Lagenammia* sp. (Lagen), *Lepidoparatrochammia lepida* (Llep), *Leptohalysis catella* (Lcat), *Miliammia arenacea* (Mare), *Nodulina dentaliniformis* (Ndent), *Nonionellina* sp. (Noni), *Portatrochammia Antarctica subsp. antarctica* (Port), *Pseudobolivina antarctica* (Pseu), *Quinqueloculina* sp. (Quin), *Reophax regularis* (Rreg), *Reophax scorpiurus* (Rscor), *Spiroplectammia biformis* (Sbif), *Textularia earlandi* (Text).

4.5.8 Matriz de correlação da tanatocenose

Seguindo a mesma sequência feita na biocenose, com esta matriz é possível observar as correlações de maneira individual entre as diferentes variáveis. Os resultados obtidos nesta matriz se alinham com a análise de componentes principais (ACP), permitindo um melhor entendimento ao observar detalhadamente as correlações das variáveis (correlação de Spearman) uma por uma (figura 48).

Figura 48 - Matriz de correlação entre as variáveis bióticas (tanatocenose) e abióticas de amostras coletas na enseada de MacKellar, Antártica, durante verão de 2019.

Adercotryma glomeratum (Aglo), *Ammodiscus incertus* (Aince), *Bolivenillina pseudopunctata* (Bpseu), *Cassidulinoides parkeriana* (Cpark), *Cibicidoides wuellerstorfi* (Cwue), *Cribr stomoides jeffreysii* (Cjef), *Cuneata arctica* (Carc), *Eggerella* sp. (Egg), *Eggerella nitens* (Enit), *Eggerelloides advenus* (Eadv), *Epistominella exigua* (Eexi), *Fursenkoina rigii* (Frig), *Globocassidulina biora* (Gbio), *Globocassidulina subglobosa* (Gsub), *Glomospira* sp. (Glom), *Hippocrepinella hirudinea* (Hipo), *Lagenammia* sp. (Lagen), *Lepidoparatrochammina lepida* (Llep), *Leptohalysis catella* (Lcat), *Miliammia arenacea* (Mare), *Nodulina dentaliniformis* (Ndent), *Nonionellina* sp. (Noni), *Oolina* sp. (Ooli), *Portatrochammina Antarctica subsp. antarctica* (Port), *Psammosphaera fusca* (Pfusc), *Pseudobolivina antarctica* (Pseu), *Quinqueloculina* sp. (Quin), *Reophax regularis* (Rreg), *Reophax scorpiurus* (Rscor), *Rhabdammina* sp. (Rhab), *Saccammina* sp. (Sacca), *Spiroplectammina biformis* (Sbif), *Textularia earlandi* (Text), *Trifarina earlandi* (Trif).

Por sua vez, na matriz de correlação da tanatocenose, com respeito às variáveis abióticas significativas, pode-se observar que os teores de $C_{org\ total}$, correlacionam-se positivamente com N_{total} e silte. Com respeito aos foraminíferos: *Eggerella* sp. e *Textularia earlandi*, correlacionam-se positivamente com $CaCO_3$, *Globocassidulina bitor*, *Glomospira* sp., *Eggerella nitens* e *Nonionellina* sp. correlacionam-se positivamente com $C_{org\ total}$ e N_{total} ; *Cassidulinoides parkeriana* correlaciona-se positivamente com a salinidade, $C_{org\ total}$ e N_{total} ; *Miliammina arenacea* apresenta correlação positiva com $CaCO_3$ e argila; *Adercotryma glomeratum* e *Bolivinelina pseudopunctata* correlacionam-se positivamente com a profundidade, salinidade, $C_{org\ total}$, N_{total} e silte.

5 DISCUSSÃO

A enseada MacKellar é um fiorde com profundidades menores que 150m, situada no extremo noroeste da baía do Almirantado. Em suas porções mais internas ocorrem os embaixamentos Aguilera (EA) e Tarragona (ET), que são circundados pela geleira Domeyko. O EA é também delimitado pelo pico Kappitan e por uma pequena planície, onde está a estação peruana Machu Picchu (ECAMP). Já o ET é delimitado pela península Keller, onde tem um pequeno refúgio brasileiro, situado em sua linha de costa.

Por ser cercada pela geleira Domeyko, a enseada MacKellar recebe aporte de água doce e fria, bem como o desprendimento de grandes blocos, durante o verão. Além desses blocos da geleira Domeyko, quando há passagens de frentes frias, icebergs de outras partes da baía do Almirantado são trazidos para a enseada MacKellar. Durante o verão de 2019, as temperaturas das águas de fundo da enseada não excederam valores de 1,18 °C e a salinidade média foi de 33,89. Também foram observados vários blocos de gelo no EA e ET, durante o período de coleta.

Ambientes marinhos antárticos têm sedimentos superficiais heterogêneos (STARK et al., 2003) e os padrões de sedimentação são principalmente dependentes das condições glaciais e oceanográficas (ISHMAN; DOMACK, 1994). Neste estudo, segundo a classificação de Shepard (1954), os sedimentos têm predomínio de tipo silte-argiloso (83%). De modo geral, na entrada e perto da geleira, os sedimentos são mais finos (alta concentração de silte misturado com argila e areia fina), denotando ambiente com baixa energia de fundo. A exceção foi a E9, localizada próximo a ponta Furmancyk, que apresenta maior porcentagem de areia (84%) e de grânulos, sugerindo alto hidrodinamismo nessa região. Esse padrão de sedimentação é parecido ao encontrado nos outros dois fiordes da baía do Almirantado, conforme pode-se constatar no estudo de Majewski (2005a), na enseada Ezcurra e por Rodrigues et al. (2013, 2015) na enseada Martel.

Quanto aos nutrientes, constata-se que os maiores valores de $C_{org\ total}$ (0,41-0,46%) ocorrem na entrada da enseada (E10 e E16) e próximo à ECAMP (E37).

Especificamente esses valores são relativamente mais altos quando comparados aos obtidos na enseada MacKellar e em outras regiões da baía do Almirantado em anos anteriores a 2019 (BERBEL e BRAGA, 2013; DEFLANDRE et al., 2013). Contudo, de modo geral, os valores de $C_{org\ total}$ de 2019 são baixos, variando entre 0,1 a 0,2%. Os valores de nitrogênio também são baixos, oscilando de 0,02 a 0,12%. Novamente, os valores são observados próximos à ECAMP e à entrada da enseada.

No tocante às razões C/N, os resultados obtidos indicam presença expressiva de matéria orgânica de origem marinha. Apenas nas E33 e E10, ambas localizadas na entrada da enseada, é que foi observada MO mista. Isto sugere que o aporte terrestre rico em plantas vasculares (e.g. líquens e briófitas da península Keller), não deve ter sido muito expressivo durante em 2019.

Estudos anteriores, relataram que as concentrações de macronutrientes como carbono, nitritos, nitratos, silicatos e fosfatos são abundantes na região e sofrem mudanças espaciais e temporais (verão versus inverno) (WEBER e MONTONE, 2006). A maior fonte de matéria orgânica para os sedimentos antárticos é a decomposição das algas, principalmente depois do “blooms” de algas durante o verão. Devido ao derretimento da camada de gelo, a coluna d’água fica exposta à luz, resultando em aumento da atividade biológica (BARGHOORN e NICHOLS, 1961; GIESENHAGEN et al., 1999). Esse processo, assegura a manutenção dos processos biológicos, como a produção primária (BRANDINI e REBELLO, 1994). Particularmente, as estações E1, E4, E8, E11 e E31 apresentaram uma maior predominância de diatomáceas dos gêneros *Triceratium* e *Fragilariopsis*. A predominância das mesmas no Oceano Antártico já foi bem documentada e foi descrita pela primeira vez nas primeiras expedições de pesquisa (HOOKER, 1844), assim como na Península Antártica (PRÉZELIN et al., 2004).

Além do aumento da produtividade primária, a estrutura das comunidades bentônicas pode ser afetada em resposta aos distúrbios de origem antrópica próprias das atividades de pesquisa durante o verão, sob a forma de enriquecimento orgânico ou contaminação por metais-traço e hidrocarbonetos (FROUIN, 2000). Outros estudos têm identificado e quantificado a biodisponibilidade e/ou bioacumulação e

biomagnificação de elementos químicos em microfitobentos, macroalgas e invertebrados bentônicos (TREVIZANI et al., 2018).

Com respeito às concentrações de metais e elementos traço, o manganês (Mn) foi o elemento com maior concentração (média de 652 mg.kg^{-1}) seguido por cobre (Cu) e zinco (Zn) com média de 83 e 64 mg.kg^{-1} , respectivamente. O mercúrio (Hg) foi o elemento mais escasso com valores menores de $0,03 \text{ mg.kg}^{-1}$. Os valores encontrados foram comparados com valores de literatura disponíveis para sedimentos antárticos em zonas próximas à enseada MacKellar (SANTOS et al., 2005, 2007; RIBEIRO et al., 2011). Com referência aos valores de guia canadense, observa-se que o cobre e o arsênio são os que mais se destacam na região estudada, onde os valores em todas as estações estão entre os limites de TEL e PEL. A presença destes metais nos sedimentos indica as influências do intemperismo nas áreas próximas. Apesar da presença de metais nos sedimentos, não há evidência de poluição antrópica na enseada (SANTOS et al., 2005).

Por sua vez, é característico de algumas regiões do ambiente marinho antártico apresentar altas concentrações de Cu no sedimento superficial (RODRIGUES et al., 2007). O qual poderia ser justificado pela existência de uma anomalia local de Cu que ocorreria através da mineralização da calcopirita (SCHAEFER et al., 2004).

A presença de metais e metaloides poderia sim, indicar pequenos riscos ambientais, pelo qual conhecer as concentrações dos metais no ambiente antártico é importante para a conservação deste continente. Segundo Olsgard (1999), em sedimentos finos e ricos em matéria orgânica, a maior parte dos metais estaria, provavelmente, adsorvida e menos biodisponível. Santos et al. (2005) afirmou que os sedimentos da enseada Martel seriam mais enriquecidos em sulfetos e matéria orgânica, o que diminuiria a biodisponibilidade dos metais, reduzindo possíveis efeitos deletérios.

No tocante à comunidade bentônica e de acordo com dados da literatura, a presença ou ausência de foraminíferos antárticos está fortemente associada à interação entre vários parâmetros físico-químicos ambientais, como por exemplo, batimetria, disponibilidade de CaCO_3 , granulometria, disponibilidade de oxigênio,

concentração e qualidade da matéria orgânica (ANDERSON, 1976; ENGE et al., 2012; FONTANIER et al., 2002; GOODAY, 1990; ISHMAN& DOMACK, 1994; KENNETT, 1968; MACKENSEN et al., 1990; MURRAY; PUDSEY, 2004; RODRIGUES et al., 2015; SZAREK et al., 2007; WOLLENBURG; KUHNT, 2000).

Existem diferentes abordagens no tocante às análises da estrutura das associações de foraminíferos. Alguns autores (ALBANI et al., 2007; DEBENAY; FERNANDEZ, 2009) preferem analisar a fauna total de foraminíferos (vivos mais mortos), argumentando que existe maior precisão na representação das condições ambientais de uma área devido ao acúmulo de vários períodos ali representados. Por outro lado, há também estudos que argumentam que as carapaças dos foraminíferos mortos tornam-se partículas sedimentares, podendo permanecer no sistema sedimentar e serem transportadas por milhares de anos podendo não representar as condições ambientais da área em estudo (MURRAY, 1991; SCHÖNFELD et al., 2012). Devido a isto, os referidos autores indicam que é melhor utilizar as biocenoses para verificar mudanças sazonais ou eventos temporais de curta duração e, as tanatocenoses seriam utilizadas para avaliar hidrodinâmica, padrões de sedimentação locais, bem como eventos temporais de longa duração.

No presente estudo, optou-se por trabalhar com a biocenose separada da tanatocenose, pois pretende-se que os resultados aqui apresentados sejam utilizados como ferramentas em biomonitoramento, que subsidiem tomada de decisões no tocante ao gerenciamento da ASMA (*Antarctic Specially Managed Area*) nº1 da baía do Almirantado. Para atingir esse objetivo, procurou-se uma quantidade mínima de 100 indivíduos vivos e 200 indivíduos mortos, (FATELA; TABORDA, 2002), conforme já descrito no item métodos.

Como resultado, constatou-se que as estações mais rasas e situadas próximas à geleira Domeyco (e.g. E1-E4, E6-E9, E12-E15, E19, E20, E24, E28 e E30) apresentam baixos valores de densidade tanto na biocenose quanto na tanatocenose. Isto provavelmente ocorre pois durante o verão há descongelamento, que altera a salinidade e os padrões de circulação das correntes do fundo. Além disso, como citado anteriormente, durante o verão há blocos de gelo que se desprendem das geleiras e,

dependendo dos padrões de ventos, podem ficar concentradas nas porções mais internas da enseada. Majewski (2005a), também relatou a baixa presença (densidade) de foraminíferos nas áreas rasas e próximas das geleiras da enseada MacKellar.

Das 37 estações iniciais, foram apenas consideradas 16 para biocenoses (com contagens maiores a 100 indivíduos) e 23 para tanatocenose (com contagens maiores a 200 indivíduos). Nas amostras de sedimento com altos teores de areia não foi possível encontrar a quantidade mínima para as análises. Além da granulometria, a maior presença de foraminíferos foi encontrada nas amostras com profundidades maiores aos 50 metros sendo na E35 (91m) onde se encontraram o maior número de indivíduos. Os resultados coadunam com os obtidos por Majewski (2005a), que verificou que na baía do Almirantado, as comunidades de foraminíferos, distribuíam-se em quatro zonas marcadamente distintas: embaiamentos abrigados, enseadas abertas, águas intermediárias e águas de mar aberto. Sendo a batimetria, o tamanho de partícula dos sedimentos e a distância para o mar aberto os principais fatores ambientais da distribuição dos foraminíferos. A profundidade geralmente contribui na distribuição das associações de foraminíferos bentônicos em zonas distintas da Antártica (MACKENSEN et al., 1990).

Vários outros estudos realizados com foraminíferos em regiões frias (e.g., Ártico, fiordes da Noruega e Escócia, zonas abissais do Pacífico e Mediterrâneo), têm relatado o papel importante que desempenha a gradiente batimétrico na composição das associações destes organismos (BOWSER et al., 2002; CORNELIUS e GOODAY, 2004; ENGE et al., 2012; GOINEAU e GOODAY, 2015; GOODAY et al., 1996; GOODAY et al., 2004; GOODAY et al., 2005; HANNAH e ROGERSON, 1997; LAKIN e GOODAY, 2019; MAJEWSKI et al., 2005a; MAJEWSKI et al., 2007; SABBATINI et al., 2002; SABBATINI et al., 2007).

A distribuição das espécies de foraminíferos da Antártica é tipicamente irregular, embora biótopos de fundo em todo o continente mostram uniformidade e repetitividade (MIKHALEVICH, 2004). A composição de espécies variou espacialmente tanto na biocenose quanto na tanatocenose. Encontrou-se a presença

de foraminíferos endêmicos já registrados, como *Pseudobolivina antarctica*, *Portatrochammina antarctica* subsp. *antarctica* e *Hipocrepinella hirudinea* até espécies cosmopolitas como *Globocassidulina bora* e *Globocassidulina subglobosa* (GOODAY et al., 1996; PAWLOWSKI et al., 2002b; MAJEWSKI, 2005a). No estudo feito por Rodrigues et al. (2013), na baía do Almirantado, documentou a presença de *Hipocrepinella hirudinea* como uma das espécies dominantes, porém, no presente estudo, a presença de *H. hirudinea* foi registrada só na tanatocense, como espécie de ocorrência rara, nas estações E14, E15, E18 e E33 (0,31% do total).

Na biocenose, foram encontrados 25 gêneros e 29 espécies entre calcários e aglutinantes. *Pseudobolivina antarctica*, foi a única espécie com frequência de ocorrência de 100% (esteve presente nas 16 estações avaliadas), porém *Epistominella exigua* (22,59%) e *Bolivinelina pseudopunctata* (22,22%), são as espécies com maiores abundâncias. *Epistominella exigua*, caracteriza-se por ser detritívoro epifaunal, geralmente associado a fitodetritos e concentrações elevadas de oxigênio e pH (GOODAY, 1993; MACKENSEN et al., 1995; SCHMIEDL et al., 1997; NEES e STRUCK, 1999; GUPTA e THOMAS, 2003).

Por sua vez, na tanatocenose foram encontrados 31 gêneros e 34 espécies entre calcários e aglutinantes. *Globocassidulina bora* e *Spiroplectammina biformis* são as espécies com frequência de ocorrência de 100% nas amostras. Destas duas, a maior abundância foi de *Globocassidulina bora* (42,61%). Segundo a literatura, o gênero *Globocassidulina* pertence ao foraminífero calcário bentônico mais comum nas configurações da baía interna da região oeste da Península Antártica (ISHMAN e DOMACK, 1994, LI et al., 2000, MAJEWSKI e TATUR, 2009), bem como no lado leste da Península Antártica (MILAM; ANDERSON, 1981). A alta frequência de ocorrência de *Spiroplectammina biformis* já tem sido reportado na Península Antártica (RODRIGUES, 2015).

As associações de foraminíferos em águas rasas da baía do Almirantado, reportadas em estudos anteriores, são muito semelhantes aos resultados obtidos no

presente estudo (MAJEWSKI, 2005a; RODRIGUES et al., 2013; RODRIGUES et al., 2015).

Os baixos valores de riqueza, diversidade e abundância das associações de foraminíferos encontrados na enseada MacKellar, é uma característica comum das plataformas antárticas, e são compatíveis com estudos anteriores (BERNHARD, 1987; CHANG; YOON, 1995; LI et al., 2000; GRAY et al., 2003; MURRAY; PUDSEY, 2004; RODRIGUES et al., 2013; RODRIGUES et al., 2015). Na Antártica, há uma tendência de aumento do número de espécies com o aumento da profundidade da coluna d'água. Por exemplo, Majewski (2005a) registrou um total de 105 espécies correspondentes a 65 gêneros na baía do Almirantado, analisando amostras coletadas em isóbatas de 8 a 520m.

Na baía do Almirantado, incluindo a enseada MacKellar, há várias espécies aglutinantes e poucas calcárias (MAJEWSKI, 2005a; MAJEWSKI, 2013; RODRIGUES, 2010; RODRIGUES, 2013; RODRIGUES, 2015). Porém, as espécies dominantes tanto na biocenose quanto na tanatocenose são espécies calcárias (MACKENSEN et.al, 1990; ISHMAN; DOMACK, 1994; MAJEWSKI, 2005a).

Esse aumento no número de espécies em regiões profundas, ocorre pois esses locais não são susceptíveis à influência das marés e ondas, bem como ao efeito dos icebergs como os ambientes mais rasos. Contudo, em regiões mais profundas há problema da profundidade de compensação de carbonato (CCD), que impede a ocorrência de foraminíferos calcários. Nesse sentido, a enseada MacKellar por ser relativamente rasa, a distribuição dos foraminíferos não está influenciada pela CCD, mas sim por outros parâmetros como profundidade, granulometria e teores de CaCO_3 .

A menor presença de foraminíferos calcários têm relação direta com a baixa concentração de CaCO_3 encontrado nos sedimentos. Em outros ambientes da antártica, as diferenças entre as espécies de foraminíferos aglutinantes e calcários está fortemente controlada principalmente pela profundidade e a compensação do carbonato de cálcio (CCD). A profundidade de compensação de carbonato (CCD) é mais rasa no Oceano Antártico do que em outros oceanos, afetando a disponibilidade de CaCO_3 para produção da carapaça, potencial para a preservação (MACKENSEN

et al., 1990; ISHMAN e DOMACK, 1994; MAJEWSKI, 2005). Kellogg e Kellogg (1987) sugeriram que a CCD nas baías Ilha Pine e Ferreiro, situadas no Mar de Amundsen, está entre os 300 e 500 m de profundidade. No arquipélago Ilhas Shetlands do Sul, a qual está sob a influência da Água de Transição do Mar de Weddell, a CCD está abaixo dos 900 m (MAJEWSKI, 2005).

Green (1960) e Anderson (1976) mostraram que a distribuição em profundidade das espécies foraminíferas no Oceano Ártico central e no Mar de Weddell não estão diretamente relacionadas à profundidade da água, mas sim com a CCD. Enquanto a CCD controla a distribuição de táxons aglutinantes e calcários, os microambientes provavelmente determinam as espécies dominantes dentro de cada habitat.

Em outras zonas da antártica por exemplo no estreito McMurdo, tem sido registrado que as tanatocenoses são semelhantes às associações de foraminíferos vivos, devido à grande variabilidade batimétrica desse ambiente (Ward et al., 1987).

Majewski (2018), fez uma reconstituição paleoambiental do Mar de Ross com base em foraminíferos. Encontrou-se que em ambientes de mar aberto, as associações de foraminíferos bentônicos são fortemente dominadas por espécies aglutinantes. No entanto, nos sedimentos que representam configurações proximais da costa, fortemente influenciadas por geleiras, as associações são fortemente dominadas por espécies de foraminíferos calcários.

Segundo o dendograma de similaridade, na biocenose temos dois grandes grupos, o grupo 1 (G1) composto principalmente pelos calcários *Epistominella exigua* e *Bolivinellina pseudopunctata*, com altas concentrações de $C_{org\ total}$, N_{total} , $CaCO_3$, com sedimento fino e as maiores profundidades. Pode-se observar que as estações com a maior diversidade e riqueza, estão influenciadas pela profundidade, sedimentos finos e altos teores de nutrientes. Estudos anteriores, em zonas próximas da enseada MacKellar, também deram conta dessa relação (MAJEWSKI, 2005a; MAJEWSKI, 2013).

Assim também, o segundo grupo do dendograma (G2), apresenta as estações com baixas concentrações de $C_{org\ total}$, N_{total} , $CaCO_3$, baixas densidades e onde *Globocassidulina bitor* tem a maior dominância. Pode-se observar a característica de *G. bitor*, como um foraminífero oportunista já que tolera uma ampla gradiente de concentrações geoquímicas ($C_{org\ total}$, N_{total} , $CaCO_3$) e diferentes profundidades (MACKENSEN et al, 1990).

Na tanatocenose, igualmente temos dois grupos fortemente marcados. O G1 composto pela E34 com a maior riqueza e diversidade e o G2 composto pelas 22 estações restantes, com as maiores densidades, dominâncias, $C_{org\ total}$, N_{total} , $CaCO_3$ e profundidades. Porém, estes resultados variam muito da biocenose, já que as carapaças dos foraminíferos mortos ao permanecer no sedimento, poderiam ter sido transportadas pelas correntes do fundo, e não representariam as condições ambientais nas zonas onde foram coletadas (MURRAY, 1991; SCHÖNFELD et al., 2012).

Da análise de componentes principais (ACP) na biocenose, é possível observar que a distribuição dos foraminíferos bentônicos, está baseada segundo as diferentes características físico-químicas ambientais. Assim temos que no G1 (E10, E16 e E35), *Nonionellina* sp., *Reophax regularis*, *Bolivinelina pseudopunctata* e *Fursenkionia rigii*, tem uma forte correlação com ambientes profundos de alta carga de $C_{org\ total}$ e $CaCO_3$. No G2 (E5 e E36), *Portatrochammina antarctica* subsp. *antarctica*, *Egerelloides advenus* e *Egerella nitens*, caracterizam-se por colonizar sedimentos com alto teor de areia. No G3 (E21 e E22), *Cribrostomoides jeffreysii*, *Pseudobolivina antarctica*, *Spiroplectammina biformis* e *Leptohalysis catella*, encontrados em zonas próximas das geleiras, tolerando baixas salinidades. Por último o G4 (E18 e E33), caracteriza-se por apresentar aos foraminíferos com frequência de ocorrência muito rara (*Quinqueloculina* sp. e *Lagenammina* sp.).

Da mesma maneira, na ACP da tanatocense, o G1, apresenta a *Reophax regularis* e *Nodulina dentaliniformis*, com forte correlação com a profundidade; o G2, com a maior riqueza de espécies. No G3, *Portatrochammina antarctica* subsp. *antarctica*, *Textularia earlandi*, *Spiroplectammina biformis*, *Oolina* sp. e *Saccammina*

sp com correlação positiva com areia, profundidade, silte, $C_{org\ total}$ e N_{total} . No G4, *Fursenkoina riggi*, *Epistominella exigua* e *Quinqueloculina* sp., com correlação positiva para oxigênio dissolvido (OD).

Na matriz de correlação, é possível observar as correlações entre os fatores bióticos e abióticos de maneira individual. Na biocenose, podemos observar que os sedimentos arenosos favorecem fortemente a distribuição de *Adercotryma glomeratum*, *Cassidulinoides parkeriana*, *Eggerella* sp., *Eggerelloides advenus* e *Portatrochammina antarctica* subsp. *antarctica*, porém são os sedimentos finos onde tem sido encontrado as maiores quantidades de carapaças, como já foi descrito anteriormente na baía do Almirantado (MAJEWSKI, 2005a; RODRIGUES et al., 2010).

Os teores de $CaCO_3$ e a profundidade, favoreceram fortemente a presença de *Bolivinelina pseudopunctata* e *Fursenkoina rigii*, ambas espécies calcárias. Neste caso em particular devido à pouca profundidade, a CCP não exerce um papel importante na distribuição (MAJEWSKI, 2005a; RODRIGUES et al., 2010, RODRIGUES et al., 2013; RODRIGUES et al., 2015). Os valores da salinidade também apresentam correlações positivas fortes com *Bolivinelina pseudopunctata*, *Fursenkoina rigii*, *Cibicidoides wuellerstorfi*, *Nonionellina* sp. e *Reophax regularis*, encontradas nas estações com maiores profundidades e longe das geleiras. Os teores de oxigênio dissolvido (OD) tem correlação negativa com *Adercotryma glomeratum*, *Cassidulinoides parkeriana* e *Nonionellina* sp.; *Globocassidulina bira* e *Epistominella exigua*, não parecem ser influenciados pelos fatores físico-químicos sendo encontradas na maioria das estações consideradas na biocenose, o qual se deveria ao fato de ser foraminíferos oportunistas tolerando grandes variações dos fatores abióticos (ISHMAN 1990, LI et al., 2000, MAJEWSKI; TATUR, 2009; LECROQ et al., 2009).

Na matriz de correlação da tanatocenose, com respeito ao tamanho de grão dos sedimentos, *Fursenkoina riggi*, *Glomospira* sp. e *Nodulina dentaliniformis*, apresentam uma correlação positiva com sedimentos finos com alto porcentagem de silte, e *Miliammina arenacea* com argila, já que a carapaças destes foraminíferos são muito frágeis. Com respeito à profundidade, temperatura, oxigênio dissolvido e pH,

todas as espécies apresentam uma correlação positiva muito fraca, o que se deveria a que só são carapaças vazias depositadas nos sedimentos após de mortas. No tocante à relação C/N, *Adercotryma glomeratum*, *Bolivinellina pseudopunctata*, *Cassidulinoides parkeriana*, *Globobocassidulina biora* e *Glomospira* sp. apresentam uma correlação positiva forte. A salinidade por sua vez, mantém uma forte correlação com *Adercotryma glomeratum* e *Cassidulinoides parkeriana*. É importante ressaltar que a maior quantidade de carapaças vazias encontradas na tanatocenose, pertencem a *G. biora*, o que demonstra sua alta taxa de conservação depois de morto nesse ambiente com alto dinamismo.

6 CONCLUSÃO

A densidade de foraminíferos encontrada nos sedimentos da enseada MacKellar é baixa, em comparação com estudos realizados em outros ambientes menos hostis, pois poucas espécies são capazes de suportar as condições climáticas extremas, os menores valores registrados foram de 1 e 6 ind.60cm⁻³, na biocenose e tanatocenose, respectivamente.

As características do fundo, como granulometria e profundidade, estão direta ou indiretamente relacionadas ao padrão de distribuição das associações de foraminíferos na enseada Mackellar. A profundidade variou entre um rango de 20 – 109 m, com predominância de sedimento de tipo silte-argiloso, de origem marinho e litoclástico.

As espécies de foraminíferos encontradas são típicas da zona costeira antártica e de águas rasas, com baixa abundância de foraminíferos vivos e mortos, baixa diversidade e riqueza, e com um número maior de espécies aglutinantes em respeito aos calcários. Na biocenose foram encontradas 2251 carapaças pertencentes a 25 gêneros e 28 espécies. Por sua vez, na tanatocenose, 6961 carapaças foram encontradas as quais pertencem a 31 gêneros e 34 espécies.

As espécies dominantes na biocenose são calcárias, tendo a maior dominância, às espécies calcárias *Epsitominella exigua* e *Bolivinelina pseudopunctata* com 22,59% e 22,22% do total. Na tanatocenose, temos a *Globocassidulina bitor* como a espécie dominante com 42,61% do total.

A análise de componentes principais (ACP), permite ver que a distribuição dos foraminíferos está fortemente influenciada pelas variáveis físico-químicas. Na biocenose, os teores de CaCO₃, C_{org total} e a profundidade tem uma correlação positiva com as espécies *Nonionellina* sp., *Reophax regularis*, *Bolivinelina pseudopunctata* e *Fursenkiona rigii*. *Portatrochammina antarctica* subsp. *antarctica*, *Egerelloides advenus* e *Egerella nitens* apresentam correlação positiva com areia. *Cribrostomoides jeffreysii*, *Pseudobolivina antarctica*, *Spiroplectammina biformis* e *Leptohalysis catella* apresentam correlação negativa com a salinidade.

Por sua vez na tanatocenose, *Reophax regularis* e *Nodulina dentaliniformis* apresentam uma relação positiva forte com a profundidade, *Portatrochammina antarctica* subsp. *antarctica*, *Textularia earlandi*, *Spiroplectammina biformis*, *Oolina* sp. e *Saccammina* sp apresentam uma relação negativa com a profundidade, silte, $C_{org\ total}$ e N_{total} . *Fursenkoina riggi*, *Epistominella exigua* e *Quinqueloculina* sp., correlacionadas positiva com oxigênio dissolvido (OD).

Esses resultados podem ser usados como linha de base para futuros estudos de pesquisa que incluam as associações de foraminíferos na enseada MacKellar, Ilha Rei George, Antártica, assim como auxiliar no trabalho de monitoramento, desenvolvido por as estações científicas próximas da zona.

REFERÊNCIAS

- ADL, S. M. et al. The New Higher level Classification of Eukaryotes with Emphasis on the Taxonomy of Protists. **J. Eukaryot. Microbiol.**, v. 52, n. 5, p. 399 – 451, 2005.
- ADL, S. M. et al. The revised classification of eukaryotes. **J. Eukaryot. Microbiol.**, v. 59, n. 5, p. 429 – 493, 2012.
- ALBANI, A.; BARBERO, R, S.; DONNICI, S. Foraminifera as ecological indicators in the Lagoon of Venice, Italy. **Ecological Indicators**, v. 7, p. 239 - 253, 2007.
- ALVARINHO, J. L. Past, Present and Future Climate of Antarctica. **International Journal of Geosciences**, v. 4, p. 959 - 977, 2013.
- ALVE, E. Benthic foraminiferal responses to estuarine pollution: A review. **Journal of Foraminiferal Research**, v. 25, n. 3, p. 190 – 203, 1995.
- ALVES MARTINS, M. V. et al. Can benthic foraminifera be used as bio-indicators of pollution in areas with a wide range of physicochemical variability? **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 182, p. 211 – 225, 2016.
- ANDERSON, J. B. Ecology and distribution of foraminifera in the Weddell Sea of Antarctica. **Micropaleontology**, v. 21, n. 1, p. 69 -96. 1976.
- ARISTARAIN, A. J. Accumulation and temperature measurements on the James Ross Island ice cap, Antarctic Peninsula, Antarctica. **Journal of Glaciology**, v. 33, n. 115, p. 357 – 362, 1987.
- ARMSTRONG, H A.; BRASIER, M. D. Microfossils. **Blackwell Publishing**, Oxford 2nd edición, 296p. 2005.
- BARGHOORN, E. S.; NICHOLS, R. L. Sulfate –Reducing Bacteria and Pyritic Sediments in Antarctica. **Science**, v. 134, p. 194, 1961.
- BELLIER, J.; MATHIEU, R.; GRANIER, B. Short treatise on foraminiferology (Essentail on modern and fossil foraminifera). **Notebooks on Geology**, Brest, Book, 104p, 2010.

BERBEL, G.B.B.; BRAGA, E.S. Phosphorus in Antarctic surface marine sediments – chemical speciation in Admiralty Bay. **Antarctic Science**, v. 26, n. 3, p. 281 – 289, 2013.

BERNHARD, J. M. Foraminiferal biotopes in Explorers Cove, McMurdo Sound, Antarctica. **Journal of Foraminiferal Research**, n. 17, n. 4, p. 286 -297, 1987.

BERNHARD, J. M. Impact of intentionally injected carbon dioxide hydrate on deep-sea benthic foraminiferal survival. **Global Change Biology**, v. 15, p. 2078-2088, 2009.

BOERSMA, A. Foraminifera. Introduction to Marine Micropaleontology, BOERSMA, A.: New York, **Elsevier**, p. 19 – 77, 1978.

BOLTOVSKOY, E. et al. **Atlas of Benthic Shelf Foraminifera of the Southwest Atlantic**. Dr W. Junk by Publishers. The Hague, 1980. 147 p.

BOLTOVSKOY, E. SCOOT. D. B.; MEDIOLO, F. S. Morphological variation of benthic foraminiferal tests in response to Changes in Ecological Parameters: a review, **J. Paleont.**, v. 65, n. 2, p. 175 – 185, 1991).

BOUDAGHER-FADEL, M. K. The biological and molecular characteristics of living planktonic foraminifera. **Book: Biostratigraphic and Geological Significance of Planktonic Foraminifera**, Chapter 2, p. 29 – 38, 2015.

BOWSER, S. S. et al. Structure, Taxonomy and Ecology of Astrammina triangularis (Earland), an Allogromiid-Like Agglutinated Foraminifera from Explorer Cover, Antarctica. **Journal Foraminiferal Research**, v. 32, n. 4, p. 364 – 374, 2002.

BRANDINI, F. P.; REBELLO, J. Wind field effect on hydrography and chlorophyll dynamics in the coastal pelagial of Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. **Antarctic Science**, v. 6, n. 4, p. 433 – 442, 1994.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT. **Canadian Environmental Quality Guidelines**. Canadian Council of Ministers of the Environment, 2002.

CHANG, S; YOON, H. Foraminiferal assemblages from bottom sediments at Marian cove, South Shetland Islands, west Antarctica. **Marine Micropaleontology**, n. 26, p. 223 – 232, 1995.

CLARKE, A. et al. Climate change and the marine ecosystem of the western Antarctic Peninsula. **Phil. Trans. R. Soc. B.**, v. 362, p. 149 – 166, 2007.

CONVEY, P.; PECK L. S. Antarctic environmental change and biological responses. *Sci Adv.* 11, eaaz0888, 2019.

CORNELIUS, N.; GOODAY, A. J. 'Live' (stained) deep-sea benthic foraminiferans in the western Weddell Sea: trends in abundance, diversity and taxonomic composition along a depth transect. **Deep-Sea Research II**, v. 51, p. 377 – 368, 2004.

COSENTINO, C. et al. Benthic Foraminifera as indicators of relative sea-level fluctuations: Paleoenvironmental and paleoclimatic reconstruction of a Holocene marine succession (Calabria, south-eastern Tyrrhenian Sea). **Quaternary International**, n. 439, p.79 - 101, 2017.

DEBENAY, J. P.; FERNANDEZ, J. M. Benthic foraminifera records of complex anthropogenic environmental changes combined with geochemical data in a tropical bay of New Caledonia (SW Pacific). **Marine Pollution Bulletin**, v. 59, p. 311 – 322, 2009.

DEFLANDRE, B. et al. Spatial distribution and lability of sedimented organic matter in the surface sediments of Admiralty Bay (King George Island, Antarctic Peninsula). Scientific Cooperation INCT-APA/UFRJ (Brasil) – UMR 5805 EPOC/UB (France), 2013.

DOMACK, E. W. Environmental setting of the Antarctic Peninsula. **Antarctic Research Series**, v. 79, p. 1 – 13, 2003a.

DOMACK, E. W. et al. Marine Sedimentary record of natural environmental variability and recent warming in the Antarctic Peninsula. **Antarctic Research Series**, v. 79, p. 205 – 224, 2003b.

ELLIS, S. J.; MESSINA, A. R. **Catalogue on foraminifera. The Micropaleontology.** 1940 – et. Seq. New York.

ENGE, A. J.; KUCERA, M.; HEINZ, P. Diversity and microhabitats of living benthic foraminifera in the abyssal Northeast Pacific. **Marine Micropaleontology**, v. 96, n. 97, p. 84 – 104, 2012.

FATELA, F.; TABORDA, R. Confidence limits of species proportions in microfossil assemblages. **Marine Micropaleontology**, v. 45, p. 169 - 174, 2002.

FINGER, K. L.; LIPPS, J. H. Foraminiferal decimation and repopulation in an active volcanic caldera, Deception Island, Antarctica. **Micropaleontology**, v. 27, n. 2, p. 111 – 139, 1981.

FONTANIER, C. et al. Live foraminiferal faunas from a 2800 m deep lower canyon station from the Bay of Biscay: Faunal response to focusing of refractory organic matter. **Deep-Sea research I**, v. 49, p. 751 - 785, 2002.

FROUIN, P. Effects of anthropogenic disturbances of tropical soft-bottom benthic communities. **Marine Ecology Progress Series**, v. 194, p. 39 – 53, 2000.

GIESENHAGEN, H. C. et al. How are Antarctic planktonic microbial food webs and algal blooms affected by melting of sea ice? Microcosm simulations. **Aquatic Microbial Ecology**, v. 20, p. 183 – 201, 1999.

GILLE, S. How ice shelves melt. **Science**, v. 346, p. 1180 – 1181, 2014.

GOINEAU, A.; GOODAY, A.J. Radiolarian tests as microhabitats for novel benthic foraminifera: Observations from the abyssal eastern equatorial Pacific (Calrion-Clipperton Fracture Zone). **Deep Research I**, v. 103, p. 73 – 85, 2015.

GOODAY, A. J.; TURLEY, C. M. Responses by benthic organisms to inputs of organic material to the ocean floor: a review. **Phil. Trans. R. Soc. Land.**, v. 331, p. 119 – 138, 1990.

GOODAY, A.J. Deep-sea benthic foraminiferal species which exploit phytodetritus: characteristic features and controls on distribution. **Mar. Micropaleontol.**, v.22, p.187-205, 1993.

GOODAY, A. J. BERNHARD, J. M.; BOWSER, S. Benthic foraminiferal assemblages in Explorers Cove, Antarctica: A shallow-water site with deep-sea characteristics. **Prog. Oceanog.**, v. 37, p. 117 – 166, 1996.

GOODAY, A. J.; RATHBURN, A. E. Temporal variability in living deep-sea benthic foraminifera: a review. **Earth-Science Reviews**, v. 46, p. 187 – 212, 1999.

GOODAY, A. J. Organic-Walled Allogromiids: Aspects of their occurrence diversity and ecology in marine habitats. **Journal Foraminiferal Research**, v. 32, n. 4, p. 384 – 399, 2002.

GOODAY, A. J. et al. Monothalamous foraminiferans and gromiids (Protista) from western Svalbard: A preliminary survey. **Marine Biology Research**, v. 1, p. 209 – 312, 2005.

GOODELL, H. G. et al. The antarctic glacial history recorded in sediments of the southern ocean. **Palaeogeography, Palaeoclimatol., Palaeoecol.**, v. 5, p. 41 -62, 1968.

GORDON, A. L.; NOWLIN, W. D. The basin waters of Bransfield Strait. **Journal of Physical Oceanography**, v. 8, p. 258 – 267, 1978.

GRAY, S. C. et al. Composition and distribution of sediments and benthic foraminifera in a submerged caldera after 30 years of volcanic quiescence. **Deep-Sea Research II**, v. 50, p. 1727 – 1751, 2003.

GREEN, K. E. Ecology of some Arctic foraminifera. **Micropaleontology**, v. 6, n. 1, p. 57 – 78, 1960.

GUPTA, A. K.; THOMAS, E. Initiation of Northern Hemisphere glaciation and strengthening of the northeast Indian monsoon: Ocean Drilling Program Site 758, eastern equatorial Indian Ocean. **Geology**, v. 31, p. 47-50, 2003.

GUTT, J. et al. Biodiversity change after climate-induced ice-shelf collapse in the Antarctic. **Deep-Sea Research II**, v. 58, p. 74 – 83, 2011.

HAMILL, P.; TOON, O. B. Polar stratospheric clouds and the ozone depletion. **Physics Today**, v. 44, n. 12, p. 34 – 42. 1991.

HANNA, F.; ROGERSON, A. The Temporal and Spatial Distribution of Foraminiferans in Marine Benthic Sediments of the Clyde Sea Area, Scotland. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 44, p. 377 – 383, 1997.

HARLOFF, J.; MACKENSEN, A. Recent benthic foraminiferal associations and ecology of the Scotia Sea and Argentine Basin. **Marine Micropaleontology**, v. 31, p. 1 – 29, 1997.

HAYWARD, B.W. et al. World foraminifera database. 2018
Link. <http://www.marinespecies.org/foraminifera>.

HUGHES, K. A. et al. Antarctic environmental protection: Strengthening the links between science and governance. **Environmental Science and Policy**, v. 83, p. 86 – 95. 2018.

INGÓLFSSON, O; HORJ, C; HUMLUM. Glacial and Climate History of the Antarctic Peninsula since the Last Glacial Maximum. **Arctic, Antarctic and Alpine Research**, v. 35, n. 2, p. 175 – 186, 2003.

IPCC, Cambio Climático, 2013.

ISHMAN, S. E.; DOMACK, E. W. Oceanographic controls on benthic foraminifers from the Bellingshausen margin of the Antarctic Peninsula. **Marine Micropaleontology**, v. 24, p. 119 – 155, 1994.

JONES, R. W.; CHARNOCK, M. A. Morphogroups of agglutinating foraminifera. Their life positions and feeding habits and potential applicability in (paleo) ecological studies. **Revue de Paléobiologie**, v. 4, n. 20, p. 311 – 320, 1985.

JONES, R. W. Preliminary observation on benthonic foraminifera associated with biogenic gas seep in the North Sea. **Book: Applied Micropaleontology**, Chapter 3, p. 69- 80, 1993.

JOUGHIN, I; ALLEY, R. B. Stability of the West Antarctic ice sheet in a warming world. **Nature Geoscience**, v. 4, p. 506 – 513, 2011.

KATHIWALA, S.; PRIMEAU, F.; HALL, T. Reconstruction of the history of anthropogenic CO₂ concentrations in the ocean. **Nature**, v.462, n. 19, p. 346-350, 2009.

KASSAMBARA, A.; KOSINSKI, M.; BIECEK, P. HCPC – Hierarchical Clustering on Principal Components: Essentials. Statistical tools for high-throughput data analysis. 2019

KELLOG, D. E.; KELLOG, T. B. Microfossil distribution in modern Amundsen Sea sediments. **Marine Micropaleontology**, v. 12, p. 203 – 222, 1987.

KENNETT, J. P. The fauna of the Ross Sea, Part 6. Ecology and distribution of foraminifera. **New Zealand Oceanographic Institute**, Memoir 46, p. 1 – 46, 1968.

KEUL, N. et al. Effect on acidification on the benthic foraminifera *Ammonia* sp. Is caused by a decrease in carbonate ion concentration. **Biogeosciences Discussions**, v. 10, p. 1147 – 1176, 2013.

KUIPERS-MUNNEKE, P.; LIGTENBERG, S. R. M.; VAN DEN BROEKE, M. R.; VAUGHAN, D. G. Firn air depletion as a precursor of Antarctic ice-shelf collapse. **Journal of Glaciology**, v. 60, n. 220, p. 205 – 214, 2014.

LAKIN, K. E.; GOODAY, A. J. Soft-shelled monothalamous foraminifera at an intertidal site on the south coast of England. **Journal of Micropaleontology**, v. 23, p. 135 – 137, 2019.

LAMY, F. et al. Glacial reduction and millennial-scale variations in Drake Passage throughflow. **PNAS**, v. 112, p. 13496 – 13501, 2015.

LARSONNEUR, C.; BOUYASSE, P.; AUFFRET, J. The superficial sediments of the English Channel and its Western Approaches. **Sedimentology**, v. 29, p. 851 – 864, 1982.

LE, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: Na R Package for Multivariate Analysis. **Journal of Statistical Software**, v. 25, n. 1. 2008.

LECROQ, B.; GOODAY, A.J.; PAWLOWSKI, J. Global genetic homogeneity in the deep-sea foraminiferan *Epistominella exigua* (Rotaliida: Pseudoparrellidae). **Zootaxa**, v. 2096, p. 23 – 32, 2009.

LEJZEROWICZ, F. et al. Molecular evidence for widespread occurrence of Foraminifera in soils. **Environmental Microbiology**, v. 12, n. 9, p. 2518 – 2526, 2010.

LI, B.; YOON, H.; PARK, B. K. Foraminiferal assemblages and CaCO₃ dissolution since the last deglaciation in the Maxwell Bay, King George Island, Antarctica. **Marine Geology**, v. 169, p. 239 – 257, 2000.

LINKE, P.; LUTZE, G. F. Microhabitats preferences of benthic foraminífera - a static concept or a dynamic adaptation to optimize food acquisition? **Marine Micropaleontology**, v. 20, p. 215 – 234, 1993.

LLANO, G. A.; WALLEN, E. W. **Biology of the Antarctic Seas IV, Antarctic Research Series**. Geological Institute, University of Bern, Bern, Switzerland, 1971. 300p.

LOEBLICH-Jr., A. R.; TAPPAN, H. Foraminiferal genera and their classification. **New York: Van Nostrand Reinhold**, 2046p. 1988.

MACKENSEN, A.; GROBE, H.; KUHN, G.; FÜTTERER, D. K. Benthic Foraminiferal assemblages from the eastern Weddell Sea between 68 and 73°S: Distribution, ecology and fossilization potential. **Marine Micropaleontology**, v. 16, p. 241 – 283, 1990.

MACKENSEN, A. et al. Deep-sea foraminifera in the South Atlantic Ocean: Ecology and assemblage generation. **Micropaleontology**, v.41, p. 342-358, 1995.

MAGURRAN, A. **Ecological diversity and its measurement**. Cambridge: British Library, 1988.

MAGURRAN, A. E.; MCGILL, B. J. *Biological Diversity: frontiers in measurement and assessment*. Oxford University Press, 2011, 345p.

MAJEWSKI, W. Benthic foraminiferal communities: distribution and ecology in Admiralty Bay, King George Island, West Antarctica. **Polish Polar Research**, v. 26, n. 3, p. 159 -214, 2005a.

MAJEWSKI, W.; PAWLOWSKI, J.; ZAJACZKOWSKI, M. Monothalamous foraminifera from West Spitsbergen fjords, Svalbard: a brief overview. **Polish Polar Research**, v. 26, n. 4, p. 269 – 285, 2005b.

MAJEWSKI, W. et al. Monothalamous foraminifera from Admiralty Bay, King George Island, West Antarctica. **Polish Polar Research**, v. 28, n. 3, p. 187 – 210, 2007.

MAJEWSKI, W.; TATUR, A. A new Antarctic foraminiferal species for detecting climate change in sub-Recent glacier-proximal sediments. **Antarctic Science**, v. 21, n. 5, p. 439 – 448, 2009.

MAJEWSKI, W. Benthic foraminifera from Pine Island and Ferrero bays, Amundsen Sea. **Polish Polar Research**, v. 34, n. 2, p. 169 – 200, 2013.

MAJEWSKI, W.; BART, P. J.; MCGLANNAN, A. J. Foraminiferal assemblages from ice-proximal paleo-settings in the Whales Deep Basin, eastern Ross sea, Antarctica. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 498, p. 64 – 81, 2018.

MARTIN, P. J.; PEEL, D. A. The special distribution of 10m temperatures in the Antarctic Peninsula. **Journal of Glaciology**, v. 20, n. 83, p. 311 – 317, 1978.

MEREDITH, M. P.; KING, J. C. Rapid climate change in the ocean west of the Antarctic Peninsula during the second half of the 20th century. **Geophysical Research Letters**, v. 32, p. 1 – 5, 2005.

MEREDITH, M. P. et al. Sustained monitoring of the southern ocean at Drake Passage: achievements and future priorities. **Reviews of Geophysics**, v. 49, p. 1 – 36, 2011.

MIKHALEVICH, V. I. Major features of distribution of Antarctic foraminifera. **Micropaleontology**, v. 50, n. 2, p. 179 – 194, 2004.

MILAM, R. W.; ANDERSON, J. B. Distribution and ecology of recent benthonic foraminifera of the Adelie-Georg V continental shelf and slope. **Marine Micropaleontology**, v. 6, p. 297 – 325, 1981.

MILKOV, A V. Worldwide distributio of submarine mud volcanoes and associated gas hydrates. *Marine Geology*, v. 167, p. 29 – 42, 2000.

MURRAY, J. W. **Ecology and paleoecology of benthic foraminifera**. London: Logman Scientific and Technical, 1991. 397p.

MURRAY, J. W.; PUDSEY, C. J. Living (stained) and dead foraminifera from the newly ice-free Larsen Ice Shelf, Weddell Sea, Antarctica: ecology and taphonomy. **Marine Micropaleontology**, v. 53, p. 67 – 81, 2004.

MURRAY, J. W. **Ecology and applications of benthic foraminifera**. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. 426p.

MURRAY, J. W. Biodiversity of living benthic foraminifera: How many species are there? **Marine Micropaleontology**, v. 64, p. 163 – 176, 2007.

MURRAY, J. W.; ALVE, E. Benthic foraminiferal biogeography in NW European fjords: A baseline for assessing future change. **Estuarie, Coastal and Shelf Science**, v. 181, p. 218 – 230, 2016.

NEES, S.; STRUCK, U. Benthic foraminiferal response to major paleoceanographic changes. In: Abrantes, F., Mix, A. (Eds.), *Reconstructing Ocean History: A Window into the Future*. **Kluwer Academic/Plenum Publishers**, pp. 195-216, 1999.

OLSGARD, F. Effects of copper contamination on recolonization of subtidal marine soft sediments – an experimental field study. **Marine Pollution Bulletin**. v. 38, n.6, p. 448-462, 1999.

OSTERMAN, L. E.; KELLOG, T. B. Recent benthic foraminiferal distributions from the Ross Sea, Antarctic: relation to ecologic and oceanographic conditions. **Journal of Foraminiferal Research**, v. 9, n. 3, p. 250 – 269, 1979.

PABIS, K. et al. Structure of bryozoan communities in an Antarctic glacial fjord. **Polar Biol**, v. 37, p. 737 – 751, 2014.

PAWLOWSKI, J.; HOLZMANN, M. Molecular Phylogeny of Foraminifera – A review. **European Journal of Protistology**, v. 38, p. 1 – 10, 2002a.

PAWLOWSKI, J. et al. Phylogeny of Allogrimsiid Foraminifera inferred from SSU rRNA Gene Sequences. **Journal Foraminiferal Research**, v. 32, n. 4, p. 334 – 343, 2002b.

PAWLOWSKI, J. et al. The evolution of early Foraminifera. **PNAS**, v. 100, n. 20, p. 11494 – 11498, 2003.

PAWLOWSKI, J.; HOLZMANN, M.; TYSZKA, J. New supraordinal classification of Foraminifera: Molecules meet morphology. **Marine Micropaleontology**, v. 100, p. 1 – 10, 2013.

PRÉZELIN, B.B. et al. Physical forcing of phytoplankton community structure and primary production in continental shelf waters of the Western Antarctic Peninsula. **Journal of Marine Research**, v. 62, p. 419 – 460, 2004.

PUDSEY, C. J.; BARKER, P. F.; HAMILTON, N. Weddell Sea abyssal sediment a record of Antarctic bottom water flow. **Marine Geology**, v. 81, p. 289 - 314, 1988.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2020.

RIBEIRO, A. P. et al. Arsenic and trace metal contents in sediments profiles from the Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. **Marine Pollution Bulletin**, v. 62, p. 192 – 196, 2011.

RINTOUL, S. The global influence of localized dynamics in the Southern Ocean. **Nature**, v. 558, p. 209 – 218, 2018.

ROBERTSON, R. et al. Long-term temperature trends in the deep waters of the Weddell Sea. **Deep-Sea Research II** v. 49, p. 4791 - 4806, 2002.

ROCKSTROM, J. et al. A safe operating space for humanity. **Nature**, v. 461, p. 472 – 475, 2009.

RODRIGUES, E.; VANI, G. S.; LAVRADO, H. P. Nitrogen metabolism of the Antarctic bivalve *Laternula elliptica* (King & Broderip) and its potential use as biomarker. **Oecol. Bras.**, v. 11, n. 1, p. 37 – 49, 2007.

RODRIGUES, A. R. et al. Recent benthic foraminiferal distribution and related environmental factors in Ezcurra Inlet, King George Island, Antarctica. **Antarctic Science**, v. 22, n. 4, p. 343 – 360, 2010.

RODRIGUES, A. R.; EICHLER, P. P. B.; EICHLER, B. B. Foraminifera in two inlets fed by a tidewater glacier, King George Island, Antarctic Peninsula. **Journal Foraminiferal Research**, v. 43, n. 3, p. 209 – 220, 2013.

RODRIGUES, A. R.; BRAGA, E. S.; EICHLER, B. B. Living foraminifera in the shallow Waters of Admiralty Bay: distributions and environmental factors. **Journal Foraminiferal Research**, v. 45, n. 2, p. 128 – 145, 2015.

SABBATINI, A. et al. Soft-shelled benthic foraminifera from a hadal site (7800 m water depth) in the Atacama Trench (SE Pacific): preliminary observations. **Journal of Micropaleontology**, v. 21, p. 131 – 135, 2002.

SABBATINI, A. et al. Distribution and biodiversity of stained Monothalamous Foraminifera from Tempelfjords, Svalbard. **Journal Foraminiferal Research**, v. 37, n. 2, p. 93 – 106, 2007.

SANCHO, L. G., et al. Recent warming and cooling in the Antarctic Peninsula Region has rapid and large effects on lichen vegetation. **Scientific Reports, Science**, 8 p. 2017.

SANTINI, M.F. Estrutura termohalina e massas de água ao norte da Península Antártica revelada a partir de dados in situ coletados por elefantes-marinheiros do sul

(*Mirounga leonina*). **Revista Ambiente & Água: An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 8, n. 1, p. 119 - 132, 2013.

SANTOS, I. R. et al. Heavy metal contamination in coastal sediments and soils near the Brazilian Antarctic Station, King George Island. **Marine Pollution Bulletin**, v. 50, p. 185 – 194, 2005.

SANTOS, I. R. et al. Sediment geochemistry in coastal maritime Antarctica (Admiralty Bay, King George Island): Evidence from rare earths and other elements. **Marine Chemistry**, v. 107, p. 464 -474, 2007.

SCHIEBEL, R; HEMLEBEN, C. MODERN PLANKTIC FORAMINIFERA. **Paläontologische Zeitschrift**, v. 79, n. 1, p. 135 – 148, 2005.

SCHMIEDL, G.; MACKENSEN, A.; MULLER, P.J. Recent benthic foraminifera from the eastern South Atlantic Ocean; dependence on food supply and water masses. **Mar. Micropaleontol**, v. 32, p. 249-287, 1997.

SCHÖNFELD, J. et al. The FOBIMO (Foraminiferal Blo-MONitoring) initiative – Towards a standardized protocol for soft-bottom benthic foraminiferal monitoring studies. **Marine Micropaleontology**, v. 94, n. 95, p. 1 - 13, 2012.

SCOTT, D. B.; MEDIOLI, F. S.; SCHAFER, C. T. **Monitoring in coastal environments using foraminifera and thecamoebian indicators**. Cambridge University Press. 192 p. 2001.

SEMENSATTO, D. L.; DIAS-BRITO, D. Alternative saline solutions to float foraminiferal tests. **Journal of Foraminiferal Research**, v. 37, n. 3, p. 265 - 269, 2007.

SEN GUPTA, B. K. Modern Foraminifera. **Kluwer Academic Publisher**, 384 p. 2002.

SHEPARD, F.P. Nomenclature based on Sand-silt-clay Ratios. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 24, n. 3, p. 151 – 158, 1954.

SIEMENSMA, F. et al. Taxonomic revision of freshwater foraminifera with the description of two new agglutinated species and genera. **European Journal of Protistology**, v. 60, p. 28 – 44, 2017.

STAMMERJOHN, S.; SMITH, R. C. Spatial and temporal variability in western Antarctic sea ice coverage, **Antarctic Research Series**, v. 70, p. 81 – 104, 1996.

STARK, J. S. et al. Human impacts in Antarctic Marine soft-sediment assemblages: correlations between multivariate biological patterns and environmental variables at Casey Station. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 56, p. 717 – 734, 2003.

STEIN, R. Accumulation of organic carbon in marine sediment. **Lecture Note Earth Sci**, v. 34, p. 1 – 78, 1991.

SUHR, S. B. et al. Trophic modes of large Antarctic Foraminifera: roles of carnivory, omnivory and detritivory. **Marine Ecology Progress Series**, v. 371, p. 155 – 164, 2008.

SZAREK, R.; NOMAKI, H.; KITAZATO, H. Living deep-sea benthic foraminifera from the warm and oxygen-depleted environment of the Sulu Sea. **Deep-sea Research II**, v. 54, p. 145 – 176, 2007.

TIN, T. et al. Impacts of local human activities on the Antarctic environment. **Antarctic science**, v. 21, n. 1, p. 3 – 33, 2009.

TOGGWEILER, J. R.; BJORNSSON, H. Drake Passage and paleoclimate. **Journal of Quaternary Science**, v. 15, n. 4, p. 319 – 328, 2000.

TOKARCZYK, R. Classification of water masses in the Bransfield Strait and southern part of the Drake Passage using a method of statistical multidimensional analysis. **Polish Polar Research**, v. 8, p. 333 – 366, 1987.

TREVIZANI, T. H. et al. Heavy metal concentrations in the benthic trophic web of Martel Inlet, Admiralty Bay (King George Island, Antarctica). **Marine Pollution Bulletin**, v. 130, p. 198 – 205, 2018.

TURNER, J. et al. Antarctic Climate change during the last 50 years. **International journal of Climatology**, v. 25, p. 279 – 294, 2005.

TURNER, J. et al. Antarctic Climate Change and the Environment: an update. **Polar Record**. Cambridge, 23 p. 2013.

VAISSIE, P.; MONGE, A.; HUSSON, F. Factoshiny: Perform Factorial Analysis from 'FactoMineR' with a Shiny Application. R package version 1.0.6. 2017.

VÄLISUO, I.; VIHMA, T.; KING, J. Surface energy budget on Larsen and Wilkins ice shelves in the Antarctic Peninsula: results based on reanalyses in 1989-2010. **The Cryosphere**, v. 8, p. 1519 – 1538, 2014.

VAUGHAN, D. G.; DOAKE, C. S. M. Recent atmospheric warming and retreat of ice shelves on the Antarctic Peninsula. **Nature**, v. 379, p. 328 – 331, 1996.

WARD, B. L.; BARRET, P. J.; VELLA, P. Distribution and ecology of benthic foraminifera in McMurdo Sound, Antarctica. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 58, p. 139 – 153, 1987.

WEBER, R. R.; MONTONE, R. C. Gerenciamento ambiental na Baía do Almirantado, Ilha rei George, Antártica. **CNPq-PROANTAR: Rede**, v. 2, p. 255p, 2006.

WOLLENBURG, J. E.; KUHNT, W. The response of benthic Foraminifers to carbon flux and primary production in the Arctic Ocean. **Marine Micropaleontology**, v. 41, p. 189 – 231, 2000.

WOLLENBURG, J. E.; MACKENSEN, A. The ecology and distribution of benthic foraminifera at the Hakon Mosby mud volcano (SW Barents Sea slope). **Deep-Sea Research I**, v. 56, p. 1336 – 1370, 2009.

YANKO, V.; KRONFELD, J.; FLEXER, A. Response of benthic foraminifera to various pollution sources: implications for pollution monitoring. **Journal of Foraminiferal Research**, v. 24, n. 1, p. 1 – 17, 1994.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Variâncias calculadas nas diferentes dimensões da ACP da biocenose.

Eigenvalues							
	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5	Dim.6	Dim.7
Variance	8.250	6.335	4.504	3.595	3.165	2.465	2.212
% of var.	21.153	16.244	11.549	9.219	8.116	6.319	5.672
Cumulative % of var.	21.153	37.397	48.946	58.165	66.281	72.600	78.272
	Dim.8	Dim.9	Dim.10	Dim.11	Dim.12	Dim.13	Dim.14
Variance	2.001	1.609	1.321	0.947	0.806	0.757	0.643
% of var.	5.130	4.125	3.388	2.429	2.067	1.941	1.648
Cumulative % of var.	83.403	87.528	90.916	93.345	95.412	97.353	99.001
	Dim.15						
Variance	0.390						
% of var.	0.999						
Cumulative % of var.	100.000						

APÊNDICE C – Fatores de carga das variáveis bióticas e abióticas, para a dimensão 1, dimensão 2 e dimensão 3 da Análise de Componentes Principais (ACP) da biocenose.

Variables	Dim.1	ctr	cos2	Dim.2	ctr	cos2	Dim.3	ctr	cos2
Aglo	-0,496	2,982	0,246	0,341	1,841	0,117	0,736	12,035	0,542
Aince	-0,501	3,041	0,251	-0,188	0,555	0,035	-0,428	4,065	0,183
Bpseu	0,714	6,184	0,510	0,058	0,054	0,003	0,158	0,552	0,025
Cpark	0,183	0,404	0,033	0,767	9,292	0,589	-0,036	0,028	0,001
Cwue	0,067	0,055	0,005	0,717	8,112	0,514	0,014	0,004	0,000
Cjef	-0,493	2,949	0,243	-0,317	1,586	0,100	0,548	6,657	0,300
Carc	-0,594	4,272	0,352	-0,157	0,391	0,025	-0,203	0,917	0,041
Egg	-0,522	3,298	0,272	0,323	1,645	0,104	-0,295	1,926	0,087
Enit	0,012	0,002	0,000	0,577	5,253	0,333	0,050	0,056	0,003
Eadv	-0,641	4,981	0,411	0,266	1,116	0,071	-0,243	1,307	0,059
Eexi	0,006	0,000	0,000	-0,085	0,114	0,007	-0,377	3,160	0,142
Frig	0,730	6,457	0,533	0,023	0,008	0,001	-0,040	0,036	0,002
Gbio	-0,443	2,379	0,196	-0,025	0,010	0,001	-0,521	6,030	0,272
Glom	-0,009	0,001	0,000	0,084	0,110	0,007	-0,690	10,561	0,476
Latla	0,362	1,590	0,131	0,139	0,306	0,019	-0,094	0,195	0,009
Lagen	0,255	0,787	0,065	-0,467	3,439	0,218	-0,078	0,134	0,006
Llep	0,119	0,173	0,014	0,240	0,908	0,058	-0,583	7,557	0,340
Lcat	-0,465	2,626	0,217	0,073	0,084	0,005	0,655	9,523	0,429
Mare	-0,427	2,208	0,182	-0,076	0,090	0,006	-0,034	0,026	0,001
Ndent	0,220	0,587	0,048	-0,460	3,343	0,212	0,329	2,400	0,108
Noni	0,626	4,755	0,392	0,430	2,925	0,185	0,353	2,769	0,125
Port	-0,737	6,582	0,543	0,497	3,900	0,247	-0,294	1,925	0,087
Pseu	-0,553	3,712	0,306	-0,208	0,685	0,043	0,509	5,749	0,259
Quin	0,291	1,029	0,085	-0,494	3,857	0,244	0,004	0,000	0,000
Rreg	0,471	2,687	0,222	0,471	3,505	0,222	0,270	1,618	0,073
Rscor	0,207	0,518	0,043	-0,442	3,090	0,196	0,339	2,554	0,115
Sbif	-0,643	5,017	0,414	-0,443	3,104	0,197	0,288	1,847	0,083
Text	0,055	0,037	0,003	0,480	3,637	0,230	0,368	3,008	0,135
Prof	0,497	2,992	0,247	0,127	0,255	0,016	0,378	3,166	0,143
Temp	-0,206	0,515	0,043	0,158	0,393	0,025	0,011	0,003	0,000
Sal	0,398	1,924	0,159	0,697	7,678	0,486	0,240	1,277	0,058
OD	0,040	0,020	0,002	-0,633	6,316	0,400	-0,340	2,572	0,116
pH	-0,102	0,126	0,010	0,124	0,242	0,015	-0,244	1,325	0,060
N	0,408	2,022	0,167	0,472	3,521	0,223	-0,117	0,305	0,014
CaCO ₃	0,836	8,473	0,699	0,046	0,033	0,002	-0,134	0,399	0,018

C		0,732	6,503	0,536		0,068	0,073	0,005		-0,380	3,206	0,144	
Areia		-0,494	2,956	0,244		0,666	7,002	0,444		-0,014	0,004	0,000	
Silte		0,579	4,062	0,335		-0,493	3,836	0,243		-0,143	0,454	0,020	
Argila		0,300	1,091	0,090		-0,698	7,691	0,487		0,171	0,648	0,029	

APÊNDICE D – Correlação de Spearman, das variáveis bióticas e abióticas da biocenose.

Aglo	Aince	Bpseu	Cpark
Min. : -0,53051	Min. : -0,542044	Min. : -0,52658	Min. : -0,60533
1st Qu.: -0,32815	1st Qu.: -0,231784	1st Qu.: -0,28924	1st Qu.: -0,20671
Median : 0,08492	Median : 0,000000	Median : -0,04897	Median : 0,06991
Mean : 0,03061	Mean : -0,006482	Mean : 0,02997	Mean : 0,02779
3rd Qu.: 0,26992	3rd Qu.: 0,146859	3rd Qu.: 0,36160	3rd Qu.: 0,26493
Max. : 1,00000	Max. : 1,000000	Max. : 1,00000	Max. : 1,00000
Cwue	Cjef	Carc	Egg
Min. : -0,37452	Min. : -0,60533	Min. : -0,45593	Min. : -0,55346
1st Qu.: -0,18499	1st Qu.: -0,20818	1st Qu.: -0,27099	1st Qu.: -0,13655
Median : 0,02655	Median : -0,06730	Median : -0,12486	Median : -0,07132
Mean : 0,07981	Mean : 0,01118	Mean : -0,02017	Mean : 0,05037
3rd Qu.: 0,30313	3rd Qu.: 0,14383	3rd Qu.: 0,22222	3rd Qu.: 0,20157
Max. : 1,00000	Max. : 1,00000	Max. : 1,00000	Max. : 1,00000
Enit	Eadv	Eexi	Frig
Min. : -0,38490	Min. : -0,671925	Min. : -0,46135	Min. : -0,49711
1st Qu.: -0,18139	1st Qu.: -0,250260	1st Qu.: -0,23601	1st Qu.: -0,26515
Median : 0,07605	Median : -0,056687	Median : -0,07217	Median : -0,03375
Mean : 0,05704	Mean : -0,007631	Mean : -0,04636	Mean : 0,02925
3rd Qu.: 0,22102	3rd Qu.: 0,145674	3rd Qu.: 0,09361	3rd Qu.: 0,28719
Max. : 1,00000	Max. : 1,000000	Max. : 1,00000	Max. : 1,00000
Gbio	Glom	Latla	Lagen
Min. : -0,38748	Min. : -0,34236	Min. : -0,44300	Min. : -0,421728
1st Qu.: -0,19914	1st Qu.: -0,15996	1st Qu.: -0,14361	1st Qu.: -0,205557
Median : 0,01037	Median : -0,05484	Median : -0,07132	Median : -0,127348
Mean : 0,04645	Mean : 0,04801	Mean : 0,04186	Mean : -0,007502
3rd Qu.: 0,17743	3rd Qu.: 0,19873	3rd Qu.: 0,13301	3rd Qu.: 0,113317
Max. : 1,00000	Max. : 1,00000	Max. : 1,00000	Max. : 1,000000
Llep	Lcat	Mare	Ndent
Min. : -0,53993	Min. : -0,61307	Min. : -0,39438	Min. : -0,40945
1st Qu.: -0,22033	1st Qu.: -0,19149	1st Qu.: -0,18242	1st Qu.: -0,22621

Median : 0,05107	Median :-0,03859	Median : 0,02254	Median :-0,03923
Mean : 0,02729	Mean : 0,02162	Mean : 0,05735	Mean :-0,01036
3rd Qu.: 0,16282	3rd Qu.: 0,19416	3rd Qu.: 0,19899	3rd Qu.: 0,08010
Max. : 1,00000	Max. : 1,00000	Max. : 1,00000	Max. : 1,00000
Noni	Port	Pseu	Quin
Min. :-0,51550	Min. :-0,71108	Min. :-0,58012	Min. :-0,338341
1st Qu.: -0,20552	1st Qu.: -0,30969	1st Qu.: -0,27445	1st Qu.: -0,218810
Median : 0,01426	Median : 0,06841	Median : -0,09106	Median : -0,097590
Mean : 0,06813	Mean : 0,03072	Mean : -0,04440	Mean : -0,007369
3rd Qu.: 0,34869	3rd Qu.: 0,26560	3rd Qu.: 0,05689	3rd Qu.: 0,114766
Max. : 1,00000	Max. : 1,00000	Max. : 1,00000	Max. : 1,000000
Rreg	Rscor	Sbif	Text
Min. :-0,44985	Min. :-0,351308	Min. :-0,66624	Min. :-0,26760
1st Qu.: -0,21788	1st Qu.: -0,191364	1st Qu.: -0,27778	1st Qu.: -0,16303
Median : 0,01757	Median : -0,057077	Median : -0,05708	Median : -0,02812
Mean : 0,05557	Mean : 0,001423	Mean : -0,03146	Mean : 0,05030
3rd Qu.: 0,22359	3rd Qu.: 0,096616	3rd Qu.: 0,20725	3rd Qu.: 0,19822
Max. : 1,00000	Max. : 1,000000	Max. : 1,00000	Max. : 1,00000
Prof	Temp	Sal	OD
Min. :-0,52804	Min. :-0,539929	Min. :-0,58541	Min. :-0,600848
1st Qu.: -0,19313	1st Qu.: -0,156404	1st Qu.: -0,16329	1st Qu.: -0,250254
Median : 0,09655	Median : 0,026554	Median : 0,02858	Median : 0,004516
Mean : 0,06557	Mean : -0,008618	Mean : 0,05770	Mean : -0,038333
3rd Qu.: 0,20095	3rd Qu.: 0,127267	3rd Qu.: 0,27104	3rd Qu.: 0,132996
Max. : 1,00000	Max. : 1,000000	Max. : 1,00000	Max. : 1,000000
pH	N	CaCO3	C
Min. :-0,37593	Min. :-0,40031	Min. :-0,66624	Min. :-0,61307
1st Qu.: -0,11950	1st Qu.: -0,20684	1st Qu.: -0,37600	1st Qu.: -0,25204
Median : -0,00747	Median : -0,01201	Median : 0,03858	Median : 0,03820
Mean : 0,02754	Mean : 0,05497	Mean : 0,01978	Mean : 0,03126
3rd Qu.: 0,15242	3rd Qu.: 0,29589	3rd Qu.: 0,34559	3rd Qu.: 0,30773
Max. : 1,00000	Max. : 1,00000	Max. : 1,00000	Max. : 1,00000
Areia	Silte	Argila	
Min. :-0,89482	Min. :-0,894821	Min. :-0,89038	
1st Qu.: -0,18024	1st Qu.: -0,244382	1st Qu.: -0,16649	
Median : -0,01201	Median : 0,017763	Median : -0,04578	
Mean : 0,02321	Mean : -0,008899	Mean : -0,03277	
3rd Qu.: 0,24097	3rd Qu.: 0,236059	3rd Qu.: 0,19177	
Max. : 1,00000	Max. : 1,000000	Max. : 1,00000	

APÊNDICE E – Variâncias calculadas nas diferentes dimensões da ACP da tantocenose.

Eigenvalues

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5	Dim.6	Dim.7
Variance	8,437	5,391	4,518	4,156	3,405	2,982	2,399
% of var.	18,749	11,981	10,040	9,234	7,566	6,627	5,331
Cumulative % of var.	18,749	30,730	40,770	50,004	57,570	64,198	69,529
	Dim.8	Dim.9	Dim.10	Dim.11	Dim.12	Dim.13	Dim.14
Variance	2,186	1,864	1,652	1,364	1,249	1,096	0,875
% of var.	4,859	4,143	3,672	3,031	2,776	2,436	1,944
Cumulative % of var.	74,388	78,531	82,203	85,234	88,011	90,447	92,390
	Dim.15	Dim.16	Dim.17	Dim.18	Dim.19	Dim.20	Dim.21
Variance	0,774	0,701	0,524	0,459	0,408	0,274	0,179
% of var.	1,719	1,559	1,164	1,020	0,907	0,610	0,398
Cumulative % of var.	94,109	95,668	96,832	97,852	98,759	99,368	99,767
	Dim.22						
Variance	0,105						
% of var.	0,233						
Cumulative % of var.	100,000						

APÊNDICE F – Fatores de carga das estações, para a dimensão 1, dimensão 2 e dimensão 3 da Análise de Componentes Principais (ACP) da tanatocenose.

Individuals

	Dist	Dim.1	ctr	cos2	Dim.2	ctr	cos2	Dim.3	ctr	cos2
E1	5,404	-1,446	1,077	0,072	-2,227	3,998	0,170	-1,631	2,560	0,091
E5	6,921	-0,046	0,001	0,000	1,853	2,769	0,072	-0,268	0,069	0,001
E7	8,748	-3,648	6,856	0,174	2,631	5,584	0,090	-0,135	0,018	0,000
E10	5,779	2,831	4,130	0,240	-1,133	1,034	0,038	-0,859	0,710	0,022
E11	5,755	-1,162	0,696	0,041	2,755	6,121	0,229	-0,819	0,645	0,020
E14	9,660	-3,956	8,064	0,168	5,721	26,394	0,351	-5,022	24,275	0,270
E15	5,502	-3,262	5,483	0,351	1,165	1,095	0,045	1,370	1,807	0,062
E16	5,093	2,239	2,583	0,193	-1,595	2,050	0,098	-0,640	0,394	0,016
E17	7,161	-1,578	1,283	0,049	-3,863	12,033	0,291	-1,048	1,056	0,021
E18	6,446	-1,279	0,843	0,039	-3,231	8,420	0,251	-1,533	2,261	0,057
E19	4,388	-1,625	1,360	0,137	0,373	0,112	0,007	-0,029	0,001	0,000
E21	5,844	-1,987	2,035	0,116	0,359	0,104	0,004	3,562	12,210	0,371
E22	6,582	-2,837	4,147	0,186	-0,487	0,192	0,005	4,208	17,041	0,409
E28	5,073	-1,764	1,603	0,121	-1,718	2,379	0,115	2,490	5,967	0,241
E29	6,205	-0,268	0,037	0,002	-0,384	0,119	0,004	2,681	6,915	0,187
E30	5,678	-1,473	1,118	0,067	-1,303	1,370	0,053	0,149	0,021	0,001
E31	4,712	-0,074	0,003	0,000	-1,057	0,901	0,050	-0,815	0,640	0,030
E32	7,218	2,876	4,263	0,159	2,563	5,298	0,126	1,678	2,709	0,054
E33	6,867	2,459	3,116	0,128	-1,306	1,376	0,036	0,697	0,468	0,010
E34	10,573	8,424	36,572	0,635	4,113	13,645	0,151	1,847	3,282	0,031
E35	5,991	3,126	5,037	0,272	-0,265	0,057	0,002	-0,199	0,038	0,001
E36	6,179	0,112	0,006	0,000	-0,552	0,245	0,008	-1,999	3,844	0,105
E37	8,484	4,335	9,686	0,261	-2,415	4,702	0,081	-3,685	13,070	0,189

APÊNDICE G – Fatores de carga das variáveis bióticas e abióticas, para a dimensão 1, dimensão 2 e dimensão 3 da Análise de Componentes Principais (ACP) da tanatocenose.

Variables	Dim.1	ctr	cos2	Dim.2	ctr	cos2	Dim.3	ctr	cos2
Aglo	0,816	7,901	0,667	0,136	0,342	0,018	0,158	0,554	0,025
Aince	0,146	0,252	0,021	0,286	1,522	0,082	0,117	0,303	0,014
Bpseu	0,786	7,327	0,618	0,157	0,457	0,025	0,054	0,065	0,003
Cpark	0,835	8,254	0,696	0,257	1,222	0,066	-0,093	0,192	0,009
Cwue	0,229	0,621	0,052	0,276	1,417	0,076	-0,672	10,000	0,452
Cjef	-0,059	0,041	0,003	0,543	5,464	0,295	0,366	2,964	0,134
Carc	-0,276	0,904	0,076	0,251	1,165	0,063	0,671	9,954	0,450
Egg	-0,268	0,850	0,072	0,242	1,083	0,058	-0,014	0,004	0,000
Enit	0,769	7,012	0,592	0,310	1,786	0,096	0,206	0,940	0,042
Eadv	0,233	0,645	0,054	0,699	9,052	0,488	-0,101	0,226	0,010
Eexi	0,105	0,129	0,011	-0,257	1,224	0,066	0,021	0,010	0,000
Frig	0,323	1,239	0,105	-0,375	2,608	0,141	-0,198	0,869	0,039
Gbio	0,320	1,215	0,103	-0,454	3,824	0,206	-0,543	6,538	0,295
Gsub	0,478	2,712	0,229	-0,019	0,007	0,000	0,064	0,092	0,004
Glom	0,787	7,342	0,619	0,032	0,019	0,001	-0,068	0,101	0,005
Hipo	-0,312	1,152	0,097	0,326	1,966	0,106	-0,511	5,783	0,261
Lagen	0,155	0,286	0,024	-0,302	1,692	0,091	-0,105	0,243	0,011
Llep	0,474	2,668	0,225	0,490	4,460	0,240	-0,370	3,024	0,137
Lcat	-0,125	0,185	0,016	0,311	1,793	0,097	0,254	1,428	0,065
Mare	-0,174	0,359	0,030	-0,015	0,004	0,000	-0,002	0,000	0,000
Ndent	0,765	6,934	0,585	0,066	0,080	0,004	0,103	0,236	0,011
Noni	0,476	2,682	0,226	-0,070	0,090	0,005	-0,396	3,471	0,157
Ooli	-0,272	0,876	0,074	0,563	5,885	0,317	-0,424	3,980	0,180
Port	-0,235	0,657	0,055	0,726	9,780	0,527	-0,362	2,904	0,131
Pfusc	-0,358	1,519	0,128	-0,036	0,025	0,001	0,548	6,640	0,300
Pseu	0,330	1,290	0,109	0,527	5,142	0,277	0,613	8,325	0,376
Quin	-0,009	0,001	0,000	-0,297	1,635	0,088	-0,097	0,207	0,009
Rreg	0,310	1,138	0,096	0,103	0,198	0,011	-0,046	0,046	0,002
Rscor	0,618	4,528	0,382	0,271	1,365	0,074	0,174	0,670	0,030
Rhab	0,120	0,171	0,014	0,073	0,100	0,005	0,090	0,180	0,008
Sacca	0,001	0,000	0,000	0,517	4,966	0,268	0,218	1,050	0,047
Sbif	-0,351	1,458	0,123	0,390	2,820	0,152	0,687	10,460	0,473
Text	-0,205	0,498	0,042	0,636	7,500	0,404	-0,255	1,436	0,065
Trif	0,618	4,532	0,382	0,378	2,646	0,143	0,185	0,760	0,034
Prof	0,391	1,811	0,153	-0,251	1,172	0,063	0,437	4,223	0,191
Temp	-0,058	0,040	0,003	0,297	1,641	0,088	-0,089	0,175	0,008

Sal		0,591	4,144	0,350		0,139	0,358	0,019		0,016	0,005	0,000	
OD		-0,208	0,512	0,043		-0,284	1,492	0,080		-0,165	0,606	0,027	
pH		0,176	0,367	0,031		-0,213	0,839	0,045		-0,037	0,030	0,001	
N		0,699	5,798	0,489		-0,019	0,007	0,000		-0,164	0,596	0,027	
CaCO3		-0,168	0,333	0,028		0,359	2,390	0,129		-0,236	1,235	0,056	
C		0,713	6,018	0,508		-0,390	2,819	0,152		-0,041	0,037	0,002	
Areia		-0,259	0,794	0,067		0,358	2,373	0,128		-0,403	3,594	0,162	
Silte		0,481	2,739	0,231		-0,374	2,593	0,140		0,259	1,489	0,067	
Argila		-0,075	0,066	0,006		-0,229	0,975	0,053		0,444	4,354	0,197	

APÊNDICE H – Correlação de Spearman, das variáveis bióticas e abióticas da tantocenose.

Aglo		Aince		Bpseu		Cpark	
Min.	:-0,2017	Min.	:-0,29855	Min.	:-0,260637	Min.	:-0,36149
1st Qu.:	-0,1141	1st Qu.:	-0,09069	1st Qu.:	-0,007143	1st Qu.:	-0,02684
Median :	0,1377	Median :	0,07322	Median :	0,114598	Median :	0,12971
Mean :	0,1953	Mean :	0,08474	Mean :	0,195690	Mean :	0,19843
3rd Qu.:	0,4323	3rd Qu.:	0,23993	3rd Qu.:	0,416356	3rd Qu.:	0,42237
Max. :	1,0000	Max. :	1,00000	Max. :	1,000000	Max. :	1,00000
Cwue		Cjef		Carc		Egg	
Min.	:-0,33986	Min.	:-0,41331	Min.	:-0,451923	Min.	:-0,289324
1st Qu.:	-0,11027	1st Qu.:	-0,08151	1st Qu.:	-0,229846	1st Qu.:	-0,140193
Median :	0,06302	Median :	0,04853	Median :	-0,034667	Median :	-0,109490
Mean :	0,08988	Mean :	0,07958	Mean :	-0,001991	Mean :	0,007048
3rd Qu.:	0,24934	3rd Qu.:	0,19845	3rd Qu.:	0,103853	3rd Qu.:	0,030950
Max. :	1,00000	Max. :	1,00000	Max. :	1,000000	Max. :	1,000000
Enit		Eadv		Eexi		Frig	
Min.	:-0,247589	Min.	:-0,26630	Min.	:-0,33539	Min.	:-0,42167
1st Qu.:	-0,002831	1st Qu.:	-0,05295	1st Qu.:	-0,14453	1st Qu.:	-0,12102
Median :	0,182741	Median :	0,14582	Median :	0,02251	Median :	0,05877
Mean :	0,224709	Mean :	0,15406	Mean :	0,03349	Mean :	0,07069
3rd Qu.:	0,410919	3rd Qu.:	0,32444	3rd Qu.:	0,14978	3rd Qu.:	0,19760
Max. :	1,000000	Max. :	1,00000	Max. :	1,00000	Max. :	1,00000
Gbio		Gsub		Glom		Hipo	
Min.	:-0,55555	Min.	:-0,25170	Min.	:-0,33154	Min.	:-0,50437
1st Qu.:	-0,17598	1st Qu.:	-0,05107	1st Qu.:	-0,08917	1st Qu.:	-0,15695
Median :	-0,04377	Median :	0,06482	Median :	0,09651	Median :	-0,07381
Mean :	0,01574	Mean :	0,10897	Mean :	0,19466	Mean :	0,02142

3rd Qu.: 0,19710	3rd Qu.: 0,24934	3rd Qu.: 0,45597	3rd Qu.: 0,18313
Max. : 1,00000	Max. : 1,00000	Max. : 1,00000	Max. : 1,00000

Lagen	Llep	Lcat	Mare
Min. :-0,371407	Min. :-0,3065	Min. :-0,46522	Min. :-0,28871
1st Qu.: -0,158393	1st Qu.: -0,0552	1st Qu.: -0,12188	1st Qu.: -0,14823
Median :-0,086744	Median : 0,2204	Median : 0,01757	Median :-0,03743
Mean : 0,007821	Mean : 0,1682	Mean : 0,03542	Mean : 0,01523
3rd Qu.: 0,109093	3rd Qu.: 0,3387	3rd Qu.: 0,19265	3rd Qu.: 0,09757
Max. : 1,000000	Max. : 1,0000	Max. : 1,00000	Max. : 1,00000
Ndent	Noni	Ooli	Port
Min. :-0,3650	Min. :-0,32329	Min. :-0,37395	Min. :-0,46668
1st Qu.: -0,1184	1st Qu.: -0,06316	1st Qu.: -0,16861	1st Qu.: -0,12576
Median : 0,1188	Median : 0,08137	Median :-0,05909	Median :-0,04932
Mean : 0,1681	Mean : 0,10895	Mean : 0,01928	Mean : 0,06331
3rd Qu.: 0,4109	3rd Qu.: 0,27188	3rd Qu.: 0,16806	3rd Qu.: 0,30971
Max. : 1,0000	Max. : 1,00000	Max. : 1,00000	Max. : 1,00000
Pfusc	Pseu	Quin	Rreg
Min. :-0,36823	Min. :-0,49537	Min. :-0,308618	Min. :-0,49960
1st Qu.: -0,23034	1st Qu.: -0,07088	1st Qu.: -0,147211	1st Qu.: -0,14780
Median :-0,12393	Median : 0,12854	Median :-0,056755	Median :-0,02828
Mean :-0,04956	Mean : 0,13502	Mean : 0,008315	Mean : 0,04083
3rd Qu.: 0,03675	3rd Qu.: 0,38165	3rd Qu.: 0,052538	3rd Qu.: 0,23006
Max. : 1,00000	Max. : 1,00000	Max. : 1,000000	Max. : 1,00000
Rscor	Rhab	Sacca	Sbif
Min. :-0,29294	Min. :-0,275316	Min. :-0,31311	Min. :-0,555552
1st Qu.: -0,03467	1st Qu.: -0,078294	1st Qu.: -0,06020	1st Qu.: -0,229285
Median : 0,10500	Median :-0,006406	Median : 0,01517	Median :-0,082238
Mean : 0,16985	Mean : 0,029560	Mean : 0,07757	Mean :-0,008455
3rd Qu.: 0,37135	3rd Qu.: 0,096515	3rd Qu.: 0,24208	3rd Qu.: 0,136201
Max. : 1,00000	Max. : 1,000000	Max. : 1,00000	Max. : 1,000000
Text	Trif	Prof	Temp
Min. :-0,273159	Min. :-0,17927	Min. :-0,59287	Min. :-0,592868
1st Qu.: -0,109929	1st Qu.: 0,02651	1st Qu.: -0,16711	1st Qu.: -0,090783
Median :-0,002831	Median : 0,14404	Median : 0,08169	Median : 0,006953
Mean : 0,090887	Mean : 0,20486	Mean : 0,04415	Mean : 0,053479
3rd Qu.: 0,169706	3rd Qu.: 0,36674	3rd Qu.: 0,19594	3rd Qu.: 0,183132
Max. : 1,000000	Max. : 1,00000	Max. : 1,00000	Max. : 1,000000
Sal	OD	pH	N
Min. :-0,43709	Min. :-0,437091	Min. :-0,39630	Min. :-0,3741
1st Qu.: -0,09523	1st Qu.: -0,173867	1st Qu.: -0,07381	1st Qu.: -0,1015
Median : 0,07068	Median :-0,031057	Median : 0,03888	Median : 0,1080

Mean : 0,10000	Mean : -0,007899	Mean : 0,03597	Mean : 0,1337
3rd Qu.: 0,32865	3rd Qu.: 0,127052	3rd Qu.: 0,11265	3rd Qu.: 0,3772
Max. : 1,00000	Max. : 1,000000	Max. : 1,00000	Max. : 1,0000

CaCO ₃	C	Areia	Silte
Min. : -0,29855	Min. : -0,50437	Min. : -0,87639	Min. : -0,87639
1st Qu.: -0,09242	1st Qu.: -0,15939	1st Qu.: -0,21470	1st Qu.: -0,09242
Median : -0,02243	Median : 0,05816	Median : -0,08987	Median : 0,10819
Mean : 0,06924	Mean : 0,08213	Mean : -0,06865	Mean : 0,08320
3rd Qu.: 0,12906	3rd Qu.: 0,33181	3rd Qu.: 0,10170	3rd Qu.: 0,23620
Max. : 1,00000	Max. : 1,00000	Max. : 1,00000	Max. : 1,00000

Argila

Min. : -0,83439
1st Qu.: -0,13555
Median : 0,05413
Mean : 0,03092
3rd Qu.: 0,17405
Max. : 1,00000