UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Foraminíferos e Geoquímica sedimentar em regiões com atividade
hidrotermal na Antártida: Deception e Three Sisters**

VALÉRIA TERENCE

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

SÃO PAULO
2019

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.

Serviço de Biblioteca e Documentação do IGc/USP

Ficha catalográfica gerada automaticamente com dados fornecidos pelo(a) autor(a)
via programa desenvolvido pela Seção Técnica de Informática do ICMC/USP

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de catalogação da publicação:
Sonia Regina Yole Guerra - CRB-8/4208 | Anderson de Santana - CRB-8/6658

Terence, Valeria

Foraminíferos e Geoquímica Sedimentar em Regiões
com Atividade Hidrotermal na Antártida: Deception e
Three Sisters / Valeria Terence; orientador
Setembrino Petri . -- São Paulo, 2019.
238 p.

Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em
Geoquímica e Geotectônica) -- Instituto de
Geociências, Universidade de São Paulo, 2019.

1. Antártida. 2. Foraminíferos. 3.
Hidrotermalismo. 4. Geoquímica. 5. Deception Island.
I. , Setembrino Petri, orient. II. Título.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Foraminíferos e geoquímica sedimentar em regiões com atividade
hidrotermal na Antártida: Deception e Three Sisters**

VALÉRIA TERENCE

Orientador: Prof. Dr. Setembrino Petri

Tese de Doutorado

Nº 596

COMISSÃO JULGADORA

Dr. Setembrino Petri

Dr. Cristiano Mazur Chiessi

Dra. Silvia Helena de Mello e Sousa

Dra. Catia Fernandes Barbosa

Dra. Vivian Helena Pellizari

SÃO PAULO
2019

AGRADECIMENTOS

Ao querido Prof. Setembrino Petri, referência científica e de lisura pessoal para várias gerações, a orientação precisa em vários pontos deste trabalho. Sinto-me verdadeiramente honrada por fazer parte de sua grande família científica.

À Profa. Wânia Duleba, por ter cedido todas as amostras que serviram de base para este trabalho, por compartilhar os resultados das análises geoquímicas e granulométricas, da campanha de 2012-2013; pela viabilização das análises geoquímicas, da campanha de 2013-2014, e imagens no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

À Profa. Márcia Rizzuto, do Instituto de Física, pela disposição em auxiliar com as análises geoquímicas.

Ao Prof. Giannini, por autorizar a utilização do LabSed para a realização das análises granulométricas da campanha de 2013-2014. Agradeço, também, pelas discussões sobre Sedimentologia.

Aos amigos do Laboratório de Micropaleontologia, Vanda, Rudney, Jen, Martin, Maicon, Cynthia, Júnior, pela companhia, nos dias intermináveis de contagem de foraminíferos.

Ao Rudney Santos pela ajuda na montagem de lâminas de diatomáceas, pelas conversas e pela disposição em ajudar.

À Vanda Medeiros, pelo auxílio no processamento das diatomáceas e por não medir esforços para ajudar, sempre.

À Isabel Cortez Chistiano de Souza agradeço as caronas, a companhia e as conversas divertidas.

Ao amigo Isaac Sayeg, por ajudar com as imagens do MEV.

Ao Paulo Eduardo de Oliveira, pelas discussões científicas e pelas conversas na hora do almoço.

Ao Jorge Pinaya pelas discussões sobre a parte estatística.

À Camila Passos Cunha, por ajudar com as *Trochamminas*.

À Samantha Faustino, pelas dicas e disposição em ajudar, com as diatomáceas.

Ao Cleber Diniz, por ajudar com as imagens de diatomáceas.

À Elaine Sinfroni por auxiliar com a pipetagem das análises granulométricas.

Aos meus amores, Alberto e Olívia, por tudo.

Agradeço, também, à CAPES- O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

AUTORIZAÇÕES

Todas as autorizações necessárias para o estudo de campo (WD) foram aprovadas pelo grupo de avaliação Ambiental (GAAm) do Ministério do Meio Ambiente (MMA) (PROANTAR-CNPq Proc.55036/2009-7), seguindo as diretrizes do Protocolo do Tratado da Antártica para Proteção ao Meio Ambiente.

RESUMO

O presente trabalho foi realizado em duas áreas situadas no Estreito de Bransfield, Antártida. A primeira, a Ilha Deception, sul das ilhas Shetland do Sul, é um vulcão ativo, cuja última erupção foi registrada no ano de 1970, e que está sob constante atividade hidrotermal. A segunda área, Three Sisters, é um monte de origem vulcânica onde foi detectada atividade hidrotermal por meio de anomalias composicionais na coluna d'água, porém não se sabe se esses eventos são contínuos ou efêmeros. As regiões com atividade hidrotermal oferecem condições ambientais únicas, que favorecem o surgimento de *habitats* com características químicas e físicas ímpares e extremas, e resposta imediata da fauna. A capacidade dos foraminíferos em adaptar-se prontamente, a mudanças ocasionadas por variação de fatores ambientais, e recolonizar o ambiente após mudanças bruscas e catastróficas, são de grande importância para o entendimento das condições ecológicas tanto atuais como pretéritas. Dentro desse contexto, realizou-se estudo granulométrico e geoquímico dos sedimentos, por ICP-MS em Deception e ICP-OES em Three Sisters, para averiguar se há indícios de atividade hidrotermal. As espécies de foraminíferos foram identificadas e correlacionadas com a composição geoquímica e textura dos sedimentos, bem como com os parâmetros físico-químicos da interface água-sedimento, com o uso de abordagens estatísticas. Foi realizada contagem de diatomáceas para estimar a produtividade em Deception. Os resultados, em Three Sisters, permitiram concluir que a sedimentação é lenta e contínua, com sedimentos nas frações silte e argila e escasso aporte de nutrientes. As análises geoquímicas dos sedimentos, mostram anomalias positivas de Mn, Pb, P, Sr e As, indicativas de atividade hidrotermal. As densidades de testas de foraminíferos são baixas e as riquezas, relativamente, altas, e algumas espécies apresentam correlação positiva com os metais relacionados ao hidrotermalismo. O predomínio de espécies aglutinantes poderia indicar profundidade de compensação de carbonatos rasa. A sedimentação, em Deception, apresentou padrões sazonais, ligados aos períodos de degelo e *runoff* na ilha; a dinâmica sedimentar em Deception faz variar, também as características físico-químicas da interface água-sedimento. O aporte de nutrientes é mais intenso no verão austral e condicionado pelo degelo, mas também ocorre a partir dos micronutrientes presentes nos sedimentos e disponibilizados por emissões hidrotermais. Metais como As, Ba, Mn e Mo apresentaram anomalias positivas bastante significativas e confirmaram a atividade hidrotermal na área. As altas densidades de testas de foraminíferos e riquezas baixas, são relacionadas ao alto aporte de nutrientes e às mudanças ambientais sazonais bruscas. As espécies aglutinantes predominam em alguns pontos amostrais, indicando variáveis ambientais e disponibilidade de alimento abaixo ou acima dos níveis críticos para esses organismos; algumas das espécies de foraminíferos foram correlacionadas positivamente com elementos com provável origem hidrotermal. Esses resultados fornecem informações inéditas sobre a composição geoquímica dos sedimentos, em Three Sisters, relacionada a eventos hidrotermais e sua relação com as espécies de foraminíferos. Em Deception, foram detectadas emissões de altas temperaturas em *Whaler's Bay*, sudeste da ilha; relacionaram-se espécies de foraminíferos à composição sedimentar.

ABSTRACT

This work was carried out in two areas located in the Bransfield Strait, Antarctica. The first one, Deception Island, south of the South Shetland Islands, is an active volcano, under constant hydrothermal activity, whose last eruption was recorded in 1970. The second area, Three Sisters, is a volcanic edifice where hydrothermal activity has been detected by means of compositional anomalies in the water column, but it is not known yet if such activity is continuous or ephemeral. The regions with hydrothermal activity offer unique environmental conditions favoring the emergence of habitats with extreme and changing chemical and physical characteristics, with an immediate fauna response. The ability of foraminifera to adapt promptly and to recolonize the environment after sudden and catastrophic changes is of great importance for the understanding of current and previous ecological conditions. In this context, textural and geochemical analysis of the sediments were performed, by means of ICP-MS in Deception and ICP-OES in Three Sisters, to check for evidences of hydrothermal activity. The foraminiferal species were identified and statistically correlated with the geochemical composition and texture of sediments, and with the physical-chemical parameters of the water-sediment interface as well. Diatoms counting were performed to estimate Deception productivity. The results, in the Three Sisters are, allow us to conclude that sedimentation is slow and continuous, with sediments in the silt and clay fractions and little contribution of nutrients. The geochemical analysis of the sediments indicate positive anomalies of Mn, Pb, P, Sr and As, suggesting hydrothermal activity. The densities of the foraminifera are low and the richness relatively high, with some species presenting a positive correlation with the metals related to the hydrothermalism. The predominance of agglutinated species could indicate shallow depth of carbonate compensation. The sedimentation, in the Deception area, presents seasonal patterns, related to inputs of freshwater from melting sea ice and glaciers in the island; the sedimentary dynamics force a variation in the physical-chemical characteristics of the water-sediment interface. The nutrient intake is more intense in the austral summer and conditioned by the melting ice, but also occurs from the micronutrients present in the sediments released by hydrothermal emissions. Metals such as As, Ba, Mn and Mo showed quite significant positive anomalies and corroborate the hydrothermal activity in the area. The high densities of foraminifera and low richness are related to the high nutrient intake and abrupt seasonal environmental changes. The agglutinated species predominate in some sample points, indicating environmental variables and/or food availability below or above critical levels for these organisms; some of the foraminifera species were positively correlated with elements of probable hydrothermal origin. Our results provide unprecedented information for both areas. For Three Sisters, we establish a relation between the geochemical composition of sediments and hydrothermal events with their implications to foraminifera species. In Deception, high-temperature emissions were detected at Khrooner Lake, southeast of the island, with species of foraminifera correlated to sedimentary composition.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO.....	III
1 ESTRUTURA DA TESE	1
2 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA DO DESENVOLVIMENTO DA TESE.....	3
2.1 Objetivos.....	5
2.1.1 Objetivo principal	5
2.1.2 Objetivos específicos	5
3 ÁREA DE ESTUDO	7
3.1 Localização	7
3.2 Geologia do Estreito de Bransfield.....	7
3.2.1 Contexto Geológico	7
3.2.2 Evolução tectônica da área	8
3.3 Fisiografia e Geomorfologia do Estreito de Bransfield	9
3.3.1 Three Sisters: fisiografia e geomorfologia	12
3.3.2 Deception: fisiografia e geomorfologia	14
3.3.3 Deception: atividade vulcânica	15
3.3.4 Deception: Composição das rochas e sedimentos.....	16
3.4 Oceanografia Física	17
3.5 Características Climáticas	18
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
4.1 Atividade hidrotermal nos oceanos.....	21
4.1.1 Reações em sistemas hidrotermais de alta temperatura.....	22
4.1.2 Reações em sistemas hidrotermais de baixas temperaturas.....	23
4.2 Evidências de atividade hidrotermal no Estreito de Bransfield.....	23
4.3 Metais nos sedimentos - Mobilização e biodisponibilidade	25
4.4 Microbiota-Foraminíferos	27
4.4.1 Foraminíferos como indicadores de níveis de oxigênio dissolvido.....	30

4.4.2	Foraminíferos em altas latitudes	31
4.4.2.1	<i>Associações bentônicas e alterações da composição e estrutura da microbiota em regiões de vulcanismo/ hidrotermalismo.</i>	32
5	MATERIAIS E MÉTODOS	35
5.1	Atividades de Campo	35
5.2	Análise sedimentológica	42
5.2.1	Granulometria	42
5.2.2	Teores de CaCO₃	43
5.2.3	Análise da composição geoquímica dos sedimentos	44
5.2.3.1	<i>Análise por ICP-MS</i>	44
5.2.3.2	<i>Análise por ICP-OES</i>	44
5.2.3.3	<i>Interpretação dos resultados</i>	45
5.3	Análises da biota-foraminíferos e diatomáceas	46
5.3.1	Foraminíferos	46
5.3.2	Diatomáceas	49
5.4	Análises estatísticas	49
5.4.1	Análise de Componentes Principais (PCA)	49
5.4.2	Análise multivariada por agrupamento	50
5.4.3	Correlações simples	50
5.4.4	Análise de Correspondência Canônica	50
6	RESULTADOS	51
6.1	Three Sisters	51
6.1.1	Three Sisters A-3SisA	51
6.1.1.1	<i>Granulometria-Exame geral das estatísticas de distribuição diâmetro médio</i>	51
6.1.1.2	<i>Teores de CaCO₃</i>	52
6.1.1.3	<i>Análise microfaunística- foraminíferos</i>	52
6.1.1.3.1	<i>Índices ecológicos: densidade, riqueza, Shannon, Pielou e Simpson.</i>	54
6.1.1.3.2	<i>Espécies aglutinantes X espécies calcárias</i>	55
6.1.1.3.3	<i>Espécies calcárias indicadoras de níveis de oxigenação</i>	56
6.1.1.3.4	<i>Espécies segundo seu tipo de habitat</i>	57

6.1.1.4	<i>Análises geoquímicas dos sedimentos do testemunho 3SisA</i>	58
6.1.2	Three Sisters B-3SisB	58
6.1.2.1	<i>Granulometria-Exame geral das estatísticas de distribuição</i>	58
6.1.2.2	<i>Teores de CaCO₃</i>	59
6.1.2.3	<i>Análise microfaunística- foraminíferos</i>	60
6.1.2.3.1	<i>Índices ecológicos: densidade, riqueza, Shannon, Pielou e Simpson.</i>	62
6.1.2.3.2	<i>Espécies aglutinantes X espécies calcárias</i>	63
6.1.2.3.3	<i>Espécies calcárias indicadoras de níveis de oxigenação</i>	65
6.1.2.3.4	<i>Espécies segundo seu tipo de habitat</i>	66
6.1.2.4	<i>Análises geoquímicas dos sedimentos do testemunho 3SisB</i>	67
6.2	Deception	67
6.2.1	Amostras de sedimentos de superfície em Fumarole Bay-FB01, FB02, FB03, FB04, FB05, FB06 Rec, FB07 Rec, FB08 e FB09	67
6.2.1.1	<i>Granulometria-Exame geral das estatísticas de distribuição</i>	67
6.2.1.2	<i>Teores de CaCO₃</i>	68
6.2.1.3	<i>Análise microfaunística-foraminíferos</i>	68
6.2.1.3.1	<i>Índices ecológicos: densidade, riqueza, Shannon, Pielou e Simpson.</i>	69
6.2.1.3.2	<i>Espécies aglutinantes X espécies calcárias</i>	70
6.2.1.3.3	<i>Espécies calcárias indicadoras de níveis de oxigenação</i>	71
6.2.1.3.4	<i>Espécies segundo seu tipo de habitat</i>	71
6.2.1.4	<i>Análises geoquímicas dos sedimentos, das amostras de superfície, em Fumarole Bay</i>	72
6.2.2	Fumarole Bay-FB06	72
6.2.2.1	<i>Granulometria-Exame geral das estatísticas de distribuição.</i>	72
6.2.2.2	<i>Teores de CaCO₃</i>	73
6.2.2.3	<i>Análise microfaunística- foraminíferos</i>	73
6.2.2.3.1	<i>Índices ecológicos: densidade, riqueza, Shannon, Pielou e Simpson.</i>	74
6.2.2.3.2	<i>Espécies aglutinantes X espécies calcárias</i>	76
6.2.2.3.3	<i>Espécies calcárias indicadoras de níveis de oxigenação</i>	77
6.2.2.3.4	<i>Espécies segundo seu tipo de habitat</i>	78

6.2.2.4	<i>Análises geoquímicas dos sedimentos das amostras de superfície, em FB06</i>	79
6.2.2.5	<i>Contagem de diatomáceas do testemunho FB06</i>	79
6.2.3	Fumarole Bay-FB07	80
6.2.3.1	<i>Granulometria-Exame geral das estatísticas de distribuição</i>	80
6.2.3.2	<i>Teores de CaCO₃</i>	80
6.2.3.3	<i>Análise microfaunística- foraminíferos</i>	81
6.2.3.3.1	<i>Índices ecológicos: densidade, riqueza, Shannon, Pielou e Simpson.</i>	82
6.2.3.3.2	<i>Espécies aglutinantes X espécies calcárias</i>	83
6.2.3.3.3	<i>Espécies calcárias indicadoras de níveis de oxigenação</i>	84
6.2.3.3.4	<i>Espécies segundo seu tipo de habitat</i>	85
6.2.3.4	<i>Análises geoquímicas dos sedimentos das amostras de superfície, em FB07 Bay</i>	86
6.2.3.5	<i>Contagem de diatomáceas do testemunho FB07</i>	86
6.2.4	Fumarole Bay-FB2014	86
6.2.4.1	<i>Granulometria-Exame geral das estatísticas de distribuição</i>	87
6.2.4.2	<i>Teores de CaCO₃</i>	87
6.2.4.3	<i>Análise microfaunística- foraminíferos</i>	88
6.2.4.3.1	<i>Índices ecológicos: densidade, riqueza, Shannon, Pielou e Simpson.</i>	89
6.2.4.3.2	<i>Espécies aglutinantes X espécies calcárias</i>	90
6.2.4.3.3	<i>Espécies calcárias indicadoras de níveis de oxigenação</i>	91
6.2.4.3.4	<i>Espécies segundo seu tipo de habitat</i>	92
6.2.5	Whalers Bay-WB01	93
6.2.5.1	<i>Granulometria-Exame geral das estatísticas de distribuição</i>	94
6.2.5.2	<i>Teores de CaCO₃</i>	94
6.2.5.3	<i>Análise microfaunística- foraminíferos</i>	95
6.2.5.3.1	<i>Índices ecológicos: densidade, riqueza, Shannon, Pielou e Simpson.</i>	96
6.2.5.3.2	<i>Espécies aglutinantes X espécies calcárias</i>	98
6.2.5.3.3	<i>Espécies calcárias indicadoras de níveis de oxigenação</i>	98
6.2.5.3.4	<i>Espécies segundo seu tipo de habitat</i>	99

6.2.5.4	<i>Análises geoquímicas dos sedimentos das amostras de superfície, em WB01</i>	100
6.2.5.5	<i>Contagem de diatomáceas do testemunho WB01</i>	100
6.2.6	Whalers Bay- WB02	101
6.2.6.1	<i>Granulometria-Exame geral das estatísticas de distribuição</i>	101
6.2.6.2	<i>Teores de CaCO₃</i>	102
6.2.6.3	<i>Análise microfaunística- foraminíferos</i>	102
6.2.6.3.1	<i>Índices ecológicos: densidade, riqueza, Shannon, Pielou e Simpson.</i>	103
6.2.6.3.2	<i>Espécies aglutinantes X espécies calcárias</i>	105
6.2.6.3.3	<i>Espécies calcárias indicadoras de níveis de oxigenação</i>	105
6.2.6.3.4	<i>Espécies segundo seu tipo de habitat</i>	106
6.2.6.4	<i>Análises geoquímicas dos sedimentos das amostras de superfície, em WB02</i>	108
6.2.6.5	<i>Contagem de diatomáceas do testemunho WB02</i>	108
6.2.7	Amostras de superfície	108
6.2.7.1	<i>Granulometria-Exame geral das estatísticas de distribuição.</i>	108
6.2.7.2	<i>Teores de CaCO₃</i>	109
6.2.7.3	<i>Análise microfaunística- foraminíferos</i>	109
6.2.7.3.1	<i>Índices ecológicos: densidade, riqueza, Shannon, Pielou e Simpson.</i>	109
6.2.7.3.2	<i>Espécies aglutinantes X espécies calcárias</i>	110
6.2.7.3.3	<i>Espécies calcárias indicadoras de níveis de oxigenação</i>	110
6.2.7.3.4	<i>Espécies segundo seu tipo de habitat</i>	110
6.2.7.4	<i>Análises geoquímicas dos sedimentos das amostras de superfície, em WB05</i>	110
7	HIDROTHERMALISMO EM DECEPTION-VARIAÇÕES DE COMPOSIÇÃO E TEMPERATURA, E FAUNA ASSOCIADA	111
8	ANÁLISE DAS ASSOCIAÇÕES DE FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS E COMPOSIÇÃO GEOQUÍMICA E TEXTURAL, DOS SEDIMENTOS, EM THREE SISTERS	169
9	CONCLUSÕES	213

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	217
APÊNDICES.....	246

1 ESTRUTURA DA TESE

O capítulo 2 é a Introdução da tese, no qual são apresentados ao leitor: área de estudo (Deception e Three Sisters), tema e contexto geral do trabalho. Ainda nesse capítulo, os objetivos específicos e gerais da tese são expostos detalhadamente já que, por se tratar de um trabalho multi e interdisciplinar (Geoquímica, Biologia, Sedimentologia, Geomorfologia, Sedimentologia, Evolução tectônica, Oceanografia física e clima), a grande quantidade de aspectos analisados, dados e resultados necessita de uma apresentação mais sistematizada. Esse capítulo, auxiliará o leitor no acompanhamento e entendimento de todo o seguimento de realização do trabalho, no decorrer do período desse doutorado.

O capítulo três inclui a localização da área de estudo, contexto geológico e evolução tectônica da área, mais detalhadamente a Ilha Deception. Ademais, a fisiografia e geomorfologia são abordadas nesse capítulo, dando ênfase, novamente, à relação entre a forma e os processos vulcânicos em Deception. Ainda nesse capítulo, são apresentados aspectos da oceanografia física e climáticos.

Uma breve revisão bibliográfica, dos vários aspectos abordados nesta tese, é feita no capítulo quatro. São descritos tanto os aspectos mais gerais como também resultados, obtidos por vários autores, que tratam dos principais processos relacionados ao hidrotermalismo e dos registros de atividade hidrotermal na área de estudo. O capítulo traz, também, os aspectos mais importantes da meio fauna aqui estudada (foraminíferos) e apresenta resultados de trabalhos anteriores sobre foraminíferos. Ademais, é apresentada a caracterização textural e geoquímica dos sedimentos na área.

No capítulo cinco, são descritos os métodos utilizados em cada etapa desta pesquisa, desde a obtenção das amostras, passando pelos métodos de laboratório, triagem de testas e montagem de lâminas, análises geoquímicas, até as abordagens estatísticas utilizadas para a obtenção dos resultados.

Os resultados relativos às duas áreas são apresentados em três capítulos distintos. No capítulo seis, devido à grande quantidade de dados obtidos (no total são sete testemunhos e 10 estações com amostras de superfície), optou-se por apresentar os resultados de cada testemunho, separadamente, incluindo as tabelas com valores calculados e gráficos de variação de cada item analisado. As discussões sobre Deception estão na sub-seção quatro do capítulo sete e as relativas a Three Sisters estão na sub-seção quatro do capítulo oito.

O capítulo sete compõe-se do artigo, em fase de preparação, relacionado à ilha Deception. As referências bibliográficas utilizadas para esse capítulo estão na página 158.

O capítulo oito é o artigo, em preparação, sobre a área de Three Sisters. As referências bibliográficas referentes a esse capítulo estão na página 199.

O capítulo nove traz a comparação entre as características das duas áreas e as conclusões obtidas neste trabalho.

Os anexos, são apresentados após capítulo de Conclusões. Essa parte está composta por: referências bibliográficas utilizadas nos capítulos de 2 a 6, imagens das testas, realizadas em MEV; tabelas de análise textural dos sedimentos; tabelas com granulometria e teores de CaCO_3 ; tabelas com análises geoquímicas dos sedimentos; medidas de parâmetros físico-químicos; tabelas com as contagens das testas de foraminíferos e índices ecológicos.

2 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA DO DESENVOLVIMENTO DA TESE

A atividade hidrotermal é gerada por processos geológicos, envolvidos na formação de crosta oceânica, nos centros de expansão, em rifts de bacias de retro-arco e em áreas com vulcanismo (Horst *et al.*, 2011). Nos fundos oceânicos, a circulação hidrotermal ocorre quando a água do mar, percolando pelo fundo oceânico, é aquecida, reage com a crosta, e ascende novamente à interface rocha-água oceânica, devido à menor densidade. Essa emissão, a partir do assoalho oceânico pode ocorrer sob a forma de gás e/ou líquido.

As regiões com atividade hidrotermal oferecem condições ambientais ímpares, o que favorece o surgimento de *habitats* com características, químicas e físicas, bastante diversas e extremas. Apresentam, também, amplo gradiente, dessas características, ligado diretamente à ciclicidade dos processos que ocorrem nesses sistemas.

Devido ao isolamento relativo dos campos hidrotermais, da Antártida, de outros sistemas hidrotermais, e também, da proximidade com uma região de espalhamento do assoalho oceânico, sua ocorrência tem implicações importantes na distribuição e evolução da fauna associada a *vents* (Aquilina *et al.*, 2013). A circulação hidrotermal na crosta oceânica jovem leva a significativo enriquecimento, do fundo marinho, em metais, além de dar suporte a uma fauna única e diversa (Aquilina *et al.*, 2013).

Os *vents* hidrotermais, do assoalho oceânico, abrigam ecossistemas com imensa biomassa e produtividade, se comparadas a qualquer outro ambiente no fundo do oceano (Zierenberg *et al.*, 2000). A biomassa da fauna relacionada aos sistemas hidrotermais alcança, por vezes, valores entre 500 a 1000 vezes maior, que os observados em áreas adjacentes (Sarrazin & Juniper, 1999). Sua densidade e diversidade relacionam-se diretamente à taxa de expansão do fundo marinho local (Juniper & Tunnicliffe, 1997).

Por serem essas áreas bastante dinâmicas, tectonicamente, ocorrem mudanças ambientais rápidas, muitas vezes cíclicas, e resposta imediata da fauna. Sabendo-se da capacidade dos foraminíferos em adaptar-se prontamente, a mudanças ocasionadas pela variação de diversos fatores (salinidade, pH, turbidez, temperatura, composição geoquímica da água do mar, oferta de alimento) e do fato das suas associações se recuperarem, após mudanças catastróficas, e recolonizar o meio-ambiente (Finger & Lipps, 1981), estes organismos tornam-se de grande importância para o entendimento das condições ecológicas atuais da área nas quais se situam (Osterman & Kellogg, 1979).

A descoberta de sistemas hidrotermais, em fundos marinhos, é relativamente recente. Desde os primeiros registros, no Mar Vermelho (Swallow & Crease, 1965; Miller *et al.*, 1966) e no

Pacífico (Arrhenius & Bonatti, 1965; Bostrom & Peterson, 1966), estas pesquisas avançaram rapidamente com uma sequência de descobertas (Rona *et al.*, 1993). Atualmente, mais de 500 campos de *vents* hidrotermais são conhecidos em todo o mundo, nas mais diversas latitudes (Beaulieu, 2013). Pouco mais da metade dessas áreas ocorre nas cordilheiras meso-oceânicas, um quarto nos arcos vulcânicos, 21% em bacias de retro-arco e o restante, em outros limites intraplaca (Beaulieu *et al.*, 2013).

Várias abordagens foram utilizadas em pesquisas relacionadas a áreas sujeitas à processos hidrotermais. Logo após as primeiras descobertas, Corlis *et al.*, (1979) localizaram *vents* de baixas temperaturas e estudaram as comunidades associadas. Seguidamente foram descobertos fumarolas negras (*black-smokers*) e sulfetos polimetálicos no Pacífico (Francheteau *et al.*, 1978; Spiess *et al.* 1980). Evidências de atividade hidrotermal, no sul da Antártica, também têm sido observadas há vários anos, a partir, principalmente de anomalias químicas detectadas na coluna d'água (Klinkhammer *et al.*, 2001).

Dentre as pesquisas realizadas, em campos hidrotermais de regiões marinhas rasas e mais profundas na Antártida Ocidental, sobre a meiofauna, grande parte está concentrada na região de *Deception Island* (Gallardo, 1968; Gallardo 1970; Finger, 1975; Finger & Lipps, 1981; Gray *et al.*, 2003). Sob outro enfoque, analisando a atividade tectônica, na região, existem os trabalhos de Kowalewski *et al.*, (1990), Birkenmajer (1992a), Martí *et al.* (1996), Birkenmajer, (1992b), Correig *et al.* (1997). Sobre geomorfologia e sedimentação podem ser citados Finger (1976), Martí & Baraldo (1990), Inbar (1995), Cooper *et al.* (1998), Pallàs *et al.* (2001), Lenn *et al.* (2003). Ainda em *Deception*, Somoza *et al.* (2004) observam evidências de hidrotermalismo e Paredes (2002) descreve o sistema de fraturas além de Shultz (1972), Smellie (1988), Peccerillo *et al.* (1991), Rey *et al.* (1997), Ibañez *et al.* (2000), Smellie (2001), Dykes, Ibañez *et al.* (2003), que tratam do vulcanismo e hidrotermalismo. Ainda em *Deception*, Smith *et al.* (2003) observaram a sazonalidade climática, a partir de monitoramento fotográfico.

No segundo caso, em regiões mais profundas situadas no Estreito de Bransfield, destacam-se os trabalhos de Bohrmann *et al.* (1999), Aquilina *et al.* (2013) e Suess *et al.* (2007), Lawver *et al.* (1995). Schlosser *et al.* (1988), Keller *et al.* (1988) Lawer *et al.* (1995), Whiticar *et al.* (1990), Lawer *et al.* (1996), Whiticar *et al.* (1985) que estudaram indicadores geoquímicos e visuais do hidrotermalismo, além de Klinkhammer *et al.* (2001) e Dählmann *et al.* (2001) que localizam *vents* hidrotermais no Estreito de Bransfield. Indicações de atividade hidrotermal também foram observadas nas bacias central e leste, além de duas áreas com *vents*, em Hook Ridge e Three Sisters, por Klinkhammer *et al.* (1995), Klinkhammer *et al.* (1996), Chin *et al.* (1996), Lawer *et al.* (1996).

No entanto, apesar de existirem muitos estudos anteriores, que abordam vários aspectos dessas áreas, principalmente em Deception, a maioria deles faz abordagens de um ou poucos aspectos da área. Com este trabalho pretende-se realizar uma abordagem *multiproxies* e comparativa das duas áreas, que são ambientes relativamente próximos, espacialmente, mas que guardam características bastante distintas. A integração dos resultados, dos vários tipos de análises realizadas, oferecerá uma visão do panorama ecológico das duas áreas, da estrutura das associações de foraminíferos que ali se desenvolvem, além de uma estimativa da sedimentação na Ilha Deception e uma visão da influência da atividade hidrotermal nos pontos onde ela ocorre.

O presente trabalho está inserido em uma pesquisa mais ampla, coordenada pelo Prof. Dr. Antonio Carlos Rocha-Campos (IGcUSP) e Profa. Dra. Wânia Duleba (EACH-USP), sobre emanções de metano, relacionadas a hidrotermalismo (*vents* e fumarolas) e hidratos de gás (emanções frias), localizadas na região do Estreito de Bransfield, Drake e Plataforma de Larsen (PROANTAR-CNPq Proc. 55036/2009-7).

Hipótese de trabalho: as duas áreas, Deception e Three Sisters, são sujeitas a hidrotermalismo, contínuo ou intermitente. Em Deception a atividade hidrotermal já foi confirmada e estudada por alguns autores. Em Three Sisters, há poucos estudos e os indícios de hidrotermalismo foram observados por meio de anomalias de composição na coluna d'água. Espera-se confirmar o hidrotermalismo em Deception e investigar, a partir de análises geoquímicas dos sedimentos, a existência de indícios de atividade hidrotermal em Three Sisters.

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo principal

A meta deste trabalho, dentro do contexto apresentado é realizar estudo das características físicas e ambientais de regiões hidrotermais, localizadas na Ilha Deception e Three Sisters, Estreito de Bransfield, Antártica Ocidental, por meio de análises de dados granulométricos, geoquímicos e biológicos (foraminíferos).

2.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar as atividades hidrotermais atuais na caldeira submersa da Ilha Deception;
- Averiguar se há indícios de atividade hidrotermal na região de Three Sisters;

- Entender como e em que medida as atividades hidrotermais influenciam a geoquímica dos sedimentos;
- Entender a resposta das associações de foraminíferos bentônicos à variação de composição sedimentar e das características físico-químicas da interface água-sedimento;
- Analisar a diversidade e a distribuição espaço-temporal das associações de foraminíferos.

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização

A região nas qual se localizam as áreas de estudo, é o o Estreito de Bransfield, mais especificamente, na sub-bacia central de Bransfield. A sub-bacia central de Bransfield localiza-se entre as longitudes 60°30'W e 56°50'W e sua extensão é definida pelas áreas elevadas da Ilha Deception e da Ilha Bridgeman (Gràcia *et al.*, 1997), entre 62°55'55,30" S e 62°03'49,27"S, (Figura 3.1).

As duas áreas de estudo são a Ilha Deception e o edifício vulcânico Three Sisters (Figura 3.1), A Ilha Deception, com coordenadas 62°57'S, 60°38'W, localiza-se a 35 km ao norte da Península Antártica, no sul das Ilhas Shetland (Finger & Lipps, 1981), no limite oeste da bacia central de Bransfield (Gordon & Nowlin, 1978). Three Sisters situa-se um pouco mais a norte e tem coordenadas 62°40'S, 58°8' W.

Figura 3-1: Mapa regional do Estreito de Bransfield com a localização da Ilha Deception e Three Sisters. Fonte: Aquilina *et al.* (2013).

3.2 Geologia do Estreito de Bransfield

3.2.1 Contexto Geológico

O Estreito de Bransfield é uma bacia extensional (Fretzdorff *et al.*, 2004), do tipo marginal, do Cenozóico (Birkenmajer, 1992) localizada entre o norte da Península Antártica e as Ilhas Shetland do Sul (Lawver *et al.*, 1995; Schreider *et al.*, 2014) e formada por rifteamento da crosta continental.

A região do Estreito de Bransfield é caracterizada por fenômenos tectônicos bastante complexos (Ibañez *et al.*, 1997), com presença de vulcões ativos (Smellie, 1988) e sismicidade em zonas intermediárias e rasas (Pelayo & Wiens, 1989).

O vulcanismo relacionado ao rifteamento é generalizado ao longo da Bacia central de Bransfield (Fretzdorff *et al.*, 2004) e nessa região, vários edifícios elevaram-se acima do fundo do mar, provavelmente decorrentes do vulcanismo gerado pela extensão do assoalho oceânico (Gràcia *et al.*, 1996; Garcia *et al.*, 2008; Aquilina *et al.*, 2013). Esse conjunto de edifícios inclui Hook Ridge (cume a 1050 m de profundidade), o complexo Three Sisters (1300 m de profundidade) e The Axe (125 m de profundidade) (Aquilina *et al.*, 2013). A bacia central de Bransfield mostra evidências de falha extensional com direção NW-SE e vulcanismo MORB (Middle Ocean Ridge Basalt- basalto com teores anormalmente baixos de K₂O e de TiO₂, baixos teores de Fe, P, Ba, Rb, Sr, Pb, Th, U e Zr, alto teor de CaO e baixa razão das concentrações das elementos terras raras) interpretado como resultado de um espalhamento incipiente do assoalho oceânico (Gràcia *et al.*, 1996).

3.2.2 Evolução tectônica da área

O continente antártico começou a se formar a partir da separação do Gondwana, no Mesozóico. A margem Pacífica da Península Antártica, nesse período, era um limite de placa ativa. A antiga placa litosférica Phoenix, de grandes dimensões, formada a partir do período Jurássico (compreendido entre 200 Ma e 145 Ma), começou a sofrer subducção, movendo-se para baixo da península Antártica, no sentido SSE. Ao mesmo tempo, a reversão da laje descendente deu origem a um regime extensional no Estreito de Bransfield.

A cordilheira central, com direção aproximada WSW-ENE, é interpretada como uma estrutura de idade Neo-cenozóica, resultado da expansão da zona de retro-arco relacionada à subducção da Placa Phoenix em relação à Placa Antártica. (González-Ferrán, 1985). A partir da abertura do Estreito de Bransfield formou-se uma nova placa (Shetland do Sul), há aproximadamente 2 Ma (Weaver *et al.* 1982, Gonzalez-Ferrán 1991; Bird, 2003), que, atualmente é delimitada pelo paleoeixo de espalhamento da cordilheira Phoenix, pela zona de subducção na trincheira *South Shetland* e pelas falhas transformantes Khiri e Shackleton (Henriet *et al.*, 1992; Schreider *et al.*, 2014), (figura 3.2). Embora existam estudos que apontem que a placa seja inativa atualmente (Barker & Burrell, 1977; Pelayo & Wiens, 1989; Barker, 1992), a maior parte dos autores encontrou evidências de que os processos contínuos de subducção da placa Phoenix, na

região da trincheira South Shetland promovam até os dias atuais, extensão e rifteamento na região do Estreito de Bransfield (Pelayo & Wiens, 1989; Lawver *et al.*, 1995; Gonzalez-Casado *et al.*, 1999; Schreider *et al.*, 2014). A transtensão resultante nessa região, poderia estar competindo, com o *rollback* da placa, como principal mecanismo para a extensão, propagando-se de NE para SW, na sub-bacia leste Bransfield (Rey *et al.*, 1995; Galindo-Zaldivar *et al.*, 1996; Lawver *et al.*, 1996; Maestro *et al.*, 2007).

Figura 3-2: Placa Shetland do sul, paleo-eixo de espalhamento da cordilheira Phoenix, zona de subducção na trincheira South Shetland e falhas transformantes Khiró e Shackleton. Fonte: Schreider *et al.*, 2014.

As taxas de espalhamento do assoalho oceânico, na região, foram estimadas por vários autores: a partir de anomalias magnéticas Roach (1978) e Barker & Dalziel (1983) estimaram o espalhamento em 2.4 cm/ano; González-Ferrán (1985) propôs uma taxa de 2,5 a 7,5 mm/ano, a partir de dados aeromagnéticos; ainda com dados de anomalias magnéticas Parra & Yanez (1988) estimaram o espalhamento em 0.9 cm/ano. Porém, os dados magnéticos do Estreito de Bransfield são difíceis de interpretar e não é claro sequer, se o espalhamento do assoalho oceânico esteja ocorrendo, atualmente (Barker *et al.*, 2003).

3.3 Fisiografia e Geomorfologia do Estreito de Bransfield

O Estreito de Bransfield apresenta largura máxima de 80 km, seu comprimento chega a atingir 400 km, entre *Small Island* e *Clarence Island* (Lawver *et al.*, 1995; Aquilina *et al.*, 2013) e

atinge profundidades de até 1950 m (Gràcia *et al.*, 1995). A bacia é dividida em sub-bacias (oeste, central e leste), pelos vulcões sub-aéreos Deception e Bridgeman, distanciados 200 km ao longo do eixo de rifteamento central (figura 3.2). A sub-bacia situada mais a SW é bastante homogênea e mais rasa, com profundidades que atingem até 1,3 km, estendendo-se por 130 km, com 70 km de largura. Já a bacia mais a E, alcança mais de 150 km de extensão, com 40 km de largura e uma profundidade de mais de 2,7 km (Schreider *et al.*, 2014).

A batimetria da parte central (Figura 3.2) é relativamente uniforme, porém, com desníveis aumentando a profundidade no sentido NE, atingindo até 2000 metros (Gràcia *et al.*, 1997; Prieto *et al.*, 1999). As margens da bacia central de Bransfield são assimétricas. A margem *South Shetland*, a norte, é retilínea e íngreme, com inclinações que chegam a atingir 25° a 30°. Esta margem é dominada, principalmente por um regime extensional, com falhas normais e íngremes, que se estendem até 4 km para o sudeste, no sentido descendente (Ashcroft, 1972). Por sua vez, a margem da Península Antártica, a sul, é mais regular e larga, aprofundando-se suavemente, com inclinação variando entre 3,2° e 8,5°, através de uma série de falhas normais bastante espaçadas (Ashcroft, 1972). Nesta margem, dominam os processos que levam à progradação da plataforma (Gràcia *et al.*, 1995).

Progressivo aprofundamento e alargamento da bacia pode ser observado na direção NE. Falhas que apresentam tendências para N55 a N60, ao longo da bacia, definem sua estrutura geral. A bacia apresenta 4 níveis batimétricos principais. O nível batimétrico mais profundo, nível 4, corresponde à Bacia do Rei George e apresenta um fundo sedimentar, marinho, muito plano e sedimentado, com área de 10-18 km de largura e 45 km de comprimento (Figura 3.3).

As características mais marcantes do assoalho da Bacia central de Bransfield Central são os vários montes submarinos com ampla zona formada por edifícios vulcânicos (Bohrmann *et al.*, 1999; Gràcia *et al.*, 1996) que se elevam acima do leito marinho, coberto por sedimentos (Figura 3.3). Seis grandes montes submarinos ocorrem, alinhados paralelamente ao eixo da bacia, que é definido pelas Ilhas Deception e Bridgeman (rotulados de A a F). As observações de Gràcia *et al.* (1996) sugerem que uma das lineações compreende Deception Island, edifícios denominados B, E, e pequenos cones na margem norte da bacia do rei George. O outro lineamento compreende os edifícios A, C, D e F com a Ilha Bridgeman, sendo que D refere-se aos edifícios Three Sisters, aqui estudados. Um progressivo aprofundamento e alargamento da bacia pode ser visto para o nordeste. Os montes submarinos apresentam morfologias circulares, semicirculares e alongadas, com diâmetros basais que atingem mais de 16 km e alturas de cerca de 550 m.

Os edifícios alongados (B, C e D) têm de 10 a 15 km de comprimento, 2 a 3,5 km de largura, 250 a 350 m de altura e tendência N 55 a N60. O Edifício D (Three Sisters) consiste em três cordilheiras paralelas denominadas D1, D2 e D3 (Figura 3.3).

Figura 3-3: Mapa batimétrico da bacia central de Bransfield com as linhas delimitando os níveis morfoestruturais do assoalho oceânico, interpretação morfoestrutural. Notar o lineamento entre os edifícios vulcânicos A e F, marcado em azul. Adaptado de Gràcia *et al.*, 1996.

O lineamento central, formado pelos edifícios vulcânicos A a F (Figuras 3.3), divide a Bacia Central de Bransfield em duas partes: uma meia-bacia sul, entre a margem da Península Antártica e o lineamento vulcânico, e uma meia-bacia norte, entre a margem das Ilhas Shetland do Sul e o lineamento vulcânico (Klepeis & Lawver, 1993).

As formas dos vulcões variam de circular a alongada, refletindo diferentes estágios tectonovulcânicos, os quais Gràcia *et al.* (1996) interpretam como fases sucessivas da evolução de abertura da bacia. O embasamento é de natureza ígnea e sedimentar, com uma cobertura sedimentar (Jeffers & Anderson, 1990; Gràcia *et al.*, 1996). A parte ígnea, do fundo da Bacia, foi interpretada como uma crosta continental relativamente fina, com intrusões de diques e vulcões (Ashcroft, 1972; Birkenmajer, 1992a). A camada de natureza sedimentar, do embasamento, é composta por material sedimentar tectonizado (Barker & Austin, 1998). A cobertura sedimentar compreende duas sequências separadas por uma descontinuidade regional (Gamboa & Maldonado, 1990): uma sequência sin-rift, mais baixa, que foi depositada e sofreu falhamento durante o estágio de rifteamento, e uma sequência drift (material de origem glacial), menos tectonizada e depositada por processos glacio-marinhos, pós-rift (Jeffers & Anderson,

1990). A sub-bacia central (Bacia de Bransfield) é caracterizada por altas taxas de sedimentação (até 1,8 mm/ano) e a espessura da camada de sedimentos atinge até 3,3 km. Há dois elementos principais que determinam a distribuição dos sedimentos na sub-bacia central de Bransfield: as variações no suprimento e a presença de edifícios vulcânicos (Gràcia *et al.*, 1996), que se tornam, por vezes, barreiras que retêm o sedimento. Entre a zona neovulcânica e as Ilhas Shetland do Sul há grandes falhas normais NW-SE, que controlam a extensão de vários depocentros em uma direção que é normal à extensão da bacia e com um componente, de deslizamento, que compensa a zona neovulcânica em direção à margem das Ilhas Shetland do Sul (Gràcia *et al.*, 1996; Barker & Austin, 1998; Prieto *et al.*, 1998).

3.3.1 Three Sisters: fisiografia e geomorfologia

Os edifícios vulcânicos localizados na parte central da bacia, no Estreito de Bransfield, denominados Three Sisters, referem-se a um conjunto de estruturas complexas, orientadas longitudinalmente no Estreito, representadas por grabens e horsts (Figura 3.4).

Figura 3-4: Sistemas de horsts e grabens da bacia central de Bransfield. Fonte: Gràcia *et al.*, 1996.

O

O complexo de estruturas é formado por três cordilheiras alongadas, paralelamente ao eixo do Estreito, tabela (3.1) e separadas por depressões lineares (Gràcia *et al.*, 1997; Schreider *et al.*, 2014). Gràcia *et al.* (1996) referem-se à essas cordilheiras como edifícios vulcânicos D1, D2 e D3 (figura 3.5). A cordilheira central é levemente curvada, tendendo para N054° na parte central e para N061° na extremidade situada a E. A cordilheira norte tem direção N067. A

cordilheira sul apresenta tendências N052 e sua extremidade a SE divide-se em duas cordilheiras suaves.

Tabela 3-1: Características dos Edifícios vulcânicos Three Sisters (D1, D2 e D3), adaptado de Gràcia *et al.*, (1996).

Edifício	Longitude (W)	Latitude (S)	Altura (m)	Profundidade do topo (m)	Morfologia	Comprimento (km)	Largura (km)	Área da base (km2)	Volume (km3)
D1	59°04'	62°38'5"	300	1150	alongado	6,25	2,5	13	1300
D2	59°	62°38'6"	350	1100	alongado	30	2	53,69	9395,75
D3	59°	62°41'2"	300	1150	alongado	15	3,5	38,17	5725,5

D1 (cordilheira norte) e D3 (cordilheira sul) têm flancos internos mais íngremes, delimitados por falhas retilíneas, que contrastam com os flancos externos, que são mais suaves. Já o edifício D2 (cordilheira central-Middle Sister) é um monte neovulcânico formado pela coalescência de vários montículos, entre D1 e D3, que podem ser observadas em planta. Para Gràcia *et al.* (1996), essa estrutura sugere que D1 e D3 resultem da divisão de um monte submarino anterior. Além dessas estruturas de grandes dimensões, pequenos cones vulcânicos, isolados, podem ser observados no assoalho da bacia. Esses cones menores apresentam diâmetros de cerca de 2,5 km, com até 400 m de altura (ex. o pequeno vulcão localizado a NE de D2)-(figura 3.5) (Gràcia *et al.*, 1995; 1996).

Figura 3-5: Evolução tectônica dos edifícios vulcânicos Three Sisters. Fonte: Gràcia et al., 1996

3.3.2 Deception: fisiografia e geomorfologia

A Ilha Deception (Figura 3.6), vulcão subaéreo ativo, situa-se no arquipélago Shetland do Sul, possui dimensões de 14 km na direção N-S por 13 km na direção E-W, seu centro é uma caldeira colapsada com a parte mais profunda situada abaixo do nível do mar. Apresenta a forma de uma ferradura, abre-se para o mar à SSW a partir de um canal, raso e Estreito, denominado Neptune's Bellows (figura 3.6). Esse canal dá acesso ao interior da caldeira, conhecida como *Port Foster* (figura 3.6), cujo assoalho atinge profundidades de 150-190m. A Ilha delimita-se, por todos os lados, por penhascos verticais, de rocha e gelo (Finger & Lipps, 1981). Deception possui glaciares permanentes em *Mount Pound* (542 m acima do mar) e em *Mount Kirkwood* (figura 3.6), que contrastam com a atividade geotermal permanente e com as emissões gasosas contínuas, das fumarolas, de até 100°C na superfície; a composição principal desses gases é de CO₂ em *Whalers Bay* e *Pendulum Cove* e H₂S em *Fumarole Bay* (Amenábar *et al.*, 2013). Anomalias geotermiais podem ser observadas em *Whalers Bay*, *Fumarole Bay* e *Pendulum Cove* (Herbold *et al.*, 2014).

Figura 3-6: Mapa topográfico da parte emersa e localidades da Ilha Deception. Adaptado de https://en.wikipedia.org/wiki/Deception_Island; b: Mapa de Deception adaptado de Smellie, 2001.

3.3.3 Deception: atividade vulcânica

Segundo Smellie (1983), o vulcanismo em Deception já ocorria no final do Cretáceo, no entanto, a Ilha desenvolveu-se quase inteiramente no Quaternário. Existem registros que em 1842 avistou-se o local em chamas (Wilkes, 1845). Aparentemente houve uma série de explosões piroclásticas entre 1912 e 1917 (Orheim, 1972), inferidas a partir de estudos em sedimentos carregados pelo vento e preservados em camadas de gelo. Em dezembro de 1967 produziu-se, por atividade de 3 crateras, uma pequena Ilha em *Telefon Bay*; simultaneamente houve uma erupção perto da costa, a N-NE de *Port Foster*. Em fevereiro de 1969, em *Mount Pound*, abriram-se uma série de fraturas e ocorreram emissões piroclásticas a partir de crateras, ao longo dessas fraturas.

Em agosto de 1970, novamente, houve atividade no eixo norte de Telefon Bay e desenvolveram-se novas crateras entre *Cross (Laguna) Hill* e *Goddard (Byron) Hill* (figura 3.7). Foi produzida nova faixa de terra, sendo incorporada, à parte já existente de 1967. Estudos de batimetria, realizados em Port Foster, a partir das evidências de deformação do fundo do vulcão registraram, particularmente, o soerguimento (*uplift*) da caldeira. Os resultados mostraram ainda, que existe uma dinâmica particular de soerguimento e sedimentação/erosão e que, entre 1949 e 1993 os registros mostraram razões de soerguimento entre 0,3 e 0,5 m/ano, o que excederia taxas normais de sedimentação esperadas para o local (Cooper *et al.*, 1998).

Há 780 mil anos, erupções estrombolianas (típicas de vulcões com abertura relativamente pequena, acompanhadas por cinzas, gases, bombas vulcânicas, lapili, o nome é relativo ao vulcão Stromboli) e freatomagmáticas (que produz ejectas juvenis, da interação água-magma) originaram a Ilha Deception, motivadas pelo regime de esforços tectônicos do Estreito de Bransfield e pela ascensão da lava até as câmaras magmáticas (Paredes, 2002).

Deception constitui uma das áreas de maior atividade sismo-vulcânica da Antártica; evidenciada pelos mais recentes períodos eruptivos, de 1848, 1967, 1969 e 1970 (Alguacil *et al.*, 1999; Paredes *et al.*, 2007), de 1912 e 1917, com maior incerteza (Alguacil *et al.*, 1999) e pela atividade frequente relacionada a terremotos de baixa magnitude (Paredes *et al.*, 2007). Dados obtidos em https://volcano.si.edu/database/search_eruption_results.cfm, mostram as datas aproximadas de erupções confirmadas, em Deception, nos anos 100, 600, 900, 1200, 1500, 1641, 1800 1827, fevereiro de 1842, 1871, 1912 e as mais recentes em 4 de dezembro de 1967, 21 de fevereiro de 1969, 12 de agosto de 1970.

A morfologia da Ilha encontra-se fortemente influenciada pelo colapso da caldeira (*Port Foster*), ocorrido após uma forte erupção e pelas erupções mais recentes (Paredes, 2002).

Deception situa-se em uma região de geodinâmica bastante complexa, e sugere-se que sua baía interior (*Port Foster*) tenha sido formada progressivamente por extensão passiva ao longo das falhas normais que atravessam a Ilha (Marti *et al.*, 1996; Smellie *et al.*, 2002).

Embora afirme-se que a tectônica seja fortemente controlada por dois sistemas principais de falhas, nas direções NE-SW e NW-SE, não se sabe, ao certo, como age este controle na rede de fraturas e falhas, bem como no vulcanismo e sismicidade regionais (Paredes *et al.*, 2007). O sistema NE-SW é consistente com o regime extensional regional do Estreito de Bransfield e parece controlar o alinhamento dos centros eruptivos ocorridos entre 1967 e 1970. O segundo sistema é observado nas orientações de falhas e movimentos direcionais, aproximadamente perpendicular ao primeiro (Paredes *et al.*, 2006). Este sistema também poderia estar controlando a forma de Costa Recta, a costa oriental da Ilha Deception (Fernandez-Ibanez *et al.*, 2005). Os dois sistemas de falhas principais, que atravessam a Ilha Deception, deixam passagem para fluidos termais e magma, que por vezes fluem nos taludes externos da caldeira. No entanto, é mais comum o desenvolvimento de cones e fluxos de lava, dentro da caldeira. Existem *vents* a até cerca de 20 km a SW de Deception e, 2 km a NW da Ilha, pode-se observar um pequeno cone; já, no interior da caldeira inundada, existem duas pequenas crateras com morfologia de cones, indicando atividade hidrotermal e magmática na região.

Existem outras evidências de atividade vulcânica atual na Ilha: Cooper *et al.* (1999) relatam a elevação do assoalho em Deception, à razão de até 0,3-0,5 mm por ano e o atribuem ao movimento de material na câmara magmática rasa e à alta taxa de sedimentação, no setor norte da Ilha; a presença de magma abaixo de Port Foster foi detectada, por sísmica de refração, por Somoza *et al.* (2004); erupções recentes, entre 1967 e 1971 (Smellie, 1988), outras mais antigas, a partir de 1842 (Wilkes, 1845) e, atualmente, atividade relacionada a fumarolas (Cooper *et al.*, 1998).

3.3.4 Deception: Composição das rochas e sedimentos

Segundo Hawkes (1961) os sedimentos que ocorrem na Ilha são constituídos por palagonita amarelado (produto da interação de vidro vulcânico com água, de composição química similar ao basalto) e aglomerados com intercalações de fluxos de lava e escória avermelhada. A composição das lavas de Deception é de olivina-toleítos e quartzo-toleítos, passando por basalto-andesitos, andesitos e dacitos a rhiodacitos. Quimicamente, esses basaltos podem ser divididos em grupos com alto teor de Fe e alto teor de alumina. As séries, como um todo, podem ser distinguidas por alta razão Na₂O/K₂O (Hawkes, 1961). As características geoquímicas da

suíte de Deception são atribuídas à sua localização, que é uma zona de espalhamento de suprasubducção dentro da bacia marginal ativa do Estreito de Bransfield (Weaver *et al.*, 1979). Kusakabe *et al.*, (2009) sugerem que o magma de Deception é gerado na cunha do manto, de uma fonte tipo MORB, com assinatura influenciada pela adição de ^4He radiogênico, derivado de componentes subductados na formação da antiga Placa Phoenix, que se iniciou há 47 Ma.

3.4 Oceanografia Física

A Bacia de Bransfield sofre influência das águas do mar de Weddell e do mar da Escócia (figura 3.8), (Paterson & Sievers, 1980). Três massas de água, distintas, podem ser identificadas na região (Fabrès *et al.*, 2000): as águas de Bellingshausen (Águas Transicionais de Fundo-TBW), quentes e com baixa salinidade ($2,25^\circ\text{C}$ e 33,50 psu-Practical Salinity Unit) e as águas de Weddell (Águas Transicionais de Fundo-TWW), ($0,75^\circ\text{C}$ e 34,40 psu), frias e salgadas, ocupam os 300 metros superiores na coluna d'água; a 300 metros de profundidade, aproximadamente, situa-se o limite superior das Águas Profundas de Bransfield (BDW), que apresentam, tipicamente, $0,1^\circ\text{C}$ e 34,53 psu. Estas águas podem ter influência de três fontes distintas: a água profunda circumpolar (CDW), entrando na Bacia de Bransfield pelo seu extremo sudoeste; águas pertencentes ao mar de Weddell e águas densas provenientes da plataforma continental oriental da Península Antártica (AP) oriental (Whitworth *et al.*, 1994).

Figura 3-7: Esquema das principais componentes do sistema da corrente de Bransfield ao longo da seção vertical do Estreito de Bransfield. Adaptado de Sangrà *et al.*, 2011.

A circulação de superfície, no Estreito de Bransfield, é caracterizada pelo fluxo geostrófico das águas de Bellingshausen (Águas Transicionais de Fundo-TBW), perto das Ilhas Shetland do Sul e por um fluxo geostrófico (onda inercial de frequência zero) de componente sudoeste das Águas Transicionais de Fundo de Weddell (TWW) do lado da Península Antártica. A frente

geostrófica situa-se, aproximadamente, no eixo da sub-Bacia Central de Bransfield, no limite entre as duas massas de água (Niiler *et al.*, 1991; García *et al.*, 1994).

Duas outras frentes de sub-superfície, localizadas acima das Ilhas Shetland do Sul e no talude da Península Antártica influenciam as águas intermediárias e definem a extensão das águas locais de plataforma e do influxo das águas do sistema do mar de Weddell (García *et al.*, 1994). A circulação mais profunda está ligada, principalmente, à entrada de águas densas da plataforma do mar de Weddell, através do corpo de água Antarctic Sound (com cerca de 30 X 7 X 12 milhas náuticas, que separa o nordeste das Ilhas Joinville do extremo nordeste da Península Antártica) e em torno do extremo NE da Ilha Joinville (Whitworth *et al.*, 1994; López *et al.*, 1999), sua plataforma e talude continentais (Fabrès *et al.*, 2000).

3.5 Características Climáticas

A Península Antártica está sob as condições climáticas, relativamente, amenas e atua como uma barreira topográfica entre um clima quase continental, do lado do mar de Weddell, e condições marítimas no lado do Pacífico. O clima marítimo é caracterizado por alta umidade e temperaturas com médias anuais superiores a -4°C no inverno e 0°C no verão. A precipitação média (incluindo sólidos e líquidos), nas áreas próximas ao Estreito de Bransfield, situa-se acima de 1000mm (Griffith & Anderson, 1989). A altura da coluna de neve, no final do verão é de, aproximadamente, 150 m (Domack & Ishman, 1993), o que ocasiona a formação de fluxos abundantes de degelo, nesse período.

Essas condições climáticas são responsáveis pela distribuição, tipo e regime glacial das geleiras que fluem para a Bacia de Bransfield. Os glaciares das Ilhas Shetland do Sul e da Península Trinity são formados por campos de gelo, relativamente fino, que se estendem descontinuamente para a costa, em forma de piemonte e vales glaciais. O resultado desses processos é que, menos da metade da linha de costa é composta por glaciares cujas bases chegam a atingir profundidade entre 80 e 120 m. O restante de linha de costa é ocupado por rocha nua ou praias de cascalho, sendo algumas delas ocupadas por vales glaciais na sua extremidade *onshore* (Fabrès *et al.*, 2000). Essas geleiras, frequentemente, apresentam riachos proglaciais (formados por degelo) turvos durante o período de verão (Yoon *et al.*, 1998).

As condições climáticas também controlam a permanência e distribuição de gelo no mar, durante o inverno na Bacia de Bransfield, que normalmente é livre de gelo entre dezembro e abril. Durante maio e junho o gelo começa a se formar, no mar. Isso ocorre, primeiramente, ao longo da margem da Península Antártica e até o mês de julho, alcança a parte norte, cobrindo

todo o Estreito de Bransfield. O gelo cobre a região por, aproximadamente 4 meses e, em meados de janeiro se inicia o degelo (Griffith & Anderson, 1989).

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Atividade hidrotermal nos oceanos

As manifestações de interação rocha-água, causadas por hidrotermalismo, foram identificadas há poucas décadas (e.g. Elder, 1965; Elderfield, 1967; Edmond *et al.*, 1982). Descobriu-se, então, que a água do mar, em convecção através das crostas oceânicas, recentemente formadas, nos limites de placas divergentes, durante o processo de espalhamento do assoalho oceânico, poderia ter um papel importante no controle do balanço químico dos oceanos (Chester, 2000), (Figura 4.1).

Figura 4-1: Atividade hidrotermal de alta temperatura em centros de espalhamento e geração de soluções hidrotermais. Fonte: Jones (1978), baseado em More *et al.* (1974).

O espalhamento do assoalho oceânico e a formação de nova crosta oceânica é o processo dominante na formação de bacias. Nesse contexto, sequências basálticas mais antigas e porosas, falhas e grandes fraturas são encontradas em cordilheiras de espalhamento rápido ou lento. Nessas regiões, a água fria do mar penetra nessas rochas altamente permeáveis, atingindo, por vezes, quilômetros de profundidade. A essas profundidades, a água começa a circular devido o aquecimento e entra em contato com zonas de intrusões ativas de magma. Durante esse processo a água sofre mudanças na composição e forma soluções hidrotermais, as quais emergem através do sistema de *vents* no assoalho oceânico, como *hot springs* que se mesclam com a água do mar

da camada de interface com a coluna d'água (Chester, R., 2000). As soluções hidrotermais envolvem trocas térmicas e químicas com a fonte quente. Durante essa troca, a desgaseificação do manto pode liberar voláteis como Hg, As, Ce e B além de gases. Além disso, as soluções hidrotermais, à medida que circulam, também podem tornar-se mineralizadas pela lixiviação de metais das rochas e sedimentos (Ederfield, 1976). Estima-se que o oceano inteiro circule através da zona axial das cordilheiras e interaja com o basalto fresco, emergindo através da ventilação hidrotérmica a cada 8-10 Ma. Essas soluções hidrotermais podem alterar consideravelmente a composição da água do mar, aumentando o conteúdo de elementos químicos lixiviados das rochas, em torno do sistema de *vents*.

Atividade hidrotermal pode ser detectada a partir de fluxos com altas temperaturas e precipitação de metais. Além disso, também pode ser inferida a partir da observação de algumas alterações na concentração de elementos terras raras (Klinkhammer *et al.*, 1983; German *et al.*, 1990; German *et al.*, 2001). As concentrações de elementos terras raras e Fe do material particulado aumenta com o aumento da distância da sua fonte hidrotermal, dado que esses elementos, na área dos *vents*, são continuamente extraídos da água do mar e, como precipitados hidrotermais, dispersados na coluna d'água (German *et al.*, 2001).

4.1.1 Reações em sistemas hidrotermais de alta temperatura

Segundo Chester (2000), as reações em sistemas hidrotermais de alta temperatura, que ocorrem com aproximadamente 355°C, podem gerar *vents* que descarregam plumas brancas e leitosas, conhecidas por *fumarolas brancas*. Também podem produzir fontes que descarregam plumas negras, através de chaminés, conhecidas como *fumarolas negras* que chegam a atingir até 10 m de altura e emitem sulfetos de Fe, Zn e Cu. O fluido hidrotermal de alta temperatura é, em relação à água do mar, completamente esgotado em Mg e SO₄ e enriquecido em H₂S, Mn, Rb, Ca, Ba, K e Si. OS íons H⁺, gerados durante o processo de remoção do Mn da água do mar, tornam as soluções mais ácidas e liberam elementos dos basaltos, mantendo alguns elementos em solução (Fe, Mn, Zn e Cu). Existem dificuldades para calcular as concentrações dos elementos nos membros finais dos sistemas hidrotermais pois podem, no decorrer do caminho até alcançar o assoalho oceânico, precipitar como sulfetos, o que pode ocorrer a grandes profundidades nas estruturas dos *vents* ou permanecer na pluma (Mn é uma exceção, pois raramente forma sulfetos).

Os diversos fatores que podem contribuir para a variação da concentração desses elementos nos diversos sistemas hidrotermais podem ser: a composição da rocha; diferenças na temperatura das soluções hidrotermais; diferenças nos tempos de residência, ou seja, a velocidade do fluxo da água nos sistemas de fissuras; diferenças de profundidades onde ocorrem as reações com o basalto; diferenças de idade dos sistemas hidrotermais, pois em sistemas mais antigos, as rochas já foram, previamente, outras vezes lixiviadas.

As reações de alta temperatura também podem ocorrer entre o basalto e a água do mar quando a lava quente é expelida diretamente para o leito marinho (Chester, R., 2000).

4.1.2 Reações em sistemas hidrotermais de baixas temperaturas

As camadas superiores do embasamento oceânico (entre 2 e 3 Km) são zonas de reações químicas entre a água do mar e a crosta. À medida que se afasta dos centros de propagação, o basalto sofre reações a temperaturas mais baixas. As reações de baixa temperatura entre água do mar e basaltos podem ocorrer no assoalho oceânico, na presença de grandes volumes de água, sob condições oxidantes ou em camadas um pouco mais profundas, em contato com menor volume de água, embora as reações ocorram com a mesma intensidade que no primeiro caso.

Durante as reações, a baixas temperaturas, são formadas novas fases minerais e há troca química entre as rochas e a água do mar. Os vidros vulcânicos e rochas podem ser afetados de várias maneiras, no entanto, sempre há oxidação e hidratação dos basaltos; o basalto absorve, frequentemente, K, Cs, Rb, B, Li e 18O e perde Ca, Mg e Si; não há um comportamento claro dos elementos Fe, Mn, Na, Cu, Ba e Sr embora o intemperismo de baixa temperatura possa ser uma fonte de Fe e Mn para a água do mar (Elderfield, 1976).

4.2 Evidências de atividade hidrotermal no Estreito de Bransfield

As primeiras evidências de hidrotermalismo, no Estreito de Bransfield, foram encontradas em sedimentos a oeste da bacia do Rei George, onde foram detectados hidrocarbonetos termogênicos gerados por baixas temperaturas ($<150^\circ$), interação hidrotermal entre sedimentos ricos em matéria orgânica e fluido proveniente de convecção de níveis mais profundos (Suess *et al.*, 1987). Outras evidências foram obtidas a partir de valores de $\delta^3\text{He}$ na coluna d'água, além de fluido quente da crosta observado no centro do Estreito de Bransfield, com valores

típicos de regiões com circulação hidrotermal ativa (Lawver *et al.*, 1995 *apud* Somoza *et al.*, 2004).

Segundo Klinkhammer *et al.* (2001) há vários registros de atividade hidrotermal na Bacia Central do Estreito de Bransfield. Concentrações anômalas de manganês, na coluna d'água, no lado leste da Bacia e também alteração da matéria orgânica contida nos sedimentos, com características relacionadas a variações dessa natureza, corroborariam esse fenômeno.

Em Hook Ridge (Figura 3.1) também foi detectada atividade hidrotermal em alguns pontos, a partir da recuperação de enxofre nativo (Dählmann *et al.*, 2001) e *vents* hidrotermais (Bohrmann *et al.*, 1999; Aquilina *et al.*, 2013).

Aquilina *et al.* (2013) detectaram, em *Middle Sister*, a cordilheira central do complexo *Three Sisters* (figura 3.3), pequenas anomalias de E_h na coluna d'água, mas observações visuais do assoalho oceânico e nos perfis de fluidos intersticiais não evidenciaram circulação hidrotermal ativa, que haviam sido observadas em estudos anteriores sugerindo que a circulação hidrotermal no Estreito de Bransfield seria efêmera. Mais recentemente Bell *et al.*, (2016), a partir da análise de sedimentos, também indicaram que foram encontradas assinaturas consistentes com atividade hidrotermal na região.

Em *Port Foster*, Deception, Somoza *et al.*, (2004) encontraram *vents* submarinos e observaram três tipos de estruturas: montes baixos, montes mais altos com topos arredondados e estruturas com topos mais aciculados. Estas estruturas foram interpretadas como sedimentação relacionada a vulcanismo, causada por aquecimento e ebulição dos fluidos contidos nos sedimentos, contendo gás, e relacionados a eventos vulcânicos recentes, possivelmente os ocorridos em 1967, 1969 e 1970. Os autores notaram, também, a ocorrência de fraturas no fundo marinho, que poderiam ser o caminho utilizado, periodicamente, para a migração de fluidos, resultando em emanções hidrotermais e *vents* no fundo marinho, mesmo décadas após as últimas erupções. Em *Fumarole Bay* e *Whalers Bay* (figura 3.2) são comuns fumarolas subaéreas, relacionadas à ventilação de aquíferos rasos, aquecidos por fluxos gasosos convectivos gerados pelo calor produzido por câmaras magmáticas subjacentes. Anomalias de temperaturas de até 107°C foram registradas em águas intersticiais perto das emissões das fumarolas (Villegas *et al.*, 1997). Anomalias termais de 7-15°C na superfície da água também foram encontradas nas baías que rodeiam Port Foster e persistem a até 20-30 m costa afora (Dykes *et al.*, 1994). Para Rey *et al.*, (1997), perto de *Neptune Bellows* (entrada) as anomalias variam entre 0° e 1°C e excedem os 3°C no centro da baía. Geotermômetros H_2/Ar - e SiO_2 , indicaram que as temperaturas no sistema hidrotermal de Deception alcançam entre 150°C a 300°C (Kusakabe *et al.*, 2009)

Ainda em Deception, a partir de resultados obtidos em uma estação instalada em *Fumarole Bay*, Padrón *et al.*, (2015) detectaram manifestações geotermiais. Descargas hidrotermais de gás CO₂ foram evidenciadas pela presença de várias fumarolas perto da linha d'água. Em *Whalers Bay*, embora com menor intensidade, também foram detectados dois tipos de fontes originadas por processos hidrotermais: fraturas causadas pela pressão dos fluidos gerada pelas flutuações vulcano-hidrotermais subjacentes; uma segunda seria o aumento de He magmático ocasionado por uma intrusão ocorrida antes de 2009.

4.3 Metais nos sedimentos - Mobilização e biodisponibilidade

Os elementos químicos metálicos são dos elementos mais abundantes na crosta terrestre Novotny (1995). Processos de intemperismo são responsáveis pela distribuição de metais no meio terrestre, aquático e sistemas atmosféricos. Entre 90 elementos químicos da tabela periódica, 70 podem ser caracterizados como metais e 59 deles como metais pesados e são potencialmente tóxicos. Alguns desses metais são considerados muito tóxicos (As, Co, Bi, Ni, Cu, Zn, Sn, Se, Te, Pd, Ag, Cd, Pt, Hg, Tl, Pb, Sb) e estão facilmente disponíveis em concentrações que excedem os limites de toxicidade (Salomon & Förstner, 1984).

Quando os metais entram no sistema aquático, quer por fontes de origem natural ou por ação do homem, eles são distribuídos no material em suspensão, nos sedimentos, na coluna d'água e nas águas intersticiais (Salomon & Foster, 1984) e sofrem complexação com ligantes (ligantes são constituintes químicos, orgânicos ou inorgânicos que se combinam com os metais formando um complexo químico) (Novotny, 1995). Segundo Salomons & Fostner (1984), em águas naturais, pode ocorrer precipitação e complexação de:

- Óxidos de ferro e manganês ou enxofre nativo precipitados pela oxidação de soluções redutoras, geralmente causadas pela emergência de água na superfície ou um fluxo de redução de água de um pântano;
- Urânio, Vanádio, Cobre, Selênio e Prata como metais ou óxidos de baixa valência geralmente causados por um encontro com matéria orgânica ou uma mistura com águas ou gases redutores;
- Ferro, Cobre, Prata, Zinco, Chumbo, Mercúrio, Níquel, Cobalto, Arsênio e Molibdênio como sulfetos pela redução de águas com sulfato redutoras, geralmente pela ação de bactérias sulfato-redutoras. Urânio, Vanádio e Selênio também podem ser precipitados por essas mesmas causas, mas requerem a presença de sulfato dissolvido;

- Bário, Estrôncio e Cálcio podem ser precipitados pelo aumento de sulfato ou carbonato como resultado de mistura de águas, oxidação de sulfeto, ou passagem por rocha carbonática);
- Cálcio, Magnésio, Estrôncio, Manganês, Ferro, Cobre, Zinco, Chumbo, Cádmio e outros elementos precipitam-se se há aumento de pH, geralmente causado pela interação de águas ácidas com rochas carbonáticas ou silicáticas ou quando se misturam a águas alcalinas;
- Adsorção ou co-precipitação de íons em acumulações de óxidos de Fe-Mn, argilas e materiais orgânicos. Os cátions dos metais de transição. Os cátions dos metais de transição e os que apresentam valência alta tendem a ser mais fortemente adsorvidos do que os ânions e cátions com valências baixas.

Os metais são praticamente inertes e não interagem com os organismos, uma vez que estejam nos sedimentos; no entanto, quando submetidos à remobilização por fatores abióticos e/ou bióticos podem ser disponibilizados do sedimento para a coluna d'água, o que os permitiria interagir com os elementos do ecossistema (Stumm & Morgan, 1996; Chapman *et al.*, 1998); o aumento das concentrações desses elementos nos sedimentos, pode torná-los biodisponíveis até mesmo para organismos que não foram expostos diretamente a esses elementos.

Todos os componentes desse sistema interagem através de processos de adsorção e desorção, precipitação, sedimentação e difusão, os quais afetam a assimilação desses metais pela biota (Salomon & Foster, 1984). Estudos mineralógicos de sedimentos poluídos indicam que metais pesados, que não são degradados biologicamente (Cu, Fe, Mn, Ni, Zn Pb) tendem a associar-se, principalmente, a partículas mais finas (menores que silte) que possuem grandes superfícies relativas e tendência a adsorver e acumular íons metálicos devido ao efeito de suas forças intermoleculares (Salomons & Förstner, 1984; Shrivastava *et al.*, 2003).

Embora alguns metais como Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, Co, Mo, B, sejam micronutrientes essenciais, se ocorrerem em concentrações um pouco elevadas, podem ser tóxicos (Reinfelder *et al.*, 1998), porém a toxicidade é função da concentração dos elementos e processos biogeoquímicos de cada organismo (Laws, 1993). A acumulação, pelos organismos bentônicos, se dá a partir do contato com o sedimento, com as águas intersticiais, com a matéria orgânica particulada que se situa na interface água-sedimento (Laws, 1993) ou pela cadeia trófica (Reynoldson, 1987).

4.4 Microbiota-Foraminíferos

Os foraminíferos podem ser definidos como protistas amebóides, dotados de pseudópodes finos, anastomosados e granulosos, que apresentam alternância de reprodução, sexuada e assexuada (Pawlowski *et al.*, 2003). Seu citoplasma pode ser protegido ou não por testas. Existem registros, desses organismos, desde o Cambriano até o Recente (Armstrong & Brasier, 2005). A partir de dois trabalhos de ADL *et al.*, (2005, 2012), a filogenia dos protistas ganhou um novo panorama. De acordo com esses autores, os foraminíferos podem ser classificados como um grupo parafilético de protozoários amebóides, dotados de testas, ubicados no Super-Grupo SAR (composto por Stramenopilos, Alveolata e Rhizaria), sendo o Sub-Grupo Foraminifera parte do Grupo Rhizaria.

Os foraminíferos podem viver em distintos tipos de locais, que vão desde solos úmidos até planícies abissais (Lejzerowicz, *et al.*, 2010, Sen Gupta, 1999). Estimam-se que existam em torno de 10.000 espécies desses organismos, sendo que, cerca de 40-50 espécies são plantônicas, porém a maior parte é composta por espécies bentônicas (Pawlowski *et al.* 2014). Estas últimas podem ser de epifauna, quando vivem na camada superior do sedimento, entre 0 e 1 cm, de infauna rasa; entre 0 e 2 cm, de infauna intermediária; quando habitam as profundidades entre 1 e 4 cm e de infauna profunda quando, estão abaixo de 4 cm no sedimento (Corliss, 1991). No entanto, como podem mover-se, para baixo ou para cima, em busca de alimento, na camada de sedimento, seu micro *habitat* é variável (Linke & Lutze, 1993 *apud* Sen Gupta, 1999). Por sua vez, os *taxa* de epifauna podem ser incrustantes, sésseis (total ou parcialmente imóveis) e vágéis (Murray, 2006).

Esses organismos são constituídos por um citoplasma, que na maioria das espécies, é envolvido por uma testa. Os foraminíferos sem testa foram, recentemente, descobertos e incluídos em um grupo parafilético dos monotalâmicos (Pawlowski *et al.*, 2013). Os foraminíferos possuem pseudópodos filiformes, que são, estruturas finas que formam uma rede interconectada que se projeta no citoplasma, chamadas de reticulópodes; essas estruturas são utilizadas para capturar plâncton e, em algumas espécies, são utilizadas para locomoção. A parte externa, denominada testa ou testas, é composta por matéria orgânica (tectina) ou minerais (calcita, aragonita ou sílica) secretados pelos próprios organismos, ou ainda, formada por partículas, do meio onde vivem (Armstrong & Brasier, 2005) aglutinadas por um cimento microgranular. Algumas espécies de foraminíferos possuem uma única câmara e são chamados uniloculares, mas a maior parte das formas é multilocular, possuindo várias câmaras. Os foraminíferos multiloculares começam a

se desenvolver a partir de câmaras uniloculares, o *proloculum*, porém, quando há incremento em seu tamanho, o protoplasma transborda através de uma grande abertura na primeira câmara e secreta outro compartimento. Esse processo é contínuo durante a sua vida e resulta em uma série de câmaras, cada qual com uma abertura maior que a precedente.

Seu ciclo de vida é regido por alternância de gerações, sendo uma com reprodução sexuada, seguida de outra com reprodução assexuada. Essa alternância é regular entre a forma haplóide, uninucleada, megalosférica (gamonte) e a forma diplóide, multinucleada e microsférica (agamonte). Em algumas espécies, o ciclo de vida também inclui um esquizonte, que é produzido no agamonte e se reproduz assexuadamente. Podem ocorrer vários ciclos com reprodução assexuada, sucessivamente (Goldstein, 1999), (figura 4.2).

Figura 4-2: Alternância de gerações no ciclo de vida dos foraminíferos (Goldstein, 1999).

As diferentes espécies de foraminíferos sobrevivem apenas em condições ambientais específicas de salinidade, temperatura (Sen Gupta & Machain-Castillo, 1993), profundidade e pH, luz, tipo de substrato (Sen Gupta, 1999), disponibilidade de nutrientes e oxigenação (Murray, 2001). Por terem sua distribuição determinada por esses vários fatores, um ciclo de vida curto, ampla distribuição geográfica, (Boltovskoy, 1962), serem muito abundantes e diversos, são largamente utilizados como bioindicadores para ambientes atuais e também para depósitos sedimentares pretéritos (Armstrong & Brasier, 2005). Determinados *taxa* e/ou associações são próprios de ambientes específicos, por exemplo estuarinos, recifais, lagunares, dentre outros (Sen Gupta, 1999) e refletem as características físico-químicas locais (Debenay *et al.*, 1996; Debenay *et al.*, 2000; Haslett, 2007).

Os foraminíferos apresentam, também, importância geológica, dado que, suas testas são incorporadas aos sedimentos e passam a registrar todos os eventos, aos quais são submetidos os sedimentos nos oceanos (Leventhal, 1983; Morse & Cornwell, 1987; Seigue, 1973).

No meio acadêmico e na indústria, a análise qualitativa e quantitativa dos foraminíferos é bastante usada, como ferramenta para determinação de idades relativas (na bioestratigrafia e cronoestratigrafia) e para correlação entre localidades relativamente distantes e reconstrução paleoambiental. Na pesquisa paleoceanográfica e paleoambiental são úteis:

- Na determinação de idades relativas e absolutas. Podem-se, também, datar as testas de composição carbonática em espectrômetros de massa;
- Na correlação entre duas localidades, estabelecendo equivalências entre elas com base nas associações de microfósseis encontradas;
- Para obter um retrato das condições da coluna d'água, dado que a distribuição das várias espécies de foraminíferos planctônicos ocorre, verticalmente, em diferentes camadas, de acordo com suas características bióticas (Boltovskoy, 1962);
- Em estudos de paleogeografia e circulação oceânica, já que existem zonas de distribuição dos foraminíferos nos oceanos, que correspondem, aproximadamente às faixas climáticas (tropical-subtropical, de transição, temperada, subpolar e polar).
- Para determinar as condições do fundo marinho, dado que diferentes *taxa* e associações de foraminíferos têm distribuição distinta relativa à proximidade com a costa, profundidade na coluna d'água, produtividade e oxigênio disponível. As razões entre epifauna e infauna podem fornecer informações do fluxo de matéria orgânica e do conteúdo de oxigênio dissolvido, enquanto que as razões entre organismos plantônicos e bentônicos retratarão, em geral, profundidade e distância, com relação à costa, ao longo de margens continentais ou o nível da produtividade de carbonato em plataformas carbonáticas;
- Em estudos de paleoceanografia e paleoclimatologia, os isótopos estáveis de Oxigênio (^{18}O : ^{16}O) são bastante usados para determinar a paleotemperatura dos oceanos (Rohling & Cooke, 1999), reconstituição da temperatura da coluna d'água e produtividade através dos gradientes isotópicos entre as espécies que vivem em diferentes profundidades; já as razões Cd/Ca e delta C13 são utilizados para estabelecer as variações de paleocirculação das águas dos oceanos (Oppo & Horowitz, 2000).
- Para obter informações de paleotemperatura utilizam-se as razões Mg/Ca nos foraminíferos bentônicos e plantônicos constituídos por calcita (Lear *et al.*, 2002).

Por sua vez, as razões Cd/Ca indicam a concentração de nutrientes/ e variações paleoceanográficas (Marchitto *et al.*, 2002).

4.4.1 Foraminíferos como indicadores de níveis de oxigênio dissolvido

Uma das variáveis mais importantes, que condicionam a ocorrência e distribuição de foraminíferos bentônicos, é a concentração de oxigênio, no ambiente (Sen Gupta & Machain-Castillo, 1993). Esses organismos respondem prontamente a mudanças nos níveis de oxigenação das águas de fundo (Hermelin, 1992; Alve, 1995). Foraminíferos bentônicos calcários representam um dos mais sensíveis indicadores de oxigênio dissolvido nos fundos oceânicos; eles persistem em sedimentos de fundo, mesmo abaixo da (CCD) linha de compensação de carbonato (Kaiho, 1994). Kaiho (1994) discute a variação de O₂ dissolvido nos oceanos e o seu controle sobre as associações de foraminíferos bentônicos; seu tamanho, espessura da testa, porosidade e ocorrência de alguns gêneros e espécies. Essa correlação havia sido notada anteriormente por Bandy (1966), Leutenegger & Hansen (1979), Corliss (1985). Algumas espécies, principais constituintes da fauna bentônica, e indicadoras de ambientes disóxicos (0,1-0,3 ml/L), são mais tolerantes a níveis baixos ou quase nulos de oxigênio (Corliss, 1985; Kamisinski, *et al.*, 1995). As características mais marcantes dessas espécies seriam as testas finas, que podem estar relacionadas à dificuldade em secretar CaCO₃ nesses ambientes (Rhoads & Morse, 1971; Kaiho, 1994); seu tamanho é reduzido, sendo o diâmetro das formas espirais < 200 µm de diâmetro, formas alongadas e achatadas com seu maior eixo medindo até 500 µm; suas testas possuem grande quantidade de poros (Koutsoukos, *et al.*, 1990), o que poderia melhorar a oxigenação mitocondrial (Sen Gupta & Machain-Castillos, 1993). As espécies indicadoras de ambientes subóxicos (0,3-1,5 ml/L O₂), podem ser divididas em três grupos: o primeiro, com indivíduos menores que 350µm, de espécies óxicas e que são classificadas, por este motivo, como espécies de ambientes intermediários, já que indivíduos de pequenas dimensões são característicos de ambientes pouco oxigenados. O segundo grupo está situado entre os extremos de indicadores óxicos e disóxicos e inclui formas com ornamentações grandes, planespirais arredondadas, ovóides achatadas e esféricas; pequenas e/ou com paredes finas, planoconvexas e trocoespirais biconvexas. O terceiro grupo tem paredes finas, porém *habitats* com características situadas entre o primeiro e segundo grupos. Espécies indicadoras de ambientes óxicos ($\geq 1,5$ ml/L) teriam como característica mais marcante, testas ≥ 350 µm, seriam epifaunais em condições de alta oxigenação das águas de fundo, sendo, portanto,

ausentes em condições de pouco oxigênio. Essas espécies caracterizam-se por formas plano-convexas, biconvexas, trocoespirais arredondadas e com formas esféricas (Kaiho, 1994).

4.4.2 Foraminíferos em altas latitudes

Vários autores utilizaram a análise de testas de foraminíferos como ferramenta, para inferir características ambientais. Alve (2003) observou as variações na composição de associações de foraminíferos, mais especificamente, nas espécies oportunistas, com o objetivo de detectar anomalias no ambiente, no Atlântico norte.

Jones & Pudsey (1993) analisaram 60 espécies de foraminíferos, em amostras recentes, coletadas em áreas de talude e plataforma, na Península Antártica. Discutiram a abundância, diversidade, composição de associações e os efeitos da dissolução de calcita em águas corrosivas de fundo, dando enfoque aos processos de inibição de secreção (e/ou preservação) das testas calcárias e relacionando, as associações encontradas, com as massas d'água da região. Majewski (2010), com o propósito de fornecer dados atuais para um melhor entendimento do registro paleoambiental, na Ilha Rei George, Antártica, identificou quatro associações de foraminíferos, em águas situadas abaixo de 500 m do nível do mar; relacionou estas associações a disponibilidade de micronutrientes, de acordo com a profundidade. Ademais, observou que as mesmas associações, ou associações semelhantes, também parecem ser indicativas de influência glacial, ou seja, as associações estavam caracterizadas por espécies oportunistas.

Rodrigues, *et al.*, (2010) determinaram, na Ilha Rei George, os parâmetros ambientais de água de fundo e de sedimentos que controlam a fauna de foraminíferos na baía Ezcurra. Reconheceram três associações distintas, porém, com poucas diferenças nas variantes ambientais.

No mar de Ross, Ostermann & Kellogg (1979) estudaram foraminíferos aglutinantes acima da CCD (Carbonate Compensation Depth) e foraminíferos calcários abaixo dessa zona. Posteriormente concluíram que o fato estava relacionado ao rompimento/ derretimento sazonal de pacotes de gelo, que inibem a produtividade nas águas de superfície e permitem o acúmulo de CO₂.

Hromic *et al.* (2012) concluíram haver diferenças ambientais, entre as áreas de Deception, baía Chile e baía Fildes, a partir do estudo de amostras de sedimentos de superfície, nas quais observou as associações de foraminíferos.

4.4.2.1 *Associações bentônicas e alterações da composição e estrutura da microbiota em regiões de vulcanismo/ hidrotermalismo.*

Estudando a meiofauna, em ambiente raso, Panieri *et al.*, (2006) observaram uma intensa desgasificação hidrotermal que ocorrera no lado E de Panarea, uma pequena Ilha no mar Tirreno, Itália, em novembro de 2002. Para os autores foi uma oportunidade para descrever o comportamento de associações de foraminíferos sob *stress*, causado por emissões hidrotermais em ambientes rasos (entre 10 e 15 m de profundidade). Estudaram as associações com o intuito de quantificar a mortalidade e monitorar a composição das comunidades, imediatamente depois de terem sido expostas às emissões hidrotermais de alta temperatura (40-50°C), baixo pH (~5), altas concentrações de HCl, HF, SO₂ e menores H₂S. As associações foram monitoradas, por duas vezes, uma depois de 10 dias das emissões e outra após 6 meses. No primeiro monitoramento observou formas aglutinantes, nos sedimentos e hialinas aderidas nas algas. Na segunda coleta, quando as condições ambientais haviam voltado ao normal, havia apenas espécies da subordem Allogromiina, que podem ser consideradas espécies pioneiras oportunistas, aptas a colonizar ambientes perturbados.

Com enfoque na macrofauna, Bell *et al.*, (2016) estudaram a ecologia da macrofauna em sedimentos relacionados a *vents* hidrotermais em Hook Ridge, no Estreito de Bransfield. O objetivo da pesquisa foi contrastar as estruturas das comunidades de macrofauna, de locais sob influência de atividade hidrotermal de outras, sem essa influência. Os autores concluíram que a macrofauna era claramente diferente nas duas localidades. Em locais sob influência hidrotermal, a densidade relativa de espécimes declinou à medida que aumentou a atividade do hidrotermalismo. Essa variação difere das observações de sistemas similares, no Pacífico, e demonstra a influência de outros fatores, além da produtividade primária quimiossintetizante, na estruturação da infauna de comunidades de *vents* de fundo marinho. A fauna endêmica dos *vents* era pouco abundante e representada por uma única espécie de *Sibiloglinidae*, nas áreas com atividade hidrotermal, e a maioria da biota do local foi encontrada em outras áreas também. Várias *taxa* ocorreram em todas as amostras, porém houve grandes diferenças em sua abundância relativa, sugerindo que as comunidades foram estruturadas por variações de nicho ecológico. O estudo sugere ainda que a composição do fluxo possa ser mais importante que sua temperatura, para determinar as diferenças entre as comunidades.

Finger & Lipps (1981) observaram o comportamento dos foraminíferos, na parte inundada da caldeira na Ilha Deception e em *offshore*, com o intuito de entender melhor os processos de recuperação, após mudanças catastróficas na fauna e recolonizações. Após erupções vulcânicas

e escoamento de água de degelo, rapidamente foram depositados sedimentos em todo o piso da caldeira e nas encostas marítimas da Ilha. O soterramento e turbulência, causados pela queda de cinzas, durante e após as erupções de 1967, 1969 e 1970 dizimaram grande parte dos foraminíferos da caldeira e também da borda nordeste da Ilha, em 1970. Segundo esses autores, em Port Foster, a granulometria do substrato e a turbidez das águas são os fatores mais importantes no controle do equilíbrio das populações, pós-erupção. Mudanças nas proporções de espécies calcárias sugeririam que a atividade vulcânica possa ter afetado a composição em estágios pós-eruptivos, embora diferentes taxas reprodutivas, sucessão faunística e condições normais de dominância de espécies aglutinantes, ou dissolução seletiva de testas de CaCO_3 não pudessem ser excluídas. Os padrões observados, em cinco anos sucessivos após a última erupção, indicaram que a fauna devastada pela atividade vulcânica se recuperou progressivamente, mas de maneira irregular, no espaço e no tempo. Tendências de longo prazo obtidas pela comparação com outros estudos de até 45 anos antes, indicaram que os foraminíferos em Deception poderiam ter sofrido significativa reorganização no final do século passado. Finger (1977) relata haver coletado, durante 5 anos sucessivos, entre 1971 e 1975, ou seja, nos anos imediatamente após a última erupção, 250 amostras de fundo, em Deception para análise de foraminíferos. Identificou 44 gêneros e 88 espécies, no total. Uma análise de agrupamento mostrou uma baixa diversidade faunística de Port Foster, representada por *Miliammina arenacea*, *Stanforthia fusiformis* e *Nonionella bradii*; além de uma facies com *Cribrostomoides jeffreysii*, *Rosalina globularis*, *Pseudoparrella exígua*, *Trochammina ochracea*, *Trifarina angulosa*, *Cibicides lobatulus* e *Globocassidulina biora*.

Gallardo *et al.* (1975) observaram que a fauna, em Port Foster, foi alterada drasticamente durante as erupções de 1967, 1969 e 1970, datas em que há registros de erupções vulcânicas na área.

Ainda em Deception, Gray *et al.* (2003) analisaram a deposição de piroclastos e cinzas relacionada às erupções mais recentes (1967, 1969, 1970) que dizimou a microfauna bentônica e a macrofauna. Estes autores compararam os seus resultados, com os que obtiveram Finger & Lipps (1981), a partir de amostragens feitas em 1976 e 2000, respectivamente. Concluíram que, entre os anos de 1972 e 1976, houve crescimento médio, constante, em número de indivíduos, interpretado como repovoamento pós-deposição de cinzas vulcânicas. Entre 1976 e 2000, os números foram semelhantes, o que sugere ter havido estabilização a partir de meados da década de 1970. No entanto, as cinzas provenientes da erupção foram distribuídas em alguns locais da Ilha, por exemplo em *Whalers Bay*, por transporte secundário como correntes) e não no

momento da erupção (Pallàs *et al.*, 2001); o que levaria à conclusão de dizimação, das espécies de foraminíferos, tenha sido decorrente da composição química do sedimento e não por turbulência e soterramento. Menor biomassa e diversidade de espécies foi observada em Port Foster, com relação às outras áreas perto da plataforma nas Ilhas Shetland. Observaram-se também, mudanças na composição dos foraminíferos bentônicos. No ano 2000, 40% das espécies mais comuns eram também predominantes em 1970. Constatou-se, ainda, que *Reophax dentaliniformis*, espécie tida como colonizador pioneiro em várias localidades, diferentemente do que seria esperado, surgiu em Port Foster após a estabilização da meiofauna. Além disso, concluiu-se não haver correlação entre a quantidade de foraminíferos e fatores abióticos como profundidade e distância entre o local de amostragem e Neptune's Bellows (Gray *et al.*, 2003).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Atividades de Campo

As amostras utilizadas neste trabalho foram obtidas entre janeiro e fevereiro de 2013 (XXXI OPERANTAR) e em janeiro de 2014 (XXXII OPERANTAR), (Quadro 5.1). Para a coleta, a equipe contou com o apoio do Navio Polar Almirante Maximiano (NPo Alte Maximiano), da Marinha do Brasil. Como mencionado na introdução, o projeto está vinculado, no que se refere à viabilidade técnica e financeira, ao projeto “Registro paleoclimático da transição (greenhouse-icehouse) Eoceno-Oligoceno na Antártica Ocidental”, coordenado pelo Prof. Antonio Carlos Rocha Campos (IGc-USP) e Profa Wânia Duleba, (EACH-USP).

Figura 5-1 Obtenção de dados batimétricos e imageamento do fundo da Ilha de Deception, regiões rasas a, b e c. Borbulhamento relacionado a atividade hidrotermal (d). Fotos: Wânia Duleba

Em regiões rasas (em profundidades menores de 20m), a medição dos dados geofísicos foi obtida com ecobatímetro Kongsberg, modelo EA-400. Além disso, nessa fase preliminar,

procurava-se visualmente a presença de bolhas e depósitos minerais brancos ao redor dos pontos de emanções, oriundas da atividade hidrotermal (Duleba, comunicação pessoal) para realizar a amostragem (Figura 5.1).

Nas regiões acima de 20m foram realizadas perfilagem sísmica e imageamento da topografia de fundo de uma área de 20km², a partir do ecobatímetro multibeam Kongsberg EM-302 e do subbottom profile Kongsberg SPB-120.

Figura 5-2: Aquisição de dados geofísicos durante a OPERANTAR XXXII.

Uma vez terminada a fase do imageamento do fundo (figura 5.2), dava-se prosseguimento à coleta dos sedimentos. Os equipamentos de amostragem utilizados variaram em função do local, por exemplo, na região costeira da Ilha de Deception, em profundidades menores que 20 m (figuras 5.3 a, b, c e d), as amostras de sedimentos foram coletadas: 1) manualmente na região entre-marés e no sublitoral raso (por mergulho autônomo) ou 2) por meio de amostrador Van Veen modificado, a bordo de botes. Nas regiões acima de 20 m, toda a amostragem foi realizada a bordo do NPo Alte Maximiano, com box corer (dimensões: 60x40x60cm, capacidade de amostragem de 9L de sedimento).

Em todos os pontos amostrais, com coleta manual ou VanVeen, independente da profundidade do local, o procedimento de coleta era o mesmo para os foraminíferos: raspava-se somente a camada oxidada superficial (0 - 0,5cm - geralmente de coloração amarronzada), evitando ao máximo de coletar camada redutora. Após a coleta dos foraminíferos, eram amostrados os sedimentos para geoquímica e granulometria. No caso específico da coleta com a box corer (figuras 5.4 a, b, c e d), quando a mesma era trazida a bordo, primeiramente se validava a amostragem (era checada a quantidade de sedimento coletado) e depois retirava-se a água sobrenadante com sifão (figura 5.4 e e f). A água sifonada era filtrada em malhas de 0,045mm

e os eventuais organismos retidos eram acondicionados em frascos com álcool 70° GL para análise posterior da macrofauna (projeto Profa Lúcia Campos).

Figura 5-3 Amostragem em regiões entre-marés e sublitoral raso (< 6m). A B, C: Lago Krone, D: Fumarole Bay, Ilha de Deception, Antártica. Fotos: Wânia Duleba

Realizada esta etapa, retirava-se a camada superficial (0-0,5cm) para coleta de foraminíferos recentes, que era acondicionada em frascos plásticos e preservada com álcool 70°GL. Posteriormente, introduziam-se 3 corers de aço inox (10x10x60cm), destinados a análises granulométrica, geoquímica (elementos traços e maiores) e de foraminíferos. No laboratório do navio, os testemunhos foram amostrados com espátulas de aço inox, retirando-se seções de 2cm de sedimentos, que foram armazenadas em potes plásticos e congelados. As amostras subsuperficiais para foraminíferos foram preservadas em álcool 70°GL (Figura 5.5 a, b, c, d, e, f e g).

Figura 5-4 a, b, c, d, e e f: Coleta manual de sedimentos e com box corer

Figura 5-5: Amostragem em Three Sisters, Antártica. A- Rocha coletada no primeiro lançamento. B a F: Amostragem por meio de box corer em Three Sister - observar camada oxidada. G) Corer de aço inox e o gabarito de 2cm. Fotos Wânia Duleba.

Foram obtidos em campo:

- 1-Imagens das emanções de gases e fluidos em águas rasas;
- 2-Amostras de sedimentos inconsolidados superficiais, de 10 pontos superficiais em Deception (FB01, FB02, FB03, FB04, FB05, FB08, FB09, WB03, WB04 e WB05), em Deception, para análise geoquímica, da microbiota e frações granulométricas (Quadro 5.1 e Figura 5.6);
- 3-Cinco testemunhos (FB06, FB07, FB2014, WB01 e WB02), para análise cronológica da meiofauna, granulometria e composição geoquímica em Deception (Quadro 5.1 e Figura 5.6) e dois testemunhos, coletados em Three Sisters (3SisA e 3SisB)-(Quadro 5.1, Figura 5.6).
- 4-Dois testemunhos em Three Sisters (3SisA e 3SisB) (quadro 5.1 e figura 5.7);
- 5-A água de fundo foi coletada por meio de roseta/CTD (NPo Alte Maximiniano) ou garrafas de van Dorn (nos botes) e os dados físico-químicos (temperatura, pH, pHmV, ORP, condutividade, turbidez, oxigênio dissolvido, DO%, TDS, salinidade e gravidade específica) mensurados por meio de sonda microparamétricas Horiba.

Quadro 5-1:Relação das amostras coletadas, em 2013 e 2014, e respectivas localizações, profundidade, data de coleta, tipo de amostragem. Borbulhas = emanções e formação de bolhas visíveis na superfície d'água, Sal= são precipitações químicas de coloração branca.

DECEPTION	Área	Código da amostra	Data da coleta	Latitude	Longitude	Profundidade (m)	Ambiente	Borbulhas/sal	Método de coleta	Nº de amostras
	Fumarole Bay	FB01	15/01/2013	62°57'23,6" S	60°42'41,8" W	0	Entre-marés	B	manual	1
		FB02	16/01/2013	62°58'25,6" S	60°42'36,6" W	0	Supralitoral	B	manual	1
		FB03	16/01/2013	62°58'25,6" S	60°42'36,6" W	0,3	Sublitoral	B	manual	1
		FB04	16/01/2013	62°58'03,5" S	60°42'26,3" W	4,6	Sublitoral raso	-	bote- van Veen	1
		FB05	16/01/2013	62°58'00,3" S	60°42'20,5" W	10,95	Sublitoral raso	-	bote- van Veen	1
		FB06	16/01/2013	62°57'39,0" S	60°40'44,8" W	120	Sublitoral profundo	-	navio-box corer	8
		FB07	17/01/2013	62°57'85,4" S	60°12'33,8 W	90	Sublitoral profundo	-	navio-box corer	7
		FB08	17/01/2013	62°58'00,1" S	60°42'19,5" W	9,85	Sublitoral raso	-	bote- van Veen	1
		FB09	17/01/2013	62°58'02,2" S	60°42'18,7" W	13,4	Sublitoral raso	-	bote- van Veen	1
		FB2014	14/01/2014	62°58'02,7" S	60°42'36,4" W	1,5	Sublitoral raso	B	bote- van Veen	7
	Whalers Bay	WB01	18/01/2013	62°59'10,9" S	60°33'59,7" W	42	Sublitoral profundo	-	navio-box corer	7
		WB02	18/01/2013	62°59'01,0" S	60°33'38,0" W	65	Sublitoral profundo	-	navio-box corer	8
		WB03	18/01/2013	62°58'46,1" S	60°33'24,7" W	0	entre-marés	B	manual	1
		WB04	18/01/2013	62°58'46,1" S	60°33'24,7" W	0,5	Entre-marés	B/S	bote-manual	1
WB05		18/01/2013	62°58'46,9" S	60°33'30,0" W	28,95	Sublitoral raso	B/S	bote-van Veen	1	
3 SISTERS		3SisA	22/01/2014	62°38'34,5" S	58°58'66,4" W	1188	mar profundo	-	Box corer	6
		3SisB	22/01/2014	62°38'73,0" S	58°59'53,0" W	1145	mar profundo	-	Box corer	19

Figura 5-6: Pontos amostrais em Fumarole Bay e Whalers Bay, Deception. Imagens de Google Earth.

Figura 5-7: Imagem do Estreito de Bransfield, localização de Three Sisters. Fonte: NOAA.
https://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/06sounds/logs/hires/bransfield_hires.jpg

5.2 Análise sedimentológica

5.2.1 Granulometria

As amostras coletadas foram quarteadas até massas de aproximadamente 50g, elutriadas e postas em estufa a 60°C. Posteriormente, foram separadas, por peneiramento e pipetagem, segundo Suguio (1973). As frações maiores que 0,062mm foram separadas por meio de peneiras com malhas que seguem a escala de Wentworth (1922). Para a fração menor que 0,062mm foi realizada pipetagem segundo Suguio (1973). Foram obtidas frações granulométricas em intervalos de 0,5 Φ , segundo Krumbein & Sloss (1963), classificadas

também, segundo a escala de Wentworth (1922). As análises foram realizadas no laboratório de Sedimentologia Armando Márcio Coimbra do Instituto de Geociências da USP (LabSed, IGc-USP).

Ao final das análises de granulometria de cada amostra, foram calculados os valores percentuais das frações granulométricas de 0,5 Φ , o que permitiu obter estatísticas descritivas (diâmetro médio, desvio padrão, assimetria e curtose). Nos pontos onde a amostragem foi feita com box corer, obtiveram-se perfis de variação de granulometria, com o objetivo de verificar a variação destes parâmetros de acordo com o aumento da profundidade, no sedimento.

A variação espacial das estatísticas de distribuição granulométrica, ao longo dos testemunhos, foi avaliada com aplicação de correlação, com determinação de coeficiente de correlação linear de Pearson “r” e o respectivo nível de significância “p” (ou erro tipo 1), calculado pelo “t” de Student. Este nível mede a probabilidade de que a correlação seja inexistente. Apenas correlações com valor $<0,05$ foram aceitas. Para a execução desta etapa de trabalho, foi utilizada a planilha Momento 4.1, o programa Excel 2010.

5.2.2 Teores de CaCO_3

Os teores de CaCO_3 foram obtidos seguindo Gross (1971). As amostras foram pesadas e, posteriormente, colocadas em solução de HCl a 10% por 24 horas. Foram, então, lavadas até estarem livres de resíduos de HCl e levadas à estufa a 60°C durante mais 24 horas. Após estes procedimentos, para a obtenção dos teores de CaCO_3 , as amostras foram pesadas novamente e foi calculada a diferença de peso entre a massa inicial, e a massa final. Foi aplicado o teste de correlação, aos teores de CaCO_3 das amostras, idêntico ao aplicado às estatísticas descritivas de granulometria. A classificação dos sedimentos, segundo o conteúdo de carbonato de cálcio, foi feita de acordo com a proposição de Larssonneur *et al.* (1982). Segundo estes autores, sedimentos que apresentam teores inferiores a 30 % de CaCO_3 são litoclásticos, entre 30 e 50 % litobioclásticos; entre 50 e 70 %, biolitoclásticos e sedimentos com mais de 70 %, bioclásticos.

5.2.3 Análise da composição geoquímica dos sedimentos

5.2.3.1 Análise por ICP-MS

As amostras relativas à campanha de 2012-2013 (OPERANTAR XXXI) foram analisadas por espectrômetro de massa com plasma acoplado (ICP-MS) no Acme Lab.

Todas as amostras, foram secas em estufa a temperaturas não superiores a 60°C e pulverizados em moinho de ágata.

Para a análise de elementos metálicos, o método utilizado foi o IF-MS, código IF04. Após as amostras serem secas em estufa a temperaturas de até 60°C e pulverizadas em moinho de ágata, 0,5 g de sedimento seco foi solubilizado com 6 ml/g de água régia, ou seja, HNO₃+ HCl, e aquecido em banho-maria, a ~90 °C, por 60 minutos. Depois de resfriadas, as soluções foram filtradas em membrana mista de éster de celulose de 0,45 mm, de diâmetro de poro, e avolumadas para 10,0 ml com água deionizada.

Esse método, não extrai quantitativamente todos os elementos do sedimento, mas apenas aqueles potencialmente disponíveis por lixiviação natural ou processos biológicos. A fração lixiviável dos sedimentos inclui os metais e outros elementos de origem natural ou antrópica, que se encontrem associados à matéria orgânica ou agregados superficialmente a matrizes argilosas. Portanto, não há ataque aos fragmentos cristalinos, constituídos pela matriz de silicato e elementos associados. As concentrações dos elementos maiores foram fornecidas em porcentagens e dos elementos traço, em ppm e ppb.

5.2.3.2 Análise por ICP-OES

As análises químicas, dos elementos-traço, das amostras da campanha operantar XX (2013-2014), foram realizadas no laboratório de Química Inorgânica Marinha (LaQiMar) do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.

Os teores de As, Cd, Mn, Ni, Pb, Zn, Sc, Fe, Cu, K, Al, Mg, Ti e Ca foram quantificados por espectrometria de emissão óptica de acordo com o método SW-846 USEPA 6010c (USEPA, 2006). O equipamento utilizado foi o ICP-OES da marca Varian, modelo 710-ES.

As amostras têm que ser maceradas e homogeneizadas em moinho de ágata. Posteriormente, adiciona-se uma solução ácida, o que ocasionará a solubilização dos metais ligados a carbonatos, óxi-hidróxidos de ferro e manganês, matéria orgânica e argilas.

A solução é então convertida em um aerossol que, por sua vez, é conduzido ao plasma de argônio. Essa fonte de plasma excita os íons dos elementos (a 7.000-10.000K) a níveis mais altos de energia. Os elétrons voltam ao seu estado fundamental e emitem fótons (energia na forma de luz). Essas emissões são direcionadas ao policromador que, por sua vez, as decompõe e separa por comprimentos de ondas, como cada elemento possui radiações características, é possível quantificar-se as concentrações de cada um deles nas amostras (Boss & Fredden, 1997).

A concentração dos elementos é calculada através da equação 1

$$[E] = \frac{Vp \times Fd \times Vf}{m}$$

Equação 1

Onde

[E]: Concentração do elemento de interesse, em mg/kg;

Vp: Valor encontrado no plasma, em mg/L;

Fd: Fator de diluição;

Vf: Valor final em ml;

M: massa em g.

5.2.3.3 Interpretação dos resultados

A interpretação dos resultados das concentrações de metais pode ser dificultada, já que sua concentração pode ser afetada por fatores que poderiam alterar a quantidade de metais nos sedimentos, como taxa de sedimentação, quantidade de matéria orgânica, tamanho dos grãos. Para minimizar os possíveis erros, que possam ocorrer, utilizam-se métodos de normalização (Clark *et al.* (2000). Os elementos químicos analisados neste trabalho foram normalizados pelo elemento Al, dado que é um elemento químico pouco móvel (Murray *et al.*, 1991, 1992; Tribovillard *et al.*, 2006), e que a distribuição desse elemento reflete a variação granulométrica dos sedimentos, dado que alguns minerais estão associados a frações granulométricas específicas (Herut & Sandler, 2006), como por exemplo minerais pesados que se concentram na fração areia fina.

As razões Al/Ti, juntamente com CaCO₃, densidades de testas de foraminíferos, nas duas áreas além de densidades de frústulas de diatomáceas em Deception, foram utilizadas para a

determinação da produtividade na coluna de água, dado que, refletem o acúmulo de material biogênico (Angino, 1966; Murray *et al.*, 1993, Murray & Leinen, 1996; Dymond *et al.*, 1997; Pattan *et al.*, 2003), em alguns contextos.

Foram avaliadas as variações dos metais e nutrientes, com o intuito de estimar a taxa de sedimentação aproximada na Ilha Deception.

Como os métodos de datação disponíveis não conseguem fornecer as idades de amostras de sedimentação atual, foi utilizada uma abordagem *multiproxies*, em Deception, para descrever a sedimentação em um ciclo anual, o que foi possível devido à sua alta taxa de sedimentação. Por meio de dados sedimentológicos, geoquímicos e biológicos (foraminíferos e diatomáceas) foi realizada uma estimativa e primeira aproximação da taxa de sedimentação, em quatro pontos da Ilha Deception.

Os testemunhos de Three Sisters foram analisados sob outro enfoque, dado que a taxa de sedimentação é bastante baixa. Ademais, as análises geoquímicas, desses sedimentos, foram realizadas por ICP-OES, equipamento que detecta menor número de elementos químicos.

5.3 Análises da biota-foraminíferos e diatomáceas

5.3.1 Foraminíferos

Para a análise da meiofauna foram seguidos os seguintes procedimentos:

- 1-As amostras foram conservadas em álcool, do momento da coleta até chegarem ao laboratório; foram então, coradas com Rosa de Bengala durante, no mínimo 3 dias;
- 2- Alíquotas de, no mínimo, 10cm³ de sedimentos foram separadas, de cada amostra e peneirada a úmido em malhas de 0,500 mm e 0,062 mm (Schröder *et al.*, 1987);
- 3-O sedimento retido nas peneiras foi seco em estufa a 45 °C por 24 horas;
- 4-Posteriormente, os espécimes foram separados da porção total de sedimentos por meio de flotação; nessa fase foi utilizado tricloroetileno (C₂HCl₃) (Scott *et al.*, 2001). A densidade do tricloroetileno é, aproximadamente, 1,46 g/cm³, ou seja, menor que o da calcita (que compõe a maior parte das testas dos foraminíferos), que é 2,72 g/cm³. No entanto, a testa oca desses organismos os torna menos densos que o tricloroetileno, o que possibilita sua flotação nesse meio;
- 5-Sob o microscópio estereoscópico, modelo Zeiss Stemi SV11, foi realizada a triagem final, na qual foram separados 300 exemplares de foraminíferos vivos, nas amostras onde isso foi

possível, com os quais foram montadas lâminas específicas para esse fim. Foram considerados organismos vivos aqueles que apresentaram as primeiras câmaras coradas, com no mínimo metade da testa corada. Porém, a separação não é perfeita e, mesmo após essa fase, é necessária a observação do resíduo resultante do material flotado; em alguns casos não foi atingido o número de 300 espécimes, principalmente no setor *Three Sisters*. Em várias amostras foi necessário lavar várias aliquotas de 10cm³ para atingir a quantidade de 300 espécimes;

6-A identificação e classificação taxonômica foi realizada utilizando-se obras de referência do acervo do Laboratório de Micropaleontologia Prof. Setembrino Petri (e.g., Loeblich & Tappan (1987) e artigos diversos (Herb, 1971; Finger & Lipps, 1981; Mackensen *et al.*, 1990; Mackensen *et al.*, 1995; Gazdzicki & Majewski, 2003; Gray *et al.*, 2003; Mikhalevich, 2004; Majewski, 2010; Majewski, 2013; Hromic, 2014; Rodrigues *et al.*, 2015)

7- Para a caracterização das estruturas das associações de foraminíferos bentônicos foram utilizados os seguintes índices ecológicos:

Densidade (d): É o número de indivíduos existentes em cada cm³ de amostra;

Riqueza (R): número total de espécies encontrado em cada amostra;

Índice de Shannon (H'): expressa riqueza e uniformidade da amostra sendo que, quanto maior o valor obtido, maior será a diversidade da população estudada. Estabelece igual peso entre as espécies raras e abundantes (Magurran, 1988). É dado pela equação 2

$$H' = \frac{\left[N \ln(N) - \sum_{i=1}^S n_i \ln(n_i) \right]}{N} \quad \text{Equação 2}$$

Onde H': índice de Shannon; n_i: número de indivíduos amostrados da i-ésima espécie; N: número total de indivíduos da amostra; S: número total de espécies da amostra; ln: logaritmo neperiano.

Índice de Pielou (J): O índice de Equitatividade varia entre 0 e 1, sendo 1 equivalente à máxima diversidade, ou seja, todas as espécies seriam igualmente abundantes. É dado pela equação 3

$$J = \frac{H'}{H \text{ max.}} \quad \text{Equação 3}$$

Onde J: Equabilidade de Pielou; Hmax: ln (S); S: Número total de espécies; H': Índice de diversidade de Shannon.

Índice de Simpson (D): é a probabilidade de coletar-se, aleatoriamente, dois indivíduos em uma amostra e eles pertencerem à mesma espécie (Brower & Zar, 1984). As espécies mais raras têm peso menor na aplicabilidade do índice. Este índice é dado pela equação 4

$$C = 1 - \frac{\sum_{i=1}^S n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

Equação 4

Onde C: índice de dominância de Simpson; n_i : número de indivíduos amostrados da i -ésima espécie; N: número total de indivíduos da amostra.

Quanto maior o valor do índice, menor será a diversidade.

8- As espécies identificadas foram classificadas de acordo com seu *habitat*, se epifaunais, infaunais ou epifaunais/infaunais. Os critérios para essa classificação foram baseados nos trabalhos já citados no item 6.

9- As testas foram classificadas de acordo com o índice de oxigenação de cada ambiente; ou seja, de ambientes óxicos, sub-óxicos ou anóxicos segundo os critérios de Kaiho (1994).

10- As testas seriam classificadas segundo o índice BFOI. Porém, no decorrer do trabalho, foi observado que as espécies calcárias observadas nos sedimentos ou eram indicativas de ambientes sub-óxicos/disóxicos, ou sendo indicadoras de ambientes óxicos, possuíam dimensões que variaram entre 20 μm e > 500 μm , as menores, provavelmente por representarem formas juvenis e não por estarem sob condições de anoxia.

11- Para poder avaliar os efeitos dos processos *post mortem* nas tanatocenoses de foraminíferos bentônicos, no intervalo entre sua deposição e coleta, foi realizada análise tafonômica baseada em Cottey & Hallock (1988), com algumas modificações, devido à grande quantidade de testas a serem examinadas. Ou seja, as testas foram analisadas segundo os parâmetros: fragmentação (testas quebradas), corrosão química (quando a testa apresenta irregularidades em sua superfície, mas sem fraturas), abrasão (desgaste). Com relação à coloração das amostras e impregnadas por FeS, as testas foram agrupadas em brancas (sem nenhum material orgânico em seu interior), amarelas (coloração em vários tons de amarelo) marrons e pretas (impregnadas por FeS) segundo Leão e Machado (1989). Foram desconsiderados os fragmentos nos quais não fosse possível identificar, pelo menos, o gênero do indivíduo.

12- Foram consideradas predominantes as espécies que corresponderem a mais que 50% do total de indivíduos de cada amostra. As espécies que contabilizaram valores entre 25% e 50 %

foram consideradas acessórias. As espécies com porcentagens entre 5% e 25% foram consideradas raras.

5.3.2 Diatomáceas

Embora não estivesse prevista a análise da comunidade de diatomáceas, foi realizado um estudo quantitativo, dos 4 testemunhos de Deception, WB01, WB02, FB06 e FB07, e do ponto WB05. As contagens foram utilizadas como indicador de produtividade. O estudo taxonômico está em andamento e deverá ser concluído em breve.

Para a quantificação das valvas foram utilizadas amostras com massa de, aproximadamente, 1 grama de sedimento. Após o sedimento ter sido oxidado, segundo Battarbee (1986), o material foi lavado em peneira de 10 µm, para possibilitar a montagem das lâminas, já que o sedimento, ao ser em grande parte coloidal, acabava por impedir a visualização das valvas, quando já colocadas em lâminas. Ao material obtido depois do peneiramento, foi adicionada água deionizada até completar o volume de 12 ml. Para a montagem das lâminas permanentes foi utilizado Entellan-Merck, com índice de refração 1,492-1,500 a 20°C.

As imagens foram obtidas em microscópio Zeiss, sob aumento de 1000 X.

Para a contagem foi utilizado microscópio Zeiss Axioscop 2 plus, sob aumento de 1000 X. A análise quantitativa foi realizada de acordo com Battarbee (1986), sendo a contagem realizada por valvas. Incluíram-se, na contagem, os fragmentos que fossem $\geq$ a meia valva e desde que fosse possível identificar a que gênero ou espécie o organismo pertencia.

5.4 Análises estatísticas

Nas abordagens estatísticas Análise de Componentes Principais (PCA), multivariada por agrupamento e correlações simples foi utilizado o programa Past, versão 3.14.

5.4.1 Análise de Componentes Principais (PCA)

Os resultados das concentrações de elementos químicos, obtidos por ICP-MS e ICP-OES, foram analisados usando-se abordagem estatística Análise de Componentes principais (PCA). A PCA é um procedimento matemático que utiliza a transformação ortogonal (ortogonalização

de vetores) para converter um conjunto de observações de variáveis possivelmente correlacionadas em um outro conjunto de variáveis não correlacionadas chamadas componentes. O número das componentes maiores é menor ou igual ao número de variáveis originais (Jolliffe, 2002), o que, facilitaria o reconhecimento de amostras que contenham anomalias e mostraria as relações de semelhança e diferença, entre as variáveis medidas e os agrupamentos de amostras.

5.4.2 Análise multivariada por agrupamento

Os resultados obtidos com a PCA (Análise de Componentes Principais), das análises granulométricas e das concentrações de CaCO_3 dos sedimentos de todas as amostras foram analisados usando-se análise multivariada por agrupamento, modo Q, com o propósito de agrupar amostras de acordo com seu grau de semelhança. O algoritmo utilizado foi o de Ward e o índice de similaridade foi euclidiano; a distância de corte foi de 8,5.

5.4.3 Correlações simples

Os dados obtidos por PCA, granulometria, CaCO_3 , espécies dominantes das assembleias de foraminíferos, índices ecológicos para foraminíferos e densidade de valvas de diatomáceas foram analisados aplicando-se correlação de Spearman. O valor crítico do nível de significância foi $\leq 0,05$.

5.4.4 Análise de Correspondência Canônica

A análise de Correspondência Canônica é uma abordagem estatística multivariada que combina as variáveis originais e maximiza a variação entre grupos, em relação à variação dentro dos grupos. Essa relação é representada em um sub-espço bidimensional, ou tridimensional, pelos vetores canônicos (Campbell & Atchley, 1981).

6 RESULTADOS

6.1 Three Sisters

6.1.1 Three Sisters A-3SisA

6.1.1.1 Granulometria-Exame geral das estatísticas de distribuição diâmetro médio

A amostragem, no ponto 3SisA, foi realizada com box corer, sendo composta por 8 camadas, por vezes, intercaladas por seixos. As camadas analisadas foram: Recente, 2-4 cm, 6-8 cm, 8-10 cm, 12-14 cm, 22-24 cm, 26-28 cm e 32-33 cm (Figura 6.1).

O exame da estatística de distribuição, diâmetro médio, das amostras coletadas, no ponto 3SisA, mostrou variação entre $7,33 \phi$ (2-4 cm) e $-0,15 \phi$ (Rec), ou seja, entre silte muito fino e areia muito grossa, de acordo com Krumbein & Sloss (1936), excetuando-se as camadas compostas por sedimentos muito grossos ($> -1 \phi$), que não foram analisadas. A correlação entre variação granulométrica e profundidade, nesse testemunho, mostra granodecrescência ascendente entre a camada de base e 2-4 cm, havendo correlação positiva entre o tamanho do grão e a profundidade das amostras, sendo $r=-0,944$ e $p=0,05$ (Figura 6.1).

A relação sedimentos finos/sedimentos grossos, ao longo do testemunho variou entre 0,10 (Rec) e 64,37 (2-4 cm) (Apêndice 1).

Figura 6-1: Distribuição da estatística descritiva diâmetro médio e porcentagens de cascalho, areia e silte/argila das amostras do ponto 3SisA. Notar que a coleta foi produzida de modo descontínuo. As amostras foram coletadas nas profundidades destacadas no gráfico.

6.1.1.2 Teores de CaCO_3

Os teores de CaCO_3 , no testemunho do ponto 3SisA, variaram entre 6,08 % (Rec) e 23,53 % (2-4 cm), ou seja, sedimentos litoclásticos segundo Larssonneur *et al.*, (1982), (Apêndice 1). Assim como no caso do parâmetro diâmetro médio, retirando-se dos testes estatísticos de correlação, os valores relativos à camada Recente, o resultado foi estatisticamente consistente ($p=0,68344$ e $r=0,05$). Observou-se que os teores de CaCO_3 aumentam da base para o topo do testemunho (Figura 6.2).

Figura 6-2: Distribuição dos teores de CaCO_3 no testemunho 3SisA.

6.1.1.3 Análise microfaunística- foraminíferos

Foram observadas testas de foraminíferos em todas as camadas, com exceção das camadas 8-10 cm e 22-24 cm. Testas de foraminíferos planctônicos foram observadas apenas nas camadas 2-4cm, 6-8 cm, 26-28 cm e 32-33 cm. Na contagem total de planctônicos os valores variaram entre 0,02%, em 2-4cm, e 9,09%, em 26-28cm. A porcentagem de 0,02% de planctônicos observada na camada 2-4 cm, provavelmente deva-se à contaminação da amostra (Tabela 6.1).

Tabela 6-1: Porcentagens de foraminíferos planctônicos e bentônicos, das camadas do testemunho 3SisA.

Ponto Amostral	Profundidade	Planctônicos (%)	Bentônicos (%)
3SisA	Recente	0	100
	(2-4 cm)	0,02	99,98
	(6-8 cm)	4,41	95,59
	(8-10 cm)	0	0
	(12-14 cm)	0	100
	(22-24 cm)	0	0
	(26-28 cm)	9,09	90,91
	(32-33 cm)	1,02	98,98

Foram observadas 48 espécies de foraminíferos bentônicos, ao logo do testemunho 3SisA, pertencentes a 37 gêneros distintos, 18 subfamílias, 15 famílias, 10 superfamílias, 8 subordens, 4 ordens, 3 classes (Apêndices 2, 3 e 4).

Espécies dominantes, ou seja, que perfizeram mais de 50% do total de testas, na associação tanatocenose ou biocenose, de uma das camadas do testemunho foram: *Ammoglobigerina pygmaea*, *Miliammina arenacea*, *Portatrochammina* sp. e *Recurvoides contortus*.

Espécies subdominantes, ou seja, que totalizaram entre 50% e 25% do total de indivíduos do testemunho foram: *Adercotryma glomeratum*, *Deuterammina grisea*, *Lepidoparatrochammina lepida*, *Miliammina lata*, *Miliammina* sp. e *Recurvoidella bradyi*.

As espécies acessórias, que variam entre 25% e 5%, observadas no testemunho 3SisA foram: *Ammodiscus incertus*, *Deuterammina grisea*, *Fursenkoina* sp., *Nonionella* sp., *Portatrochammina* sp., *Reophax curtus* e *Spiroplectammina biformis*.

As demais espécies, com ocorrência menor que 5% foram consideradas raras (Apêndices 5 e 6).

Em todas as camadas observaram-se que os indivíduos do gênero *Portatrochammina* apresentam dimensões bastante reduzidas (geralmente menores que 20 µm) e são bastante frágeis. Os indivíduos do gênero *Miliammina* e *Quinqueloculina*, do mesmo modo são bastante frágeis e, muitas das vezes se desintegraram no momento da triagem.

6.1.1.3.1 Índices ecológicos: densidade, riqueza, Shannon, Pielou e Simpson.

Tabela 6-2: Índices ecológicos: densidade, riqueza, Shannon, Pielou e Simpson, nas camadas do testemunho 3SisA.

3SisA	Recente	(2-4 cm)	(6-8 cm)	(8-10 cm)	(12-14 cm)	(22-24 cm)	(26-28 cm)	(32-33 cm)
Densidade/10cc	5	26,83	66	0	71	0	3,66	32
Riqueza	15	31	40	0	16	0	6	11
Shannon	2,227	2,601	2,775	0	1,7	0	1,894	1,484
Pielou	0,823	0,758	0,752	0	0,613	0	1,057	0,619
Simpson	0,158	0,127	0,09	0	0,361	0	0,149	0,339

A densidade na contagem total de testas, variou entre 0,33 (26-28 cm) e 7,4 (12-14 cm), com média de 2,59. Não foi observada tendência única de valores para esse parâmetro (Figura 6.3). A riqueza de espécies (tabela 6.2) variou entre 6 (26-28 cm) e 40 (6-8 cm), com média de 14,87 testas por cm³.

O índice de Shannon (Tabela 6.2) alcançou valores de 1,48 (32-33 cm) a 2,77 (6-8 cm). A equabilidade de Pielou (tabela 6.2) ficou entre 0,61 (3SisA 12-14 cm) e 1,06 (26-28 cm). O índice de dominância de Simpson (Tabela 6.2) ficou entre 0,09 (6-8 cm) e 0,36 (12-14 cm).

Figura 6-3: Distribuição das densidades, riqueza, índices de Shannon, de Pielou e de Simpson das testas de foraminíferos, das comunidades, do testemunho 3SisA.

A variação dos índices ecológicos não mostra uma tendência única, porém ocorre dentro de uma faixa restrita de valores, que se alternam, entre mais altos e mais baixos, o que parece indicar a sazonalidade e ciclicidade com que as espécies se desenvolvem nesse local (Figura 6.3).

6.1.1.3.2 Espécies aglutinantes X espécies calcárias

Em todas as camadas há predominância de espécies aglutinantes (Tabela 6.3). As curvas de distribuição (figura 6.4) das espécies aglutinantes seguem o mesmo padrão das curvas observadas nos índices ecológicos (item 6.1.1.3.1.)

As espécies calcárias ocorrem em pequeno número, com máximo de 11,1%, na camada 2-4 cm.

Tabela 6-3: Porcentagens de testas de espécies aglutinantes e calcárias, no testemunho 3SisA.

Ponto Amostral	Profundidade	Aglutinantes (%)	Calcários (%)
3SisA	Recente	91,11	8,89
	(2-4 cm)	88,9	11,1
	(6-8 cm)	92,48	7,52
	(8-10 cm)	0	0
	(12-14 cm)	95,24	4,76
	(22-24 cm)	0	0
	(26-28 cm)	100	0
	(32-33 cm)	93,75	6,25

A distribuição nas biocenoses e tanatocenoses são semelhantes, excetuando-se a camada Recente, onde não foram observados indivíduos vivos (Figura 6.4).

Figura 6-4: Distribuição de testas de espécies aglutinantes e calcárias, ao longo do testemunho 3SisA.

6.1.1.3.3 Espécies calcárias indicadoras de níveis de oxigenação

As espécies calcárias encontradas no testemunho 3SisA são, em sua grande maioria, indicadoras de ambientes sub-óxicos e disóxicos, de acordo com Kaiho (1994). As duas únicas espécies calcárias indicadoras de ambientes óxicos, observadas ao longo do testemunho 3SisA, foram *Globocassidulina* sp. e *Quinqueloculina* sp. Foram contabilizadas, no entanto, como espécies sub-óxicas devido suas dimensões serem menores que 350 µm, o que indicaria um menor aporte de oxigênio. As espécies sub-óxicas observadas foram: *Astrononion* sp., *Pullenia bulloides*, *Stainforthia fusiformis* e *Uvigerina* sp. Alguns indivíduos de *Fursenkoina* spp., foram as espécies disóxicas observada no testemunho.

Na contagem total de espécies calcárias sub-óxicas o menor valor encontrado foi 0 e o maior 100%; já a variação nas espécies disóxicas foi de 0 a 56,68% (Tabela 6.4).

Além das espécies calcárias, as espécies pertencentes à família Trochamminidae, por apresentarem, em sua grande maioria, pequenas dimensões (<50 µm), foram consideradas indicadoras de ambiente sub-óxico/disóxico Kaiho (1994). Esses indivíduos não entraram na contagem juntamente com as espécies calcárias, porém foram úteis para corroborar as indicações de ambientes com menor oxigenação.

Tabela 6-4: Porcentagem de testas de espécies calcárias, indicadoras de concentração de O₂, do testemunho 3SisA.

	Profundidade	Óxicas (%)	Sub-óxicas (%)	Disóxicas (%)
3SisA	Recente	0,00	100,00	0,00
	(2-4 cm)	0,00	43,31	56,68
	(6-8 cm)	0,00	74,97	25,03
	(8-10 cm)	0,00	0,00	0,00
	(12-14 cm)	0,00	92,13	7,69
	(22-24 cm)	0,00	0,00	0,00
	(26-28 cm)	0,00	0,00	0,00
	(32-33 cm)	0,00	0,00	0,00

O gráfico de distribuição das espécies calcárias, indicadoras de níveis d oxigenação, mostra tendência de aumento, da base para o topo, de testas de espécies sub-óxicas e um pico positivo de espécies disóxicas, na camada 6-8 cm, na qual essas espécies são predominantes (Figura 6.5).

Figura 6-5: Distribuição de testas de espécies indicadoras de ambientes Óxicos, sub-óxicos e disóxicos, ao longo do testemunho 3SisA.

6.1.1.3.4 Espécies segundo seu tipo de habitat

As espécies de foraminíferos de *habitat* epifaunal, segundo classificação já descrita no item 5.3.1.9, variaram entre 4,12%, na camada 32-33cm e 50,12% na camada Rec (Tabela 6.3).

As espécies de *habitat* infaunal mostraram porcentagens entre 17,78% e 90,72%, nas camadas Rec e 32-33 cm, respectivamente (Tabela 6.3).

A variação nas porcentagens de espécies de *habitat* epifaunal/infaunal situou-se entre 5,15%, na camada 32-33 cm, e 45,45%, na camada 26-28 cm (Tabela 6.5).

Tabela 6-5: Porcentagens de testas de espécies com hábitos epifaunais/infaunais, infaunais e epifaunais, ao longo do testemunho 3SisA.

Ponto Amostral	Profundidade (cm)	Epifauna/infauna (%)	infauna (%)	epifauna (%)
3SisA	Recente	32,10	17,78	50,12
	(2-4 cm)	32,89	31,27	35,84
	(6-8 cm)	37,13	45,48	17,39
	(8-10 cm)	0,00	0,00	0,00
	(12-14 cm)	14,45	74,37	11,19
	(22-24 cm)	0,00	0,00	0,00
	(26-28 cm)	45,45	45,45	9,09
	(32-33 cm)	5,15	90,72	4,12

Foram observadas grandes variações, ao longo das camadas, entre testas de espécies relativas aos três tipos de *habitats*, epifaunal, infaunal e epifaunal/infaunal (Figura 6.6).

Figura 6-6: Distribuição de espécies de foraminíferos epifaunais/infaunais, infaunais e epifaunais do testemunho 3SisA.

Os gráficos de variação de espécies, segundo seu *habitat* (Figura 6.6.), mostram o predomínio de foraminíferos de infauna em todas as camadas, com exceção da camada Rec.

6.1.1.4 Análises geoquímicas dos sedimentos do testemunho 3SisA

Os resultados das análises geoquímicas dos sedimentos de 3SisA estão na tabela 2, sub-seção 3.2 do capítulo 8.

6.1.2 Three Sisters B-3SisB

6.1.2.1 Granulometria-Exame geral das estatísticas de distribuição

A amostragem, no ponto 3SisB, foi realizada com box corer, sendo composta por 19 camadas: Recente; 0-2cm; 2-4cm; 4-6cm; 6-8cm; 8-10cm; 10-12cm; 12-14; 14-16cm; 16-18cm; 18-20cm; 20-22cm; 22-24cm; 24-26cm; 26-28cm; 28-30cm; 30-32cm; 32-24cm; 34-36cm.

Nas amostras coletadas no ponto 3SisB, a análise granulométrica mostrou que os valores de diâmetro médio variam entre 6,84 ϕ e 4,94 ϕ e foram classificados, de acordo com Krumbein & Sloss (1936), entre silte fino e silte grosso. O desvio padrão médio situa-se entre 1,28 ϕ e 2,41 ϕ , ou seja, entre pobremente selecionado e muito pobremente selecionado. Já a assimetria variou de -0,87 até 0,71, isto é, muito negativa a muito positiva. A relação sedimentos finos/sedimentos grossos, ao longo desse testemunho variou entre 24,19, (2-4 cm) e 11,33, em Recente-(Apêndice 1).

O teste de correlação, realizado com os dados de variação de diâmetro médio no testemunho e profundidade (figura 6.7), foi estatisticamente insatisfatório ($r=0,2513$ e $p=0,2$), não indicando tendência única de variação. No entanto, o comportamento da curva das estatísticas granulométricas mostra uma alternância de valores, sem grandes variações, situando-se sempre dentro de uma faixa restrita de valores (Figura 6.7). A exceção é o parâmetro curtose, que apresenta, picos positivos nas camadas Recente e 6-8cm. Essa observação indicaria sedimentação de grãos finos, em ambiente relativamente calmo, mas com alternância de energia, que provavelmente seja sazonal, aparentemente tem-se os registros de, pelo menos, 8 ciclos de deposição.

Figura 6-7: Distribuição da estatística descritiva diâmetro médio do ponto 3SisB.

6.1.2.2 Teores de CaCO_3

No testemunho do ponto 3SisB, os teores de CaCO_3 variaram entre 11,33% e 24,19%, ou seja, litoclásticos, segundo Larssonneur *et al.*, (1982), (Apêndice 1).

O teste de correlação aplicado aos teores de CaCO_3 mostrou não haver forte correlação estatística entre os valores ($r=-0,1025$, $p=0,4$). No entanto, excluindo-se do conjunto de dados, os valores referentes à camada 3SisB Recente, foram obtidos $r=-0,52903$ e $p=0,025$. Ou seja, correlação negativa e consistente estatisticamente, isto é, quanto mais se avança, da base para o topo do testemunho, a tendência é de maior porcentagem de CaCO_3 na amostra (figura 6.8).

Figura 6-8: Distribuição dos teores de CaCO_3 no testemunho 3SisB.

A configuração da curva de CaCO_3 , de 3SisB, apresenta a mesma tendência de variação, que ocorre em 3SisA, entre a camada mais superficial e a camada 0-2 cm, subjacente àquela (Figura 6.2).

6.1.2.3 Análise microfaunística- foraminíferos

Observaram-se associações de foraminíferos em todas as camadas do testemunho 3SisB (Anexos 7, 8 e 9).

Nas tanatocenoses foram observados foraminíferos planctônicos apenas nas camadas 0-2cm, 2-4cm, 4-6cm, 6-8cm, 8-10cm e 34-36cm em porcentagens que variaram entre 0,47%, em 4-6 cm e 34-36 cm e 4,86% em 0-2cm. Na contagem total de planctônicos, as porcentagens observadas estão entre 0,47%, em 34-36 cm e 5,19% em 3SisB 0-2 cm-(Tabela 6.6).

Em todas as camadas do testemunho os indivíduos da espécie *Miliammina arenacea* apresentaram-se fragmentados e bastante frágeis, rompendo-se em muitos casos, no momento da triagem. As espécies do gênero *Trochammina*, observados nas amostras apresentaram cor amarelo pálido, bastante claro, estavam bastante desgastadas e frágeis, desfazendo-se, também, no momento da triagem.

Tabela 6-6: Porcentagens de foraminíferos planctônicos e bentônicos das camadas do testemunho 3SisB.

Ponto amostral	Profundidade	Planctônicos (%)	Bentônicos (%)
3SisB	Recente	0	100
	(0-2 cm)	5,19	94,81
	(2-4 cm)	1,09	98,91
	(4-6 cm)	0,44	99,56
	(6-8 cm)	0,98	99,02
	(8-10 cm)	1,74	98,26
	(10-12 cm)	0,00	100
	(12-14 cm)	0,00	100
	(14-16 cm)	0,00	100
	(16-18 cm)	0,00	100
	(18-20 cm)	0,00	100
	(20-22 cm)	0,00	100
	(22-24 cm)	0,86	99,14
	(24-26 cm)	0,86	100
	(26-28 cm)	0,86	100
	(28-30 cm)	0,86	100
	(30-32 cm)	0,86	100
	(32-34 cm)	0,86	100
	(34-36 cm)	0,47	99,53

Foram observadas, ao longo do testemunho 3SisB, 97 espécies pertencentes a 62 gêneros distintos, 36 subfamílias, 35 famílias, 26 superfamílias, 14 subordens, 5 ordens e 3 classes (Apêndices 2, 3, 4, 7, 8 e 9). As espécies dominantes foram: *Ammoglobigerina pygmaea*, *Deuterammina grisea*, *Miliammina arenacea*, *Lepidoparatrochammina lepida*, *Miliammina sp.1*, *Miliammina sp.1* (juvenil), *Pullenia bulloides*.

Espécies acessórias: *Adercotryma glomeratum*, *Ammodiscus anguillae*, *Fissurina sp.*, *Fursenkoina davisi*, *Lagenammina difflugiformis*, *Recurvoidella bradyi*, *Miliammina lata*, *Portatrochammina eltaninae*, *Pseudobolivina antarctica*, *Reophax curtus*, *Stainforthia fusiformis*, *Textularia wiesneri*, *Trochammina quadricamerata*, *Trochammina sp.*, *Trochammina squamata*.

Espécies raras: *Ammodiscus incertus*, *Ammonia*, *Angulogerina sp.*, *Astrammina rara*, *Astrononion echolsi*, *Bathysiphon filiformis*, *Cibicides refulgens*, *Cibicides sp.*, *Conotrochammina sp.*, *Cribr stomoides crassimargo*, *Cribr stomoides subglobosus*, *Cystammina pauciloculata*, *Deuterammina glabra*, *Deuterammina rotaliformis*, *Eggerella bradyi*, *Eggerelloides sp.*, *Ehrenbergina crassa*, *Epistominella exígua*, *Fursenkoina sp.*, *Glandulina antarctica*, *Globigerinita glutinata*, *Globigerinita úvula*, *Globocassidulina biora*, *Globocassidulina crassa*, *Glomospira charoides*, *Glomospira gordialis*, *Haplophragmoides*

canariensis, *Hemisphaerammina* sp., *Hormosina robusta*, *Hormosina* sp., *Hormosinella gutífera*, *Hormosinella* sp., *Labrospira crassimargo*, *Lagenammina* sp., *Lagenammina Rhumbler*, *Melonis* sp., *Neogloboquadrina pachyderma*, *Nodulina dentaliniformis*, *Nonion pacificum*, *Nonion* sp., *Nonionella auricula*, *Nonionella auris*, *Parafissurina* sp., *Paratrochammina* sp., *Portatrochammina antarctica*, *Portatrochammina* sp., *Psamosphaera fusca*, *Pseudonodosinella nodulosa*, *Pseudotrochammina echolsi*, *Pullenia* sp., *Pullenia subcarinata*, *Pyrgo* sp., *Recurvoides contortus*, *Reophax duplex*, *Reophax fusiformis*, *Reophax pilulifer*, *Reophax scorpiurus*, *Rhabdammina* sp., *Rosalina* sp., *Saccammina sphaerica*, *Saccammina tubulata*, *Spiroplectammina bififormis*, *Subreophax aduncus*, *Textularia earlandi*, *Tholosina* sp., *Thurammina albicans*, *Tolypammina vagans*, *Trifarina earlandi*, *Trilocularena* sp., *Triloculina* sp., *Trochammina bullata*, *Verneulina minuta*.

6.1.2.3.1 *Índices ecológicos: densidade, riqueza, Shannon, Pielou e Simpson.*

A densidade de testas (por 10 cc) variou entre 11,3 em 10-12 cm e 203,3 em 6-8 cm, com média de 7,11 indivíduos/cm³ (Tabela 6.7). A riqueza de espécies variou entre 3 em 28-30 cm e 51 em 0-2 cm, com média de 20,79 espécies por amostra (Tabela 6.7). O índice de Shannon alcançou valores de 0,50 em 28-30 cm e 3,37 em 0-2 cm, com média de 1,95 (Tabela 6.7). A equabilidade de Pielou ficou entre 0,30 em 12-14 cm e 0,94 em 24-26 cm, com média de 0,65 (Tabela 6.7). O índice de dominância de Simpson variou de 0,04 em 0-2 cm e 0,74 em 28-30 cm, com média de 0,30 (Tabela 6.7).

Tabela 6-7: Índices ecológicos: densidade, riqueza, Shannon, Pielou e Simpson, de foraminíferos, nas camadas do testemunho 3SisB.

3SisB	Densidade/ 10cc	Riqueza	Shannon	Pielou	Simpson
Recente	19,00	22	2,38	0,77	0,14
(0-2 cm)	41,83	51	3,38	0,86	0,04
(2-4 cm)	19,17	31	3,00	0,87	0,07
(4-6 cm)	76,33	28	2,50	0,75	0,12
(6-8 cm)	203,33	33	2,52	0,72	0,13
(8-10 cm)	76,33	31	2,64	0,77	0,11
(10-12 cm)	11,33	7	0,64	0,33	0,73
(12-14 cm)	44,33	10	0,69	0,30	0,74
(14-16 cm)	82,00	14	1,18	0,45	0,52
(16-18 cm)	130,00	18	1,89	0,65	0,25
(18-20 cm)	70,67	12	1,28	0,51	0,44
(20-22 cm)	89,33	20	1,78	0,59	0,34
(22-24 cm)	77,33	27	2,57	0,78	0,12
(24-26 cm)	56,00	23	2,95	0,94	0,05
(26-28 cm)	48,00	16	2,11	0,76	0,22
(28-30 cm)	14,00	3	0,50	0,46	0,74
(30-32 cm)	120,67	23	2,12	0,68	0,22
(32-34 cm)	30,67	9	1,50	0,68	0,33
(34-36 cm)	142,67	17	1,47	0,52	0,41

As curvas de distribuição, dos índices ecológicos Riqueza, Shannon, Pielou e Simpson parecem apontar para uma ciclicidade pois a variação ocorre, como no caso da granulometria, dentro de uma faixa restrita de valores (Figura 6.9).

Figura 6-9: Distribuição das densidades, riqueza, índices de Shannon, de Pielou e de Simpson, de foraminíferos, do testemunho 3SisB.

6.1.2.3.2 Espécies aglutinantes X espécies calcárias

As porcentagens relativas às espécies calcárias e aglutinantes são mostradas na Tabela 6.8.

Tabela 6-8: Porcentagens de testas espécies aglutinantes e calcárias, no testemunho 3SisB.

Ponto amostral	Profundidade	Aglutinantes	Calcários
3SisB	Rec	88,99	11,01
	(0-2 cm)	86,34	13,66
	(2-4 cm)	84,61	15,39
	(4-6 cm)	98,25	1,75
	(6-8 cm)	90,40	9,60
	(8-10 cm)	85,33	14,67
	(10-12 cm)	95,59	4,41
	(12-14 cm)	99,25	0,75
	(14-16 cm)	94,31	5,69
	(16-18 cm)	92,82	7,18
	(18-20 cm)	96,23	3,77
	(20-22 cm)	86,47	13,53
	(22-24 cm)	68,70	31,30
	(24-26 cm)	58,33	41,67
	(26-28 cm)	84,72	15,28
	(28-30 cm)	100,00	0,00
	(30-32 cm)	87,29	12,71
	(32-34 cm)	93,48	6,52
	(34-36 cm)	94,84	5,16

As curvas de distribuição de espécies calcárias e aglutinantes não apresentam tendência única, ao longo do testemunho e os valores oscilam entre uma camada e outra. As curvas apresentam uma certa estabilidade, com exceção da camada 28-30 cm, onde foi observado aumento brusco do número de testas de espécies calcárias, relativamente ao número de espécies aglutinantes (Figura 6.10).

Figura 6-10: Distribuição de testas de espécies aglutinantes e calcárias, ao longo do testemunho 3SisB.

6.1.2.3.3 Espécies calcárias indicadoras de níveis de oxigenação

Assim como no testemunho 3SisA, as espécies calcárias (Tabela 6.9) do testemunho 3SisB são, em sua maioria, indicadoras de ambientes sub-óxicos e disóxicos, segundo Kaiho (1994). A única espécie indicadora de ambientes óxicos foi a *Globocassidulina* sp., no entanto, devido a ser <350µm, foi considerada, na contagem, como espécies de ambiente sub-óxico. As espécies indicadoras de ambientes sub-óxicos foram: *Astrononion echolsi*, *Epistominella exigua*, *Nonionella auricula*, *Nonionella auris*, *Pullenia bulloides*, *Pullenia subcarinata*, *Rosalina* sp., *Stanforthia fusiformis*, *Trifarina* sp. A espécie indicadora de ambientes disóxicos foi *Fursenkoina davisi*.

As porcentagens de espécies óxicas e sub-óxicas apresentaram valores entre 0 e 100%, e as relativas a espécies disóxicas entre 0 e 75%.

Foram, também, indicativas de baixos teores de oxigênio as espécies dos gêneros *Trochammina* e *Portatrochammina*, por apresentarem dimensões < 50 µm, no entanto não entraram na contagem abaixo, por serem aglutinantes.

Tabela 6-9 : Porcentagem de testas de espécies calcárias, indicadoras de concentração de O₂, do testemunho 3SisB.

3SisB-profundidade	Espécies de ambientes óxicos (%)	Espécies de ambientes sub-óxicos (%)	Espécies de ambientes disóxicos (%)
Recente	58,33	41,67	0
0-2 cm	0	100	0
2-4 cm	0	80	20
4-6 cm	0	100	0
6-8 cm	4,35	95,65	0
8-10 cm	0	88,24	11,76
10-12 cm	50	50	0
12-14 cm	100	0	0
14-16 cm	100	0	0
16-18 cm	20	40	40
18-20 cm	0	100	0
20-22 cm	14,29	71,43	14,29
22-24 cm	9,09	81,82	9,09
24-26 cm	32,14	64,29	3,57
26-28 cm	25	75	0
28-30 cm	0	0	0
30-32 cm	10,53	52,63	36,84
32-34 cm	100	0	0
34-36 cm	0	25	75

As curvas de distribuição, das espécies calcárias, evidenciam que a maior parte de testas pertencem a espécies sub-óxicas. As exceções são os intervalos situados entre 12-14 cm e 14-16 cm, onde ocorrem apenas espécies óxicas (Figura 6.11).

Figura 6-11: Distribuição de espécies indicadoras de ambientes Óxicos, sub-óxicos e disóxicos, ao longo do testemunho 3SisB.

6.1.2.3.4 Espécies segundo seu tipo de habitat

As espécies de *habitats* epifaunais apresentaram variações; entre 0 na camada 10-12 cm e 54,59% na camada 4-6 cm (Tabela 6.10). As espécies de *habitats* infaunais mostraram variações entre 19,30% e 100%, nas camadas Rec e 28-30cm, respectivamente (Tabela 6.10). As espécies de epifauna/infauna, por sua vez, variaram entre 0 e 63,16%, nas camadas 28-30 cm e Recente, respectivamente (Tabela 6.10).

Tabela 6-10: Porcentagens de espécies com hábitos epifaunais/infaunais, infaunais e epifaunais, ao longo do testemunho 3SisB.

Ponto amostral	Profundidade	epifauna (%)	infauna (%)	epi/inf (%)
3SisB	Rec	17,54	19,30	63,16
	(0-2 cm)	16,33	38,65	45,02
	(2-4 cm)	46,74	31,52	21,74
	(4-6 cm)	54,59	37,12	8,30
	(6-8 cm)	40,00	49,18	10,82
	(8-10 cm)	52,40	27,07	20,52
	(10-12 cm)	0,00	94,12	5,88
	(12-14 cm)	1,50	95,49	3,01
	(14-16 cm)	0,81	91,06	8,13
	(16-18 cm)	41,03	56,41	2,56
	(18-20 cm)	16,04	79,25	4,72
	(20-22 cm)	20,90	71,64	7,46
	(22-24 cm)	48,28	35,34	16,38
	(24-26 cm)	33,33	30,95	35,71
	(26-28 cm)	26,39	63,89	9,72
	(28-30 cm)	0,00	100,00	0,00
	(30-32 cm)	22,65	67,40	9,94
	(32-33 cm)	4,35	91,30	4,35
	(34-36 cm)	14,95	80,37	4,67

As curvas de variação de espécies, segundo seu *habitat*, mostram a predominância de espécies de infauna, na maior parte das camadas (Figura 6.12).

Figura 6-12: Distribuição de espécies de foraminíferos epifaunais/infaunais, infaunais e epifaunais, do testemunho 3SisB.

6.1.2.4 *Análises geoquímicas dos sedimentos do testemunho 3SisB*

Os resultados das análises geoquímicas dos sedimentos de 3SisA estão na tabela 2, sub-seção 3.2 do capítulo 8.

6.2 Deception

6.2.1 **Amostras de sedimentos de superfície em Fumarole Bay-FB01, FB02, FB03, FB04, FB05, FB06 Rec, FB07 Rec, FB08 e FB09.**

6.2.1.1 *Granulometria-Exame geral das estatísticas de distribuição*

A amostra referente ao ponto FB01 foi coletada, manualmente, em região de entre-marés. As amostras FB02 e FB03 pertencem a área sublitoral, também foram coletadas manualmente. FB04, FB05, FB08 e FB09 foram coletadas na zona sub-litoral, tendo sido a amostragem feita com pegador tipo Van Veen modificado. FB06 Rec e FB07 Rec fazem parte dos dois

testemunhos coletados com Box corer, em região de sublitoral profundo, porém serão analisados, também, neste item que trata das amostras rasas, por serem a camada superficial e, portanto, atual dos testemunhos dos quais fazem parte.

A observação das estatísticas de distribuição (Apêndice 10) desses sedimentos mostrou diâmetro médio gradando de silte médio em FB06 Rec (5,81 Φ), a areia grossa em FB01 Rec (0,59 Φ), passando por areia muito fina em FB05 (3,40 Φ), FB08 (3,35 Φ) e FB09 (3,49 Φ), areia média em FB04 (1,68 Φ) a areia grossa em FB01 (0,87 Φ) e FB03 (0,81 Φ). Os menores diâmetros foram observados nos pontos amostrais FB06 Rec e FB07 Rec, situados a maiores profundidades.

O parâmetro desvio padrão variou entre muito selecionado (0,76 Φ) em FB01 e muito pobremente selecionado (2,53 Φ) em FB05. Não foi observada correlação entre desvio médio e profundidade.

A assimetria situou-se entre muito negativa (-1,03) em FB01 e positiva (0,21) em FB07. Não foi observada correlação entre assimetria e profundidade das amostras.

A curtose apresentou valores entre muito leptocúrtica (1,70) em FB02 a extremamente leptocúrtica (4,72) em FB09. Não há correlação entre curtose e profundidade.

6.2.1.2 Teores de CaCO_3

Os teores de CaCO_3 , nas amostras de superfície, variaram entre litoclástico (9,51%) em FB01 a litobioclástico (41,36%) em FB06 Rec, em peso total do sedimento (Apêndice 10). Não foi observada correlação entre diâmetro médio e conteúdo carbonático.

6.2.1.3 Análise microfaunística-foraminíferos

Observaram-se, nas amostras, apenas espécies bentônicas.

A tanatocenose, em FB01, é composta por apenas 8 espécies (Apêndice 13), sendo que, apenas *Trochammina malovens* apresenta mais de 80% dos indivíduos da amostra. Foi observado apenas um indivíduo vivo da espécie *Adercotrymma glomeratum*.

Em FB04 foi observada biocenose, representada por um indivíduo, pertencente à espécie *Pseudobolivina antarctica* (Apêndice 13). Provavelmente, trata-se de contaminação da amostra.

No ponto amostral FB05 foi observada tanatocenose, com 5 indivíduos pertencentes à espécie *Trochammina malovens* e 2 indivíduos do gênero *Trochammina*, que não puderam ser identificados devido às suas dimensões reduzidas (Apêndice 13).

Em FB08, foi observada tanatocenose composta por 9 indivíduos, sendo 1 pertencente à espécie *Pseudobolivina antarctica*, 1 da espécie *Spiroplectammina biformis*, 3 *Trochammina malovens* e 4 do gênero *Trochammina*, sem identificação de espécie. Não é possível estabelecer as espécies dominantes nesses 3 últimos pontos, pois o reduzido número de testas é insuficiente para um resultado estatístico consistente. Não foram observadas testas nas amostras dos pontos FB02, FB03 e FB09.

Foram observadas 8 espécies nas amostras de superfícies em ambientes rasos, pertencentes a 7 gêneros distintos, 7 subfamílias, 7 famílias, 7 superfamílias, 3 ordens, 1 classe (Apêndices 11, 12 e 13).

Todas as espécies, das amostras de ambiente raso, são de foraminíferos bentônicos.

6.2.1.3.1 Índices ecológicos: densidade, riqueza, Shannon, Pielou e Simpson.

Tabela 6-11: Índices ecológicos: densidade, riqueza, Shannon, Pielou e Simpson, em biocenose, tanatocenose e número total de testas de foraminíferos, nas amostras superficiais FB01, FB04, FB05, FB06 Rec., FB07 Rec e FB08.

Amostra		Densidade/10cc	Riqueza	Simpson	Shannon	Pielou
FB01	Bio.	0,0	1	0	0	-
	Tan	0,0	10	0,232	0,161	0,279
	Total	0,0	11	0,233	0,638	0,277
FB04	Bio.	0,0	1	0,000	0,000	-
	Tan.	0,0	0	0,000	0,000	-
	Total	0,0	1	0,000	0,000	-
FB05	Bio.	0,0	0	0,000	0,000	-
	Tan.	0,0	2	0,408	0,598	0,863
	Total	0,0	2	0,408	0,598	0,863
FB06 Rec	Bio.	36,3	13	0,650	1,550	0,600
	Tan.	46,9	16	0,650	1,590	0,610
	Total	83,2	18	0,660	1,733	0,600
FB07 Rec	Bio.	8,93	5	0,36	0,714	0,444
	Tan.	30,6	15	0,72	2	0,668
	Total	39,53	16	0,761	2	0,672
FB08	Bio.	0,0	0	0,000	0,000	-
	Tan.	0,0	4	0,667	1,215	0,876
	Total	0,0	4	0,667	1,215	0,876

A densidade de biocenose, das associações bentônicas, variou entre 0,0667 testas por cm³ nos pontos FB01 e FB04 e 36,266 testas por cm³ em FB06 Rec, com média de 7,555 testas por cm³. Na fração de tanatocenose os valores observados variaram entre 0,4467 em FB05 e 46,933 em FB06 Rec, com média de 14,3332 testas por cm³. Na contagem total, esse índice, variou entre 0,0667 em FB04 e 83,2 em FB06 Rec, com média de 21,888 (Tabela 6.11).

A riqueza de espécies, na fração biocenose, variou entre 1 em FB01 e FB04, e 13 em FB06 Rec, com média de 3,33. Na fração tanatocenose variou entre 2 em FB05 e 16 em FB06 Rec, com média de 7,833 testas por cm³. Na fração total alcançou valores entre 1, em FB04 e 18 em FB06 Rec, com média de 8,667 (Tabela 6.11).

O índice de diversidade de Simpson, para biocenose, é 0 em FB01, FB04, FB05 e FB08; a maior diversidade foi em FB06 Rec, 0,6519, com média de 0,1686. Rec. Na fração tanatocenose variou entre 0, em FB04, e 0,72 em FB07 Rec. A média para este índice foi de 2,6757. Na contagem total os valores alcançaram de 0 (FB04) e 0,761 (FB07 Rec), com média de 0,4547 (Tabela 6.11).

A equabilidade de Pielou, na biocenose, variou entre 0, em FB01, FB04, FB08, e 0,6034 em FB06 Rec, com média de 0,1745. Na fração tanatocenose os valores obtidos ficaram entre 0, em FB04, e 0,8764 em FB08, com média de 0,5495. Na contagem total ficou entre 0, em FB04, e 0,8764, em FB08, com média de 0,5481 (Tabela 6.11).

O índice de diversidade de Shannon variou, na biocenose, entre 0, em FB01, FB04, FB05, FB08, e 1,548, em FB06 Rec, com média de 0,377. Para a fração tanatocenose, os valores mínimo e máximo, encontrados, foram 0, em FB04, e 1,764, em FB07 Rec, com média de 0,90525. Para a contagem total o índice ficou entre 0, em FB04, e 1,821, em FB07 Rec, com média de 1,001.

6.2.1.3.2 *Espécies aglutinantes X espécies calcárias*

Nas amostras de superfície, em áreas rasas, foram observadas apenas espécies calcárias na tanatocenose da amostra FB01. Na amostra de águas profundas, FB06, as espécies aglutinantes foram dominantes, tanto na biocenose como na tanatocenose. Já, em FB07 as espécies calcárias predominaram na biocenose, e as espécies aglutinantes ocorreram em maior número na tanatocenose (Tabela 6.12.).

Tabela 6-12: Porcentagens de espécies aglutinantes e calcárias, nas biocenoses, tanatocenoses e número total de testas de foraminíferos, nas amostras superficiais FB01, FB04, FB05, FB06 Rec., FB07 Rec e FB08.

Espécies	FB01			FB04			FB05			FB06 Rec			FB07 Rec			FB08		
	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total
Aglutinantes	100,00	98,20	98,21	100,00	100,00	100,00	0,00	100,00	100,00	77,21	96,59	88,14	17,91	90,20	73,86	0,00	100,00	100,00
Calcárias	0,00	1,80	1,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,79	3,41	11,86	82,09	9,80	26,14	0,00	0,00	0,00

6.2.1.3.3 Espécies calcárias indicadoras de níveis de oxigenação

Nas amostras coletadas em áreas de mar raso, não foram observadas espécies calcárias indicadoras de níveis de oxigenação.

Na amostra FB06 Rec, conforme tabela 6.13, foram observadas, na biocenose, 16,13% de espécies óxicas e 83,87 de espécies sub-óxicas. Na tanatocenose encontraram-se 33,33% de espécies óxicas e 66,67% de espécies sub-óxicas. Já, na contagem total foram 18,92 % de espécies óxicas e 81,08% de espécies sub-óxicas.

Em FB07 Rec, observaram-se, na biocenose, 100% de espécies calcárias sub-óxicas. Na tanatocenose foram 7,14% de espécies óxicas e 92,86 de espécies sub-óxicas. Na contagem total foram 1,97% de espécies óxicas e 98,03% de espécies sub-óxicas.

Tabela 6-13: Porcentagem de espécies calcárias, indicadoras de concentração de O₂, nas biocenoses, tanatocenoses e contagem total das testas nas amostras superficiais FB01, FB04, FB05, FB06Rec, FB07Rec, FB08.

Ponto Amostral	Biocenose			Tanatocenose			Total		
	Óxicas	Sub-Óxicas	Disóxicas	Óxicas	Sub-Óxicas	Disóxicas	Óxicas	Sub-Óxicas	Disóxicas
FB01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FB04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FB05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FB06Rec	16,13	83,87	0,00	33,33	66,67	0,00	18,92	81,08	0,00
FB07Rec	0,00	100,00	0,00	7,14	92,86	0,00	1,97	98,03	0,00
FB08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

6.2.1.3.4 Espécies segundo seu tipo de habitat

A única testa observada em águas rasas foi de hábito infaunal, na amostra FB04. Nas amostras de águas profundas (FB06 e FB07), foram observadas somente espécies de hábitos infaunais e epifaunais/infaunais nas biocenoses. Nas tanatocenoses foram observadas espécies infaunais, epifaunais/infaunais e epifaunais, mas estas, em menor número (Tabela 6.14.).

Tabela 6-14: Porcentagens de espécies com hábitos epifaunais/infaunais, infaunais e epifaunais, nas biocenoses, tanatocenoses e contagem total de testas, nas amostras de superfície, de águas rasas e águas profundas, em Fumarole Bay.

Habitat	FB01			FB04			FB05			FB06 Rec			FB07 Rec			FB08		
	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total
Epi/inf	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	55,15	57,39	56,41	15,67	48,37	40,98	0,00	0,00	0,00
Infauna	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	36,03	35,8	35,5	84,33	34,64	45,87	0,00	0,00	0,00
Epifauna	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,82	6,82	7,69	0,00	16,99	13,15	0,00	0,00	0,00

6.2.1.4 *Análises geoquímicas dos sedimentos, das amostras de superfície, em Fumarole Bay*

Os resultados das análises geoquímicas dos sedimentos das amostras de superfície em Fumarole Bay estão nos Apêndices 24 e 25.

6.2.2 Fumarole Bay-FB06

A amostragem, no ponto FB06, foi realizada com box corer, sendo o testemunho composto por 7 camadas: Recente; 0-2 cm; 2-4 cm; 4-6 cm; 6-8 cm; 8-10 cm; 10-12 cm.

6.2.2.1 *Granulometria-Exame geral das estatísticas de distribuição.*

As medidas de diâmetro médio, no testemunho FB06, situaram-se entre 5,81 ϕ nas camadas Rec e 5,19 ϕ em 10-12 cm, ou seja, silte médio em todas as camadas. O desvio padrão médio alcançou valores entre 1,80 ϕ em 4-6 cm e 2,03 ϕ em 12-14 cm, ou seja, pobremente selecionado e muito pobremente selecionado. Os valores de assimetria variaram entre -0,05 e 0,15, aproximadamente simétrica a positiva, respectivamente. Os valores de curtose ficaram entre 2,76 e 3,16, o que aponta para distribuições aproximadamente mesocúrticas (Apêndice 10). A correlação entre diâmetro médio e profundidade foi $p=-0,94013$ e $r=0,005$, sendo aceita estatisticamente. Esse resultado denota aumento de diâmetro à medida que aumenta a profundidade (Figura 6.13).

Figura 6-13: Distribuição das estatísticas granulométricas das amostras do ponto FB06.

6.2.2.2 Teores de CaCO_3

Os teores de CaCO_3 , observados no testemunho FB06, variaram entre 16,88 % e 41,36 % do total, em peso, das amostras. (Apêndice 14). Pela classificação de Lasonneur *et al.*, (1982), 50% das amostras são litoclásticas e 50% são litobioclásticas.

Figura 6-14: Distribuição dos teores de CaCO_3 no testemunho FB06.

A correlação obtida entre teores de CaCO_3 e profundidade é $p=-0,71869$ e $r=0,01$; ou decréscimo dos teores de CaCO_3 , do topo para a base do testemunho (Figura 6.14)

6.2.2.3 Análise microfaunística- foraminíferos

Em todas as camadas do testemunho FB06, em biocenoses e tanatocenoses, foram observadas apenas testas de foraminíferos bentônicos (Anexos 14 e 15).

Foram observadas 39 espécies ao longo do testemunho FB06, pertencentes a 27 gêneros, 25 subfamílias, 25 famílias, 25 super-famílias, 10 ordens e 4 classes (Anexos 11 e 12).

As espécies mais abundantes (com ocorrência $\geq 10\%$), no testemunho FB06, foram *Cassidulinoides parkeriana*, *Eggerella minuta*, *Fursenkoina earlandi*, *Globocassidulina biora*, *Globocassidulina crassa*, *Lepidodeuterammina ochracea*, *Miliammina arenacea*, *Miliammina* sp., *Nodulina dentaliniformis*, *Pseudobolivina antarctica*, *Trochammina malovens* (Anexos 14 e 15).

Com ocorrência entre 10% e 5%: *Adercotrymma glomeratum*, *Reophax fusiformis*, *Spiroplectammina biformis* (Anexos 14 e 15).

Com ocorrência até 5%, ou raras: *Astacolus* sp., *Astrononion echolsi*, *Astrononion stelligerum*, *Bolivina pacifica*, *Bulimina aculeata*, *Cassidulinoides porrecta*, *Cibicides lobatulus*, *Cibicides refulgens*, *Globocassidulina biora*, *Glomospira gordialis*, *Lagenammina difflugiformis*, *Lepidoparatrochammina lepida*, *Miliammina* sp., *Miliammina obliqua*, *Nodulina dentaliniformis*, *Oolina scalariformesulcata*, *Parafissurina fusiformis*, *Parafissurina lateralis*, *Psamosphaera fusca*, *Pullenia subcarinata*, *Quinqueloculina* sp., *Reophax fusiformis*, *Reophax* sp., *Spiroplectammina biformis*, *Spiroplectammina filiformis*, *Stainforthia fusiformis*, *Textularia agglutinans*, *Textularia antarctica*, *Textularia nitens*, *Uvigerina peregrina* (Anexos 14 e 15).

6.2.2.3.1 Índices ecológicos: densidade, riqueza, Shannon, Pielou e Simpson.

Os índices ecológicos, relativos às amostras do testemunho FB06, variam conforme os valores mostrados na Tabela 6.15.

A variação da densidade de testas, ao longo do testemunho FB06, nas biocenoses, apresenta decréscimo brusco da base até a camada 8-10 cm, tendência de aumento entre as camadas 6-8 cm e Recente. A distribuição das tanatocenoses segue as mesmas tendências, com valores maiores (Figura 6.15).

A riqueza de espécies apresenta tendência de decréscimo, do topo para a base do testemunho, nas biocenoses, como já esperado. Nas tanatocenoses apresenta valores mais ou menos constantes, sendo 14 o valor mínimo, nas amostras 4-6 cm, 8-10 cm e 10-12 cm e 19 o valor máximo na amostra 0-2 cm (Figura 6.15).

Tabela 6-15: Índices ecológicos: densidade, riqueza, Shannon, Pielou e Simpson, em biocenose, tanatocenose e número total de testas de foraminíferos, nas amostras do testemunho FB06.

Amostra	Taxa	Densidade/ 10cc	Riqueza	Simpson	Shannon	Pielou
FB06 Recente	Bio,	36,267	13	0,652	1,548	0,603
	Tan,	46,933	16	0,649	1,693	0,611
	Total	83	18	0,660	1,733	0,600
FB06 (0-2 cm)	Bio,	19	8	0,642	1,391	0,669
	Tan,	51	19	0,622	1,539	0,533
	Total	70	20	0,637	1,615	0,548
FB06 (2-4 cm)	Bio,	16,267	3	0,182	0,384	0,350
	Tan,	61,333	15	0,733	1,982	0,662
	Total	78,933	16	0,643	1,750	0,575
FB06 (4-6 cm)	Bio,	41,333	4	0,335	0,687	0,496
	Tan,	328	14	0,580	1,382	0,539
	Total	369,333	14	0,560	1,343	0,524
FB06 (6-8 cm)	Bio,	45,867	6	0,702	1,395	0,778
	Tan,	247,467	21	0,808	2,242	0,688
	Total	293,333	23	0,829	2,324	0,697
FB06 (8-10 cm)	Bio,	20,267	6	0,504	1,073	0,599
	Tan,	106,133	14	0,838	2,245	0,810
	Total	126	15	0,807	2,171	0,766
FB06 (10-12 cm)	Bio,	0,267	2	0,375	0,562	0,811
	Tan,	7	14	0,830	2,030	0,792
	Total	7,067	14	0,835	2,042	0,796
FB06 (12-14 cm)	Bio,	0,750	4	0,617	1,149	0,829
	Tan,	15,417	16	0,768	1,947	0,687
	Total	16,167	16	0,767	1,963	0,693

O índice de Shannon, nas biocenoses, não apresentou tendência única de distribuição, apresentando picos negativos nas camadas 4-6 cm e 10-12 cm. Nas tanatocenoses o índice seguiu as mesmas tendências (Figura 6.15).

O índice de diversidade de Simpson, nas biocenoses, apresenta valores mais ou menos constantes, com pico negativo em 0-2 cm e 10-12 cm. Nas tanatocenoses os valores não apresentam grandes variações (Figura 6.15).

A equabilidade de Pielou, tanto em biocenose, como em tanatocenoses não apresentou grandes variações, porém pode-se observar leve tendência de decréscimo da base para o topo, do testemunho (Figura 6.15).

Figura 6-15: Distribuição das densidades, riqueza, índices de Shannon, de Pielou e de Simpson das biocenoses, tanatocenoses e número total das testas de foraminíferos, das comunidades, do testemunho FB06. Bio: biocenose; Tan: tanatocenose e Total: número total.

6.2.2.3.2 *Espécies aglutinantes X espécies calcárias*

Em todas as camadas do testemunho as espécies aglutinantes predominaram, com relação às espécies calcárias, em biocenoses e tanatocenoses (Tabela 6.16).

Tabela 6-16: Porcentagens de espécies aglutinantes e calcárias, nas biocenoses, tanatocenoses e número total de testas de foraminíferos, nas amostras do testemunho FB06.

Ponto amostral	Profundidade	Biocenose		Tanatocenose		Total	
		Aglutinantes	Calcárias	Aglutinantes	Calcárias	Aglutinantes	Calcárias
FB06	Recente	77,21	22,79	96,59	3,41	88,14	11,86
	(0-2 cm)	77,08	22,92	99,21	0,79	93,12	6,88
	(2-4 cm)	96,72	3,28	93,04	6,96	93,92	6,08
	(4-6 cm)	100,00	0,00	95,12	4,88	95,67	4,33
	(6-8 cm)	76,74	23,26	81,04	18,96	80,36	19,64
	(8-10 cm)	97,37	2,63	73,37	26,63	77,21	22,79
	(10-12 cm)	100,00	0,00	99,02	0,98	99,06	0,94
	(12-14 cm)	88,89	11,11	94,05	5,95	93,81	6,19

A distribuição das espécies aglutinantes e calcárias, nas biocenoses, apresentou-se bastante estável, ao longo do testemunho FB06; suas porcentagens ficam sempre dentro de uma faixa restrita de valores. Nas tanatocenoses, pode-se observar a mesma tendência de distribuição (Figura 6.16).

Figura 6-16: Distribuição de espécies aglutinantes e calcárias, nas biocenoses, tanatocenoses e número total de testas, ao longo do testemunho FB06.

6.2.2.3.3 Espécies calcárias indicadoras de níveis de oxigenação

Foram observadas variações bastante importantes nas porcentagens de espécies calcárias indicadoras de oxigenação no ambiente (Tabela 6.16).

Tabela 6-17: Porcentagem de espécies calcárias, indicadoras de concentração de O₂, nas biocenoses, tanatocenoses e contagem total das testas do testemunho FB06.

Ponto Amostral	Profundidade	Biocenose-Espécies calcárias (%)			Tanatocenose-Espécies calcárias (%)			Total-Espécies calcárias (%)		
		Óxicas	Sub-Óxicas	Disóxicas	Óxicas	Sub-Óxicas	Disóxicas	Óxicas	Sub-Óxicas	Disóxicas
FB06	Recente	16,13	83,87	0,00	33,33	66,67	0,00	18,92	81,08	0,00
	(0-2 cm)	18,18	81,82	0,00	0,00	100,00	0,00	16,67	83,33	0,00
	(2-4 cm)	0,00	100,00	0,00	20,00	80,00	0,00	16,67	83,33	0,00
	(4-6 cm)	0,00	0,00	0,00	25,00	75,00	0,00	25,00	75,00	0,00
	(6-8 cm)	100,00	0,00	0,00	69,71	30,29	0,00	76,73	23,27	0,00
	(8-10 cm)	0,00	100,00	0,00	85,11	14,89	0,00	83,33	16,67	0,00
	(10-12 cm)	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00
	(12-14 cm)	0,00	0,00	100,00	77,78	0,00	22,22	70,00	0,00	30,00

As espécies indicadoras de ambientes óxicos, nas biocenoses, alcançaram 100% na camada FB06 (6-8 cm), nas biocenoses, estavam ausentes nas acamadas subsequentes e não chegaram a 20% nas camadas Recente e 0-2 cm.

Nas tanatocenoses passaram 77,78% na base do testemunho, com tendência de decréscimo em direção ao topo e alcançando 33,33% na camada de topo (Figura 6.17).

As espécies indicadoras de ambientes sub-óxicos apresentaram comportamento “espelhado” ao das espécies óxicas, tanto nas biocenoses quanto nas tanatocenoses, como pode ser observado na figura 6.17. Já, as espécies indicadoras de ambientes disóxicos ocorreram apenas na camada 12-14 cm.

Figura 6-17: Distribuição de espécies indicadoras de ambientes Óxicos, sub-óxicos e disóxicos, nas biocenoses, tanatocenoses e contagem total de testas, ao longo do testemunho FB06.

6.2.2.3.4 Espécies segundo seu tipo de habitat

As espécies de foraminíferos de *habitat* epifaunal, nas biocenoses, não foram observadas em entre as camadas 12-14 cm e 6-8 cm e mostraram maior porcentagem (8,82%) na camada Recente. Nas tanatocenoses ocorreram em menor porcentagem (10,78%) em 10-12 cm e, em maior porcentagem (61,79%), na camada 4-6 cm. Na contagem total variaram entre as porcentagens de 13,20%, em 10-12 cm e 63,90%, em 4-6 cm-(Tabela 6.18).

As espécies de *habitat* infaunal mostraram os menores valores (9,28) em 2-4 cm, e os maiores valores (58,14%) em 6-8 cm. Na tanatocenoses mostraram menores concentrações (34,15%) na camada 4-6 cm e maiores concentrações (77,45%) em 10-12 cm, apresentando valores semelhantes na contagem total (Tabela 6.18).

Tabela 6-18: Porcentagens de espécies com hábitos epifaunais/infaunais, infaunais e epifaunais, nas biocenoses, tanatocenoses e contagem total de testas, ao longo do testemunho FB06.

Ponto amostral	Profundidade	Biocenose			Tanatocenose			Total		
		epi	inf	epi/inf	epi	inf	epi/inf	epi	inf	epi/inf
FB06	Recente	8,82	36,03	55,15	6,82	35,8	57,39	7,69	35,9	56,41
	(0-2 cm)	6,25	38,54	55,21	3,16	38,74	58,1	4,01	36,68	57,31
	(2-4 cm)	0,56	9,28	90,16	4,35	45,22	50,43	4,73	35,81	59,46
	(4-6 cm)	0,68	18,68	80,65	4,07	34,15	61,79	4,69	31,41	63,9
	(6-8 cm)	0	58,14	41,86	15,09	59,91	25	16,36	56	27,64
	(8-10 cm)	0	28,94	71,05	24,62	34,17	41,21	21,94	32,07	45,99
	(10-12 cm)	0	25	75	11,77	77,45	10,78	11,32	75,47	13,2
	(12-14 cm)	0	11,11	88,89	10,81	43,78	45,4	10,84	41,75	47,41

Espécies epifaunais/infaunais ocorreram em menor número (41,86%) em 6-8 cm e as maiores concentrações (90,16%) foram observadas em 2-4 cm. Nas tanatocenoses variaram entre 3,16% em 0-2 cm e 24,62% em 8-10 cm. Na contagem total obtiveram-se porcentagens entre 4,01% e 21,94% nas camadas 0-2 cm e 8-10 cm (Tabela 6.18).

Observaram-se grandes variações, entre as testas de foraminíferos relativos aos três tipos de *habitat*. A tendência de variação não foi contínua, o que indicaria mudanças de condições ambientais, ao longo do testemunho (Figura 6.18).

Figura 6-18: Distribuição de espécies de foraminíferos epifaunais/infaunais, infaunais e epifaunais nas biocenoses, tanatocenoses e contagem total, ao longo do testemunho FB06.

6.2.2.4 *Análises geoquímicas dos sedimentos das amostras de superfície, em FB06*

Os resultados das análises geoquímicas dos sedimentos das amostras do testemunho FB06 estão no Apêndices 24 e 25.

6.2.2.5 *Contagem de diatomáceas do testemunho FB06*

Os resultados das contagens de valvas de diatomáceas do testemunho FB06 estão no Apêndice 27.

6.2.3 Fumarole Bay-FB07

A amostragem em FB07 foi realizada com box corer, sendo composta por 6 camadas: Recente; 0-2 cm; 2-4 cm; 4-6 cm; 6-8 cm; 8-10 cm.

6.2.3.1 Granulometria-Exame geral das estatísticas de distribuição

Os valores de diâmetro médio situaram-se entre 4,22 e 4,72, ou seja, silte grosso, não havendo grandes variações na granulometria das amostras. Os desvios padrão, mínimo e máximo foram 2,09 e 2,92, isto é, muito pobremente selecionado. A assimetria variou entre -0,59 e 0,39, muito negativo e muito positivo, respectivamente. A curtose observada situa-se entre 2,76 e 3,22 ou aproximadamente mesocúrtica, em ambos os casos (Apêndice 10).

Observou-se pouca variação no diâmetro médio dos grãos, ao longo do testemunho. A correlação entre diâmetro médio e profundidade, $p=0,65003$ e $r=0,1$, não foi estatisticamente aceita (Figura 6.19).

Figura 6-19: Distribuição das estatísticas granulométricas das amostras do ponto FB07.

6.2.3.2 Teores de CaCO_3

Os teores CaCO_3 do testemunho FB07 variaram entre 12,79 % e 22,50%, em peso, das amostras. Pela classificação de Larssonneur *et al.*, (1982), a totalidade é de sedimentos litoclásticos (Apêndice 10).

A correlação entre os valores de teores de CaCO_3 e profundidade $p=0,29242$ e $r=0,2$, não apresentou consistência estatística. Houve tendência de aumento, dos teores de CaCO_3 , entre as camadas 8-10 cm e 4-6 cm e de decréscimo entre 4-6 cm até a camada Recente (Figura 6.20).

Figura 6-20: Distribuição dos teores de CaCO_3 no testemunho FB07.

6.2.3.3 Análise microfaunística- foraminíferos

Foram observadas no testemunho FB07, em biocenoses, tanatocenoses, 48 espécies, pertencentes a 32 gêneros, 26 sub-famílias, 26 famílias, 21 super-famílias, 9 ordens e 4 classes (Anexos 11 e 12).

As espécies mais abundantes ($\geq 10\%$) observadas no testemunho FB07 foram: *Adercotrymma glomeratum*, *Cassidulinoides parkeriana*, *Miliammina arenacea*, *Miliammina* sp., *Spiroplectammina biformis*, *Trochammina malovens*, *Trochammina* sp. (Anexos 20 e 21).

$\geq 5\%$ foram: *Cassidulinoides parkeriana*, *Cassidulinoides* sp., *Eggerella minuta*, *Pseudobolivina antarctica* (Anexos 16 e 17).

As espécies raras, com frequência menor que 5% foram: *Amodiscus incertus*, *Anomalina* sp., *Astacolus hyalacrus*, *Astrononion stelligerum*, *Bolivina pacifica*, *Bulimina aculeata*, *Cassidulinoides porrecta*, *Cibicidoides lobatulus*, *Cibicides refulgens*, *Cribrorostomoides jeffreysii*, *Cribrorostomina alba*, *Epistominella exigua*, *Fursenkoina earlandi*, *Lagenamina difflugiformis*, *Lepidodeuterammina ochracea*, *Miliammina* sp., *Miliammina lata*, *Miliammina obliqua*, *Milionella subrotunda*, *Morulaeplecta* sp., *Nodulina dentaliniformis*, *Oolina scalariformesulcata*, *Oolina* sp., *Parafissurina fusiformis*, *Parafissurina lateralis*,

Parafissurina pseudomarginata, *Parafissurina quadrata*, *Psamosphaera fusca*, *Reophax fusiformis*, *Reophax* sp., *Saccammina* sp., *Spiroplectammina filiformis*, *Stanforthia fusiformis*, *Textularia agglutinans*, *Textularia antarctica*, *Textularia earlandi* (Anexos 16 e 17).

Não foram observadas espécies planctônicas nas amostras do testemunho FB07.

6.2.3.3.1 Índices ecológicos: densidade, riqueza, Shannon, Pielou e Simpson.

Os índices ecológicos, no testemunho FB07, variaram de acordo com os valores mostrados na tabela 7.19.

Tabela 6-19: Índices ecológicos: densidade, riqueza, Shannon, Pielou e Simpson, em biocenose, tanatocenose e número total de testas de foraminíferos, nas amostras do testemunho FB07.

Amostra	Taxa	Densidade	Riqueza	Simpson	Shannon	Pielou
FB07 Recent	Bio.	8,933	5	0,3602	0,7144	0,4439
	Tan.	30,600	15	0,72	2	0,6683
	Total	39,533	16	0,761	2	0,6724
FB07 (0-2 cm)	Bio.	4,000	7	0,79	2	0,8784
	Tan.	35,200	16	0,7814	1,81	0,6683
	Total	39,200	16	0,7878	2	0,6836
FB07 (2-4 cm)	Bio.	9,600	8	0,4838	1	0,5517
	Tan.	42,400	17	0,7811	2	0,6304
	Total	52,000	17	0,7742	1,85	0,6284
FB07 (4-6 cm)	Bio.	5,027	11	0,5749	1	0,5938
	Tan.	19,153	17	0,7882	2	0,6427
	Total	24,247	22	0,7777	2	0,6078
FB07 (6-8 cm)	Bio.	19,500	14	0,7197	2	0,6579
	Tan.	31,167	17	0,7859	2	0,6293
	Total	50,733	19	0,7676	1,92	0,6043
FB07 (8-10 cm)	Bio.	30,667	12	0,6882	2	0,6283
	Tan.	57,600	22	0,8025	2	0,6387
	Total	88,267	22	0,7789	2	0,6065
FB07 (10-12 cm)	Bio.	0,067	1	0	0	0
	Tan.	19,133	13	0,7055	2	0,6096
	Total	19,200	13	0,7075	2	0,6149

Observando os gráficos de distribuição dos índices ecológicos em FB07 (Figura 6.21), notam-se tendências semelhantes nas curvas de densidades de biocenoses e tanatocenoses, excluindo-se a camada FB07 0-2 cm, na qual observa-se decréscimo de biocenose e acréscimo em tanatocenose.

O índice de riqueza de espécies mostrou comportamentos semelhantes, das curvas de distribuição, a não ser entre as camadas 6-8 cm e 8-10 cm, nas quais houve incremento de número de espécies nas biocenoses e decréscimo nas tanatocenoses. Nos outros 3 índices, Shannon e Pielou, as biocenoses tenderam a 0 na camada 12-14 cm e apresentaram picos

positivos na camada 0-2 cm. Já o índice de Simpson, apresentou um padrão espelhado aos índices de Shannon e Pielou (Figura 6.21).

Figura 6-21: Distribuição das densidades, riqueza, índices de Shannon, de Pielou e de Simpson das biocenoses, tanatocenoses e número total das testas de foraminíferos, das comunidades, do testemunho FB07. Bio: biocenose; Tan: tanatocenose e Total: número total.

6.2.3.3.2 Espécies aglutinantes X espécies calcárias

Em FB07 a razão entre espécies aglutinantes e calcárias, nas biocenoses manteve-se mais ou menos constante, ao longo de testemunho, com exceção das camadas Recente e 10-12 cm, nas biocenoses. Nas tanatocenoses as espécies aglutinantes predominaram em todas as camadas, mantendo porcentagens próximas a 90% do total (Tabela 6.20).

Tabela 6-20: Porcentagens de espécies aglutinantes e calcárias, nas biocenoses, tanatocenoses e número total de testas de foraminíferos, nas amostras do testemunho FB07.

Ponto amostral	Profundidade	Biocenose		Tanatocenose		Total	
		Aglutinantes	Calcárias	Aglutinantes	Calcárias	Aglutinantes	Calcárias
FB07	Recente	17,91	82,09	90,20	9,80	73,86	26,14
	(0-2 cm)	90,00	10,00	86,93	13,07	87,24	12,76
	(2-4 cm)	95,83	4,17	99,37	0,63	98,72	1,28
	(4-6 cm)	89,66	10,34	98,64	1,36	96,78	3,22
	(6-8 cm)	98,29	1,71	96,26	3,74	97,04	2,96
	(8-10 cm)	91,30	8,70	91,20	8,80	91,24	8,76
	(10-12 cm)	0,00	100,00	99,65	0,35	99,31	0,69

Os gráficos de distribuição de porcentagens, de espécies aglutinantes em função das espécies calcárias mostra as variações bruscas ocorridas nas camadas de topo e de base de testemunho, nas quais há mudanças bem marcadas, com relação às outras camadas e onde predominam as espécies calcárias (Figura 6.22).

Figura 6-22: Distribuição de espécies aglutinantes e calcárias, nas biocenoses, tanatocenoses e número total de testas, ao longo do testemunho FB07.

6.2.3.3.3 Espécies calcárias indicadoras de níveis de oxigenação

Ao longo do testemunho FB07, foram observadas espécies óxicas apenas em três camadas: 10-12 cm, 8-10 cm e 4-6 cm; as espécies sub-óxicas predominaram em todas as camadas, com exceção de 10-12 cm. Nas tanatocenoses, espécies óxicas foram observadas em 10-12 cm, 6-8 cm e Recente. As espécies sub-óxicas, assim como nas biocenoses, predominaram em todas as camadas e não foram observadas em 10-12 cm. Já as espécies sub-óxicas perfizeram 33,33% na camada 8-10cm e não foram observadas nas outras camadas (Tabela 6.21).

Tabela 6-21: Porcentagem de espécies calcárias, indicadoras de concentração de O₂, nas biocenoses, tanatocenoses e contagem total das testas do testemunho FB07.

Ponto Amostr	Profundidade	Biocenose-Espécies calcárias (%)			Tanatocenose-Espécies calcárias (%)			Total-Espécies calcárias (%)		
		Óxicas	Sub-Óxicas	Disóxicas	Óxicas	Sub-Óxicas	Disóxicas	Óxicas	Sub-Óxicas	Disóxicas
FB07	Recente	0,00	100,00	0,00	7,14	92,86	0,00	1,97	98,03	0,00
	(0-2 cm)	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00
	(2-4 cm)	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00
	(4-6 cm)	16,67	83,33	0,00	0,00	100,00	0,00	14,29	85,71	0,00
	(6-8 cm)	0,00	100,00	0,00	25,00	75,00	0,00	16,67	83,33	0,00
	(8-10 cm)	20,00	80,00	0,00	16,67	50,00	33,33	18,18	63,64	18,18
	(10-12 cm)	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00

Os gráficos de tendências, de distribuição, das espécies indicadoras de níveis de oxigenação mantiveram-se constantes, mostrando variação brusca apenas na camada da base do testemunho, 10-12 cm, nas biocenoses; os gráficos de biocenoses do item 6.2.3.3.2., também mostram essa variação brusca na base do testemunho, o que aponta, novamente para mudanças importantes no ambiente, nesse lapso de tempo. Nas tanatocenoses, as tendências são semelhantes às observadas nas biocenoses (Figura 6.23).

Figura 6-23: Distribuição de espécies indicadoras de ambientes Óxicos, sub-óxicos e disóxicos, nas biocenoses, tanatocenos e contagem total de testas, ao longo do testemunho FB07.

6.2.3.3.4 Espécies segundo seu tipo de habitat

As espécies de infauna foram observadas apenas nas camadas 0-2 cm e 2-4 cm em biocenoses e as de epifauna e epifauna/infauna foram observadas em, praticamente, todas as camadas do testemunho FB07. Predominaram, nas biocenoses, as espécies de infauna, nas camadas Recente e 0-2cm e as de epifauna/infauna, camadas restantes. Nas tanatocenos, em todas as camadas, predominaram as espécies de epifauna/infauna, seguidas pelas espécies de infauna e, em menor número, as espécies de epifauna (Tabela 6.22).

Tabela 6-22: Porcentagens de espécies com hábitos epifaunais/infaunais, epifaunais e infaunais, nas biocenoses, tanatocenos e contagem total, ao longo do testemunho FB07.

Ponto amostral	Profundidade	Biocenose			Tanatocenose			Total		
		epi	inf	epi/inf	epi	inf	epi/inf	epi	inf	epi/inf
FB07	Recente	0	83,33	15,65	16,99	34,64	48,37	13,15	45,87	40,98
	(0-2 cm)	0,5	69,5	30	15,91	47,73	36,36	15,31	49,98	35,71
	(2-4 cm)	0,68	20,15	79,17	9,12	30,82	60,06	7,95	28,46	63,59
	(4-6 cm)	0	27,59	72,41	11,76	26,24	61,99	10,72	25,02	64,26
	(6-8 cm)	0	25,64	70,94	1,6	33,69	64,71	2,43	30,55	67,02
	(8-10 cm)	0	21	79	11,11	29,17	59,72	11,11	29,17	59,72
	(10-12 cm)	0	0	100	1,74	24,04	74,22	2,08	23,96	73,96

As espécies de epifauna apresentaram frequências relativamente baixas em biocenoses, e tanatocenos ao longo de todo o testemunho FB07 (Tabela 6.22). Na camada 10-12 cm, totalizaram 100 % das testas, porém, vale ressaltar que essa porcentagem equivale a apenas 1 indivíduo da espécie *Globocassidulina* sp., que foi a única testa observada nessa camada (Figura 6.24).

As espécies de infauna apresentaram frequências crescentes da base para o topo do testemunho, tanto em biocenoses quanto em tanatocenoses (Figura 6.24).

As espécies de epifauna/infauna, em biocenoses e tanatocenoses, apresentaram decréscimo da base para o topo do testemunho (Figura 6.24).

Figura 6-24: Distribuição de espécies de foraminíferos epifaunais/infaunais, infaunais e epifaunais nas biocenoses, tanatocenoses e contagem total, ao longo do testemunho FB07.

6.2.3.4 Análises geoquímicas dos sedimentos das amostras de superfície, em FB07 Bay

Os resultados das análises geoquímicas dos sedimentos das amostras do testemunho FB07 estão no Apêndices 28 e 29.

6.2.3.5 Contagem de diatomáceas do testemunho FB07

Os resultados das contagens de valvas de diatomáceas do testemunho FB07 estão no Apêndice 27.

6.2.4 Fumarole Bay-FB2014

A amostragem, neste ponto, foi realizada com box corer, sendo o testemunho composto por 6 camadas: Recente; 0-2 cm; 2-4 cm; 4-6 cm; 6-8 cm; 8-10 cm.

6.2.4.1 Granulometria-Exame geral das estatísticas de distribuição

O diâmetro médio apresentou valor mínimo de 5,77 ϕ e máximo de 5,26 ϕ , silte médio, nos dois casos. O desvio padrão médio ficou entre 1,03 e 1,84 ou pobremente selecionado. A assimetria observada situou-se entre -0,99 e 0,56, ou seja, muito negativa a muito positiva. A curtose ficou entre 3,09 e 7,65, aproximadamente mesocúrtica a extremamente leptocúrtica, respectivamente (Apêndice 14). A correlação entre os valores de diâmetro médio dos sedimentos e profundidade foi $p=-0,257323$ e $r=0,3$, não sendo, assim, satisfatória estatisticamente. Observaram-se poucas variações nas estatísticas granulométricas ao longo do testemunho (Figura 6.25).

Figura 6-25: Distribuição das estatísticas granulométricas das amostras do ponto FB2014.

6.2.4.2 Teores de CaCO_3

Os teores mínimos e máximos observados, em FB-2014, foram 14,76 % e 17,59 %, segundo Larsonneur *et al.*, (1982), todos litoclásticos (Apêndice 10).

Figura 6-26: Distribuição dos teores de CaCO_3 no testemunho FB2014.

Os valores $p=-0,789982$ e $r=0,025$, referentes à correlação entre teores de CaCO_3 e profundidade, foram aceitos estatisticamente, sendo que a tendência é de aumento quanto menor a profundidade (Figura 6.26).

6.2.4.3 Análise microfaunística- foraminíferos

Foram observadas, nas bicenoses e tanatocenoses do testemunho FB2014, 36 espécies, pertencentes a 24 gêneros, 19 sub-famílias, 19 famílias, 18 super-famílias, 7 ordens e 4 classes (Apêndices 11, 12, 18 e 19).

As espécies, mais abundantes ($\geq 10\%$), observadas em FB2014 foram: *Cassidulinoides parkeriana*, *Cassidulinoides* sp., *Globocassidulina* sp., *Miliammina arenacea*, *Miliammina* sp., *Pseudobolivina antarctica*, *Stanforthia fusiformis*, *Trochammina malovens*, *Trochammina* sp. Com porcentagens $\geq 5\%$ observaram-se as espécies *Adercotrymma glomeratum*, *Eggerella minuta*, *Globocassidulina bora*, *Reophax fusiformis*, *Spiroplectammina biformis*, *Textularia antarctica*. As espécies raras, com frequência menor que 5% foram: *Ammodiscus incertus*, *Astacolus hyalacrus*, *Astacolus* sp., *Astrononion echolsi*, *Astrononion Stteligerum*, *Bolivinella pacifica*, *Bolivinellina pseudopunctata*, *Bulimina aculeata*, *Cassidulinoides porrecta*, *Cibicidoides lobatulus*, *Cibicides refulgens*, *Cribristomoides jeffreysi*, *Epistominella exigua*, *Globocassidulina crassa*, *Hippocrepinella hirudinea*, *Lagenammina difflugiformis*, *Lepidodeuterammina ochracea*, *Nodulina dentaliniformis*, *Nonionella* sp., *Parafissurina pseudomarginata*, *Parafissurina quadrata*, *Quinqueloculina* sp., *Reophax* sp., *Spiroplectammina filiformis*, *Textularia agglutinans* (Apêndices 18 e 19).

Foram observadas testas de foraminíferos em todas as camadas do testemunho. Foram observadas espécies planctônicas nas tanatocenoses das camadas FB2014 Rec e FB2014 (0-2 cm) (Tabela 6.23).

Tabela 6-23: Porcentagens de foraminíferos planctônicos e bentônicos nas biocenoses, tanatocenoses e amostra total, das camadas do testemunho FB2014.

Ponto Amostral	Profundidade	Biocenose		Tanatocenose		Total	
		Planctônicos (%)	Bentônicos (%)	Planctônicos (%)	Bentônicos (%)	Planctônicos (%)	Bentônicos (%)
FB2014	Recente	0,00	100	2,17	97,83	1,65	98,35
	(0-2 cm)	0,00	100	2,95	97,05	1,9	98,1
	(2-4 cm)	0,00	100,00	0,00	100	0	100
	(4-6 cm)	0,00	100,00	0,00	100	0	100
	(6-8 cm)	0,00	100,00	0,00	100	0	100
	(8-10 cm)	0,00	100,00	0,00	100	0	100
	(10-12 cm)	0,00	100,00	0,00	100	0	100
	(12-14 cm)	0,00	100,00	0,00	100	0	100

6.2.4.3.1 Índices ecológicos: densidade, riqueza, Shannon, Pielou e Simpson.

Os valores obtidos para os índices: densidade, riqueza, Simpson, Shannon e Pielou variaram segundo a tabela 6.24.

Tabela 6-24: Índices ecológicos: densidade, riqueza, Shannon, Pielou e Simpson, em biocenose, tanatocenose e número total de testas de foraminíferos, nas amostras do testemunho FB2014.

Amostra		Densidade	Riqueza	Simpson	Shannon	Pielou
FB2014 Recent	Bio.	0,133	1,000	0,000	0,000	0,000
	Tan.	13,600	14,000	0,657	1,673	0,568
	Total	13,733	14,000	0,661	1,677	0,570
FB2014 (0-2 cm)	Bio	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Tanat	16,933	13,000	0,589	1,466	0,517
	Total	16,933	13,000	0,589	1,466	0,517
FB2014 (2-4 cm)	Bio	1,133	6,000	0,507	0,953	0,688
	Tanat	5,467	14,000	0,748	1,866	0,728
	Total	6,600	15,000	0,725	1,819	0,709
FB2014 (4-6cm)	Bio	0,400	3,000	0,611	1,011	0,921
	Tanat	22,733	19,000	0,799	2,008	0,650
	Total	23,133	19,000	0,805	2,049	0,663
FB 2014 (6-8 cm)	Bio	0,467	2,000	0,245	0,410	0,592
	Tanat	15,733	15,000	0,794	2,103	0,727
	Total	16,200	16,000	0,786	2,091	0,710
FB2014 (8-10 cm)	Bio	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Tanat	7,933	15,000	0,823	2,081	0,720
	Total	7,933	15,000	0,823	2,081	0,720
FB 2014 (10-12 cm)	Bio	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Tanat	14,333	17,000	0,816	2,090	0,710
	Total	14,333	17,000	0,816	2,090	0,710
FB 2014 (12-13 cm)	Bio	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Tanat	4,000	10,000	0,755	1,653	0,718
	Total	4,000	10,000	0,755	1,653	0,718

Observando-se os gráficos de variação dos índices ecológicos notam-se que as densidades variam pouco, ao longo do testemunho, sendo que nas biocenoses o maior valor encontrado foi 1,133 na camada Recente; nas tanatocenoses os valores observados situam-se em uma faixa restrita, entre 0 e 23,133, mostrando tendência relativamente estável, no número de indivíduos (Figura 6.27).

Observa-se que o número de espécies aumenta entre 10-12 cm e 2-4 cm e diminui, a partir dessa profundidade até a camada Recente entre as camadas 2-4 cm e Recente. Nas tanatocenoses a tendência observada é semelhante, porém com uma camada de defasagem, ou seja, o mesmo comportamento que é observado em dada camada, na biocenose, na tanatocenose é observado na camada subjacente (Figura 6.27).

Os índices Shannon e Pielou mostram tendências semelhantes, com picos positivos em 6-8 cm e 4-6 cm, nas biocenoses. Nas tanatocenoses existe pouca variação nesses índices, não evidenciando tendências de aumento ou decréscimo, ao longo do testemunho (Figura 6.27).

O índice de Simpson vai de 0, na base do testemunho, aumentando na camada 10-12 cm, aumenta em 8-10 cm, decresce até a camada 0-2 cm e aumenta no sentido do topo do testemunho (Figura 6.27).

Figura 6-27: Distribuição das densidades, riqueza, índices de Shannon, de Pielou e de Simpson das biocenoses, tanatocenoses e número total das testas de foraminíferos, das comunidades, do testemunho FB2014. Bio: biocenose; Tan: tanatocenose e Total: número total

6.2.4.3.2 *Espécies aglutinantes X espécies calcárias*

As espécies aglutinantes foram predominantes em todas as camadas, nas biocenoses. Essa predominância também pôde ser observada nas tanatocenoses, porém com uma leve queda nas porcentagens, nas camadas 8-10 cm e 10-12 cm (Tabela 6.25).

Tabela 6-25: Porcentagens de espécies aglutinantes e calcárias, nas biocenoses, tanatocenoses e número total de testas de foraminíferos, nas amostras do testemunho FB2014.

Ponto amostral	Profundidade	Biocenose		Tanatocenose		Total	
		Aglutinantes	Calcárias	Aglutinantes	Calcárias	Aglutinantes	Calcárias
FB2014	Recente	100,00	0,00	81,86	18,14	82,04	17,96
	(0-2 cm)	0,00	0,00	82,94	17,06	82,94	17,06
	(2-4 cm)	88,24	11,76	95,12	4,88	93,94	6,06
	(4-6 cm)	66,67	33,33	79,77	20,23	79,54	20,46
	(6-8 cm)	100,00	0,00	79,66	20,34	80,25	19,75
	(8-10 cm)	0,00	0,00	62,18	37,82	62,18	37,82
	(10-12 cm)	0,00	0,00	53,02	46,98	53,02	46,98
	(12-13 cm)	0,00	0,00	70,00	30,00	70,00	30,00

Nas biocenoses, foram observadas testas de foraminíferos calcários apenas nas camadas 4-6 cm e 2-4 cm 4-6 cm. As espécies aglutinantes foram observadas entre as camadas 8-10 cm e Recente. Não foi observada tendência única de variação.

Nas tanatocenoses, A tendência é de adecréscimo de espécies calcárias e aumento de aglutinantes entre as camadas 12-14 cm e Recente (Figura 6.28).

Figura 6-28: Distribuição de espécies aglutinantes e calcárias, nas biocenoses, tanatocenoses e número total de testas, ao longo do testemunho FB2014.

6.2.4.3.3 Espécies calcárias indicadoras de níveis de oxigenação

As porcentagens relativas a espécies calcárias óxicas, sub-óxicas e disóxicas podem ser observadas na tabela 6.26.

Tabela 6-26: Porcentagem de espécies calcárias, indicadoras de concentração de O₂, nas biocenoses, tanatocenoses e contagem total das testas do testemunho FB2014.

Ponto Amostral	Profundidade	Biocenose-Espécies calcárias (%)			Tanatocenose-Espécies calcárias (%)			Total-Espécies calcárias (%)		
		Óxicas	Sub-Óxicas	Disóxicas	Óxicas	Sub-Óxicas	Disóxicas	Óxicas	Sub-Óxicas	Disóxicas
FB2014	Recente	0	0	0	3,03	96,97	0	3,03	96,97	0
	(0-2 cm)	0	0	0	4,44	95,56	0	4,44	95,56	0
	(2-4 cm)	0	100	0	16,67	83,33	0	14,29	85,71	0
	(4-6 cm)	0	100	0	80,82	19,18	0	75,64	24,36	0
	(6-8 cm)	0	0	0	68	32	0	68	32	0
	(8-10 cm)	0	0	0	97,67	2,33	0	97,67	2,33	0
	(10-12 cm)	0	0	0	93,20	6,80	0	93,20	6,80	0
	(12-14 cm)	0	0	0	95,00	5,00	0	95,00	5,00	0

Nas biocenoses foram observadas apenas espécies sub-óxicas, nas camadas 4-6 cm e 2-4 cm, que perfizeram o total de testas nessas camadas. Nas tanatocenoses não foram observadas espécies disóxicas.

A distribuição de espécies óxicas apresentou tendência de decréscimo entre as camadas 12-14 cm e Recente; já as espécies sub-óxicas mostraram tendência inversa, sofrendo aumento ao longo do testemunho, entre a camada de base e de topo (Figura 6.29).

Figura 6-29: Distribuição de espécies indicadoras de ambientes Óxicos, sub-óxicos e disóxicos, nas biocenoses, tanatocenoses e contagem total de testas, ao longo do testemunho FB2014.

6.2.4.3.4 Espécies segundo seu tipo de habitat

Nas biocenoses, do testemunho FB2014, observou-se predominância de espécies epifaunais/inafaunais nas camadas 6-8 cm e 2-4 cm e de espécies infaunais em Recente. Nas tanatocenoses as maiores frequências nas camadas superiores, entre 2-4 cm e Recente e em 6-8 cm foram de espécies epifaunais/inafaunais. As espécies infaunais predominaram em 12-13 cm, 10-12 cm e 4-6 cm (Tabela 6.27).

Tabela 6-27: Porcentagens de espécies com hábitos epifaunais, infaunais e epifaunais/infaunais, nas biocenoses, tanatocenoses e contagem total de testas, ao longo do testemunho FB2014.

Ponto amostral	Profundidade	Biocenose			Tanatocenose			Total		
		epi	inf	epi/inf	epi	inf	epi/inf	epi	inf	epi/inf
FB2014	Recente	0	100	0	9,14	34,31	56,55	8,75	34,95	56,3
	(0-2 cm)	0	0	0	8,44	27,69	63,87	8,44	27,69	63,87
	(2-4 cm)	0,65	39,53	59,82	10,98	37,8	51,22	12,12	35,35	52,53
	(4-6 cm)	0	50	50	21,62	45,24	33,14	22,19	45,25	32,56
	(6-8 cm)	0	0	100	22,02	38,14	39,84	21,4	37,04	41,56
	(8-10 cm)	0	0	0	40,34	31,09	28,57	40,37	31,09	28,54
	(10-12 cm)	0	0	0	49,29	50,71	0	49,29	50,71	0
	(12-13 cm)	0	0	0	31,66	66,67	1,67	31,66	66,67	1,67

Os gráficos de distribuição (Figura 6.30) apresentam grande variação das espécies infaunais e epifaunais/infaunais, nas biocenoses, não apresentando tendência única de variação.

Nas tanatocenoses, observa-se tendência de decréscimo de espécies epifaunais, da base para o topo do testemunho; a tendência de espécies epifaunais/infaunais é de aumento no sentido do topo e as espécies infaunais não apresentam tendência única ao longo do testemunho.

Figura 6-30: Distribuição de espécies de foraminíferos epifaunais/infaunais, infaunais e epifaunais nas biocenoses, tanatocenoses e contagem total, ao longo do testemunho FB2014.

6.2.5 Whalers Bay-WB01

A amostragem em Whalers Bay-P1, realizada com Box corer, compõe-se de 7 camadas: Recente; 0-2 cm; 2-4 cm; 4-6 cm; 6-8 cm; 8-10 cm; 10-12 cm.

6.2.5.1 Granulometria-Exame geral das estatísticas de distribuição

Os valores de diâmetro médio observados, em WB01, situam-se entre 4,71 ϕ e 5,51 ϕ , ou de silte grosso a silte médio. O desvio padrão médio ficou entre 1,84 ϕ e 2,47 ϕ , pobremente selecionado a muito pobremente selecionado. Os valores de assimetria situaram-se entre 0,46 e 0,22, muito negativa a positiva. A curtose alcançou valores entre 3,02 e 4,03, mesocúrtica a leptocúrtica (Apêndice 10). A correlação entre os valores de diâmetro médio dos sedimentos e profundidade foi $p=-0,599689$ e $r=0,1$, não sendo consistente estatisticamente. Porém, se excluirmos a primeira camada e efetuarmos o teste de correlação estatística apenas com as medidas das outras camadas, obteremos $p=0,956879$ e $r=0,005$, indicando diminuição do diâmetro médio com o aumento da profundidade (Figura 6.31).

Figura 6-31: Distribuição das estatísticas granulométricas das amostras do ponto WB01.

6.2.5.2 Teores de CaCO_3

Os teores mínimos e máximos observados, em FB2014, foram 8,54 % e 14,54 %. Segundo Larsonneur *et al.*, (1982), todas as amostras são litoclásticas (Apêndice 10).

Existe uma aparente tendência de decréscimo dos teores de CaCO_3 do topo para a base do testemunho, porém, o teste de correlação não apresentou consistência estatística (Figura 6.32).

Figura 6-32: Distribuição dos teores de CaCO₃ no testemunho WB01.

6.2.5.3 Análise microfaunística- foraminíferos

Foram encontradas testas de foraminíferos em todas as camadas do testemunho WB01. Observaram-se 46 espécies pertencentes a 36 gêneros, 31 famílias, 21 super-famílias, 7 ordens e 3 classes (Apêndices 11, 12, 20 e 21).

As espécies dominantes ($\geq 10\%$) em WB01, foram: *Cassidulinoides parkeriana*, *Cassidulinoides porrecta*, *Cassidulinoides* sp., *Globocassidulina crassa*, *Globocassidulina* sp., *Spiroplectammina biformis*, *Trochammina malovens*, *Trochammina* sp. (Anexos 20 e 21).

Entre 5% e 10% foram encontradas: *Eggerella minuta*, *Globocassidulina bora*, *Hippocrepinella hirudinea*, *Lepidoparatrochammina lepida*, *Miliammina arenacea*, *Pseudobolivina antarctica*, *Pullenia subcarinata*, *Saccammina* sp., *Stainforthia fusiformis*, *Textularia antarctica* (Anexos 20 e 21).

As espécies com menos de 5%, ou espécies raras, observadas foram: *Angulogerina* sp., *Anomalina* sp., *Astacolus* sp., *Astrononion echolsi*, *Astrononion stteligerum*, *Bolivinella pacifica*, *Bolivinellina pseudopunctata*, *Bulimina aculeata*, *Bulimina* sp., *Cibicides refulgens*, *Cribristomoides jeffreysi*, *Cribristomina alba*, *Epistominella exígua*, *Globocassidulina subglobosa*, *Glamospira gordialis*, *Hemisphaerammina bradyi*, *Lepidodeuterammina ochracea*, *Miliammina obliqua*, *Miliammina* sp., *Morulaeplecta* sp., *Nodulina dentaliniformis*, *Nonionella bradyi*, *Nonionella* sp., *Oolina* sp., *Parafissurina pseudomerginata*, *Parafissurina quadrata*, *Planorbulina variabilis*, *Quinqueloculina seminula*, *Recurvoidella bradyi*, *Reophax fusiformis*, *Rosalina globularis*, *Textularia agglutinans*, *Thurammina* sp., *Trifarina angulosa* (Anexos 20 e 21). Nas biocenoses, as espécies onbservadas são todas bentônicas. Nas

tanatocenoses, foram observadas espécies planctônicas, porém em apenas algumas camadas e em porcentagens que atingiram, no máximo, 2,8 % (Tabela 6.28).

Tabela 6-28: Porcentagens de foraminíferos planctônicos e bentônicos nas biocenoses, tanatocenoses e amostra total, das camadas do testemunho WB01.

Ponto amostral	Profundidade	Biocenose		Tanatocenose		Total	
		Planctônicos(%)	Bentônicos (%)	Planctônicos(%)	Bentônicos (%)	Planctônicos(%)	Bentônicos (%)
WB01	Rec	0	100	0	100	0	100
	(0-2 cm)	0	100	1,8	98,2	1,38	98,62
	(2-4 cm)	0	100	2,6	97,4	2,1	97,9
	(4-6 cm)	0	100	2,8	97,2	2,8	97,2
	(6-8 cm)	0	100	1,5	98,5	1,5	98,5
	(8-10 cm)	0	100	0	100	0	100
	(10-12 cm)	0	100	0	100	0	100

6.2.5.3.1 Índices ecológicos: densidade, riqueza, Shannon, Pielou e Simpson.

As densidades, nas biocenoses do testemunho WB01, mostraram valores bastante baixos que se situam entre 0,133 e 6,133 espécies por cm³ de sedimento. Nas tanatocenoses, os valores também são relativamente baixos, ficando entre 2,267 e 13,6 indivíduos por cm³ (Tabela 6.29). A riqueza de espécies situou-se, nas biocenoses, entre 1 e 19; já nas tanatocenoses os menores valores foram 7 e os maiores 29 (Tabela 6.29).

O índice de Shannon, apresentou o maior valor em 6-8 cm e o menor valor em Recente, nas biocenoses. Dentre as tanatocenoses o maior valor foi observado em 8-10 cm e o menor, também, na camada Recente (Tabela 6.29).

A equabilidade de Pielou, assim como o índice de Shannon apresentou o maior valor em 6-8 cm e o menor na camada Recente. Nas tanatocenoses, da mesma maneira, o maior e o valor foram observados em 8-10 cm e Recente, respectivamente (Tabela 6.29).

No índice de Simpson, a camada 6-8 cm mostrou ter o menor valor e a camada Recente, o maior valor, nas biocenoses. Nas tanatocenoses, o valor mínimo alcançado foi em 10-12 cm e o máximo na camada Recente (Tabela 6.29).

Tabela 6-29: Índices ecológicos: densidade, riqueza, Shannon, Pielou e Simpson, em biocenose, tanatocenose e número total de testas de foraminíferos, nas amostras do testemunho WB01.

WB01		Densidade	Riqueza	Shannon	Pielou	Simpson
WB01 Rec	Bio.	0,133	1,000	0,000	0,000	1,000
	Tan.	2,267	7,000	0,953	0,490	0,591
	Total	2,400	7,000	0,915	0,470	0,610
WB01 (0-2 cm)	Bio.	2,333	9,000	1,651	0,751	0,250
	Tan.	6,200	13,000	2,210	0,862	0,128
	Total	8,533	16,000	2,311	0,833	0,118
WB01 (2-4 cm)	Bio.	1,067	7,000	1,629	0,837	0,250
	Tan.	3,067	12,000	2,011	0,809	0,167
	Total	4,133	14,000	2,102	0,797	0,152
WB01 (4-6 cm)	Bio.	3,067	12,000	1,936	0,779	0,224
	Tan.	5,867	18,000	2,098	0,726	0,203
	Total	8,933	18,000	2,112	0,731	0,205
WB01 (6-8 cm)	Bio.	3,067	14,000	2,371	0,898	0,107
	Tan.	8,600	18,000	2,234	0,773	0,163
	Total	11,667	19,000	2,399	0,815	0,134
WB01(8-10 cm)	Bio.	6,133	13,000	2,078	0,810	0,162
	Tan.	13,600	24,000	2,419	0,761	0,121
	Total	19,733	25,000	2,464	0,765	0,117
WB01 (10-12 cm)	Bio.	5,333	19,000	2,156	0,732	0,186
	Tan.	9,400	22,000	2,415	0,781	0,115
	Total	0,200	1,000	0,000	0,000	1,000

Os gráficos de distribuição dos índices densidade e riqueza, tanto em biocenoses quanto em tanatocenoses apresentam tendências de acréscimo, entre o topo e a base do testemunho.

Os índices de Shannon, Pielou e Simpson, tanto em biocenoses quanto em tanatocenoses mostram relativa uniformidade, nos valores dos índices, da base do testemunho até a camada 0-2 cm, a partir dessa profundidade até a camada Recente, há decréscimo nos valores. A única exceção observada é no índice de Shannon, na curva de tanatocenose, a qual apresenta picos negativos nas camadas 10-12 cm 0-2 cm), não observados nas outras curvas (Figura 6.33).

Figura 6-33: Distribuição das densidades, riqueza, índices de Shannon, de Pielou e de Simpson das biocenoses, tanatocenoses e número total das testas de foraminíferos, das comunidades, do testemunho WB01. Bio: biocenose; Tan: tanatocenose e Total: número total.

6.2.5.3.2 *Espécies aglutinantes X espécies calcárias*

Nas biocenoses observou-se predomínio de espécies aglutinantes entre as camadas 10-12 cm e 8-10 cm. Nas camadas 6-8 cm e Recente o predomínio foi de espécies calcárias.

Nas tanatocenoses, predominaram as espécies calcárias em metade das amostras e na outra metade as espécies aglutinantes (Tabela 6.30).

Tabela 6-30: Porcentagens de espécies aglutinantes e calcárias, nas biocenoses, tanatocenoses e número total de testas de foraminíferos, nas amostras do testemunho WB01.

Ponto amostral	Profundidade	Biocenose		Tanatocenose		Total	
		Aglutinantes	Calcárias	Aglutinantes	Calcárias	Aglutinantes	Calcárias
WB01	Recente	0,00	100,00	17,65	82,35	16,67	83,33
	(0-2 cm)	11,43	88,57	58,40	41,60	46,28	53,73
	(2-4 cm)	37,50	62,50	53,92	46,08	52,74	47,26
	(4-6 cm)	32,61	67,39	37,25	62,75	34,41	65,59
	(6-8 cm)	36,96	63,04	32,55	67,45	33,15	66,85
	(8-10 cm)	55,43	44,57	54,88	45,12	55,75	44,25
	(10-12 cm)	78,75	21,25	65,34	34,66	69,62	30,38

A curva de distribuição, de biocenoses mostrou tendência clara de decréscimo de espécies aglutinantes e aumento de espécies calcárias entre as camadas 10-12 cm e Recente. Nas tanatocenoses, a tendência é a mesma, porém já não tão clara quanto nas associações de indivíduos vivos (Figura 6.34).

Figura 6-34: Distribuição de espécies aglutinantes e calcárias, nas biocenoses, tanatocenoses e número total de testas, ao longo do testemunho WB01.

6.2.5.3.3 *Espécies calcárias indicadoras de níveis de oxigenação*

Nas biocenoses e tanatocenoses, do testemunho WB01, predominaram as espécies sub-óxicas nas 3 camadas superiores do testemunho e as espécies óxicas nas 4 camadas restantes (Tabela 6.31).

Tabela 6-31: Porcentagem de espécies calcárias, indicadoras de concentração de O₂, nas biocenoses, tanatocenoses e contagem total das testas do testemunho WB01.

Ponto Amostrai	Profundidade	Biocenose-Espécies calcárias (%)			Tanatocenose-Espécies calcárias (%)			Total-Espécies calcárias (%)		
		Óxicas	Sub-Óxicas	Disóxicas	Óxicas	Sub-Óxicas	Disóxicas	Óxicas	Sub-Óxicas	Disóxicas
WB01	Recente	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00
	(0-2 cm)	19,35	80,65	0,00	43,24	56,76	0,00	32,35	67,65	0,00
	(2-4 cm)	10,00	90,00	0,00	16,67	83,33	0,00	14,29	85,71	0,00
	(4-6 cm)	74,19	25,81	0,00	76,47	21,57	1,96	75,61	23,17	1,22
	(6-8 cm)	58,62	41,38	0,00	78,57	21,43	0,00	72,73	27,27	0,00
	(8-10 cm)	85,37	14,63	0,00	72,50	27,50	0,00	76,86	23,14	0,00
	(10-12 cm)	58,82	35,29	5,88	68,09	31,91	0,00	0,00	0,00	0,00

Os gráficos de variações mostraram tendências de aumento de espécies sub-óxicas e de decréscimo de espécies óxicas, da base para o topo do testemunho, nas biocenoses e tanatocenoses (Figura 6.35)

Figura 6-35: Distribuição de espécies indicadoras de ambientes Óxicos, sub-óxicos e disóxicos, nas biocenoses, tanatocenoses e contagem total de testas, ao longo do testemunho WB01.

6.2.5.3.4 Espécies segundo seu tipo de habitat

Nas biocenoses, do testemunho WB01, as espécies de epifauna/infauna predominaram da base do testemunho até a camada 4-6 cm. A partir de 4-6 cm até a camada Recente, predominaram as espécies de infauna (Tabela 6.32).

Nas tanatocenoses, as espécies de infauna predominaram nas 3 camadas superiores e nas duas camadas inferiores do testemunho, enquanto as espécies de epifauna/infauna apresentaram maiores porcentagens em 6-8 cm e 4-6 cm (Tabela 6.32).

Tabela 6-32: Porcentagens de espécies com hábitos epifaunais/infaunais, infaunais e epifaunais, nas biocenoses, tanatocenoses e contagem total de testas, ao longo do testemunho WB01.

Ponto amostral	Profundidade	Biocenose			Tanatocenose			Total		
		epi	inf	epi/inf	epi	inf	epi/inf	epi	inf	epi/inf
WB01	Recente	0	100	0	5,88	82,35	11,77	5,55	83,33	11,12
	(0-2 cm)	0,85	71,42	27,73	22,58	51,97	25,45	17,18	56,43	26,39
	(2-4 cm)	0,15	68,75	31,1	15,21	71,3	13,49	16,12	70,47	13,41
	(4-6 cm)	0	30,43	69,57	10,84	37,51	51,65	11,08	35,07	53,85
	(6-8 cm)	0	23,91	76,09	17,05	17,82	65,13	19,43	19,42	61,15
	(8-10 cm)	0	20,65	79,35	15,19	46,14	38,67	20,61	38,84	40,55
	(10-12 cm)	0	22,5	77,5	22,06	41,84	36,1	33,91	28,01	38,08

Os gráficos de distribuição mostram tendência de aumento de espécies de epifauna/infauna e decréscimo no número de espécies de infauna, do topo para a base do testemunho, nas biocenoses e tanatocenoses. Já, as espécies epifaunais, praticamente não foram observadas nas biocenoses, apresentando decréscimo entre a base e o topo de testemunho (Figura 6.36).

Figura 6-36: Distribuição de espécies de foraminíferos epifaunais/infaunais, infaunais e epifaunais nas biocenoses, tanatocenoses e contagem total, ao longo do testemunho WB01.

6.2.5.4 Análises geoquímicas dos sedimentos das amostras de superfície, em WB01

Os resultados das análises geoquímicas dos sedimentos das amostras do testemunho WB01 estão no Apêndices 28 e 29.

6.2.5.5 Contagem de diatomáceas do testemunho WB01

Os resultados das contagens de valvas de diatomáceas do testemunho WB01 estão no Apêndice 31.

6.2.6 Whalers Bay- WB02

A amostragem, neste ponto, foi realizada com Box corer, sendo composta por 7 camadas: Recente; 0-2cm; 2-4 cm; 4-6 cm; 6-8 cm; 8-10cm; 10-12cm.

6.2.6.1 Granulometria-Exame geral das estatísticas de distribuição

As medidas de diâmetro médio obtidas foram de 3,08 ϕ a 5,07 ϕ , ou seja, areia muito fina e silte médio. O desvio padrão médio ficou entre 1,98 ϕ e 3,27 ϕ , pobremente selecionado a muito pobremente selecionado. A assimetria alcançou valores entre -0,79 e 0,18, muito negativa e positiva. Os valores de curtose variaram entre 2,01 e 4,03, platicúrtica e leptocúrtica, repectivamente (Apêndice 10).

A correlação entre diâmetro médio e profundidade é $p=0,592014$ e $r=0,05$, sendo aceita estatisticamente; o diâmetro apresenta um leve aumento do topo até a profundidade de 2 cm, passando a partir desse ponto até a camada entre 6 e 8 cm, a diminuir; volta então a ter tendência de aumento (Figura 6.37).

Figura 6-37: Distribuição das estatísticas granulométricas das amostras do ponto WB02.

6.2.6.2 Teores de CaCO_3

Os teores de CaCO_3 , observados no testemunho WB02, variaram entre 8,35 % e 13,98 % do total, em peso, das amostras, sendo, portanto, segundo Larssonneur *et al.*, (1982), todas litoclásticas (Apêndice 10).

A correlação obtida entre os teores de CaCO_3 e profundidade foi $p=-0,76944$ e $r=0,025$, ou seja, quanto maior a profundidade, menores os teores de CaCO_3 (Figura 6.38).

Figura 6-38: Distribuição dos teores de CaCO_3 no testemunho WB02.

6.2.6.3 Análise microfaunística- foraminíferos

No testemunho WB02 foram observadas testas de foraminíferos em todas as camadas (Tabela 6.3). O total de espécies encontradas é de 26, que pertencem a 22 gêneros, 12 sub-famílias, 12 famílias, 10 super-famílias, 7 ordens e 3 classes (Apêndices 11, 12, 22 e 23).

As espécies dominantes ($\geq 10\%$) observadas nesse local foram: *Adercotrymma glomeratum*, *Eggerella minuta*, *Lepidodeuterammina ochracea*, *Miliammina arenacea*, *Pseudobolivina antarctica*, *Saccamina sp.*, *Spiroplectammina biformis*, *Stainforthia fusiformis*, *Trochammina malovens* (Apêndices 22 e 23).

Entre 5% e 10%: *Bulimina sp.*, *Cassidulinoides parkeriana*, *Cassidulinoides porrecta*, *Cribrorhammina alba*, *Discorbinella bertheloti*, *Fursenkoina earlandi*, *Globocassidulina bora*, *Globocassidulina sp.*, *Gloioquillina sp.*, *Lagena sp.*, *Lepidoparatrochammina lepida*,

Quinqueloculina seminula, *Recurvoidella bradyi*, *Textularia antarctica*, *Textularia earlandi*, *Spiroplectammina filiformis* (Apêndices 22 e 23).

Com frequências menores que 5%, ou seja, espécies raras: *Morulaeplecta* sp., *Oolina scalariformesulcata*, *Thurammina antarctica*, *Thurammina* sp. (Apêndices 22 e 23).

Não foram observadas espécies planctônicas nas biocenoses. Nas tanatocenoses ocorreram espécies planctônicas em 4 das camadas, em porcentagens bastante baixas, chegando a, no máximo, 3,29%, na camada 6-8 cm (Tabela 6.33).

Tabela 6-33: Porcentagens de foraminíferos planctônicos e bentônicos nas biocenoses, tanatocenoses e amostra total, das camadas do testemunho WB02.

Ponto amostral	Profundidade	Biocenose		Tanatocenose		Total	
		Planctônicos(%)	Bentônicos (%)	Planctônicos(%)	Bentônicos (%)	Planctônicos(%)	Bentônicos (%)
WB02	Rec	0	100	0	100	0	100
	(0-2 cm)	0	100	1,8	98,2	1,38	98,62
	(2-4 cm)	0	100	2,6	97,4	2,1	97,9
	(4-6 cm)	0	100	0	100	0	100
	(6-8 cm)	0	100	3,29	96,71	1,93	98,07
	(8-10 cm)	0	100	2,76	97,24	1,56	98,44
	(10-12 cm)	0	100	0	100	0	100

6.2.6.3.1 Índices ecológicos: densidade, riqueza, Shannon, Pielou e Simpson.

As densidades observadas nas biocenoses do testemunho WB02 foram bastante baixas, apresentando valores máximos de 2,333 indivíduos/cm³ em 12-14 cm. Nas tanatocenoses, o valor máximo foi de 2,667, em 8-10 cm, (Tabela 6.34).

A riqueza de espécies apresentou os maiores valores em 6-8 cm e valores nulos em Recente, nas biocenoses. Nas tanatocenoses as porcentagens máximas foram observadas em 8-10 cm; as mínimas foram observadas em 2-4 cm e 4-6 cm (Tabela 6.34).

O índice de Shannon mais alto foi observado em 6-8 cm (1,909) e o mais baixo em 0-2 cm (0,886), nas biocenoses. Nas tanatocenoses, o valor mínimo foi observado em 2-4 cm e o mais alto em 0-2 cm, (Tabela 6.34).

A equabilidade de Pielou mínima foi observada em 12-14 cm e a mais alta em 10-12 cm, nas biocenoses; nas tanatocenoses o valor mais baixo encontrou-se em 2-4 cm e o mais alto em 10-12 cm (Tabela 6.34).

O índice ecológico de Simpson, nas biocenoses, apresentou o valor mais baixo em 10-12 cm e o mais alto em 2-4 cm. Nas tanatocenoses, o valor mais baixo foi observado em 0-2 cm e o mais alto em 2-4 cm (Tabela 6.34)

Tabela 6-34: Índices ecológicos: densidade, riqueza, Shannon, Pielou e Simpson, em biocenose, tanatocenose e número total de testas de foraminíferos, nas amostras do testemunho WB02.

Amostra		Densidade	Riqueza	Shannon	Pielou	Simpson
WB02 Rec	Bio.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Tan.	2,133	9,000	1,989	0,905	0,146
	Total	2,133	9,000	1,989	0,905	0,146
WB02 (0-2 cm)	Bio.	1,333	3,000	0,886	0,807	0,480
	Tan.	1,533	12,000	2,352	0,946	0,099
	Total	2,867	13,000	2,057	0,802	0,193
WB02 (2-4 cm)	Bio.	0,733	4,000	1,162	0,838	0,349
	Tan.	1,600	7,000	1,474	0,757	0,306
	Total	2,333	10,000	1,822	0,791	0,207
WB02 (4-6 cm)	Bio.	0,733	5,000	1,295	0,804	0,349
	Tan.	1,467	7,000	1,580	0,812	0,265
	Total	2,200	9,000	1,802	0,820	0,206
WB02(6-8 cm)	Bio.	1,400	9,000	1,909	0,869	0,180
	Tan.	2,333	11,000	1,964	0,819	0,190
	Total	3,733	16,000	2,274	0,820	0,157
WB02(8-10 cm)	Bio.	2,267	7,000	1,704	0,876	0,212
	Tan.	2,667	14,000	2,030	0,769	0,213
	Total	4,933	16,000	2,115	0,763	0,182
WB02(10-12 cm)	Bio.	1,600	8,000	1,688	0,812	0,239
	Tan.	0,733	10,000	2,272	0,987	0,098
	Total	2,333	13,000	2,163	0,843	0,152
WB02(12-14 cm)	Bio.	2,333	7,000	1,203	0,618	0,452
	Tan.	1,333	11,000	2,194	0,915	0,126
	Total	3,667	13,000	1,807	0,705	0,281

As curvas de distribuição das densidades, nas biocenoses e tanatocenoses, ao longo do testemunho WB02 são bastante semelhantes e não apresentam tendência única de variação, com distribuição dentro de faixa restrita de valores.

A riqueza de espécies, nas biocenoses, apresenta tendência de aumento do topo para base do testemunho. Nas tanatocenoses, o número de espécies varia entre 7 e 14 e não há tendência única em sua distribuição.

Os índices de Shannon, Pielou e Simpson apresentam curvas bastante semelhantes nas biocenoses e tanatocenoses, sendo exceção apenas a primeira camada de biocenoses, já que não foram observados organismos vivos na camada Recente. Observa-se que esses índices têm distribuição bastante regular ao longo do testemunho (Figura 6.39).

Figura 6-39: Distribuição das densidades, riqueza, índices de Shannon, de Pielou e de Simpson das biocenoses, tanatocenoses e número total das testas de foraminíferos, das comunidades, do testemunho WB02. Bio: biocenose; Tan: tanatocenose e Total: número total.

6.2.6.3.2 *Espécies aglutinantes X espécies calcárias*

As espécies aglutinantes foram predominantes sobre as calcárias, em todas as camadas do testemunho WB02, nas biocenoses e tanatocenoses (Tabela 6.35).

Tabela 6-35: Porcentagens de espécies aglutinantes e calcárias, nas biocenoses, tanatocenoses e número total de testas de foraminíferos, nas amostras do testemunho WB02.

Ponto amostral	Profundidade	Biocenose		Tanatocenose		Total	
		Aglutinantes	Calcárias	Aglutinantes	Calcárias	Aglutinantes	Calcárias
WB02	Recente	0,00	0,00	87,50	12,50	87,50	12,50
	(0-2 cm)	100,00	0,00	95,65	4,35	97,67	2,33
	(2-4 cm)	95,46	4,55	95,83	4,17	95,71	4,29
	(4-6 cm)	100,00	0,00	90,91	9,09	93,94	6,06
	(6-8 cm)	90,48	9,52	97,69	2,31	94,89	5,11
	(8-10 cm)	88,24	11,76	82,24	17,76	84,93	15,07
	(10-12 cm)	95,83	4,17	72,73	27,27	88,57	11,43
	(12-14 cm)	85,71	14,29	85,00	15,00	85,45	14,55

A distribuição das espécies aglutinantes e calcárias, ao longo do testemunho, apresentou valores relativamente constantes, nas biocenoses e tanatocenoses, ao longo de todo o testemunho, com exceção da camada Recente, onde não foram observados indivíduos vivos (Figura 6.40).

Figura 6-40: Distribuição de espécies aglutinantes e calcárias, nas biocenoses, tanatocenoses e número total de testas, ao longo do testemunho WB02.

6.2.6.3.3 *Espécies calcárias indicadoras de níveis de oxigenação*

Nas biocenoses as espécies sub-óxicas foram predominantes em todas as camadas, com exceção de 6-8 cm, onde predominaram as espécies disóxicas, e em 12-14 cm, na qual predominaram as espécies óxicas. Nas tanatocenoses, o predomínio foi de espécies sub-óxicas em todas as camadas, com exceção de 10-12 cm, onde ocorreram os três tipos de espécies calcárias, em

porcentagens iguais e na camada 12-14 cm, na qual o predomínio foi de espécies disóxicas (Tabela 6.36).

Tabela 6-36: Porcentagem de espécies calcárias, indicadoras de concentração de O₂, nas biocenoses, tanatocenoses e contagem total das testas do testemunho WB02.

Ponto Amostral	Profundidade	Biocenose (%)			Tanatocenose			Total		
		Óxicas	Sub-Óxicas	Disóxicas	Óxicas	Sub-Óxicas	Disóxicas	Óxicas	Sub-Óxicas	Disóxicas
WB02	Recente	0,00	0,00	0,00	33,33	66,67	0,00	33,33	66,67	0,00
	(0-2 cm)	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00
	(2-4 cm)	20,00	80,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,00	80,00	0,00
	(4-6 cm)	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00
	(6-8 cm)	0,00	33,32	66,68	0,00	100,00	0,00	0,00	50,03	49,97
	(8-10 cm)	0,00	100,00	0,00	9,13	90,87	0,00	11,82	88,18	0,00
	(10-12 cm)	0,00	100,00	0,00	33,33	33,33	33,33	50,00	25,00	25,00
	(12-14 cm)	66,67	16,67	16,67	33,33	0,00	66,67	55,56	11,11	33,33

A variação das curvas de distribuição das espécies calcárias, indicadoras de concentração de oxigênio no ambiente, apontam nas biocenoses para condições principalmente óxicas na base do testemunho, sub-óxicas, entre as camadas 10-12 cm e 8-10 cm; predominância de espécies disóxicas em 6-8 cm com retorno às condições anteriores entre as camadas 4-6 cm e 0-2 cm (Figura 6.41).

Nas tanatocenoses a base do testemunho apresentou, principalmente espécies sudisóxicas, mas também óxicas. A partir de 10-8 cm até 4-6 cm, houve aumento de espécies sub-óxicas e desaparecimento das espécies óxicas. Na camada 2-4 cm não foram observadas espécies calcárias. No intervalo 0-2 cm a totalidade foi de espécies sub-óxicas. Na camada Recente estas espécies diminuíram, em detrimento às espécies óxicas (Figura 6.41).

Figura 6-41: Distribuição de espécies indicadoras de ambientes Óxicos, sub-óxicos e disóxicos, nas biocenoses, tanatocenoses e contagem total de testas, ao longo do testemunho WB02.

6.2.6.3.4 Espécies segundo seu tipo de habitat

Nas biocenoses, as espécies de infauna predominaram em todas as camadas. Nas tanatocenoses houve predominância de espécies de epifauna em 6-8 cm e 2-4 cm, enquanto as espécies de

infauna estiveram presentes, em maior número em 12-14 cm e 0-2 cm, 12-14 cm e e igual número às de epifauna/infauna, na camada Recente. As espécies de epifauna/infauna predominaram nas camadas 10-12 cm, 8-10 cm e 4-6 cm, 8-10 cm e 10-12 cm (Tabela 6. 37).

Tabela 6-37: Porcentagens de espécies com hábitos epifaunais/infaunais, infaunais e epifaunais, nas biocenoses, tanatocenoses e contagem total de testas, ao longo do testemunho WB02.

Ponto amostral	Profundidade	Biocenose			Tanatocenose			Total		
		epi	inf	epi/inf	epi	inf	epi/inf	epi	inf	epi/inf
WB02	Recente	0,00	0,00	0,00	18,75	40,63	40,62	18,75	40,63	40,62
	(0-2 cm)	0,40	65,00	34,60	26,09	19,19	54,72	44,19	35,25	20,56
	(2-4 cm)	2,07	49,54	48,39	70,83	25,00	4,17	62,86	20,00	17,14
	(4-6 cm)	1,18	79,64	19,18	4,55	40,91	54,54	24,24	33,33	42,43
	(6-8 cm)	0,38	79,67	19,95	40,00	37,69	22,31	50,00	28,81	21,19
	(8-10 cm)	0,59	70,00	29,41	22,50	17,50	60,00	35,14	18,92	45,94
	(10-12 cm)	2,30	82,59	15,11	18,18	36,36	45,46	48,57	34,29	17,14
	(12-14 cm)	0,55	80,21	19,24	30,00	40,00	30,00	58,18	20,00	21,82

Os gráficos de distribuição de espécies, segundo seu tipo de *habitat* mostra, nas biocenoses, tendência de aumento de espécies de epifauna/infauna, do topo para a base do testemunho; leve tendência de aumento das espécies de infauna e, leve tendência de decréscimo das espécies de epifauna, do topo para a base. Nas tanatocenoses não há tendência única de distribuição em nenhum dos tipos de espécies, com alternância de predominância dos tipos de espécies entre as camadas (Figura 6.42).

Figura 6-42: Distribuição de espécies de foraminíferos epifaunais/infaunais, infaunais e epifaunais nas biocenoses, tanatocenoses e contagem total, ao longo do testemunho WB02.

6.2.6.4 *Análises geoquímicas dos sedimentos das amostras de superfície, em WB02*

Os resultados das análises geoquímicas dos sedimentos das amostras do testemunho WB02 estão no Apêndices 24 e 25.

6.2.6.5 *Contagem de diatomáceas do testemunho WB02*

Os resultados das contagens de valvas de diatomáceas do testemunho WB02 estão no Apêndice 27.

6.2.7 **Amostras de superfície**

6.2.7.1 *Granulometria-Exame geral das estatísticas de distribuição.*

As amostras referentes aos pontos WB03 e WB04 foram coletadas, manualmente, em região de entre-marés, com amostragem apenas de sedimento superficial. O ponto WB05, situa-se em uma laguna, em sublitoral raso; e os sedimentos foram coletados com Van Veen. Os pontos amostrais WB01Rec e WB02Rec correspondem à camada superficial dos perfis WB01 e WB02, coletados sublitoral profundo, com box corer. Os resultados referentes ao exame geral das estatísticas de distribuição de granulometria (Anexo 10) mostraram diâmetro médio entre silte médio ($5,07\Phi$) em WB01 e areia grossa ($0,57\Phi$) em WB03. As amostras com menores diâmetros situaram-se a maiores profundidades. O parâmetro desvio médio situou-se entre pobremente selecionado ($1,90 \Phi$) em WB01 e muito pobremente selecionado ($3,13 \Phi$) em WB05. Não há correlação entre desvio médio e profundidade. A assimetria observada variou de muito negativa ($-1,02$) em WB04 a muito positiva ($1,05$) em WB05. Não foi observada correlação entre assimetria e profundidade. O parâmetro curtose situou-se entre muito leptocúrtica ($1,46$) em WB03 e extremamente leptocúrtica ($4,03$) em WB01 Rec. Não se observou correlação entre curtose e profundidade das amostras (Apêndice 10).

6.2.7.2 Teores de CaCO_3

Os teores de CaCO_3 (Apêndice 10), nas amostras de superfície, em Whalers Bay situaram-se entre (8,66%) em WB03 e (14,87%) em WB04. Todas as amostras são litoclásticas, segundo a classificação de Larsonneur *et al.* (1982). Observou-se que os teores de carbonato são maiores nas amostras com menor diâmetro médio de grão.

6.2.7.3 Análise microfaunística- foraminíferos

Não foram observadas testas nas amostras dos pontos WB03 e WB04.

No ponto de amostragem WB05 foram observadas 4 espécies pertencentes a 4 gêneros, 3 sub-famílias, 4 famílias, 5 super-famílias, 3 ordens e 1 classe (Apêndices 11, 12, 20 e 21).

As espécies que dominaram a amostra ($\geq 10\%$) foram *Globocassidulina* sp. e *Trochammina malovens*. Observou-se também uma espécie com frequência entre 5 % e 10%: *Eggerella minuta*. Com porcentagem menor que 5%, estava presente na amostra, a espécie *Stanforthia fusiformis* (Anexos 20 e 21)

A espécie *Globocassidulina* sp. não foi identificada pois nenhum dos indivíduos possuía a parte da abertura, que é característica crucial para a diferenciação entre algumas espécies.

No ponto de coleta WB05 foram observadas apenas espécies bentônicas.

6.2.7.3.1 Índices ecológicos: densidade, riqueza, Shannon, Pielou e Simpson.

Os sedimentos do ponto WB05 apresentou densidade e riqueza baixas nas biocenoses e tanatocenoses. Os índices Simpson, Shannon e Pielou também mostraram valores relativamente baixos devido à pouca densidade e variedade de espécies (Tabela 6.38).

Tabela 6-38: Índices ecológicos: densidade, riqueza, Shannon, Pielou e Simpson, em biocenose, tanatocenose e número total de testas de foraminíferos, na amostra WB05.

Sample	WB05		
	Bio.	Tan.	Total
Density	1,2	2	3,2
Richness	3	5	6
Simpson	0,537	0,4032	0,4889
Shannon	0,8544	0,8492	0,9547
Pielou	0,777	0,5277	0,5328

6.2.7.3.2 *Espécies aglutinantes X espécies calcárias*

Nas biocenoses e tanatocenoses, as espécies calcárias foram predominantes em WB05. Porém, nas tanatocenoses, a razão calcárias/aglutinantes foi levemente mais alta que nas biocenoses (Tabela 6.39).

Tabela 6-39: Porcentagens de espécies aglutinantes e calcárias, nas biocenoses, tanatocenoses e número total de testas de foraminíferos, nas amostra WB05.

Ponto amostral	Biocenose		Tanatocenose		Total	
	Aglutinantes	Calcárias	Aglutinantes	Calcárias	Aglutinantes	Calcárias
WB05	44,44	55,56	33,33	66,67	37,50	62,50

6.2.7.3.3 *Espécies calcárias indicadoras de níveis de oxigenação*

Todas as espécies calcárias observadas, na biocenose e tanatocenose, são indicadoras de condições sub-óxicas.

6.2.7.3.4 *Espécies segundo seu tipo de habitat*

Em WB05 houve predomínio das espécies de epifauna, na biocenose e tanatocenose (Tabela 6.40)

Tabela 6-40: Porcentagens de espécies com hábitos epifaunais/infaunais, infaunais e epifaunais, nas biocenoses, tanatocenoses e contagem total de testas, em WB05.

WB05			
	bio	tan	total
Epi/inf	38,89	13,33	22,92
Infauna	0,00	16,67	10,42
Epifauna	61,11	70,00	66,67

6.2.7.4 *Análises geoquímicas dos sedimentos das amostras de superfície, em WB05*

Os resultados das análises geoquímicas dos sedimentos das amostras do testemunho WB05 estão no Apêndices 28 e 29.

7 HIDROTHERMALISMO EM DECEPTION-VARIAÇÕES DE COMPOSIÇÃO E TEMPERATURA, E FAUNA ASSOCIADA

Resumo

No verão austral de 2012-2013 (OPERANTAR XXXI) foi realizada campanha na ilha Deception, localizada no sul das ilhas Shetland do sul, com objetivo de caracterizar o hidrotermalismo e a meio-fauna (foraminíferos) associada, na área. Foram coletadas nove amostras superficiais e quatro testemunhos em Fumarole Bay e Whalers Bay. Foram realizadas análises granulométricas, geoquímicas e de foraminíferos. Durante a campanha foram medidos temperatura, pH, ORP, condutividade, turbidez, oxigênio dissolvido, TDS e salinidade da coluna d'água. A análise granulométrica dos sedimentos mostrou que os testemunhos compõem-se, principalmente, de material na fração silte e argila e as amostras superficiais são compostas por material mais grosso, chegando até a fração seixo. Os teores de CaCO_3 variaram de acordo com a granulometria dos sedimentos, sendo os sedimentos mais finos, enriquecidos em carbonatos. Os sedimentos foram classificados como litoclásticos e litobioclásticos. A análise geoquímica dos sedimentos foi realizada por ICP-MS e pôde-se distinguir diferenças de composição e temperatura dos fluidos, na ilha. Fumarole Bay e uma estação em *Whaler's Bay* estariam sujeitos a emissões de mais altas temperaturas que Whalers Bay. Os sedimentos do testemunho FB07 são enriquecidos em Au e Hg, principalmente. O testemunho FB06 e a amostra do WB05 são, particularmente, enriquecidos em As, Ba, Mn e Mo elementos metálicos Au e Hg. Os testemunhos de Whalers Bay apresentam maiores teores de Zn, Fe, Cu, Sn, Pb, Co, Ni e Mg. Foram observadas as biocenoses e tanatocenoses de foraminíferos. As espécies das biocenoses das amostras rasas não mostraram correlação significativa com as características físico-químicas da água. Por outro lado, algumas das espécies principais mostraram-se positivamente correlacionadas com elementos metálicos indicativos de atividade hidrotermal. A estruturação da composição faunística parece estar ligada à sazonalidade de aporte de nutrientes, que se inicia com o *bloom* de fitoplâncton, na primavera e tem continuidade com o aporte de matéria orgânica e nutrientes provenientes dos sedimentos, que chegam a Port Foster, com o degelo, a partir das áreas mais altas da ilha. A variação, episódica, das características do meio causadas por atividade hidrotermal, condicionaria, de certo modo, a composição das assembleias. Dentre as espécies dominantes, *Trochammina malovensensis* e *Miliammina arenacea* estavam presentes em todos os pontos amostrais. Em um dos testemunhos de Fumarole Bay

(FB06) foi possível estabelecer a sucessão faunística, que ocorreria com o surgimento das espécies *Adercotryma glomeratum*, *Eggerella minuta*, *Pseudobolivina antarctica* e *Textularia antarctica* em períodos de maior energia no ambiente. Posteriormente, em períodos de maior estabilidade, com densidades de testas mais altas, as espécies *Trochammina malovenssis* e *Miliammina arenacea* dominariam as assembleias, em detrimento das espécies anteriores.

Introdução

Área de estudo

A ilha Deception situa-se entre as latitudes 62°53'30 "S e 63°01'20" S e entre as longitudes 60°29'20 "W e 60 ° 45'10" W, no Estreito de Bransfield, sul das Ilhas Shetland (Smellie & López-Martínez, 2002).

Erupções estrombolianas e freatomagmáticas originaram esta ilha, motivadas pelo regime de esforços tectônicos do Estreito de Bransfield e pelo surgimento da lava nas câmaras magmáticas, 780.000 anos atrás (Paredes, 2002; Smellie *et al.*, 2002; Baraldo *et al.*, 2003). A colocação do edifício vulcânico ocorreu em uma pequena bacia oceânica, aberta entre a placa da Antártida e a antiga placa de Phoenix (González-Casado *et al.*, 2000).

A ilha tem a forma de uma ferradura e diâmetro, abaixo do nível do mar, de 25 km (Smellie 1988; Barclay *et al.*, 2009, Martí *et al.*, 2013) e acima do nível do mar de cerca de 13 km (Martí *et al.*, 2013). Deception tem uma abertura, em forma de canal, com pouca profundidade, voltado para SSW, chamado Neptune's Bellows (Figura) Smellie, 1988; Barclay *et al.* 2009). Esse canal dá acesso ao interior da caldeira, conhecida como Port Foster (figura 1), cujo piso atinge profundidades de 150-190m. É delimitado por todos os lados por penhascos verticais de rocha e gelo (Finger & Lipps, 1981). As falésias que circundam a ilha formam um anel, quase completo, com uma altura de até 500m (Mount Pound), as quais também envolvem a parte submersa (*Port Foster*). Muitas das principais falésias e de crateras apresentam tendências NE ou NW, sugerindo um forte controle estrutural (Smellie, 1988; Gràcia *et al.*, 1997; González-Casado *et al.*, 1999; Rey *et al.*, 1995). Muitas das falésias e conjuntos de crateras apresentam tendências NE ou NW, sugerindo um forte controle estrutural (Smellie, 1988; Gràcia *et al.*, 1997; González-Casado *et al.*, 1999; Rey *et al.*, 1995).

Atualmente, Deception é o vulcão mais ativo e uma das áreas de maior atividade sísmica na Antártida; como evidenciado pelos mais recentes períodos eruptivos de 1967, 1969 e 1970, e pela atividade freqüente de terremotos de baixa magnitude (Backer *et al.*, 1971; Rey *et al.*, 1995; Smellie, 2001; Paredes *et al.*, 2007), com variação na composição dos gases emitidos

pelos *vents* (Caselli *et al.*, 2004). Os sistemas de ventilação, em *Fumarole Bay* e *Whalers Bay* (Figura 1), apresentam fumarolas sub-aéreas que estão ligadas ao aquecimento de aquíferos rasos por fluxos convectivos gasosos da câmara magmática subjacente (Smellie & Lopez-Martinez, 2002, Somoza *et al.*, 2004, Berrocoso *et al.*, 2018; García *et al.*, 1997; Ibáñez *et al.*, 2000).

As rochas vulcânicas têm composição de basalto-olivina, riodacitos, basaltos, basalto-mugearitos, dacitos / traquitos (Rey *et al.*, 1995), porém predominam os basaltos-andesíticos (Smellie, 2001). Os sedimentos encontrados em Deception vêm da própria ilha, do material tephra intemperizado e, em menor extensão, das erupções na própria ilha, porque a ilha é (Somoza *et al.*, 2004).

O ambiente, em Deception é dos mais extremos, com grandes gradientes de temperatura. Os penhascos que rodeiam a ilha permanecem cobertos por gelo, durante grande parte do ano, de junho a novembro (Martí *et al.*, 1996). No verão antártico, raramente as temperaturas ultrapassam os 2°C, porém quando estão acima de 0°C, com a alta incidência solar, há derretimento de neve e gelo e formação de sistemas fluviais (Inbar, 1995). O clima local é influenciado pela fisiografia, já que Deception é uma baía (Inbar, 1995) com abertura relativamente pequena, para o exterior.

Por outro lado, a atividade hidrotermal, pode introduzir grandes quantidades de elementos metálicos, que são potencialmente tóxicos (Price & Pichler, 2005) e favorecer o aumento da temperatura dos sedimentos de fundo e da coluna d'água sobrejacente, além da variação de composição sedimentar e consequentemente variabilidade na biodisponibilização de elementos químicos que podem ser micronutrientes ou, quando em excesso, tóxicos, para a fauna local. Além disso, durante o verão austral, com o derretimento da cobertura de gelo, todo o ecossistema passa por mudanças drásticas, com grandes variações não só da temperatura, como também, de outras características abióticas na coluna d'água. O decréscimo de salinidade, variação de pH, oxigênio dissolvido dentre outras, pode afetar diretamente a composição da fauna de foraminíferos bentônicos, do local (Arnold & Parker, 1999). Dentro desse contexto e conhecendo-se a habilidade dos foraminíferos resistirem (Finger & Lipps, 1981) ou mesmo se adaptarem às condições adversas o objetivo deste trabalho é analisar a estrutura das associações de foraminíferos, detalhando a composição das espécies, número de indivíduos e de espécies, a densidade, a diversidade e a dominância, além da determinação dos padrões de distribuição espacial em relação aos parâmetros hidrográficos e sedimentológicos.

Figura 1: Mapa da Ilha Deception com as principais feições geomorfológicas. Adaptado de Smellie (2001).

2. Materiais e Métodos

2.1 Amostragem

No verão austral de 2012-2013 (XXXI OPERANTAR), foram coletadas amostras em dois locais, na ilha Deception, Antártida (*Fumarole Bay*-FB e *Whalers Bay*-WB), (ver figura 2). Foram coletados dois testemunhos em *Fumarole Bay* (FB06 e FB07) e seis amostras superficiais (FB01, FB02, FB03, FB04, FB05, FB08 e FB09). Em *Whalers Bay* foram coletados dois testemunhos (WB01 e WB02) e três amostras superficiais (WB03, WB04 e WB05) (Tabela X e Figura X). Os sedimentos foram coletados, em cada estação para análises geoquímicas (elementos traço e maiores), granulometria, teores de CaCO_3 e meiofauna (foraminíferos). Os testemunhos FB06, FB07, WB01 e WB02 foram coletados com Box Corer com (271L). Esses

testemunhos foram amostrados a cada intervalo de 2 cm, que é o limite do método. Assim que a *box corer* era trazida a bordo, a água superficial era cuidadosamente retirada por sifão. Posteriormente, amostrava-se o primeiro centímetro da coluna sedimentar (amostra recente). Em seguida, introduziam-se *cores* de aço inox 10x10x60cm), destinados às análises granulométrica, geoquímica (elementos traços e maiores) e de foraminíferos.

Figura 2: Localização dos pontos amostrais em *Whalers Bay* e *Fumarole Bay*.

Nas regiões com profundidades menores que 20 m, as amostras de sedimentos (FB04, FB05, FB08, FB09 and WB05) foram coletadas por meio de pegador Van Veen modificado. Em regiões muito rasas (<5m), os sedimentos superficiais, ao redor das emanções ativas, foram coletados manualmente por mergulhadores autônomos.

As amostras de sedimentos em FB01, FB03, WB03 and WB04 foram coletadas, cuidadosamente, com pá, nas regiões de supra-litoral e entre-marés. Nesses pontos da costa, foram observadas esteiras de cor branca, ao redor das emanções. A superfície dessa camada foi coletada, por mergulhadores e acondicionada em recipientes plásticos.

A fração das amostras, usadas para a análise dos foraminíferos, foi colocada em álcool 70%, para preservar o material biológico, e foi, então, tingida com Rosa de Bengala, para que os indivíduos que estivessem vivos, no momento da coleta, pudessem ser identificados (Walton, 1952).

Area	Local	Profundidade (m)	Data	Hora	Latitude	Longitude	Temperatura(°C)	pH	pHmV	ORP mV	Condutividade (mS/cm)	Turbidez (NTU)	Oxigênio dissolvido	DO%	TDS	Salinidade ppt	Gravidade específica	Borbulhament o	Método de coleta	N° de amostras
DECEPTION	F801	0	15/01/2013	15:41:55	62°57'23,6" S	60°42'41,8" W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	manual	1
	F803	0	16/01/2013	16:32:01	62°58'25,6" S	60°42'36,6" W	-	7,61	-49	116	62,2	0	21,51	-	37,2	36,6	29,5	B	manual	1
	F804	4,60	16/01/2013	17:13:33	62°58'03,5" S	60°42'26,3" W	0,2	7,62	-50	112	62,3	0	22,62	-	37,4	36,7	29,6	-	Van Veen	1
	F804	2,15	16/01/2013	17:17:07	62°58'03,5" S	60°42'26,3" W	0,2	7,62	-50	112	62,3	0	22,62	-	37,4	36,7	29,6	-	Van Veen	1
	F804	0,00	16/01/2013	17:18:44	62°58'03,5" S	60°42'26,3" W	0,1	7,51	-44	96	61,8	1,7	23,15	-	37,1	36,4	29,4	-	Van Veen	-
	F805	10,95	16/01/2013	19:15:31	62°58'03,5" S	60°42'26,3" W	-0,1	4,2	-	229	21,2	0	21,39	169,9	13,2	26,5	-	-	Van Veen	1
	F805	5,43	16/01/2013	19:25:31	62°58'00,3" S	60°42'20,5" W	-0,1	4,7	-	229	21,2	0	19,54	-	13,2	26,5	-	-	-	-
	F805	0,25	16/01/2013	19:24:31	62°58'00,3" S	60°42'20,5" W	-0,1	4,68	-	229	21,2	0	18,45	144	13,1	27,1	-	-	-	-
	F806	0,00	16/01/2013	08:54:22	62°57'39,0" S	60°40'44,8" W	0,5	6,72	-	245	22,6	0	10,99	99,5	14	2,37	-	-	-	-
	F806	120,00	16/01/2013	09:14:24	62°57'39,0" S	60°40'44,8" W	0,2	7,47	-	235	22,3	0	11,45	95	13,8	2,64	-	Box corer	8	
	F806	104,00	16/01/2013	09:29:20	62°57'39,0" S	60°40'44,8" W	-0,2	7,61	-	253	22,3	0	11,25	91	13,8	2,75	-	-	-	-
	F806	20,00	16/01/2013	09:38:44	62°57'39,0" S	60°40'44,8" W	0,2	7,76	-	250	22,5	0	11,59	94,5	14	2,77	-	-	-	-
	F806	15,00	16/01/2013	10:00:00	62°57'39,0" S	60°40'44,8" W	0,9	7,8	-	249	22,6	0	13,07	106,6	14	2,77	-	-	-	-
	F807	90,00	17/01/2013	12:13:52	62°57'58,4" S	60°42'33,8" W	-	7,75	-	223	22	0	12,35	97,9	13,6	2,78	-	Box corer	7	
	F808	9,85	17/01/2013	17:31:41	62°58'00,1" S	60°42'19,5" W	-	7,75	-	192	21,9	0	11,41	89,8	13,6	2,81	-	Van Veen	1	
	F808	5,30	17/01/2013	17:37:54	62°58'00,1" S	60°42'19,5" W	-	7,81	-	192	21,9	0	11,41	89,8	13,6	2,81	-	Van Veen	1	
	F808	0,00	17/01/2013	17:42:35	62°58'00,1" S	60°42'19,5" W	-	7,73	-	204	21,2	0	14,18	112,4	13,1	2,65	-	-	-	-
	F809	13,40	17/01/2013	15:56:22	62°58'02,2" S	60°42'18,7" W	-	7,83	-	186	21,7	0	13,69	108,5	13,4	2,73	-	-	-	-
	F809	6,50	17/01/2013	16:00:43	62°58'02,2" S	60°42'18,7" W	-	7,83	-	184	21,6	0	11,33	89,1	13,4	2,75	-	Van Veen	1	
F809	0,00	17/01/2013	16:02:38	62°58'02,2" S	60°42'18,7" W	1,5	7,54	-	157	21,8	0	19,03	152,4	13,5	2,71	-	-	-	-	
Whalers Bay	W801	0,00	18/01/2013	09:38:24	62°59'10,9" S	60°33'59,7" W	0,6	7,82	-	260	22,4	0	12,32	100,7	13,9	2,73	22	-	-	-
	W801	5,00	18/01/2013	09:43:37	62°59'10,9" S	60°33'59,7" W	0,7	7,85	-	259	22,5	0	12,13	99,1	13,9	2,74	22,1	-	-	-
	W801	28,00	18/01/2013	09:46:19	62°59'10,9" S	60°33'59,7" W	0,6	7,86	-	258	22,3	0	13,39	108,4	13,8	2,76	22,2	-	Box corer	7
	W801	42,00	18/01/2013	09:49:26	62°59'10,9" S	60°33'59,7" W	0,6	7,85	-	257	22,3	0	11,69	94,6	13,8	2,76	22,2	-	-	-
	W802	65,00	18/01/2013	11:52:09	62°59'01,0" S	60°33'38,0" W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Box corer	8
	W803	0,00	18/01/2013	13:01:34	62°58'46,1" S	60°33'24,7" W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	manual	1
	W804	0,00	18/01/2013	15:19:09	62°58'46,1" S	60°33'24,7" W	9	6,97	-	-92	25,5	0	13,03	120	15,8	2,73	21,8	B	Manual	1
	W805	28,95	18/01/2013	16:04:13	62°58'46,9" S	60°33'30,0" W	4,4	7,88	-	127	22,1	0	0,58	4,6	13,7	2,82	22,7	B	Van Veen	1

Tabela 1: Coordenadas, data, hora de coleta, temperatura, pH, ORP, condutividade, turbidez, oxigênio dissolvido, DO%, TDS, salinidade e gravidade específica da coluna d'água em pontos amostrais de Deception.

As coordenadas, data, hora de coleta e características físico-químicas da água, tais como temperatura, pH, ORP, Condutividade, Turbidez, oxigênio dissolvido, DO%, TDS, salinidade e gravidade específica em FB04, FB05, FB06, FB08, FB09, WB01, WB02, WB04 e WB05 foram medidos a bordo imediatamente após a amostragem, usando uma sonda multiparâmetros Horiba-U50 (Tabela 1).

2.2 Tamanho do grão e distribuições de CaCO_3

As análises de tamanho de grão foram realizadas de acordo com os métodos padrão de peneira e pipeta (Folk, 1968). As frações granulométricas foram obtidas em intervalos de 0,5, segundo Krumbein & Sloss (1936) e parâmetros estatísticos identificados por Folk e Ward (1957).

As amostras de CaCO_3 foram secas em forno a 45°C e pesadas, para serem colocadas em solução de HCl a 10%, à temperatura ambiente, por 48 horas, para remoção do carbonato biogênico (Gross, 1971). Em seguida, os sedimentos foram lavados com água destilada e secos a 60°C e pesados novamente. As diferenças de massas corresponderam ao conteúdo do CaCO_3 , em cada amostra. As variações do conteúdo carbonático foram utilizadas como indicador de produtividade (Arz, *et al.* 1998; Pattan *et al.*, 2003), mas também podem ser utilizadas como indicador de atividade hidrotermal (Alt, 1995; Pichler & Veizerb, 2004), dependendo do contexto.

2.3 Análises geoquímicas

Os elementos maiores e traço, dos sedimentos, foram obtidos a partir de alíquotas de 1gr da amostra homogeneizada, que foi previamente reduzida a uma fração fina, utilizando-se moinho de ágata. As análises foram realizadas por ICP-MS Perkin Elmer Elan 9000 (espectrômetro de plasma indutivamente acoplado), no ACME-LABS, Canadá. Uma solução de água-régia modificada, com partes iguais de HCl e HNO_3 , desmineralizada, foi adicionada a cada amostra (6 mL g^{-1}) para lixiviação em água quente ($\sim 95^\circ\text{C}$) por uma hora. Após o resfriamento, a solução completada até o seu volume final (20 mLg^{-1}) com 5% de HCl. Foram determinadas concentrações de 53 elementos principais e traços (Apendice X).

O elemento usado para normalização, no presente estudo, foi o alumínio. O conteúdo desse elemento tem sido amplamente utilizado para padronização de dados de sedimentos, pois os

aluminossilicatos são os principais constituintes da fração fina dos sedimentos aos quais estão associados os elementos traço (Loring, 1991).

O diagrama ternário Fe versus Mn versus $(Co + Ni + Cu) * 10$, baseado em Bonatti *et al.* (1972) e Toth (1980), foi utilizado para caracterizar os sedimentos em relação à sua gênese. As proporções dos elementos menores e traços são controladas pelos processos de adsorção nas superfícies de MnO_2 e $FeOOH$. Essa interação inclui a competição entre Fe e Mn e os elementos menores nos sítios. No contexto de ambientes hidrotérmicos, o acúmulo de depósitos de fluidos hidrotermais com altas proporções de Fe e Mn inibe a adsorção de elementos menores (Toth, 1980). As variações na razão Al/Ti foram testadas para utilização como indicador de produtividade (Angino, 1966; Murray, 1993; Murray & Leinen, 1996; Dymond *et al.*, 1997; Pattan *et al.*, 2003).

2.4. Análises dos foraminíferos bentônicos

A fração da amostra, utilizada na análise dos foraminíferos, foi cuidadosamente lavada em um conjunto de peneiras entre 63 μm e 500 μm . As testas de foraminíferos foram separados do sedimento, por flotação (Boltovskoy & Wright, 1976) com tricloroetileno (1,46 g / cm^3). O mínimo de 100 testas foram triadas, quando possível, e colocadas em lâminas adequadas para foraminíferos. Foram usados os espécimes de biocenosis (coradas) para estudar as amostras de superfície e testemunhos, e as testas de biocenosis e tanatocenosis (sem tingimento), para estudar os perfis. Os foraminíferos foram identificados de acordo com Loeblich e Tappan (1988) e artigos relacionados às áreas antárticas (Fillin, 1974, Osterman & Kellogg, 1979, Finger & Lipps, 1981; Mackensen *et al.*, 1990, Igarashi *et al.*, 2001, Gazdzicki & Majewski, 2003, Gray *et al.*, 2003, Majewski, 2010, Majewski *et al.*, 2013). Os dados brutos de foraminíferos foram convertidos em porcentagem. A densidade (espécimes por 10cc), riqueza (número de espécies), Simpson (C), Shannon (H') e Pielou (J) foram utilizados para identificar mudanças na estrutura das assembleias (Magurran, 1988). *Globocassidulina* sp., não foram identificadas até nível de espécies devido à falta da abertura ou material escuro, obstruindo a abertura, como já observado por Finger & Lipps (1981) e Gray *et al.*, (2003). Nesses casos, a densidade total, desse gênero, foi computada como *Globocassidulina bitor* e como *Globocassidulina crassa*, nas proporções correspondentes, dessas espécies, na amostra.

Os níveis de oxigênio dissolvido foram inferidos a partir da porcentagem de espécies carbonáticas, de acordo com Kaiho (1994). Para estimar as condições de pH, em todas as amostras, a razão de espécies aglutinantes e calcárias foi calculada (Le Cadre *et al.*, 2003;

Buzas-Stephens & Buzas, 2005). Para caracterizar as assembleias bentônicas de foraminíferos foram contabilizadas as espécies com mais de 5% de ocorrência em pelo menos uma das amostras. A espécie oportunista *Nodulina dentaliniformis* foi incluída entre as espécies dominantes, apesar de ocorrer sempre com porcentagens menores que 5%, pois Gray *et al.*, (2003), (usando a nomenclatura antiga: *Reophax dentaliniformis*) observaram que esta espécie, parecia não ser oportunista em Deception Island.

2.5. Contagem de frústulas de diatomáceas

Foi realizado um estudo quantitativo, dos 4 testemunhos de Deception, WB01, WB02, FB06 e FB07. As contagens foram utilizadas como indicador de produtividade.

Para a quantificação das valvas foram utilizadas amostras com massa com, aproximadamente, 1 grama de sedimento. Após o sedimento ter sido oxidado, segundo Battarbee (1986), o material foi lavado sob peneira de 10 μm , para possibilitar a montagem das lâminas, já que o sedimento, ao ser em grande parte coloidal, acabava por impedir a visualização das valvas, quando já colocadas em lâminas. Ao material obtido depois do peneiramento, foi adicionada água deionizada até completar o volume de 12 ml. Para a montagem das lâminas permanentes foi utilizado Entellan-Merck, com índice de refração 1,492-1,500 a 20°C.

As imagens de contagens foram obtidas em microscópio Zeiss, sob aumento de 1000 X.

A análise quantitativa foi realizada de acordo com Battarbee (1986). Incluíram-se, na contagem, os fragmentos que fossem $\geq$ a meia valva.

2.6. Análise de Componentes Principais (PCA)

Os resultados dos principais elementos traço, foram analisados utilizando a abordagem estatística de Análise de Componentes Principais (PCA). A PCA é um procedimento matemático que reduz um grande conjunto de dados, relacionados a muitas variáveis, a um novo conjunto de variáveis, menor ou igual ao primeiro, que, no entanto, mantém a variação do conjunto original (Jolliffe, 2002). Dentre os elementos metálicos analisados (Apêndices 24 e 25), foram excluídos B, Be, Bi, Ge, In, Pd, Pt, Re, Ta, Te, Tl e W da PCA, pois suas concentrações estavam abaixo do nível de detecção em todas ou grande parte das amostras.

2.7. Análise multivariada por agrupamentos (*Cluster*)

Os resultados da PCA, frações granulométricas e as concentrações de CaCO_3 de todas as amostras foram analisados utilizando a abordagem estatística de análise de agrupamentos em modo R, com o objetivo de agrupar as amostras de acordo com suas similaridades. O algoritmo utilizado foi o de Ward e o índice de similaridade foi euclidiano; a distância de corte foi de 8,5. O algoritmo de Ward foi usado por fornecer grupos, aproximadamente, com os mesmos tamanhos (Hair *et al.*, 2009), o que pareceu ser mais adequado, pois seriam analisados testemunhos, de comprimentos semelhantes. Sendo assim, o ideal seria a obtenção de grupos que agrupassem as amostras de cada testemunho, separadamente, sempre que possível. A distância euclidiana é a mais utilizada quando as variáveis são quantitativas (Hair *et al.*, 2009) e, por isso, foi utilizada. A distância de corte (8,5) foi a mais adequada, para que os grupos fossem compostos pelas amostras de um só testemunho, separado dos outros, sempre que possível.

Um cluster, modo Q, foi usado para determinar as semelhanças entre as amostras. O algoritmo era de Ward e o índice de similaridade era euclidiano; a distância de corte foi de 7,5.

2.8. Análise de correlação de postos de Spearman

O conjunto de dados obtidos (espécies de foraminíferos, análise geoquímica, frações granulométricas e teor de CaCO_3) foi analisado, aplicando-se a correlação de postos de Spearman. O valor crítico para o nível de significância aceito foi $p < 0,05$.

3. Resultados

Características sedimentológicas, composição geoquímica dos sedimentos e dados bióticos estão nos Apêndices 18 a 29, e são descritas nesta seção.

3.1 Características físico-químicas da coluna d'água

As características físico-químicas da coluna d'água foram medidas nos pontos FB04, FB05, FB06, FB08, FB09, WB01, WB04 e WB05.

Em *Fumarole Bay*, as amostras foram coletadas em profundidades que variam de 0 (FB01) a 120 m (FB06). Os valores de temperatura da água oscilaram de -0,2 ° C (FB06) a 1,5 ° C (FB09). O pH e os valores variaram de 4,2 a 7,83 em FB05 e em FB09, respectivamente. O ORP variou de 96 (F04) a 264 (F05). A condutividade apresentou valores entre 21,3 (FB05) e 62,2 (FB04). A turbidez foi 0 em todas as amostras, com exceção do ponto FB04, onde 1,7 NTU. Os níveis de oxigênio dissolvido estavam entre 11,45 mg / L (FB06) e 23,15 mg / L (FB04). O DO% variou de 89,1 (FB09) a 169,9 (FB05). O total de sólidos dissolvidos (TDS) oscilou entre 13,1 g / L (FB05 e FB08) e 37,4 g / L (FB04). A salinidade apresentou valores entre 2,64 ppt (FB06) e 36,6 (FB04) ppt e variou com a condutividade. A gravidade específica apresentou valores de 21,3 (FB08) a 29,6 (FB04) (Apêndice 30).

Em *Whalers Bay*, as amostras foram coletadas em profundidades que variam de 0 (WB03) a 42m (WB01). Os valores de temperatura da água oscilaram entre 0,6 ° C (WB01) e 9 ° C (WB05). Os valores de pH e condutividade variaram de 6,97 (WB04) a 7,88 (WB05) e de 22,1 (WB05) a 25,5 (WB04), respectivamente. Os valores de ORP oscilaram entre -92 (WB04) e 260 (WB01). A condutividade variou de 22,1 (WB05) a 25,5 (WB4). As amostras de Whalers Bay mostraram turbidez 0. Os níveis de oxigênio dissolvido variaram de 0,58 (WB05) a 13,03 (WB04). DO% variou de 4,6% (WB05) a 108,4 (WB01). O sólido total dissolvido e a salinidade oscilaram de 13,7 (WB05) para 15,8 (WB04) e 2,73 (WB04) 2,82 (WB05), respectivamente. A gravidade específica oscilou de 21,8 (WB04) para 22,7 (WB05) (Tabela 1).

3.2 Sedimentos

3.2.1. Distribuição granulométrica

Fumarole Bay- O tamanho dos grãos dos sedimentos variou entre 5,81Φ, em FB06 Rec e 0,58Φ, em FB01, de silte até areia grossa. O desvio padrão variou entre 0,76 Φ (FB01) e 2,92 Φ (FB07 6-8 cm), de moderadamente selecionado e muito mal selecionado. A assimetria variou de 0,39 (FB07 2-4 cm) e -1,03 (FB01), de assimetria muito negativa a muito positiva. A fração de finos foi predominante em FB06 e FB07, entre 49,48% a 94,01% em FB07 (2-4 cm) e 70,19% a 81,59% em (FB06 Rec). A fração areia foi predominante nas amostras de superfície, de 60,24% (FB05) a 94,55% (FB01).

Whalers Bay- O tamanho médio dos grãos variou entre 5,51 Φ e 0,57 Φ, muito pouco selecionado a moderadamente selecionado, em WB01 (8-10 cm) e WB03, respectivamente. O

desvio padrão variou entre 3,27 Φ e 1,06 Φ , mal selecionado e muito bem selecionado, em WB02 (0-2 cm) e WB03, respectivamente. O tamanho dos grãos variou de -1,06 (WB03) a 1,05 (WB05), ou seja, areia muito grossa e areia muito fina.

A fração de finos foi predominante em WB01 e em WB02, de 45,57% a 79,75%, em WB02 (0-2 cm) e WB01 (8-10 cm), respectivamente. A fração areia predominou nas amostras rasas, de 53,47% a 91,09%, em WB05 e WB04, respectivamente.

A estatística descritiva do tamanho de grão foi bastante heterogênea, variando de acordo com a profundidade. Silte e argila ocorreram, principalmente, nas amostras localizadas à maior profundidade, enquanto material mais grosso foi observado nas amostras rasas (Apêndice 14),

3.2.2. Teores de CaCO_3

Fumarole Bay- As concentrações de CaCO_3 mostraram valores entre 9,51% (FB01) e 41,36%, em (FB06 Rec), (Apêndice 14).

Whalers Bay.- Os teores de CaCO_3 ficaram entre 8,35% (WB02 6-8 cm) e 15,54% (WB01 0-2 cm), (Apêndice 14).

3.2.3. Caracterização geoquímica de sedimentos

As concentrações de metais nos sedimentos, obtidos por ICP-MS, são mostradas nos Apêndices 28 e 29.

3.2.4. Gênese do sedimento: diagrama ternário de Fe versus Mn Versus (Co + Ni + Cu) * 10

A classificação geoquímica de Bonatti *et al.* (1972) e Toth (1980), a partir das proporções entre Fe, Mn e os elementos menores Co, Ni e Cu, situa todas as amostras de sedimentos de Deception no campo que representa o conteúdo máximo de Fe, relativo a depósitos hidrotermais, no gráfico ternário (Figura 3).

Figura 3: A análise química de sedimentos ricos em ferro e ricos em Mn da Deception Island mostrou as razões extremas de Fe-Mn (Figura X). Figura adaptada de Bonatti *et al.* (1972) e Toth (1980).

3.2.5. Indicadores de produtividade

Foi observada correlação positiva entre a variação da distribuição de testas de foraminíferos (Apêndices 13 a 23) e valvas de diatomáceas (Apêndice 27) no testemunho FB06. Densidade de testas e o índice Al/Ti também apresentaram correlação positiva. A densidade de valvas de diatomáceas e o índice Al/Ti não alcançou valores significativos estatisticamente, porém o valor de p , para essa correlação foi 0,057, e por esse motivo serão considerados parâmetros positivamente correlacionados (Figuras 4 e 5).

Figura 4: Distribuição de testas de foraminíferos, valvas de diatomáceas, teores de CaCO₃ e razão Al/Ti aos longo dos testemunhos FB06, FB07, WB01 e WB02.

No testemunho FB07 observou-se aumento de testas de foraminíferos, valvas de diatomáceas e CaCO₃, porém sem consistência estatística. O índice Al/Ti apresentou tendências de distribuição opostas às dos outros parâmetros, porém, da mesma maneira, sem significância estatística (Figuras 4 e 5).

Em WB01, observou-se correlação positiva entre a densidade de testas de foraminíferos e os outros parâmetros, porém sem consistência estatística. Al/Ti correlacionou-se negativamente com a densidade de valvas de diatomáceas e os teores de CaCO₃ (Figuras 4 e 5).

Em WB02, apenas Al/Ti correlacionou-se positivamente com densidade de testas de foraminíferos e valvas de diatomáceas.

Figura 5: Correlação entre testas de foraminíferos, valvas de diatomáceas, teores de CaCO₃ e razão Al/Ti aos longo dos testemunhos FB06, FB07, WB01 e WB02. Os círculos vermelhos representam correlação negativa e os azuis representam correlação positiva. Os círculos marcados com quadrados indicam as correlações estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

3.2.6 Análise de Componentes Principais (PCA)

A Análise de Componentes Principais, com elementos maiores e traço, resultantes da análise por ICP-MS, foi utilizada para reduzir o número de dados originais (Apêndices 28 e 29), neste caso, 40 elementos metálicos, através do reconhecimento das variáveis com maior variância. Os resultados são mostrados na tabela 2.

Seis PCs foram responsáveis pela maior parte da variância (99,089%), sendo 87,408% da variância para PC1; 5,658% referente a PC2; 2,828% para PC3, 1,992% para PC4, 0,717% para PC5 e 0,486 para PC6. As variáveis mais importantes para a diferenciação das amostras são: Al, As, Au, Ba, Co, Cu, Fe, Hg, Mg, Mn, Mo, Nb, Ni, Pb, Sb, Sn e Zn.

Tabela 2: Resultados da análise de componentes principais (PCA)

Principal Components Analysis (PCA)	Component 1	Component 2	Component 3	Component 4	Component 5	Component 6
Variance%	87,408	5,658	2,828	1,992	0,717	0,486
Ag	-0,011	0,044	0,104	-0,068	0,109	0,115
Al	-0,015	-0,100	0,044	-0,063	-0,120	-0,059
As	0,260	0,231	0,074	-0,327	0,128	-0,049
Au	0,011	0,439	0,824	0,238	-0,192	-0,092
Ba	0,323	-0,049	-0,001	-0,022	0,018	-0,009
Ca	0,008	0,041	-0,014	0,054	0,019	0,027
Cd	-0,005	0,015	0,043	-0,076	0,005	0,346
Ce	0,006	0,053	-0,043	0,133	0,133	-0,018
Co	0,074	0,089	-0,077	0,167	0,121	-0,016
Cr	-0,001	0,035	-0,019	0,026	0,081	0,066
Cs	0,019	0,066	-0,042	0,087	0,074	-0,024
Cu	0,026	0,053	-0,026	0,035	0,098	-0,021
Fe	0,030	0,093	-0,024	0,051	0,145	-0,029
Ga	0,008	0,007	-0,008	0,010	0,001	0,004
Hf	0,017	0,147	-0,181	0,510	-0,004	0,088
Hg	-0,011	0,697	-0,419	-0,222	-0,421	-0,093
K	0,011	0,002	0,036	-0,112	0,050	-0,022
La	0,003	0,059	-0,041	0,110	0,147	-0,045
Li	0,005	0,020	0,005	-0,017	-0,005	0,047
Mg	0,021	0,117	-0,072	0,122	0,124	-0,010
Mn	0,575	-0,054	-0,027	0,063	0,070	-0,094
Mo	0,690	-0,095	0,000	0,039	-0,247	0,083
Na	0,016	0,074	0,054	-0,060	0,034	0,076
Nb	0,077	0,235	-0,026	-0,007	0,418	0,206
Ni	0,016	0,157	-0,123	0,273	0,233	-0,008
P	0,015	0,071	0,082	-0,217	0,363	0,020
Pb	0,034	0,008	0,022	-0,078	0,096	-0,014
Rb	0,014	-0,001	0,031	-0,079	0,031	-0,018
Sb	0,023	0,186	-0,057	-0,321	0,098	0,124
Sc	0,005	0,032	-0,016	0,009	0,004	0,016
Se	0,023	0,100	0,140	-0,193	0,280	-0,005
Sn	0,031	-0,009	0,016	0,044	0,056	0,043
Sr	0,012	0,037	0,038	-0,079	0,091	0,023
Th	-0,001	0,076	-0,033	0,028	0,043	-0,032
Ti	0,012	0,070	-0,061	0,168	0,102	-0,034
U	-0,006	0,020	0,040	0,024	-0,147	0,855
V	0,012	0,074	-0,029	0,050	0,159	-0,005
Y	0,005	0,042	-0,030	0,075	0,088	0,005
Zn	0,029	0,076	-0,052	0,099	0,149	-0,022
Zr	0,015	0,107	-0,096	0,270	-0,020	0,080

3.2.7 Análise de agrupamento da distribuição granulométrica e composição dos sedimentos nas amostras em Fumarole Bay e Whalers Bay

O cluster, modo R (Figura 6), baseado em resultados de análise granulométrica (porcentagem de cascalho, areia e silte/argila), CaCO_3 e resultados da PCA, mostrou as similaridades e dissimilaridades na distribuição dessas variáveis nas amostras da Ilha Deception. Dois clusters principais, A e B, foram obtidos com base nesses dados. O cluster A pode ser dividido em 2 subgrupos (grupo 1 e grupo 2) e o cluster B contém 6 subgrupos (3a, 3b, 3c, 4, 5 e 6). A

distribuição de elementos químicos, CaCO_3 e frações granulométricas, nas diversas amostras, podem ser vistos na Figura 7

Figura 6: O dendrograma, modo R, para a composição química de sedimentos da Deception Island.

- Grupo 1: altas concentrações de Mo e Mn. As maiores concentrações de Mo (9,87 ppm) e Mn (5257 ppm) são encontradas na amostra WB05; A concentração de Mo chega a até 40 vezes maiores que as de Port Foster. Altas concentrações de elementos do subgrupo 1 também foram observadas em amostras de FB06, de FB06 Rec a FB06 (4-6 cm), decrescendo do topo para a base do testemunho.
- Grupo 2: altos teores de Ba e As. Ba e As têm anomalias positivas em WB05, mostrando valores de 119,2 ppm e 95,2 ppm, respectivamente. Altas concentrações de As e Ba também foram observadas nas amostras de FB06, entre FB06 Rec e FB06 (6-8 cm).
- Subgrupo 3a: apresenta os maiores teores de Zn, Fe, Cu, Sn, Pb e Co, com distribuição similar. A distribuição dos elementos desse grupo varia muito pouco, seja nas amostras de superfície ou nos perfis. O grupo 3a está relacionado principalmente a amostras dos testemunhos WB01, WB02, FB06 de FB06 Rec a FB06 (6-8 cm), FB01 e WB03. Os maiores valores de Fe foram encontrados em FB06.
- Grupo 3b: é formado por Ni, Mg, os quais apresentam similaridades com a distribuição de areia. Este grupo é associado, principalmente com as amostras de superfície FB01 e WB03 e com os testemunhos WB01, WB02.
- Grupo 3c: Nb. Este grupo está associado, principalmente, às amostras FB05, FB08, FB09, porém com maior teor de areia.

- Grupo 4: altos níveis de Al e Sb. Estes elementos estão correlacionados com a fração mais fina e CaCO_3 e estão ligados às amostras FB01, FB03, aos testemunhos FB06 (todas as camadas) e FB07, de (2-4 cm) a (10-12 cm).
- Grupo 5: corresponde à fração de sedimentos mais grossos e não possui distribuição similar a um elemento químico específico, porém está ligado aos grupos 3 e 4, que no dendograma fazem parte do ramo mais próximo, ou seja, tem alguma similaridade com esses grupos. O grupo 5 refere-se, principalmente, às amostras FB05, FB09, FB01, FB08 e FB03.
- Grupo 6: é composto por Hg e Au, elementos traço relacionados com o testemunho FB07. Os maiores níveis foram observados em FB07 Rec e FB07 (0-2cm).

Além dessa distribuição, existem amostras que são de composição intermediária. As amostras do testemunho FB07, de 2-4 cm a 10-12 cm, são ligeiramente enriquecidas em Hg e Au (grupo 6), mas também nos elementos do grupo 4, e os sedimentos tendem à fração mais fina. Essas amostras são, portanto, de composição intermediária entre os grupos 4 e 6. Nessas amostras são encontrados os menores valores de Mn.

FB03 tem diâmetro de grão semelhante a FB09, FB05 e FB08, porém a composição se assemelha mais a amostras de FB07. WB04 e WB02 (0-2 cm) que têm uma concentração ligeiramente maior de Au. FB07 Rec e FB07 (0-2 cm) têm as maiores concentrações de Hg e Au (grupo 6), mas também têm alto teor de As. FB04 apresenta altos níveis de Hg, mas ligeiramente alto em Au com sedimentos mais grossos, tendendo ao grupo 6 (Figuras 6 e 7).

Figura 7: Resultados obtidos com a PCA, diâmetro de grão e CaCO₃, em todas as amostras de Deception.

3.3 Espécies foraminíferos bentônicas - biocenoses e tanatocenoses

Foram coletadas, nas duas áreas, *Fumarole Bay* e *Whalers Bay*, testas pertencentes a 77 espécies e 51 gêneros de foraminíferos bentônicos (Apêndices 11 e 12). O volume de sedimento analisado necessário para obter o mínimo de testes variou de 5cc a 15cc.

Em *Fumarole Bay* os foraminíferos mostraram, nas biocenoses, um total de testas entre de 0 e 180; os valores de densidade variaram de 0 a 459 / 10cc; riqueza de 0 a 14; Simpson de 0,182 a 0,790; Shannon de 0,384 a 1,709 e Pielou de 0,350 a 0,878. O total de testas, nas tanatocenoses, oscilaram entre 0 e 656; densidade de 20 a 3280/10 cc; riqueza de 0 a 22; Simpson de 0,232 a 0,838; Shannon de 0,161 a 1,515 e Pielou de 0,279 a 0,876.

As espécies calcárias, indicadoras de ambientes óxicos (*Globocassidulina bitor*, *Globocassidulina crassa*, *Globocassidulina* sp. e *Globocassidulina subglobosa*) -, subóxicos (*Bulimina aculeata*, *Bulimina* sp., *Pullenia subcarinata*, *Quinqueloculina seminula*, *Quinqueloculina* sp., *Recurvoidella bradyi*, *Rosalina globularis* e *Trifarina angulosa*) e disóxicos (*Bolivina* sp., *Cassidulinoides parkeriana*, *Cassidulinoides porrecta*, *Cassidulinoides* sp., *Fursenkoina earlandi* e *Stainforthia fusiformis*) variaram entre 0 e 100%, tanto em biocenoses como em tanatocenoses.

Espécies aglutinantes variaram de 0 a 100%, em biocenoses e tanatocenoses e espécies calcárias entre 0 a 100% e 0 a 26,63% em biocenoses e tanatocenoses, respectivamente. Os taxa mais abundantes, incluindo biocenoses e tanatocenoses, em *Fumarole Bay*, foram *Adercotryma glomeratum* (Bio: 0,85-100%; Tan:0,77-10,38%), *Cassidulinoides parkeriana* (Bio: 0,85-79,48%; Tan:0,99-20,99%), *Cassidulinoides porrecta* (Bio: 0,74-5%; Tan:0,32-4,13%), *Eggerella minuta* (Bio: 0,74-13,16%; Tan:0,51-14,15%), *Fursenkoina earlandi* (Bio:11%; Tan: 1,21%), *Globocassidulina bitor* (Bio: 1,47-50%; Tan:0,33-5,82%), *Globocassidulina crassa* (Bio: 0,86-50%; Tan:0,16-8,65%), *Lepidodeuterammina ochracea* (Bio: 0,85-11,11%; Tan:0,36-1,53%), *Miliammina arenacea* (Bio: 2,78-25%; Tan:0,94-30,18%), *Miliammina* sp. (Bio: 0,74-5%; Tan:0,33-1,02%), *Nodulina dentaliniformis* (Bio:2,94-4,17%; Tan:0,46-4,35%), *Pseudobolivina antarctica* (Bio: 0,91-100%; Tan:0,35-100%), *Saccammina sphaerica* (Bio:0; Tan:0,36%), *Spiroplectammina biformis* (Bio: 1,74-20%; Tan:0,26-0,51%), *Spiroplectammina filiformis* (Bio: 0; Tan:0,26-0,51%), *Stainforthia fusiformis* (Bio: 0,74-4,17%; Tan:0,60-3,80%), *Textularia antarctica* (Bio: 0,74-2,56%; Tan:0,29-3,77%), *Trochammina malloensis* (Bio: 15,67-70,83%; Tan:2,58-80,10%).

Os foraminíferos das biocenoses, em *Whalers Bay*, apresentaram um total de 0 to 92; os valores de densidade variaram entre 0 e 61,33/10cc; riqueza de 0 a 19 espécies diferentes;

Simpson de 0,52 a 0,88; Shannon de 0,85 a 2,37 e Pielou de 0,62 a 0,90. Nas tanatocenoses, o total de testas ficou entre 11 e 204; densidade entre 20 e 136/10cc; riqueza entre 5 e 24; o índice de Simpson variou entre 0,37 e 0,89; Shannon entre 0,85 e 2,64 Pielou de 0,53 a 0,91.

Nas biocenoses, em *Whalers Bay*, as espécies típicas de ambientes óxicos, variaram de 0 a 85,37%, as espécies sub-óxicas de 0 a 100% e as espécies disóxicas de 0 a 66,68%. Nas tanatocenoses as porcentagens situaram-se entre 0 e 78,59% nas espécies óxicas, de 0 a 100% nas espécies sub-óxicas de 0-66,67% nas espécies disóxicas.

As porcentagens de espécies aglutinantes variaram de 0 a 100%, em biocenoses e de 17,85 a 95,83% em tanatocenose; as espécies calcárias entre 0 a 100% em biocenose e 4,17 a 82,35% em tanatocenose.

Os taxa mais abundantes, incluindo biocenoses e tanatocenoses, em *Whalers Bay* foram *Adercotryma glomeratum* (Bio: 0-4,76%; Tan: 0,34-3,57%), *Cassidulinoides parkeriana* (Bio: 3,13-100%; Tan: 2,04-79,17%), *Cassidulinoides porrecta* (Bio: 0,63-43,75%; Tan: 0,68-29,03%), *Eggerella minuta* (Bio: 2,50-9,09%; Tan: 2,86-5,36%), *Fursenkoina earlandi* (Bio: 9,52%; Tan: 2,86-3,57%), *Globocassidulina bitor* (Bio: 3,13-27,78%; Tan: 3,23-30,21%), *Globocassidulina crassa* (Bio: 3,13-27,78%; Tan: 3,23-30,21%), *Hipocrepinella hirudinea* (Bio: 1,25-5,71%; Tan: 0,45-1,56%), *Lepidodeuterammina lepida* (Bio: 3,26-41,67%; Tan: 2,08-34,29%), *Lepidodeuterammina ochracea* (Bio: 9,09-14,29%; Tan: 2,33-7,14%), *Miliammina arenacea* (Bio: 4,35-12,50%; Tan: 1,79-11,43%), *Nodulina dentaliniformis* (Bio: 0; Tan: 1,14%), *Pseudobolivina antarctica* (Bio: 2,17-15%; Tan: 0,78-6,98%), *Saccammina sphaerica* (Bio: 0; Tan: 1,56-12,50%), *Spiroplectammina biformis* (Bio: 1,25-12,50%; Tan: 2,78-22,09%), *Spiroplectammina filiformis* (Bio: 4,17; Tan: 5,71%), *Stainforthia fusiformis* (Bio: 1,09-36,36%; Tan: 2,86-36,36%), *Textularia antarctica* (Bio: 4,35-4,76%; Tan: 0,68-9,38%), *Textularia earlandi* (Bio: 0; Tan: 3,13-8,70%), *Trochammina malovens* (Bio: 2,86-65%; Tan: 0-39,53%).

As espécies *Saccammina sphaerica* e *Textularia earlandi* foram observadas apenas nas tanatocenoses. *Hipocrepinella hirudinea* foi observada apenas em WB01.

Os foraminíferos bentônicos, em *Fumarole Bay* e *Whalers Bay* são, principalmente, representados por formas menores que 250 µm. Foram observados indivíduos vivos, das espécies mais abundantes, nos perfis FB06 e FB07, em *Fumarole Bay*, na profundidade de até 14 cm. A amostra de superfície, FB04, tinha um único indivíduo vivo, um espécime de *Pseudobolivina antarctica*. WB01 e WB02, em *Whalers Bay*, também apresentaram algumas espécies vivas até 14 cm de profundidade; o ponto WB05, uma amostra superficial, apresentou

dezoito espécimes vivos pertencentes às espécies *Globocassidulina* sp., *Trochammina malovens* e *Eggerella minuta* (Apêndices 20 e 21).

3.3.1 Distribuição da fauna de foraminíferos bentônicos segundo os agrupamentos a partir de composição geoquímica, teores de CaCO₃ e frações granulométricas dos sedimentos.

Foi realizado um agrupamento no modo Q, utilizando os resultados da análise granulométrica (porcentagem de cascalho, areia e silte/argila), CaCO₃ e resultados da PCA. O dendrograma obtido mostra grupos homogêneos que separam os pontos pertencentes à *Fumarole Bay* e *Whalers Bay*, de acordo com suas características composicionais. Agrupa também, parcialmente, os diferentes tipos de ambientes, sejam rasos ou de profundidade (Figura 8).

- Cluster 1: todas as amostras de FB06;
- Cluster 2: todas as amostras de WB01 e WB02 (6-8 cm);
- Cluster 3: amostras WB02 com exceção de WB02 (6-8 cm), WB03, FB01;
- Cluster 4: FB08, FB05, FB09, FB07 de 2-4 cm a 10-12 cm e FB03;
- Cluster 5: WB04 e WB02 (0-2 cm);
- Cluster 6: FB07 Rec, FB07 (0-2 cm) e FB04;
- Cluster 7: WB05.

As concentrações das espécies principais de foraminíferos, nas biocenoses e tanatocenoses, foram justapostas à amostra correspondente para que suas distribuições pudessem ser avaliadas (figura 8).

3.4 Correlação entre biocenoses de amostras de superfície, características físico-químicas da água, frações granulométricas, teores de CaCO_3 e composição geoquímica de sedimento.

Os testes de correlação de Spearman, não mostraram correlação significativa entre as características abióticas da interface água-sedimento, no FB04, FB05, FB06, FB08, FB09, WB01, WB04 e WB05 e as biocenoses de foraminíferos bentônicos (Figura 9).

Por outro lado, dentre os parâmetros físico-químicos da água, a salinidade correlaciona-se positivamente com os teores de Co e Ni; e, do mesmo modo com a fração mais grossa dos sedimentos. O parâmetro oxigênio dissolvido correlaciona-se negativamente com a variação de espécies sub-óxicas e espécies calcárias. As espécies calcárias mostram correlação negativa com a fração granulométrica areia e ligeiro aumento com o incremento da fração silte/argila. Observou-se também que, quanto maior a profundidade, maior a porcentagem de silte e argila.

Figura 9: Amostras rasas- Correlação de Spearman da composição geoquímica, frações granulométricas, teores de CaCO₃, biocenoses de foraminíferos bentônicos, índices ecológicos, espécies indicadoras de teores de oxigênio no ambiente, porcentagem de espécies aglutinantes e calcárias. Vermelho: correlação negativa; azul: correlação positiva; as correlações bordeadas com retângulos indicam p < 0,05.

3.5. Correlação entre as principais espécies (biocenoses e tanatocenoses) e características dos sedimentos ao longo dos testemunhos

A correlação de Spearman (Figuras 10 e 11) entre as espécies principais, em biocenoses e tanatocenoses, espécies indicativas de O₂, espécies aglutinantes e calcárias, composição geoquímica, índices ecológicos, teores de CaCO₃ e tamanho de grão principal mostraram:

- *Adercotrima glomeratum* está presente nos quatro testemunhos, nas biocenoses e tanatocenoses e varia, positivamente, com Ba, Pb, Sb, sedimentos finos e CaCO₃ e negativamente com Ni, nas biocenoses; ou seja, apresenta maiores porcentagens em FB06 Rec até FB06 (4-6 cm) e FB06 (8-10 cm) em quantidades um pouco menores em FB07, de 0-2 cm a 8-10 cm. Nas tanatocenoses, aumenta com o incremento de Ba e CaCO₃, ao longo do testemunho FB06 e FB07.
- *Cassidulinoides parkeriana* tem correlação positiva com Al, Pb e sedimentos finos nas biocenoses, apresentando maiores concentrações ao longo de FB06, FB07 Rec e 0-2 cm e WB01 Rec; apresenta correlação negativa com Mg e Ni. Nas tanatocenoses apresenta correlação positiva com Pb, e ocorre em maiores densidades nas camadas superiores de WB01, FB06 e FB07, nesta ordem, decrescendo em direção à base em todas elas.
- *Cassidulinoides porrecta*, apesar de ter sua distribuição bastante semelhante à de *Cassidulinoides parkeriana*, diminui com incremento de mud, nas biocenoses. Essa espécie está presente, principalmente em FB06 entre a camada Rec e 8-10 cm, FB07 Rec, FB07 0-2 cm e WB01 (0-2 cm).
- *Eggerella minuta* tem seu número reduzido conforme aumenta a concentração de Ba, Co, Mn e Zn, e aumenta com o aumento cascalho, nas biocenoses; foi observada em todos os testemunhos, com maiores porcentagens em FB06 (8-10 cm). A densidade dessa espécie aumenta, com o incremento de Sn e gravel, e diminui com o de As, Ba, Pb, Sb nas tanatocenoses; está presente em todos os testemunhos, porém em maiores concentrações na camada FB06 (10-12 cm).
- *Fursenkoina earlandi* ocorreu apenas nas biocenoses de duas das amostras, WB02 (6-8 cm) e FB06 (12-14 cm) e por isso, não pode ser correlacionada com variações composicionais, de maneira estatisticamente satisfatória. Porém, nas tanatocenoses correlaciona-se negativamente a Fe e Nb. Ocorre nas tanatocenoses de FB07 (8-10 cm), WB02 (6-8 cm) e WB02 (10-12 cm) e FB06 (12-14 cm).

- *Globocassidulina biora*, nas biocenoses não mostra afinidade com nenhum elemento químico, porém é correlacionada, negativamente, com CaCO_3 . Nas tanatocenoses correlaciona-se positivamente com Sn, e negativamente com As e Hg. Essa espécie foi observada em todos os testemunhos e em WB05. As maiores porcentagens observadas foram em WB05, ao longo do testemunho WB01 e em WB02, nas camadas Rec, 8-10 cm e 10-12 cm.
- *Globocassidulina crassa*, aumenta com o aumento de Al e diminui com o aumento de Hg e Mg nas biocenoses, sua distribuição é semelhante à de *Globocassidulina biora*-WB05, WB01 e WB02 (8-10 cm) e WB02 (10-12 cm). Nas tanatocenoses, ocorre decréscimo com o aumento de As e Hg, e segue a distribuição nas mesmas camadas em que ocorre nas biocenoses.
- *Hipocrepinella hirudinea* tem ocorrência em apenas duas amostras de biocenoses, WB01 (10-12 cm) e WB01 (0-2 cm) e não é correlacionável com nenhum elemento químico. Nas tanatocenoses é observada também em WB01 (10-12 cm) e WB01 (0-2 cm), aumenta com Co e Ni e diminui com o aumento de Mo.
- *Lepidoparatrochammina lepida* aumenta, nas biocenoses, com o aporte de Al, ocorrendo em WB02 (6-8 cm), WB02 (8-10 cm), WB02 (10-12 cm) e WB01 (8-10 cm) e diminui com o incremento de As, Co, Fe, Hg, Mn, Ni, Zn. Nas tanatocenoses correlaciona-se negativamente com As, Fe, Hg, Mn, Nb, Pb, Sb, ocorre nas mesmas amostras em que ocorre nas biocenoses, além de FB06 (0-2 cm), FB06 (8-10 cm), FB06 (10-12 cm), FB06 (12-14 cm), WB05 e WB01 (0-2 cm) e WB05.
- *Lepidodeuterammina ochracea* está presente em maiores quantidades nas amostras WB02 (4-6 cm) e WB02 (6-8 cm) nas biocenoses correlaciona-se negativamente com Co, Fe, Mn e Zn. Nas tanatocenoses, embora esteja presente em todos os testemunhos, apresenta maiores concentrações em WB01 Rec e em algumas camadas de WB02, aumenta com o decréscimo de As, Nb, Pb, Sb.
- *Miliammina arenacea* ocorre em todos os testemunhos. Nas biocenoses aumenta com o aumento de Al, Pb, sedimentos finos e CaCO_3 , diminui com o aumento de Co, Mg, Ni e com a fração granulométrica sand; tem suas maiores concentrações em FB07 (0-2 cm), FB06 (0-2 cm) e WB01 (2-4 cm). Nas tanatocenoses correlaciona-se positivamente com Pb, mud, CaCO_3 e negativamente com gravel e sand; tem suas maiores concentrações ao longo do testemunho FB07. In FB06 foram observadas testas quebradas e

desgastadas desta espécie. Em WB01 (10-12 cm) *Miliammina arenacea* apresentaram-se muito frágeis e quebradiças.

- *Miliammina sp.* aumenta com o maior aporte de As, Ba, Hg, Pb, Sb e CaCO₃ nas biocenoses, e está presente em FB07 (0-2 cm), FB07 (4-6 cm) e FB06 Rec. Nas tanatocenoses correlaciona-se positivamente com As, Ba, Fe, Nb, Sb, sedimentos finos e CaCO₃. Essa espécie ocorre apenas entre FB06 Rec até FB06 (2-4) e entre FB07 (0-2 cm) até FB07 (6-8 cm).
- *Nodulina dentaliniformis* tem correlação positiva com As, Ba, Pb e CaCO₃ nas biocenoses, ocorrendo em FB06 Rec, FB07 (2-4 cm) e FB07 (4-6 cm). Nas tanatocenoses não foi observada variação de acordo com as mudanças de composição sedimentar e a espécie ocorre em FB06 Rec até 2-4 cm e FB06 (6-8 cm), em FB07 entre 0-2 cm e 8-10 cm e em WB01 (4-6 cm).
- *Pseudobolivina antarctica* aumenta com o incremento de Hg, Sb e CaCO₃ nas biocenoses e diminui com o aumento da fração gravel; ocorre em maior porcentagem ao longo do testemunho FB06, FB07 em algumas camadas de WB01 e em WB02 (6-8 cm), neste ordem. Nas tanatocenoses diminui com o aumento de Al e aumenta com o incremento de Hg, Mg e Zn; a espécie está presente em FB06, FB07, WB01 e em apenas duas camadas de WB02, entre 8-10 cm e 10-12 cm.
- *Saccammina sphaerica* não foi observada nas biocenoses. Nas tanatocenoses diminui com o aumento de As, Mo e Sb; está presente em maior porcentagem em WB02 Rec, ocorrendo também em WB02 (6-8 cm), WB02 (0-2 cm), WB01 Rec e WB01 (0-2 cm) e FB07 (4-6 cm).
- *Spiroplectammina biformis* diminui com o incremento de Co, Mn e Zn nas biocenoses, foi observada em pelo menos uma camada, em todos os testemunhos, com maiores concentrações em WB02. Nas tanatocenoses diminui com o aumento de Mn e Zn e foi encontrada em praticamente todas as camadas dos 4 testemunhos.
- *Spiroplectammina filiformis* foi observada apenas em WB02 (10-12 cm) e não apresentou variações correlacionadas às mudanças composicionais, nas biocenoses. Nas tanatocenoses aumenta com o incremento de Co e Ni e ocorreu em porcentagens bastante baixas em WB02 (10-12 cm), FB07 Rec, FB06 (0-2 cm) e FB07 (2-4 cm).
- *Stainforthia fusiformis* aumenta com o incremento de Al e sedimentos finos e decresce com Au, Co, Fe, Hg, Mg, Mn, Pb e Zn, e foi observada em todos os testemunhos, nas biocenoses. Nas tanatocenoses diminui com As, Au, Ba, Co, Cu, Fe, Hg, Mn, Nb, Pb,

Sb, Zn e também está presente em todos os testemunhos, além de WB05, porém suas maiores concentrações encontram-se em WB02.

- *Textularia antarctica* aumenta com o aumento de Pb e sedimentos finos nas biocenoses, ocorrendo em apenas uma camada de cada um dos testemunhos, em porcentagens <5 %. A espécie não apresenta correlação com nenhum elemento químico nas tanatocenoses, mas foi observada em todos os testemunhos e em maiores quantidades em WB02 Rec.
- *Textularia earlandi*: Não foi observada nas biocenoses. Nas tanatocenoses, correlaciona-se negativamente com Mo e positivamente com Ni e foi observada em maiores porcentagens em WB02 (0-2 cm), mas também em WB02 Rec e FB07 (8-10 cm).
- *Trochammina malovenvis*, nas biocenoses, aumenta com As, Hg, Pb, Sb e CaCO₃; a espécie foi observada em, praticamente, todas as camadas de todos os testemunhos e em WB05, em grandes quantidades, até 70,83%, nos testemunhos FB07 e FB06. Nas tanatocenoses sofre incremento com o aumento de As, Hg, Pb, Sb e CaCO₃; a espécie foi observada em concentrações bastante elevadas, também nas tanatocenoses, ao longo de todo o testemunho FB06, FB07, mas também em WB05 e nas amostras FB05, FB08, FB01, amostras mais rasas. As amostras WB01 (6-8 cm) e WB02 continham indivíduos com dimensões bastante pequenas, que poderiam ser formas juvenis. Nas amostras de FB06 foi observado que esta espécie tinha, aderido à testa, material muito fino, provavelmente na fração coloidal.

Figura 10: Correlação de Spearman da composição geoquímica, frações granulométricas, teores de CaCO_3 , biocenoses de foraminíferos bentônicos, índices ecológicos, espécies indicadoras de oxigênio no ambiente, porcentagem de espécies aglutinantes e calcárias. Vermelho: correlação negativa; azul: correlação positiva; correlações bordeadas por retângulos indicam $p < 0,05$.

Figura 11: Correlação de Spearman da composição geoquímica, frações granulométricas, teores de CaCO₃, tanatocenoses de foraminíferos bentônicos, índices ecológicos, espécies indicadoras de oxigênio no ambiente, porcentagem de espécies aglutinantes e calcárias. Vermelho: correlação negativa; azul: correlação positiva; correlações bordeadas por retângulos indicam p < 0,05.

4. Discussão

4.1 Características físico-químicas da água

As medidas de pH realizadas em *Fumarole Bay* mostraram valores, em sua maior parte, levemente mais altos que 7, ou seja, as águas são levemente alcalinas. Esses valores são um pouco mais baixos do que os esperados para essas latitudes; Raven *et al.*, (2005) estimam pH em torno de 8 o pH das águas da Antártica. Águas mais ácidas foram observadas no ponto FB05 e FB06. No ponto FB05, os valores observados foram 4,2 e 4,7, na camada de interface água-sedimento e na coluna d'água, a 5,45 metros de profundidade, respectivamente. No ponto FB06 foi medido pH 6,72 à profundidade de 0 m. Uma hipótese para esses baixos valores seria a localização desses pontos em uma provável região de ressurgência, dentro de Port Foster (Berrocoso *et al.*, 2018); os mais baixos valores de pH são observados em regiões de ressurgência (Raven, 2005), o fenômeno em *Fumarole Bay* seria análogo, porém em micro-escala. Essa ressurgência ocorreria pois a água do oceano que entra por Neptune's Bellows, por ser mais salina, tende a descer, circula dentro da caldeira e volta à superfície em área próxima a esse ponto (Conforme Berrocoso *et al.*, 2018) Outra possibilidade o decréscimo de pH com o incremento nas emissões de CO₂ (Raven *et al.*, 2005), ocasionadas por atividade hidrotermal (Finger & Lipps, 1981). Nas outras medições, realizadas na coluna d'água, em FB06, a 15, 20, 104 e 120 metros, os valores obtidos foram mais altos que 7.

O decréscimo do pH poderia, também, ser causado pelos detritos gerados pela degradação de matéria orgânica, com o degelo que ocorre a partir da primavera. (Reaves, 1986) e estaria restrito às camadas superiores, devido à estratificação da coluna d'água em Port Foster, no verão austral (Berrocoso *et al.*, 2018). Estas condições de acidificação da água, nesses pontos, poderia afetar a calcificação de foraminíferos bentônicos, como sugere a baixa densidade em FB06 e ausência em FB05 e WB04 de espécies calcárias.

Em *Whalers Bay*, com exceção do ponto WB04, onde foi medido pH levemente ácido (6,97), os pontos amostrais apresentaram, também, pH pouco mais alto que 7 e, do mesmo modo que na maior parte dos pontos em *Fumarole Bay*, águas levemente alcalinas.

Os valores de potencial redox são todos positivos, variando entre 96 e 264, com exceção do ponto WB04, onde foi observado potencial redox negativo, indicativo de condições hipóxicas (Duleba *et al.*, 2018).

Os níveis de oxigênio dissolvido e porcentagem de O₂ ficaram entre 0,58 mg/L e 4,6% (WB05) e entre 23,15 mg/L e 169,9% (FB05). As amostras com supersaturação de O₂, ou seja > que

103% (Weitk & Katz, 1980) foram FB04 a 0, 2,15 e 4,6 m, FB05 a 0,25 e 10,95 metros de profundidade, FB06 a 15 metros de profundidade, FB09 a 15 metros de profundidade, WB01 a 28 metros de profundidade e WB04 a 0 metros. As amostras com supersaturação de O₂ encontram-se nos pontos amostrais mais próximos da costa e à menor profundidade, com exceção de FB06. O restante das amostras é subsaturada em O₂, o que era esperado pois, abaixo da superfície, a água apresenta, usualmente, menores teores de O₂, pois este é consumido pelos organismos vivos e pela oxidação de detritos. O ponto amostral WB05 apresentou teores de O₂ típicos de ambiente hipóxico (0,58mg/L). Embora esse ponto tenha aporte de água de degelo, esse aporte é sazonal e propiciaria a estratificação da coluna d'água, e deficiência de oxigênio na camada inferior. Os altos teores observados nas amostras mais rasas, provavelmente, deviam-se ao aporte rápido de água de degelo, que causam rápida aeração na camada superior da coluna d'água. A supersaturação também ocorre em profundidades acima de 10 a 20 metros, com altos teores de O₂ produzidos por fotossíntese das algas marinhas. Em FB06 observaram-se grandes quantidades de valvas de diatomáceas, o que poderia gerar essa supersaturação.

A salinidade, em todos os pontos amostrados, mostrou valores entre 2,64 (FB06) e 2,82 (WB05). Os baixos valores já tinham sido observados por Gray *et al.* (2003), após o desenvolvimento de fluxos de água de degelo; a exceção foi FB04, com salinidade 36,6 ppt, típica de água do mar, que poderia apresentar esses valores por estar diametralmente oposta à entrada da caldera e receber água proveniente do oceano (ver Berrocoso *et al.*, 2018). A variação da salinidade, em Deception, é sazonal, provavelmente devido ao influxo de água doce, proveniente do derretimento do gelo, glaciares e neve das áreas costeiras, o que torna as águas menos salinas (Vidal *et al.*, 2012; Berrocoso *et al.*, 2018).

As temperaturas da água alcançaram valores entre -0,2°C (FB06) e 9°C (WB04). Na maior parte dos pontos amostrados a água está a uma temperatura próxima ao ponto de congelamento, ou seja, cerca de 1,8°C (Berrocoso *et al.*, 2018). No entanto, os pontos WB05 (4,4 °C) e WB04 (9°C), provavelmente sejam localizados próximos a fumarolas ativas, dado que os registros, de séries históricas, mostram baixas variações da temperatura da água do mar, com variações entre -1 e 3°C (ver Vidal *et al.*, 2012).

A turbidez da água foi 0, em todas as amostras, com exceção do ponto FB04, onde foi medido 1,7 NTU em FB04. Durante o período de amostragem a água estava completamente transparente, sendo possível visualizar o fundo nas regiões muito rasas (Wânia Duleba, comunicação pessoal). Provavelmente a ausência de turbidez fosse devida ao degelo tardio, naquele ano, pois na época do ano em que foi realizada a campanha (verão austral), o

derretimento de gelo-neve e aporte de água doce, ocasionam maior turbulência e turbidez na coluna d'água (Gray *et al.*, 2003) e consequente deslocamento de sedimentos do fundo, além do aporte de material sedimentar, juntamente com a água de degelo; o abundante fitoplâncton em Port Foster, no verão, também pode intensificar a turbidez na baía (Finger & Lipps, 1981). O parâmetro condutividade, o qual varia com a salinidade, em Deception, está diretamente ligada à quantidade de íons na água, apresentou valores entre 21,3 (FB05) e 62,2 (FB04). O total de sólidos dissolvidos, (TDS) variou entre 13,1 g/L (FB05 e FB08) e 37,4 g/L (FB04). TDS que se compõe de partículas de matéria orgânica e sais inorgânicos, pode ter seus valores aumentados em áreas mais afetadas pelos fluxos de detritos. A água que entra em Neptune's Bellows, a partir do mar de Bransfield (Berrocoso *et al.*, 2018), poderia estar ressurgindo em FB04, o que explicaria seu alto TDS. Altos valores de TDS, também podem ser encontrados nas fumarolas negras nos sistemas hidrotermais nas fases de separação do vapor da água do mar com baixa salinidade e salmoura, de alta salinidade, provenientes da convecção de água do mar, nesses sistemas (Coumou *et al.*, 2009).

4.2 Sedimentos

4.2.1 Distribuição das frações granulométricas

O diâmetro médio dos sedimentos variou entre 5,81 Φ , em FB06 Rec e 0,58 Φ , em FB01. A fração mais grossa e areia são mais abundantes nas amostras rasas, como já observado por Finger & Lipps (1981) em *Fumarole Bay* e *Whalers Bay* (FB01, FB03, FB04, WB03, WB04 e WB05). A fração mais fina (silte e argila) predomina em amostras profundas (Apêndice 14) porque a forma circular da caldeira inibiria o transporte pós-deposicional, o que causa uma alta concentração de material fino em Port Foster (Finger, 1976). O desvio padrão foi de 2,07 Φ , em FB07 Rec e 0,76 Φ em FB01. A assimetria variou entre -1,03, em FB01 e 0,21 em sedimentos FB07. Nas amostras de WB01 observaram-se sedimentos um pouco mais grossos (entre 5,51 Φ e 4,71 Φ), mas ainda dentro da fração silte e em WB02, o sedimento variou entre silte (5,07 Φ) e areia muito fina (3,08 Φ). Esse padrão de distribuição em *Whalers Bay* parece também relacionar-se com a sua localização, próxima a Neptunes Bellow. O influxo de água do mar que passa por essa entrada (Berrocoso *et al.*, 2018) carrega os sedimentos, que em parte ingressam em *Whalers Bay*; ao circular nessa baía, acabam perdendo energia e a fração mais grossa é depositada. Como o ponto WB02, encontra-se a maior profundidade que WB01, esse

material mais grosso permanece nesse local, enquanto que o sedimento mais fino, em parte, é transportado para dentro de Port Foster. A deposição do material mais grosso em WB02, também está ligada aos processos fluviais e glaciais, que ocorrem, principalmente durante o verão austral.

A estatística descritiva, diâmetro médio, foi bastante heterogênea, variando de acordo com a profundidade. O silte e a argila ocorreram principalmente nas amostras localizadas nas maiores profundidades, enquanto o material mais grosso foi observado nas amostras rasas (Apêndice 14), conforme já observado por Finger & Lipps (1981). A partir da variação granulométrica desses sedimentos, nos testemunhos, poderia-se distinguir o período de maior turbulência, através das maiores porcentagens de material grosso, principalmente perto das margens, que coincidiriam com o período mais quente, e decresceriam com a chegada do outono austral, depositando material mais fino em ambiente mais calmo.

4.2.2. Teores de CaCO_3

Em *Fumarole Bay* as concentrações de CaCO_3 variaram entre 9,51% (FB01) e 41,36% (FB06 Rec). A maior parte das amostras são litoclásticas ($\text{CaCO}_3 < 30\%$), porém, as amostras FB06 Rec, FB06 (0-2 cm), FB06 (2-4 cm) e FB06 (6-8 cm) são litobioclásticas (CaCO_3 de 30% a 50%), segundo Larssonneur *et al.* (1982).

Em *Whalers Bay* os teores de CaCO_3 situaram-se entre 8,35% (WB02 6-8 cm) e 15,54% (WB01 0-2 cm). Todas as amostras são essencialmente litoclásticas, com $\text{CaCO}_3 < 30\%$.

Os teores de CaCO_3 estão diretamente relacionados às profundidades dos pontos amostrais, sendo que os maiores teores estão à maiores profundidades (Apêndice 14). As amostras com maiores porcentagens de CaCO_3 pertencem ao testemunho FB06, e poderiam estar ligadas a períodos com menores taxas de sedimentação e/ou maior produtividade.

4.2.3 Índices de produtividade: testas de foraminíferos, valvas de diatomáceas, razão Al/Ti e teores de CaCO₃.

No testemunho FB06, todos os parâmetros são positivamente correlacionados e indicam que, provavelmente o elemento Al e CaCO₃ não devam ser origem de hidrotermal e confirmariam a possibilidade de utilização de Al/Ti como marcador de produtividade.

Em FB07, as variações de testas de foraminíferos, valvas de diatomáceas e teores de CaCO₃, apresentaram tendências semelhantes, embora não sejam estatisticamente consistentes; Al/Ti apresentou tendências distintas das observadas nos outros parâmetros, não sendo possível, nesse ponto utilizar esse parâmetro como índice de produtividade.

WB01 apresentou correlação positiva entre a densidade de testas de foraminíferos, porém sem consistência estatística, no entanto, esse comportamento sugere que Al e CaCO₃ não sejam de origem hidrotermal e os índices seriam indicativos de produtividade.

A correlação negativa entre as testas de foraminíferos e CaCO₃, em WB02, pode ser relacionada à dissolução das testas carbonáticas, dado que as espécies dominantes nesse ponto amostral, em grande parte, são aglutinantes. A semelhança na variação das testas (maior densidade) e das razões Al/Ti poderia indicar que este índice estaria relacionado à atividade biogênica, no mesmo período. Porém a correlação negativa as razões de Al/Ti com CaCO₃ e a densidade de valvas de diatomáceas mostram que a razão não pode ser utilizada nesse local.

4.2.4. Resultados do cluster de modo R- Sedimentos composição geoquímica, teor de CaCO₃ e frações granulométricas dos sedimentos.

- O grupo 1 é caracterizado por altas concentrações de Mo e Mn, que são consideradas elementos sensíveis à condições redox. Esses elementos apresentam comportamento semelhante, na ausência ou decréscimo de O₂, nos sedimentos, e migram para os limites entre as camadas nas quais foram depositados e as camadas mais enriquecidas em O₂ (Thomson *et al.*, 1986 Middelburg *et al.*, 1987; Schnetger *et al.*, 2000). Mo é geralmente aumentado em eventos hidrotérmicos de alta temperatura (Hannington *et al.*, 1991). Os fluidos hidrotermais, com altas temperaturas, também podem ser enriquecidos em Mn, em até 10⁶ vezes a concentração encontrada na água do mar (Von Damm *et al.* 1985). As altíssimas concentrações de Mo (9,87ppm) e Mn (5257 ppm) em WB05 seriam indícios de atividade vulcânica; as altas concentrações de Mn em Port Foster, como resultado de atividade vulcânica, já foram observadas, por Finger & Lipps (1981). Nas

amostras aqui estudadas, as concentrações de Mn (entre 355 ppm e 839 ppm) são semelhantes às relatadas por Rey *et al.* (1997) e Somoza *et al.* (2004). Essas anomalias positivas estariam agrupadas ao redor de montes e estruturas com *vents* na metade mais ao sul da ilha (Somoza *et al.*, 2004). Rey *et al.* (1997) relacionam anomalias de Mn a cones vulcânicos. Altas concentrações de Mo e Mn também foram observadas nas camadas superiores de FB06, até a profundidade de 6 cm; neste caso os valores observados em FB06 (entre 355 e 839 ppm) são menores que os observados por Somoza *et al.*, (2004) na mesma área (1200-1250 ppm).

- O grupo 2, possui altos teores de Ba e As. Bário (Ba), geralmente, é interpretado como indicador de produtividade (Dymond *et al.*, 1992; Paytan *et al.*, 1993; Paytan & Kastner, 1996), mas é um metal, comumente enriquecido em fontes hidrotermais (Von Damm, 1990; Fouquet *et al.*, 1993; Tribovillard *et al.*, 2006). O arsênio (As) é comum, também, em sistemas hidrotermais (Von Damm, 1990; Fouquet *et al.*, 1993) e, geralmente, é mobilizado a partir da crosta oceânica e depositado em depósitos minerais superficiais. Em nossas amostras, As apresenta concentrações bastante altas, até 45 vezes maiores que as relatadas por Turekian *et al.*, (1961) para sedimentos do fundo do oceano. Os sedimentos de WB05 apresentam anomalias positivas de Ba (119,2 ppm) e As (95,2 ppm), de 2 a 100 vezes e de 5 a 15 vezes mais, que as outras amostras, respectivamente. Para Rey *et al.* (1997), essas anomalias composicionais, fumarolas ativas e *hot-springs* estão associados a falhas extensionais recentes. Altas concentrações de As e Ba também foram observadas nas amostras de FB06, entre FB06 Rec e FB06 (6-8 cm). Rey *et al.* (1997), que relatam As > 50 ppm e Ba > 140 ppm, na região onde está situado FB06; Somoza *et al.*, (2004) reportam apenas a anomalia As > 50 ppm. O conteúdo de arsênio em depósitos hidrotermais, precipitados a mais baixas temperaturas, pode ser extremamente enriquecido (Koski *et al.*, 2001).
- O subgrupo 3a é composto pelos elementos Zn, Fe, Cu, Sn, Pb e Co, que apresentam padrão similar de distribuição. Zn e Cu são elementos sensíveis a condições redox e migram do sedimento, principalmente, acoplados à matéria orgânica. Esses elementos também podem ser retidos no sedimento associado à pirita após a decomposição da matéria orgânica em ambientes anóxicos (Tribovillard *et al.*, 2006). O zinco também pode estar associado à produção de opalas (Reichert *et al.*, 1997). O Fe é bastante móvel em sedimentos anóxicos e ambos podem escapar para a coluna de água como podem ser capturados em carbonatos de Fe (Tribovillard, *et al.*, 2006). O Fe também pode ser

um indicador de produtividade (Dymond *et al.*, 1992; Paytan *et al.*, 1993; Paytan & Kasner, 1996) ou ser incrementado durante as erupções vulcânicas (Finger & Lipps, 1981). O cobalto é um micronutriente essencial e limitante em alguns pontos dos oceanos modernos (Swanner *et al.*, 2014), está presente em áreas hidrotérmicas (Von Damm, 1990; Fouquet *et al.*, 1993) e seu decréscimo pode refletir uma diminuição da atividade hidrotermal. Por outro lado, Co é útil como *proxie* de paleoredox (Tribovillard *et al.*, 2006). Além disso, Cu e Co mostram uma forte correlação positiva com o aumento da temperatura (Hannington *et al.*, 1991). Por outro lado, Zn e Pb, parecem ter suas concentrações aumentadas em fluidos de baixa temperatura (Koski *et al.*, 1994; Trefry *et al.*, 1994). Este grupo contém principalmente elementos traço sensíveis às condições redox e / ou indicadores de produtividade. No entanto, o que parece unir esses elementos nesse grupo é que sua distribuição varia muito pouco, seja nas amostras de superfície ou nos perfis. Esses elementos apresentam um enriquecimento fraco em todas as amostras dos testemunhos WB01 e WB02 e no testemunho FB06, da camada superior até a profundidade de 8 cm. Esse grupo está relacionado, principalmente, às camadas superiores do FB06, de Rec até 8 cm. Os maiores valores de Fe encontrados no FB06 podem estar relacionados à alta densidade de foraminíferos locais.

- O grupo 3b é formado por Ni, Mg e a fração granulométrica areia. Ni é um elemento sensível a condições redox que migra do sedimento, principalmente, junto com matéria orgânica, em ambientes anóxicos (Tribovillard *et al.*, 2006). Esses elementos estão presentes, principalmente, em FB01, WB01 e WB02.
- O grupo 3c é composto pelo elemento químico Nb. O Nb é um micronutriente fortemente ligado à fase detrítica em sedimentos marinhos (Plank & Langmuir, 1998). Este grupo está associado, principalmente, às amostras rasas FB05, FB08, FB09, porém com maior teor de areia.
- O grupo 4, que apresenta altos níveis de Al e Sb e está correlacionado com argila e CaCO₃. O alumínio é, geralmente, de origem detrítica (Tribovillard *et al.*, 2006) e, tipicamente, forma argilominerais (Reichart *et al.*, 1997) que neste caso pode ser esmectita, produto de alteração das rochas locais, pelo vapor de água que é incorporado ao sistema quando o magma entra em contato com a água do fundo oceânico (Martí & Baraldo, 1990). O CaCO₃ está frequentemente associado à produtividade biológica (Reichart *et al.*, 1997), dissolução, ou atividade hidrotermal (Alt, 1995; Pichler & Veizerb, 2004). Nesses ambientes, o Sb é positivamente correlacionado à temperatura

dos fluidos hidrotermais (Trefry *et al.*, 1994). Este grupo refere-se a todas as camadas de FB06 e FB07, de 2-4 cm a 4-6 cm.

- O grupo 5 é composto pela fração mais grossa dos sedimentos e está relacionado às amostras rasas FB05, FB09, FB01, FB08 and FB03, que estão situadas em pontos mais próximos à costa, e recebem, portanto, maior quantidade de material proveniente de escorregamentos, na época de degelo. O fluxo de detritos, durante o transporte, perderia energia gradativamente, e os sedimentos mais grossos seriam depositados antes que os finos, gerando assim, depósitos mais grossos quanto mais perto da costa.
- O grupo 6 é composto por Hg e Au, metais traço, que estão relacionados com a atividade geotérmica (Von Damm, 1990; Fouquet *et al.*, 1993; Stoffers *et al.*, 2015) e a depósitos de origem hidrotermal (Zhu *et al.*, 2011). Os complexos com Au são formados em condições distintas; Au Cl₂ é limitado por altas temperaturas (>300°C) em condições de baixo pH e altas salinidades. Por outro lado, Au(HS)₂ predomina em fluidos de baixas temperaturas e em soluções pouco ácidas, com elevadas concentrações de S nos fluidos; porém a precipitação de Au, a partir dos dois complexos, é restrita a temperaturas <250°C em condições de agitação contínua da água do mar (Herzig *et al.*, 1993). Os elementos deste grupo foram, especialmente, enriquecidos nas camadas superiores do testemunho FB07.

Em Deception, os metais, de origem hidrotermal, não apresentam, na maior parte dos casos, teores anômalos, mas sim, grandes variações, quando se comparam os pontos amostrais e até, as amostras relativas às camadas, de um mesmo testemunho.

4.3. Foraminíferos

4.3.1. Espécies principais de foraminíferos observadas em Deception

As espécies de foraminíferos encontradas em Deception são, essencialmente de clima frio e de ambientes marinhos, sejam eles rasos, de plataforma, batial ou abissal. As exceções são *Lepidoparatrochammina lepida* e *Spiroplectammina biformis*, por serem de águas salobra e levemente salobras, respectivamente (Quadro 1).

<i>Adercotryma glomeratum</i>	epifaunal ou infaunal, livre; areia fina; detritívora; marinho; frio; plataforma-região abissal.
<i>Cassidulinoides parkeriana</i>	Se estiver em ambiente influenciado por sazonalidade, é epifaunal Falésias submarinas (Ternikov, 1976), o modo de vida pode ser epifaunal, deitado no sedimento, alimentando-se de fitodetritos.
<i>Cassidulinoides porrecta</i>	Areia ou silte arenoso, depositados por correntes fortes (Lipps & DeLaca, 1980)
<i>Eggerella minuta</i>	Infaunal, livre; silte ou areia fina; detritívora, clima frio- temperado; plataforma externa e lagunas; substratos duros (Bertram & Cowen, 1994)
<i>Globocassidulina bitor</i>	infaunal, livre; lama; detritívora ?; marinho; frio-temperado / endossimbiótica em comunidades em ambientes empobrecidos em O ₂ (Bernhard & Reimers, 1991; Bernhard, 1993; 1996; Bernhard <i>et al.</i> , 2000)
<i>Globocassidulina crassa</i>	infaunal, livre; lama; detritívora ?; marinho; frio-temperado, plataforma-batal (Murray, 2006). Substratos duros (Bertram & Conven, 1994)
<i>Hipocrepinella hirudinea</i>	Substratos argilosos; frio; zona entre-marés (Lipps & DeLaca, 1980)
<i>Lepidoparatrochammina lepida</i>	Água salobra; ligada a substratos de sedimentos grossos e conchas de moluscos; (Murray, 2006)
<i>Lepidodeuterammina ochracea</i>	Substratos duros, areia-areia grossa, em ambientes de alta energia, móvel; infaunal ou epifaunal, agarrada, herbívora, marinha; frio; plataforma.
<i>Miliammina arenacea</i>	infaunal-epifaunal, livre; argila-silte, vegetação em apodrecimento; detritívora; salobro-hipersalino; 0-30 °C; pântanos-batal superior
<i>Miliammina earlandi</i>	infaunal-epifaunal, livre; argila-silte, vegetação em apodrecimento; detritívora; salobro-epifaunal, livre; argila-silte; vegetação em apodrecimento; detritívora.
<i>Nodulina dentaliniformis</i>	Massas de água de fundo (Harloff & Mackensen, 1997)
<i>Pseudobolivina antarctica</i>	Plataformas profundas na Antártica; 500m-700m (Murray, 2006)
<i>Spiroplectammina bifurmis</i>	<40-60m; águas de fundo em ambientes anóxicos e levemente salobros (Alve, 1991; 1995)
<i>Spiroplectammina filiformis</i>	marinho; frio;
<i>Stainforthia fusiformis</i>	infaunal, anaeróbio facultativo, apto para sobreviver a curtos períodos de anoxia; colonizadora pioneira em ambientes anóxicos; oportunista espécie de plataforma, que prospera sob condições de stress onde a salinidade excede 30 (Alve, 1994;2003); fíordes, lagunas, plataformas (Scott <i>et al.</i> , 2003).
<i>Textularia antarctica</i>	Infaunal rasa; tolerante à disoxia (Bernhard <i>et al.</i> , 1997); epifaunal, livre ou grudada; substratos duros, sedimentos; detritívora?; marinha; frio-quente; 0-500 m; lagunas, plataforma e batal.
<i>Textularia earlandi</i>	epifaunal, livre ou agarrada; substratos duros, sedimentos; detritívora?; marinho; frio-quente; 0-500 m; lagunas, plataforma e batal (Murray, 2006).
<i>Trochammina malloensis</i>	falésias submarinas -grudadas em esponjas -substratos argilosos (DeLaca, 1980)

Quadro 1: Espécies principais de foraminíferos observados em Deception, hábitos de vida, tipo de substrato, hábitos alimentares, ambiente, clima.

4.3.2. Influência da variação de composição e textura dos sedimentos nas biocenoses de foraminíferos em Deception

Os itens já discutidos mostram as variações composicionais e texturais nos sedimentos e de ocorrência de espécies de foraminíferos nas amostras de *Fumarole Bay* e *Whalers Bay*. As variações composicionais, em muitos casos, provavelmente, estejam relacionadas a aumento de atividade hidrotermal na área. Sabe-se que quantidade e especiação dos metais, nos depósitos hidrotermais, são função da composição da rocha fonte, Eh, pH, temperatura, salinidade do fluido no ambiente, bem como da relativa concentração de outros elementos em solução (Herzig, 1993).

Essas variações poderiam afetar, em menor ou maior grau, a composição das associações de foraminíferos. As testas menores 250 µm, observadas em Deception, poderiam ser consequência de aumento de elementos traço (Boltovskoy, 1956; Finger & Lipps, 1981) ou presença de vidro vulcânico (Finger & Lipps, 1981) nos sedimentos. A abundância de espécies (número de testas por 10cc), nos testemunhos e amostras superficiais, em Deception, mostra variações importantes. Se por um lado, as amostras de FB06 e FB07 apresentam alta densidade (até 3.690 testas/10cc), as amostras localizadas em Whalers Bay têm, no máximo 147,3 testas/10cc. O índice riqueza de espécies, no entanto, apresenta a mesma ordem de grandeza, nas duas áreas, sendo ligeiramente mais alto nas amostras de Whalers Bay.

Nas biocenoses das amostras de superfície, todas recentes, nenhuma espécie apresentou correlação com a concentração dos elementos químicos analisados.

As biocenoses, ao longo dos testemunhos, são positivamente correlacionadas com as concentrações dos elementos químicos As, Ba, Pb e Sb e provavelmente, com a atividade hidrotermal, que afeta positivamente suas densidades. Anomalias de Arsênio que, particularmente, são comuns em sistemas hidrotermais (Koski *et al.*, 2001) apresentam em WB05 teores 45 vezes mais altos que os observados por Turekian *et al.*, (1961). As amostras, com maiores densidades de testas, encontram-se em FB06, onde ocorrem os maiores teores desses elementos. As menores concentrações encontram-se nas amostras mais rasas e mais próximas à costa e nos testemunhos WB01 e WB02, onde principalmente As e Ba apresentam menores concentrações.

As densidades são afetadas, negativamente, quando ocorre um enriquecimento em Co e Ni. Sendo Co um micronutriente essencial para os organismos (Kovalsky, 1970; Boltovzkoy, 1956) e Ni, relacionado ao aporte de matéria orgânica (Tribovillard *et al.*, 2006), conclui-se que,

nessas concentrações, um pouco elevadas, esses elementos possam ser tóxicos (Reinfelder *et al.*, 1998). Por outro lado, os pontos, onde é observada essa correlação, WB02 e, principalmente WB01, estão sujeitos à maior energia do ambiente, gerada pelas fortes correntes provenientes do mar de Bransfield, que entram por Neptune's Bellows (Berrocso *et al.*, 2018) e podem, por esse motivo, apresentar menores densidades. Esses pontos apresentam, também, maior número de espécies, em cada camada, que poderiam ser decorrentes de maior variação das condições ambientais, mudando assim a estrutura e sucessão, associações de foraminíferos.

Observaram-se que as espécies calcárias aumentam com o incremento de Al, mas são intolerantes e decrescem com Mg e Ni.

As densidades decrescem, também junto com o teor de CaCO₃, o que é principalmente notado quando se comparam as amostras dos quatro testemunhos. A maior densidade é observada em FB06, seguido de FB07, WB02 e WB01.

Algumas espécies de foraminíferos são correlacionadas positivamente e, portanto, tolerantes a elementos traço que poderiam ter origem hidrotermal. *Cassidulinoides parkeriana*, *Globocassidulina crassa*, *Lepidoparatrochammina lepida*, *Miliammina arenacea* e *Stainforthia fusiformis* correlacionam-se positivamente com alumínio.

As espécies *Miliammina* sp., *Nodulina dentaliniformis* e *Trochammina malovensensis* aumentam juntamente com As. *Adercotryma glomeratum*, *Miliammina* sp. e *Nodulina dentaliniformis* aumentam com o aumento de Ba. Hg correlaciona-se positivamente com *Miliammina* sp., *Pseudobolivina antarctica* e *Trochammina malovensensis*. *Adercotryma glomeratum*, *Cassidulinoides parkeriana*, *Miliammina arenacea*, *Miliammina* sp., *Nodulina dentaliniformis* e *Textularia antarctica* aumento com o aumento de Pb. Sb correlaciona-se positivamente com *Adercotryma glomeratum*, *Miliammina* sp., *Pseudobolivina antarctica* e *Trochammina malovensensis*.

Ademais, há espécies que são, negativamente, sensíveis ao aporte de certos elementos e apresentam decréscimo em sua densidade. Au é negativamente correlacionado à *Stainforthia fusiformis*; Ba à *Eggerella minuta*; Co à *Eggerella minuta* *Lepidoparatrochammina lepida*, *Lepidodeuterammina ochracea*, *Miliammina arenacea*, *Spiroplectammina biformis* e *Stainforthia fusiformis*; Fe à *Lepidoparatrochammina lepida*, *Lepidodeuterammina ochracea* e *Stainforthia fusiformis*; Hg à *Globocassidulina crassa*, *Lepidoparatrochammina lepida* e *Stainforthia fusiformis*; Mg à *Cassidulinoides parkeriana*, *Globocassidulina crassa*, *Miliammina arenacea* e *Stainforthia fusiformis*; Mn à *Eggerella minuta*, *Lepidoparatrochammina lepida*, *Lepidodeuterammina ochracea*, *Spiroplectammina biformis* e *Stainforthia fusiformis*; Ni à *Adercotryma glomeratum*, *Cassidulinoides parkeriana*,

Lepidoparatrochammina lepida, *Miliammna arenacea* e *Stainforthia fusiformis*; Zn à *Eggerella minuta*, *Lepidoparatrochammina lepida*, *Lepidodeuterammina ochracea*, *Spiroplectammina biformis* e *Stainforthia fusiformis*.

O conteúdo de CaCO_3 , que poderia indicar períodos de maior produtividade primária, ou ser de origem hidrotermal, foi positivamente correlacionado com as espécies *Adercotryma glomeratum*, *Miliammna arenacea*, *Miliammna sp.*, *Nodulina dentaliniformis*, *Pseudobolivina antarctica* e *Trochammina malovenssis*.

As frações granulométricas dos sedimentos, por outro lado, também são positivamente correlacionadas a algumas espécies. A espécie *Eggerella minuta* aumenta com a fração mais grossa, enquanto *Adercotryma glomeratum*, *Cassidulinoides parkeriana*, *Cassidulinoides porrecta*, *Miliammna arenacea*, *Stainforthia fusiformis* e *Textularia antarctica* aumentam com o aumento da concentração de silte e argila.

No ponto amostral no qual foram observadas as maiores anomalias positivas de elementos de origem hidrotermal foi, no entanto, WB05. As altas concentrações de As (119,2 ppm), Ba (95,3 ppm), Mn (5257 ppm) e Mo (9,87 ppm), além da temperatura anômala da água (4,4°C), que seria também um indício de atividade hidrotermal, e a anomalia termal (9°C), em WB04, ponto mais próximo de WB05 também indicariam atividade hidrotermal na área. Esse ambiente, além das anomalias geoquímicas e termais, apresentou-se empobrecido em O_2 (0,58 mg/L). Mesmo sob essas condições, foram observados indivíduos vivos, no local, pertencentes às espécies *Eggerella minuta*, *Trochammina malovenssis* e *Globocassidulina sp.*, esta última, em maior número. Suas dimensões < 350 μm , corroborariam as condições de suboxia ou disoxia, nesse ponto. A condição de anaeróbios facultativos, em *Globocassidulina bitor* já é conhecida. Essa espécie pode carregar em seu interior uma bactéria (*Thiobacillus*), que ajudaria na sobrevivência anaeróbica (Bernhard, 1983). Existem outras espécies de foraminíferos bentônicos que estão aptos para sobreviver em condições de anoxia e emissão de compostos sulfurosos durante algumas semanas (Bernhard & Alve, 1996; Bernhard & SenGupta, 1999) ou sob efeitos de outros fatores que excedam o limiar crítico esperado para sua sobrevivência (Murray, 2001).

4.3.3. Variação das espécies aglutinantes e calcárias e características físico-químicas da água

Os padrões de distribuição e dinâmica de uma associação de foraminíferos, e mais especificamente, de cada espécie, são controlados por fatores ambientais, sejam abióticos ou bióticos, ainda que, localmente, uns possam ser mais importantes que outros (Murray, 2001). Quando esses fatores atingissem seus limites críticos (superior ou inferior) a distribuição da espécie seria limitada no espaço e no tempo. (Pielou, 1974; Murray, 2001). Sob condições naturais alguns fatores atuam juntos e podem modificar esses limites. Ademais, a grande variação na produtividade primária, causada pelas baixas temperaturas e extensiva cobertura de gelo (Wefer *et al.*, 1988; Arrigo *et al.*, 1997) geraria flutuações na estrutura dessas associações. As associações de foraminíferos, em Deception, são compostas quase que, inteiramente por espécies aglutinantes, com diversidades baixas, e grande dominância, com indivíduos de pequenas dimensões. Essas características sugerem que são adaptadas a condições restritas, onde os principais limitantes seriam a baixa salinidade com instabilidade ou deficiência de O₂ dissolvido (Nagy *et al.*, 2010). O grande aporte de água doce, anual, criaria uma coluna estratificada com tendência de condições de fundo hipóxicas, combinadas com baixa salinidade, que geraria *stress* nos organismos bentônicos (Rabalais *et al.*, 1991; Nagy *et al.*, 2010). O tamanho reduzido de grande parte das testas seria resultado dos ambientes empobrecidos em O₂, nos quais, os tamanhos reduzidos aumentam a superfície relativa das testas aumentando, também, a oxigenação do organismo; poderiam também refletir períodos de reprodução rápida, com adaptação às mudanças abióticas típicas de ambientes parálisos, onde há rápida recolonização (Nagy, *et al.*, 2010).

A predominância de espécies aglutinantes em FB06 e FB07 poderia estar ligada ao processo de dissolução seletiva, relacionado à maior acidez gerada pelas emissões hidrotermais, de mais alta temperatura, nos pontos do norte da ilha e, no caso do ponto WB02, à maior energia do meio, que destrói as testas calcárias. A deposição e degradação de detritos orgânicos, com abaixamento de pH, nos períodos de escoamento, também poderiam ser responsáveis pela dissolução das espécies calcárias (Finger & Lipps, 1981), principalmente no ponto WB02, que está mais próximo a área de desagüe.

4.3.4. Variação das espécies dominantes

Globocassidulina sp., *Globocassigulina biora* e *Globocassidulina crassa* são as espécies calcárias mais abundantes em Deception, chegando a atingir 63,33% do total, em WB05.

Gray *et al.*, (2003) já destacavam que, a partir de 1970, observaram aumento da importância de *Globocassidulina* sp. (o gênero mais abundante em suas amostras), decréscimo de *Stainforthia fusiformis* e *Nonionella bradi* e a introdução de *Reophax dentaliniformis* (*Nodulina dentaliniformis*) e *Cassidulinoides parkerianus*. Para esses autores, a chegada tardia de *Reophax dentaliniformis* sugeria que a espécie não fosse colonizadora pioneira nos períodos seguintes às turbulências no ambiente. No entanto, em nossas amostras, *Nodulina dentaliniformis* surge, juntamente com *Adercotrymma glomeratum*, em períodos com baixas densidades de testas, logo após aparente turbulência no ambiente.

As espécies *Trochammina malovenssis* e *Miliammina arenacea* são dominantes em Deception (Finger & Lipps, 1981), principalmente nas amostras relativas aos períodos de maior calma e estabilidade no ambiente. Finger & Lipps (1981) mencionam uma expedição anterior (RH Hero-1975) que descreve uma amostra no centro de Port Foster, na qual essas espécies também dominam a assembleias. Gray *et al.* (2003) também mencionam dominância dessas duas espécies em Port Foster.

4.4. Dinâmica sedimentar e sua relação com a sazonalidade climática em Port Foster

A dinâmica sedimentar, em Deception, parece seguir padrões anuais cíclicos e bastante homogêneos. O aumento da incidência solar e da temperatura ambiente, na primavera austral, seria seguido pelo incremento da produtividade e teores de CaCO₃. Esses processos ocorreriam acompanhados do início do derretimento da neve e gelo, das partes mais altas da ilha. O grande aporte de água de degelo, em Port Foster, poderia servir como uma “armadilha de nutrientes” como a proposta por Odum (1959), na qual água mais fresca flui sobre água mais salina, resultando em reciclagem e concentração de nutrientes (Finger & Lipps, 1981) e aumento na densidade de testas. A alta taxa de sedimentação, ocasionada pelos fluxos de detritos, na época de degelo e também pelos movimentos gerados no assoalho da caldera explicariam a baixa diversidade da fauna local (Finger & lipps, 1981). A dinâmica sedimentar local seria responsável, também, pela variação da estrutura e da composição das associações bentônicas de foraminíferos em Port Foster. O transporte de sedimentos por ventos e derretimento de gelo,

dentro da caldera (Gallardo *et al.*, 1977; Cooper *et al.*, 1999), alta taxa de sedimentação por deposição fluvial e aporte piroclástico, além da elevação do assoalho à razão de até 0,5 m/ano, atribuída ao movimento de material na câmara magmática rasa (Cooper *et al.*, 1999) poderia afetar o equilíbrio e sucessão faunística em Deception.

As variações de densidades de testas, parecem estar, também, ligadas às variações de energia do ambiente. O ponto FB06, situado a maior profundidade e mais distante da costa, apresenta densidade superior a 3000/10cc, na camada de sedimentos situada entre 4-6 cm. O testemunho FB07, mais próximo da linha de costa e dos penhascos, está mais sujeito a receber material de escorregamentos e *runoff* de verão, portanto, com maior energia, quando comparado a FB06, tem densidade máxima de, aproximadamente, 600 caparaças/10cc. WB01, que é o testemunho situado mais próximo a Neptune Bellows, e está mais sujeito às correntes e às oscilações causadas por variações de marés, apresenta densidade máxima de 130/10cc. WB02, por sua vez, além de estar mais exposto aos escorregamentos e escoamentos do que WB01, sofre também o efeito da entrada de material que é transportado pelas correntes que entram por Neptune's Bellows, e que, chegando na baía, perde energia, causando a deposição do material mais grosso, na região do ponto de amostragem.

Conclusões

- Deception é um sistema quase fechado, com condições de oxigenação efêmeras, condicionadas pela sazonalidade anual, cíclica, relacionada aos períodos de inverno rigoroso e degelo no verão.
- As duas baías estudadas, apresentam padrões de circulação de água particulares, nos quais as características da água são renovadas sazonalmente.
- A variação da energia do meio, ocorre de acordo com a proximidade da linha de costa e/ou da entrada da caldera. *Fumarole Bay* apresenta maior produtividade, menor taxa de sedimentação, ambientes com maiores profundidades e mais calmos. *Whaler Bay* está sujeita a maior turbulência, ocasionada pela entrada de água do oceano, através de Neptune Bellows.
- As emissões hidrotermais, nas duas áreas, apresentam composição e temperatura diferentes. *Fumarole Bay* estaria sujeita a temperaturas mais altas que Whalers Bay. Os elementos metálicos Au, Hg afetariam principalmente FB07. WB05 e FB06 seriam,

particularmente enriquecidos em As, Ba, Mn e Mo. WB01 e WB02 são enriquecidos em Zn, Fe, Cu, Sn, Pb, Co, Ni e Mg. Esses elementos seriam fatores limitantes para alguns dos foraminíferos bentônicos, aqui estudados.

- A estrutura na composição faunística estaria ligada à sazonalidade de aporte de nutrientes, relacionadas ao *bloom* de fitoplankton, na primavera, matéria orgânica carregada com os sedimentos relacionados ao degelo anual, e pelo aporte de metais provenientes de atividade hidrotermal.
- A atividade hidrotermal, constante, faria variar as condições ambientais, como pH, turbidez, temperatura, salinidade, além de causar variações na composição sedimentar e, consequentemente, do material biodisponibilizado, para a fauna bentônica ali presente.
- A estruturação das assembleias, em FB06, estaria estabelecida com o surgimento de espécies como *Adercotryma glomeratum*, *Eggerella minuta*, *Pseudobolivina antarctica* e *Textularia antarctica*, em períodos de maior energia no ambiente. *Trochammina malovensensis* e *Miliammina arenacea* dominariam as assembleias em períodos de maior densidade de testas e mais calmos. FB07, embora também tenha como espécies dominantes *Trochammina malovensensis* e *Miliammina arenacea*, não apresentou uma variação clara na estrutura da sucessão de espécies. Em WB01, nos períodos de maior estabilidade, predominam *Trochammina malovensensis* e *Cassidulinoides porrecta* ou *Spiroplectammina biformis*. Nos períodos mais turbulentos, *Globocassidulina bitor* e *Globocassidulina crassa* são as espécies que ocorrem em maior número. Em WB02s espécies que se destacam nos períodos de instabilidade são *Lepidoparatrochammina lepida*, *Spiroplectammina biformis* e *Stainforthia fusiformis*. Nos períodos mais calmos predomina *Trochammina malovensensis*.
- As espécies de foraminíferos, observadas em Deception, consideradas de ambiente marinho, em sua grande maioria, foram observadas em condições de salinidade bastante baixas.

Referências bibliográficas

- ALT, J.C., 1995. Seafloor Hydrothermal Systems: Physical, Chemical, Biological and Geological Interactions within Hydrothermal Systems. In: S.E. Humphris, R. Zierenberg, L. Mullineaux, R. Thomson (Editors), *Geophysical Monograph 91*, American Geophysical Union, Washington, DC, USA, pp. 85–114.
- ANGINO, E., 1966. Geochemistry of antarctic pelagic sediments. *Geochemica and Cosmochemica*. 30 939-961.
- ARNOLD, A.J., PARKER, W.C. 1999. Biogeography in Planktonic Foraminifera, in Sen Gupta, B.K., ed., *Modern Foraminifera*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, p. 103–122.
- ARRIGO, K.R., WOTHEN, D.L., LIZOTTE, M.P., DIXON, P., DIECKMAN, G., 1997. Primary production in Antarctic sea ice. *Science* 276, 394–397.
- BACKER, P.E., McREATH, I., 1971. 1970 volcanic eruption of Deception Iland: Nature, 231(18):5-9.
- BARALDO, A., RINALDI, C.A., 2000. Stratigraphy and structure of Deception Island, South Shetland Islands, *Antarctica Journal of South American Earth Sciences* 13;785-796
- BARCLAY, A.H., WILCOCK, W.S. D., J.M. IBAÑEZ, J.M., 2009. Bathymetric constraints on the tectonic and volcanic evolution of Deception Island Volcano, South Shetland Islands. *Antarctic Science* 21 (2): 153–167.
- BERNHARD, J.M. 1993. Experimental and field evidence of Antarctic foraminiferal tolerance to anoxia and hydrogen sulfide. *Marine Micropaleontology*; 20 (3-4): 203-213.
- BERNHARD, J. M., ALVE, E., 1996, Survival, ATP pool, and ultrastructural characterization of benthic foraminifera from Drammensfjord (Norway): Response to anoxia, *Mar. Micropaleontol*; 28:5-17.
- BERNHARD, J.M., SEN GUPTA, B.K. 1999. Foraminifera in Oxygen-Depleted Environments. In: Sen Gupta, B.K., Ed., *Modern Foraminifera*, Kluwer, Dordrecht, 201-216.

- BERROCOSO, M, PRATES, G., FERNANDÉZ-ROS, A., PECL, L.M., GIL, A., ROSADO, B., PÁEZ, R., JIGENA, B., 2018. Caldera unrest detected with seawater temperature anomalies at Deception Island, Antarctic Peninsula Bulletin of Volcanology 80:41.
- BOLTOVSKOY, E., 1956. Applications of Chemical Ecology in the Study of the Foraminifera. Micropaleontology; 2 (4): 321-325.
- BOLTOVSKOY, E., WRIGHT, R., 1976. Recent Foraminifera. Springer Science. Dr. W. Junk.-Publishers 515 pp.
- BONATTI E, KRAEMER T, RYDELL, H.S. 1972. Classification and genesis of submarine iron-manganese deposits. In: Horn DR (ed) Ferromanganese deposits on the ocean floor. Office for the International Decade of Ocean Exploration, National Science Foundation, Washington, DC, pp 149–166.
- BUZAS STEPHENS, P. & BUZAS, M. A. 2005. Population dynamics and dissolution of foraminifera in Nueces Bay, Texas. Journal of Foraminiferal Research, 35(3): 248-258.
- CASELLI, A.P.R., AFONSO, M.S., AGUSTO, M.R., 2004. Gases fumarólicos de la isla Decepción (Shetland del Sur, Antártida): Variaciones químicas y depósitos vinculados a la crisis sísmica de 1999. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 59 (2): 291-302.
- COOPER, A.P.R., SMELLIE, J.L., MAYLIN, J., 1998. Evidence for shallowing and uplift from bathymetric records of Deception Island, Antarctica. Antarctic Science 10, 455–461.
- COUMOU, D., DRIESNER, T., WEIS, P., HEINRICH, C. A., 2009. Phase separation, brine formation, and salinity variation at Black Smoker hydrothermal systems. Journal of Geophysical Research, 114: B03212.
- DULEBA, W., TEODORO, A.C., DEBENAY, J-P, ALVES- MARTINS, M,V., GUBITOSO S., PREGNOLATO L.A., *et al.* 2018. Environmental impact of the largest petroleum terminal in SE Brazil: A multiproxy analysis based on sediment geochemistry and living benthic foraminifera. PLoS ONE 13(2): e0191446.
- DYMOND, J., ERWIN, S., LYLE, M. 1992. Barium in Deep-sea sediment: A Geochemical proxy for Paleoproductivity. Paleoceanography; 7(2):163-181.
- DYMOND, J., COLLIER, R. HONJO, S., MANGANINI, S. 1997. Can the aluminium and titanium contents of the ocean sediments be used to determine the paleoproductivity of the oceans? Paleoceanography 12: 586-593.
- FINGER K. L. 1975. Benthic foraminifera from Deception Island: Antarctic Journal, v. 10, p. 134–135.

- FOLK, K.L., 1976. Submarine sedimentary facies at Deception Island, South Shetland Islands. *Antarctic Journal of the United States* 11(3):162-163.
- FINGER, K.L. & LIPPS, J.H., 1981. Foraminiferal decimation and repopulation in an active caldera, Deception Island, Antarctica. *Micropaleontology*, 27(2):111-139.
- FOLK, R.L., WARD, W.C. 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*; 27:3-26.
- FOLK, R.L. 1968. *Petrology of Sedimentary Rocks*: Austin (Hemphill's) p.159.
- FOUQUET, Y., VON STACKLERBERG, U., CHARLOU, J.L., ERZINGER, J., HERZIG, P. MORE, R. 1993. Metallogenesis in Back-Arc Environments. *Economic Geology*; 88:2154-2181.
- GALLARDO, V.A., CASTILLO, J.G., RETAMAL, M.A., YANEZ, A., MOYANO, H.I., HERMOSILLA, J.G., 1977. In: Llano, G.(Ed.) *Adaptations Within Antarctic Ecosystems*, pp. 361-387. Smithsonian Institute, Washington DC.
- GARCÍA, A., BIANCO, I., TORTA, J.M., ASTIZ, M.M., IBÁÑEZ, J.M., ORTIZ, R., 1977. A search for the volcanomagnetic signal at Deception volcano (South Shetland I., Antarctica). *Annali di Geofisica*; 11(2):319-327.
- GONZÁLEZ-CASADO J.M., LÓPEZ-MARTÍNEZ, J., GINER, J.L., DURÁN, J.J., GUMIEL, P. 1999. Análisis de la microfracturación en la Isla Decepción. *Antártida Occidental, Geogaceta*, 26: 31-34.
- GONZÁLEZ-CASADO, J.M., GINER-ROBLES, J.L., LÓPEZ-MARTINEZ, 2000. Bransfield Basin, Antarctic Peninsula: Not a normal backarc basin. *Geology*: 28; no. 11:1043–1046.
- GRÀCIA, E., CANALS, M., FARRANZ, M., SORRIBAS, J., PALLAS, R., 1997. Central and eastern Bransfield basins (Antarctica) from high-resolution swath-bathymetry data. *Antarctic Science*, 9(2):168–180.
- GRAY, S.C., STURZ, A., BRUNS, M.D., MARZAN R.L., DOUGHERTY, D., LAW H.B., BRACKETT, J.E., MARCOUM. 2003. Composition and distribution of sediments and benthic foraminifera in a submerged caldera after 30 years of volcanic quiescence. *Deep-Sea Research II* 50: 1727–1751.

- GROSS MG. Carbon determination. In: Carver R E. (ed.) Procedures in sedimentary petrology. New York, 1971. pp 573-596.
- HAIR, J.F., BLACK. W.C., BABIN, B. J., ANDERSON, R. E.. 2009. Multivariate Data Analysis. Prentice Hall; 7nd ed. 785 pp.
- HANNINGTON, M.D., HERZIG, P.M., SCOTT, S.D., THOMPSON, G., RONA, P.A., 1991. Comparative mineralogy and geochemistry of gold-bearing sulfide deposits on the mid-ocean ridges. Mar. Geol., 101:217–248.
- HERZIG, P., HANNINGTON, M.D., FOUQUET, Y., STACKELBERG, U. V., PETERSEN, S. 1993. Gold Rich Polymetallic Sulfides from the Lau Back Arc and Implications for the Geochemistry of Gold in Sea-Floor Hydrothermal Systems of the Southwest Pacific. Economic Geology; 88 :2182-2209.
- IBAÑEZ, J.M., DEL PEZZO, E., ALMENDROS, J., LA ROCCA, ALGUACIL, M.G., ORTIZ, R., 2000. Seismovolcanic signals at Deception Island volcano, Antarctica: wave field analysis and source modeling Journal of Geophysical Research 105 (6), 13905-13931.
- INBAR, M., 1995. Fluvial morphology and streamflow on Deception Island, Antarctic. Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography. 77:4, 221-230.
- JOLLIFFE, I. T. 2002. Principal Component Analysis. 2nd Edition, Springer, New York.
- KAIHO, K. 1994. Benthic foraminiferal dissolved-oxygen index and dissolved-oxygen levels in the modern ocean. Geology, 22:719-722.
- KOSKI, R.A., PICHLER, T., FOSTER, A.L. 2001. The fate of arsenic in submarine hydrothermal environments: A summary of recente data. USGS Workshop on Arsenic in the Environment, Denver, Colorado. Reviewed extended abstract.
- KOVALSKI, V.V. 1970. The Geochemical ecology of organisms under conditions of varying contentes os trace elements in the environment in Trace Element Metabolism in Animals. Livingston, Edinburgand London , 385 pp.
- KRUMBEIN, W.C.; Sloss, L. L. 1936. *Stratigraphy and Sedimentation*, 2nd edition. Freeman, San Francisco.
- LARSONNEUR, C., BOYSSE, P., AUFRET, J.P. 1982. The superficial sediments of the English Channel and its western approach. Sedimentology, 29:851-864.
- LE CADRE, V., DEBENAY, J.P. LESOURD, M. 2003. Low pH effects on *Ammonia beccarii* test deformation: implications for using test deformations as a pollution indicator. Journal of Foraminiferal Research, v. 33 (1): 1–9.

- LOEBLICH, A.R.; TAPPAN, H. *Foraminiferal genera and their classification*. 2 vols. New York: Van Nostrand Reinhold, 1987.
- LORING, D.H. 1991. Normalization of heavy-metal data from estuarine and coastal sediments. *ICES Journal of Marine Science*; 48: 101-115.
- MAGURRAN, A. E. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, Princeton, N.J.
- MARTÍ, J., & BARALDO, A. 1990. Pre-caldera Pyroclastic deposits of Deception Island (South Shetland Islands). *Antarctic Science*, 2(04).
- MARTÍ J, VILA J, REY, J. 1996. Deception Island (Bransfield Strait, Antarctica): an example of volcanic caldera developed by extensional tectonics. In: McGuire WC, Jones AP, Neuberg J (eds) *Volcano instability on the Earth and other planets*. Geol Soc London Spec Pub. 110, pp. 253–265
- MARTÍ, J., GEYER, A., AGUIRRE-DIAZ, G., 2013. Origin and evolution of the Deception Island caldera (South Shetland Islands, Antarctica). *Bulletin of Volcanology*, 75(6):1-18.
- MIDDELBURG, J.J., LANGE, G.J., VAN DER WEJDEN, C.H., 1987. Manganese solubility control in marine pore Waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*; 51(3):759-763.
- MURRAY, R.W., LEINEN, M., ISEM, A.R. 1993. Biogenic flux of Al to sediment in the central equatorial Pacific ocean: evidence for increased productivity during glacial periods. *Paleoceanography*, 8 (5):651-670.
- MURRAY, J. W., 2001. The niche of benthic foraminifera, critical thresholds and proxies. *Marine Micropaleontology*, 41: 1-7.
- NAGY, J., HESS, S., ALVE, E. 2010. Environmental significance of foraminiferal assemblages dominated by small-sized *Ammodiscus* and *Trochammina* in Triassic and Jurassic delta-influenced deposits. *Earth-Science Reviews* 99: 31–49
- ODUM, H. T., ODUM, E.P. 1959. Principles and concepts pertaining to energy in ecosystems, p. 43-87. In E. P. Odum, *Fundamentals of ecology*. W. B. Saunders Co., Philadelphia.

- PAREDES, C. 2002. Distribución estocástica tridimensional condicionada de la fracturación potencialmente responsable de la actividad sísmo volcánica en la Isla Deception (Shetland del Sur, Antártida). *Boletín Geológico y Minero de España*, 118 (4):775-787.
- PAREDES, C., DE LA VEGA, R. PÉREZ-LÓPEZ, GINER-ROBLE J.L., MARTÍNEZ-DÍAZ, J.J. 2007. Descomposición fractal en subdominios morfotectónicos del mapa de Lineamientos morfológicos en la isla Decepción (Shetland del Sur, Antártida). *Boletín Geológico y Minero de España*, 118 (4): 775-787.
- PATTAN, J.N., MASUZAWA, T., DIVAKAR, N.P., PARHIBAN, G., YAMAMOTO, M. 2003. Productivity fluctuations in the southeastern Arabian Sea during the last 140Ka. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 193: 575-590.
- PAYTAN, A., KASTNER, M., MARTIN, E.E., MAC DOUGALL, J.D., HERBERT, T. 1993. Marine Barite as a monitor of seawater strontium isotope composition. *Nature* 366: 445-449.
- PAYTAN, A., KASTNER, M., 1996. Benthic Ba fluxes in the central Equatorial Pacific, implications for the oceanic Ba cycle, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 142, 439 – 450.
- PICHLER, T., VEIZER J. 2004. The precipitation of aragonite from shallow-water hydrothermal fluids in a coral reef, Tutum Bay, Ambitle Island, Papua New Guinea *Chemical Geology* 207: 31– 45
- PIELOU, E.C., 1974. *Population and Community Ecology: Principles and Methods*. Gordon and Breach, New York, 424 pp.
- PLANK, T., & LANGMUIR, C. H. 1998. The chemical composition of subducting sediment and its consequences for the crust and mantle. *Chemical Geology*, 145(3-4), 325–394.
- PRICE, R.E., PICKLER, T. 2005. Distribution, speciation and bioavailability of arsenic in a shallow-water submarine hydrothermal system, Tutum Bay, PNG. *Chemical Geology* 224: 122-135.
- RAVEN, J., CALDEIRA, K., ELDERFIELD, H., HOEGH-GULDBERG, LISS, P., RIEBESEL, U., SHEPHERD, J., TURLEY, C., WATSON, A., 2005. Acidification due to increasing carbon dioxide. Policy Document 12/05. The Royal Society, London.
- RABALAIS, N. N., R. E. TURNER, W. J. WISEMAN JR. D. F. BOESCH. 1991. A brief summary of hypoxia on the northern Gulf of Mexico continental shelf: 1985–1988, p. 35–47. In R. V. Tyson and T. H. Pearson (eds.), *Modern and Ancient Continental Shelf Anoxia*, Geological Society Special Publication No. 58, The Geological Society, London, England

REAVES, C. M. 1986. Organic Matter Metabolizability and Calcium Carbonate Dissolution in Nearshore Marine Muds. *Journal of Sedimentary Petrology*, 56 (4): 1986,486-494.

REICHART, G., DENDULK, M., VISSER, H., VANDERWEIJDEN, C., & ZACHARIASSE, W. (1997). A 225 kyr record of dust supply, paleoproductivity and the oxygen minimum zone from the Murray Ridge (northern Arabian Sea). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 134(1-4), 149-169.

REINFELDER, J.R., FISHER, N., LUOMA, S.N., NICHOLS, J.W., WANG, W.X..1998. Trace element trophic transfer in aquatic organisms: a critique of the kinetic model approach. *The Science of the total environment*. 219:117-135.

REY, J., L. SOMOZA, and J. MARTINEZ-FRIAS (1995), Tectonic, volcanic and hydrothermal event sequence on Deception Island (Antarctica), *Geo Mar. Letters* (1995) 15:1-8.

REY, J., SOMOZA, L., MARTÍNEZ-FRIAS, J., BENITO, R., MARTÍN-ALFAGEME, S., 1997. Deception Island (Antarctica): A new target for exploration of Fe-Mn mineralization? In: Nicholson, K., Hein, J. R., Buhn, B., Dasgupta, S. (Eds), *Manganese Mineralization: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits*. Geological Society London. Special Publication 119:239-251.

SCHNETGER, B., BRUMSACK, H.J., SCHALE, H., J. HINRICHS, J. DITTERT, L. 2000. Geochemical characteristics of deep-sea sediments from the Arabian Sea: a high-resolution study. *Deep Sea Research II*; 47: 2735-2768.

SMELLIE, J.L., 1988. Recent observations on the volcanic history of Deception Island, South Shetland Islands. *British Antarctic Surveys Bulletin* 8, 1, 83-85.

SMELLIE, J., 2001. Lithostratigraphy and volcanic evolution of Deception Island, South Shetland Islands. *Antarctic Science* 13(02): 188—209.

SMELLIE, J.L., LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. 2002. Geological and geomorphological evolution: summary. In López-Martínez, J., Smellie, J.L., Thomson, J.W. and Thomson, M.R.A. Eds.

- Geology and geomorphology of Deception Island, 54-57. BAS Geomap Series, 6–A and 6–B. Cambridge: British Antarctic Survey.
- SOMOZA, L.; MARTÍNEZ-FRÍAS, J.; SMELLIE, J.L.; REY, J.; MAESTRO, A. 2004. Evidence for hydrothermal venting and sediment volcanism discharged after recent shortlived volcanic eruptions at Deception Island, Bransfield Strait, Antarctica. *Marine Geology* 203: 119-140.
- STOFFERS, P., HANNINGTON, M., WRIGHT, I., HERZIG, P. DE RONDE, C. 1999. Elemental mercury at submarine hydrothermal vents in the Bay of Plenty, Taupo volcanic zone, New Zealand. *Geology*; 27 (10): 931–934.
- SWANNER, E. D, PLANAVSKY, N.J., LALONDE, S.V., ROBBINS, L.J., BEKKERE, A., Rouxel, O.J., Saito, M.A., Kappler, A., Mojzish, S.J., Konhauser, K.O., 2014. Cobalt and marine redox evolution. *Earth and Planetary Science Letters*: 390 (15) :253-263
- THOMSON, J, HIGGS, N.C., JARVIS, I., HYDE, D.J., COLLEY, S., WILSON, T.R.S., 1986. The behavior of manganese in Atlantic carbonate sediments. *Geochimica and Cosmochimica Acta*; 50-1807-1818.
- TOTH, J.R. 1980. Deposition of submarine crusts rich in manganese and iron. *Geological Society of America Bulletin, Part I*, v. 91: 44-54.
- TREFRY, J.H., BUTTERFIELD, D.B., METZ, S., MASSOTH, G.H., TROCINA, R.P., Feely, R.P., 1994. Trace metals in hydrothermal solutions from Cleft segment on the Southern Juan de Fuca Ridge. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 99 (B3):4925-4935.
- TRIBOVILLARD, N., ALGEO, T.J., LYONS, T., RIBOULLEAU, A. 2006. Trace metals as paleoredox and paleoproductivity proxies: An update. *Chemical Geology* 232: 12–32.
- TUREKIAN, K.K., WEDEPOHL, K.H., 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geological Society of America Bulletin*; 72(2): 175-192.
- VIDAL, J., BERROCOSO, M., FERNANDEZ-ROS, A., 2012. Study of tides and sea levels at Deception and Livingston islands, Antarctica. *Antarctic Science* 24(2): 193–201 & *Antarctic Science*.

- VON DAMM, K.L., EDMOND, J.M., GRANT, B., MEASURES, C.I., WALDEN, B. & WEISS, R.F. (1985) Chemistry of submarine hydrothermal solutions at 21°N, East Pacific Rise. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 49, 2197–220.
- WALTON, W. R., 1952, Techniques for recognition of living foraminifera: Contributions from the Cushman Foundation for Foraminiferal Research, v. 3, p. 56-60.
- WEFER, G., FISCHER, G., 1991. Annual primary production and export flux in the Southern Ocean from sediment trap data. *Marine Chemistry* 35^a: 597–613.
- WEITK, D.E., KATZ, M., 1980. A Review of Dissolved Gas Supersaturation Literature. *Transactions of the American Fisheries Society* 109:659-702.
- ZHU, Y., AN, F., TAN, J. 2011. Geochemistry of hydrothermal gold deposits: A review. *Geoscience Frontiers* 2(3): 367-374

Prancha 1: 1, 2 3 -*Spiroplectammina biformis*; 4-*Textularia* sp.; 5,6-*Eggerella minuta*; 7-*Pseudobolivina antarctica*; 8-*Adercotryma glomeratum*; 9-*Fursenkoina* sp.; 10,11,12-*Cassidulinoides parkeriana*; 13,14-*Cassidulinoides porrecta*; 15,16-*Stainforthia fusiformis*.

Prancha 2: 1,2-*Miliammina arenacea*; 3-*Globocassidulina crassa*; 4-*Globocassidulina biora*; 5-*Reophax fusiformis*; 6,7-*Reophax* sp.; 8-*Nodulina dentaliniformis*; 9, 10, 11, 12-*Trochammina malovenssis*; 13,14-*Trochammina* sp.;15,16-*Lepidoparatrochammina lepida*.

8 ANÁLISE DAS ASSOCIAÇÕES DE FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS E COMPOSIÇÃO GEOQUÍMICA E TEXTURAL, DOS SEDIMENTOS, EM THREE SISTERS.

RESUMO

No verão de 2012-2013 (OPERANTAR XXXI) foi realizada campanha com o objetivo de confirmar e caracterizar a atividade hidrotermal e meio fauna (foraminíferos), no edifício vulcânico Three Sisters, na sub-bacia Central de Bransfield, Antártica. Em Middle Sister foram coletados dois testemunhos com 34 cm de extensão. As camadas de sedimentos, no testemunho 3SisA, eram compostas por material na fração silte muito fino e areia grossa, intercalados por material na fração seixo, com três possíveis origens: nódulos de Fe-Mn, resultado da atividade hidrotermal, no local, material do próprio edifício, transportado por escorregamentos ou material terrígeno carregado por *icebergs* até o local. O testemunho 3SisB compõe-se essencialmente por silte, caracterizando a ambiente como calmo e de sedimentação lenta. Análises geoquímicas foram realizadas por ICP-OES, para determinar os teores de elementos maiores (Al, Ca, Fe, K, Mg e Ti) e traço (As, Ba, Cd, Cr, Cu, Li, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Sc, Sr, V e Zn). A variação dos teores dos elementos maiores, ao longo dos testemunhos, indicou fontes distintas para esses elementos. Os teores de elementos traço apresentaram pouca variação ao longo dos testemunhos e distribuição similar, que coincide com a variação de granulometria dos sedimentos. As exceções foram Mn, P, Pb, Sr, As, Mo, Sr, que apresentaram picos positivos em algumas camadas. Esses elementos, exceto Sr, comumente são encontrados enriquecidos em soluções hidrotermais e seriam indicativos de atividade hidrotermal nessa área. CaCO_3 , que também pode ser de origem hidrotermal, mostrou-se enriquecido em algumas camadas, indicando hidrotermalismo. Foi observada baixa densidade de testas e alta riqueza de espécies na área. Uma análise de correspondência canônica mostrou a correlação entre as principais espécies de foraminíferos e a geoquímica sedimentar. *Deuterammmina grisea*, *Adercotryma glomeratum*, *Recurvoidella bradyi*, *Recurvoides contortus* e *Reophax pilulifer* mostram preferência por sedimentos enriquecidos em Mn, P, Pb e As; *Trochammina squamata* correlaciona-se, positivamente, com Sr. A área foi caracterizada como pobre em micronutrientes e com assinatura geoquímica indicativa de atividade hidrotermal. O aporte de metais de origem hidrotermal, no entanto, não dá suporte a fauna especializada.

Introdução

A descoberta de sistemas hidrotermais, nos fundos marinhos, ocorreu a partir da segunda metade do século XX. Uma série de descobertas, no Mar Vermelho (Charnock *et al.*, 1964; Bonatti & Nayudu, 1965; Swallow & Crease, 1965; Miller *et al.*, 1966) e no Pacífico (Arrhenius & Bonatti, 1963; Boström & Peterson, 1966; Cronan & Tooms, 1969) impulsionou as pesquisas nessa área, as quais avançaram rapidamente por meio de uma sequência de descobertas (Rona *et al.*, 1993). Boström (1969) propôs que os depósitos metalíferos seriam produto de emanções hidrotermais provenientes do manto. Passada uma década, começaram a surgir trabalhos a partir de observações diretas de *vents* hidrotermais (Corliss *et al.*, 1979; Spiess *et al.*, 1980; Rona *et al.*, 1993). Trabalhos posteriores mostraram que as plumas hidrotermais formadas nesses sistemas são ricas em materiais formadores de minérios (German & Sparks, 1993). A circulação hidrotermal na crosta jovem pode levar a enriquecimento em metais, no assoalho oceânico (Aquilina *et al.*, 2013). A composição geoquímica desses sedimentos pode ser bastante variada (German, 2003) e é preservada nos sedimentos mesmo após a atividade hidrotermal ter cessado (Feely *et al.*, 1987). O enriquecimento nesses metais pode dar suporte a uma fauna variada e única (Aquilina *et al.*, 2013). As poucas pesquisas realizadas na Antártida (Aquilina *et al.*, 2013) evidenciaram atividade hidrotermal na área a partir de anomalias químicas na coluna d'água (e.g. Klinkhammer *et al.*, 1996; German *et al.*, 2000; Wrinkler *et al.*, 2010). Em um dos poucos trabalhos na região de Three Sisters, Aquilina *et al.*, (2013) estudaram os edifícios vulcânicos buscando indícios de atividade hidrotermal e fauna associada, concluindo que a atividade hidrotermal no Estreito de Brafeld é efêmera e não daria suporte à uma biota típica de regiões com *vents*. Dentro desse contexto, o objetivo deste trabalho é identificar, nos sedimentos, se há indícios de atividade hidrotermal no edifício vulcânico Three Sisters. Em um segundo momento, se confirmada a ocorrência de hidrotermalismo, verificar a correlação da composição geoquímica desses sedimentos e das espécies de foraminíferos encontradas.

1. Área de estudo

1.1. Localização e caracterização

Os edifícios vulcânicos Three Sisters, com coordenadas 62°40'S, 58°8' W, situam-se na sub-bacia central de Bransfield, que é delimitada pelas áreas elevadas da Ilha Deception e da Ilha Bridgeman (Gràcia *et al.*, 1997), (Figura 1). O Estreito de Bransfield é uma bacia extensional (Fretzdorff *et al.*, 2004), do tipo marginal, do Cenozóico (Birkenmajer, 1992) localizada entre o norte da Península Antártica e as Ilhas Shetland do Sul (Lawver *et al.*, 1995; Schreider *et al.*, 2014) e formada por rifteamento da crosta continental (Figura 1). A região é caracterizada por fenômenos tectônicos bastante complexos (Ibañez *et al.*, 1997), com presença de vulcões ativos (Smellie, 1988) e sismicidade em zonas intermediárias e rasas (Pelayo & Wiens, 1989).

O vulcanismo, relacionado ao rifteamento, é generalizado ao longo da Bacia central de Bransfield (Fretzdorff *et al.*, 2004). Nessa região, vários edifícios elevaram-se acima do fundo do mar, provavelmente, decorrentes do vulcanismo gerado pela extensão do assoalho oceânico (Garcia *et al.*, 2008; Gràcia *et al.*, 1996; Aquilina *et al.*, 2013). Esse conjunto de edifícios inclui, o complexo Three Sisters, a 1300 m de profundidade (Aquilina *et al.*, 2013) na coluna d'água.

1.2. Oceanografia Física

As águas do mar de Weddell e do mar da Escócia (Figura 1) influenciam os padrões de circulação no Estreito de Bransfield (Paterson & Sievers, 1980). Três massas de água, distintas, podem ser identificadas na região (Fabrès *et al.*, 2000): as águas de Bellingshausen (Águas Transicionais de Fundo-TBW), quentes e com baixa salinidade (2,25 ° C e 33,50 psu-*Practical Salinity Unit*) e as águas de Weddell (Águas Transicionais de Fundo-TBW), (0,75 ° C e 34,40 psu), frias e salgadas, ocupam os 300 metros superiores na coluna d'água; a 300 metros de profundidade, aproximadamente, situa-se o limite superior das Águas Profundas de Bransfield (BDW), que apresentam, tipicamente, 0,1 ° C e 34,53 psu. Estas águas podem ter influência de três fontes distintas: a água profunda circumpolar (CDW), entrando na Bacia de Bransfield pelo seu extremo sudoeste; águas pertencentes ao mar de Weddell e águas densas provenientes da plataforma continental oriental da Península Antártica (AP) oriental (Whitworth *et al.*, 1994).

1.3. Clima

A Península Antártica está sob as condições climáticas, relativamente, amenas e atua como uma barreira topográfica entre um clima quase continental, do lado do mar de Weddell, e condições marítimas no lado do Pacífico. A alta umidade e temperaturas com médias anuais superiores a

-4°C, no inverno, e 0°C, no verão, caracterizam o clima marítimo na região. A precipitação média situa-se acima de 1000 mm (Griffith & Anderson, 1989). A altura da coluna de neve, no final do verão é de até 150 m (Domack & Ishman, 1993), ocasionando fluxos abundantes de degelo, nesse período.

Essas condições climáticas são responsáveis pela distribuição, tipo e regime glacial das geleiras que fluem para a Bacia de Bransfield. Os glaciares das Ilhas Shetland do Sul e da Península Trinity (Figura 1) são formados por campos de gelo, relativamente fino, que se estendem descontinuamente para a costa, em forma de piemonte e vales glaciais. O resultado desses processos é que, menos da metade da linha de costa é composta por glaciares cujas bases chegam a atingir profundidade entre 80 e 120 m. O restante de linha de costa é ocupado por rocha nua ou praias de cascalho, sendo algumas delas ocupadas por vales glaciais na sua extremidade *onshore* (Fabrès *et al.*, 2000) que, frequentemente, apresentam riachos proglaciais turvos durante o período de verão (Yoon *et al.*, 1998).

As condições climáticas também controlam a permanência e distribuição de gelo no mar, durante o inverno na Bacia de Bransfield, que normalmente é livre de gelo entre dezembro e abril. Durante maio e junho o gelo começa a se formar, no mar. Isso ocorre, primeiramente, ao longo da margem da Península Antártica e até o mês de julho, alcança a parte norte, cobrindo todo o Estreito de Bransfield. O gelo cobre a região por, aproximadamente 4 meses e, em meados de janeiro se inicia o degelo (Griffith & Anderson, 1989).

Figura 1: Mapa da Península antártica com a localização do Estreito de Bransfield. Fonte: <http://pal.lternet.edu/blogs/2012/2013/01/06/finally-here-palmer-station/>

2. Materiais e Métodos

2.1. Coleta das amostras

Dois testemunhos (3SisA e 3SisB) foram coletados no verão austral de 2013-2014 (XXXII OPERANTAR), com *box corer* (dimensões: 60x40x60cm, capacidade de amostragem de 9L de sedimento). Quando o amostrador era trazido a bordo, a água sobrenadante era retirada e armazenada em frascos plásticos, para análise posterior da meiofauna. Uma vez retirada a água da *box corer*, raspava-se a camada superficial oxidada (0cm; eventualmente 0,5cm) para o estudo de foraminíferos recentes. Posteriormente, os sedimentos subsuperficiais foram amostrados através de três *cores* de aço inox (10x10x60cm), destinados a análises granulométrica, geoquímica (elementos traços e maiores) e de foraminíferos.

Area	Collection date	Latitude	Longitude	Depth (m)	Collection method	Number of samples
3SisA	22/01/2014	62°38'34" S	58°58'66,4" W	1188	Box-corer	8
3SisB	22/01/2014	62°38'73,0" S	58°59'53,9" W	1145	Box-corer	19

Tabela 1: Data da coleta, latitude, longitude, profundidade, método de coleta e número de amostras por testemunho.

Esses testemunhos foram amostrados a intervalos de 2 cm. A fração das amostras utilizada para a análise dos foraminíferos foi preservada em álcool 70%, para evitar o ataque bacteriano na matéria orgânica. Posteriormente, foi adicionada solução de Rosa de Bengala (Walton, 1952), para que fossem identificados os indivíduos que estivessem vivos, no momento da coleta. As coordenadas e profundidades dos testemunhos, 3SisA e 3SisB, foram medidas a bordo, usando a sonda Horiba-U50 (Tabela 1).

Figura 2: Localização dos esdificios vulcânicos Three Sisters e dos testemunhos 3Sis A e 3SisB.

2.2. Sedimentos

2.2.1. Granulometria e estatísticas descritivas de tamanho dos grãos

As amostras coletadas foram quarteadas até massas de aproximadamente 50g, elutriadas e postas em estufa a 60°C. Posteriormente, foram separadas, por peneiramento e pipetagem. (Folk, 1968). As frações dos sedimentos foram classificadas segundo a escala de Wentworth (1922). Foram obtidas frações granulométricas em intervalos de 0,5 Φ , segundo Krumbein & Sloss (1963), classificadas também, segundo a escala de Wentworth (1922).

Ao final das análises de granulometria de cada amostra, foram calculados os valores percentuais das frações granulométricas de 0,5 Φ , o que permitiu obter estatísticas descritivas de acordo com Folk & Ward (1957).

Os intervalos, no testemunho 3SisA, dos quais não foram obtidas amostras de sedimentos, eram compostos por seixos (comunicação pessoal Wânia Duleba).

2.2.2. Teores de CaCO_3

As concentrações de CaCO_3 foram determinadas a partir da digestão com HCl e diferença de peso, entre a amostra integral e a final, segundo Gross, (1971). Foram separados 10 gramas de cada amostra, deixados em solução de HCl a 10%, por 24 horas, ou até que não houvesse sinais de CaCO_3 sendo consumido. As amostras foram, então, lavadas em água destilada, e levadas à estufa a 45°C, por 24 horas, para serem posteriormente pesadas, novamente. A diferença entre as pesagens correspondeu ao conteúdo de CaCO_3 das amostras. A classificação dos sedimentos, segundo o conteúdo de carbonato de cálcio, foi feita de acordo com a proposição de Larssonneur *et al.* (1982). As variações do conteúdo carbonático foram utilizadas como indicador de produtividade (Arz, *et al.* 1998; Pattan *et al.*, 2003), porém também podem ser indicativas de atividade hidrotermal (Alt, 1995; Pichler & Veizerb, 2004).

2.2.3. Geoquímica

As análises químicas, dos elementos maiores, menores e traço, dos sedimentos, foram realizadas por ICP-OES (Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy) da marca Varian, modelo 710-ES.

Os teores dos elementos As, Ba, Cd, Cr, Cu, Li, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Sc, Sr, V e Zn, além de Al, Ca, Fe, K, Mg e Ti foram quantificados de acordo com o método SW-846 USEPA 6010c (USEPA, 2006). As amostras foram maceradas e homogeneizadas em moinho de ágata. Posteriormente, adicionou-se uma solução ácida, para solubilizar os metais ligados a carbonatos, óxi-hidróxidos de ferro e manganês, matéria orgânica e argilas. A solução foi, então, convertida em aerossol e conduzida ao plasma de argônio. Essa fonte de plasma excita os íons dos elementos (a 7.000-10.000K) a níveis mais altos de energia. Os elétrons voltam ao seu estado fundamental e emitem fótons (energia na forma de luz). Essas emissões são direcionadas ao policromador que, por sua vez, as decompõe e separam por comprimentos de ondas, como cada elemento possui radiações características, é possível quantificar-se as concentrações de cada um deles nas amostras (Boss & Fredden, 1997). O elemento químico Al, por ser, relativamente, imóvel (Stumm & Morgan, 1981), foi utilizado como elemento normalizador para os resultados das análises geoquímicas.

2.2.4. Indicadores de influência hidrotermal, produtividade e efeitos redox

Os resultados obtidos por ICP-OES foram comparados com a média dos sedimentos pelágicos carbonáticos (>10% de CaCO_3), para os oceanos Atlântico e Pacífico, obtidos por Turekian *et al.*, (1961). Ademais confrontamos, nossos resultados, com a média da geoquímica dos sedimentos de 9 segmentos, do arco de Escócia, de Fretzdorff *et al.*, (2002), que apesar de terem uma fonte MORB (Mid Ocean Ridge Basalt) em comum, apresentaram-se geoquimicamente heterogêneos.

A razão $\text{Al}/(\text{Al}+\text{Fe}+\text{Mn})$, que descreve o conteúdo metalífero dos sedimentos (Boström *et al.*, 1969), foi utilizado para determinar a zona de influência do *vent*, dado que, quanto maior a proximidade, maior o enriquecimento em Fe e Mn e menores os valores do índice. Boström (1969) propôs um índice (BI) através do qual se estima o conteúdo metalífero dos sedimentos e o associou à proximidade com os *vents*, ou seja, quanto mais sedimentos enriquecidos em Fe-Mn, ou baixo BI, mais perto estariam dos locais com *vents*. Para Boström (1969), mais que 55% dos depósitos de sedimentos pelágicos, sem influência hidrotermal alcançam $\text{BI} > 0,60$. Essa razão vai decrescendo e atinge os maiores valores ($< 0,10$) nas cordilheiras ativas e em locais com baixa sedimentação. Neste trabalho, o índice foi utilizado para auxiliar na identificação de atividade hidrotermal ao longo dos testemunhos. Sendo os menores valores correlacionados a períodos de maior atividade hidrotermal. Fe/Ti foi utilizado para avaliar a contribuição relativa dos componentes hidrotermais e detríticos, nos sedimentos, juntamente com o Índice de Boström (Shili *et al.*, 2017). Há também uma série de metais que são enriquecidos em sedimentos de origem hidrotermal. Mn, Mo, La, Cu, V, Ni, Fe, Zn, Co e Y, observados por Marchig *et al.*, (1982), Cu, Zn, Au e Ag constatado por Hannington *et al.* (2011); Herzig & Hannington, (1995) e B, As, Cr, Cd, Pb, V, Hg, e As (Boström & Peterson, 1966; Boström & Fisher, 1969; Boström *et al.*, 1969) e podem ser utilizados como indicadores de atividade hidrotermal.

As variações na razão Al/Ti foram usadas como indicador de produtividade (Angino, 1966; Murray *et al.*, 1993; Murray & Leinen, 1996; Dymond *et al.*, 1997; Pattan *et al.*, 2003), já que Al e Ti são usualmente associados a componentes siliciclásticos, (Bloemsmá *et al.*, 2012). O primeiro é associado a partículas finas enquanto as areias mais grossas são enriquecidas em Ti (Salomons & Förstner, 1984; Shrivastava *et al.*, 2003).

Cr, V, Zn, Cu e Mo foram usados como indicadores de efeito redox (Goldberg & Arrehnius, 1958; Tribovillard *et al.*, 2006).

2.3. Análises dos foraminíferos

2.3.1. Trabalhos de laboratório

Uma alíquota de 10cc de sedimentos foi separada, das amostras de cada camada dos dois testemunhos, e peneirada a úmido em peneiras de 0,500 mm e 0,062 mm (Schröder *et al.*, 1987); o sedimento retido nas peneiras foi seco em estufa a 45 °C. Os espécimes foram separados da porção total de sedimentos por meio de flotação; nessa fase foi utilizado tricloroetileno (C₂HCl₃) segundo Scott *et al.*, (2001). Sob o microscópio estereoscópico, foi realizada a triagem final, na qual foram separados pelo menos 100 exemplares de foraminíferos, nas amostras onde isso foi possível, com os quais foram montadas lâminas específicas para esse fim.

2.3.2. Índices ecológicos

Para as assembleias de foraminíferos, foram calculadas as densidades (indivíduos/10cc), riqueza de espécies, índices diversidade de Shannon (H'), de Simpson (C) e de equabilidade de Pielou (J).

2.3.3. Espécies indicadoras de concentrações de O₂ no ambiente

As espécies calcárias foram classificadas como indicadoras de ambientes óxicos, sub-óxicos e anóxicos, segundo Kaiho (1994). As espécies consideradas de ambiente óxico foram: *Globocassidulina* sp. e *Quinqueloculina* sp. As espécies sub-óxicas foram *Astrononion*, sp., *Astrononion echolsi*, *Epistominella exigua*, *Nodulina auricula*, *Nodulina auris*, *Pullenia bulloides*, *Pullenia subcarinata*, *Rosalina* sp., *Stainforthia fusiformis*, *Trifarina* sp., *Uvigerina* sp. As espécies disóxicas foram *Fursenkoina* sp. e *Fursenkoina davisii*.

Em alguns casos em que os indivíduos de espécies, de ambientes óxicos, eram menores que 350µm, foram contabilizados como espécies sub-óxicas.

2.4. Análises estatísticas

2.4.1. Análise de Correspondência Canônica (CCA)

A análise de Correspondência Canônica (CCA), realizada com o *software* Past, versão 3.18, foi utilizada para determinar as relações entre as espécies de foraminíferos e a composição dos sedimentos, em todas as amostras dos testemunhos 3SisA e 3SisB. Apenas espécies que totalizaram mais que 5%, no conjunto total de dados, foram utilizadas na matriz biótica. Os dados foram normalizados para uniformizar a importância das variáveis. O teste de permutação (999 permutações) foi utilizado para determinar o nível de significância estatística das correlações entre as variáveis e as espécies. O valor crítico aceito neste trabalho foi de $p < 0,05$. Os diagramas de dois eixos obtidos pela CCA mostram a variação dos valores para os elementos químicos dos sedimentos. O comprimento dos vetores reflete a correlação entre o elemento químico e o padrão de distribuição dos foraminíferos.

Usando a CCA, as 19 espécies, das 27 amostras, foram correlacionadas com o conteúdo de cascalho, areia e lama, CaCO_3 , elementos traço (As, Ba, Cd, Cr, Cu, Li, Mo, Ni, P, Pb, Sc, Sn, Sr, V, Zn), menores e elementos maiores (Al, Ca, Fe, K, Mg, Ti) dos sedimentos.

2.4.2. Correlação de postos de Spearman

O conjunto de dados obtidos (espécies de foraminíferos, análise geoquímica, frações granulométricas e teor de CaCO_3) foi analisado, aplicando-se a correlação de postos de Spearman. O valor crítico para o nível de significância aceito foi $p < 0,05$.

3. Resultados

Os dados sedimentológicos e bióticos constam dos Apêndices 1, 2, 3, 4, 5 e 6.

3.1. Granulometria dos sedimentos

3SisA-O diâmetro médio dos sedimentos variou entre 7,33 (3SisA 2-4cm) Φ e -0,15 Φ (3SisA Rec), entre silte muito fino e areia muito grossa. O desvio padrão médio apresentou valores entre 1,27 ϕ (3SisA 32-33 cm) e 2,59 ϕ (3SisA Rec), muito pobremente selecionado a pobremente selecionado. A assimetria situou-se entre -0,85 (3SisA 22-24 cm) e 2,42 (3SisA Rec), ou seja, entre muito negativa e muito positiva. A fração de sedimentos pelíticos foi predominante nas amostras variando entre 82,03% (3SisA 22-24 cm) e 98,47% (3SisA 2-4 cm). A única exceção foi a amostra 3SisA Rec com 9,19% de pelíticos (Figura 3 e Apêndice 1).

Figura 3: Diâmetro médio, porcentagens de cascalho, areia e lama nas camadas de 3SisA.

3SisB- O diâmetro médio dos sedimentos variou entre 6,84 Φ (3SisB 6-8 cm) e 4,94 Φ (3SisB 24-26 cm), ou seja, entre silte fino e silte grosso. O desvio padrão médio apresentou valores entre 1,28 Φ (3SisB 10-12 cm) e 2,41 Φ (3SisB 14-16 cm), ou entre muito pobremente selecionado e pobremente selecionado. A assimetria oscilou entre -0,87 (3SisB 4-6 cm) e 0,71 (3SisB 18-20 cm), ou seja, entre muito negativa e muito positiva. A fração de sedimentos pelíticos esteve presente em altas concentrações em todas as camadas do testemunho, variando entre 76,49% (3SisB 28-30 cm) e 98,69% (3SisB 4-6 cm), (Figura 4 e Apêndice 1).

Figura 4: Diâmetro médio, porcentagens de cascalho, areia e silte/argila nas camadas de 3SisB.

3.2. Composição geoquímica dos sedimentos

Comparativamente aos valores, para sedimentos pelágicos carbonáticos (>10% de CaCO_3), obtidos por Turekian *et al.*, (1961), os sedimentos dos dois testemunhos apresentam-se enriquecidos em Al, Fe, K, Mg e Ti e em Li, Sc e V; e empobrecidos em Ca, Ba, Cd, Cr, Mn, Ni, Sr e Zn. Quando a comparação é feita, com os sedimentos pelágicos argilosos, as amostras de 3Sisters são empobrecidas em todos os elementos maiores e traço, com exceção de Ba, no qual são enriquecidos e Zn, do qual apresentam teores semelhantes (Tabela 2).

Com relação às variações dos elementos maiores, ao longo dos testemunhos, observaram-se, em 3SisA, tendências semelhantes de distribuição em Al, Ca e Ti, com picos positivos em Rec, e 26-28 cm. Por outro lado, Fe, K e Mg mostram comportamento espelhado, quando comparado aos elementos anteriores. Os elementos traço apresentam teores mais baixos na camada Rec, com aumento até 8-10 cm e decréscimo nas camadas subjacentes. As exceções são As e Mo, que em 8-10 cm apresentam um pico negativo bastante acentuado (Figura 5 e tabela 2).

	Al	Ca	Fe	K	Mg	Ti	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Li	Mn	Mo	Ni	P	Pb	Sc	Sn	Sr	V	Zn	Boström index	Fe/Ti	Al/Ti	Ca/Co
Carbonate sediments	20.000	312.000	9.000	2.900	4.000	770	1	190	190	11	30	5	1000	3	30	350	9	2	0.X	2000	20	35	-	11.69	25.97	>10%
Clay sediments	84.000	29.000	65.000	25.000	21.000	4.600	13	2300	2300	90	250	57	6700	27	225	1500	80	19	1.5	180	120	165	-	14.13	18.26	-
Fretzdorff et al., 2002	82136.16	72689.74	64678.97	2055.43	40503.70	-	-	62.81	-	174.50	47.07	-	1317.60	-	74.93	0.18	-	32.16	-	171.43	-	78.69	0.554	-	-	-
3SisA Rec	34737.70	13137.60	46929.30	13723.90	21400.60	2197.93	0.00	66.14	0.45	9.26	14.14	7.28	194.14	0.14	10.44	253.41	3.20	3.73	1.77	39.09	39.05	38.31	0.43	21.35	15.80	6.08
3SisA (2-4 cm)	32487.50	12203.90	42319.70	13234.50	19880.80	2097.65	4.05	139.73	0.84	18.34	32.29	17.06	191.71	0.42	13.89	574.46	6.16	5.44	4.26	53.32	61.70	81.77	0.43	20.17	15.49	23.53
3SisA (6-8 cm)	30801.10	11025.80	43955.30	12407.80	17459.80	2003.98	3.41	141.15	0.97	19.26	34.96	18.39	191.94	1.08	14.00	481.62	6.63	5.66	4.52	54.71	68.35	81.94	0.41	21.93	15.37	22.41
3SisA (8-10 cm)	31843.10	11269.60	40860.60	13018.20	17904.50	2023.88	0.00	141.84	1.01	19.60	34.34	17.88	184.48	0.56	14.07	446.77	5.94	5.83	4.85	53.84	67.00	84.53	0.44	20.19	15.73	23.27
3SisA (12-14 cm)	34559.30	11843.60	44626.10	12941.20	17976.20	2249.36	2.99	129.13	0.92	18.85	33.02	16.71	181.14	1.27	13.65	433.48	5.89	5.40	5.41	50.38	65.49	76.45	0.44	19.84	15.36	18.01
3SisA (22-24 cm)	26970.30	9456.69	37771.60	11586.50	16529.50	1568.96	3.14	99.78	0.75	14.48	27.12	12.99	156.52	0.86	11.34	348.34	4.15	4.85	3.14	41.67	56.02	61.80	0.42	24.07	17.19	19.23
3SisA (26-28 cm)	33522.70	13381.40	43724.30	12182.50	18969.30	2263.31	3.14	116.15	0.85	16.61	30.47	14.83	182.28	0.79	12.82	377.65	4.67	5.68	3.54	44.81	66.89	66.50	0.43	19.32	14.81	20.37
3SisA (32-34 cm)	31859.20	11700.70	42637.70	12442.70	18173.90	2202.17	3.36	119.66	0.79	16.30	30.19	15.67	171.59	0.69	12.47	393.46	4.57	5.27	3.81	49.18	59.07	70.48	0.43	19.36	14.47	21.05
3SisB Rec	33126.30	11525.10	41268.20	12465.10	17601.20	2205.93	8.49	128.10	0.69	18.65	30.48	14.96	291.85	0.45	12.58	819.47	6.40	5.82	3.84	68.70	68.71	71.55	0.44	18.71	15.02	11.33
3SisB (0-2 cm)	41608.20	14064.80	43371.00	14680.70	21914.30	2854.37	6.97	135.01	0.74	20.94	32.35	15.93	271.89	0.41	13.77	790.39	6.44	6.41	4.62	70.63	73.56	76.97	0.49	15.19	14.58	23.81
3SisB (2-4 cm)	39233.50	13815.00	41704.00	13964.80	20983.20	2779.29	5.37	143.47	0.91	23.66	34.93	18.15	221.77	0.55	15.17	677.33	6.66	6.77	5.81	65.24	79.31	83.91	0.48	15.01	14.12	24.19
3SisB (4-6 cm)	24492.00	9771.58	33662.50	10102.50	14694.90	1981.81	2.88	143.35	0.86	22.60	34.89	18.71	206.89	0.83	14.63	488.39	6.36	6.64	5.57	62.37	76.91	82.20	0.42	16.99	12.36	21.47
3SisB (6-8 cm)	29007.70	11458.40	42326.60	10399.40	17857.10	2443.30	3.53	156.19	0.99	24.37	37.93	20.49	218.25	1.00	15.32	502.51	6.32	7.16	6.12	61.29	83.41	87.88	0.41	17.32	11.87	21.04
3SisB (8-10 cm)	27697.40	11881.70	39580.60	10719.20	18330.60	2097.70	3.19	137.68	1.16	19.25	34.02	17.73	180.94	0.88	13.61	444.76	6.42	5.52	4.52	52.08	66.10	82.73	0.41	18.87	13.20	24.18
3SisB (10-12 cm)	29761.80	12068.90	40319.60	10489.30	17748.00	2159.08	0.00	134.90	1.03	21.91	36.49	17.55	207.07	1.14	14.51	455.91	5.66	6.59	5.72	59.70	77.48	82.00	0.42	18.67	13.78	21.74
3SisB (12-14 cm)	27927.40	11776.50	35898.20	9957.90	16418.70	1920.35	4.30	135.54	0.95	21.00	34.58	17.58	202.03	1.22	13.96	445.42	5.91	6.40	4.96	57.22	75.69	80.17	0.44	18.69	14.54	21.24
3SisB (14-16 cm)	31790.40	12222.30	39645.50	10853.10	17302.70	2149.46	3.98	133.04	0.86	20.47	33.71	17.55	193.43	1.29	13.00	432.50	5.51	6.40	5.09	54.84	75.06	78.86	0.44	18.44	14.79	19.45
3SisB (16-18 cm)	36187.50	12811.00	44528.00	11921.90	18853.00	2497.03	4.23	138.93	0.91	21.16	34.41	17.73	202.99	1.35	13.33	442.50	5.32	6.87	5.02	58.78	78.19	78.67	0.45	17.83	14.49	20.68
3SisB 918-20 cm)	36232.90	12478.10	43855.40	11445.40	18970.60	2487.11	4.08	132.67	0.86	20.43	33.93	17.10	205.32	1.15	13.15	439.62	5.41	6.87	4.66	57.76	78.50	84.72	0.45	17.63	14.57	21.92
3SisB (20-22 cm)	20974.40	9857.33	29036.50	7670.24	15423.20	1032.52	3.47	104.39	0.78	16.72	28.41	13.95	184.84	1.01	11.50	376.72	3.91	5.99	3.61	49.31	69.66	63.83	0.42	28.12	20.31	19.49
3SisB (22-24 cm)	28013.30	9517.44	41104.10	10391.90	17217.00	1504.46	3.07	98.64	0.73	15.48	26.94	13.11	172.73	1.03	11.15	362.04	4.04	5.32	3.51	44.56	64.02	60.86	0.40	27.32	18.62	16.98
3SisB (24-26 cm)	29852.20	10783.30	45579.40	10695.90	19519.30	1909.48	3.81	104.88	0.78	15.78	28.33	13.57	180.91	1.83	11.80	369.56	4.20	5.53	3.44	53.43	65.49	62.95	0.39	23.87	15.63	17.94
3SisB (26-28 cm)	33344.60	11785.90	43716.60	11137.50	18962.90	1875.09	3.89	112.17	0.86	17.23	29.89	14.33	193.27	1.40	12.23	382.97	4.46	6.27	3.76	53.16	72.66	66.24	0.43	23.31	17.78	16.56
3SisB (28-30 cm)	26059.50	9471.89	40033.40	9834.44	17115.30	1748.51	3.20	98.80	0.76	15.10	25.45	12.82	176.12	1.12	10.74	337.45	3.94	5.71	5.33	49.70	65.67	57.63	0.39	22.90	14.90	17.83
3SisB (30-32 cm)	22469.70	9143.78	34129.60	8855.00	15319.60	1742.29	5.30	126.55	0.93	19.70	32.80	16.27	207.01	1.27	13.07	421.01	4.30	7.02	4.53	59.01	78.90	72.97	0.40	19.59	12.90	20.5
3SisB (32-33 cm)	26030.60	10178.80	38672.60	8963.38	16149.50	1861.41	3.59	127.21	0.91	19.72	33.30	16.27	197.92	1.70	12.85	431.93	4.68	6.84	4.48	57.34	77.22	73.50	0.40	20.78	13.98	19.08
3SisB (34-36 cm)	26004.80	9759.60	36229.70	9302.58	16011.00	1564.72	4.21	123.37	0.82	18.31	31.48	16.45	191.42	1.21	12.49	416.59	4.84	6.25	4.17	53.25	71.45	71.31	0.42	23.15	16.62	24.1

Tabela 2: Composição geoquímica dos sedimentos observadas em Turekian *et al.* (1961), em sedimentos pelágicos argilosos e carbonáticos; sedimentos do Estreito de Bransfield, sedundo Fretzdorff (2002); sedimentos dos testemunhos 3SisA e 3SisB. Índice de Boström (1969), razões Fe/Ti, Al/Ti e CaCO₃.

Figura 5: Distribuição dos elementos maiores e traço, índice de Boström, razões Fe/Ti, Al/Ti e teores de CaCO_3 , ao longo do testemunho 3SisA.

Os elementos maiores Al e Ti, em 3SisB, apresentam tendência de distribuição semelhantes, com picos positivos em 0-2 cm, 2-4 cm, 8-10 cm e 26-28 cm, no caso de Ti, as variações são menos significativas. Ca, Fe, K e Mg apresentam curvas de distribuição com tendências opostas às de Al e Ti (Figura 6 e Tabela 2). Os elementos traço, com exceção de As, apresentam distribuição com três intervalos onde se observaram picos positivos, na maior parte dos elementos, nas camadas 4-6 cm, 20-22 cm e 30-32 cm. O elemento As apresenta comportamento distinto, com decréscimo em 10-12 cm e aumento das concentrações em 20-22 cm e 30-32 cm.

Figura 6: Distribuição dos elementos maiores e traço, índice de Boström, razões Fe/Ti, Al/Ti e teores de CaCO_3 , ao longo do testemunho 3SisB.

3 SisA- O índice de Boström (1969), não apresentou variações significativas, entre as camadas, situando-se entre 0,4110 e 0,4154, valores muito próximos aos obtidos por Hepburn (2015), para os sedimentos do Estreito de Bransfield. Os índices Fe/Ti e Al/Ti alcançaram valores entre 19,32 -21,35 e 14,14-17,19, respectivamente e apresentaram curvas de distribuição semelhantes. As concentrações de CaCO_3 , nos sedimentos, variaram entre 6,08% (3SisA Rec) e 23,53% (3SisA 0-2 cm), ou seja, são litoclásticos segundo Larssonneur *et al.* (1982), (Figura 4 e Tabela 2). A distribuição de CaCO_3 apresentou tendência de decréscimo, da camada da base do testemunho até a camada 22-24 cm, no entanto, inverteu essa tendência a partir dessa profundidade até a camada do topo, tendo como única exceção a camada 8-10 cm, onde houve um leve aumento dessa razão.

3SisB- O índice de Boström (1969) apresentou valores entre 0,3932 (3SisB 24-26 cm) e 0,4881 (3SisB 0-2 cm, valores próximos aos já obtidos anteriormente para a área (e.g. Hepburn, 2015). Os indicadores Fe/Ti e Al/Ti alcançaram valores entre 15,01-28,12 e 11,87-20,31, respectivamente, e apresentaram distribuições semelhantes. As concentrações de CaCO_3 apresentaram teores entre 11,33% (3SisB Rec) e 24,19% (3SisB 2-4 cm) e são, em sua totalidade, litoclásticos, segundo Larssonneur *et al.* (1982), (Tabela 2).

3SisB apresentou a mesma tendência, tendo pontos de inflexão na mesma profundidade (3SisB 22-24 cm e 3SisB 8-10 cm) que 3SisA.

3.3. Foraminíferos bentônicos

3SisA- O volume de sedimentos analisado para a obtenção das testas de foraminíferos foi de 20 a 60 cc. Um total de 48 espécies foram identificadas em 3SisA, pertencentes a 37 gêneros distintos. Os valores de densidade variaram entre 0 em 22-24 cm e 71 indivíduos por 10cc em 12-14 cm. A riqueza de espécies variou entre 7 e 40, em 26-28 cm e 6-8 cm. Os valores de H' e J variaram entre 1,494 e 2,775, em 32-33 cm e 6-8 cm, e entre 0,613 e 0,9732, em 12-14 cm e 26-28 cm, respectivamente. As espécies aglutinantes variaram entre 0 (8-10 cm) e 100% (26-28 cm) e as calcárias entre 0 (8-10 cm e 22-24 cm) e 11,11% (2-4 cm). Não foram observadas espécies indicadoras de condições de ambiente óxicas; as espécies sub-óxicas apresentaram concentrações de 0 (8-10 cm, 22-24 cm, 26-28 cm, 32-33 cm) a 100% (Rec); as espécies disóxicas apresentaram concentrações entre 0 (Rec, 8-10 cm, 22-24 cm, 26-28 cm, 32-33 cm) e 56,68% (2-4 cm), (Figura 7; Apêndices 5 e 6).

Figura 7: Distribuição da densidade e riqueza de testas de foraminíferos, pindices ecológicos de Shannon, e Pielou, razões de espécies calcárias e aglutinantes e indicadores de teores de oxigênio no ambiente em 3SisA.

As espécies mais abundantes foram *Adercotryma glomeratum* (0,728-8,122%), *Ammoglobigerina pygmaea* (3,4-31,3%), *Lagenammina difflugiformis* (1,7-3,4%), *Lepidoparatrochammina lepida* (8,2-20,0%), *Melonis* sp. (0,5%), *Miliammina arenacea* (6,7-59,7%), *Miliammina lata* (1,7-20,0%), *Psammosphaera fusca* (0,5-1,7%), *Psammosphaera parva* (0,2%), *Pullenia bulloides* (1,9%), *Recurvoidella bradyi* (3,882-33,3%) e *Recurvoides contortus* (0,6-4,4%)-(Figura 8 e Apêndices 5 e 6).

Figura 8: Distribuição das espécies, mais abundantes, de foraminíferos ao longo do testemunho 3SisA.

3SisB- O volume de sedimentos triado, para a obtenção das testas de foraminíferos, foi de 15 a 60 cc. Um total de 97 espécies foram identificadas em 3SisA (Apêndice 5 e 6), pertencentes a 62 gêneros distintos. Os valores de densidade variaram entre 11,33 em 10-12 cm e 203,33 indivíduos por 10cc na camada 6-8 cm. A riqueza de espécies variou entre 3 e 40, em 28-30 cm e 6-8 cm. Os valores de H' e J variaram entre 0,501 e 3,376, em 28-30 cm e 0-2 cm e entre 0,447 e 0,942 em 14-16 cm e 24-26 cm, respectivamente. As espécies aglutinantes alcançaram concentrações entre 58,33 (24-26 cm) e 100% (28-30 cm) e as calcárias entre 0 (28-30 cm) e 41,67% (24-26 cm). As espécies indicadoras de condições ambientais óxicas estavam ausentes nas camadas entre 0-2 cm e 4-6 cm, em 8-10 cm, 18-20 cm, 28-30 cm e 34-36 cm; as espécies sub-óxicas não foram observadas em 12-14 cm, 14-16 cm, 28-30 cm e 32-33 cm e perfizeram 100 em 0-2 cm, 4-6 cm, 18-20 cm; enquanto as espécies disóxicas não foram observadas nas camadas Recente, 0-2 cm, 4-6 cm, 6-8 cm, 10-12 cm, 14-16 cm, 18-20 cm, 26-28 cm, 28-30 cm e 32-33 cm e atingiram 36,84% em 30-32 cm (Figura 9; Apêndices 5 e 6; Quadro1).

Figura 9: Distribuição da densidade e riqueza de testas de foraminíferos, índices ecológicos de Shannon, e Pielou, razões de espécies calcárias e aglutinantes e indicadores de teores de oxigênio no ambiente em 3SisB.

As espécies mais abundantes foram *Adercotryma glomeratum* (0,8-4,8%), *Ammoglobigerina pygmaea* (0,7-11,1%), *Deuterammina grisea* (1,3-5,7), *Hormosinella gutifera* (0,9-7,1), *Labrospira crassimargo* (1,1-85,7%), *Lagenammina difflugiformis* (1,0-17,4%), *Lagenammina laguncula* (1,4-9,5%), *Lepidoparatrochammina lepida* (2,6-9,8%), *Melonis* sp. (2,2-20,9%), *Miliammina arenacea* (0,9-85,7%), *Miliammina lata* (0,6-12,2%), *Psammospaera fusca* (0,7-16,5%), *Psammospaera parva* (0,5-9,5%), *Pseudotrochammina echolsi* (0,4-10,7%), *Pullenia bulloides* (0,5-5,2%), *Recurvoidella bradyi* (0,7-23,0%), *Recurvoides contortus* (1,1-8,4%), *Reophax pillulifer* (1,3-10,6%) e *Trochammina squamata* (0,8-9,5%)-(Figura 10; Apêndices 5 e 6; Quadro 1).

Figura 10: Distribuição das espécies, mais abundantes, de foraminíferos ao longo do testemunho 3SisB.

As informações, encontradas na literatura, sobre os hábitos de vida das espécies com concentrações maiores que 5%, nos dois testemunhos, (Quadro 1) indicam que essas espécies são epifaunais, infaunais ou facultativas, majoritariamente livres, que vivem em ambientes com sedimentos na granulometria argila a areia, passando por silte, são detritívoras, de ambiente marinho, de clima frio, de regiões de plataforma, batial e abissal.

Quadro 1: Espécies com porcentagens maiores que 5% observadas em 3SisA e 3SisB. Plataforma: 0–180 m; região batial: 180–4000 m; região abissal >4000 m. Fonte: Murray, 2006.

Espécies	Habitat
<i>Adercotryma glomeratum</i>	epifaunal ou infaunal, livre; areia fina; detritívora; marinho; frio; plataforma-região abissal. em ambiente influenciado por sazonalidade é epifaunal
<i>Ammoglobigerina pygmaea</i>	epifaunal, livre no sedimento, detritívora, marinho, frio-temperado; plataforma-zona batial
<i>Deuterammina grysea</i>	epifaunal; livre ou ligado ao substrato; marinho; frio-temperado; plataforma.
<i>Hormosinella guttifer</i>	epifaunal; areia; pode responder ao aporte de fitodetrítos; região batial-abissal.
<i>Labrospira crassimargo</i>	epifaunal; livre ou ligada ao substrato; areia fina e grossa; detritívora; S 30-35°; <15°C; plataforma-região batial.
<i>Lagenammina difflugiformis</i>	infaunal? Argila, silte e areia; livre no sedimento; detritívora; S 30-50; frio-temperado
<i>Lepidoparatrochammina lepida</i>	água salobra; ligada a substratos de sedimentos grossos e conchas de moluscos;
<i>Melonis</i> sp.	infaunal; livre; argila e silte; algumas espécies toleram a disoxia; detritívora; marinho; frio; plataforma-região batial.
<i>Miliammina arenacea</i>	
<i>Miliammina lata</i>	infaunal e epifaunal; livre; argila e silte; vegetação em apodrecimento-detritívora; salobra-hipersalina; 0-30°C; pântanos-zona batial superior.
<i>Psammosphaera fusca</i>	substratos argilosos-areia e ambientes com baixo C orgânico.
<i>Pseudotrochammina echolsi</i>	epifaunal ou infaunal; livre; argila-areia; marinho; frio; plataforma-batial.
<i>Pullenia buloides</i>	infaunal; livre; argila; detritívora; marinho; plataforma externa-região batial; ligadas a esponjas.
<i>Recurvoidella bradyi</i>	epifaunal-infaunal raso; livre; argila-areia; detritívora?; marinho; frio-temperado; pântanos-região batial.
<i>Recurvoides contortus</i>	epifaunal; livre no sedimento; detritívora; marinho; frio; plataforma.
<i>Reophax pilulifer</i>	infaunal, livre; argila-areia; detritívora; marinho; frio-temperado; lagunas, plataforma-região batial.
<i>Trochammina squamata</i>	epifaunal ou infaunal; livre; argila-areia; herbívora ou detritívora; S 0-60°; 0-30°C; 0-6000 m; entre-marés-região abissal.

3.4. Resultados das análises estatísticas

Foram utilizados todos os elementos maiores e traço, obtidos por ICP-OES, além de conteúdo de cascalho, areia e pelíticos, e conteúdo de CaCO₃ para a CCA (Análise de Correspondência Canônica). Apenas sete desses parâmetros foram significativamente correlacionados às principais espécies de foraminíferos (As, Mn, Mo, P, Pb, Sr e CaCO₃). Os resultados da CCA para o eixo 1 (eigenvalue: 0,009441) e eixo 2 (eigenvalue: 0,005459) foram responsáveis por

46,47 e 26,87% da variância de todos os dados, com um total de 73,74%. Os resultados dos testes de permutação para avaliar a significância da CCA foram p : 0,003 para o eixo 1 e p : 0,018 para o eixo 2.

Os parâmetros mais significantes, obtidos pela CCA (Figuras 11 e 12), e correlacionados positivamente com o eixo 1 foram, Mn, P, Pb, e As, nessa ordem; Mo foi negativamente correlacionado. O parâmetro correlacionado ao segmento negativo, do eixo 2, foi Sr. O gradiente principal, revelado pelo eixo 1, é a transição de sedimentos com alto conteúdo de Mn, P, Pb, e As, para sedimentos com alta concentração de Mo; embora CaCO_3 esteja correlacionado à parte negativa do eixo 1, por sua localização ser quase no limite com a parte positiva do eixo 2, não há, correlação estatisticamente consistente, com as espécies de maior abundância relativa. O gradiente do eixo 2 mostra a transição de elementos com alto teor de Sr para sedimentos com menores teores nesse metal.

A CCA (figura 11) mostra que 50% as amostras do testemunho 3SisA (2-4cm, 6-8 cm, 12-14 cm e 26-28), além de 3SisB 8-10cm e 12-14 cm, estão positivamente correlacionadas com ambos os eixos. As camadas entre 3SisB Rec, 3SisB 4-6 cm, além de 3sisA Rec, 3SisA 8-10 cm e 3SisA 22-24 cm são positivamente correlacionadas com o eixo 1 e negativamente correlacionadas com o eixo 2. As amostras do testemunho 3SisB entre as profundidades de 24 e 36 cm, são correlacionadas negativamente com os dois eixos. Por sua vez, as amostras 3SisA 32-34 cm e 3SisB 6-8 cm e entre as profundidades de 14 a 24 cm são correlacionadas positivamente com o eixo 2 e negativamente com o eixo 1.

Figura 11: Biplot da Análise de Correspondência Canônica considerando as espécies de foraminíferos com porcentagens >5%, os elementos químicos (As, Mn, Mo, P, Pb, Sr e CaCO_3) correlacionados com essas espécies ($p < 0,05$) e as amostras referentes às camadas dos testemunhos 3SisA e 3SisB.

A CCA (figura 12) mostra que as espécies associadas ao segmento negativo do eixo 1 são *Lagenammina difflugiformis*, *Lagenammina laguncula*, *Labrospira crassimargo*, *Psammosphaera parva*, *Pseudotrochammina echolsi*, e *Hormosinella gutífera* as quais são positivamente correlacionadas às concentrações de Mo. As espécies associadas aos valores positivos do eixo 1 são *Deuterammina grisea*, *Adercotryma glomeratum*, *Recurvoidella bradyi* e *Recurvoides contortus*, que são positivamente correlacionadas ao acúmulo de Mn, P, Pb e As. A CCA (figura 12) evidenciou que as espécies associadas aos valores positivos do eixo 2 são *Lepidodeuterammina lepida*, *Miliammina lata*, *Psammosphaera fusca*, *Pullenia buloides*, *Miliammina arenacea* e *Melonis* sp. A única espécie associada aos valores negativos do eixo 2 foi *Trochammina squamata*, que se correlaciona positivamente a Sr.

Figura 12: Biplot da Análise de Correspondência Canônica de espécies de foraminíferos (espécies com frequência >5%) e os elementos químicos (As, Mn, Mo, P, Pb, Sr e CaCO₃) correlacionados com essas espécies (p<0,05).

Os mesmos resultados podem ser observados no diagrama relativo à Correlação de Spearman entre as espécies e a composição sedimentar.

Figura 13: Correlação de Spearman para os elementos traço e maiores dos sedimentos, Granulometria, conteúdo de CaCO_3 , espécies de foraminíferos com mais de 5% do total de testas, em pelo menos uma das camadas dos testemunhos 3SisA ou 3SisB, densidade riqueza, Shannon e Pielou, espécies indicadoras de ambientes óxicos, sub-óxicos e disóxicos, espécies aglutinantes e espécies calcárias.

4. DISCUSSÃO

4.1. Textura dos sedimentos e concentração de CaCO_3

3SisA: A maior parte das camadas amostradas apresentaram altas concentrações de material pelítico, com exceção da camada Rec, na qual a maior porcentagem foi de cascalho. As camadas, com alta concentração de material pelítico, evidenciam que houve deposição lenta, em ambiente calmo, com grande estabilidade. A ocorrência de seixos, entre as camadas de sedimentos finos, indicaria aumento de energia no ambiente com transporte a partir de áreas mais altas bastante próximas, dado que o ponto amostral está localizado em um monte submarino, com altura máxima de 300 metros e cujo topo está a uma profundidade máxima de 1150 metros na coluna d'água. Outra hipótese seria o transporte e deposição por *icebergs*. A camada Rec também apresenta o menor teor de CaCO_3 de todas as camadas amostradas, positivamente correlacionado com o teor de material pelítico, das amostras. CaCO_3 , por ser mais fino, teria deposição preferencial pois, durante esse processo, há colisão e agitação das partículas e, quando o sedimento mais grosso se movimenta, o sedimento mais fino tende a ocupar seu lugar, o que causa movimento ascendente do material mais grosso (Trujillo & Herrmman, 2003).

3SisB: Apresentou um padrão bastante homogêneo de sedimentação, com teores de material pelítico com média de aproximadamente 90%, o que indicaria deposição de sedimentos muito lenta e contínua, no local. As camadas com porcentagens, relativamente, menores de material pelítico e que apresentaram aumento de fração areia, foram as camadas 3SisB 20-22cm e 3SisB 28-30 cm. A fração cascalho é praticamente inexistente, apresentando um máximo de 0,77%. O teor de CaCO_3 , observado, segue a mesma tendência da fração de pelíticos, ao longo do testemunho, porém, é relativamente empobrecida, em 3SisB Rec. As camadas mais ricas em carbonato poderiam refletir condições de períodos mais quentes, por analogia aos períodos glaciais e interglaciais observados por Weaver *et al.*, (1986). Outra hipótese seria a de maior produção biológica (Pattan *et al*, 2003) ou ainda, aumento da atividade hidrotermal (Alt, 1995; Pichler & Veizerb, 2004).

4.2. Elementos maiores

3SisA- Dos 6 elementos maiores analisados, Al, Ca, Fe, K, Mg e Ti, foi observada uma tendência semelhante de distribuição entre Al, Ca e Ti em 3SisA e de Al e Ti em 3SisB. A correlação negativa, observada entre Al e os elementos Fe, K e Mg, evidenciaria que a concentração desses elementos não está, principalmente, relacionada à uma contribuição, de componentes detríticas, derivadas dos continentes (e.g. Taylor & McLennan, 1985), mas provavelmente ligada ao aporte de sedimentos depositados a partir de soluções hidrotermais, as quais são ricas em elementos metálicos.

3SisB-Al e Ti apresentam distribuições bastante semelhantes, com exceção dos sedimentos entre as camadas Rec e 4-6 cm. Al, quando comparado com os outros elementos maiores, Ca, Fe, K e Mg, apresenta distribuição distinta, o que, como no caso de 3SisA, evidencia fontes distintas para esses elementos.

O elemento Fe, cujo aumento poderia estar relacionado a emanções hidrotermais (Boström & Peterson, 1969), quando comparado a Turekian *et al.*, (1961) e a Fretzdorff *et al.*, (2002), apresentou empobrecimento. O empobrecimento em Fe poderia caracterizar transporte desse elemento, pelas águas de fundo, para outro local, que não o da emanção, ou mistura com material continental (Boström & Peterson, 1969). A distribuição apresentou-se, relativamente, uniforme, provavelmente, como resultado do acúmulo de material oriundo de vários ciclos de sedimentação, dentro da mesma camada amostrada. Estima-se, que a taxa de sedimentação no Estreito de Bransfield, atinja entre 0,03 e 0,09 g/cm-2/ano (Masqué *et al.*, 2002), ou seja, aproximadamente, entre 0,57 e 1,56 mm/ano. A hipótese de sedimentação, relativamente, lenta é corroborada pelo padrão de distribuição de sedimentos, também relativamente uniforme, com relação ao seu tamanho médio, já observado nas figuras 3 e 4.

A pequena variação do índice de Boström, em 3SisA, indica poucas mudanças nas concentrações de metais nesses sedimentos, relacionada à mistura temporal das camadas de sedimentos. Em 3SisB, a variação desse mesmo índice, ainda que bastante sutil, está correlacionada, negativamente, com o aumento do diâmetro médio dos sedimentos (ver figura 6) e pode ser indicativo de períodos um pouco mais quentes, com maior taxa de sedimentação. Os parâmetros Fe/Ti e BI, que indicam a contribuição, relativa, de componentes hidrotermais e detríticos nos sedimentos (Shili *et al.*, 2017), de um modo geral, apresentam comportamento espelhado nos dois testemunhos. A exceção são algumas camadas de 3SisB, entre as profundidades 26 e 36 cm, nas quais os dois parâmetros seguem as mesmas tendências (tabela 2 e figura 6). A inversão de tendências, desses dois parâmetros indicam diluição dos sedimentos metalíferos nos sedimentos pelágicos (Shili *et al.*, 2017; Dias & Barriga, 2006).

Razões Al/Ti- apresentam pico positivo pronunciado, na camada 22-24 cm em 3SisA e 20-22 cm, em 3SisB, além de um segundo pico positivo em 3SisB 26-28 cm. Esses aumentos podem estar indicando sedimentos relativos a períodos de maior produtividade. O aumento da razão Al/Ti poderia ser atribuído à acumulação biogênica que ocorre a partir da adsorção preferencial e rápida de Al, da água do mar, por componentes biogênicos (Angino, 1966; Murray *et al.*, 1993; Murray & Leinen, 1996). Por outro lado, a queda do índice indicaria períodos de mais alta sedimentação, dado que Al está relacionado a aluminossilicatos, na fração argila e Ti, à fração areia. Esses elementos, em sedimentos marinhos, são principalmente de origem continental e supridos através de ventos e rios (Pattan *et al.*, 2003), mas também podem ser usados para entender variações em paleoprodutividade. Quando comparam-se as razões Al/Ti aos teores de CaCO_3 , em 3SisA, observa-se que as tendências, de variação, são as mesmas nas camadas de 2-4 cm até 8-10 cm, no entanto, quando essas distribuição são comparadas com as densidades de foraminíferos, observamos tendências que não são correlacionadas. Já em 3SisB Al/Ti e CaCO_3 coincidem entre as camadas 2-4 cm e 8-10 cm. Entre 30-32 cm e 34-36 cm coincidem as razões Al/Ti, CaCO_3 e densidade de foraminíferos apresentam tendências semelhantes. Essa semelhança na distribuição, no entanto, é insuficiente, estatisticamente, para afirmarmos essa correlação. O comportamento desses índices indicaria que, em Three Sisters, uma fração de Al e CaCO_3 , contidos nos sedimentos, possam ter origem hidrotermal.

4.3. Elementos traço

Os elementos traço, apresentaram poucas variações ao longo dos dois testemunhos. Esse comportamento poderia ser explicado pela baixa taxa de sedimentação, pois em cada uma das camadas de 2 cm haveria um lapso de tempo, relativamente, grande e o resultado que temos é uma média que envolve vários ciclos deposicionais e, provavelmente, vários eventos distintos. Os dados granulométricos evidenciam o mesmo padrão e corroborariam essa observação (Weaver & Rothwell, 1987). Uma outra possibilidade é que, por efeitos diagenéticos, tenha sido criado um halo desses elementos (Chester, 2000), e relativa homogeneidade ao longo do testemunho. As poucas, mas fortes variações, que ocorrem nos elementos traço, nos mesmos horizontes (3SisA- 2-4 cm; 3SisB 4-6 cm, 20-22 cm, 30-32 cm), ao longo dos dois testemunhos, marcariam fortes mudanças ambientais (Angino, 1966) e requerem cuidado nas observações.

4.4. Análise de Correlação Canônica

Dos 16 elementos traço analisados, os elementos que apresentaram maior variação em sua distribuição foram Mn, P, Pb, Sr, As e Mo. Esses 6 elementos, juntamente com CaCO_3 , estão correlacionados às variações das espécies mais importantes de foraminíferos observados em nossas amostras.

O aumento de Mn, P, Pb e As, correlacionados à parte positiva do eixo 1 da CCA, poderiam indicar aumento da atividade hidrotermal. Os processos que causam o espalhamento do assoalho oceânico, vulcanismo e fluxos quentes são os mesmos que causam o aumento das emanações em Mn e, provavelmente, também em As, Pb (Boström & Peterson, 1969). Mn, em meios aquáticos, é acoplado à variação de O_2 (Colley, 1984; Meinhardt *et al.*, 2014) e tende a formar óxidos, portanto seu enriquecimento estaria ligado a períodos com maiores teores de oxigênio no ambiente. Mn e Pb são empobrecidos nas amostras de 3Sisters, quando comparados aos resultados de Turekian *et al.*, (1961) e Fretzdorff *et al.*, 2002, mas apresentam picos positivos que poderiam estar relacionados a atividade hidrotermal. Arsênio mostra enriquecimento em comparação à Turekian *et al.*, (1961); esse elemento pode ocorrer naturalmente, pela emissão e mobilização, a partir de fenômenos como intemperismo, atividade vulcânica e biológica, além de ter fontes antropogênicas (Yan-Chu, 1994); poderia, portanto, indicar em 3Sisters atividade hidrotermal. Por sua vez, o aumento de P, é relacionado ao aumento de nutrientes (Parker, 1960; Pattan *et al.*, 1995), relaciona-se a partes duras de organismos e pode indicar períodos de maior produtividade e, por conseguinte, mais quentes (Schnetger *et al.*, 1999). Fósforo (P), em nossas amostras apresenta valores semelhantes aos de Turekian *et al.*, (1961) e é enriquecido, quando comparado a Fretzdorff *et al.*, (2002). Em 3SisB a distribuição de P apresenta tendência de variação bastante próxima à de densidade de testas. Estrôncio (Sr), correlacionado com a parte negativa do eixo 2, é indicador de produtividade, também compondo ossos, barita e carapaças carbonáticas (Schnetger *et al.*, 1999). Esse elemento é empobrecido nas amostras de 3Sisters com relação a Turekian *et al.*, (1961) e Fretzdorff *et al.*, (2002).

Mo, relacionado ao segmento negativo do eixo 1, é um elemento sensível às condições de redução de O_2 , apresentaria maior concentração em camadas do perfil, que tenham sido depositadas imediatamente após períodos fortemente empobrecidos em oxigênio (Colley, 1984; Schnetger *et al.*, 1999). Essas camadas enriquecidas em Mo, marcariam períodos de sedimentação mais calma. Mo apresenta valores empobrecidos com relação a Turekian *et al.*, (1961). As variações dos teores de CaCO_3 , mostrariam períodos de maior ou menor

produtividade (Broecker, 1982; Pattan *et al.*, 1995), no entanto, o fato de não estar correlacionado positivamente com Sr, sugere que sua origem esteja relacionada a atividade hidrotermal. Os carbonatos são principalmente acumulados, nos fundos marinhos, por processos biogênicos, no entanto, podem ser acumulados, também, por efeito de trocas químicas entre rocha e fluidos, durante a circulação hidrotermal (Coggon *et al.*, 2011). Esses depósitos tendem a ser precipitados a temperaturas menores que 100°C, e já no final das sequências de precipitação (Alt, 1995; Pichler & Veizerb, 2004).

Nos dois testemunhos, o comportamento dos elementos traço seguiram as mesmas tendência. Arsênio e Molibdênio, no entanto, em 3SisA, apresentaram dois picos negativos de concentrações, o primeiro na camada 3SisA 8-10 cm e o segundo na camada do topo dos testemunhos. Os menores teores de As poderia indicar decréscimo na atividade hidrotermal, já que o elemento As covaria com essas emanções (Boström & Peterson, 1969). No testemunho 3SisB o pico negativo ocorre à profundidade 8-10 cm, e, há enriquecimento nesse elemento nas camadas Rec, 20-22 cm e 30-32 cm.

Para a interpretação desses elementos é necessário cuidado pois, a mobilidade pós-deposicional de alguns elementos sensíveis à condições de anoxia, principalmemente Mn, mas também Mo tendem a formar óxidos e, portanto, podem ser mobilizados para a zona de mais alta concentração de O₂, (Colley, 1984).

4.5. Influência do aporte de lementos metálicos nas espécies e distribuição dos foraminíferos bentônicos.

O que foi discutido, nos itens acima, mostra que, apesar da fonte potencial de elementos metálicos, provenientes de atividade hidrotermal, alguns desses elementos, apresentam-se com forte empobrecimento e outros, com distribuição bastante regular ao longo dos testemunhos. Esses elementos, em pouca quantidade ou em excesso, podem afetar a comunidade de foraminíferos, quer sejam utilizados como nutrientes ou sejam elementos tóxicos para esses organismos.

3SisA –ao longo desse testemunho observam-se que, os picos positivos, de densidade de testas, coincidem com o maior aporte de elementos traço e sedimentos na fração granulométrica mais fina. As densidades aumentam, principalmente, com Mo e Mn no horizonte 6-8 cm e com Mo em 12-14 cm, elementos com tendência a formar óxidos e que, portanto, tendem a migrar para ambientes mais oxigenados. O aumento de O₂ é corroborado pelo aumento de espécies sub-

óxicas, em detrimento às espécies disóxicas, nessas camadas. Os dois picos positivos de densidades coincidem também com os picos de As. As baixas densidades (máxima de 66 indivíduos/10 cc) observadas em 3SisA, retratam o ambiente local, com pouco aporte de matéria orgânica e nutrientes e sedimentação lenta. A riqueza relativamente alta (até 40 espécies) poderia indicar estabilidade ambiental. A alta abundância relativa de espécies aglutinantes e a ausência de espécies calcárias, indicadoras de ambientes óxicos apontaria, também, para um ambiente, progressivamente oligotrófico (Gooday, 2002; Koho *et al.*, 2008) com condições ambientais relativamente críticas para algumas espécies. Ademais, a dominância de espécies aglutinantes poderia indicar que a profundidade de compensação de carbonato seja rasa, como já observado em outras áreas na Antártida (ex. Ward *et al.*, 1987). O índice de Shannon máximo observado (2,775) aponta para uma diversidade relativamente elevada. O índice de Simpson máximo de 0,361 indica dominância baixa e o índice de Equabilidade de Pielou, acima de 0,6, mostra uniformidade média.

No testemunho 3SisB, observaram-se densidades bastante mais altas, chegando a 203 indivíduos por 10cc, até 51 espécies diferentes em uma camada, índice de diversidade Shannon de até 3,376, diversidade de Simpson de até 0,743 e equitabilidade de Pielou de até 0,942. Esses números, atrelados aos dados granulométricos e de teores de CaCO_3 , retratam um panorama de sedimentação extremamente lenta e contínua. Além disso, os sedimentos litoclásticos, indicando baixa produtividade primária, e a localização do ponto amostral, distante de terras emersas, em uma elevação no fundo do oceano, seriam determinantes para a baixa densidade, relativa. Assim como em 3SisA, houve dominância de espécies aglutinantes.

A correlação entre os elementos traço e CaCO_3 e as principais espécies de foraminíferos (Figura 13), ilustrada pelos dois eixos da CCA (figura 12), mostrou o impacto desses elementos nas principais espécies de foraminíferos observados em 3Sisters. Quanto maiores as setas relacionadas aos elementos metálicos e mais próximas ao eixo, maior é o impacto no ambiente.

- *Lagenammina difflugiformis*, *Lagenammina laguncula*, *Labrospira crassimargo*, *Psammosphaera parva*, *Pseudotrochammina echolsi* e *Hormosinella gutifera* (Quadro 1), correlacionadas ao segmento negativo do eixo 1, mostram sua sensibilidade ao aporte de Mn, P, Pb e As e sua preferência por maiores teores em Mo. A preferência, dessas espécies, por sedimentos com maior teor de Mo, indicaria maior afinidade com conteúdo relativamente mais alto de O_2 , visto que Mo é um elemento sensível ao efeito redox e migra para camadas com maior conteúdo de O_2 . A presença do gênero *Lagenammina* indicaria, segundo Durrieu *et al.* (2008), *stress* ambiental. O gênero *Lagenammina* também pode adaptar-se a condições oligotróficas (Murray, 2006; Fontanier *et al.*,

2002), e pode se alimentar de fitodetrítos (Hugues & Gooday, 2004; Gooday, 2002). *Lagenammina difflugiformis*, em 3Sisters, covaria com a riqueza de espécies e com o índice de Shannon. Correlaciona-se, positivamente, com as espécies calcárias o que indicaria, portanto, preferência por ambientes com pH, relativamente, mais elevado. *Labrospira crassimargo*, por sua vez, correlaciona-se negativamente com *Miliammina arenacea*. *Pseudotrochammina echolsi* covaria com os índices de Shannon e Pielou. *Hormosinella gutífera*-correlaciona-se negativamente com *Miliammina arenacea*, *Psammosphaera fusca* e *Pulenia bulloides*.

- *Deuterammina grisea*, *Adercotrymma glomeratum*, *Recurvoidella bradyi*, *Recurvoides contortus* e *Reophax pilulifer* (Quadro 1), espécies correlacionadas ao segmento positivo do eixo 1 e sensíveis ao aumento dos teores de Mo, mostram a preferência por sedimentos ricos em Mn, P, Pb e As. Essas espécies são, principalmente, epifaunais, mas também infaunais, ou ambos, livres, habitam substratos de areia-argila, são detritívoras, de clima frio, ambientes marinhos de plataforma, batial e abissal (Murray, 1991). *Adercotrymma glomeratum* é adaptada a condições de anoxia e disoxia (Gooday, 2002, Alve, 2000) e pode sobreviver por até mais de três semanas (Bernhard & Alve, 1996) com escassez de O₂. Essas espécies estão, principalmente, correlacionadas com as amostras da parte inferior do testemunho 3 SisB, entre 20 e 36 cm de profundidade, e à camada 3SisA 32-33 cm.
- *Trochammina squamata* (Quadro 1), correlaciona-se com o segmento negativo do segundo eixo de ordenação, que indica a transição entre camadas com maior teor de Sr, para camadas empobrecidas nesse metal, que apresenta correlação positiva com a espécie. Essa espécie é epifaunal ou infaunal, livre, herbívora ou detritívora; pode ser encontrada em temperaturas entre 0 e 30°C e em profundidades que vão de 0 a 6000 m, ou seja, zonas entre-marés até abissais (Murray, 2006). *Trochammina squamata* ocorre em maiores quantidades em 3 SisA 8-10cm e 22-24 cm e 3SisB 2-4 cm. Em 3Sisters, essa espécie parece ter hábito detritívoros, dado sua correlação com Sr, que é proveniente, principalmente, de restos de organismos; correlaciona-se positivamente com *Portatrochammina echolsi*, *Recurvoides contortus* *Reophax pilulifer*. Ademais covaria com os índices de riqueza, Shannon e Pielou.

5. Conclusões

- A sedimentação, em 3SisA e 3SisB, ocorre lentamente em ambiente calmo e com relativa estabilidade. A granulometria situada preferencialmente na fração silte corrobora essa constatação;
- A variação dos elementos maiores Ca, Fe, K e Mg, com distribuição “espelhada” à distribuição de Al, indicaria aporte desses elementos a partir de soluções hidrotermais;
- Em algumas das amostras, Al poderia ser de origem hidrotermal;
- As variações de Al/Ti não apresentaram correlação com as densidades de testas de foraminíferos. Não foi possível utilizá-lo com índice de produtividade, nessa área;
- Os elementos traço apresentaram poucas variações, provavelmente relacionados às baixas taxas de sedimentação e, consequente, acúmulo de vários ciclos deposicionais em uma única camada. Essa homogeneidade poderia estar relacionada, também, à formação de halos, relacionados a processos diagenéticos;
- A região de 3Sisters, apresenta indícios de atividade hidrotermal, principalmente, variações dos teores de Mn, P, Pb, As, Mo e CaCO₃;
- As densidades de testas aumentam com o maior aporte de elementos metálicos e granulometria mais fina, indicando camadas relativas a períodos de sedimentação mais lenta;
- As baixas densidades de testas e riqueza, de espécies, relativamente alta evidencia pouco aporte de matéria orgânica e mudanças ambientais, respectivamente;
- A predominância de espécies aglutinantes evidenciaria presença de águas ácidas e ambiente oligotrófico;
- As espécies *Lagenammina difflugiformis*, *Lagenammina laguncola*, *Labrospira crassimargo*, *Psamosphaera parva*, *Pseudotrochammina echolsi* e *Hormosinella gutífera* mostraram sensibilidade ao aporte de Mn, P, Pb e As, provavelmente de origem hidrotermal. Essas mesmas espécies apresentaram preferência pelos ambientes mais ricos em Mo;
- *Deuterammina grisea*, *Adercotryma glomeratum*, *Recurvoidella bradyi*, *Recurvoides contortus* e *Reophax pilulifer*, mostraram-se sensíveis a Mo e preferência por maiores teores de Mn, P, Pb e As;
- *Trochammina squamata* insere-se, preferencialmente, em ambientes ricos em Sr;

- A atividade hidrotermal na área parece ser episódica e não dá suporte a espécies distintas de foraminíferos.

Referências Bibliográficas

- ANGINO, E., 1966. Geochemistry of antarctic pelagic sediments. *Geochemica and Cosmochemica*. 30 939-961.
- ALT, J.C., 1995. Seafloor Hydrothermal Systems: Physical, Chemical, Biological and Geological Interactions within Hydrothermal Systems. In: S.E. Humphris, R. Zierenberg, L. MULLINEAUX, R. THOMSON (Editors), *Geophysical Monograph 91*, American Geophysical Union, Washington, DC, USA, pp. 85–114.
- ALVE, E. 2000. A Case Study Reconstructing Bottom Water Oxygen Conditions in Frierfjord, Norway, over the Past Five Centuries. In: *Environmental Stratigraphy*. Chapter 14. Publisher: Springer-US.
- AQUILINA, A.; CONNELLY, D. P.; COPLEY, J.T.; GREEN, DARRYL R.H.; HAWKES, J. A.; HEPBURN, L. E.; HUVENNE, V.A.I.; MARSH, L.M.; RACHEL A.; TYLER, P. A. 2013. Geochemical and Visual Indicators of Hydrothermal Fluid Flow through a Sediment-Hosted Volcanic Ridge in the Central Bransfield Basin (Antarctica). *PLoS ONE*, 8 (1):1-12.
- ARZ, H.W., PÄTZOLD, J.; WEFER, G., 1997. Correlated Millennial-Scale Changes in Surface Hydrography and Terrigenous Sediment Yield Inferred from Last-Glacial Marine Deposits off Northeastern Brazil Quaternary Research; 50: 157–166.
- ARRHENIUS, G., BONATTI, E. (1963). Neptunism and vulcanism in the ocean. *Progress in Oceanography*, 3:7-22.
- BERNHARD, J. M., ALVE, E., 1996, Survival, ATP pool, and ultrastructural characterization of benthic foraminifera from Drammensfjord (Norway): Response to anoxia, *Mar. Micropaleontol*; 28:5-17.
- BIRKENMAJER, K., 1992 (a). Evolution of the Bransfield Basin and Rift, West Antarctica. In: Yoshida, Y., Kamimura, K., Shiraishi, K. (Eds.), *Recent Progress in Antarctica*, Earth Science. Terra, Tokyo, pp. 405–410.

- BONATTI, E., NAYUDU, Y. R., 1965. Origin of manganese nodules on the ocean floor. *Am. J. Sci.*, 263: 17-39.
- BOSTRÖM, K., PETERSON, M. N. A. 1966. Precipitates from hydrothermal exhalations on east pacific rise. *Economy Geology*; 61:1258-1265.
- BOSTRÖM, K., 1967. The problem of excess manganese in pelagic sediments. In: P. H. Abelson (Editor), *Researches in Geochemistry*. Wiley, New York, N.Y., 2: 421-452.
- BOSTRÖM, K., PETERSON, M.N.A., JOENSUU, O., FISHER, D.E., 1969. Aluminum-poor ferromanganoan sediments on active oceanic ridges. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*; 74(12): 3261-3270.
- BOSTRÖM, K., FISHER, D.E. 1969. *Geochimica et Cosmochimica Acta*; 33(6): 743-745.
- BOSS, C.B., Fredeen, K.J. 1997. *Concepts, Instrumentation and Techniques in Inductively Coupled Plasma*. 2nd edition, Perkin Elmer Corporation, 154pp.
- BRECKER, W. 1982. Glacial to interglacial changes in Ocean Chemistry. *Prog. Oceanog.* 11:151-197.
- CHESTER, R., ASTON, S.R., 1976. The geochemistry of deepsea sediments. In *Chemical Oceanography*, J.P. Riley & R. Chester (eds), Vol. 6, 281–390. London: Academic Press.
- COGGON, R. M., TEAGLE, D. A. H., 2011. Hydrothermal calcium-carbonate veins reveal past ocean chemistry. *Trends in Analytical Chemistry*, Vol. 30, No. 8,
- COLLEY, S., THOMSON, J., WILLS, T.R.S., HIGGS, N.C. 1984. Post-depositional migration of elements-during diagenesis in brown clay and turbidite sequences in the North East Atlantic. *Geochimica and Cosmochimica Acta*; 48:1223-1235.
- CORLISS, J., DYMOND, J., GORDON, L., EDMOND, J., VON HERZEN R., BALLARD, R., GREEN, K., WILLIAMS, D., BAINBRIDGE, A., CRANE, K., VAN ANDEL, T. 1979. Submarine thermal springs on the Galapagos Rift. *Science*; 203:107:1083.
- CRONAN, D. S., TOOMS, J. S., 1969. The geochemistry of manganese nodules and associated pelagic deposits from the Pacific and Indian Ocean. *Deep-Sea Res.*, 16: 335-359.

- DIAS, A.S., BARRIGA, F.J., 2006. Mineralogy and geochemistry of hydrothermal sediments from the serpentinite-hosted Saldanha hydrothermal field (36°34' N; 33° 26' W) at MAR. *Marine Geology*; 225(1): 157-175.
- DOMACK, E.W., ISHMAN, S. 1993: Oceanographic and physiographic controls on modern sedimentation within Antarctic fjords. *Geological Society of America Bulletin* 105, 1175–89.
- DULEBA W, TEODORO AC, DEBENAY J-P, ALVES MARTINS MV, GUBITOSO S, PREGNOLATO LA, *et al.* 2018. Environmental impact of the largest petroleum terminal in SE Brazil: A multiproxy analysis based on sediment geochemistry and living benthic foraminifera. *PLoS ONE* 13(2): e0191446.
- DYMOND, J., COLLIER, R., HONJO, S., MANGANINI, S. 1997. Can the aluminium and titanium contents of the ocean sediments be used to determine the paleoproductivity of the oceans? *Paleoceanography* 12: 586-593.
- DURRIEU, J., GALGANI, F., JORISSEN, F., CAZES, L., CAMPS, R. 2008. A New Monitoring Tool For Assessing Environmental Impact Of Offshore Drilling Activities: Benthic Foraminifera. *SPE International Conference on Health, Safety, and Environment in Oil and Gas Exploration and Production*.
- FABRÈS, J., CALAFAT, A., CANALS, M., BÁRCENA, M.A., FLORES, J.A., 2000. Bransfield Basin fine grained sediments: Late Holocene sedimentary processes and oceanographic conditions. *The Holocene*, (10): 153–182.
- FEELY, R.A., LEWISON, M., MASSOTH, G.J., ROBERTS, G., Lavelle, J.W., BYRNE, R.H., VON DAMM, K.L., CURTIS, H.C., 1987. Composition and Dissolution of Black Smoker Particulates From Active Vents on the Juan de Fuca Ridge. *Journal of Geophysical Research*; 92 (B11):11,347-11,363.
- FOLK R.L., WARD, W.C. 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*; 27: 3-26.
- FOLK, R. L., 1968. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Austin (Hemphill's), p. 180.

- FONTANIER, C., JORISSEN, F.J., LICARI, L., ALEXANDRE, A., ANSCHUTZ, P., CARBONEL, P. 2002. Live benthic foraminiferal faunas from the Bay of Biscay: faunal density, composition and microhabitats.
- FRETZDORFF, S., LIVERMORE, R., DEVEY, C., LEAT, P., STFFERS, P. 2002. Petrogenesis of the back-arc East Scotia Ridge, South Atlantic Ocean. *Journal of Petrology*; 43:1435-1467.
- FRETZDORFF, S., WORTHINGTON, T.J., HAASE, K.M., HÉKINIAN, R., FRANZ, L., KELLER, R.A., STOFFERS, P., 2004. Magmatism in the Bransfield Basin: Rifting of the South Shetland arc? *Journal of Geophysical Research*, 109, B12208.
- GARCÍA, M., ERCILLA, G., ANDERSON, J., ALONSO, B. 2008. New insights on the post-rift seismic stratigraphic architecture and sedimentary evolution of the Antarctic Peninsula margin (Central Bransfield Basin). *Marine Geology*, v. 251 (3–4) :167–182.
- GERMAN, C.R., 2003. Hydrothermal activity on the eastern SWIR (50°–70°E): Evidence from core-top geochemistry, 1887 and 1998. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 4(7).
- GERMAN, C.R., SPARKS, R.S.J., 1993. Particle recycling in the TAG hydrothermal plume. *Earth and Planetary Science Letters*; 116(1–4): 129-134.
- GOLDBERG, E. D., ARRRHENIUS, G. O.S., 1958. Chemistry of Pacific pelagic sediments. *Geochemica and Cosmochemica*; 13: 153-212.
- GOODAY, A. J. 2002. Biological responses to seasonally varying fluxes of organic matter to the ocean floor: a review. *Journal of Oceanography*; 58: 305–32.
- GOODAY, A.J. 1994. The biology of deep-sea foraminifera: A review of some advances and their applications in paleoceanography. *Palaaios.*; 9: 14-31.
- GORDON, A. L., MENSCH, M., DONGong, Z., SMETHIEmethie Jr., W. M., BETTENCOURTettencourt, J. 2000. Deep and bottom water of Bransfield Strait. *Journal of Geophysical Research*; 105(5): 11.337-11.346.
- GRÀCIA, E., CANALS, M., FARRAN, M.L., PRIETO, M.J., SORRIBAS, J. & GEBRA Team. 1996. Morphostructure and evolution of the central and Eastern Bransfield Basins (NW Antarctic Peninsula). *Marine Geophysical Researches*, 18: 429–448.

- GRÀCIA, E., CANALS, M., FARRANAZ, M.L., SORRIBAS, JORDI, PALLAS, R., 1997. Central and eastern Bransfield basins (Antarctica) from high-resolution swath-bathymetry data. *Antarctic Science*; 9(2):168–180.
- GRIFFITH, T.W., ANDERSON, J.B. 1989: Climatic control of sedimentation in bays and fjords of the northern Antarctic Peninsula. *Marine Geology* 85, 181–204
- GROSS, M.G. Carbon determination. *In*: Carver R. E. (ed.) *Procedures in sedimentary petrology*. New York, 1971. pp 573-596.
- HERZIG, P.M., HANNINGTON, M.D., 1995. Polymetallic massive sulfides at the modern seafloor: A review. *Ore Geology Reviews* 10(2), 95-115.
- HANNINGTON, M., JAMIESON, J., MONECKE, T., PETERSEN, S., BEAULIEU, S., 2011. The abundance of seafloor massive sulfide deposits. *Geology* 39(12), 1155-1158.
- HEPBURN, L. E. 2015. Hydrothermal sediment geochemistry south of the Antarctic Polar Front. University of Southampton. Faculty of Natural and Environmental Sciences Ocean and Earth Science. PhD Thesis.
- HUGUES, J.A., GOODAY, A.J. 2004. Associations between living benthic foraminifera and dead tests of *Syringammina fragilissima* (Xenophyophorea) in the Darwin Mounds region (NE Atlantic) *Deep-Sea Research I* 51: 1741–1758.
- IBAÑEZ, J.M., MORALES, J., ALGUACIL, G., S., ALMENDROS, J., ORTIZ, R., DEL PEZZO, E., 1997. Intermediate-focus earthquakes under South Shetland Islands. *Geophysical Research Letters*, 24(5): 531-534.
- JANSEN, J. H. F., VAN DER GAST, S. J., KOSTNER, B., VAARS, A., 1992. CORTEX, an XRF-scanner for chemical analyses of sediment cores. *GEOMAR Reports* 15. [Berichte-Reports, Geol. Paläont. Inst. Kiel 57]
- KOHO, K.A., GARCIA, R., DE STIGER, H.C., EPPING, E., KONING, E., KOUWENHOVEN, T.J., VAN DER ZWAAN, G.J. 2008. Sedimentary labile organic carbon and pore water redox control on species. *Prog. Oceanogr.* 79:55-82.

- KRUNBEIN, W.C.; SLOSS, L. L. 1936. *Stratigraphy and Sedimentation*, 2nd edition. Freeman, San Francisco.
- LARSONNEUR, C.; BOUYASSE, P.; AUFRET, J. P. 1982. The superficial sediments of the English Channel and its Western Approaches. *Sedimentology*, 19: 851-864.
- LIAO, S., TAO, C., LI, H., ZHANG, G., LIANG, J., YANG, W., WANG, Y. (2018). Surface sediment geochemistry and hydrothermal activity indicators in the Dragon Horn area on the Southwest Indian Ridge. *Marine Geology*, 398, 22–34.
- LAWVER, L. A. *et al.* Bransfield Strait, Antarctic Peninsula Active Extension behind a dead arc. 1995. In: TAYLOR, B. (Ed.). *Backarc Basins - Tectonics and Magmatism*. 1. ed. New York, EUA: Springer US, p. 315–342.
- MARCHIG, V., GUNDLACH, H., 1982. Iron-rich metalliferous sediments on the East Pacific Rise: Prototype of undifferentiated metalliferous sediments on divergent plate boundaries. *Earth and Planetary Science Letters* 58(3): 361-382.
- MASQUÉ, P., ISLAB, E., SANCHEZ-CABEZA, J.A., PALANQUES, A., BRUACHA, J.M., PUIG, P., GUILLEN, J.. 2002. Sediment accumulation rates and carbon fluxes to bottom sediments at the Western Bransfield Strait (Antarctica). *Deep-Sea Research II*; 49: 921–933.
- MEINHARDT A.-K., MÄRZ, C., STEIN R., BRUMSACK H.-J. 2014. Regional variations in sediment geochemistry on a transect across the Mendeleev Ridge (Arctic Ocean). *Chem. Geol.*; 369: 1-11.
- MILLER, A., DENSMORE, C., DEGENS, E., HATHAWAY, J., MANHEIM, F., MCFARLIN, P., POCKLINGTON, R., JOKELA, A. 1966. Hot brines and recent iron deposits in deeps of the Red Sea. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 30:341-359.
- MURRAY, J. W. 1991. *Ecology and Palaeoecology of Benthic Foraminifera*. Harlow: Longman.
- MURRAY, R.W., LEINEN, M., ISEM, A.R. 1993. Biogenic flux of Al to sediment in the central equatorial Pacific ocean: evidence for increased productivity during glacial periods. *Paleoceanography*, 8 (5):651-670.

- MURRAY, J. W. 2006. Ecology and Applications of Benthic Foraminifera. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 426 p.
- MURRAY, R.W., LEINEN, M., ISERN, A.R., 1993. Biogenic flux of Al to sediment in the central equatorial Pacific ocean: evidence for increased productivity during glacial periods. *Paleoceanography*; 8 (5): 651-670.
- PARKER, F. L., 1960. Living planktonic Foraminifera from the equatorial and south east Pacific: Tohoku Univ., Sci. Rept., Geol., Spec.; 4: 71-82.
- PATTAN, J., N., RAO, C.M, HIGGS, N.C., COLLEY, S., PARTHIBAN, G. 1995. Distribution of major, trace and rare Earth elements in surface sediments of the Wharton basin, Indian Ocean. *Chem. Geol.*; 121:201-216.
- PATTAN, J.N., MASUZAWA, T., DIVAKAR, N.P., PARHIBAN, G., YAMAMOTO, M. 2003. Productivity fluctuations in the southeastern Arabian Sea during the last 140Ka. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 193: 575-590.
- PATTERSON, S. L., SIEVERS, H.A., 1980. The Weddell – Scotia confluence. *Journal of Physical Oceanography*, 10, 1584–1610.
- PELAYO, A. M., WIENS, D. A., 1989. Seismotectonic and relative plate motions in the Scotia Sea region, *J. Geophys. Res.*, 94, 7293 – 7320.
- PICHLER, T., VEIZERB, J. 2004. The precipitation of aragonite from shallow-water hydrothermal fluids in a coral reef, Tutum Bay, Ambitle Island, Papua New Guinea *Chemical Geology* 207: 31– 45.
- RONA, P.A., 1984. Hydrothermal mineralization at seafloor spreading centers. *Earth-Science Reviews* 20(1), 1-104.
- RONA, P., HANNINGTON, M., RAMAN, THOMPSON, G., TIVEY, M., HUMPHRIS, S., LALOU, C., PETERSEN, S. (1993). Active and relict seafloor hydrothermal mineralization at the TAG hydrothermal field, Mid-Atlantic Ridge. *Economic Geology*, 88:1989-2017.
- SALOMON, W., FÖRSTNER, U., 1984. Metals in the hydrocycle. Springer-Verlag, Berlin. 349 pp.

- SCHNETGER, B., BRUMSACK, H.J., SCHALE, H., J. HINRICHS, J. DITTERT, L. 2000. Geochemical characteristics of deep-sea sediments from the Arabian Sea: a high-resolution study. *Deep Sea Research II*; 47: 2735-2768.
- SCHREIDER, A.A., EVSENKO, E.I., 2014. The stage of the development of the basin of the Bransfield Strait. *Oceanol* 54: 365-373.
- SCHRÖDER, C.J.; SCOTT, D.B.; MEDIOLI, F.S., 1987. Can smaller benthic foraminifera be ignored in paleoenvironmental analyses? *Journal of Foraminiferal Research*, 4:101-110.
- SCOTT, G. A., MEDIOLI, F.S., SCHAFER, C.T. 2001. Monitoring in coastal environments using foraminifera and thecamoebian indicators. Cambridge University Press, Cambridge. 177pp.
- SHILI, L.TAO, C., LI, H., ZHANG, G., LIANG, L., YANG, W., WANG, Y., 2017. Surface sediment geochemistry and hydrothermal activity indicators in the Dragon Horn area on the Southwest Indian Ridge. *Marine Geology*. Volume 398, 1, 22-34.
- SHRIVASTAVAS, P., SAXENA, A., SWARUP, A., 2003. Heavy metal pollution in a sewage-fed lake of Bhopal, (M. P.) India. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 8: 1–4.
- SPELLIE, J.L., 1988. Recent observations on the volcanic history of Deception Island, South Shetland Islands. *British Antarctic Surveys Bulletin* 8, 1, 83-85.
- SPIESS, F., MACDONALD, K., ATWATER, T., BAL, R., FRANCHETEAU, J., GUERREO, J., HAWKINS, J., HAYI, R., HESSLER, R., JUTEAU, M., KASTNER, M., LARSON, R., LUYENDYK, B., MAC- DOUGELL, J., MILLER, S., NORMARK, W., ORCUTT, J., RANGIN, C., 1980. East Pacific Rise: hot springs and geophysical experiments. *Science*; 207:1421-1433.
- STUMM, W., MORGAN, J.J., 1981. *Aquatic Chemistry*. Wiley, New York, N.Y., 780 pp.
- SWALLOW, J. C., CREASE, J. 1965. Hot salty water at the bottom of the Red Sea. *Nature*, Lond. 205, 165-166.
- TAYLOR, S.R., McLENNAN, S.C., 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Blackwell, London, 300 pp.

- TRIBOVILLARD, N., ALGEO, T. J., LYONS, T., RIBOULLEAU, A. 2006. Trace metals as paleoredox and paleoproductivity proxies: An update. *Chemical Geology* 232: 12–32.
- TRUJILLO, L., HERRMANN, H.J., 2003. A note on the upward and downward intruder segregation in granular media. *Granular Matter*. Vol 5 Issue 2 85-89.
- TUREKIAN, K.K., WEDEPOHL, K.H., 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geological Society of America Bulletin*; 72(2): 175-192.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency) 2007. Method 610C. Acid Digestion of Sediments, Sludge and soil. Revision 3.
- WALTER, P., STOFFERS, P., 1985. Chemical characteristics of metalliferous sediments from eight areas on the Galapagos Rift and East Pacific Rise between 2°N and 42°S. *Marine Geology* 65(3–4): 271-287.
- WALTON, W.R., 1952. Techniques for recognition of living foraminifera. *Contribution of Cushman Foundation for Foraminifer Research*; 3: 56-60.
- WARD, B.L., BARRET, P.J., VELLA, P., 1987. Distribution and ecology of benthic foraminifera in McMurdo Sound, Antarctica. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 58:139-153.
- WEAVER, P.P.E., ROTHWELL, R.G., 1987. In: WEAVER, P.P. & THOMSON, J. (eds). *Sedimentation on the Madeira Abyssal Plain over the last 300.000 years. Geochemistry of abyssal plains*. Geological Society Special Publication; 31: 71-86.
- WEAVER, P.P.E., SEARLE, R.C., KUIJPERSuijpers, A., 1986. Turbidite deposition and the origin of the Madeira Abyssal Plain. From Summerhayes, C. P. & Shackleton, N. J. (eds), *North Atlantic Palaeoceanography*, Geological Society. Special Publication; 21: 131-143.
- WENTHWORTH, C.K. 1922. A scale of grade and class terms for clastics sediments. *Journal of Geology*: 30: 377-392.
- WHITWORTH, T., NOWLIN, W. D., ORSI, A. H., LOCARNINI, R. A., SMITH, S. G., 1994. Weddell Sea shelf water in the Bransfield Strait and Weddell–Scotia Confluence. *Deep-Sea Res.*; 41, 629–641

YAN-CHU, H., 1994. Arsenic distribution in soils. In: Nriagu, J.O. (Ed.), Arsenic in the Environment. Part I: Cycling and Characterization. John Wiley and Sons, Inc., New York, 17–50.

YOON, H.I., PARK, B.K., DOMACK, E.W., KIM, Y. 1998. Distribution and dispersal pattern of suspended particulate matter in Maxwell Bay and its tributary, Marian Cove, in the South Shetland Islands, West Antarctica. *Marine Geology* 152, 261–75.

Prancha 1: 1-*Miliammina* sp.; 2,3,4-*Miliammina arenacea*; 5,6-*Miliammina* sp.; 7-*Miliammina* sp.; 8-*Ammodiscus incertus*; 9,10: *Pullenia bulloides*; 11,12-*Astrononion echolsi*; 13-*Veloroninoides wiesneri*; 14- *Recurvoides contortus*; 15- *Saccammina* sp.; 16- *Saccammina tabulata*.

Prancha 2: - *Reophax scorpius*; 2- *Lagenammina arenulata*; 3-*Reophax fusiformis*; 4-*Lagenammina lacungula*; 5-*Reophax scorpius*; 6-*Reophax* sp.; 7-*Bolivina pacifica*; 8-*Bolivina* sp.; 9,10, 11- *Parafissurina* sp.; 12- *Oolina* sp.; 13,14-*Adercotryma glomeratum*; 15- *Saccammina* sp.; 16- *Saccammina spherica*.

Prancha 3: 1,2- *Cribrostomoides jeffreysi*; 3,4- *Portatrochammina* sp; 5,6- *Portatrochammina antarctica*; 7- *Portatrochammina eltaninae*; 8- *Lepidoparatrochammina lepida*.

9 CONCLUSÕES

Da obtenção e integração de resultados de parâmetros granulométricos, análises geoquímicas dos sedimentos, características físico-químicas da água, dinâmica de circulação de água, clima e espécies de foraminíferos, nas áreas de Three Sisters, edifício vulcânico com 300 metros de altura, no fundo marinho com pontos amostrais a mais de 1000 metros na coluna d'água e Deception, sistema quase fechado, com profundidade máxima de 150 metros pôde-se chegar às seguintes conclusões:

- Os sedimentos, em Three Sisters, são finos, compostos essencialmente pelas frações silte e argila, situando-se na fração areia apenas em duas camadas de um dos testemunhos. Um dos testemunhos apresentou as camadas de sedimentos intercaladas por camadas compostas por seixos, provavelmente transportados por geleiras e depositados no local. Deception apresentou grandes variações na granulometria dos sedimentos, relacionadas, principalmente à distância da costa e à profundidade do ponto amostral. A deposição de sedimentos mais finos aumenta, quanto maior o afastamento da costa e a maior profundidade;
- A sedimentação em Three Sisters é lenta e típica de ambiente com grande estabilidade. Já em Deception, a sedimentação é cíclica e está relacionada aos períodos de degelo, que ocorrem no verão austral; nesse período, as temperaturas mais altas produzem o derretimento do gelo e da neve que cobrem as partes mais altas da ilha e geram escoamento de água e fluxos de detritos, intensos.
- A dinâmica sedimentar, em Deception, faz variar não só a energia do ambiente, mas também as características físico-químicas da coluna d'água; no inverno uma fina camada de gelo forma-se no interior da caldeira, que fica isolada de trocas de temperatura com a atmosfera, no entanto; no verão, o degelo gera estratificação da água em duas camadas, a superior mais rica em O₂ e a inferior mais salina. O pH torna-se mais ácido devido à degradação da matéria orgânica, carregada pela água de degelo no verão;
- O aporte de nutrientes, em Three Sisters é escasso, dada sua localização, principalmente. Em Deception o aporte de nutrientes de origem orgânica é maior no verão austral e cíclico, condicionado pelos períodos de degelo; os nutrientes provenientes dos

sedimentos são disponibilizados, de acordo com a sazonalidade, que condiciona a dinâmica sedimentar na área, mas também por meio das emissões hidrotermais;

- As análises geoquímicas, em Three Sisters, mostraram que há pouca variação na composição sedimentar entre as amostras. Apenas alguns elementos traço Mn, P, Pb, Sr, As e Mo, além de CaCO_3 , mostraram variações e leve enriquecimento, em algumas amostras; essas variações sugerem aporte por atividade hidrotermal, nessa área. Em Deception os elementos traços mostraram maior variação, quando comparados a Three Sisters, tanto entre as camadas dos testemunhos, como entre os testemunhos. Em Deception observaram-se altas concentrações, principalmente de Au, Hg, Zn, Fe, Cu, Sn, Pb, Co, Ni e Mg além de Mn, Mo, As e Ba, que apresentaram altas concentrações em algumas áreas e que indicam atividade hidrotermal; em WB05 foram observadas as maiores anomalias positivas dos elementos As, Ba, Mn e Mo, de origem hidrotermal;
- As emissões hidrotermais, em Deception apresentam composição e, provavelmente temperaturas distintas. Em Whalers Bay, com exceção de WB05, as temperaturas seriam mais baixas que em Fumarole Bay;
- As densidades de testas de foraminíferos são baixas em Three Sisters, com riqueza relativamente alta, o que sugere pouco aporte de nutrientes e variação de condições ambientais, provavelmente de caráter não sazonal. Por outro lado, Deception apresentou altas densidades com riquezas baixas, ligadas ao alto aporte de nutrientes e mudanças ambientais cíclicas anuais;
- As espécies aglutinantes são altamente dominantes em Three Sisters, indicando ambiente oligotrófico; a riqueza nesse tipo de espécies indica, também que a profundidade de compensação de carbonatos é rasa, na região. Em Deception, as espécies aglutinantes predominam em Fumarole Bay e em Whalers Bay, no testemunho WB02 e em WB05; em WB01 predominam as espécies calcárias; a predominância de espécies aglutinantes em Deception poderia estar ligada tanto ao decréscimo de pH, devido o aporte de matéria orgânica ou ao processo de dissolução seletiva relacionado à maior acidez gerada por emissões hidrotermais, de temperaturas mais altas;
- As espécies, mais abundantes, observadas em Three Sisters foram: *Adercotryma glomeratum*, *Ammoglobigerina pygmaea*, *Deuterammina grisea*, *Hormosinella gutifera*, *Labrospira crassimargo*, *Lagenammina difflugiformis*, *Lagenammina laguncola*, *Lepidoparatrochammina lepida*, *Melonis* sp., *Miliammina arenacea*, *Miliammina lata*, *Psammosphaera fusca*, *Pseudotrochammina echolsi*, *Pullenia*

bulloides, *Recurvoidella bradyi*, *Recurvoides contortus*, *Reophax pillulifer* e *Trochammina squamata*; Em Deception, as espécies mais abundantes foram: *Adercotryma glomeratum*, *Cassidulinoides parkeriana*, *Cassidulinoides porrecta*, *Eggerella minuta*, *Fursenkoina earlandi*, *Globocassidulina bora*, *Globocassidulina crassa*, *Hipocrepinella hirudínea*, *Lepidoparatrochammina lepida*, *Lepidodeuterammina ochracea*, *Miliammina arenacea*, *Miliammina sp.*, *Nodulina dentaliniformis*, *Pseudobolivina antarctica*, *Saccammina sphaerica*, *Spiroplectammina biformis*, *Spiroplectammina filiformis*, *Stainforthia fusiformis*, *Textularia antarctica*, *Textularia earlandi* e *Trochammina malovenssis*.

- Algumas dessas espécies correlacionam-se positivamente com um ou mais elementos traço relacionados a atividade hidrotermal; em Three Sisters, *Deuterammina grisea*, *Adercotryma glomeratum*, *Recurvoidella bradyi*, *Recurvoides contortus* e *Reophax pilulifer* mostram preferência por sedimentos ricos em Mn, P, Pb e As; *Trochammina squamata* aumenta com o maior aporte de Sr. Em Deception *Cassidulinoides parkeriana*, *Globocassidulina crassa*, *Lepidoparatrochammina lepida*, *Miliammina arenacea* e *Stainforthia fusiformis* correlacionam-se positivamente com Al; *Miliammina sp.*, *Nodulina dentaliniformis* e *Trochammina malovenssis* aumentam com maiores teores de As; *Adercotryma glomeratum*, *Miliammina sp.* e *Nodulina dentaliniformis* com Ba; *Miliammina sp.*, *Pseudobolivina antarctica* e *Trochammina malovenssis* com Hg; *Adercotryma glomeratum*, *Cassidulinoides parkeriana*, *Miliammina arenacea*, *Miliammina sp.*, *Nodulina dentaliniformis* e *Textularia antarctica* com Pb. *Adercotryma glomeratum*, *Miliammina sp.*, *Pseudobolivina antarctica* e *Trochammina malovenssis* com Sb;
- As espécies de foraminíferos, observadas em Three Sisters apresentam os os mais variados hábitos de vida; são epifaunais, infaunais, detritívoras típicas de ambientes de laguna, ou marinhos de plataforma, batial ou abissal. As espécies de foraminíferos de Deception, embora sejam características de águas salinas, ocorreram em ambientes com salinidade bastante baixas (<2,85), em sua grande maioria;
- A geoquímica dos sedimentos, em Three Sisters, sugere haver atividade hidrotermal na área, como já aventado por outros autores. Em Deception, as observações de campo e os dados analisados confirmaram a existência de atividade hidrotermal na área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADL, S.M., SIMPSON, A.G., LANE, C.E., LUKES, J., BASS, D., BOWSER, S.S., BROWN, M.W., BURKI, F., DUNTHORN, M., HAMPL, V., HEISS, A., HOPPENRATH, M., LARA, E., LE GALL, L., LYNN, D.H., McMANUS, H., MITCHELL, E.A., MOZLEY-STANRIDGE, S.E., PARFREY, L.W., PAWLOWSKI, J., RUECKERT, S., SHADWICK, L., SCHOCH, C.L., SMIRNOV, A., SPIEGEL, F.W. 2012. The Revised Classification of Eukaryotes. *Eukaryote. Microbial.* 59(5), 429–493.
- ADL, S.M., SIMPSON, A.G., FARMER, M.A., ANDERSEN, R.A., ANDERSON, O.R., BARTA, J.R., BOWSER, S.S., BRUGEROLLE, G., FENSOME, R.A., FREDERICQ, S., JAMES, T.Y., KARPOV, S., KUGRENS, P., KRUG, J., LANE, C.E., LEWIS, L.A., LODGE, J., LYNN, D.H., MANN, D.G., McCOURT, R.M., MENDOZA, L., MOESTRUP, O., MOZLEY-STANDRIDGE, S.E., NERAD, T.A., SHEARER, C.A., SMIRNOV, A.V., SPIEGEL, F.W., TAYLOR, M.F. 2005. The new higher level classification of eukaryotes with emphasis on the taxonomy of protists. *Eukaryote. Microbial.* 52: 399–451.
- ALGUACIL, G., ALMENDROS, J.C., DELL PEZZO, E., GARCIA, A., IBÁÑEZ, J.M., LA ROCCA, M., MORALES, J., ORTIZ, R. 1999. Observations of volcanic earthquakes and tremor at Deception Island-Antarctica. *Annali di Geofisica*, 42(3): 417-436.
- ALVE, E. 1995. Benthic foraminiferal distribution and recolonization of formerly anoxic environments in Drammensfjord southern Norway. *Marine Micropaleontology* 25: 169-186.
- ALVE, E. 2003. A common opportunistic foraminiferal species as an indicator of rapidly changing conditions in a range of environments. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 57: 501-514.
- AMENÁBAR, M.J., FLORES, P. A., PUDGIN, B., BOEHMWALD, F.A., BLAMY, J.M. 2013. Archaeal diversity from hydrothermal systems of Deception Island, Antarctica. *Polar Biology*, 36 (3): 373-380.
- ANGINO, E., 1966. Geochemistry of antarctic pelagic sediments. *Geochemica and Cosmochemica*. 30 939-961.

- AQUILINA, A., CONNELLY, D. P., COPLEY, J.T., GREEN, D.R.H., HAWKES, J. A., HEPBUR, L.E., HUVENNE, V.A.I., MARSH, L., RACHEL A., TYLER, P. A. 2013. Geochemical and Visual Indicators of Hydrothermal Fluid Flow through a Sediment-Hosted Volcanic Ridge in the Central Bransfield Basin (Antarctica). *PLoS ONE*, 8 (1):1-12.
- ARMSTRONG, A. H., BRASIER, D. M. 2005. Microfossils. Blackwell Publishing, Incorporated. 2nd edition, 304 p.
- ARENIUS, G. O. S., Bonatti, E., 1965. Neptunism and volcanism in the ocean, *Prog. Oceano.*, 3, 7-22.
- ASHCROFT, W.A., 1972. Crustal structure of the South Shetland Islands and Bransfield Strait. BAS Sci. Rep. 66, 43 pp.
- BACKER, P.E., MCREATH, I., 1971. 1970 volcanic eruption of Deception Iland: Nature, 231(18):5-9. August 1970. Geological Society of America Bulletin 83.
- BANDY, O. L., CHIERICI, M.A. 1966. Depth-temperature evaluation of selected California and mediterranean bathyal foraminifera. *Marine Geology*.4: 259-271.
- BARKER, D. H. N., AUSTIN, J.A. 1998. Rift propagation, detachment faulting, and associated magmatism in Bransfield Strait, Antarctic Peninsula, *J. Geophys. Res.*, 103: 24.017 – 24.043.
- BARKER, D. H. N., Christenson, G.L., AUSTIN, J. A., 2003. Backarc basin evolution and cordilleran orogenesis: Insights from new ocean-bottom seismograph refraction profiling in Bransfield Strait, Antarctica, *Geology*, 31, 107 – 110.
- BARKER, P. F. 1982. The Cenozoic subduction history of the Pacific margin of the Antarctic Peninsula: ridge crest-trench interactions. *Journal Geol. Soc. London*, 139, 787-801.
- BARKER, P. F., BURREL, J., 1977. The opening of Drake Passage. *Marine Geology*, 25 15-34.
- BARKER, P. F., DALZIEL, I.W.D., 1983. Progress in geodynamics in the Scotia Arc region, in *Geodynamics of the Eastern Pacific Region, Caribbean and Scotia Arcs*, *Geodyn. Ser.*, vol. 9, edited by R. Cabre, pp. 137 – 170, AGU, Washington, DC.
- BATTARBEE, R.W. 1986. Diatoms analysis. *In*: Berglund, B.E. (ed.) *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. New York: John Wiley & Sons, p.527-570.

- BEAULIEU, S.E., BAKER, E.T., GERMAN, C.R., MAFFEI, A., 2013. An authoritative global database for active submarine hydrothermal vent fields. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 14(11): 4892-4905.
- BELL, J. B., WOULDSE, C., BROWN, L.E., SWEETING, C.J., REID, W, D. K., LITTLE, C.T.S., GLOVER, A.G., 2016. Macrofaunal Ecology of Sedimented Hydrothermal Vents in Bransfield Strait, Antarctica. *Frontiers in Marine Science*. 3: 1-15.
- BIRD, P. 2003. An updated digital model of plate boundaries, *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 4(3), 1027.
- BIRKENMAJER, K., 1992 (a). Evolution of the Bransfield Basin and Rift, West Antarctica. In: Yoshida, Y., Kamimura, K., Shiraishi, K. (Eds.), *Recent Progress in Antarctica, Earth Science*. Terra, Tokyo, pp. 405–410.
- BIRKENMAJER, K., 1992 (b). Volcanic succession at Deception Island, West Antarctica: A revised lithostratigraphic standardon. *Studia Geologica Polonica* 101, 27–82.
- BLOCH, S., 1980. Some factors controlling the concentration of uranium in the World Ocean. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 44, 373–7.
- BOHRMANN, G., CHIN, S. PETERSEN, H. SAHLING, U. SCHWARZ-SCHAMPERA, J. GREINERT, S. LAMMERS, G. REHDER, A. DAHLMANN, K. WALLMANN, S. DIJKSTRA, H-W. SCHENKE, 1999. Hydrothermal activity at Hook Ridge in the Central Bransfeld Basin, Antarctica, *Geo-Mar. Lett.* 18: 277-284.
- BOLTOVSKOY, E., WRIGHT, R., 1976. *Recent Foraminifera*. Springer Scienceoriginally. Dr. W. Junk b.v.- Publishers 515 pp.
- BOLTOVSKOY, E. 1962. Planktonic foraminifera as indicators of different water masses in the South Atlantic. *Micropaleontology*, 8:403-408.
- BÖRMANN, G., CHIN, C., PETERSEN, S., SAHLING, H., SCHWARZ-SCHAMPERA, U. GREINERT, J., LAMMERS, S., REHDER, G., DAEHLMAN, A., WALLMANN, K., DIJKSTRA, S., SCHENKE, H.W. 1988. Hydrothermal activity at Hook Ridge in the Central Bransfield Basin, Antarctica. *Geo-Marine Letters*, 18(4): 277–284.

- BOSTRÖM, K., PETERSON, M.N.A., 1966. Precipitates from hydrothermal exhalations on the East Pacific Rise, *Econ. Geol.*, 61, 1258-1265.
- BOSTRÖM, K., PETERSON, M.N.A., JOENSUU, O., EYL, 1967. Origin of anomalous sediments in áreas of high-heat flow in the east Pacific and Indian Ocean (abstract), *Geol. Soc. Am. Meeting*, 19.
- BOSS, C.B., FREDEEN, K.J. 1997. Concepts, Instrumentation and Techniques in Inductively Coupled Plasma. 2nd edition, Perkin Elmer Corporation, 154p.
- BROWER, J. E., ZAR, J. H. 1984. Field & Laboratory methods for general ecology. W.C. Brown Publishers, Science-226 pp.
- CAMPBELL, N.A., ATCHLEY, W.R., 1981. The Geometry of Canonical Variate Analysis. *Systematic Zoology* Vol. 30, No. 3, pp. 268-280.
- CHAPMAN, P. M., WANG F., JANSSEN, C., PERSOONE, G., ALLEN, H.E. 1998. Ecotoxicology of metals in aquatic sediments: binding and release, bioavailability, risk assessment, and remediation. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 55(10): 2221-2243.
- CHARNOCK, H., 1964. Anomalous bottom water in the Red Sea. *Nature*, 203, 590-591.
- CHESTER, R., ASTON, 2000. *Marine Geochemistry*. Springer, Dordrecht.
- CHIN, C.S., G.P. KLINKHAMMER, C. WILSON, L.A. LAWVNER, L.E. LUPTON, 1996. Hydrothermal activity in a nascent backarc basin: The Bransfield Strait, Antarctica, *Eos Trans. AGU Fall Meet. Suppl.* 77 (46):F413.
- CLARK, F. G. DAVIES-MC-CONCHIE, D. MCCONCHIE, G. BIRCH. 2000. Integrated selective extraction and grainsize normalisation method for environmental analysis and assessment of diagenetic partitioning in modern anoxic sediments. *Sci. Total Environ.* 258(3):149-170.
- COOPER, A.P.R., SMELLIE, J., MAYLIN, J. 1998. Evidence for shallowing and uplift from bathymetric records of Deception Island, *Antarctic Science* 10(4):455 – 461.
- CORLLIS, B. H. 1991. Morphology and microhabitat preferences of benthic foraminifera from the northwest Atlantic Ocean. *Marine Micropaleontology*, 17: 195-236.

- CORLISS, B.H. 1985. Microhabitats of benthic foraminifera within deep-sea sediments. *Nature*, v.314, p.435-438.
- CORLISS, J.B., DYMOND, J., GORDON, L.I., EDMOND, J.M., von HERZEN, R.P., BALLARD, R.D., GREEN, K., WILLIAMS, D., BAINBRIDGE, A., CRANE, K., van ANDEL, T.H., 1979. Submarine Thermal Springs on the Galápagos Rift. *Science* 203 (4398):1073-1083.
- CORREIG, A.M., URQUIZU, M., VILA, J., MARTI, J. 1997. Analysis of the Temporal Occurrence of Seismicity at Deception Island (Antarctica). A Nonlinear Approach. Volume 149, Issue 3, pp 553–574.
- COTTEY, T. L., HALLOCK, P. 1988. Test surface degradation in *Archaias angulatus*. *Journal of Foraminiferal Research*. 18(3):187-202.
- CULVER, S.J. 1988. New foraminiferal depth zonation of the northwestern Gulf of Mexico. *Palaios*, (3): 69-85.
- DÄLMANN A, WALLMANN, K, SAHLING H, SARTHOU G, BORHMANN G, PETERSEN, S. CHIN, C.S., KLINKHAMMER, G.P., 2001. Hot vents in an ice-cold ocean: Indications for phase separation at the southernmost area of hydrothermal activity, Bransfield Strait, Antarctica. *Earth Planet. Sci. Lett.* 193: 381–394.
- DEBENAY, J.-P., PAWLOWSKI, J., DECROUEZ, D. 1996. *Les Foraminifères Actuels*. Masson, Paris
- DEBENAY, J.P.; GULLOU, J.J., GESLIN, E., 2000. Distribution trends of foraminiferal assemblages in paralic environments: a base for using foraminifera as bioindicators. In: Martin, R.E. (Ed.), *Environmental Micropaleontology, Topics in Geobiology 15*, New York: Kluwer Acad. & Plenum Publ., p. 39-67.
- DOMACK, E.W., ISHMAN, S. 1993: Oceanographic and physiographic controls on modern sedimentation within Antarctic fjords. *Geological Society of America Bulletin* 105, 1175–89.
- DYKES, K., STURZ, A., GRAY, S. 1994. Investigation of hydrothermal activity at Deception Island, Antarctica. Resumo: GSA Annual Meeting. Acesso em 05/06/2016.

- DYMOND, J., COLLIER, R., HONJO, S., MANGANINI, S. 1997. Can the aluminium and titanium contents of the ocean sediments be used to determine the paleoproductivity of the oceans? *Paleoceanography* 12: 586-593.
- EDMOND, J.M., MEASURES, C.I., MCDUFF, R.E., *et al.* 1979. Crest hydrothermal activity and the balance of the major and minor elements in the ocean; the Galapagos data. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 46: 1–18.
- ELDER, J.W., 1965. Physical processes in geothermal areas. In *Terrestrial Heat Flow*, W.H.K. Lee (ed.), 211–39. Washington, DC: American Geophysical Union Monograph no. 8.
- ELDERFIELD, H., 1976. Hydrogenous material in marine sediments: excluding manganese nodules. In *Chemical Oceanography*, J.P. Riley & R. Chester (eds), Vol. 5, 137–215. London: Academic Press.
- FABRÈS, J., CALAFAT, A., CANALS, M., BÁRCENA, M.A., FLORES, J.A., 2000. Bransfield Basin fine grained sediments: Late Holocene sedimentary processes and oceanographic conditions. *The Holocene*, (10): 153–182.
- FERNANDEZ-IBÁÑEZ, PEREZ-LOPEZ, F.R., MARTINEZ-DIAZ, J.J., PAREDES, C., GINER-ROBLES, J.L., CASELLI, A.T., IBÁÑEZ, J.M., 2005. Costa Recta beach, Deception Island, West Antarctica: A retreated scarp of a submarine fault? *Antarct. Sci.*, 17: 418–426.
- FINGER, K. L., 1975, Benthic foraminifera from Deception Island: *Antarctic Journal*, v. 10, p. 134–135.
- FINGER, K. L., 1976. Submarine sedimentary facies at Deception Island, South Shetland Islands. *Antarctic Journal of the United States* 11(3):162-163.
- FINGER, K.L., 1977. Foraminiferal species obtained by R/V Hero from Deception Island, 1971-1976. *Antarctic Journal of the United States* 12:37-39.
- FINGER, K.L. & LIPPS, J.H., 1981. Foraminiferal decimation and repopulation in a active caldera, Deception Island, Antarctica. *Micropaleontology*, 27(2):111-139.
- FRANCHETEAU, J., NEEDHAM, N.D., CHOUKROUNE, P., JUTEAU, T., SEGURET, M., BALLARD, R.D., FOX, P.J., NORMARK, W., CARRANZA, A., CORDOBA, D.,

- GUERRERO, J., RANGIN, C., BOUGAULT, H., CAMBON, P., HEKINIAN, R., 1978. D4couvertes par submersible de sulfures polym~talliques massifs sur la dorsale du Pacifique oriental par 21°N. C.R. Acad. Sci. Paris, Sér. D, 287: 1365--1368.
- FRETZDORFF, S., WORTHINGTON, T.J., HAASE, K.M., HÉKINIAN, R., FRANZ, L., KELLER, R.A., STOFFERS, P., 2004. Magmatism in the Bransfield Basin: Rifting of the South Shetland arc? *Journal of Geophysical Research*, 109, B12208.
- GALINDO-ZALDIVAR, J., A. JABALOY, A. MALDONADO, GALDEANO, C. S., 1996. Continental fragmentation along the South Scotia Ridge transcurrent plate boundary (NE Antarctic Peninsula), *Tectonophysics*, 258, 275– 301.
- GALLARDO, V. A., CASTILLO, J. G., RETAMAL, M.A., HERMOSILLA, J., TRUCCO, R. 1975. Benthic community studies in the South Shetlands Islands. *Antarctic Journal of the United States* 10 (4): 135.
- GALLARDO, V.A., CASTILLO, J.G., 1968. Mass mortality in the benthic infauna of Port Foster resulting from the eruptions in Deception Island (South Shetland Island). *Instituto Antartico Chileno Publication* 16, 1–11.
- GALLARDO, V.A., CASTILLO, J.G., 1970. Quantitative observations on the benthic macrofauna of Port Foster (Deception Island) and Chile Bay (Greenwich Island). *In: Antarctic Ecology* 1:242-243 (Ed) M.Holdgate. Academic Press London N.York.
- GAMBOA, L.A.P., MALDONADO, P.R., 1990. Geophysical investigations in the Bransfield Strait and in the Bellingshausen Sea. *In: John, B.St. (Ed.), Antarctica as an Exploration Frontier: Hydrocarbon Potential, Geology, and Hazards. Am. Assoc. Pet. Geol. Stud. Geol.* 31, 127–142.
- GARCÍA, M.A., LÓPEZ, O., SOSPEDRA, J., ESPINO, M., GRÀCIA, V., MORRISON, G., ROJAS, P., FIGA, J., PUIGDEFÀBREGAS, J., SÁNCHEZ-ARCILLA, A., 1994. Mesoscale variability in the Bransfield Strait region (Antarctica) during Austral summer. *Annales Geophysicae* 12, 856–67.
- GARCÍA, M., ERCILLA, G., ANDERSON, J., ALONSO, B. 2008. New insights on the post-rift seismic stratigraphic architecture and sedimentary evolution of the Antarctic Peninsula margin (Central Bransfield Basin). *Marine Geology*, v. 251 (3–4) :167–182.

- GAZDZICKI, A., MAJEWSKI, W., 2003. Recent foraminifera from Goulden Cove of King George Island, Antarctica. *Polish Research*. 24 (1):3-12.
- GERMAN, C.R., KLINKHAMMER, G. P., EDMOND, J. M., MITRA, A., ELDERFIELD, H., 1990. Hydrothermal scavenging of rare-earth elements in the ocean. *Letters to Nature*. 345: 516-518.
- GERMAN, C.R., LIVERMORE, R.A., BAKER, E.T., BRUGUIER, N.I., CONNELLY, D.P., *et al.* (2000). Hydrothermal plumes above the East Scotia Ridge: An isolated high-latitude back-arc spreading centre. *Earth and Planetary Science Letters* 184: 241-250.
- GERMAN, C.R., VON DAMM K.L. 2001. Hydrothermal Processes. *Treatise on Geochemistry*, vol 6: The oceans and Marine Geochemistry. Editor: Henry Elderfield. Executive Editors: Heinrich D. Holland and Karl Turekian, Elsevier.
- GOLDSTEIN, S. T. 1999. Foraminifera: a biological overview. In: Sen Gupta, B. K., ed. *Modern Foraminifera*. New York: Kluwer Academic Publishers. p. 7-55.
- GONZÁLEZ-FERRÁN, O., 1985. Volcanic and tectonic evolution of the Northern Antarctic Peninsula- Late Cenozoic to Recent. *Tectonophysics* 114: 389-409.
- GONZÁLEZ-CASADO J.M., LÓPEZ-MARTINEZ, J., GINER, J.L., DURÁN, J.J., GUMIEL, P. 1999. Análisis de la microfracturación en la Isla Decepción. *Antártida Occidental, Geogaceta*, 26: 31-34.
- GONZÁLEZ-FERRAN, O., 1991. The Bransfield rift and its active volcanism. In: M.R.A. Thomson, J.A. Crame and J.W. Thomson (Editors), *The Geological Evolution of Antarctica*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 505-509.
- GORDON, A. L., NOWLIN, W. D., 1978. Basin waters of Bransfield Strait, *J. Phys. Oceanogr.*, 8, 258 – 264.
- GRÀCIA, E, CANALS, M., FARRANZ, M., SORRIBA, J., PÀLLAS, R., 1997. Central and eastern Bransfield basins (Antarctica) from high-resolution swath-bathymetry data. *Antarctic Science*, 9(2):168–180.

- GRÀCIA, E., CANALS, M., FARRAN, M.L., PRIETO, M.J., SORRIBAS, J., GEBRA Team. 1996. Morphostructure and evolution of the central and Eastern Bransfield Basins (NW Antarctic Peninsula). *Marine Geophysical Researches*, 18: 429–448.
- GRAY, S.C., STURZ, A., BRUNS, M.D., MARZAN R.L., DOUGHERTY, D., LAW H.B., BRACKETT, J.E., MARCOUM. 2003. Composition and distribution of sediments and benthic foraminifera in a submerged caldera after 30 years of volcanic quiescence. *Deep-Sea Research II* 50: 1727–1751.
- GRIFFITH, T.W., ANDERSON, J.B. 1989: Climatic control of sedimentation in bays and fjords of the northern Antarctic Peninsula. *Marine Geology* 85, 181–204.
- GROSS, M.G. 1971. Carbon determination. *In*: Carver, R.E. (Ed.). *Procedures in Sedimentary Petrology*. Wiley, New York, EUA, pp. 573-596.
- HAWKES, D.D., 1961. The geology of the South Shetland Islands, II, The geology and petrology of Deception Island, Falkland Islands Dependencies Survey, Scientific Reports, n°27 43 pp.
- HENRIET, J.P., MEISMER, R., MILLER, H. & the GRAPE team. 1992. Active margin processes along the Antarctic Peninsula. *Tectonophysics*, 201:229-253.
- HERB, R., 1971. Distribution of Recent benthonic foraminifera in the Drake Passage. *Antarctic Research Series*, 17: 251-300 (Biology of the Antarctic Seas IV). Publisher: American Geophysical Union.
- HERBOLD, C.W., C.K., LEE, I.R., MC DONALD, I.R., S.C., CARY, S.C. 2014. Evidence of global-scale aeolian dispersal and endemismo in isolated geothermal microbial communities of Antarctica. *Nature Communications*, 5:3875.
- HERMELIN, J.O.R., 1992. Variations in the benthic foraminiferal fauna of the Arabian S: a response to changes in upwelling intensity? *In*: Summerhayes, C.P., Prell, W.J., Emeis, K.C. (Eds), *Upwelling Systems: Evolution since the Miocene*. Geological Society London Special Publ. 64: 151-166.

- HERUT, B., SANDLER, A. 2006. Normalization methods for pollutants in marine sediments: review and recommendations for the Mediterranean. Draft Final Report of Israel Oceanographic & Limnological Research. https://www.researchgate.net/publication/267549055_Normalization_methods_for_pollutants_in_marine_sediments_review_and_recommendations_for_the_Mediterranean_Basin. Acesso em 28 de dezembro de 2017.
- HORST, A. J., VARGA, R. J., GEE, J. S., KARSON, J. A., 2011. Paleomagnetic constraints on deformation of superfast-spreading oceanic crust exposed at Pito Deep Rift, J. Geophys. Res., 116, B12103.
- HROMIC, T., CAMBLOR, M., QUEZADA, L., Foraminíferos Textuláridos em sedimentos someros recientes de la Península Antártica y su relación con el área subantártica sudamericana. 2012. Anales Instituto Patagónica (Chile), 40(1):125-138.
- HROMIC, T. 2014. Arco de Scotia ¿Un puente para el intercambio de los foraminíferos bentónicos entre Antártica y Sudamérica? Anales Instituto Patagonia (Chile). 42(1):21-33.
- IBAÑEZ, J.M., ALMENDROS, J., CARMONA, E., MARTÍNEZ-AREVALO, C., ABRIL, M., 2003. The recent seismo-volcanic activity at Deception Island volcano. Deep-Sea Research II 50 1611-1629.
- IBAÑEZ, J.M., MORALES, J., ALGUACIL, G., S., ALMENDROS, J., ORTIZ, R., DEL PEZZO, E., 1997. Intermediate-focus earthquakes under South Shetland Islands. Geophysical Research Letters, 24(5): 531-534.
- INBAR, M., 1995. Fluvial morphology and streamflow on Deception Island, Antarctic. Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography. 77:4, 221-230.
- JEFFERS, J.D., ANDERSON, J.B., 1990. Sequence stratigraphy of the Bransfield Basin, Antarctica. Implications for tectonic history and hydrocarbon potential. In: John, B.St. (Ed.), Antarctica as an Exploration Frontier: Hydrocarbon Potential, Geology and Hazards. Am. Assoc. Pet. Geol. Stud. Geol. 31, 13–30.
- JOLLIFFE, I. T. 2002. Principal Component Analysis. 2nd Edition, Springer, New York.
- JONES, E. J.W., 1978. Sea floor spreading and the evolution of the ocean basins. In: *Chemical*

- JONES, R. W., PUDSEY, C.A., 1993. Recent foraminífera from the Western Antarctic Ocean. *Journal of Micropaleontology*, 13:17-23.
- JUNIPER, S. K., TUNNICLIFFE, V., 1997. Crustal accretion and the hot vent ecosystem, *Phylosophical Transactions Royal Society of London*. A355:459-474.
- KAIHO, K. 1994. Benthic foraminiferal dissolved-oxygen index and dissolved-oxygen levels in the modern ocean. *Geology*, 22:719-722.
- KAMINSKI, M.A., BOERSMA, A., TYSKA, J., HOLBOURN, A.E.L., 1995. Response of deep-water agglutinated foraminífera to dysoxic conditions in the California Boderland basins, *Grzybowski Foun Spec. Publ* 3: 131-140.
- KELLER, L.A., FISK, M.R., WHITE, W.M., BIRKENMAJER, R.M. 1988 Late Tertiary Quaternary transition from arc to back-arc volcanism, South Shetland Islands and the Bransfield Strait, Antarctica. — *American Geophysical Union EOS Trans.*, Abstract 69: 1471.
- KLEPEIS, K. A.; LAWVER, L. A. 1993. Bathymetry of the Bransfield Strait, southeastern Shackleton Fracture Zone, and South Shetland Trench, Antarctica. *Antarctic Journal*, n. 1990, p. 1990–1992.
- Klinkhammer, G., Elderfield, H., Grieves, M., Rona, P. & Nelson, T. (1986) Manganese geochemistry near high temperature vents in the Mid-Atlantic Ridge rift valley. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 80, 230–40.
- KLINKHAMMER, G.P., ELDERFIELD, H., HUDSON, A. 1983. Rare earth elements in seawater near hydrothermal vents. *Nature* 305:185-188.
- KLINKHAMMER, G.P., C.S. CHIN, C. WILSON, M.D. RUDNICKI, R.A. KELLER, L.A. LAWVER, 1995, Results of a search for hydrothermal activity in the Bransfield Strait, Antarctica, *Eos Trans. AGU* 46.
- KLINKHAMMER, G.P., C.S. CHIN, C. WILSON, 1996. Hydrothermal and hydrographic surveys of the Bransfield Strait: Results from cruise NBP95-07, *Ant. J. US Rev.* 31: 92-94.

- KLINKHAMMER, G.P., CHIN, C.S., KELLER, R.A., DÄHLMANN, SAHLING, H., SARTHOU, G., PETERSEN, S., SMITH, F., WILSON, C., 2001. Discovery of new hydrothermal vent sites in Bransfield Strait, Antarctica. *Earth and Planetary Science Letters*, 193: 395-407.
- KOUTSOUKOS, E. A.M., LEARY, P.N., HART, M.B. 1990. Latest Cenomanian-earliest Turonian low-oxygen tolerant benthonic foraminifera: A case study from the Sergipe Basin (NE Brazil) and the western Anglo-Paris Basin (Southern England): *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 77:145-177.
- KOWALEWSKI, W., RUDOWSKI, S.I., ZALEWSKI, M. 1990. Seismoacoustic studies within flooded part of the caldera of the Deception Island, West Antarctica. *Polish Polar Research*; 11(3-4): 259—266.
- KRUMBEIN, W.C.; SLOSS, L. L. 1963. *Stratigraphy and Sedimentation*, 2nd edition. Freeman, San Francisco.
- KUKASABE, M., NAGAO, K., OHBA, T., SEO, J. H., PARK, S. H., LEE, J. I., PARK, B. K. 2009. Noble gas and stable isotope geochemistry of the thermal fluids from Deception Island, Antarctica. *Antarctic Science* 21 (3): 255-267.
- LARSONNEUR, C.; BOUYASSE, P.; AUFRET, J. P. 1982. The superficial sediments of the English Channel and its Western Approaches. *Sedimentology*, 19: 851-864.
- LAWS, E. 2018. *Aquatic Pollution: An Introductory Text*. Wiley Los Angeles. Fourth edition.
- LAWVER, L. A., KELLER, R.A., FISK, M.R., STRELIN, J.A. 1995. Bransfield Strait, Antarctic Peninsula: Active extension behind a dead arc. *in*: Taylor, B. (Ed.). *Backarc Basins: Tectonics and Magmatism*, Plenum, New York, pp. 315-342.
- LAWVNER, L. A., B. J. SLOAN, D. H. N. BARKER, M. GHIDELLA, R. P. VON HERZEN, R. A. KELLER, G. P. KLINKHAMMER, and C. S. CHIN, 1996. Distributed, active extension in Bransfield Basin, Antarctic Peninsula: Evidence from multibeam bathymetry, *GSA Today*, 6, 1–6.
- LEÃO, Z. M. A. N., MACHADO, A.J. 1989. Variação de cor dos grãos carbonáticos de sedimentos marinhos atuais. *Revista Brasileira de Geociências*. 19(1):87-91.

- LEAR, H. C., ROSENTHAL, Y., SLOWEY, N., 2002. Benthic foraminiferal Mg/ Ca-paleothermometry: A revised core-top calibration. *Geochimica et Cosmochimica* 66(19):3375-3387.
- LEJZEROWICZ, F.; PAWLOWSKI, J.; FRAISSINET-TACHET, L.; MARMEISSE, R., 2010. Molecular evidence for widespread occurrence of Foraminifera in soils. *Environmental Microbiology*. 12 (9): 2518–26.
- LENN, Y.D., CHERESKIN, T.K., GLATTS, R.C., 2003. Seasonal to tidal variability in currents, stratification, and acoustic backscatter in na Antarctic ecosystem at Deception Island.2003. *Deep Research II* 1665-1683.
- LEUTENEGGER, S., HANSEN, H., J. 1979, Ultrastructural and radiotracer studies of pore function in foraminifera: *Marine Geology*, 54: 11-16.
- LEVENTHAL, J. S. 1983. An interpretation or carhon and sulfur relationship in Black Sea sediments as indicators of environment of deposition. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47:133-137.
- LOEBLICH, A.R.; TAPPAN, H. *Foraminiferal genera and their classification*. 2 vols. New York: Van Nostrand Reinhold, 1987.
- LÓPEZ, O., GARCÍA, M.A., BOSCH, D.G., ROJAS, P., SOSPEDRA, J., SANCHEZ-ARCILLA, 1999. Hydrographic and hydrodynamic characteristics of the eastern basin of the Bransfield Strait (Antarctica). *Deep Sea Research Part I Oceanographic Research Papers* 46(10):1755-1778.
- MACKENSEN, A., GROBE, H., KUHN, G., FÜTTERER, D.K. 1990. Benthic foraminiferal assemblages from the eastern Weddell Sea between 68 and 73°S: Distribution, ecology and fossilization potential. *Marine Micropaleontology*. 16: 241-283.
- MACKENSEN, A., SCHMIEDL, G., HARLOFF, J., GIESE, M. 1995. Deep-sea foraminifera in the South Atlentic Ocean: Ecology and assemblage generation. *Micropaleontology*, 41 (4): 342-358.
- MAESTRO, A., L. SOMOZA, J. REY, J. MARTINEZ-FRIAS, Lopez-Martinez, J., 2007. Active tectonics, fault patterns, and stress field of Deception Island: A response to oblique

convergence between the Pacific and Antarctic plates, *J. South Am. Earth Sci.*, 23: 256–268.

MAGURRAN, A.E., 1988. *Ecological Diversity and its measurements*. Princeton University Press. Princeton, New Jersey.

MAJEWSKI, W. 2010. Benthic foraminifera from West Antarctic fiord environments: An overview. *Polish Polar Research* 31(1):61-82.

MAJEWSKI, W. 2013. Benthic foraminifera from Pine island and Ferrero bays, Amundsen Sea. *Polish Polar Research*. 34 (2): 169-200.

MARCHITTO, T.M., OPPO, D.W. 2002. Paired benthic foraminifera Cd/Ca and Zn/Ca evidence for a greatly increased presence of Southern Ocean water in the glacial North Atlantic: *Paleoceanography* 17(3):PA000598.

MARTÍ, J., BARALDO, A., 1990. Pre-caldera pyroclastic deposits of Deception Island (South Shetland Islands) *Antarctic Science* 2(04):345 – 352.

MARTI, J., VILA, J., REY, J., 1996. Deception Island (Bransfield Strait, Antarctica): An example of volcanic caldera developed by extensional tectonics, in *Volcanic Instability on the Earth and Other Planets*, edited by W. J. McGuire et al., *Geol. Soc. Spec. Publ.*, vol. 110, pp. 253–265.

MIKHALEVICH, V.I. 2004. Major features of the distribution of Antarctic foraminifera. *Micropaleontology*, 50 (2):179-194.

MILLER, A. R., DENSMORE, C.D., DEGENS, E.T., POCKLINGTON, R., JOKELA, A. 1966. Hot brines and recent iron deposits in deeps of the Red Sea, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 30, 341-359.

MORSE, J. W. & CORWELL, J. C. 1987. Analysis and distribution of iron sulfide minerals in recent anoxic marine sediments. *Mar. Geol.*, 22:55-69.

MURRAY J. W., 2001. The niche of benthic foraminifera, critical thresholds and proxies. *Marine Micropaleontology*, 41: 1-7.

MURRAY, J. W. 2006. *Ecology and Applications of Benthic Foraminifera*. Cambridge, UK, Cambridge University Press. 426 p.

- MURRAY, R.W., BUCHHOLTZ, M.R.B., GERLACH, D.C., RUSILL, G.P., JONES, D.L. 1992. Interoceanic variation in the rare earth, major, and trace element depositional chemistry of chert: Perspectives gained from the DSDP and ODP record. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 56 (5):1897-1913.
- MURRAY, R.W., BUCHHOLTZ, M.R.B., GERLACH, D.C., RUSILL, G.P., JONES, 1992. Rare earth, major, and trace element composition of Monterey and DSDP chert and associated host sediment: Assessing the influence of chemical fractionation during diagenesis. *Geochimica et Cosmochimica Acta*; 56(7): 2657-2671.
- MURRAY, R.W., LEINEN, M., ISEM, A.R. 1993. Biogenic flux of Al to sediment in the central equatorial Pacific ocean: evidence for increased productivity during glacial periods. *Paleoceanography*, 8 (5):651-670.
- NAGY, J., REOLID, M., RODRIGUEZ-TOVAR, F.J. 2009. Foraminiferal morphogroups in dysoxic shelf deposits from the Jurassic of Spitsbergen. *Polar Research*. 28 (2): 214-222.
- NIILER, P.P., AMOS, A., JIAN-HWA, H., 1991, Water masses and 200 m relative geostrophic circulation in the western Bransfield Strait region. *Deep-Sea Research* 38, 943–59.
- NOVOTNY, V., 1995. Diffuse Sources of Pollution by Toxic Metals and Impact on Receiving Waters. In: **Salomons, W., Förstner, U., Mader, P.** (Eds.). *Heavy Metals Problems and Solutions*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, v. 19, p. 33-41.
- OPPO, D.W., HOROWITZ, M. 2000. Glacial deep water geometry: South Atlantic Benthic foraminifera Cd/Ca and delta C-13 evidence. *Paleoceanography* 15 (2):147-160.
- ORHEIM, O., 1972. A 200-year record of glacier mass balance at Deception Island, southwest Atlantic Ocean, and its bearing on models of global climatic change, rep.42, 118 pp., Inst. of Polar Studies, Ohio State university. Acesso em 01/09/2016, em <https://kb.osu.edu/dspace/handle/1811/51272>
- OSTERMAN, L.E., KELLOG, T. B. 1979. Recent benthic foraminiferal distributions from the Ross Sea, Antarctica: relation to ecologic and oceanographic conditions. *Journal of Foraminiferal Research*. 9(3):250-269.
- PADRÓN, E., HERNANDÉZ, P.A., CARMONA, E., PÉREZ, N.M., MELIÁN, G., SUMINO, H., ALMENDROS, J., KUSAKABE, M., WAKITA, H., PADILLA, G. D. 2015.

Geochemical evidence of different sources of long-period seismic events at Deception volcano, South Shetland Islands, Antarctica. *Antarctic Science* 27(6):557-565.

PALLÀS, R., SMELLIE, J., CASAS, J. M., CALVET, J. 2001. Using trphrochronology to date temperate ice: correlation between ice tephras in Living Island and eruptive units on Deception Island volcano (South Shetland Islands, Antarctica). *The Holocene* 11(2):149-160.

PANIERI, G., 2006. The effect shallow marine hydrothermal vent activity on benthic foraminifera (Aeolian arc, Tyrrhenian sea) *Journal of Foraminiferal Research* 36(1): 3-14.

PARRA, J.C., YANEZ, G. and USAC-Group, 1988. Aeromagnetic survey on the Antarctic Peninsula and surrounding seas: integration of the data obtained at different altitudes. *Ser. Cient. INACH*, 38: 118-131.

PAREDES, C. 2002. Distribución estocástica tridimensional condicionada de la fracturación potencialmente responsable de la actividad sismo volcánica em la Isla Deception (Shetland del Sur, Antártida). *Boletín Geológico y Minero de España*, 118 (4):775-787.

PAREDES, C., DE LA VEGA, PÉREZ-LÓPEZ, R., GINER-ROBLE J.L., MARTÍNEZ-DÍAZ, J.J. 2007. Descomposición fractal en subdomínios morfotectónicos del mapa de Lineamientos morfológicos en la isla Decepción (Shetland del Sur, Antártida). *Boletín Geológico y Minero de España*, 118 (4): 775-787.

PAREDES, C., PEREZ-LOPEZ, R., GINER-ROBLES, J.L., DE LA VEJA, R., GARCIA-GARCIA, A., GUMIEL, P., 2006. Distribucion espacial y zonificacion tectônica de los morfolineamientos en la Isla Decepcion (Shetland del Sur, Antartida), *Geogaceta*, 39, 75–78.

PATERSON, S.L., SIEVERS, H.A. 1980. The Weddell-Scotia confluence. *Journal of Physical Oceanography* 10: 1584–610.

PATTAN, J.N., MASUZAWA, T., DIVAKAR, N.P., PARHIBAN, G., YAMAMOTO, M. 2003. Productivity fluctuations in the southeastern Arabian Sea during the last 140Ka. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 193: 575-590.

- PAWLOWSK, J *et al.*, 2003. The evolution of early Foraminifera. PNAS. 100 (20): 11494-11498.
- PAWLOWSK, J., HOLZMANN, M., TYSZKA, J., 2013. New supraordinal classification of Foraminifera: Molecules meet morphology. Marine Micropaleontology 100: 1-10.
- PAWLOWSKI, J., LEJEROWICZ, F., ESLING, P., 2014. Next-generation environmental diversity surveys of foraminifera: preparing the future. The Biological Bulletin, 227(2):93-106.
- PECERILLO, A., TRIPODO, A., VILLARI, L., GURRIERI, S., ZIMBALATTI, E., 1991. Genesis and evolution of volcanism in back-arc areas: A case history, the island of Deception (Western Antarctica). Per. Mineral. 60, 29:44.
- PELAYO, A. M., WIENS, D. A., 1989. Seismotectonic and relative plate motions in the Scotia Sea region, J. Geophys. Res., 94, 7293 – 7320.
- PRIETO, M. J., CANALS, M., ERCILLA, G., BATIST, M. 1998. Structure and geodynamic evolution of the Central Bransfield Basin (NW Antarctica) from seismic reflection data, Mar. Geol., 149: 17 – 38.
- PRIETO, M. J., ERCILLA, G., CANALS, M., BATIST, M. 1999. Seismic stratigraphy of the Central Bransfield Basin (NW Antarctic Peninsula): Interpretation of deposits and sedimentary processes in a glacio-marine environment. Marine Geology, 157(1–2):47–68.
- REINFELDER, J.R., FISHER, N., LUONA, S.N., NICHOLS, J.W., WANG, W.X..1998. Trace element trophic transfer in aquatic organisms: a critique of the kinetic model approach. The Science of the total environment. 219:117-135.
- REY, J., SOMOZA, L., MARTINEZ-FRIAS, J., 1995. Tectonic, volcanic and hydrothermal event sequence on Deception Island (Antarctica), Geo Mar. Letters (1995) 15:1-8.
- REY, J., SOMOZA, L., MARTÍNEZ-FRÍAS, J., BENITO, R., MARTIN-ALFAGEME, S., 1997. Deception Island (Antarctica): A new target for exploration of Fe-Mn mineralization? In: Nicholson, K., Hein, J. R., Buhn, B., Dasgupta, S. (Eds), Manganese Mineralization: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits. Geological Society London. Special Publication 119:239-251.

- REYNOLDSON, T.B. 1987. Interactions between sediment contaminants and benthic organisms, in: "Ecological Effects of In Situ Sediment Contaminants", R. Thomas, R. Evans, A. Hamilton, M. Munawar, T. Reynoldson, H. Sadar, eds., Dr W. Junk Publishers, Boston.
- ROACH, P. J., 1978, The nature of back-arc extension in Bransfield Strait [abs.]: Royal Astronomical Society Geophysical Journal, v. 53, p. 165.
- RHOADS, D.C., MORSE, J. W., 1971. Evolutionary and ecologic significance of oxygen-deficient marine basins. *Lethaia*, 4: 413-428.
- RODRIGUES, A. R., MALUF, J. C. C., BRAGA, E. de S., EICHLER, B. B., 2010. Recent benthic foraminiferal distribution and related environmental factors in Ezcurra inlet, King George Island, Antarctica. *Antarctic Science* 22(4), 343-360.
- RODRIGUES A.R., BRAGA, E.S., EICHLER, B.B. 2015. Living foraminifera in the shallow waters of Admiralty bay: distributions and environmental factors. *Journal of Foraminiferal Research*. 45(2):128-145.
- ROHLING E.J. COOKES, 1999. Stable oxygen and carbon isotopes in foraminiferal carbonate shells. In: Gupta BKS, editor. *Modern Foraminifera*. London: Kluwer Academic Publishers. p.239-258.
- RONA, P.A., HANNINGTON, M.D., RAMAN, C.V., THOMPSON, G., TIVEY, M.K., HUMPHIS, S.E., LALOU, C, PETERSEN, S. 1993. Active and relict sea-floor Mid-Atlantic Ridge. *Economic Geology*, 88:1989-2017.
- SALOMONS, W. 1984. In: SALOMONS, W.; FORTNER, U. (Eds). *Metals in the Hydrocycle*. 2nd Edition: Springer-Verlag, Berlin, 486p.
- SANGRÀ, P., GORDO, C., HERNÁNDEZ-ARENCIBIA, M., MARRERO-DÍAZ, A., RODRÍGUEZ-SANTANA, ANGEL., STEGNER, A., MARTÍNEZ-BARRERO, A., PELEGRÍ, J.L., PICHON, T., 2011. The Bransfield current system. *Deep-Research I* (58): 390-402.
- SARRAZIN, J., JUNIPER, S. K., 1999. Biological characteristics of a hydrothermal edifice mosaic community, *Marine Ecology Progress Series*, 185:1-19.

- SCHLOSSER, P., SUESS, E., BAYER, R., RHEIN, M. 1988. ^3He in the Bransfield Strait waters: Indication for local injection from backarc rifting, *Deep-Sea Res.* 35:1919-1935.
- SCHREIDER, A.A., EVSENKO, E.I., 2014. The stage of the development of the basin of the Bransfield Strait. *Oceanol* 54: 365-373.
- SCHRÖDER, C.J.; SCOTT, D.B.; MEDIOLI, F.S.1987. Can smaller benthic foraminífera be ignored in paleoenvironmental analyses? *Journal of Foraminiferal Research*, 4:101-110.
- SCOTT, G. A., MEDIOLI, F.S., SCHAFER, C.T. 2001. Monitoring in coastal environments using foraminifera and thecamoebian indicators. Cambridge University Press, Cambridge. 177p.
- SEIGUE G. A. 1973. Pyritization in living foraminifers. *J. Foram. Res.*, 3:1-6.
- Seismovolcanic signals at Deception Island volcano, Antarctica.
- SEN GUPTA, B. K. 1999. Introduction to modern foraminifera. In: Sen Gupta, B. K. (ed.). *Modern Foraminifera*. New York: Kluwer Academic Publishers, p. 3-6.
- SEN GUPTA, B.K. & MACHAIN-CASTILLO, M.L., 1993, Benthic foraminifera in oxygen-poor habitats: *Marine Micropaleontology*, v 20, p.183-201.
- SHRIVASTAVA, P., SAXENA, A., SWARUP, A., 2003. Heavy metal pollution in a sewage-fed lake of Bhopal, (M. P.) India. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 8: 1–4.
- SHULTZ, C.H., 1972. Eruption at Deception Island, Antarctica, August 1970. *Geological Society of America Bulletin* 83: 2837-2842.
- SMART, C.W. 2002. Environmental applications of deep-sea benthic foraminifera. *In*: Haslett, S.K. (ed.). *Quaternary Environmental Micropaleontology*. Hodder Arnold, Londres, England. pp. 14-58.
- SMELLIE, J.L.1983. A geochemical overview of subduction related igneous activity in the South Shetland Islands, Lesser Antarctica, in *Antarctic Earth Science*, Editores:Oliver, R. L., James, P. R. and Jago, J. B. , pp.352-356, Cambridge University Press, New York.
- SMELLIE, J., 2001. Lithostratigraphy and volcanic evolution of Deception Island, South Shetland Islands. *Antarctic Science* 13(02): 188—209.

- SMELLIE, J.L., 1988. Recent observations on the volcanic history of Deception Island, South Shetland Islands. *British Antarctic Surveys Bulletin* 8, 1, 83-85.
- SMELLIE, J.L., 2001. Lithostratigraphy and volcanic evolution of Deception Island, South Shetland Islands. *Antarctic Science* 13 (2): 188-209.
- SMELLIE, J.L., LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. 2002. Geological and geomorphological evolution: summary. In López-Martínez, J., Smellie, J.L., Thomson, J.W. and Thomson, M.R.A. Eds. *Geology and geomorphology of Deception Island*, 54-57. BAS Geomap Series, 6–A and 6–B. Cambridge: British Antarctic Survey.
- SMITH Jr., K.L., BALDWIN, R.J., GLATTS, R.C., CHERESKIN, T.K., RUHL, H., LAGUN, V. 2003. Weather, ice, and snow conditions at Deception Island, Antarctica: long time-series photographic monitoring. *Deep-Sea Research II* 50 1649-1664.
- SOMOZA, L.; MARTÍNEZ-FRÍAS, J.; SMELLIE, J.L.; REY, J.; MAESTRO, A. 2004. Evidence for hydrothermal venting and sediment volcanism discharged after recent shortlived volcanic eruptions at Deception Island, Bransfield Strait, Antarctica. *Marine Geology* 203: 119-140.
- SPIESS, F., MACDONALD, K., ATWATER, T., BAL, R., FRANCHETEAU, J., GUERRERO, J., HAWKINS, J., HAYI, R., HESSLER, R., JUTEAU, M., KASTNER, M., LARSON, R., LUYENDYK, B., MAC-DOUGELL, J., MILLER, S., NORWARK, W., ORCUTT, J., RANGIN, C., 1980. East Pacific Rise: hot springs and geophysical experiments. *Science*; 207:1421-1433.
- STUMM, W.; MORGAN, J. J. 1996. *Aquatic Chemistry – Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 3ed.
- SUESS, E., FISK, M., KADKO, D. 1987. Thermal interaction between back-arc volcanism and basin sediments in the Bransfield Strait, Antarctica, *Ant. J. US* 22: 46-49.
- SUGUIO, K., 1973. *Introdução à Sedimentologia*. Edgard Blücher, São Paulo, 317 p.
- SWALLOW, J. C., CREASE, J. 1965. Hot salty water at the bottom of the Red Sea, *Nature*, 205, 165-166.
- TRIBOVILLARD, N., ALGEO, T.J., LYONS, T., RIBOULLEAU, A. 2006. Trace metals as paleoredox and paleoproductivity proxies: An update. *Chemical Geology* 232 12–32.

- USEPA (United States Environmental Protection Agency) 2007. Method 610C. Acid Digestion of Sediments, Sludge and soil. Revision 3.
- VILLEGAS, M.T., ORTIZ, R., CASELLI, A., COHEN, M., 1997. Chemical variations of fumarolic gases in Deception Island, South Shetland Islands, Antarctica, in *The Antarctic Region: Geological Evolution and Processes*, pp. 1077–1082, ed. Ricci, C.A., Terra Antarctica Pub., Siena.
- WEAVER, S.D., SAUNDERS, A.D., PANKHURST, R.J., TARNEY, J. 1979. A geochemical study of magmatism associated with the initial stages of back-arc spreading: The Quaternary volcanics of Bransfield Strait, from South Shetland Islands, *Contrib. Mineral. Petrol.*, 68: 151-169.
- WEAVER, S. D.; SAUNDERS, A. D.; TARNEV, A. 1982. Mesozoic-Cenozoic volcanism in the South Shetland Islands and the Antarctic Peninsula: Geochemical nature and plate tectonic significance. In *Antarctic Geoscience* (Craddock, C.; ed.). Univ. Wisconsin Press, p. 263-273. Madison, Wisconsin.
- WENTWORTH, W.R., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30:377-392.
- WHITCAR, M.J., E. SUESS, Hydrothermal hydrocarbon gases in the sediments of the King George Basin, Bransfield Strait, Antarctica, *Appl. Geochem.* 5 (1990) 135-147.
- WHITCAR, M.J., SUESS, E., WEHNER, H. 1985. Thermogenic hydrocarbons in surface sediments of the Bransfield Strait, Antarctic Peninsula, *Nature* 314: 87-90.
- WHITWORTH T. III, NOWLIN Jr., W.D., ORSI, A.H., LOCARNINI, R.A., SMITH, S.G., 1994. Weddell Sea shelf water in the Bransfield Strait and Weddell-Scotia Confluence. *Deep-Sea Research* 41, 629–41.
- WILKES, C., *American Exploring Expedition: Narrative of the United States Exploring Expedition during the years 1838-1842*, vol.1, Lea and Blanchard, Philadelphia. Acesso em 07/04/2016.
- WRINKLER, G., NEWTON, R., SCHLOSSER, P., CRONE, T.J. 2010. Mantle helium reveals Southern ocean hydrothermal venting. *Geophysical Research Letters* 37: L05601.

- YONN, H.I., PARK, B.K., DOMACK, E.W., KIM, Y. 1998. Distribution and dispersal pattern of suspended particulate matter in Maxwell Bay and its tributary, Marian Cove, in the South Shetland Islands, West Antarctica. *Marine Geology* 152, 261–75.
- ZIERENBERG, R., ADAMS, M.W.W., ARP, A.J., 2000. Life in extreme environments: Hydrothermal vents. *PNAS*. 97 (24): 12961-12962.

Apêndice 1: Granulometria e teores de CaCO3 em Three Sisters.

ÁREA	ANO	Amostra	PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DE FOLK & WARD (1957)					FAIXA GRANULOMÉTRICA (%)					PELÍTICOS		FNO/ GROSSO	Teor CaCO3 (%)
			DIÂMETRO MÉDIO (φ)	DESVIO PADRÃO (φ)	ASSIMÉ- TRIA	CURTOSE	SEXOS	CASCALHO GRÂNULO TOTAL	M. GROSS	GROSSA	MÉDIA	FINA	ARGILA	TOTAL		
3 Sisters	2014	3sisters rec	-0,15	2,59	2,41	8,17	0,00	54,95	20,97	8,87	3,51	1,95	4,27	9,19	0,10	6,08
	2014	3sisters(2-4)	7,33	1,64	-0,62	2,76	0,00	0,00	0,02	0,05	0,34	0,46	40,99	98,47	64,37	23,53
	2014	3sisters(6-8)	6,71	1,91	-0,02	1,79	0,00	0,00	0,08	0,02	0,32	0,58	35,65	98,42	62,25	22,41
	2014	3sisters(8-10)	6,79	1,94	-0,25	1,89	0,00	0,00	0,04	0,12	0,54	0,70	35,06	97,24	35,26	23,27
	2014	3sisters(12-14)	6,56	2,36	-0,73	2,63	0,00	0,23	0,33	0,69	4,12	3,87	32,65	86,61	6,47	18,01
	2014	3sisters(22-24)	6,29	2,16	-0,85	3,07	0,00	0,17	0,07	0,60	5,15	5,74	17,45	82,42	4,69	19,23
	2014	3sisters(26-28)	5,78	2,14	-0,50	2,47	0,00	0,00	0,01	0,83	7,06	6,33	10,71	82,03	4,57	20,37
	2014	3sisters(32-34)	5,63	1,27	0,35	4,30	0,00	0,00	0,00	0,26	0,68	0,95	3,53	97,42	37,77	21,05
	2014	3 Sisters (B) rec	5,78	1,67	-0,57	6,20	0,00	0,69	0,53	0,81	0,74	1,03	10,48	92,03	11,54	11,33
	2014	3 Sisters B (0-2)	6,68	1,87	-0,28	2,23	0,00	0,00	0,09	0,19	0,45	0,70	27,93	94,24	16,38	23,81
3 SISTERS B	2014	3Sisters B (2-4)	6,04	1,50	0,39	2,77	0,00	0,00	0,10	0,05	0,24	0,41	9,53	98,63	72,08	24,19
	2014	3Sisters B (4-6)	6,48	1,35	-0,87	3,44	0,00	0,00	0,14	0,10	0,12	0,47	1,59	98,69	75,05	21,47
	2014	3 Sisters B (6-8)	6,84	2,11	-0,53	2,30	0,00	0,00	0,06	0,25	2,07	1,88	38,82	94,34	16,65	21,04
	2014	3 Sisters B (8-10)	5,33	1,60	0,39	6,47	0,00	0,77	0,18	0,16	0,42	0,75	10,73	95,72	22,38	24,18
	2014	3 Sisters B (10-12)	6,66	2,41	-0,43	2,28	0,00	0,58	0,30	0,52	0,80	0,91	46,84	96,32	26,17	21,74
	2014	3 Sisters B (12-14)	6,08	2,01	0,38	2,12	0,00	0,15	0,06	0,15	0,45	0,95	27,42	96,85	30,78	21,24
	2014	3 Sisters B (14-16)	5,60	1,28	-0,62	3,10	0,00	0,00	0,02	0,32	0,78	1,65	0,00	94,38	16,80	19,45
	2014	3 Sisters B (16-18)	6,50	1,78	-0,30	2,57	0,00	0,00	0,06	0,17	0,80	1,56	19,05	94,37	16,76	20,68
	2014	3 Sisters B (18-20)	5,23	1,67	0,71	3,29	0,00	0,00	0,06	0,28	1,75	3,22	7,10	92,14	11,73	21,92
	2014	3 Sisters B (20-22)	5,68	1,95	-0,37	2,53	0,00	0,04	0,09	0,20	4,24	6,81	6,90	83,62	5,11	19,49
3 Sisters B	2014	3 Sisters B(22-24)	5,56	2,32	0,10	2,22	0,00	0,03	0,34	0,95	5,94	5,16	21,84	83,35	5,01	16,98
	2014	3 Sisters B(24-26)	4,94	1,63	-0,64	3,83	0,00	0,11	0,30	2,30	4,88	4,21	0,00	85,91	6,10	17,94
	2014	3 Sisters B(26-28)	5,72	2,30	0,05	2,22	0,00	0,00	0,01	1,06	6,05	5,48	24,87	86,21	6,25	16,56
	2014	3Sisters B (28-30)	5,27	2,34	-0,30	1,85	0,00	0,00	0,05	1,77	12,41	7,07	4,00	76,49	3,25	17,83
	2014	3Sisters B (30-32)	5,95	2,23	-0,21	2,25	0,00	0,00	0,04	0,63	5,52	4,47	21,92	87,15	6,78	20,50
	2014	3 Sisters B(32-33)	6,72	2,00	-0,47	2,70	0,00	0,12	0,22	0,39	1,01	1,41	32,40	95,76	22,60	19,08
	2014	3Sisters B(34-36)	6,29	2,10	-0,18	2,36	0,00	0,20	0,29	0,66	0,98	1,58	26,00	94,75	18,05	24,10

Apêndice 2: Taxonomia Three Sisters (a)

TAXONOMY-3 SISTERS									
Class	Subclass	Order	Suborder	Superfamily	Family	Subfamily	Genus	Subgenus	Species
Globothalamea	Textularia	Lituoida	Trochammina	Trochamminoidea	Adercatriymidae	Adercatriyminae	<i>Adercatriyma</i>		<i>Adercatriyma glomeratum</i> (Brady, 1878)
Globothalamea	Textularia	Lituoida	Lituolina	Lituoidae	Lituoidae	Ammomarginulininae	<i>Ammobaculites</i>		<i>Ammobaculites</i> sp.
Globothalamea	Spirillinida	Ammodiscina	Ammodiscina	Ammodiscoidea	Ammodiscidae	Ammodiscinae	<i>Ammodiscus</i>		<i>Ammodiscus angulatus</i> (Höglund, 1947)
Globothalamea	Spirillinida	Ammodiscina	Ammodiscina	Ammodiscoidea	Ammodiscidae	Ammodiscinae	<i>Ammodiscus</i>		<i>Ammodiscus incertus</i> (d'Orbigny, 1839)
Globothalamea	Textularia	Lituoida	Trochammina	Trochamminoidea	Trochamminidae	Trochammininae	<i>Amnoglobigerina</i>		<i>Amnoglobigerina pygmaea</i> (Höglund, 1947)
Globothalamea	Rotalida	Rotalida		Rotalioidea	Ammonitidae	Ammonitinae	<i>Ammonia</i> sp.		<i>Ammonia</i> sp.
Globothalamea	Rotalida	Rotalida		Buliminoidae	Angulogerinidae	Angulogerininae	<i>Angulogerina</i>		<i>Angulogerina</i> sp.
Monothalamea	Asthorhizida	Saccammina		Saccamminoidea	Saccamminidae	Thuramininae	<i>Astrammia</i>		<i>Astrammia rara</i> (Rumbler, 1931)
Globothalamea	Rotalida	Rotalida		Nonionoidae	Nonionidae	Astrononionae	<i>Astrononion</i>		<i>Astrononion echolsi</i> (Kenneth, 1967)
Globothalamea	Rotalida	Rotalida		Nonionoidae	Nonionidae	Astrononionae	<i>Astrononion</i>		<i>Astrononion</i> sp.
Globothalamea	Rotalida	Rotalida		Asthorhizoidea	Rhabdamminidae	Bathysiphoninae	<i>Bathysiphon</i>		<i>Bathysiphon filiformis</i> (Sars, 1872)
Globothalamea	Rotalida	Rotalida		Seroidea	Bolivinitidae	Bolivinitinae	<i>Bolivina</i>		<i>Bolivina</i> sp.
Globothalamea	Rotalida	Rotalida		Planorbuloidea	Cibicididae	Cibicidinae	<i>Bolivina</i>		<i>Bolivina pseudopunctata</i> (Höglund, 1947)
Globothalamea	Rotalida	Rotalida		Verneuilloidea	Cibicididae	Cibicidinae	<i>Cibicides</i>		<i>Cibicides refugens</i> (Montfort, 1808)
Globothalamea	Textularia	Lituoida	Verneuillina	Recurvoidea	Conotrochamminidae	Conotrochammininae	<i>Conotrochammina</i> sp.		<i>Conotrochammina</i> sp.
Globothalamea	Textularia	Lituoida	Lituolina	Recurvoidea	Ammosphaeroidinidae	Recurvulininae	<i>Cibrostomoides</i>		<i>Cibrostomoides jeffreysii</i> (Williamson, 1858)
Globothalamea	Textularia	Lituoida	Lituolina	Recurvoidea	Ammosphaeroidinidae	Recurvulininae	<i>Cibrostomoides</i>		<i>Cibrostomoides subglobosus</i> (Cushman, 1910)
Globothalamea	Textularia	Lituoida	Trochammina	Trochamminoidea	Trochamminidae	Ammosphaeroidininae	<i>Cystamina</i>		<i>Cystamina pauciloculata</i> (Brady, 1879)
Globothalamea	Textularia	Lituoida	Trochammina	Trochamminoidea	Trochamminidae	Polystomammininae	<i>Deuterammina</i>		<i>Deuterammina glabra</i> (Heron-Allen & Earland, 1932)
Globothalamea	Textularia	Lituoida	Trochammina	Trochamminoidea	Trochamminidae	Polystomammininae	<i>Deuterammina</i>		<i>Deuterammina grisea</i> (Earland, 1934)
Globothalamea	Textularia	Lituoida	Trochammina	Trochamminoidea	Trochamminidae	Polystomammininae	<i>Deuterammina</i>		<i>Deuterammina rotuliformis</i> (Heron-Allen & Earland, 1911)
Globothalamea	Textularia	Textularida	Textularina	Eggerelloidea	Eggerellidae	Eggerellinae	<i>Eggerella</i>		<i>Eggerella bradyi</i> (Cushman, 1911)
Globothalamea	Textularia	Textularida	Textularina	Eggerelloidea	Eggerellidae	Eggerellinae	<i>Eggerella</i>		<i>Eggerella minuta</i> (Wisner, 1931)
Globothalamea	Textularia	Lituoida	Verneuillina	Verneuilloidea	Proluxoplectidae	Eggerellinae	<i>Eggerelloides</i>		<i>Eggerelloides</i> sp.
Globothalamea	Rotalida	Rotalida	Seroidea	Discorbinoidea	Cassidulinidae	Ehrenberginae	<i>Ehrenbergina</i>		<i>Ehrenbergina crassa</i> (Heron-Allen & Earland, 1929)
Globothalamea	Rotalida	Rotalida		Polymorphinoidea	Pseudoparrellidae	Pseudoparrellinae	<i>Epistominella</i>		<i>Epistominella exigua</i> (Brady, 1884)
Foraminifera incertae sedis	Lagenida	Lagenida			Ellipsolagenidae	Ellipsolageninae	<i>Fissurina</i> sp.		<i>Fissurina</i> sp.
Globothalamea	Rotalida	Rotalida	Seroidea		Bolivitidae	Fusenkoninae	<i>Fusenkonina</i>		<i>Fusenkonina davisii</i> (Chapman & Parr, 1937)
Globothalamea	Rotalida	Rotalida	Seroidea		Bolivitidae	Fusenkoninae	<i>Fusenkonina</i>		<i>Fusenkonina</i> sp.
Foraminifera incertae sedis	Lagenida	Lagenida		Polymorphinoidea	Glandulinidae	Glandulininae	<i>Glandulina</i>		<i>Glandulina antarctica</i> (Parr, 1950)
Globothalamea	Rotalida	Rotalida	Globigerina	Globigerinoidea	Globigerinidae	Globigerininae	<i>Globigerina</i>		<i>Globigerina bulloides</i> (d'Orbigny, 1826)
Globothalamea	Rotalida	Rotalida	Globigerina	Globigerinoidea	Globigerinidae	Globigerininae	<i>Globigerina</i> sp.		<i>Globigerina</i> sp.
Globothalamea	Rotalida	Rotalida	Globigerina	Globorotalioidea	Globorotaliidae	Globigerininae	<i>Globigerina</i>		<i>Globigerina glutinata</i> (Egger, 1893)
Globothalamea	Rotalida	Rotalida	Globigerina	Globorotalioidea	Candeinidae	Globigerininae	<i>Globigerina</i>		<i>Globigerina uvula</i> (Ehrenberg, 1861)
Globothalamea	Rotalida	Rotalida	Globigerina	Seroidea	Cassidulinidae	Cassidulininae	<i>Globocassidulina</i>		<i>Globocassidulina biara</i> (Crespin, 1960)
Globothalamea	Rotalida	Rotalida	Seroidea	Seroidea	Cassidulinidae	Cassidulininae	<i>Globocassidulina</i>		<i>Globocassidulina crassa</i> (d'Orbigny, 1839)
Globothalamea	Rotalida	Rotalida	Seroidea	Seroidea	Cassidulinidae	Cassidulininae	<i>Globocassidulina</i> sp.		<i>Globocassidulina</i> sp.
Globothalamea	Spirillinida	Ammodiscina		Ammodiscoidea	Ammodiscidae	Ammodiscinae	<i>Glossospira</i>		<i>Glossospira charoides</i> (Jones & Parker, 1860)

Apêndice 3: axonomia Three Sisters (b)

TAXONOMY-3 SISTERS											
Class	Subclass	Order	Suborder	Superfamily	Family	Subfamily	Genus	Subgenus	Species		
Cyanophyta	Textularia	Lituolida	Lituolina	Lituoloidea	Haplophragmidae	Usbekistaninae	<i>Glomospira</i>		<i>Glomospira gordialis</i> (Jones & Parker, 1860)		
							<i>Haplophragmoides</i>		<i>Haplophragmoides canariensis</i> (d'Orbigny, 1839)		
							<i>Haplophragmidae</i>		<i>Haplophragmidae</i>		<i>Haplophragmidae</i> sp.
							<i>Hemisphaeramina</i>		<i>Hemisphaeramina</i>		<i>Hemisphaeramina</i> sp.
							<i>Hormosinidae</i>		<i>Hormosinidae</i>		<i>Hormosina robusta</i> (Pearcey, 1914)
							<i>Hormosinidae</i>		<i>Hormosinidae</i>		<i>Hormosina</i> sp.
							<i>Hormosinellidae</i>		<i>Hormosinellidae</i>		<i>Hormosinella guttifer</i> (Brady, 1881)
							<i>Hormosinellidae</i>		<i>Hormosinellidae</i>		<i>Hormosinella</i> sp.
							<i>Labrosira</i>		<i>Labrosira</i>		<i>Labrosira crassimargo</i> (Norman, 1892)
							<i>Lagenammia</i>		<i>Lagenammia</i>		<i>Lagenammia diffiliformis</i> (Brady, 1879)
							<i>Lagenammia</i>		<i>Lagenammia</i>		<i>Lagenammia</i> sp.
							<i>Lagenammia</i>		<i>Lagenammia</i>		<i>Lagenammia</i> (Rumbler, 1911)
							<i>Lepidoparatrochammina</i>		<i>Lepidoparatrochammina</i>		<i>Lepidoparatrochammina lepida</i> (Brönnimann & Whittaker, 1986)
							<i>Lepidoparatrochammina</i>		<i>Lepidoparatrochammina</i>		<i>Lepidoparatrochammina</i> sp.
							<i>Melonis</i>		<i>Melonis</i>		<i>Melonis</i> sp.
							<i>Milammia</i>		<i>Milammia</i>		<i>Milammia arenacea</i> (Chapman, 1916)
							<i>Milammia</i>		<i>Milammia</i>		<i>Milammia lata</i> (Heron-Allen & Earland, 1930)
							<i>Milammia</i>		<i>Milammia</i>		<i>Milammia</i> sp. (arredondada)
							<i>Neoglobaquadria</i>		<i>Neoglobaquadria</i>		<i>Neoglobaquadria pachyderma</i> (Ehrenberg, 1861)
							<i>Nodulina</i>		<i>Nodulina</i>		<i>Nodulina dentaliformis</i> (Brady, 1881)
<i>Nonion</i>		<i>Nonion</i>		<i>Nonion pacificum</i> (Cushman, 1924)							
<i>Nonion</i>		<i>Nonion</i>		<i>Nonion</i> sp.							
<i>Nonionella</i>		<i>Nonionella</i>		<i>Nonionella auricula</i> (Heron-Allen & Earland, 1930)							
<i>Nonionella</i>		<i>Nonionella</i>		<i>Nonionella auris</i> (d'Orbigny, 1839)							
<i>Nonionella</i>		<i>Nonionella</i>		<i>Nonionella</i> sp.							
<i>Orbulina</i>		<i>Orbulina</i>		<i>Orbulina</i>		<i>Orbulina</i> sp.					
<i>Parafissurina</i>		<i>Parafissurina</i>		<i>Parafissurina</i>		<i>Parafissurina</i> sp.					
<i>Portatrochammina</i>		<i>Portatrochammina</i>		<i>Portatrochammina</i>		<i>Portatrochammina antarctica subsp. antarctica</i> (Parr, 1950)					
<i>Portatrochammina</i>		<i>Portatrochammina</i>		<i>Portatrochammina</i>		<i>Portatrochammina eltaninae</i> Echols, 1971					
<i>Portatrochammina</i>		<i>Portatrochammina</i>		<i>Portatrochammina</i>		<i>Portatrochammina karica</i> (Shchedrina, 1946)					
<i>Portatrochammina</i>		<i>Portatrochammina</i>		<i>Portatrochammina</i>		<i>Portatrochammina</i> sp.					
<i>Psamosphaera</i>		<i>Psamosphaera</i>		<i>Psamosphaera</i>		<i>Psamosphaera fusca</i> (Schultze, 1875)					
<i>Psamosphaera</i>		<i>Psamosphaera</i>		<i>Psamosphaera</i>		<i>Psamosphaera parva</i> (Flint, 1899)					
<i>Pseudobolivina</i>		<i>Pseudobolivina</i>		<i>Pseudobolivina</i>		<i>Pseudobolivina antarctica</i> (Wiesner, 1931)					
<i>Pseudonodosinella</i>		<i>Pseudonodosinella</i>		<i>Pseudonodosinella</i>		<i>Pseudonodosinella nodulosa</i> (Brady, 1879)					
<i>Pseudotrochammina</i>		<i>Pseudotrochammina</i>		<i>Pseudotrochammina</i>		<i>Pseudotrochammina echolsi</i> (Brönnimann & Whittaker, 1988)					
<i>Pseudotrochammina</i>		<i>Pseudotrochammina</i>		<i>Pseudotrochammina</i>		<i>Pseudotrochammina</i> sp.					
<i>Pullenia</i>		<i>Pullenia</i>		<i>Pullenia</i>		<i>Pullenia bulboides</i> (d'Orbigny, 1846)					

Apêndice 4: Taxonomia Three Sisters (c)

TAXONOMY-3 SISTERS									
Class	Subclass	Order	Suborder	Superfamily	Family	Subfamily	Genus	Subgenus	Species
Globothalamea	Rotaliida			Nonionioidea	Nonionidae	Pulleninae	Pullenia		Pullenia sp.
Globothalamea	Rotaliida			Nonionioidea	Nonionidae	Pulleninae	Pullenia		Pullenia subcarinata (d'Orbigny, 1839)
Lubothalamea		Miliolia		Miliolioidae	Hauerinidae	Miliolinellinae	Pyrgo		Pyrgo sp.
Lubothalamea		Miliolia		Miliolioidae	Hauerinidae	Miliolinellinae	Quinqueloculina		Quinqueloculina sp.
Lubothalamea	Textularia	Utuloidea		Recurvuloidea	Recurvulidae	Hauerininae	Recurvidella		Recurvidella bradyi (Robertson, 1891)
Globothalamea	Textularia	Utuloidea		Recurvuloidea	Recurvulidae	Recurvulininae	Recurvoldes		Recurvoldes contatus (Earland, 1934)
Globothalamea	Textularia	Utuloidea		Homosinoidea	Reophaciade		Reopax		Reopax curtus (Cushman, 1920)
Globothalamea	Textularia	Utuloidea		Homosinoidea	Reophaciade		Reopax		Reopax duplex (Gryzbowski, 1896 †)
Globothalamea	Textularia	Utuloidea		Homosinoidea	Reophaciade		Reopax		Reopax fusiformis (Williamson, 1938)
Globothalamea	Textularia	Utuloidea		Homosinoidea	Reophaciade		Reopax		Reopax pilulifer (Brady, 1884)
Globothalamea	Textularia	Utuloidea		Homosinoidea	Reophaciade		Reopax		Reopax scorpiurus (Montfort, 1808)
Globothalamea	Textularia	Utuloidea		Homosinoidea	Reophaciade		Reopax		Reopax sp. (fragmento)
Monothalamea	Astrorhizida	Astrorhizina		Astrorhizoidea	Rhabdamminidae	Rhabdammininae	Rhabdammina		Rhabdammina sp.
Globothalamea	Rotaliida			Disarbioidea	Rosalinidae		Rosalina		Rosalina sp.
Globothalamea	Astrorhizida	Saccaminina		Saccaminioidea	Saccaminidae	Saccamininae	Saccamina		Saccamina sp.
Monothalamea	Astrorhizida	Saccaminina		Saccaminioidea	Saccaminidae	Saccamininae	Saccamina		Saccamina sphaerica (Brady, 1871)
Monothalamea	Astrorhizida	Saccaminina		Saccaminioidea	Saccaminidae	Saccamininae	Saccamina		Saccamina tubulata (Rumpler, 1931)
Globothalamea	Textularia	Utuloidea		Spiroplectamminoidea	Spiroplectaminidae	Spiroplectamininae	Spiroplectammina		Spiroplectammina bifurcata (Parker & Jones, 1865)
Globothalamea	Textularia	Utuloidea		Spiroplectamminoidea	Spiroplectaminidae	Spiroplectamininae	Spiroplectammina		Spiroplectammina filiformis Earland, 1934 †
Globothalamea	Rotaliida			Turrilinoidea	Stairforthiidae	Stairforthiinae	Stairforthia		Stairforthia fusiformis (Williamson, 1848)
Globothalamea	Textularia	Utuloidea		Homosinelloidea	Homosinellicidae		Subreopax		Subreopax aduncus (Brady, 1882)
Globothalamea	Textularia	Utuloidea		Homosinelloidea	Homosinellicidae		Subreopax		Subreopax sp.(Saidova, 1975)
Globothalamea	Textularia	Textulariida		Textularioloidea	Textulariidae	Textulariinae	Textularia		Textularia earlandi (Parker, 1952)
Globothalamea	Textularia	Textulariida		Textularioloidea	Textulariidae	Teex	Textularia		Textularia sp.
Globothalamea	Textularia	Textulariida		Textularioloidea	Textulariidae	Textulariinae	Textularia		Textularia wiesneri (Earland, 1933)
Monothalamea	Astrorhizida	Saccaminina		Saccaminioidea	Saccaminidae	Tholosinae	Tholosina		Tholosina sp.
Monothalamea	Astrorhizida	Saccaminina		Saccaminioidea	Saccaminidae	Thuramininae	Thurammia		Thurammia albicans (Brady, 1879)
Globothalamea	Astrorhizida	Saccaminina		Saccaminioidea	Saccaminidae	Thuramininae	Thurammia		Thurammia sp.
Lubothalamea	Spirillida	Ammodiscina		Ammodiscoidea	Ammodiscidae	Tolypammininae	Tolypammina		Tolypammina vagans (Brady, 1879)
Globothalamea	Rotaliida			Buliminioidea	Uvigerinidae	Angulogerinae	Trifarina		Trifarina sp
Globothalamea	Textularia	Utuloidea		Rzehakinoidea	Hauerinidae	Miliolinellinae	Trilocularena		Trilocularena sp.
Lubothalamea		Miliolia		Trochamminoidea	Trochamminidae	Trochammininae	Triloculina		Triloculina sp.
Globothalamea	Textularia	Utuloidea		Trochamminoidea	Trochamminidae	Trochammininae	Trochammia		Trochammia bullata (Takayanagi, 1960)
Globothalamea	Textularia	Utuloidea		Trochamminoidea	Trochamminidae	Trochammininae	Trochammia		Trochammia quadricamerata (Ehols, 1971)
Globothalamea	Textularia	Utuloidea		Trochamminoidea	Trochamminidae	Trochammininae	Trochammia		Trochammia quadricamerata (Ehols, 1971)
Globothalamea	Textularia	Utuloidea		Trochamminoidea	Trochamminidae	Trochammininae	Trochammia		Trochammia sp (degestada)/quebrada
Globothalamea	Textularia	Utuloidea		Trochamminoidea	Trochamminidae	Trochammininae	Trochammia		Trochammia squamata (Jones and Parker)
Globothalamea	Rotaliida			Buliminioidea	Uvigerinidae	Uvigerininae	Uvigerina		Uvigerina sp.
Globothalamea	Textularia	Utuloidea		Leptozoaemidoidea	Leptozoaemididae		Velerantzonides		Velerantzonides wiesneri (Darr, 1950)

Apêndice 5: Índices ecológicos e contagem de espécies em 3 Sisters A (a)

3SisA	Recente	(2-4 cm)	(6-8 cm)	(8-10 cm)	(12-14 cm)	(22-24 cm)	(26-28 cm)	(32-33 cm)
Fauna total	30	161	396	0	142	0	11	96
Volume analisado	60	60	60	15	20	0	30	30
Densidade/10cc	5,00	26,83	66,00	0,00	71,00	0,00	3,66	32,00
Riqueza	15	31	40	0	16	0	7	11
Shannon	2,227	2,601	2,775	0,000	1,700	0,000	1,894	1,484
Pielou	0,823	0,758	0,752	0,000	0,613	0,000	0,9732123	0,619
Simpson	0,158	0,127	0,090	0,000	0,361	0,000	0,149	0,339
Espécies aglutinantes	91,110	88,900	92,480	0,000	95,240	0,000	100,000	93,750
Espécies calcárias	8,890	11,110	7,520	0,000	4,760	0,000	0,000	6,250
Espécies de ambientes óxicos	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Espécies de ambientes sub-óxicos	100,000	43,310	74,970	0,000	92,130	0,000	0,000	0,000
Espécies de ambientes disóxicos	0,000	56,680	25,030	0,000	7,690	0,000	0,000	0,000
TAXA	Recente	(2-4 cm)	(6-8 cm)	(8-10 cm)	(12-14 cm)	(22-24 cm)	(26-28 cm)	(32-33 cm)
<i>Adercotryma glomeratum</i> (Brady, 1878)	3,330	8,122	0,728	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Ammobaculites</i> sp.	2,222	0,280	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Ammodiscus anguillae</i> (Höglund, 1947)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Ammodiscus incertus</i> (d'Orbigny, 1839)	2,222	3,361	0,243	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Ammoglobigerina pygmaea</i> (Höglund, 1947)	2,222	0,280	3,400	0,000	1,361	0,000	20,000	0,000
<i>Ammonia</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Angulogerina</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Astrammia rara</i> (Rhumbler, 1931)	0,000	0,560	0,243	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Astrononion echolsi</i> (Kennett, 1967)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Astrononion</i> sp.	0,000	0,560	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Bathysiphon filiformis</i> (Sars, 1872)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Bolivina</i> sp.	0,000	0,000	0,486	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Cibicides refulgens</i> (Montfort, 1808)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Cibicides</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Conotrochammina</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Cribrostomoides jeffreysii</i> (Williamson, 1858)	0,000	0,560	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Cribrostomoides subglobosus</i> (Cushman, 1910)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Cystammina pauciloculata</i> (Brady, 1879)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Deuterammina glabra</i> (Heron-Allen & Earland, 1932)	0,000	0,030	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Deuterammina grisea</i> (Earland, 1934)	16,550	31,339	9,678	0,000	3,404	0,000	0,000	0,000
<i>Deuterammina rotaliformis</i> (Heron-Allen & Earland, 1911)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Verneulina minuta</i> (Wiesner, 1931)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Eggerella bradyi</i> (Cushman, 1911)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Eggerelloides</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Ehrenbergina crassa</i> (Heron-Allen & Earland, 1929)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Epistominella exigua</i> (Brady, 1884)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Fissurina</i> sp.	0,000	0,000	0,243	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Fursenkoina davisi</i> (Chapman & Parr, 1937)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,681	0,000	0,000	1,042
<i>Fursenkoina</i> sp.	0,000	2,801	1,214	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Glandulina antarctica</i> (Parr, 1950)	0,000	0,000	0,243	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Globocassidulina bora</i> (Crespin, 1960)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Globocassidulina crassa</i> (d'Orbigny, 1839)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Globocassidulina</i> sp.	0,000	1,120	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Glomospira charoides</i> (Jones & Parker, 1860)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Glomospira gordialis</i> (Jones & Parker, 1860)	2,222	0,280	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Haplophragmoides canariensis</i> (d'Orbigny, 1839)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Haplophragmoides</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Hemisphaerammina</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Hormosina robusta</i> (Pearcey, 1914)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Hormosina</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Hormosinella guttifera</i> (Brady, 1881)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Hormosinella</i> sp.	2,222	2,241	1,699	0,000	0,000	0,000	0,000	1,042
<i>Labrospira crassimargo</i> (Norman, 1892)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Lagenammina difflugiformis</i> (Brady, 1879)	0,000	3,361	1,699	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Lagenammina</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Lagenammina laguncula</i> (Rhumbler, 1911)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Lepidoparatrochammina lepida</i> (Brönnimann & Whittaker, 1986)	0,000	0,000	10,438	0,000	8,169	0,000	20,000	0,000
<i>Melonis</i> sp.	0,000	0,000	0,486	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Miliammina arenacea</i> (Chapman, 1916)	0,000	6,723	22,087	0,000	59,700	0,000	9,999	53,120
<i>Miliammina lata</i> (Heron-Allen & Earland, 1930)	0,000	4,482	1,699	0,000	0,000	0,000	20,000	0,000

Apêndice 6: Índices ecológicos e contagem de espécies em 3 Sisters A (b)

3 SisA-TAXA	Recente	(2-4 cm)	(6-8 cm)	(8-10 cm)	(12-14 cm)	(22-24 cm)	(26-28 cm)	(32-33 cm)
<i>Miliammina</i> sp. 1 (arredondada)	0,000	1,120	0,243	0,000	0,000	0,000	0,000	2,083
<i>Miliammina</i> sp. 4 (pontuda)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Miliammina</i> sp.1 (juvenil)	0,000	0,000	0,000	0,000	3,404	0,000	0,000	1,042
<i>Miliammina</i> sp.2 (câmara diagonal)	0,000	0,000	0,243	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Miliammina</i> sp.3 (juvenil)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	24,997
<i>Miliammina</i> sp.3 (retangular)	0,000	0,560	2,428	0,000	1,361	0,000	0,000	4,166
<i>Miliammina</i> sp.não identificável (desgastadas e quebradas)	0,000	1,681	5,583	0,000	0,681	0,000	0,000	0,000
<i>Nodulina dentaliniformis</i> (Brady, 1881)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Nonion pacificum</i> (Cushman, 1924)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Nonion</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Nonionella auricula</i> (Heron-Allen & Earland, 1930)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Nonionella auris</i> (d'Orbigny, 1839)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Nonionella</i> sp.	4,444	0,460	0,000	0,000	4,084	0,000	0,000	5,208
<i>Parafissurina</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Paratrochammina</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Portatrochammina antarctica</i> subsp. wiesneri (Parr, 1950)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Portatrochammina eltaninae</i> (Echols, 1971)	0,000	0,050	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Portatrochammina karica</i> (Shchedrina, 1946)	0,000	0,030	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Portatrochammina</i> sp.	13,332	0,560	15,051	0,000	0,681	0,000	10,000	5,208
<i>Psamosphaera fusca</i> (Schultze, 1875)	0,000	1,681	0,486	0,000	0,000	0,000	0,000	1,042
<i>Psamosphaera parva</i> (Flint, 1899)	0,000	0,000	0,243	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Pseudobolivina antarctica</i> (Wiesner, 1931)	0,000	1,120	1,214	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Pseudonodosinella nodulosa</i> (Brady, 1879)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Pseudotrochammina echolsi</i> (Brönnimann & Whittaker, 1988)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Pseudotrochammina</i> sp.	0,000	0,000	0,243	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Pullenia bulloides</i> (d'Orbigny, 1846)	0,000	0,000	1,942	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Pullenia</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Pullenia subcarinata</i> (d'Orbigny, 1839)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Pyrgo</i> sp.	0,000	0,000	0,963	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Quinqueloculina</i> sp.	0,000	0,000	0,243	0,000	4,084	0,000	0,000	0,000
<i>Recurvoidella bradyi</i> (Robertson, 1891)	33,338	11,480	3,882	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010
<i>Recurvoides contortus</i> (Earland, 1934)	4,444	0,560	0,000	0,000	4,084	0,000	0,000	0,000
<i>Reophax curtus</i> (Cushman, 1920)	2,222	0,280	0,000	0,000	4,765	0,000	0,000	0,000
<i>Reophax duplex</i> (Grzybowski, 1896 †)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Reophax fusiformis</i> (Williamson, 1858)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Reophax pilulifer</i> (Brady, 1884)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Reophax scorpiurus</i> (Montfort, 1808)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Reophax</i> sp. (fragmento)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Rhabdammina</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Rosalina</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Sacammina</i> sp.	0,000	0,000	0,486	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Saccammina sphaerica</i> (Brady, 1871)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Saccammina tubulata</i> (Rhumbler, 1931)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Spiroplectammina biformis</i> (Parker & Jones, 1865)	0,000	1,681	0,971	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Spiroplectammina filiformis</i> (Earland, 1934)	0,000	0,000	0,000	0,000	1,361	0,000	0,000	0,000
<i>Stainforthia fusiformis</i> (Williamson, 1848)	0,000	0,000	0,728	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Subreophax aduncus</i> (Brady, 1882)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Subreophax</i> sp.(Saidova, 1975)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Textularia earlandi</i> (Parker, 1952)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Textularia</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Textularia wiesneri</i> (Earland, 1933)	0,000	0,000	0,728	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Tholosina</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	1,361	0,000	0,000	1,042
<i>Thurammina albicans</i> (Brady, 1879)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Thurammina</i> sp.	0,000	1,681	0,243	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Tolypammina vagans</i> (Brady, 1879)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Trifarina earlandi</i> (Parr, 1950)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Trilocularena</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Triloculina</i> sp.	0,000	0,000	0,243	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Trochammina bullata</i> (Takayanagi, 1960)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Trochammina quadricamerata</i> (Echols, 1971)	0,000	0,050	0,010	0,000	1,327	0,000	0,000	0,000
<i>Trochammina</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Trochammina</i> sp.(desgastada/quebrada)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Trochammina squamata</i> (Jones and Parker)	0,000	0,560	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Uvigerina</i> sp.	0,000	0,000	0,486	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Veleroninoides wiesneri</i> (Parr, 1950)	0,000	0,000	0,243	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Alogromiina não identificado	2,222	0,280	0,243	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Rotaliina não identificada	2,222	2,801	0,728	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Textulariina não identificado	6,666	7,283	7,525	0,000	0,000	0,000	20,000	0,000

Apêndice 7: Índices ecológicos e contagem de espécies em 3 Sisters B (a)

Apêndic 8: Contagem de espécies em 3 Sisters B (b)

[illegible]

Apêndice 9: Contagem de espécies em 3 Sisters B (c)

[illegible]

Apêndice 10: Granulometria e teores de CaCO₃ em Deception

ÁREA	Amostrat	PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DE FOLK & WARD (1967)					FAIXA GRANULOMÉTRICA (%)										Teor CaCO3 (%)				
		DIÂMETRO MÉDIO (e)	PADRÃO (e)	TMA	CURTOSIA	SÉRIOS	CASCALHO		M. GROSSO		ÁREIA (%)		PELÉTICOS		FINO/ GROSSO						
							GRÁVULO TOTAL	TOTAL	GROSSA	MÉDIA	FINA	MUITO FINE	TOTAL	ARGILA		TOTAL					
Furnace Bay	2013	FB1 teste	0,87	1,11	-0,47	2,76	0,00	7,84	9,47	32,66	37,28	11,68	1,08	92,16	0,00	0,00	9,51				
	2013	FB1	0,59	0,76	-1,03	4,05	0,00	5,45	9,39	50,74	34,13	0,28	0,01	94,55	0,00	0,00	10,89				
	2013	FB2	0,68	1,62	-0,09	1,70	0,00	21,48	14,83	17,08	17,88	24,05	4,68	78,52	0,00	0,00	15,91				
	2013	FB3	0,81	1,48	-0,41	2,02	0,00	18,26	14,83	21,01	25,86	21,43	4,00	81,74	0,00	0,00	21,22				
	2013	FB4	1,68	1,59	-0,77	2,42	0,00	9,88	8,17	10,00	16,22	33,42	22,30	90,12	0,00	0,00	15,16				
	2013	FB P5A	3,40	2,53	0,10	3,13	0,00	7,79	6,71	2,85	1,84	17,34	31,50	60,24	5,94	31,97	0,47				
	2013	FB P6 Rec	5,81	1,93	-0,05	2,76	0,00	0,21	0,15	0,46	0,81	4,19	12,60	18,20	14,57	81,59	4,43				
	2013	FB P6(0-2)	5,63	1,82	0,14	2,76	0,00	0,11	0,11	0,14	0,15	0,81	3,84	14,78	19,72	10,91	80,16	4,04			
	2013	FB P6(2-4)	5,65	1,96	-0,19	3,16	0,00	0,54	0,54	0,22	0,51	1,33	5,11	12,50	19,68	12,21	79,78	3,95			
	2013	FB P6(4-6)	5,52	1,80	0,08	2,88	0,00	0,09	0,09	0,15	0,24	1,07	6,76	12,55	20,77	9,58	79,15	3,80			
	2013	FB P6(6-8)	5,57	1,96	0,07	2,53	0,00	0,02	0,02	0,12	0,52	2,00	6,84	12,24	21,72	12,68	78,26	3,60			
	2013	FB P6(8-10)	5,35	1,88	0,14	2,62	0,00	0,00	0,00	0,17	0,39	1,68	9,20	14,16	25,60	8,84	74,40	2,91			
	2013	FB P6(10-12)	5,19	1,99	0,14	2,50	0,00	0,00	0,00	0,05	0,75	5,60	9,98	14,05	29,43	9,06	70,57	2,40			
	2013	FB P6(12-14)	5,28	2,03	0,15	2,56	0,00	0,28	0,28	0,19	0,44	1,09	12,89	14,32	29,53	10,81	70,19	2,35			
	2013	FB P7 Rec	4,51	2,09	0,21	3,22	0,00	1,01	0,44	1,72	3,65	17,05	21,17	44,04	6,67	54,95	1,22	12,79	1,22		
	2013	FB P7(0-2)	4,52	2,10	0,35	2,91	0,00	0,55	0,65	0,67	1,53	5,20	16,71	21,38	45,49	7,17	53,96	1,17	19,25	1,17	
DECEPTION	2013	FB P7(2-4)	4,36	2,18	0,39	2,78	0,00	0,61	0,61	0,78	2,21	7,34	19,36	20,22	49,91	7,08	49,48	0,98	22,50	0,98	
	2013	FB P7(4-6)	4,49	2,23	0,00	3,08	0,00	2,03	2,03	1,09	2,26	5,00	13,41	20,26	42,02	6,82	55,94	1,27	17,52	1,27	
	2013	FB P7(6-8)	4,22	2,92	-0,59	2,76	0,00	10,82	10,82	3,23	1,20	4,03	4,90	13,41	26,77	7,40	62,41	1,66	19,86	1,66	
	2013	FB P7(8-10)	4,72	2,20	-0,07	3,03	0,00	1,21	1,21	0,99	3,29	4,56	8,01	19,85	36,70	7,54	62,09	1,64	17,00	1,64	
	2013	FB P8	3,35	2,42	-0,12	3,18	0,00	8,96	8,96	5,70	2,92	1,54	16,32	29,65	56,13	3,79	34,90	0,54	12,50	0,54	
	2013	FB P9	3,49	2,00	0,06	4,72	0,00	4,14	4,14	2,26	1,96	1,56	29,93	29,70	65,41	3,06	30,46	0,44	10,19	0,44	
	2013	FB 2014(0-2)	5,77	1,76	0,29	3,10	0,00	0,14	0,14	0,17	0,20	0,37	1,30	8,60	10,64	13,86	89,22	8,28	16,40	8,28	
	2013	FB 2014(2-4)	5,68	1,60	0,02	3,89	0,00	0,21	0,21	0,19	0,28	0,26	2,37	6,54	9,64	7,71	90,16	9,16	17,59	9,16	
	2013	FB 2014(4-6)	5,55	1,84	-0,17	3,98	0,00	0,56	0,56	0,47	0,49	0,60	2,19	13,42	17,17	10,01	82,27	4,64	16,50	4,64	
	2013	FB 2014(6-8)	5,67	1,81	0,56	3,09	0,00	0,19	0,19	0,05	0,20	0,32	1,88	6,38	8,83	16,49	90,98	10,09	15,29	10,09	
	2013	FB 2014(8-10)	5,31	1,53	0,33	3,89	0,00	0,16	0,16	0,08	0,38	0,54	1,25	12,73	14,99	5,39	84,85	5,60	15,80	5,60	
	2013	FB 2014(10-12)	5,26	1,03	-0,99	7,65	0,00	0,22	0,22	0,11	0,10	0,19	1,22	4,15	5,77	0,00	94,01	15,70	14,76	14,76	
	Whalers Bay	2013	WB P1 Rec	5,07	1,90	0,05	4,03	0,00	1,02	1,02	0,31	0,24	0,77	6,34	21,82	29,48	8,20	69,50	2,28	11,30	2,28
		2013	WB P1(0-2)	5,02	1,88	0,22	3,50	0,00	0,40	0,40	0,24	1,55	0,79	6,38	20,95	29,91	8,35	69,69	2,30	14,54	2,30
		2013	WB P1(2-4)	4,76	2,47	-0,46	3,27	0,00	3,86	3,86	0,26	3,23	6,36	8,13	7,33	25,30	9,36	70,83	2,43	9,17	9,17
		2013	WB P1(4-6)	4,71	2,04	0,20	3,59	0,00	1,29	1,29	0,65	0,64	3,26	11,38	20,68	36,60	8,84	62,11	1,64	8,64	8,64
2013		WB P1(6-8)	5,09	1,98	0,04	3,46	0,00	0,90	0,90	0,53	0,48	1,90	6,89	19,37	29,16	9,05	69,94	2,33	9,89	2,33	
2013		WB P1(8-10)	5,51	1,84	0,19	3,02	0,00	0,29	0,29	0,15	0,21	0,64	4,39	14,57	19,97	10,81	79,75	3,94	10,45	3,94	
2013		WB P1(10-12)	5,40	1,94	0,14	3,02	0,00	0,43	0,43	0,18	0,41	1,11	5,96	15,68	23,33	11,57	76,23	3,21	8,85	3,21	
2013		WB P2 Rec	4,10	2,75	-0,45	2,82	0,00	11,17	11,17	2,93	1,36	1,82	7,39	19,14	32,64	6,94	56,18	1,28	13,01	1,28	
2013		WB P2(0-2)	3,08	3,27	-0,28	2,01	0,00	25,32	25,32	1,04	1,11	2,28	7,82	16,85	29,11	5,03	45,57	0,84	13,98	0,84	
2013		WB P2(2-4)	4,15	2,71	-0,61	3,34	0,00	10,33	10,33	1,14	0,84	1,53	9,74	19,87	33,11	6,69	56,56	1,30	12,83	1,30	
2013		WB P2(4-6)	4,52	2,50	-0,76	3,97	0,00	7,33	7,33	0,82	1,20	1,18	6,53	17,96	27,67	6,94	65,00	1,86	10,58	1,86	
2013		WB P2(6-8)	5,07	1,98	0,18	3,26	0,00	0,00	0,00	1,41	0,66	1,15	7,77	19,48	30,48	9,73	69,52	2,28	8,35	2,28	
2013		WB P2(8-10)	4,31	2,82	-0,64	3,27	0,00	11,23	11,23	0,56	0,64	1,66	6,86	17,56	27,29	9,08	61,48	1,60	9,95	1,60	
2013		WB P2(10-12)	4,54	2,56	-0,79	4,03	0,00	8,57	8,57	0,19	0,24	0,65	6,01	19,51	26,60	7,57	64,84	1,84	10,53	1,84	
2013		WB P3	0,57	1,91	0,02	1,46	0,00	32,57	32,57	7,84	13,59	11,51	25,71	8,78	67,43	0,00	0,00	8,66	8,66	0,00	8,66
2013		WB P4	0,63	1,06	-1,06	3,07	0,00	12,33	12,33	9,21	26,37	52,08	0,00	0,00	87,67	0,00	0,00	13,70	13,70	0,00	13,70
2013	WB P4b	2,35	1,31	-1,02	3,65	0,00	2,62	2,62	1,27	9,61	17,97	23,91	36,42	89,19	0,00	8,19	0,09	11,10	0,09	11,10	
2013	WB P4b	1,07	1,32	-0,47	2,47	0,00	8,91	8,91	14,83	23,71	24,27	25,04	3,23	91,09	0,00	0,00	14,87	14,87	0,00	14,87	

Apêndice 11: Taxonomia dos foraminíferos de Deception (a)

[illegible]

Apêndice 12: Taxonomia dos foraminíferos de Deception (b)

TAXONOMY-DECEPTION							
Class	Subclass	Order	Suborder	Superfamily	Family	Subfamily	
						Genus	
						Subgenus	
						Species	
Tubothalamea		Miliolida	Miliolina	Milioloidea	Haueriidae	Miliolinellinae	<i>Miliolinella subrotunda</i> (Montagu, 1803)
Globothalamea	Textularia	Utuolida	Spiroplectamminina	Spiroplectamminoidea	Spiroplectamminidae	Moruleapectinae	<i>Moruleapecta</i> sp.
Globothalamea	Textularia	Utuolida	Hormosinina	Hormosinoidea	Reophaciidae	Nodulina	<i>Nodulina dentaliformis</i> (Brady, 1881)
Globothalamea		Rotalida		Nonionioidea	Nonionidae	Nonionella	<i>Nonionella bradii</i> (Chapman, 1917)
Globothalamea		Rotalida		Nonionioidea	Nonionidae	Nonionella	<i>Nonionella</i> sp.
Foraminifera incertae sedis		Lagenida		Polymorphinoidea	Ellipsolagenidae	Oolininae	<i>Oolina scalariformesulcata</i> (Wiesner, 1931)
Foraminifera incertae sedis		Lagenida		Polymorphinoidea	Ellipsolagenidae	Oolininae	<i>Oolina</i> sp.
Globothalamea		Rotalida	Globigerinina	Globigerinoidea	Globigerinidae	Orbulininae	<i>Orbulina</i> sp.
Foraminifera incertae sedis		Lagenida		Polymorphinoidea	Ellipsolagenidae	Parafissurininae	<i>Parafissurina fusiformis</i> (Wiesner, 1931)
Foraminifera incertae sedis		Lagenida		Polymorphinoidea	Ellipsolagenidae	Parafissurininae	<i>Parafissurina lateralis f. simplex</i> (Buchner, 1940)
Foraminifera incertae sedis		Lagenida		Polymorphinoidea	Ellipsolagenidae	Parafissurininae	<i>Parafissurina pseudomarginata</i> (Buchner, 1940)
Foraminifera incertae sedis		Lagenida		Polymorphinoidea	Ellipsolagenidae	Parafissurininae	<i>Parafissurina quadrata</i> (Parr, 1950)
Globothalamea		Rotalida		Planorbuloidea	Planorbulinidae	Planorbulina	<i>Planorbulina variabilis</i> (d'Orbigny, 1826)
Monothalamea		Astrotrorhizida	Saccamminina	Psammospaeroidea	Psammospaeridae	Psammospaera	<i>Psammospaera fusca</i> (Schultze, 1875)
Globothalamea	Textularia	Utuolida	Spiroplectamminina	Spiroplectamminoidea	Pseudobolivinae	Pseudobolovina	<i>Pseudobolovina antarctica</i> (Wiesner, 1931)
Globothalamea		Rotalida		Nonionioidea	Nonionidae	Pulleninae	<i>Pullenia subcarinata</i> (d'Orbigny, 1839)
Tubothalamea		Miliolida	Miliolina	Milioloidea	Haueriidae	Hauerininae	<i>Quinqueloculina seminula</i> (Linnaeus, 1758)
Tubothalamea		Miliolida		Milioloidea	Haueriidae	Hauerininae	<i>Quinqueloculina</i> sp.
Globothalamea	Textularia	Utuolida	Lituolina	Recurvuloidea	Ammosphaeroidinidae	Recurvoldinae	<i>Recurvoldella bradyi</i> (Robertson, 1891)
Globothalamea	Textularia	Utuolida	Hormosinina	Hormosinoidea	Reophaciidae	Reophax	<i>Reophax fusiformis</i> (Williamson, 1858)
Globothalamea	Textularia	Utuolida	Hormosinina	Hormosinoidea	Reophaciidae	Reophax	<i>Reophax pilulifer</i> (Brady, 1884)
Globothalamea	Textularia	Utuolida	Hormosinina	Hormosinoidea	Reophaciidae	Reophax	<i>Reophax</i> sp.
Globothalamea		Rotalida		Disorbuloidea	Rosalinidae	Rosalina	<i>Rosalina globularis</i> (d'Orbigny, 1826)
Monothalamea		Astrotrorhizida	Saccamminina	Saccamminoidea	Saccamminidae	Saccammina	<i>Saccammina</i> sp.
Globothalamea	Textularia	Utuolida	Spiroplectamminina	Spiroplectamminoidea	Spiroplectamminidae	Spiroplectammininae	<i>Spiroplectammina bifurcata</i> (Parker & Jones, 1865)
Globothalamea	Textularia	Utuolida	Spiroplectamminina	Spiroplectamminoidea	Spiroplectamminidae	Spiroplectammininae	<i>Spiroplectammina filiformis</i> (Earland, 1934)
Globothalamea		Rotalida		Turrilinoidea	Stainforthiidae	Stainforthia	<i>Stainforthia fusiformis</i> (Williamson, 1848)
Globothalamea	Textularia	Textulariida	Textularina	Textularioides	Textulariidae	Textularia	<i>Textularia agglutinans</i> (d'Orbigny, 1839)
Globothalamea	Textularia	Textulariida	Textularina	Textularioides	Textulariidae	Textularia	<i>Textularia antarctica</i> (Wiesner, 1931)
Globothalamea	Textularia	Textulariida	Textularina	Textularioides	Textulariidae	Textularia	<i>Textularia earlandi</i> (Parker, 1952)
Globothalamea	Textularia	Textulariida	Textularina	Textularioides	Textulariidae	Textularia	<i>Textularia nitens</i> (Earland, 1933)
Monothalamea		Astrotrorhizida	Saccamminina	Saccamminoidea	Saccamminidae	Thurammininae	<i>Thurammina antarctica</i> (Saidova, 1975)
Monothalamea		Astrotrorhizida	Saccamminina	Saccamminoidea	Saccamminidae	Thurammininae	<i>Thurammina</i> sp.
Globothalamea		Rotalida		Bulminioidea	Uvigerinidae	Uvigerininae	<i>Trifarina angulosa</i> (Williamson, 1858)
Globothalamea	Textularia	Utuolida	Trochamminina	Trochamminoidea	Trochamminidae	Trochammininae	<i>Trifarina</i>
Globothalamea	Textularia	Utuolida	Trochamminina	Trochamminoidea	Trochamminidae	Trochammininae	<i>Trochammina malloensis</i> (Heron-Allen & Earland, 1929)
Globothalamea	Textularia	Utuolida	Trochamminina	Trochamminoidea	Trochamminidae	Trochammininae	<i>Trochammina</i> sp. 1
Globothalamea	Textularia	Utuolida	Trochamminina	Trochamminoidea	Trochamminidae	Trochammininae	<i>Trochammina</i> sp.2
Globothalamea		Rotalida		Bulminioidea	Uvigerinidae	Uvigerininae	<i>Uvigerina peregrina</i> (Cushman, 1923)

Apêndice 13: Índices ecológicos e contagens das espécies dos foraminíferos de águas rasas em Fumarole Bay

[illegible]

253

[illegible]

Apêndice 15: Índices ecológicos e contagens de espécies em FB06 (b)

FB06	FB06 Recent			FB06 (0-2)			FB06 (2-4)			FB06 (4-6)			FB06 (6-8)			FB06 (8-10)			FB06 (10-12)			FB06 (12-14)		
	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total
<i>Milammina earlandi</i> (Loeblich & Pappan, 1955)	0.735	0.568	0.641	0.000	1.186	0.860	0.000	0.870	0.676	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.364	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Milammina lata</i> (Heron-Alten & Earland, 1930)	0.000	0.000	0.000	1.042	0.395	0.573	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.431	0.364	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.081	1.031
<i>Milammina obliqua</i> (Heron-Alten & Earland, 1930)	0.000	8.523	4.808	0.000	7.115	5.158	0.000	2.609	2.027	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.862	0.727	0.000	0.000	0.000	0.000	25.472	0.000	16.215	15.465
<i>Milammina</i> sp.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.065	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	26.471	0.000	0.000	0.000
<i>Milialinaella subrotunda</i> (Montagu, 1803)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Morulaepecta</i> sp.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.395	0.287	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Nadulina dentaliniformis</i> (Brady, 1881)	2.941	2.273	2.564	0.000	1.186	0.860	0.000	4.348	3.378	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.724	1.455	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Nonionella dentaliniformis</i> (Brady, 1881)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Nonionella bradii</i> (Chapman, 1917)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Nonionella</i> sp.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Oolina scalariformisculata</i> (Wiesner, 1931)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.862	0.727	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Oolina</i> sp.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Parafissurina fusiformis</i> (Wiesner, 1931)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.862	0.727	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Parafissurina lateralis</i> f. simplex (Buchner, 1940)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.862	0.727	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Parafissurina pseudomarginata</i> (Buchner, 1940)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.862	0.727	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Parafissurina quadrata</i> (Parr, 1950)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Planorbulina variabilis</i> (d'Orbigny, 1826)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Parnassiphaera fusca</i> (Schulze, 1875)	0.000	1.705	0.962	0.000	1.186	0.860	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.862	0.727	0.000	0.503	0.422	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Pseudobolivina antarctica</i> (Wiesner, 1931)	5.147	3.977	4.487	4.167	1.976	2.579	0.000	0.870	0.676	6.452	4.065	4.332	30.233	0.000	4.727	5.263	11.558	10.549	19.608	19.811	0.000	13.514	0.000	12.887
<i>Pullenia subcarinata</i> (d'Orbigny, 1839)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.431	0.364	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Quinqueloculina seminula</i> (Linnaeus, 1758)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.431	0.364	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Quinqueloculina</i> sp.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.431	0.364	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Recuvolella bradyi</i> (Robertson, 1891)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Reophax fusiformis</i> (Williamson, 1858)	1.471	1.136	1.282	3.125	1.186	1.719	0.000	4.347	3.378	0.000	1.626	1.444	0.000	0.000	3.448	2.909	0.000	2.513	2.110	0.000	0.980	0.000	0.541	0.515
<i>Reophax plulfer</i> (Brady, 1884)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.431	0.364	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Reophax</i> sp.	0.000	0.568	0.321	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.980	0.000	0.000	0.000
<i>Rosalina globularis</i> (d'Orbigny, 1826)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.980	0.000	0.000	
<i>Saccammima sphaerica</i> (Brady, 1871)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.431	0.364	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Spiroplectammima bifurcata</i> (Parker & Jones, 1865)	0.000	1.705	0.962	0.000	5.929	4.298	0.000	8.696	6.757	0.000	0.000	4.651	5.172	5.091	5.091	5.091	5.091	5.091	3.922	3.774	0.000	4.324	0.000	4.124
<i>Spiroplectammima filiformis</i> (Earland, 1934)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.395	0.287	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Stalorthis fusiformis</i> (Williamson, 1848)	0.735	1.136	0.962	4.167	0.000	1.146	0.000	0.870	0.676	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.293	1.091	0.000	4.523	3.797	0.000	0.980	0.000	3.784	3.608
<i>Textularia agglutinans</i> (d'Orbigny, 1839)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Textularia antarctica</i> (Wiesner, 1931)	0.735	2.841	1.923	0.000	0.395	0.287	0.000	1.739	1.351	0.000	0.813	0.722	0.000	0.000	0.862	0.727	0.000	0.000	0.000	0.000	3.922	0.000	0.000	0.000
<i>Textularia earlandi</i> (Parker, 1952)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Textularia nitens</i> (Earland, 1933)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.703	2.577
<i>Thurammima antarctica</i> (Saidova, 1975)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Thurammima</i> sp.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Trifarina angulosa</i> (Williamson, 1858)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Trachammima madoensis</i> (Heron Allen & Earland, 1929)	55.147	57.386	56.410	55.208	57.708	57.020	90.164	48.696	58.108	80.645	60.976	63.177	41.860	22.414	24.455	68.421	34.171	39.669	75.000	5.882	8.491	22.222	1.622	2.577
<i>Trachammima</i> sp. 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	55.556	42.162	42.784
<i>Trachammima</i> sp. 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Uvigerina peregrina</i> (Cushman, 1923)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.431	0.364	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Espécies calcárias sem identificação	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Espécies aglutinantes sem identificação	0.000	0.000	0.000	0.000	1.581	1.146	0.000	0.000	0.000	0.000	1.626	1.444	0.000	0.000	0.000									

Apêndice 16: Índices ecológicos e contagens de espécies em FB07 (a)

FB07	FB07 Recent			FB07 (0-2 cm)			FB07 (2-4 cm)			FB07 (4-6 cm)			FB07 (6-8 cm)			FB07 (8-10 cm)			FB07 (10-12 cm)		
	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total
Fauna total	89	306	395	40	352	392	96	424	520	50	192	242	98	156	254	153	288	441	1	191	192
Volume analisado	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	10	10	10
Densidade/10cc	89,00	306,00	395,33	40,00	352,00	392,00	96,00	424,00	520,00	50,27	191,53	242,47	195,00	311,67	306,67	306,67	576,00	882,67	0,67	191,33	192,00
Riqueza	5	15	16	7	16	16	8	17	17	11	17	22	14	17	19	12	22	22	1	13	13
Simpson	0,360	0,720	0,761	0,790	0,781	0,788	0,484	0,781	0,774	0,575	0,788	0,778	0,720	0,786	0,768	0,688	0,803	0,779	0,000	0,706	0,708
Shannon	0,714	1,764	1,821	1,709	1,810	1,851	1,147	1,856	1,850	1,434	1,925	1,956	1,688	1,973	1,920	1,561	2,128	2,021	0,000	11,515	1,528
Pielou	0,444	0,668	0,672	0,878	0,688	0,684	0,552	0,630	0,628	0,594	0,643	0,608	0,658	0,629	0,604	0,628	0,639	0,607	0,000	0,610	0,615
Espécies aglutinantes	17,91	90,20	73,86	90,00	86,93	87,24	95,83	98,37	98,72	89,66	98,64	96,78	98,29	96,26	97,04	91,30	91,20	91,24	0,00	99,65	99,31
Espécies calcárias	82,09	9,80	26,14	30,00	13,07	12,76	4,17	0,63	1,28	30,34	1,36	3,22	1,71	3,74	2,96	8,70	8,80	8,76	100,00	0,35	0,69
Espécies óxícas	0,00	0,00	7,14	1,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,29	0,00	25,00	16,67	20,00	16,67	18,18	100,00	100,00	100,00
Espécies sub-óícas	100,00	92,86	98,03	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	83,33	100,00	85,71	100,00	75,00	83,33	80,00	50,00	63,64	0,00	0,00	0,00
Espécies díscóícas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,33	18,18	0,00	0,00	0,00
Taxa	FB07 Recent			FB07 (0-2 cm)			FB07 (2-4 cm)			FB07 (4-6 cm)			FB07 (6-8 cm)			FB07 (8-10 cm)			FB07 (10-12 cm)		
<i>Adercorymba glomeratum</i> (Brady,1878)	0,000	1,307	1,012	10,000	0,568	1,531	2,778	0,314	0,769	1,724	1,810	1,787	0,855	0,535	0,788	1,739	0,926	1,208	0,000	1,394	1,389
<i>Annadiscus incertus</i> (d'Orbigny, 1839)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,463	0,302	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Angulogerina</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Anomalina</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,463	0,302	0,000	0,000	0,000
<i>Astacolus hyalarius</i> (Loeblich & Tappan, 1953)	0,000	0,654	0,506	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,535	0,329	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Astacolus</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Astrorion echolsi</i> (Kennett, 1957)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,452	0,357	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Astrorion stelligerum</i> (d'Orbigny, 1839)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,463	0,302	0,000	0,000	0,000
<i>Balinella pacifica</i> (Cushman & McCulloch, 1942)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,535	0,329	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Balinella pseudopunctata</i> (Höglund, 1947)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Bulinina aculeata</i> (d'Orbigny, 1826)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,535	0,329	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Bulinina</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,535	0,329	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Cassidulinades parkeriana</i> (Brady, 1881)	78,558	3,922	20,742	5,000	11,364	10,714	4,167	0,314	1,036	5,172	4,452	1,430	0,855	1,070	0,986	0,870	0,926	0,906	0,000	0,000	0,000
<i>Cassidulinades parveta</i> (Heron-Allen & Earland, 1932)	1,493	4,575	3,879	5,000	0,568	1,020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,463	0,302	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Cassidulinoides</i> sp.	2,239	0,000	0,506	0,000	1,136	1,020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,926	2,417	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Cibicides lobatulus</i> (Walker and Jacob, 1878)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,463	0,302	0,000	0,000	0,000
<i>Cibicides refugens</i> (Montfort, 1808)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,463	0,302	0,000	0,000	0,000
<i>Cibicides jeffreysi</i> (Williamson, 1858)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,452	0,357	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Cibicides alba</i> (Heron-Allen & Earland, 1932)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,657	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Discarbia berthelot</i> (d'Orbigny, 1839)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,769	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Eggerella minuta</i> (Wiesner, 1931)	0,000	2,614	2,024	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Epistominella exigua</i> (Brady, 1884)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,568	0,510	0,000	0,943	0,769	0,000	0,905	0,715	4,274	5,348	4,928	0,870	3,241	2,417	0,000	1,742	1,736
<i>Fusulinella earlandi</i> (Cushman, 1936)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,452	0,357	0,000	0,000	0,000	0,000	1,852	1,208	0,000	0,000	0,000
<i>Globocassidulina bica</i> (Crespin, 1960)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Globocassidulina crassa</i> (d'Orbigny, 1839)	0,000	0,654	0,506	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,724	0,000	0,357	0,000	0,535	0,329	1,739	0,926	1,208	100	0,348	0,694
<i>Globocassidulina</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Globocassidulina subglobosa</i> (Brady, 1881)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Glogulmina</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Giomospira goralis</i> (Jones & Parker, 1860)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,314	0,256	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Hemiphaedrammina bradyi</i> (Loeblich & Tappan, 1957)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Hippocrepinella triadinea</i> (Heron-Allen & Earland, 1932)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Lagena</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Lagenaminina diffugiiformis</i> (Brady, 1879)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,275	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Lepadoparacrammina lepidata</i> (Brönnimam & Whittaker, 1986)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Lepadodeteraminina achracea</i> (Williamson, 1858)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,452	0,357	0,855	1,070	0,986	0,870	0,926	0,463	0,604	0,697	0,694
<i>Milammina arenacea</i> (Chapman, 1916)	0,000	1,307	1,012	25,000	18,182	18,878	2,778	14,151	12,051	5,172	9,050	8,221	4,274	11,765	8,870	10,648	9,063	0,000	10,801	10,764	10,764
<i>Milammina earlandi</i> (Loeblich & Tappan, 1955)	0,000	0,000	0,000	5,000	0,568	1,020	0,000	0,629	0,513	1,724	0,000	0,357	0,000	0,535	0,329	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Apêndice 17: Índices ecológicos e contagens de espécies em FB07 (b)

Taxa	FB07 Recent			FB07 (0-2 cm)			FB07 (2-4 cm)			FB07 (4-6 cm)			FB07 (6-8 cm)			FB07 (8-10 cm)			FB07 (10-12 cm)		
	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total
<i>Millammina lata</i> (Heron-Allen & Earland, 1930)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	4,514
<i>Millammina obliqua</i> (Heron-Allen & Earland, 1930)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,314	0,256	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Millammina</i> sp.	0,000	15,033	11,636	0,000	14,773	13,265	0,000	8,805	7,179	0,000	9,502	7,506	0,000	0,000	0,000	0,000	6,018	3,938	0,000	0,000	0,000
<i>Milaidinella subrotunda</i> (Montagu, 1803)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Morulaeplecta</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,452	0,357	0,000	0,535	0,329	0,000	0,463	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Nadulinella dentaliformis</i> (Brady, 1881)	0,000	0,000	0,000	1,705	1,531	1,531	4,167	6,629	1,282	1,724	0,905	1,072	0,000	0,000	0,000	0,000	0,463	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Nonionella bradii</i> (Chapman, 1917)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Nonionella</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Oolina scalariformesulcata</i> (Wiesner, 1931)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,452	0,357	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Oolina</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,314	0,256	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Parafissurina fusiformis</i> (Wiesner, 1931)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Parafissurina lateralis</i> f. simplex (Buchner, 1940)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,463	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Parafissurina pseudomarginata</i> (Buchner, 1940)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,463	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Parafissurina quadrata</i> (Parr, 1950)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Planorbulina variabilis</i> (d'Orbigny, 1826)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Parnosphera fusca</i> (Schultze, 1875)	0,000	0,000	0,000	0,568	0,510	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Pseudobulimina antarctica</i> (Wiesner, 1931)	0,000	3,922	3,035	0,000	0,568	0,510	2,778	6,629	1,026	1,724	0,000	0,357	6,838	2,674	4,271	5,217	1,389	2,719	0,000	0,000	0,347
<i>Pullenia subcarinata</i> (d'Orbigny, 1839)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Quinqueloculina seminula</i> (Linnaeus, 1758)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Quinqueloculina</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Recurvaidelta bradyi</i> (Robertson, 1891)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Reophax fusiformis</i> (Williamson, 1858)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,887	1,538	0,000	1,810	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Reophax pilulifer</i> (Brady, 1884)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Reophax</i> sp.	0,000	1,961	1,518	0,000	0,000	0,000	0,000	0,943	0,769	0,000	0,452	0,357	0,000	0,535	0,329	0,000	0,463	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Rosalina globularis</i> (d'Orbigny, 1826)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Saccammina sphaerica</i> (Brady, 1871)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,452	0,357	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Spirallectammina bifurmis</i> (Parker & Jones, 1865)	2,239	12,418	10,118	20,000	10,227	11,224	4,167	7,862	7,179	5,172	8,597	7,864	5,128	9,626	7,884	1,739	6,481	4,834	0,000	0,000	4,167
<i>Spirallectammina filiformis</i> (Earland, 1934)	0,000	0,654	0,506	0,000	0,000	0,000	0,000	0,314	0,256	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Stainforthia fusiformis</i> (Williamson, 1848)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,715	0,855	0,657	0,870	0,463	0,604	0,000	0,000	0,000
<i>Textularia agglutinans</i> (d'Orbigny, 1839)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,314	0,256	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Textularia antarctica</i> (Wiesner, 1931)	0,000	1,961	1,518	0,000	0,568	0,510	0,000	1,572	1,282	0,000	1,357	1,072	2,564	0,535	1,314	0,000	0,463	0,302	0,000	0,348	0,347
<i>Textularia earlandi</i> (Parker, 1952)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,463	0,302	0,000	0,000	0,000
<i>Textularia nitens</i> (Earland, 1933)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Thurammina antarctica</i> (Sadova, 1975)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Thurammina</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Trifarina angulosa</i> (Williamson, 1858)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Trichammina malowensis</i> (Heron Allen & Earland, 1929)	15,672	47,712	40,472	30,000	36,364	35,714	70,833	23,899	32,564	63,793	27,602	35,029	44,444	35,755	38,445	47,826	25,100	32,481	0,000	0,000	36,806
<i>Trichammina</i> sp. 1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	8,333	35,222	30,258	8,621	31,676	26,810	25,641	25,129	25,394	26,957	32,870	30,816	0,000	0,000	36,585
<i>Trichammina</i> sp. 2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,452	0,357	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Uvigerina peregrina</i> (Cushman, 1923)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Espécies calcárias sem identificação	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Espécies aglutinantes sem identificação	0,000	1,307	1,012	0,000	1,705	1,551	0,000	0,629	0,513	0,000	2,262	1,787	0,855	0,000	0,329	0,000	1,389	0,906	0,000	1,394	1,389

Apêndice 18: Índices ecológicos e contagens de espécies em FB2014 (a)

[illegible]

Apêndice 19: Índices ecológicos e contagens de espécies em FB2014 (b)

[illegible]

Apêndice 20: Índices ecológicos e porcentagens de espécies em WB05 e WB01 (a)

[illegible]

Apêndice 21: Índices ecológicos e porcentagens de espécies em WB05 e WB01 (b)

Amostra	WB05			WB01 Recent			WB01 (0-2 cm)			WB01 (2-4 cm)			WB01 (4-5cm)			WB01 (6-8cm)			WB01 (8-10cm)			WB01 (10-12cm)		
	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total	Bio.	Tan.	Total
<i>Miliammina</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,418	0,905
<i>Miliolinella subrotunda</i> (Montagu, 1803)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Morulapecta</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Nadulinella dentatiformis</i> (Brady, 1883)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Nanionella bradyi</i> (Chapman, 1917)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Nanionella</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Odinia</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Parafissurina fusiformis</i> (Wiesner, 1931)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Parafissurina lateralis f. simplex</i> (Buchner, 1940)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Parafissurina pseudomarginata</i> (Buchner, 1940)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Parafissurina quadrata</i> (Parr, 1950)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Planorbulina variabilis</i> (d'Orbigny, 1826)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Psomaphora fusca</i> (Schultze, 1875)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Pseudobulimina antarctica</i> (Wiesner, 1931)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Pullenia subcaninata</i> (d'Orbigny, 1839)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Quinqueloculina seminula</i> (Linnaeus, 1758)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Quinqueloculina</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Recurviroella bradyi</i> (Robertson, 1891)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Reophax fusiformis</i> (Williamson, 1858)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Reophax pilulifer</i> (Brady, 1884)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Reophax</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Rosalina adularis</i> (d'Orbigny, 1826)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Saccammina sphaerica</i> (Brady 1871)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Spinolectammina bifurcata</i> (Parker & Jones, 1865)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Spinolectammina filiformis</i> (Earland, 1934)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Starforthia fusiformis</i> (Williamson, 1848)	0,000	3,333	2,083	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Textularia agglutinans</i> (d'Orbigny, 1839)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Textularia antarctica</i> (Wiesner, 1931)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Textularia earlandi</i> (Parker, 1952)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Textularia nileis</i> (Earland, 1933)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Thurammina antarctica</i> (Saidova, 1975)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Thurammina</i> sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Trifarina angulosa</i> (Williamson, 1858)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Trachammina maloversis</i> (Heron-Alen & Earland, 1929)	38,889	10,000	20,833	0,000	0,000	0,000	2,857	19,355	14,844	18,750	15,217	16,129	15,217	10,840	11,080	21,739	12,400	14,290	28,261	12,744	17,967	37,500	17,730	24,892
<i>Trachammina</i> sp. 1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Trachammina</i> sp. 2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Trachammina</i> sp. 3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Uvigerina peregrina</i> (Cushman, 1923)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Espécies calcárias sem identificação	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Espécies aglutinantes sem identificação	0,000	16,667	10,417	0,000	0,000	0,000	0,000	3,210	3,120	0,000	2,174	3,200	0,000	11,364	7,463	0,000	0,000	0,000	5,435	23,102	17,905	10,000	18,440	15,388

Apêndice 22: Índices ecológicos e porcentagens de espécies em WB02 (a)

[illegible]

Apêndice 23: Índices ecológicos e porcentagens de espécies em WB02 (b)

[illegible]

Apêndice 24: Resultados de análises realizadas por ICP-Ms nas amostras coletadas no ano de 2013 (a).

Analyte	Unit	Wgt	Ag	Al	As	Au	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	Ge	Hf	Hg	In	K	La	Li	Mg	Mn	
KG	PPB	KG	PPB	%	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	%	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPB	PPM	%	PPM	PPM	%	PPM	
P2L-SUPRIMARE	<0.01	2	0.01	0.1	0.2	20	0.5	0.1	0.02	0.01	0.01	0.1	0.1	0.5	0.1	0.5	0.02	0.01	0.01	0.1	0.1	0.02	5	0.02	0.01	0.5	0.1	0.01	1
	<0.01	17	0.55	3.9	3.5	<20	6.7	0.1	<0.02	0.46	0.03	9.0	11.6	5.4	0.15	18.13	2.13	1.7	<0.1	0.29	5	<0.02	0.06	3.6	2.1	0.82	332		
FUMAROLA 16.1.13 D1-P1	<0.01	11	0.63	3.1	14.3	<20	7.8	0.2	<0.02	0.52	<0.01	6.4	11.0	6.3	0.15	15.99	1.90	1.8	<0.1	0.29	63	<0.02	0.05	2.5	1.8	0.85	314		
FUMAROLA P1 ENTRE MARES	<0.01	16	0.68	3.7	2.9	<20	7.0	<0.1	<0.02	0.55	0.02	6.9	11.1	8.4	0.16	13.34	1.89	1.7	0.1	0.27	34	<0.02	0.06	2.7	1.9	0.91	307		
FUMAROLA R3 30CM	<0.01	18	0.48	4.2	16.6	<20	6.1	0.1	<0.02	0.41	0.02	7.6	11.1	6.2	0.21	15.89	1.99	1.4	<0.1	0.32	14	<0.02	0.05	3.1	2.1	0.83	317		
FUMAROLA P4	<0.01	10	0.44	27.8	16.0	<20	5.7	0.1	<0.02	0.38	0.02	4.5	8.3	4.8	0.16	12.44	1.64	1.3	<0.1	0.21	128	<0.02	0.06	1.9	1.9	0.73	246		
FUMAROLA P5A	<0.01	33	0.87	22.7	5.3	<20	10.6	0.2	<0.02	0.62	0.08	6.5	9.7	8.6	0.16	15.59	2.09	2.2	<0.1	0.21	53	<0.02	0.11	2.6	2.8	0.87	293		
FUMAROLA P6	<0.01	49	1.37	47.0	13.0	40	19.8	0.3	<0.02	0.85	0.09	9.6	12.1	13.3	0.29	26.69	3.32	3.6	<0.1	0.11	40	0.03	0.27	4.3	4.5	1.05	810		
FUMAROLA P6 0-2CM	<0.01	47	1.15	37.6	0.8	32	16.2	0.3	<0.02	0.69	0.08	9.1	10.4	12.5	0.29	24.23	2.78	3.1	<0.1	0.08	43	0.02	0.22	3.8	4.7	0.86	355		
FUMAROLA P6 2-4CM	<0.01	52	1.47	44.6	43.5	31	21.1	0.2	<0.02	0.91	0.08	9.6	12.7	13.8	0.30	26.34	3.27	3.6	<0.1	0.12	40	0.02	0.27	4.4	4.7	1.05	839		
FUMAROLA P6 4-6CM	<0.01	36	1.32	46.2	19.8	29	19.4	0.4	<0.02	0.81	0.06	8.7	11.6	12.4	0.29	24.11	3.34	3.4	<0.1	0.11	48	<0.02	0.25	4.1	4.2	0.95	596		
FUMAROLA P6 6-8CM	<0.01	41	1.24	37.9	9.6	35	16.9	0.3	0.10	0.79	0.12	8.8	10.7	12.4	0.29	23.76	2.81	3.3	<0.1	0.10	41	0.02	0.23	3.7	5.1	0.92	370		
FUMAROLA P6 8-10CM	<0.01	33	1.11	19.1	4.6	<20	15.2	0.3	0.05	0.72	0.08	7.9	10.0	11.8	0.27	22.25	2.37	3.1	<0.1	0.15	37	0.03	0.20	3.4	4.6	0.87	351		
FUMAROLA P6 10-12CM	<0.01	33	1.03	20.6	7.3	20	13.9	0.2	0.03	0.71	0.04	7.4	9.8	10.3	0.24	19.73	2.23	2.7	<0.1	0.15	32	0.02	0.17	3.1	4.0	0.82	325		
FUMAROLA P6 12-14CM	0.01	26	1.03	18.0	2.4	<20	13.6	0.2	0.02	0.67	0.05	7.9	9.8	9.8	0.26	18.99	2.18	2.8	<0.1	0.20	31	0.02	0.16	3.1	3.9	0.82	336		
FUMAROLA P7 RECENTE	0.01	61	0.95	47.8	115.1	<20	13.8	0.2	<0.02	0.72	0.08	7.0	9.9	9.4	0.22	19.98	2.64	2.5	<0.1	0.12	54	<0.02	0.17	2.9	4.0	0.89	416		
P7 0-2CM	0.01	47	0.90	46.8	72.1	<20	12.0	0.2	<0.02	0.62	0.06	6.7	9.5	9.3	0.20	17.91	2.44	2.4	<0.1	0.13	42	<0.02	0.16	2.7	3.4	0.83	367		
FUMAROLA P7 0-2CM	<0.01	34	0.89	42.8	11.0	<20	12.1	0.2	<0.02	0.62	0.06	6.4	9.2	9.3	0.21	17.65	2.36	2.3	<0.1	0.17	65	<0.02	0.17	2.8	3.5	0.84	291		
FUMAROLA P7 4-6CM	<0.01	41	0.97	35.7	20.8	22	12.5	0.3	<0.02	0.64	0.07	7.2	9.7	9.9	0.23	20.53	2.39	2.6	<0.1	0.16	42	<0.02	0.18	3.0	4.0	0.87	289		
FUMAROLA P7 6-8CM	<0.01	49	0.92	31.8	19.2	<20	11.5	0.2	<0.02	0.59	0.06	7.1	9.1	9.9	0.23	20.50	2.37	2.5	<0.1	0.12	49	<0.02	0.18	2.9	4.2	0.86	281		
FUMAROLA P7 8-10CM	0.01	36	0.95	26.3	17.1	<20	12.4	0.1	<0.02	0.60	0.09	7.2	9.5	9.7	0.24	20.59	2.28	2.5	<0.1	0.13	52	0.02	0.17	3.0	3.8	0.84	294		
FUMAROLA P7 12-14CM	<0.01	30	1.04	33.5	10.6	<20	13.4	0.2	<0.02	0.69	0.06	7.2	10.2	10.1	0.22	20.45	2.42	2.7	<0.1	0.12	35	<0.02	0.15	3.0	3.5	0.85	331		
FUMAROLA P8	<0.01	37	0.65	28.4	6.8	<20	9.0	<0.1	<0.02	0.51	0.06	5.5	8.9	8.0	0.16	14.79	1.87	1.8	<0.1	0.15	83	<0.02	0.12	2.2	2.7	0.78	255		
FUMAROLA P9 CACO3	<0.01	9	0.60	8.6	8.8	<20	6.7	0.2	<0.02	0.50	0.04	8.6	11.4	6.3	0.19	18.55	2.17	1.8	<0.1	0.25	69	<0.02	0.06	3.4	2.0	0.90	327		
FUMAROLA P9 RECENTE	<0.01	30	0.70	12.1	14.6	<20	8.6	<0.1	<0.02	0.57	0.06	5.3	9.3	8.1	0.13	14.04	1.73	1.9	<0.1	0.18	37	<0.02	0.11	2.1	2.5	0.81	264		
P1 0-2CM	0.01	47	1.38	18.1	10.1	<20	16.7	0.2	<0.02	0.86	0.06	9.6	12.3	12.3	0.26	26.09	2.73	3.5	<0.1	0.20	21	<0.02	0.22	4.0	4.5	0.99	453		
P1 2-4CM	<0.01	42	1.35	18.3	9.3	<20	16.4	0.3	<0.02	0.81	0.06	9.4	12.7	12.3	0.26	25.79	2.71	3.7	<0.1	0.13	14	0.02	0.22	3.9	4.7	0.98	486		
P1 4-6CM	<0.01	44	1.29	21.9	14.0	<20	14.7	0.3	<0.02	0.78	0.08	8.9	11.1	11.4	0.25	23.72	2.61	3.3	<0.1	0.15	27	<0.02	0.20	3.6	4.4	0.92	391		
P1 6-8CM	<0.01	60	1.38	15.1	9.9	<20	15.8	0.3	<0.02	0.86	0.08	9.0	12.3	12.3	0.26	24.61	2.54	3.7	<0.1	0.19	20	<0.02	0.20	3.6	5.3	0.97	386		
P1 8-10CM	0.01	54	1.29	10.8	10.7	<20	15.4	0.3	<0.02	0.78	0.09	9.2	11.8	11.5	0.28	26.25	2.66	3.6	<0.1	0.16	35	<0.02	0.23	3.8	5.8	0.99	381		
P1 10-12CM	<0.01	46	1.26	11.7	5.0	<20	15.8	0.4	<0.02	0.72	0.07	9.2	12.0	11.7	0.26	26.56	2.59	3.3	<0.1	0.11	29	<0.02	0.20	3.6	5.6	0.92	387		
P2 RECENTE	<0.01	39	1.23	17.8	4.6	<20	13.7	0.2	<0.02	0.78	0.09	7.9	10.7	11.7	0.23	22.40	2.48	3.2	<0.1	0.17	26	<0.02	0.20	3.3	4.2	0.97	389		
P2 0-2CM	<0.01	41	1.33	17.6	15.6	<20	15.0	0.3	<0.02	0.89	0.09	9.0	10.9	11.7	0.22	23.59	2.55	3.4	<0.1	0.21	15	0.03	0.21	3.5	4.4	1.02	436		
P2 2-4CM	<0.01	48	1.33	17.3	11.5	<20	16.0	0.1	<0.02	0.85	0.06	9.3	11.6	12.0	0.26	24.19	2.53	3.8	0.1	0.19	20	<0.02	0.21	3.6	4.4	0.99	366		
P2 4-6CM	<0.01	49	1.41	9.9	8.7	<20	14.9	0.2	<0.02	0.90	0.07	9.1	11.7	12.3	0.27	24.09	2.41	3.8	<0.1	0.25	15	<0.02	0.20	3.6	5.4	0.99	375		
P2 6-8CM	<0.01	58	1.38	7.0	3.0	<20	15.0	0.3	<0.02	0.85	0.11	9.2	11.7	12.7	0.27	24.39	2.36	3.5	<0.1	0.31	19	<0.02	0.17	3.6	5.5	0.92	354		
P2 8-10CM	<0.01	57	1.43	6.8	4.8	<20	17.2	0.2	<0.02	0.90	0.13	9.8	12.2	13.5	0.30	23.25	2.38	3.8	<0.1	0.39	23	<0.02	0.18	3.7	6.0	0.94	368		
P2 10-12CM	<0.01	53	1.45	5.8	52.7	<20	16.1	0.3	<0.02	0.93	0.11	9.4	11.9	13.1	0.29	24.90	2.37	3.7	<0.1	0.41	13	<0.02	0.20	3.9	6.5	0.98	375		
B3 W3 ENTREMARE	<0.01	14	0.96	2.4	7.0	<20	12.1	0.3	<0.02	0.75	0.03	11.9	11.4	10.8	0.17	15.30	2.14	2.7	<0.1	0.44	12	<0.02	0.09	4.6	3.2	0.82	391		
W3 ENTREMARE	<0.01	14	1.26	0.9	16.5	<20	16.3	0.3	<0.02	0.85	0.04	9.8	12.8	9.1	0.31	16.65	2.44	3.5	0.1	0.41	<5	<0.02	0.20	3.9	2.8	0.91	404		
W4-A CONCREÇÃO	<0.01	14	0.88	0.6	25.1	<20	11.1	<0.1	<0.02	0.71	0.06	7.7	11.5	9.8	0.22	15.48	1.97	2.5	<0.1	0.32	15	<0.02	0.10	2.8	2.6	0.84	343		
W4-B CONCREÇÃO	<0.01	10	0.82	0.9	6.8	<20	9.3	<0.3	<0.02	0.63	0.06	6.6	11.0	9.8	0.16	12.70	1.78	2.3	<0.1	0.31	10	<0.02	0.08	2.6	2.2	0.72	293		
W5	<0.01	7	0.41	119.2	8.3	<20	95.2	<0.1	<0.02	0.37	0.02	3.9	18.3	3.7	0.17	17.33	2.16	1.5	<0.1	0.13	5	<0.02	0.10	1.4	1.9	0.66	5257		

Apêndice 25: Resultados de análises realizadas por ICP-Ms nas amostras coletadas no ano de 2013 (b)

Analyte Unit	Wgt KG	Mo	Na	Nb	Ni	P	Pb	Pd	Pt	Rb	Re	S	Sb	Sc	Se	Sn	Sr	Ta	Te	Th	Ti	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr
MDL	0.01	0.01	0.02	0.1	0	0.01	10	2	0.1	1	0.02	0.02	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	0.05	0.02	0	0	0.02	0.1	2	0.1	0.01	0.1	0.1
P22-SUPRAMARE	<0.01	0.27	0.359	0.11	9.2	0.041	0.62	<10	2	0.9	<1	<0.02	<0.02	2.9	<0.1	0.3	29.6	<0.05	<0.02	0.3	0.241	<0.02	<0.1	67	<0.1	6.72	24.8	15.2
FUMAROLA 16.113 DI-P1	<0.01	0.24	0.330	0.08	10.0	0.027	0.54	<10	<2	0.9	<1	<0.02	<0.02	3.5	<0.1	0.2	33.4	<0.05	<0.02	0.2	0.214	<0.02	<0.1	58	<0.1	5.37	22.0	14.9
FUMAROLA P1 ENTRE MARES	<0.01	0.18	0.348	0.05	12.9	0.031	0.55	<10	<2	1.0	<1	<0.02	<0.02	3.4	<0.1	0.2	32.5	<0.05	<0.02	0.2	0.199	<0.02	<0.1	56	<0.1	5.42	24.1	13.6
FUMAROLA R3 30CM	<0.01	0.28	0.388	0.11	10.8	0.038	0.52	16	4	0.8	<1	<0.02	<0.02	2.6	<0.1	0.2	25.8	<0.05	<0.02	0.2	0.226	<0.02	<0.1	61	<0.1	5.85	26.1	14.6
FUMAROLA P4	<0.01	0.41	0.581	0.10	7.2	0.024	0.45	<10	<2	0.8	<1	0.06	0.07	2.8	<0.1	0.1	27.7	<0.05	<0.02	0.2	0.152	0.10	0.1	44	<0.1	4.10	18.2	11.8
FUMAROLA P5A	<0.01	0.35	0.689	0.25	8.9	0.075	0.87	<10	3	1.5	<1	0.04	0.09	4.4	0.2	0.2	52.0	<0.05	<0.02	0.2	0.186	<0.02	0.4	64	<0.1	6.03	23.6	13.7
FUMAROLA P6	<0.01	1.42	1.873	0.22	7.9	0.168	1.80	12	3	3.2	<1	0.14	0.11	6.5	0.6	0.4	100.2	<0.05	<0.02	0.4	0.247	<0.02	0.4	104	<0.1	9.62	34.3	11.3
FUMAROLA P6 0-2CM	<0.01	0.50	0.948	0.12	7.0	0.156	1.64	12	3	2.7	<1	0.05	0.13	5.7	0.2	0.3	90.6	<0.05	<0.02	0.3	0.227	<0.02	0.4	91	<0.1	8.50	31.6	9.1
FUMAROLA P6 2-4CM	<0.01	1.29	1.881	0.13	8.3	0.149	1.83	<10	3	3.3	<1	0.14	0.10	6.7	0.4	0.4	101.2	<0.05	<0.02	0.4	0.255	<0.02	0.4	103	<0.1	9.79	35.1	10.6
FUMAROLA P6 4-6CM	<0.01	1.10	1.356	0.14	7.4	0.181	1.71	<10	2	3.2	<1	0.07	0.14	6.6	0.3	0.4	93.6	<0.05	<0.02	0.4	0.241	<0.02	0.4	100	<0.1	9.06	33.5	9.7
FUMAROLA P6 6-8CM	<0.01	0.37	1.059	0.11	7.7	0.139	1.58	<10	3	2.9	4	0.05	0.14	6.1	0.4	0.4	95.9	<0.05	0.04	0.4	0.232	<0.02	0.4	92	<0.1	8.71	33.6	9.8
FUMAROLA P6 8-10CM	<0.01	0.36	1.092	0.07	7.0	0.088	1.36	<10	<2	2.8	<1	0.06	0.10	5.7	0.2	0.4	69.3	<0.05	0.02	0.3	0.214	<0.02	0.4	79	<0.1	7.92	31.6	12.1
FUMAROLA P6 10-12CM	<0.01	0.25	0.891	0.06	6.6	0.069	1.19	<10	<2	2.3	1	0.05	0.07	5.1	0.2	0.3	61.8	<0.05	<0.02	0.3	0.206	<0.02	0.2	69	<0.1	7.01	26.3	11.7
FUMAROLA P6 12-14CM	0.01	0.28	0.991	0.06	6.3	0.073	1.15	<10	<2	2.3	3	0.06	0.07	4.9	0.4	0.3	62.4	<0.05	<0.02	0.3	0.208	<0.02	0.2	68	<0.1	7.30	26.0	13.6
FUMAROLA P7 RECENTE	0.01	0.65	1.297	0.17	7.7	0.119	1.17	13	<2	2.3	<1	0.10	0.08	4.9	0.5	0.3	76.2	<0.05	0.02	0.3	0.196	<0.02	0.3	72	<0.1	6.73	26.2	11.9
P7 0-2CM	0.01	0.60	1.185	0.14	7.5	0.107	1.12	<10	<2	2.0	<1	0.08	0.07	4.5	0.4	0.3	69.0	<0.05	<0.02	0.2	0.187	<0.02	0.3	66	<0.1	6.16	24.6	11.3
FUMAROLA P7 0-2CM	<0.01	0.43	1.145	0.14	7.3	0.113	1.09	<10	<2	2.0	1	0.08	0.08	4.6	0.3	0.3	69.3	<0.05	<0.02	0.2	0.182	<0.02	0.3	66	<0.1	6.20	24.7	12.3
FUMAROLA P7 4-6CM	<0.01	0.31	1.145	0.11	7.8	0.104	1.15	<10	<2	2.3	2	0.08	0.08	4.8	0.4	0.3	64.5	<0.05	0.08	0.3	0.193	<0.02	0.4	73	<0.1	6.88	25.4	12.1
FUMAROLA P7 6-8CM	<0.01	0.33	1.205	0.10	8.0	0.115	1.22	<10	2	2.1	<1	0.10	0.08	4.8	0.3	0.3	58.4	<0.05	<0.02	0.3	0.193	<0.02	0.4	71	<0.1	6.94	24.9	10.3
FUMAROLA P7 8-10CM	0.01	0.34	0.972	0.10	8.2	0.090	1.09	<10	<2	2.3	<1	0.08	0.07	4.8	0.2	0.3	56.4	<0.05	0.02	0.3	0.199	<0.02	0.4	70	<0.1	7.26	25.3	11.2
FUMAROLA P7 12-14CM	<0.01	0.40	0.751	0.06	8.3	0.091	1.12	<10	2	2.2	1	0.04	0.07	5.0	0.4	0.3	66.0	<0.05	<0.02	0.3	0.200	<0.02	0.3	71	<0.1	6.93	26.3	9.8
FUMAROLA P8	<0.01	0.34	0.945	0.14	8.1	0.086	0.75	<10	<2	1.5	1	0.07	0.08	3.7	0.3	0.2	50.8	<0.05	<0.02	0.2	0.165	<0.02	0.3	54	<0.1	5.04	22.3	10.9
FUMAROLA P9 CACO3	<0.01	0.41	0.549	0.10	11.4	0.040	0.63	<10	<2	0.8	<1	0.04	0.02	2.7	0.1	0.2	35.1	<0.05	<0.02	0.2	0.223	<0.02	0.1	59	<0.1	6.55	25.7	12.5
FUMAROLA P9 RECENTE	<0.01	0.26	0.941	0.14	8.3	0.054	0.85	<10	<2	1.4	<1	0.06	0.06	3.6	0.2	0.2	50.0	<0.05	0.02	0.2	0.161	<0.02	0.2	50	<0.1	5.20	20.5	12.5
P1 RECENTE 2013																												
P1 0-2CM	0.01	0.40	1.084	0.07	8.3	0.102	1.56	<10	<2	3.0	<1	0.05	0.05	6.7	0.4	0.3	82.2	<0.05	<0.02	0.3	0.267	<0.02	0.2	81	<0.1	9.04	34.3	13.8
P1 2-4CM	<0.01	0.47	1.001	0.08	8.5	0.101	1.61	<10	<2	2.9	<1	0.04	0.05	6.3	0.2	0.4	78.4	<0.05	0.04	0.3	0.265	<0.02	0.2	81	<0.1	9.11	32.8	12.7
P1 4-6CM	<0.01	0.30	0.830	0.13	8.3	0.108	1.43	<10	4	2.7	<1	0.03	0.06	5.9	0.3	0.3	77.5	<0.05	<0.02	0.3	0.250	<0.02	0.3	76	<0.1	8.02	29.6	12.7
P1 6-8CM	<0.01	0.46	0.913	0.11	8.4	0.074	1.39	<10	<2	2.7	2	0.05	0.06	6.4	<0.1	0.4	75.7	<0.05	<0.02	0.3	0.259	<0.02	0.5	80	<0.1	9.02	33.8	15.2
P1 8-10CM	0.01	0.58	1.196	0.10	8.4	0.082	1.48	<10	<2	3.0	2	0.12	0.05	6.4	0.3	0.4	66.7	<0.05	0.03	0.3	0.262	<0.02	0.4	84	<0.1	8.84	34.8	16.0
P1 10-12CM	0.01	0.38	1.210	0.12	7.6	0.097	1.52	<10	<2	2.7	<1	0.11	0.06	5.9	0.3	0.4	64.3	<0.05	0.03	0.3	0.258	<0.02	0.3	83	<0.1	8.74	32.0	13.9
P2 RECENTE	<0.01	0.25	0.782	0.07	7.7	0.092	1.47	<10	3	2.7	<1	0.04	0.06	6.0	0.3	0.4	59.3	<0.05	<0.02	0.3	0.253	<0.02	0.3	81	<0.1	8.97	30.7	10.3
P2 0-2CM	<0.01	0.38	1.422	0.12	8.3	0.095	1.36	<10	<2	2.3	<1	0.09	0.06	5.8	0.3	0.4	73.4	<0.05	<0.02	0.3	0.237	<0.02	0.2	72	<0.1	8.02	27.5	14.6
P2 2-4CM	<0.01	0.43	1.610	0.12	8.2	0.091	1.29	<10	<2	2.6	<1	0.09	0.05	6.2	0.2	0.4	85.3	<0.05	<0.02	0.2	0.257	<0.02	0.2	75	<0.1	8.55	28.5	15.5
P2 4-6CM	<0.01	0.39	1.460	0.11	7.4	0.099	1.27	<10	2	2.7	<1	0.08	0.05	6.1	0.4	0.4	84.9	<0.05	0.03	0.3	0.270	<0.02	0.3	77	<0.1	8.99	27.0	14.5
P2 6-8CM	<0.01	0.44	1.224	0.08	8.8	0.061	1.24	<10	3	2.8	<1	0.08	0.06	6.6	0.1	0.4	74.0	<0.05	<0.02	0.3	0.263	<0.02	0.4	76	<0.1	8.74	29.4	16.9
P2 8-10CM	<0.01	1.50	0.806	0.05	8.7	0.046	1.29	<10	<2	2.5	2	0.09	0.05	6.3	0.3	0.4	64.0	<0.05	<0.02	0.3	0.263	<0.02	0.6	75	<0.1	8.76	29.6	20.3
P2 10-12CM	<0.01	2.04	0.883	0.04	9.0	0.036	1.38	13	3	2.8	2	0.13	0.05	6.4	0.2	0.5	68.4	<0.05	0.02	0.4	0.255	<0.02	0.7	76	<0.1	9.15	31.4	22.3
B3 W3 ENTREARE	<0.01	1.56	1.244	0.07	9.0	0.036	1.30	17	<2	3.0	1	0.18	0.05	6.6	0.1	0.4	72.7	<0.05	<0.02	0.4	0.261	<0.02	0.6	77	<0.1	8.93	29.8	22.8
B3 W3 W3 ENTREARE	<0.01	0.29	0.539	0.07	8.3	0.038	1.02	<10	2	1.6	<1	<0.02	<0.02	5.2	<0.1	0.5	49.7	<0.05	0.02	0.4	0.268	<0.02	0.1	62	<0.1	9.85	29.4	21.4
B3 W3 W3 ENTREARE	<0.01	0.62	1.261	0.04																								

Apêndice 26: Profundidade, data e horário de coleta, coordenadas, dados abióticos das amostras coletadas no ano de 2013.

Ptos amostrais	Ptos	Depth m	Date	Time	Latitude	Longitude	Temp. °C	pH	pHmV mV	ORP mV	Conductivity mS/cm	Turbidity NTU	Dissolved Oxygen mg/L	DO%	TDS g/L	Salinity ppt	Specific gravity Sigma t
FB4	P4 Fundo	4.60	16/01/2013	17:13:33	62 58 03.5 S	60 42 26.3 W	0,2	7,61	-49	116	62,2	0,0	21,51	-	37,2	36,6	29,5
FB4	P4 meio	2,15	16/01/2013	17:17:07	62 58 03.5 S	60 42 26.3 W	0,2	7,62	-50	112	62,3	0,0	22,62	-	37,4	36,7	29,6
FB4	P4 Sup	0,00	16/01/2013	17:18:44	62 58 03.5 S	60 42 26.3 W	0,1	7,51	-44	96	61,8	1,7	23,15	-	37,1	36,4	29,4
FB05	P58 fundc	10,95	16/01/2013	19:15:31	62 58 00.3 S	60 42 20.5 W	-0,1	4,20	-	264	21,3	0,0	21,39	169,9	13,2	2,65	-
FB05	P58 meio	5,45	16/01/2013	19:25:31	62 58 00.3 S	60 42 20.5 W	-0,1	4,70	-	229	21,2	0,0	19,54	144,0	13,2	2,65	-
FB05	P58 Sup	0,25	16/01/2013	19:24:31	62 58 00.3 S	60 42 20.5 W	-0,2	4,68	-	218	21,2	0,0	18,45	99,5	13,1	2,71	-
FB06	P6	0,00	17/01/2013	08:54:22	62 57 39.0 S	60 40 44.8 W	0,5	6,72	-	245	22,6	0,0	10,99	95,0	14,0	2,37	-
FB06	P6	120	17/01/2013	09:14:24	62 57 39.0 S	60 40 44.8 W	0,2	7,47	-	235	22,3	0,0	11,45	95,0	13,8	2,64	-
FB06	P6	104	17/01/2013	09:29:20	62 57 39.0 S	60 40 44.8 W	-0,2	7,61	-	253	22,3	0,0	11,25	91,0	13,8	2,75	22,2
FB06	P6	20	17/01/2013	09:38:44	62 57 39.0 S	60 40 44.8 W	0,2	7,76	-	250	22,5	0,0	11,59	94,5	14,0	2,77	22,3
FB06	P6	15	17/01/2013	10:00:10	62 57 39.0 S	60 40 44.8 W	0,9	7,80	-	249	22,6	0,0	13,07	106,6	14,0	2,77	22,3
FB08	P8 Fundo	9,85	17/01/2013	17:31:41	62 58 00.1 S	60 42 19.5 W	-	7,75	-	223	22,0	0,0	12,35	97,9	13,6	2,78	22,4
FB08	P8 meio	5,30	17/01/2013	17:37:54	62 58 00.1 S	60 42 19.5 W	-	7,81	-	192	21,9	0,0	11,41	89,8	13,6	2,81	22,7
FB08	P8 sup	0	17/01/2013	17:42:35	62 58 00.1 S	60 42 19.5 W	-	7,73	-	204	21,2	0,0	14,18	112,4	13,1	2,65	21,3
FB09	P9 Fundo	13,40	17/01/2013	15:56:22	62 58 02.2 S	60 42 18.7 W	-	7,83	-	206	21,7	0,0	13,69	108,5	13,4	2,73	22,0
FB09	P9 Meio	6,50	17/01/2013	16:00:43	62 58 02.2 S	60 42 18.7 W	-	7,83	-	184	21,6	0,0	11,33	89,1	13,4	2,75	22,1
FB09	P9 Sup	0,00	17/01/2013	16:02:38	62 58 02.2 S	60 42 18.7 W	1,5	7,54	-	157	21,8	0,0	19,03	152,4	13,5	2,71	21,8
WB01	W1 Sup	0	18/01/2013	09:38:24	62 59 10.9 S	60 33 59.7 W	0,6	7,82	-	260	22,4	0,0	12,32	100,7	13,9	2,73	22,0
WB01	W1	5	18/01/2013	09:43:37	62 59 10.9 S	60 33 59.7 W	0,7	7,85	-	259	22,5	0,0	12,13	99,1	13,9	2,74	22,1
WB01	W1	28	18/01/2013	09:46:19	62 59 10.9 S	60 33 59.7 W	0,6	7,86	-	258	22,3	0,0	13,39	108,4	13,8	2,76	22,2
WB01	W1	42	18/01/2013	09:49:26	62 59 10.9 S	60 33 59.7 W	0,6	7,85	-	257	22,3	0,0	11,69	94,6	13,8	2,76	22,2
WB04	W4	0	18/01/2013	15:19:09	62 58 46.1 S	60 33 24.7 W	9	6,97	-	-92	25,5	0,0	13,03	120,0	15,8	2,73	21,8
WB05	W5	28,95	18/01/2013	16:04:13	62 58 46.9 S	60 33 3.0 W	4,4	7,88	-	127	22,1	0,0	0,58	4,6	13,7	2,82	22,7

>

Apêndice 27: Concentrações de valvas de diatomáceas ao longo dos testemunhos FB06, FB07, WB01 e WB02.

Os valores são referentes ao número de valvas por grama de sedimento/1000.

Ponto	Profundidade	Concentrações	Ponto	Profundidade	Concentrações	Ponto	Profundidade	Concentrações	Ponto	Profundidade	Concentrações
FB06	Rec	368,62	FB07	Rec	20,96	WB01	Rec	41,63932541	WB02	Rec	91,46782093
	(0-2 cm)	108,23		(0-2 cm)	18,83		(0-2 cm)	131,1575436		(0-2 cm)	0,846031114
	(2-4 cm)	242,07		(2-4 cm)	2,10		(2-4 cm)	69,05065603		(2-4 cm)	10,98124568
	(4-6 cm)	405,06		(4-6 cm)	19,15		(4-6 cm)	46,95341429		(4-6 cm)	17,91670622
	(6-8 cm)	575,50		(6-8 cm)	39,31		(6-8 cm)	143,2515951		(6-8 cm)	19,79372792
	(8-10 cm)	63,26		(8-10 cm)	13,90		(8-10 cm)	135,349009		(8-10 cm)	20,40373167
	(10-12 cm)	34,39		(10-12 cm)	0,19		(10-12 cm)	108,1097748		(10-12 cm)	53,32384765
	(12-14 cm)	56,92		(12-14 cm)	0,20					(12-14 cm)	0,018611111