Fabiane Sayuri Iwai

**Estudo morfométrico em foraminíferos planctônicos
da margem continental brasileira**

Tese apresentada ao
Instituto Oceanográfico da
Universidade de São Paulo,
como parte da obtenção do
título de Doutor em
Ciências, Programa de
Oceanografia Geológica.

Orientador: Prof. Dr.
Felipe A. L. Toledo

**São Paulo
2015**

Universidade de São Paulo
Instituto Oceanográfico

**Estudo morfométrico em foraminíferos planctônicos
da margem continental brasileira
(VERSÃO CORRIGIDA)**

Fabiane Sayuri Iwai

Tese apresentada ao Instituto Oceanográfico da
Universidade de São Paulo, como parte da obtenção
do título de Doutor em Ciências, Programa de
Oceanografia Geológica.

Julgada em ____/____/____ por

Prof(a).Dr(a).

Conceito

Prof(a).Dr(a).

Conceito

Prof(a).Dr(a).

Conceito

Prof(a).Dr(a).

Conceito

Prof(a).Dr(a).

Conceito

Sumário

Lista de Figuras	iii
Lista de Tabelas	ix
Lista de Equações	x
Agradecimentos	xii
Resumo	xiii
<i>Abstract</i>	xiv
Lista de Abreviações e Siglas	xv
Glossário	xvi
 1. Introdução	 1
2. Objetivos	7
3. Área de Estudo	8
3.1. Configurações oceanográficas	8
3.2. Características da coluna d'água	10
3.3. Foraminíferos planctônicos das amostras	15
4. Materiais e Métodos	16
4.1. Amostras de sedimento utilizadas	16
4.2. Verificação de consistência taxonômica entre diferentes pesquisadores	17
4.3. Análises morfométricas	17
4.3.1. Análises morfométricas entre frações de tamanho	17
4.3.2. Análises morfométricas latitudinal e ecológica	18
4.3.3. Aquisição das medidas morfométricas em foraminíferos planctônicos	18
4.3.3.1. Obtenção de imagens para as análises morfométricas	18
4.3.3.1.1. Obtenção de imagens em microscopia de luz	19
4.3.3.1.2. Em microscopia eletrônica	20
4.3.4. Parâmetros Morfométricos	29
4.4. Análises de Isótopos Estáveis de Carbono e Oxigênio	30
4.4.1. Cálculo dos valores esperados de $\delta^{18}\text{O}$ através de equações de $\delta^{18}\text{O}$:temperatura	33
4.5. Análises Estatísticas	35

5. Resultados	37
5.1. Consistência de identificação de foraminíferos gerada através do conceito clássico de morfoespécies	37
5.2. Frações de tamanho	38
5.3. Funções Discriminantes	39
5.3.1. Identificação de morfoespécies	39
5.3.2. Identificação de genótipos descritos na literatura	39
5.3.2.1. <i>Globigerinoides ruber</i>	39
5.3.2.2. <i>Globigerinella siphonifera</i>	41
5.3.3. Definição de morfotipos	43
5.3.3.1. <i>Globigerinoides ruber</i>	43
5.3.3.2. <i>Globigerinoides sacculifer</i>	46
5.3.3.3. <i>Globorotalia menardii</i>	48
5.3.3.4. <i>Globigerinella siphonifera</i>	50
5.4. Composição isotópica de morfotipos	51
5.4.1. <i>Globigerinoides ruber</i>	51
5.4.2. <i>Globigerinoides sacculifer</i>	52
5.4.3. <i>Globorotalia menardii</i>	54
5.4.4. <i>Globigerinella siphonifera</i>	55
5.5. Contextualização paleoceanográfica dos morfotipos	56
5.6. Análise Latitudinal	61
6. Discussão	72
6.1. Consistência de identificação de foraminíferos gerada através do conceito paleontológico de morfoespécies	72
6.2. Diferenças morfométricas entre frações de tamanho	73
6.3. Funções Discriminantes na identificação de morfoespécies e genótipos	74
6.4. Morfotipos	76
6.5. Potencial do uso da morfometria na paleoceanografia	87
7. Conclusões	91
8. Referências Bibliográficas	93

Lista de Figuras

- Figura 3.1.1 - Esquema vertical da circulação geral superficial e profunda ao longo da margem continental brasileira (Calado *et al.*, 2008 modificado de Matsuura, 1986).....10
- Figura 3.2.1 - Perfis de temperatura e salinidade dos cinco testemunhos utilizados (WOA09) (Antonov *et al.*, 2010; Locarnini *et al.*, 2010).....12
- Figura 3.2.2 - Seção vertical latitudinal da temperatura (Locarnini *et al.*, 2010) ao longo do setor estudado da margem continental brasileira. São apresentados quatro painéis com dados sazonais de verão (painel superior esquerdo), outono (painel superior direito), inverno (painel inferior esquerdo) e primavera (painel inferior direito). Os dados são do WOA 09. Os testemunhos estudados encontram-se indicados pelos números 1 (KF-I), 2 (KF-E), 3 (KF-13), 4 (KF-A) e 5 (KF-C).....13
- Figura 3.2.3 - Seção vertical latitudinal da salinidade (Antonov *et al.*, 2010) ao longo do setor estudado da margem continental brasileira. São apresentados quatro painéis com dados sazonais de verão (painel superior esquerdo), outono (painel superior direito), inverno (painel inferior esquerdo) e primavera (painel inferior direito). Os dados são do WOA 09. Os testemunhos estudados encontram-se indicados pelos números 1 (KF-I), 2 (KF-E), 3 (KF-13), 4 (KF-A) e 5 (KF-C).....13
- Figura 3.2.4 - Seção vertical latitudinal da concentração de fosfato (Garcia *et al.*, 2010) ao longo do setor estudado da margem continental brasileira. São apresentados quatro painéis com dados sazonais de verão (painel superior esquerdo), outono (painel superior direito), inverno (painel inferior esquerdo) e primavera (painel inferior direito). Os dados são do WOA 09. Os testemunhos estudados encontram-se indicados pelos números 1 (KF-I), 2 (KF-E), 3 (KF-13), 4 (KF-A) e 5 (KF-C).....14
- Figura 3.2.5 - Seção vertical latitudinal da concentração de nitrato (Garcia *et al.*, 2010) ao longo do setor estudado da margem continental brasileira. São apresentados quatro painéis com dados sazonais de verão (painel superior esquerdo), outono (painel superior direito), inverno (painel inferior esquerdo) e primavera (painel inferior direito). Os dados são do WOA 09. Os testemunhos estudados encontram-se indicados pelos números 1 (KF-I), 2 (KF-E), 3 (KF-13), 4 (KF-A) e 5 (KF-C).....14
- Figura 3.3.1 - Abundância das espécies mais representativas das amostras de topo dos testemunhos KF-C, KF-A, KF-13, KF-E e KF-I. Os testemunhos encontram-se dispostos por ordem latitudinal: testemunhos mais ao norte na esquerda e testemunhos ao sul na direita.....15
- Figura 4.1.1 - Mapa da margem continental brasileira com localização dos testemunhos KF-C, KF-A, KF-13, KF-E e KF-I utilizados no presente estudo e esquematização da

- circulação superficial do oceano Atlântico Sul como descrito por Peterson e Stramma (1991).....16
- Figura 4.3.1 - Esquema de obtenção de medidas em *Orbulina universa*. X1: Área; X2: comprimento do maior eixo da testa; X3: comprimento do menor eixo da testa.....21
- Figura 4.3.2 - Esquema de obtenção de medidas em *Globigerinoides conglobatus*. X1: área da vista umbilical da testa; X2: altura da abertura primária; X3: largura da abertura primária; X4: altura da Fch; X5: largura da Fch; X6: altura da F-1ch; X7: largura da F-1ch; X8: altura da F-2ch; X9: largura da F-2ch; X10: altura total da testa; X11: largura total da testa; X12: profundidade da Fch; X13: profundidade total da testa.....21
- Figura 4.3.3 - Esquema de obtenção de medidas em *Globigerinoides ruber*. X1: Área da vista umbilical da testa; X2: altura total da testa; X3: altura da abertura primária; X4: altura da Fch; X5: largura da abertura primária; X6: largura da Fch; X7: altura da F-1ch; X8: altura da F-2ch; X9: largura da F-1ch; X10: largura da F-2ch; X11: largura total da testa; X12: largura da Fch; X13: profundidade da F-2ch; X14: profundidade da F-1ch; X15: comprimento da trocoespiral; X16: profundidade total.....22
- Figura 4.3.4 - Esquema de obtenção de medidas em *Globigerinoides sacculifer*; da esquerda para a direita: vista umbilical de um espécimen com saco; vista umbilical de um espécimen sem saco; e vista lateral de um espécimen sem saco. X1: área da vista umbilical da testa; X2: largura da Fch; X3: altura da Fch; X4: altura da F-1ch; X5: largura da F-1ch; X6: largura da F-2ch; X7: altura da F-2ch; X8: largura total da testa; X9: altura total da testa; X10: profundidade da Fch; X11: profundidade da F-1ch; X12: profundidade da F-2ch; X13: profundidade total da testa.....22
- Figura 4.3.5 - Esquema de obtenção de medidas nas espécies *Globoturborotalita tenella* e *Globoturborotalita rubescens*. X1: área da vista umbilical da testa; X2: altura da abertura primária; X3: altura da Fch; X4: largura da abertura primária; X5: largura da Fch; X6: comprimento da F-1ch; X7: comprimento da F-2ch; X8: altura total da testa; X9: largura total da testa; X10: profundidade da Fch; X11: profundidade da F-1ch; X12: profundidade da F-2ch.....23
- Figura 4.3.6 - Esquema de obtenção de medidas em *Globigerina bulloides*. X1: área da vista umbilical da testa; X2: altura da abertura primária; X3: largura da abertura primária; X4: altura da Fch; X5: largura da Fch; X6: altura da F-1ch; X7: largura da F-1ch; X8: altura da F-2ch; X9: largura da F-2ch; X10: altura total da testa; X11: largura total da testa; X12: profundidade da Fch; X13: profundidade da F-1ch; X14: profundidade da F-2ch.....23
- Figura 4.3.7 - Esquema de obtenção de medidas em *Globigerinella siphonifera*. X1: área da testa em vista umbilical; X2:

comprimento da Fch; X3: largura da Fch; X4: comprimento da F-1ch; X5: largura da F-1ch; X6: comprimento da F-2ch; X7: largura da F-2ch; X8: altura da testa; X9: largura da testa; X10: profundidade da Fch; X11: profundidade da F-1ch; X12: profundidade da F-2ch.....24

Figura 4.3.8 - Esquema de obtenção de medidas em *Globigerinella calida*. X1: área da testa em vista umbilical; X2: altura da abertura primária; X3: largura da abertura primária; X4: comprimento da Fch; X5: largura da Fch; X6: comprimento da F-1ch; X7: largura da F-1ch; X8: comprimento da F-2ch; X9: largura da F-2ch; X10: altura da testa; X11: largura da testa; X12: profundidade da Fch; X13: profundidade da F-1ch; X14: profundidade da F-2ch.....24

Figura 4.3.9 - Esquema de obtenção de medidas em *Globigerinita glutinata*. X1- área da testa em vista umbilical; X2: comprimento da Fch; X3: largura da Fch; X4: comprimento da F-1ch; X5: largura da F-1ch; X6: comprimento da F-2ch; X7: largura da F-2ch; X8: altura da testa; X9: largura da testa; X10: profundidade da Fch; X11: profundidade da F-1ch; X12: profundidade da F-2ch; X13: profundidade da testa.....25

Figura 4.3.10 - Esquema de obtenção de medidas em *Neoglobobadrina pachyderma*. X1: área da testa em vista umbilical; X2: comprimento da Fch; X3: comprimento da F-1ch; X4: comprimento da F-1ch; X5: altura da testa; X6: largura da testa; X7: profundidade da Fch; X8: profundidade da F-1ch; X9: profundidade da F-2ch; X10: profundidade da testa.....25

Figura 4.3.11 - Esquema de obtenção de medidas em *Neoglobobadrina dutertrei*. X1: área da testa em vista umbilical; X2: altura da abertura primária; X3: largura da abertura primária; X4: comprimento da Fch; X5: largura da Fch; X6: comprimento da F-1ch; X7: largura da F-1ch; X8: comprimento da F-2ch; X9: largura da F-2ch; X10: altura da testa; X11: largura da testa; X12: profundidade da Fch; X13: profundidade da F-1ch; X14: profundidade da F-2ch; X15: profundidade da testa.....26

Figura 4.3.12 - Esquema de obtenção de medidas em *Globorotalia menardii*. X1: área da testa em vista umbilical; X2: largura da quilha; X3: comprimento da Fch; X4: largura da Fch; X5: comprimento da F-1ch; X6: largura da F-1ch; X7: comprimento da F-2ch; X8: largura da F-2ch; X9: altura da testa; X10: largura da testa; X11: altura da testa em vista lateral; X12: profundidade da testa; X13: ângulo superior formado pelos extremos da testa; X14: ângulo inferior formado pelos extremos da testa.....26

Figura 4.3.13 - Esquema de obtenção de medidas em *Globorotalia inflata*. X1: área da testa em vista umbilical; X2: altura da abertura primária; X3: largura da abertura primária; X4: comprimento da Fch; X5: largura da Fch; X6: comprimento da F-1ch; X7: largura da F-1ch; X8: comprimento da F-2ch; X9: largura da F-2ch; X10: altura

- da testa; X11: largura da testa; X12: altura total da testa em vista lateral; X13: profundidade total da testa em vista lateral.....27
- Figura 4.3.14 - Esquema de obtenção de medidas em *Globorotalia truncatulinoides*. X1: área da testa em vista umbilical; X2: maior raio da testa; X3: comprimento da Fch; X4: comprimento da F-1ch; X5: comprimento da F-2ch; X6: largura total da testa; X7: altura total da testa; X8: altura da testa em vista lateral; X9: profundidade da testa.....27
- Figura 4.3.15 - Esquema de obtenção de medidas em *Globorotalia crassaformis*. X1: área da testa em vista umbilical; X2: largura da Fch; X3: largura da Fch; X4: largura da F-1ch; X5: largura total da testa; X6: altura da Fch; X7: altura da F-1ch; X8: altura da F-2ch; X9: altura da testa; X10: altura da testa em vista lateral; X11: profundidade da testa.....28
- Figura 4.3.16 - Esquema de obtenção de medidas em *Globorotalia scitula*. X1: área da testa em vista umbilical; X2: comprimento da Fch; X3: largura da Fch; X4: comprimento da F-1ch; X5: largura da F-1ch; X6: comprimento da F-2ch; X7: largura da F-2ch; X8: altura da testa; X9: largura da testa; X10: profundidade da testa; X11: ângulo superior formado pelos extremos da testa; X12: ângulo inferior formado pelos extremos da testa.....28
- Figura 5.1.1 - Abundâncias em porcentagem obtidas a partir da contagem de três diferentes pesquisadores em nove amostras. É possível observar uma certa consistência para algumas amostras. No entanto, em outras, como é o caso da amostra de 573 cm para a espécie *Globorotalia crassaformis* e 6 cm para a espécie *Globorotalia menardii tumida*, podem ocorrer diferenças de até 20 % entre as contagens.....38
- Figura 5.3.1 - Imagens de indivíduos da morfoespécie *Globigerinella siphonifera*. Indivíduos do Tipo I em microscopia de luz, vista umbilical (A) e lateral (B), e em SEM (C), porosidade média de 5.22 μm . Indivíduos do Tipo II em microscopia de luz, vista umbilical (d) e lateral (E), e em SEM (F), porosidade média 1.53 μm . Enfatiza-se que as imagens de microscopia de luz dos Tipo I e II não devem ser utilizadas para identificá-los; qualquer diferença morfológica entre os dois indivíduos deve ser atribuída à plasticidade morfológica e não à diferenças taxonômicas entre os dois tipos genéticos...42
- Figura 5.3.2 - Diagrama de Agrupamento Hierárquico (Método de Ward com distância euclidiana) para a variedade white da morfoespécie *G. ruber*. A análise foi conduzida na população de *G. ruber* da margem continental brasileira. Podem ser observados quatro grupos44
- Figura 5.3.3 - Gráfico com as diferenças dos valores médios dos parâmetros morfométricos entre os morfotipos encontrados para a morfoespécie *G. ruber*.....44

Figura 5.3.4 – Agrupamento Hierárquico (Método de Ward utilizando distâncias euclidianas) da espécie <i>G. sacculifer</i> baseado na morfometria da Fch.....	47
Figura 5.3.5 – Diferenças dos valores médios padronizados dos parâmetros morfométricos da Fch nos morfotipos de <i>G. sacculifer</i>	47
Figura 5.3.6 – Agrupamento Hierárquico (Método de Ward com distâncias euclidianas) da morfoespécie <i>G. menardii</i> , onde foram identificados 3 morfotipos.....	49
Figura 5.3.7 – Diferenças das médias dos parâmetros morfométricos nos morfotipos da morfoespécie <i>G. menardii</i>	49
Figura 5.4.1 – Gráfico de dispersão e histogramas para valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ na morfoespécie <i>G. ruber</i> ; não se observa nenhum tipo de agrupamento dos pontos referentes a indivíduos de mesmo grupo.....	51
Figura 5.4.2 – Sinal isotópico de indivíduos que apresentam a coloração branca e rosa da morfoespécie <i>G. ruber</i>	52
Figura 5.4.3 – Gráficos de dispersão e histogramas para os sinais isotópicos de carbono e oxigênio na Fch em forma de saco e o WS da espécie <i>G. sacculifer</i>	53
Figura 5.4.4 – Correspondência dos valores isotópicos da câmara em forma de saco e do WS em <i>G. sacculifer</i>	54
Figura 5.4.5 – Gráfico de dispersão e histogramas para valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ para a morfoespécie <i>G. menardii</i> ; não observa-se nenhum tipo de agrupamento dos morfotipos...	54
Figura 5.4.6 – Gráfico de dispersão do sinal isotópico de indivíduos da morfoespécie <i>G. siphonifera</i> ; os dados encontram-se categorizados por tipo genético, Tipos I e II. Na periferia do gráfico encontram-se os histogramas para $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ também categorizados por tipo genético..	55
Figura 5.5.1 – Valores obtidos para cada morfotipo da espécie <i>G. ruber pink</i> (painel superior) e valores esperados para a calcita em cada estação do ano obtidos através da equação de Bouvier-Soumagnac e Duplessy (1985) utilizando dados de salinidade e temperatura do WOA09.....	58
Figura 5.5.2 – Valores obtidos para a câmara final (Fch) e o WS em cada morfotipo da espécie <i>G. sacculifer</i> (painéis superiores) e valores esperados para a calcita em cada estação do ano obtidos através da equação de Erez e Luz (1982) utilizando dados de salinidade e temperatura do WOA09.....	59
Figura 5.5.3 – Valores obtidos para cada morfotipo da espécie <i>G. menardii</i> (painel superior) e valores esperados para a calcita em cada estação do ano obtidos através da equação de Bouvier- Soumagnac e Duplessy (1985) utilizando dados de salinidade e temperatura do WOA09.....	60
Figura 5.5.4 – Valores obtidos para cada morfotipo da morfoespécie <i>G. siphonifera</i> (painel superior) e valores esperados para a calcita em cada estação do ano obtidos através da equação de Mulitza et al (2003) utilizando dados de salinidade e temperatura do WOA09.....	61

Figura 5.6.1 – Valores de $\delta^{13}\text{C}$ na morfoespécie <i>G. ruber</i> para todos os testemunhos categorizados em grupos morfométricos.....	64
Figura 5.6.2 – Valores de $\delta^{18}\text{O}$ na morfoespécie <i>G. ruber</i> para todos os testemunhos categorizados em grupos morfométricos.....	64
Figura 5.6.3 – Histogramas do sinal isotópico de carbono do WS de <i>G. sacculifer</i> categorizadas por testemunho e por grupo. Não há diferenças significativas entre os morfotipos ou entre as diferentes latitudes.....	65
Figura 5.6.4 – Histogramas do sinal isotópico de carbono da Fch em <i>G. sacculifer</i> categorizadas por testemunho e por grupo. Não há diferenças significativas entre os morfotipos ou entre as diferentes latitudes.....	65
Figura 5.6.5 – Histogramas do sinal isotópico de oxigênio do WS em <i>G. sacculifer</i> categorizadas por testemunho e por grupo. Não há diferenças significativas entre os morfotipos ou entre as diferentes latitudes.....	66
Figura 5.6.6 – Histogramas do sinal isotópico de oxigênio da Fch em <i>G. sacculifer</i> categorizadas por testemunho e por grupo. Não há diferenças significativas entre os morfotipos ou entre as diferentes latitudes.....	66
Tabela 5.6.2 – Correlação entre as medidas morfométricas em <i>G. sacculifer</i> e latitude, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$	67
Figura 5.6.7 – Valores de $\delta^{13}\text{C}$ na morfoespécie <i>G. menardii</i> para todos os testemunhos categorizados em grupos morfométricos.....	68
Figura 5.6.8 – Valores de $\delta^{18}\text{O}$ na morfoespécie <i>G. menardii</i> para todos os testemunhos categorizados em grupos morfométricos.....	68
Figura 5.6.9 – Valores de $\delta^{13}\text{C}$ na morfoespécie <i>G. siphonifera</i> para todos os testemunhos categorizados em genótipos.....	70
Figura 5.6.10 – Valores de $\delta^{18}\text{O}$ na morfoespécie <i>G. siphonifera</i> para todos os testemunhos categorizados em grupos genótipos.....	70

Lista de Tabelas

Tabela 5.1.1 - MANOVA realizada sobre dados de contagem de diferentes amostras por três pesquisadores do laboratório. Não observam-se diferenças significativas entre os pesquisadores; no entanto, também não observam-se diferenças significativas entre as diferentes profundidades, onde sabe-se que existem diferenças faunísticas e climáticas importantes para as interpretações paleoambientais.	37
Tabela 5.3.1 - Análise Discriminante para identificar parâmetros morfométricos que diferem significativamente entre as morfoespécies utilizadas. a análise indica que todas as proporções testadas são significativas na diferenciação entre as morfoespécies testadas ($p < < 0$).	40
Tabela 5.3.2 - Funções de classificação geradas a partir das proporções observadas nas espécies Ou - <i>Orbulina universa</i> ; Nd - <i>Neogloboquadrina dutertrei</i> ; Gtm - <i>Globorotalia menardii</i> ; Gswos - <i>Globigerinoides sacculifer</i> sem saco; Gsws - <i>Globigerinoides sacculifer</i> com saco; Grp - <i>Globigerinoides ruber pink</i> ; Grw - <i>Globigerinoides ruber white</i> ; Gcg - <i>Globigerinoides conglobatus</i> ; e Gsi - <i>Globigerinoides siphonifera</i> .	40
Tabela 5.3.3 - Análise discriminante dos indivíduos identificados através do tamanho dos poros da testa. Wilks' Lambda: .66783; aprox. F (10,83)=4.1283; $p < .0001$.	43
Tabela 5.3.4 - Ocorrência dos morfotipos da morfoespécie <i>G. ruber</i> em cada testemunho.	45
Tabela 5.3.5 - Ocorrência dos morfotipos da morfoespécie <i>G. sacculifer</i> em cada testemunho.	46
Tabela 5.3.6 - Ocorrência dos morfotipos da morfoespécie <i>G. menardii</i> em cada testemunho.	48
Tabela 5.3.7 - Ocorrência dos genótipos da morfoespécie <i>G. siphonifera</i> .	50
Tabela 5.6.1 - Correlação entre as medidas morfométricas de <i>G. ruber</i> e latitude, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$.	62
Tabela 5.6.3 - Correlação entre as medidas morfométricas em <i>G. menardii</i> e latitude, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$.	69
Tabela 5.6.4 - Correlação entre as medidas morfométricas de <i>G. siphonifera</i> e latitude, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$.	71

Lista de Equações

Equação 4.3.1 - Equação de Elipsidade.....	29
Equação 4.3.2 - Equação de Lobação da testa.....	29
Equação 4.3.3 - Equação de Elongação da testa e câmaras..	29
Equação 4.3.4 - Equação de Razão de caixa da testa.....	30
Equação 4.3.5 - Equação de Área de elipses utilizada para cálculo aproximado das áreas das câmaras.....	30
Equação 4.3.6 - Equação para o volume das câmaras.....	30
Equação 4.4.1 - Equação de valor isotópico em partes por mil (Urey, 1948).....	32
Equação 4.4.2 - Equação de $\delta^{18}\text{O}$:temperatura, onde T é a temperatura em graus celsius, δ_c é o valor isotópico da calcita e δ_w é o valor isotópico da água onde ocorreu a calcificação.....	34
Equação 4.4.3 - Relação salinidade: δ_w para o Atlântico equatorial oeste de Fairbanks et al. (1992).....	35

"Try not to have a good time...
this is supposed to be educational"

Charles M. Schulz

Agradecimentos

Agradeço à FAPESP por conceder minhas bolsas de doutorado (Processo 2011/00350-6) e de estágio em pesquisa no exterior (Processo 2013/02425-9).

Agradeço ao meu orientador, Felipe Antônio de Lima Toledo, à toda equipe do laboratório, ao Instituto Oceanográfico e à Universidade de São Paulo por possibilitarem o desenvolvimento do meu doutorado.

Agradeço ao meu supervisor, Howard Spero, à Universidade da Califórnia e todos os pesquisadores que me acolheram durante minha estadia na universidade, principalmente a Anthony Meniccuci que realizou meu treinamento no laboratório.

Agradeço à Universidade Estadual Paulista (UNESP) pelo início de minha formação e todos amigos que fiz lá e que me acompanham e aconselham até hoje. Agradeço a Francisco Buchmann e Maria Alejandra Pível que me incentivaram na escolha desta área de pesquisa.

Agradeço aos amigos e família (humana e canina) por me proporcionarem bons momentos e muito carinho no fim dos dias duros para me dar forças para seguir em busca do meu sonho de ser pesquisadora. Agradeço especialmente ao meu companheiro Fabiano que mudou tudo em sua vida para me acompanhar e apoiar o tempo todo; e aos meus pais e irmã por compreenderem minha ausência por um ano. Muito obrigada por TUDO!

Agradeço a vida pelas oportunidades que me traz, ao meu anjo-da-guarda por me proteger, me dar luz e sorte quando preciso. Agradeço aos meus pais por me ensinarem a aproveitar as oportunidades que a vida me traz e principalmente por serem os meus maiores exemplos de vida.

Agradeço à Deus e ao universo.

Resumo

A taxonomia de foraminíferos planctônicos é fonte de discussões desde o início de sua utilização na paleoceanografia, havendo discordância tanto na sua classificação como identificação. Estudos genéticos em foraminíferos planctônicos identificaram a presença de mais de uma espécie dentro das espécies aceitas atualmente. Estas espécies possuem diferenças ecológicas entre si, tendo implicações para interpretações paleoceanográficas. A morfometria e isótopos de carbono e oxigênio foram escolhidos como uma alternativa mais acurada e reproduzível para identificação de variações morfológicas e para explorar a ecologia dos indivíduos estudados, respectivamente. Foram utilizadas amostras de sedimento da margem continental brasileira para explorar o potencial da morfometria como ferramenta paleoceanográfica. Foi possível observar a dominância do genótipo *pink* de *Globigerinoides ruber* na margem continental brasileira. Para *Globigerinoides sacculifer*, foi possível identificar comportamentos de migração vertical distintos entre os morfotipos identificados. Em *Globorotalia menardii* observa-se que as relações morfométricas-ambientais para o grupo todo se mantém quando a análise é feita separadamente em cada morfotipo, confirmando o potencial da correlação direta da morfometria com variáveis ambientais. Já em *Globigerinella siphonifera*, a diferença morfológica é atribuída a presença de diferentes espécies e não a influências do ambiente sobre a morfologia.

Palavras-chaves: morfometria, morfologia, morfoespécies, espécies crípticas, isótopos estáveis, paleoceanografia.

Abstract

Although taxonomy in planktonic foraminifera has been subject of debates since the beginning of its use in paleoceanography, disagreement in their classification and identification remains. Genetic investigations have identified the presence of more than one species for some of the species accepted nowadays. Hence, these species display ecological differences among them, resulting in implications for paleoceanographic interpretations. Morphometry and carbon and oxygen stable isotopes were chosen as a more precise and reproducible alternative to identify morphological variations and to explore the ecology of the specimens, respectively. Sediment samples from the Brazilian Continental Margin were used to explore morphometry's potential as a paleoceanography tool. It was possible to observe the dominance of the pink genotype in *Globigerinoides ruber* at Brazilian continental margin. For *Globigerinoides sacculifer*, it was possible to identify distinct vertical migration behaviour in each identified morphotype. In *Globorotalia menardii* it is possible to observe that the morphometric-environmental relations for the whole group is maintained when each morphotype is analysed separately, confirming the potential of direct correlations between morphometry and environmental variables. Meanwhile, in *Globigerinella siphonifera* the morphological difference is attributed to the presence of two different species and not to the influence of the environment on the morphology.

Key-words: morphometry, morphology, morphospecies, cryptic species, stable isotopes, paleoceanography.

Lista de Abreviações e Siglas

Foi dada preferência à utilização das siglas em inglês devido à dominância de publicações em jornais estrangeiros em língua inglesa, inclusive de pesquisadores brasileiros.

AAIW - Água Intermediária Antártica (*Antarctic Intermediate Water*)

BC - Corrente do Brasil (*Brazil Current*)

Fch - *Final chamber* ou última câmara

F-1ch - penúltima câmara

F-2ch - antepenúltima câmara

IRMS - *Micromass Optima isotope ratio*

LaPAS - Laboratório de Paleoceanografia do Atlântico Sul

NADW - Água Profunda do Atlântico Norte (*North Atlantic Deep Water*)

NBC - Corrente Norte do Brasil (*North Brazil Current*)

SACW - Água Central do Atlântico Sul (*South Atlantic Central Water*)

SASG - Giro Subtropical do Oceano Atlântico Sul (*South Atlantic Subtropical gyre*)

SEC - Corrente Sul Equatorial (*South Equatorial Current*)

SEM - Microscopia eletrônica de varredura (*Scanning Electronic Microscope*)

STCZ - Zona de Convergência Subtropical (*Subtropical Convergence Zone*)

TW - Água Tropical (*Tropical Water*)

UCD - *University of California* - Davis

WS - sigla utilizada para se referir ao restante da testa nos indivíduos nos quais a última câmara foi amputada

δ_w - valor isotópico de oxigênio na água do mar

δ_c - valor isotópico de oxigênio na calcita

Glossário

efeito vital: desvio do equilíbrio observado na composição química da testa de um organismo causado pelas funções metabólicas de uma determinada espécie (Ravelo e Hillaire-Marcel, 2007).

espécie: uma entidade taxonômica composta por um grupo de indivíduos geneticamente similares em que é impossibilitado o cruzamento com sucesso com outras populações pertencentes a outro grupo genético.

espécie críptica: quando a individualização da espécie não é evidente morfológicamente; estas espécies que apresentam diferenciação morfológica ausente ou extremamente sutil entre si são agrupadas equivocadamente em apenas uma espécie, mais precisamente, numa mesma morfoespécie ou complexo de espécies. (Kucera e Darling, 2002)

espécie pseudo-críptica: são espécies que são agrupadas no táxon por grande similaridade morfológica. Porém ao serem diagnosticadas como espécies distintas em estudos moleculares e posteriores análises morfológicas meticolosas estabelecem-se distinções morfológicas reproduzíveis. (Aurahs, 2010; Knowlton, 1993; Kucera e Darling, 2002)

feição diagnóstica ou taxonômica: são as feições morfológicas consideradas diagnósticas de um táxon. Ou seja, é a característica morfológica que torna possível a separação dos organismos em grupos taxonômicos distintos. (Boltovskoy, 1965; Baum, 1992; Quillévére et al., 2013; Scott, 2011)

feição morfológica: toda feição que possa ser utilizada para descrever um indivíduo (Boltovskoy, 1965).

fenótipo: é o caractere ou conjunto de caracteres resultantes da sobreposição de efeitos ecológicos à informação genética do indivíduo (genótipo) (Haynes, 1992; Mora e Amann, 2000).

genótipo: é o conjunto de informação genética que define caracteres do indivíduo (Robbins e Healy-Williams, 1991; Mora e Amann, 2000).

morfoespécie: indivíduos agrupados pelo conceito paleontológico morfológico de espécie; podendo muitas vezes corresponder a um grupo geneticamente diverso. (Kucera e Darling, 2002; Strotz e Allen, 2013)

morfotipo: um tipo morfológico existente dentro de uma espécie que decorre de variações fenotípicas. Também referido na literatura como ecofenotipo (Armstrong e Brasier, 2013; Davis *et al.*, 2013; Emiliani, 1969; Lohmann e Malmgren, 1983; Pawlowski e Holzmann, 2002).

táxon: unidade taxonômica que agrupa indivíduos que compartilham caracteres em comum, podendo ser esse agrupamento de vários níveis: reino, ordem, gênero, espécie etc.

testa: nomenclatura utilizada para a concha de calcita formada pelo foraminífero, também pode ser chamada de carapaça ou teca.

variação fenotípica: é a variação decorrente da informação genética do indivíduo sobreposta por efeitos ecológicos do ambiente no qual ele se desenvolveu. (Kucera, 2007)

variação genotípica: é a variação genética contida no material genético do organismo, que pode dar origem a variações morfológicas e/ou ecológicas.

variação inter-específica: variações observadas entre indivíduos que são atribuídas ao fato deles pertencerem a diferentes espécies.

variação intra-específica: variações observadas entre indivíduos de uma mesma espécie.

1. Introdução

A identificação de espécies de foraminíferos planctônicos tem sido debatida desde o início de sua utilização na paleoceanografia até os dias de hoje, havendo discordância no estabelecimento de espécies e sub-espécies, e das características utilizadas para distingui-las (Cordey, 1967; Lipps, 1966; Parker, 1962; Williams *et al.*, 2006). Isto ocorre porque apesar de foraminíferos serem um grupo existente nos oceanos modernos, devido a sua grande aplicação geológica e ao grande número de espécies extintas, a filogenia do grupo foi feita baseada em um conceito paleontológico, essencialmente morfológico (Berger, 1969a; Hecht e Savin, 1972), o que em sua essência dá origem apenas a morfoespécies e não necessariamente a espécies verdadeiras. Por este motivo, as espécies de foraminíferos planctônicos aceitas atualmente são aqui referidas como morfoespécies.

O conceito biológico de espécie determina que duas populações constituem duas espécies distintas quando elas se tornam duas populações reprodutivamente isoladas (Simpson, 1961). A especiação pode ser acompanhada por diferenças genéticas, ecológicas e morfológicas (Boltovskoy, 1965); no entanto, nem sempre todas as variações ocorrem ou podem ser notadas. No ambiente marinho, é muito comum a ocorrência da evolução gradual das espécies devido à ausência de uma barreira física ao fluxo genético (Norris *et al.*, 1996). O resultado disso são estágios morfológicos intermediários entre as espécies ou até mesmo o desenvolvimento de espécies crípticas, entre as quais as diferenças morfológicas entre espécies podem ser muito sutis ou até inexistentes.

O atual sistema taxonômico de foraminíferos planctônicos pode resultar em ambiguidades taxonômicas que afetam interpretações ambientais (Anjos-Zerfass e Carreño, 2006). Além de apresentar evolução gradativa, este é um grupo de alta plasticidade morfológica (Berger, 1969a; Hecht e Savin, 1972; Kucera, 2007; Parker, 1962; Scott, 2011). A classificação paleontológica não permite a diferenciação segura entre variações morfológicas intra-específicas (que diferenciam morfotipos) e feições taxonômicas (que determinam uma espécie) (Berger, 1969a; Haynes, 1992; Knappertsbusch, 2007; Robbins e Healy-Williams, 1991). Dessa forma, a plasticidade morfológica do grupo pode levar a classificação de espécies baseada em variações morfológicas intra-específicas fenotípicas, criando especiações artificiais.

Mesmo nas espécies amplamente utilizadas na paleoceanografia, como *Globigerinoides ruber* (Kuroyanagi et al., 2008; Aurahs et al. 2009), *Globigerinoides sacculifer* (Andre et al., 2013), *Globorotalia menardii* (Regenberg et al., 2010) e *Globigerinella siphonifera* (Huber, et al., 1997; Bijma et al., 1998), a plasticidade morfológica foi melhor compreendida apenas recentemente. A morfoespécie *Globigerinoides ruber*, é comumente distinguida nas variedades *pink* e *white* (Deuser e Ross, 1989; Robbins e Healy-Williams, 1991; Arz et al., 1999; Kemle-von Mücke e Hemleben, 1999; Chiessi et al., 2007; Pivel et al.; 2013), sendo muitas vezes a variedade *white* subdividida em morfotipos *kummerform*, *sensu stricto* (ss) e *sensu lato* (sl) (Kennett e Srinivasan, 1983; Wang, 2000). Atualmente sabe-se que existem cinco genótipos dentro da morfoespécie *Globigerinoides ruber*, podendo ela portanto ser dividida em cinco espécies (Kuroyanagi et al., 2008; Aurahs et al., 2011). Já em *Globigerinoides sacculifer* e *Globorotalia*

menardii, apesar de terem havido tentativas de separá-las em mais de uma espécie (Srinivasan *et al.*, 1974), análises genéticas confirmaram a presença de uma espécie única apesar da grande plasticidade morfológica (de Vargas *et al.*, 1997; Andre *et al.*, 2013). E na *Globigerinella siphonifera*, apesar de não se observarem diferenças morfológicas dentro do grupo que levassem-na a ser dividida em duas espécies, foram identificados dois genótipos para ela (Huber *et al.*, 1997; Bijma *et al.*, 1998).

Uma espécie de foraminífero planctônico é geralmente descrita segundo o formato da testa, disposição das câmaras, formato da abertura e estrutura da parede de sua testa (Berger, 1969b; Bé *et al.*, 1969; Cordey, 1967; Hecht e Savin, 1972; Lipps, 1966). Idealmente, as feições taxonômicas devem ser reproduzíveis e minimamente subjetivas, mas não é o que observamos atualmente. São utilizadas feições taxonômicas como câmaras infladas, aberturas largas, entre outros, que apresentam estágios gradativos (Berger, 1969a; Malmgren e Kennett, 1977). As feições taxonômicas não deveriam possuir estágios gradativos, deveriam ser exatos como direção de enrolamento, presença/ausência de estruturas como quilha ou lábio (Berger, 1969a). No entanto, isso nem sempre é possível. Comparando o resultado da identificação de assembléias de foraminíferos planctônicos por diferentes pesquisadores em um mesmo grupo de pesquisa, Al-Sabouni e Kucera (2006) confirmam o cenário descrito aqui; foi observada baixa consistência na identificação entre os pesquisadores que participaram do experimento.

A aquisição de dados genéticos e ecológicos necessários para a correta classificação dos foraminíferos planctônicos não é fácil e ainda encontra-se em progresso atualmente. As investigações genéticas não eram realizadas

até o fim da década de 90 devido à dificuldade de extração de material genético de foraminíferos; o material extraído era diminuto e com potencial contaminação de material genético de seus simbiontes e outros organismos aderidos à testa (Kucera e Darling, 2002; Pawlowski e Holzmann, 2014). Foi desenvolvido paralelamente por Darling *et al.* (1996) e de Vargas *et al.* (1997) uma metodologia que tornou possível realizar o isolamento genético em foraminíferos planctônicos. Após o desenvolvimento desta técnica, observou-se um número crescente de publicações envolvendo estudos genéticos que esclarecem as relações filogenéticas dentro dos foraminíferos planctônicos e sua taxonomia (André *et al.*, 2013; Aurahs *et al.*, 2009; de Vargas *et al.*, 1999; 2002; de Vargas e Pawlowski, 1998; Kucera e Darling, 2002; Morard *et al.*, 2009; 2011; 2013; Quillévéré *et al.*, 2013; Stewart *et al.*, 2001; Tsuchiya *et al.*, 2000; Ujiié e Asami, 2013; Ujiié e Lipps, 2009; Weiner *et al.*, 2014; 2015). Investigações em foraminíferos planctônicos vivos e de sua ecologia são dificultadas pela impossibilidade de observá-los em seu ambiente natural e pela dificuldade de manter culturas destes organismos (Hemleben, 1989). No entanto, análises geoquímicas podem ser utilizadas alternativamente a observações diretas (Henderson, 2002; Kucera *et al.*, 2005); a composição química da testa de foraminíferos reflete a composição química da água do mar na qual ela se formou (Ravelo e Hillaire-Marcel, 2007), sendo possível realizar inferências ecológicas através de análises feitas na testa dos foraminíferos. Aqui neste estudo, isótopos estáveis de carbono e oxigênio foram utilizados para inferir a produtividade e temperatura onde a testa foi formada, possibilitando também localizar onde ocorre a calcificação na coluna d'água.

Foram descritos cerca de 33 tipos genéticos crípticos em 9 das 22 morfoespécies que já tiveram seu código genético sequenciado, e esses genótipos apresentam distribuições não-aleatórias, demonstrando suas prováveis preferências ecológicas distintas (Kucera e Darling, 2002). Os estudos genéticos se concentram nas espécies de foraminíferos planctônicos mais empregadas na paleoceanografia. O número de morfoespécies investigadas não aumentou desde a publicação do trabalho de Kucera e Darling (2002); foram apenas descritos mais três tipos genéticos em *Neogloboquadrina pachyderma* (Darling et al., 2004). Estudos genéticos recentes tem se concentrado na implicância que os tipos genéticos descritos até o momento tem sobre as interpretações paleoceanográficas (Kucera et al., 2005; Kucera e Darling, 2002; Weiner et al., 2014).

Apesar da genética solucionar as ambiguidades taxonômicas, ela ainda não soluciona o problema da subjetividade na identificação. Poucos estudos genéticos foram acoplados à morfologia permitindo que os tipos genéticos sejam identificados (e.g. Aurahs et al., 2011; Darling et al., 2006; de Vargas et al., 1999; Huber et al., 1997; Kuroyanagi et al., 2008; Morard et al., 2009; Weiner et al., 2015).

Uma forma mais acurada e reproduzível de explorar a morfologia é a morfometria, que foi adotada por Huber et al. (1997), Kuroyanagi et al. (2008), Morard et al. (2009) e Aurahs et al. (2011). Na morfometria, características subjetivas como "câmaras infladas" e "testa alongada" são substituídas por parâmetros morfométricos mais precisos como "elipsidade das câmaras" e "razão de caixa da testa", respectivamente (Aurahs et al., 2009; Kucera e Kennett, 2002).

O presente estudo busca aplicar conceitos morfométricos em morfoespécies de foraminíferos planctônicos da margem continental brasileira. A maior parte das investigações morfométricas e genéticas ocorreram nos oceanos Atlântico Norte e Pacífico, havendo uma escassez de informações na margem continental brasileira. Para o Atlântico Norte existem informações morfométricas e genéticas de poucas morfoespécies (de Vargas *et al.*, 1999; Norris e de Vargas, 2000; de Vargas *et al.*, 2001; de Vargas *et al.*, 2002; Ujiie *et al.*, 2010; Morard *et al.*, 2011). O presente estudo foca nas quatro morfoespécies mais utilizadas em estudos paleoceanográficos e que possuem dados genéticos e morfométricos disponíveis: *Globigerinoides ruber*, *Globigerinoides sacculifer*, *Globorotalia menardii* e *Globigerinella siphonifera*.

O presente trabalho utilizou-se de dados morfométricos da literatura para identificar genótipos descritos na literatura. Parâmetros morfométricos foram utilizados para definir morfotipos nestas morfoespécies. A composição isotópica de carbono e oxigênio foi utilizada tanto para verificar a existência de diferenças ecológicas entre os morfotipos identificados quanto para reavaliar a relação da morfologia com variações ambientais. Dessa forma, foi possível compreender melhor a interação das relações entre a morfologia e variáveis ambientais nas morfoespécies, seus morfotipos e tipos genéticos, apontando que a correlação direta da morfologia com o ambiente nem sempre resulta em relações corretas. Foi também possível observar o potencial da morfometria em aumentar a consistência taxonômica em foraminíferos planctônicos.

2. Objetivos

Verificar a possibilidade do uso da morfometria na identificação de morfoespécies/espécies crípticas/morfotipos de foraminíferos planctônicos e avaliar diferenças ecológicas entre os morfotipos encontrados em amostras de sedimento de testemunhos da margem continental brasileira.

Objetivos Específicos:

- avaliar o uso da morfometria na identificação de foraminíferos planctônicos;
- observar a ocorrência dos genótipos apresentados na literatura em sedimentos da costa brasileira;
- avaliar diferenças ecológicas entre os genótipos e morfotipos encontrados;
- reavaliar relações entre a morfometria e variáveis ambientais.

3. Área de Estudo

3.1. Configurações oceanográficas

Os sedimentos utilizados encontram-se distribuídos ao longo da margem continental brasileira sob influência do Giro Subtropical do Atlântico Sul (*South Atlantic Subtropical gyre* - SASG), especificamente da corrente de contorno oeste, a Corrente do Brasil (*Brazil Current* - BC). Devido o caráter variável da posição das correntes, um ou dois dos testemunhos utilizados, localizados mais ao norte, podem encontrar-se sob a influência da Corrente Norte do Brasil (*North Brazil Current* - NBC) (Figura 4.1.1; Tabela 4.1.1). A BC e NBC são originadas a partir da bifurcação da Corrente Sul Equatorial (*South Equatorial Current* - SEC). Os testemunhos KF-A e KF-C encontram-se sob a NBC podendo apresentar diferenças ambientais mais acentuadas do que entre os testemunhos sob a BC.

A BC flui no sentido sul até a região da Convergência Subtropical (*Subtropical Convergence Zone* - STCZ) (~33-38 °S), onde ao encontrar-se com a Corrente das Malvinas, a BC se afasta da costa. As correntes de contorno oeste dos Giros Subtropicais são geralmente descritas como correntes intensas, estreitas e bem definidas. No entanto, a BC é uma corrente fraca quando comparada a outras correntes de contorno oeste como a Corrente do Golfo.

A BC é composta por duas massas d'água, a Água Tropical (*Tropical Water* - TW) e a Água Central do Atlântico Sul (*South Atlantic Central Water* - SACW), tendo grande influência de duas outras massas d'água, a Água Intermediária Antártica (*Antartic Intermediate Water* - AAIW) e a Água Profunda do Atlântico Norte (*North Atlantic Deep Water* - NADW) (Figura 3.1.1). A TW e a SACW fluem em sentido sul junto ao SASG. A BC se origina a partir da SEC,

a qual se divide em BC e NBC em aproximadamente 10 °S (Silveira *et al.*, 2000; Stramma, 1991; Stramma *et al.*, 1990). Em sua origem, a BC é uma corrente estreita, rasa, quente e salina composta basicamente pela TW. Aproximadamente em 15 °S, devido ao alargamento da plataforma continental, a BC se afasta da costa e a partir de 20 °S passa a ter a contribuição da SACW, se tornando mais profunda e com maior transporte de volume, atingindo até 750 m em 28 °S (Campos *et al.*, 1995; Evans e Signorini, 1985). Para a AAIW não existe um consenso sobre o seu fluxo, ela se forma na região da STCZ e flui em sentido norte, no entanto acredita-se que ela possa se unir ao SASG próximo a Cabo Frio (23 °S), em um padrão semelhante a SACW, intensificando a BC (Silveira *et al.*, 2000). Já a NADW se forma no Atlântico Norte e flui em níveis entre 1500 e 3000 m em sentido sul até cerca de 32 °S, onde parte da corrente retorna em sentido norte. Ao sul de 25 °S as quatro massas d'água fluem em sentido sul (Silveira *et al.*, 2000) (Figura 3.1.1). Na altura da Bacia de Santos, os vórtices produzidos pela BC em conjunto com os ventos da região criam uma região de ressurgência que traz águas mais frias e com nutrientes da SACW para a superfície.

A NBC constitui o componente norte da Célula Termohalina do Oceano Atlântico, incluindo as massas d'água TW, SACW e AAIW. Enquanto a BC em sua origem transporta 4 Sv, chegando em alguns pontos a 16 Sv (Silveira *et al.*, 2000), a NBC é bem mais intensa chegando a transportar em média 21 Sv (Silveira *et al.*, 1994).

FIGURA 3.1.1 - ESQUEMA VERTICAL DA CIRCULAÇÃO GERAL SUPERFICIAL E PROFUNDA AO LONGO DA MARGEM CONTINENTAL BRASILEIRA (CALADO ET AL., 2008 MODIFICADO DE MATSUURA, 1986).

3.2. Características da coluna d'água

Os testemunhos estudados abrangem uma extensa parte da margem continental brasileira, podendo representar condições ambientais consideravelmente diferentes. Aqui é feita uma breve descrição das diferenças que podem ser observadas na coluna d'água entre o local dos cinco diferentes testemunhos com base em dados provenientes de estações do WOA09 próximas ao local de cada um dos testemunhos utilizados (Antonov et al., 2010; Garcia et al., 2010; Locarnini et al., 2010); as cinco estações utilizadas foram 205222 (-8.5°S , 325.5°O) (correspondendo ao testemunho KF-I), 18842 (-14.5°S , 321.5°O) (correspondendo ao testemunho KF-E), 17233 (-20.5°S , 320.5°O) (correspondendo ao testemunho KF-13), 16159 (-24.5°S , 317.5°O) (correspondendo ao testemunho KF-A) e 17497 (-19.5°S , 322.5°O) (correspondendo ao testemunho KF-C).

Na Bacia de Paraíba-Pernambuco, onde localiza-se o testemunho mais ao norte, KF-C, apresenta as temperaturas mais altas dentre as localidades estudadas (Figuras 3.2.1 e 3.2.2). A região possui uma expressiva camada de salinidade máxima em 100 m de profundidade em todas as estações do ano, sendo mais suave durante o verão e mais marcada no inverno; através da seção vertical latitudinal (Figura 3.2.3) é possível observar que esta camada de salinidade máxima encontra-se mais profunda provavelmente por influência de águas doces na superfície provenientes do norte. Durante a primavera observa-se uma termoclina mais inclinada (Figura 3.2.1).

Ao norte da margem continental observa-se uma camada de mistura mais espessa (~100 m) em relação à porção sul (~50m) da margem continental brasileira (Figura 3.2.2). A distribuição superficial de fosfato apresenta uma pequena variação sazonal ao longo da margem continental brasileira: ao sul de 30 °S observa-se uma maior concentração durante o outono, enquanto no inverno e primavera uma maior concentração ao norte do equador também pode ser observada (Figura 3.2.4). A distribuição de nitrato nas camadas superficiais já pode ser considerada mais constante ao longo da margem continental brasileira (Figura 3.2.5).

O testemunho KF-A, na Bacia Camamu-Almada, localiza-se aproximadamente 6 ° ao sul do testemunho KF-C. Este local apresenta as maiores salinidade superficiais dentre os pontos estudados (Figura 3.2.1). A camada de salinidade máxima, em 100 m, já quase não é observada como no local do testemunho KF-C; é possível observar uma fraca camada de salinidade máxima entre 80 e 90 metros e durante o verão ela não é observada. Já as temperaturas são bastante similares às temperaturas da região do KF-C (Figura 3.2.1).

Os testemunhos KF-13 e KF-E, localizados próximos ao limite entre as Bacias de Campos e Santos, encontrando-se bastante próximos um do outro. A região que os compreende possui temperaturas estáveis ao longo das estações do ano quando comparadas às outras regiões estudadas (Figura 3.2.1). O testemunho KF-13 sempre apresenta temperatura e salinidade inferiores ao do testemunho KF-E, com exceção do verão, quando essa relação se inverte (Figura 3.2.1).

FIGURA 3.2.1 - PERFIS DE TEMPERATURA E SALINIDADE DOS CINCO TESTEMUNHOS UTILIZADOS (WOA09) (ANTONOV ET AL., 2010; LOCARNINI ET AL., 2010).

FIGURA 3.2.2 - SEÇÃO VERTICAL LATITUDINAL DA TEMPERATURA (LOCARNINI *ET AL.*, 2010) AO LONGO DO SETOR ESTUDADO DA MARGEM CONTINENTAL BRASILEIRA. SÃO APRESENTADOS QUATRO PAINÉIS COM DADOS SAZONAIS DE VERÃO (PAINEL SUPERIOR ESQUERDO), OUTONO (PAINEL SUPERIOR DIREITO), INVERNO (PAINEL INFERIOR ESQUERDO) E PRIMAVERA (PAINEL INFERIOR DIREITO). OS DADOS SÃO DO WOA 09. OS TESTEMUNHOS ESTUDADOS ENCONTRAM-SE INDICADOS PELOS NÚMEROS 1 (KF-I), 2 (KF-E), 3 (KF-13), 4 (KF-A) E 5 (KF-C).

FIGURA 3.2.3 - SEÇÃO VERTICAL LATITUDINAL DA SALINIDADE (ANTONOV *ET AL.*, 2010) AO LONGO DO SETOR ESTUDADO DA MARGEM CONTINENTAL BRASILEIRA. SÃO APRESENTADOS QUATRO PAINÉIS COM DADOS SAZONAIS DE VERÃO (PAINEL SUPERIOR ESQUERDO), OUTONO (PAINEL SUPERIOR DIREITO), INVERNO (PAINEL INFERIOR ESQUERDO) E PRIMAVERA (PAINEL INFERIOR DIREITO). OS DADOS SÃO DO WOA 09. OS TESTEMUNHOS ESTUDADOS ENCONTRAM-SE INDICADOS PELOS NÚMEROS 1 (KF-I), 2 (KF-E), 3 (KF-13), 4 (KF-A) E 5 (KF-C).

FIGURA 3.2.4 - SEÇÃO VERTICAL LATITUDINAL DA CONCENTRAÇÃO DE FOSFATO (GARCIA *ET AL.*, 2010) AO LONGO DO SETOR ESTUDADO DA MARGEM CONTINENTAL BRASILEIRA. SÃO APRESENTADOS QUATRO PAINÉIS COM DADOS SAZONAIS DE VERÃO (PAINEL SUPERIOR ESQUERDO), OUTONO (PAINEL SUPERIOR DIREITO), INVERNO (PAINEL INFERIOR ESQUERDO) E PRIMAVERA (PAINEL INFERIOR DIREITO). OS DADOS SÃO DO WOA 09. OS TESTEMUNHOS ESTUDADOS ENCONTRAM-SE INDICADOS PELOS NÚMEROS 1 (KF-I), 2 (KF-E), 3 (KF-13), 4 (KF-A) E 5 (KF-C).

FIGURA 3.2.5 - SEÇÃO VERTICAL LATITUDINAL DA CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (GARCIA *ET AL.*, 2010) AO LONGO DO SETOR ESTUDADO DA MARGEM CONTINENTAL BRASILEIRA. SÃO APRESENTADOS QUATRO PAINÉIS COM DADOS SAZONAIS DE VERÃO (PAINEL SUPERIOR ESQUERDO), OUTONO (PAINEL SUPERIOR DIREITO), INVERNO (PAINEL INFERIOR ESQUERDO) E PRIMAVERA (PAINEL INFERIOR DIREITO). OS DADOS SÃO DO WOA 09. OS TESTEMUNHOS ESTUDADOS ENCONTRAM-SE INDICADOS PELOS NÚMEROS 1 (KF-I), 2 (KF-E), 3 (KF-13), 4 (KF-A) E 5 (KF-C).

O testemunho KF-I, na Bacia de Santos, é o de localização mais ao sul, apresentando as menores salinidades e temperaturas (Figura 3.2.1), o que fica mais visível durante a primavera e verão (Figuras 3.2.2 e 3.2.3).

3.3. Foraminíferos planctônicos das amostras

As assembléias modernas dos cinco testemunhos são dominadas pelas morfoespécies *Globigerinoides ruber* e *Globigerinoides sacculifer*. A morfoespécie *Globorotalia menardii* encontra-se bem representada na assembléia e a *Globigerinella siphonifera* poucos espécimens nas assembléias (Figura 3.3.1; Apêndice 1). Dados da fauna total de foraminíferos planctônicos podem ser encontrados em (Costa, 2000; de Quadros, 2007; Iwai, 2010; Pivel, 2009; Santarosa, 2010; Santos, 2007; Toledo, 2000).

FIGURA 3.3.1 - ABUNDÂNCIA DAS ESPÉCIES MAIS REPRESENTATIVAS DAS AMOSTRAS DE TOPO DOS TESTEMUNHOS KF-C, KF-A, KF-13, KF-E E KF-I. OS TESTEMUNHOS ENCONTRAM-SE DISPOSTOS POR ORDEM LATITUDINAL: TESTEMUNHOS MAIS AO NORTE NA ESQUERDA E TESTEMUNHOS AO SUL NA DIREITA.

4. Materiais e Métodos

4.1. Amostras de sedimento utilizadas

Foram utilizados sedimentos de amostras de topo de cinco testemunhos à pistão localizados ao longo da margem continental brasileira (Figura 4.1.1, Tabela 4.1.1). Os testemunhos em questão foram estudados em trabalhos anteriores do LaPAS (Laboratório de Paleooceanografia do Atlântico Sul) e possuem modelos de idade que permitem afirmar que o topo dos testemunhos foram preservados (Costa, 2000; de Quadros, 2007; Iwai, 2010; Pivel, 2009; Santarosa, 2010; Santos, 2007; Toledo, 2000).

FIGURA 4.1.1 - MAPA DA MARGEM CONTINENTAL BRASILEIRA COM LOCALIZAÇÃO DOS TESTEMUNHOS KF-C, KF-A, KF-13, KF-E E KF-I UTILIZADOS NO PRESENTE ESTUDO E ESQUEMATIZAÇÃO DA CIRCULAÇÃO SUPERFICIAL DO OCEANO ATLÂNTICO SUL COMO DESCRITO POR PETERSON E STRAMMA (1991).

Os sedimentos dos testemunhos foram lavados em água corrente em peneira de malha de 63 μm e posteriormente secos em estufa sob temperatura de 60 °C.

TABELA 4.1.1 - COORDENADAS GEOGRÁFICAS E PROFUNDIDADES DE COLETA DOS TESTEMUNHOS UTILIZADOS.

Testemunhos	Bacia	Latitude	Longitude	profundidade (m)
KF-C	Paraíba-Pernambuco	-08° 22' 12"	-34° 27' 36"	1315
KF-A	Camamu-Almada	-14° 24' 36"	-38° 49' 12"	965
KF-E	Espírito Santo	-20° 57' 36"	-39° 32' 24"	1995
KF-13	Campos	-20° 02' 24"	-38° 59' 24"	1774
KF-I	Santos	-24° 26' 24"	-42° 18' 00"	1682

4.2. Verificação de consistência taxonômica entre diferentes pesquisadores

Para fins ilustrativos, foram analisados dados pré-existentes do LaPAS para a verificação de consistência taxonômica entre diferentes pesquisadores dentro de um mesmo laboratório. Amostras de sedimentos de nove profundidades de um mesmo testemunho foram quarteadas até obter-se uma alíquota de ~300 foraminíferos planctônicos e a fauna total de foraminíferos desta alíquota foi contabilizada por três pesquisadores distintos. A abundância obtida para cada uma das espécies nas diferentes profundidades foi comparada entre os três pesquisadores utilizando-se a MANOVA (*Multivariate Analysis of Variance* - Análise Multivariada de Variância).

4.3. Análises morfométricas

4.3.1. Análises morfométricas entre frações de tamanho

A fração >63 μm foi subdividida em seis frações para verificar a existência de diferenças morfométricas dentro das morfoespécies estudadas. As seis frações de tamanho

estabelecidas foram: $>500\ \mu\text{m}$, $425\text{--}500\ \mu\text{m}$, $355\text{--}425\ \mu\text{m}$, $300\text{--}355\ \mu\text{m}$, $250\text{--}300\ \mu\text{m}$ e $150\text{--}250\ \mu\text{m}$. Os indivíduos de cada fração de tamanho foram comparados através de análises discriminantes a fim de verificar a consistência morfométrica entre indivíduos que pertencem a diferentes frações de tamanho. Verificando dessa forma se as diferenças morfométricas podem ser atribuídas a variações morfométricas propriamente ditas ou se podem ser resultado da presença de indivíduos em diferentes estágios ontogenéticos. Esta análise incluiu as morfoespécies *Orbulina universa*, *Globigerinoides conglobatus*, *Globigerinoides ruber*, *Globigerinoides sacculifer*, *Globigerina bulloides*, *Globigerinella siphonifera*, *Globigerinella calida*, *Globigerinita glutinata*, *Globorotalia crassaformis*, *Globorotalia scitula*, *Neogloboquadrina dutertrei* e *Globorotalia menardii*.

4.3.2. Análises morfométricas latitudinal e ecológica

Foram analisadas as variações morfológicas de morfoespécies de foraminíferos planctônicos em amostras recentes (últimos 5000 anos) a fim de diferenciar variações morfológicas devido à existência de diferentes morfotipos dentre as morfoespécies de variações morfológicas decorrentes de variações latitudinais/ambientais. Os pontos de estudo encontram-se nas Bacias de Camamu-Almada, de Paraíba-Pernambuco, de Espírito Santo, de Campos e de Santos (Figura 4.1.1).

4.3.3. Aquisição das medidas morfométricas em foraminíferos planctônicos

4.3.3.1. Obtenção de imagens para as análises morfométricas

Para possibilitar a aquisição das medidas morfométricas foram obtidas imagens dos espécimens selecionados para análise e posterior aquisição das medidas em *software* específico para esta função. A obtenção das medidas através de imagens digitais é bastante prática e possibilita o acesso posterior aos dados gerados.

4.3.3.1.1. Obtenção de imagens em microscopia de luz

Em microscópio estereoscópico com câmera digital integrada (AxioCam Erc5s) e acoplada a um computador foram obtidas as imagens necessárias. A aquisição das medidas foi realizada através do programa Axio Vision versão 4.8.2.0 (ZEISS) que obtém as medidas através de fotografias digitais na escala e unidade definidas.

Foram obtidas imagens dos indivíduos em vista umbilical, lateral e dorsal em aumento de 50X. As medidas de interesse foram estabelecidas para cada morfoespécie de acordo com as possibilidades que sua morfologia oferece (Figuras 4.3.1 - 4.3.16). A morfoespécie *Orbulina universa*, por exemplo, não oferece grandes possibilidades, sendo possível apenas medir sua área, eixo maior e menor (Figura 4.3.1). Por outro lado, a morfoespécie *Globigerinoides ruber* possui bastante parâmetros morfométricos a serem explorados como área, tamanho das últimas três câmaras (Fch, F-1ch e F-2ch), tamanho da abertura e altura da trocoespiral, totalizando em 16 parâmetros (Figura 4.3.3), dos quais o tamanho da última câmara (Fch), da abertura e da trocoespira podem ser bastante variáveis.

Já em outras espécies como a *Globigerinella siphonifera* (Figura 4.3.7), *Globigerinita glutinata* (Figura 4.3.9), *Neogloboquadrina pachyderma* (Figura 4.3.10), *Globorotalia menardii* (Figura 4.3.12), *Globorotalia*

truncatulinoidea (Figura 4.3.14), *Globorotalia crassaformis* (Figura 4.3.15) e *Globorotalia scitula* (Figura 4.3.16) a abertura é pouco variável ou não visualizável, não sendo portanto considerada como parâmetro relevante para medição nessas espécies. Abaixo encontram-se desenhos esquemáticos com indicação das medições realizadas em cada morfoespécie (Figuras 4.3.1 - 4.3.16).

4.3.3.1.2. Em microscopia eletrônica

Imagens em microscopia eletrônica de varredura (*Scanning Electronic Microscope* - SEM) foram obtidas apenas para indivíduos da morfoespécie *Globigerinella siphonifera*, para a qual estudos anteriores apontaram o tamanho dos poros da testa dos indivíduos como caractere importante para a identificação das espécies crípticas dentro desta morfoespécie (Bijma *et al.*, 1998; Huber *et al.*, 1997).

Para tanto, foram extraídos fragmentos da Fch de cada espécimen, com o auxílio de uma lâmina cirúrgica n. 11 como descrito por Shuxi (1990), para possibilitar a aquisição de imagens dos poros a partir do lado interno da testa. Apesar de ser demonstrado que a camada interna da calcita é mais suscetível à dissolução (Iwasaki *et al.*, 2015), acredita-se que o tamanho dos poros medidos na parte interna da testa reflita o tamanho mais próximo do tamanho real do poro por não sofrer alterações por calcificação secundária (Bé, 1968). Os fragmentos foram fixados em fita adesiva à base de carbono e as imagens foram obtidas em SEM de mesa Hitachi TM1000 (aumento de 1500X) na Universidade da Califórnia (Davis - UCD) e no Instituto "Wrigley" de Estudos Ambientais da Universidade do Sul da Califórnia (USC WIES).

FIGURA 4.3.1 - ESQUEMA DE OBTENÇÃO DE MEDIDAS EM *ORBULINA UNIVERSA*. X1: ÁREA; X2: COMPRIMENTO DO MAIOR EIXO DA TESTA; X3: COMPRIMENTO DO MENOR EIXO DA TESTA.

FIGURA 4.3.2 - ESQUEMA DE OBTENÇÃO DE MEDIDAS EM *GLOBIGERINOIDES CONGLOBATUS*. X1: ÁREA DA VISTA UMBILICAL DA TESTA; X2: ALTURA DA ABERTURA PRIMÁRIA; X3: LARGURA DA ABERTURA PRIMÁRIA; X4: ALTURA DA FCH; X5: LARGURA DA FCH; X6: ALTURA DA F-1CH; X7: LARGURA DA F-1CH; X8: ALTURA DA F-2CH; X9: LARGURA DA F-2CH; X10: ALTURA TOTAL DA TESTA; X11: LARGURA TOTAL DA TESTA; X12: PROFUNDIDADE DA FCH; X13: PROFUNDIDADE TOTAL DA TESTA.

FIGURA 4.3.3 - ESQUEMA DE OBTENÇÃO DE MEDIDAS EM *GLOBIGERINOIDES RUBER*. X1: ÁREA DA VISTA UMBILICAL DA TESTA; X2: ALTURA TOTAL DA TESTA; X3: ALTURA DA ABERTURA PRIMÁRIA; X4: ALTURA DA FCH; X5: LARGURA DA ABERTURA PRIMÁRIA; X6: LARGURA DA FCH; X7: ALTURA DA F-1CH; X8: ALTURA DA F-2CH; X9: LARGURA DA F-1CH; X10: LARGURA DA F-2CH; X11: LARGURA TOTAL DA TESTA; X12: LARGURA DA FCH; X13: PROFUNDIDADE DA F-2CH; X14: PROFUNDIDADE DA F-1CH; X15: COMPRIMENTO DA TROCOESPIRAL; X16: PROFUNDIDADE TOTAL.

FIGURA 4.3.4 - ESQUEMA DE OBTENÇÃO DE MEDIDAS EM *GLOBIGERINOIDES SACCULIFER*; DA ESQUERDA PARA A DIREITA: VISTA UMBILICAL DE UM ESPÉCIMEN COM SACO; VISTA UMBILICAL DE UM ESPÉCIMEN SEM SACO; E VISTA LATERAL DE UM ESPÉCIMEN SEM SACO. X1: ÁREA DA VISTA UMBILICAL DA TESTA; X2: LARGURA DA FCH; X3: ALTURA DA FCH; X4: ALTURA DA F-1CH; X5: LARGURA DA F-1CH; X6: LARGURA DA F-2CH; X7: ALTURA DA F-2CH; X8: LARGURA TOTAL DA TESTA; X9: ALTURA TOTAL DA TESTA; X10: PROFUNDIDADE DA FCH; X11: PROFUNDIDADE DA F-1CH; X12: PROFUNDIDADE DA F-2CH; X13: PROFUNDIDADE TOTAL DA TESTA.

FIGURA 4.3.5 - ESQUEMA DE OBTENÇÃO DE MEDIDAS NAS ESPÉCIES *GLOBOTURBOROTALITA TENELLA* E *GLOBOTURBOROTALITA RUBESCENS*. X1: ÁREA DA VISTA UMBILICAL DA TESTA; X2: ALTURA DA ABERTURA PRIMÁRIA; X3: ALTURA DA FCH; X4: LARGURA DA ABERTURA PRIMÁRIA; X5: LARGURA DA FCH; X6: COMPRIMENTO DA F-1CH; X7: COMPRIMENTO DA F-2CH; X8: ALTURA TOTAL DA TESTA; X9: LARGURA TOTAL DA TESTA; X10: PROFUNDIDADE DA FCH; X11: PROFUNDIDADE DA F-1CH; X12: PROFUNDIDADE DA F-2CH.

FIGURA 4.3.6 - ESQUEMA DE OBTENÇÃO DE MEDIDAS EM *GLOBIGERINA BULLOIDES*. X1: ÁREA DA VISTA UMBILICAL DA TESTA; X2: ALTURA DA ABERTURA PRIMÁRIA; X3: LARGURA DA ABERTURA PRIMÁRIA; X4: ALTURA DA FCH; X5: LARGURA DA FCH; X6: ALTURA DA F-1CH; X7: LARGURA DA F-1CH; X8: ALTURA DA F-2CH; X9: LARGURA DA F-2CH; X10: ALTURA TOTAL DA TESTA; X11: LARGURA TOTAL DA TESTA; X12: PROFUNDIDADE DA FCH; X13: PROFUNDIDADE DA F-1CH; X14: PROFUNDIDADE DA F-2CH.

FIGURA 4.3.7 - ESQUEMA DE OBTENÇÃO DE MEDIDAS EM *GLOBIGERINELLA SIPHONIFERA*. X1: ÁREA DA TESTA EM VISTA UMBILICAL; X2: COMPRIMENTO DA FCH; X3: LARGURA DA FCH; X4: COMPRIMENTO DA F-1CH; X5: LARGURA DA F-1CH; X6: COMPRIMENTO DA F-2CH; X7: LARGURA DA F-2CH; X8: ALTURA DA TESTA; X9: LARGURA DA TESTA; X10: PROFUNDIDADE DA FCH; X11: PROFUNDIDADE DA F-1CH; X12: PROFUNDIDADE DA F-2CH.

FIGURA 4.3.8 - ESQUEMA DE OBTENÇÃO DE MEDIDAS EM *GLOBIGERINELLA CALIDA*. X1: ÁREA DA TESTA EM VISTA UMBILICAL; X2: ALTURA DA ABERTURA PRIMÁRIA; X3: LARGURA DA ABERTURA PRIMÁRIA; X4: COMPRIMENTO DA FCH; X5: LARGURA DA FCH; X6: COMPRIMENTO DA F-1CH; X7: LARGURA DA F-1CH; X8: COMPRIMENTO DA F-2CH; X9: LARGURA DA F-2CH; X10: ALTURA DA TESTA; X11: LARGURA DA TESTA; X12: PROFUNDIDADE DA FCH; X13: PROFUNDIDADE DA F-1CH; X14: PROFUNDIDADE DA F-2CH.

FIGURA 4.3.9 - ESQUEMA DE OBTENÇÃO DE MEDIDAS EM *GLOBIGERINITA GLUTINATA*. X1- ÁREA DA TESTA EM VISTA UMBILICAL; X2: COMPRIMENTO DA FCH; X3: LARGURA DA FCH; X4: COMPRIMENTO DA F-1CH; X5: LARGURA DA F-1CH; X6: COMPRIMENTO DA F-2CH; X7: LARGURA DA F-2CH; X8: ALTURA DA TESTA; X9: LARGURA DA TESTA; X10: PROFUNDIDADE DA FCH; X11: PROFUNDIDADE DA F-2CH; X12: PROFUNDIDADE DA F-1CH; X13: PROFUNDIDADE DA TESTA.

FIGURA 4.3.10 - ESQUEMA DE OBTENÇÃO DE MEDIDAS EM *NEOGLOBOQUADRINA PACHYDERMA*. X1: ÁREA DA TESTA EM VISTA UMBILICAL; X2: COMPRIMENTO DA FCH; X3: COMPRIMENTO DA F-1CH; X4: COMPRIMENTO DA F-1CH; X5: ALTURA DA TESTA; X6: LARGURA DA TESTA; X7: PROFUNDIDADE DA FCH; X8: PROFUNDIDADE DA F-1CH; X9: PROFUNDIDADE DA F-2CH; X10: PROFUNDIDADE DA TESTA.

FIGURA 4.3.11 - ESQUEMA DE OBTENÇÃO DE MEDIDAS EM *NEOGLOBOQUADRINA DUTERTREI*. X1: ÁREA DA TESTA EM VISTA UMBILICAL; X2: ALTURA DA ABERTURA PRIMÁRIA; X3: LARGURA DA ABERTURA PRIMÁRIA; X4: COMPRIMENTO DA FCH; X5: LARGURA DA FCH; X6: COMPRIMENTO DA F-1CH; X7: LARGURA DA F-1CH; X8: COMPRIMENTO DA F-2CH; X9: LARGURA DA F-2CH; X10: ALTURA DA TESTA; X11: LARGURA DA TESTA; X12: PROFUNDIDADE DA FCH; X13: PROFUNDIDADE DA F-1CH; X14: PROFUNDIDADE DA F-2CH; X15: PROFUNDIDADE DA TESTA.

FIGURA 4.3.12 - ESQUEMA DE OBTENÇÃO DE MEDIDAS EM *GLOBOROTALIA MENARDII*. X1: ÁREA DA TESTA EM VISTA UMBILICAL; X2: LARGURA DA QUILHA; X3: COMPRIMENTO DA FCH; X4: LARGURA DA FCH; X5: COMPRIMENTO DA F-1CH; X6: LARGURA DA F-1CH; X7: COMPRIMENTO DA F-2CH; X8: LARGURA DA F-2CH; X9: ALTURA DA TESTA; X10: LARGURA DA TESTA; X11: ALTURA DA TESTA EM VISTA LATERAL; X12: PROFUNDIDADE DA TESTA; X13: ÂNGULO SUPERIOR FORMADO PELOS EXTREMOS DA TESTA; X14: ÂNGULO INFERIOR FORMADO PELOS EXTREMOS DA TESTA.

FIGURA 4.3.13 - ESQUEMA DE OBTENÇÃO DE MEDIDAS EM *GLOBOROTALIA INFLATA*. X1: ÁREA DA TESTA EM VISTA UMBILICAL; X2: ALTURA DA ABERTURA PRIMÁRIA; X3: LARGURA DA ABERTURA PRIMÁRIA; X4: COMPRIMENTO DA FCH; X5: LARGURA DA FCH; X6: COMPRIMENTO DA F-1CH; X7: LARGURA DA F-1CH; X8: COMPRIMENTO DA F-2CH; X9: LARGURA DA F-2CH; X10: ALTURA DA TESTA; X11: LARGURA DA TESTA; X12: ALTURA TOTAL DA TESTA EM VISTA LATERAL; X13: PROFUNDIDADE TOTAL DA TESTA EM VISTA LATERAL.

FIGURA 4.3.14 - ESQUEMA DE OBTENÇÃO DE MEDIDAS EM *GLOBOROTALIA TRUNCATULINOIDES*. X1: ÁREA DA TESTA EM VISTA UMBILICAL; X2: MAIOR RÁDIO DA TESTA; X3: COMPRIMENTO DA FCH; X4: COMPRIMENTO DA F-1CH; X5: COMPRIMENTO DA F-2CH; X6: LARGURA TOTAL DA TESTA; X7: ALTURA TOTAL DA TESTA; X8: ALTURA DA TESTA EM VISTA LATERAL; X9: PROFUNDIDADE DA TESTA.

FIGURA 4.3.15 - ESQUEMA DE OBTENÇÃO DE MEDIDAS EM *GLOBOROTALIA CRASSAFORMIS*. X1: ÁREA DA TESTA EM VISTA UMBILICAL; X2: LARGURA DA FCH; X3: LARGURA DA FCH; X4: LARGURA DA F-1CH; X5: LARGURA TOTAL DA TESTA; X6: ALTURA DA FCH; X7: ALTURA DA F-1CH; X8: ALTURA DA F-2CH; X9: ALTURA DA TESTA; X10: ALTURA DA TESTA EM VISTA LATERAL; X11: PROFUNDIDADE DA TESTA.

FIGURA 4.3.16 - ESQUEMA DE OBTENÇÃO DE MEDIDAS EM *GLOBOROTALIA SCITULA*. X1: ÁREA DA TESTA EM VISTA UMBILICAL; X2: COMPRIMENTO DA FCH; X3: LARGURA DA FCH; X4: COMPRIMENTO DA F-1CH; X5: LARGURA DA F-1CH; X6: COMPRIMENTO DA F-2CH; X7: LARGURA DA F-2CH; X8: ALTURA DA TESTA; X9: LARGURA DA TESTA; X10: PROFUNDIDADE DA TESTA; X11: ÂNGULO SUPERIOR FORMADO PELOS EXTREMOS DA TESTA; X12: ÂNGULO INFERIOR FORMADO PELOS EXTREMOS DA TESTA.

4.3.4. Parâmetros Morfométricos

Os parâmetros medidos foram então transformados em razões como elipsidade (Equação 4.3.1) das últimas três câmaras, comumente referidas como câmaras F (final), F-1 (primeira câmara anterior à câmara final) e F-2 (segunda câmara anterior à câmara final), e lobação (Equação 4.3.2), alongação (Equação 4.3.3) e razão de caixa (Equação 4.3.4) da testa (Aurahs *et al.*, 2009; Kucera e Kennett, 2002). A área bidimensional da testa foi adquirida a partir das imagens digitais e as áreas das últimas três câmaras foram estimadas a partir das medidas do maior e menor eixo de cada câmara utilizando-se uma equação para área de elipses (Equação 4.3.5). O volume das câmaras foi estimado através do cálculo de volume de objetos ovóides (Equação 4.3.6). Grandezas dependentes de tamanho como área foram corrigidas pelo tamanho, dividindo todas grandezas pelo tamanho do menor eixo (tamanho que determina se um indivíduo passa por dada malha da peneira, determinando dessa forma sua classe de tamanho), antes de se obter os parâmetros morfométricos. Adicionalmente, os parâmetros morfométricos foram padronizados, em valores de 0-1, antes de serem comparados entre diferentes classes de tamanho, morfoespécies e amostras.

$$e = \frac{H}{W}$$

EQUAÇÃO 4.3.1 - EQUAÇÃO DE ELIPSIDADE.

$$L = \frac{A}{p}$$

EQUAÇÃO 4.3.2 - EQUAÇÃO DE LOBAÇÃO DA TESTA.

$$Re = \frac{2\sqrt{A}}{x_{max}\sqrt{\pi}}$$

EQUAÇÃO 4.3.3 - EQUAÇÃO DE ELONGAÇÃO DA TESTA E CÂMARAS.

$$B = \frac{x_{max}}{x_{min}}$$

EQUAÇÃO 4.3.4 – EQUAÇÃO DE RAZÃO DE CAIXA DA TESTA.

$$A = x_{max} \cdot x_{min} \cdot \pi$$

EQUAÇÃO 4.3.5 – EQUAÇÃO DE ÁREA DE ELIPSES UTILIZADA PARA CÁLCULO APROXIMADO DAS ÁREAS DAS CÂMARAS.

$$V = \frac{2\pi}{3} \times R_{max}^2 \times X_{min}$$

EQUAÇÃO 4.3.6 – EQUAÇÃO PARA O VOLUME DAS CÂMARAS.

Onde,

H = altura

W = largura

A = área

p = perímetro

x_{max} = medida do maior eixo

x_{min} = medida do menor eixo

R_{max} = medida do semi-eixo

4.4. Análises de Isótopos Estáveis de Carbono e Oxigênio

As análises isotópicas foram realizadas na UCD sob supervisão do Prof. Howard Spero. Testas e câmaras individuais de foraminíferos planctônicos foram selecionadas para análise, variando entre 4 – 100 μg . Para a limpeza das testas, as mesmas foram previamente ultrasonizadas em metanol de 3 a 20 segundos dependendo da fragilidade e quantidade de sedimentos contidos no interior da testa. Apenas para a espécie *G. sacculifer* a Fch saculiforme foi amputada com o auxílio de uma lâmina cirúrgica n. 11 como descrito em Shuxi (1990). A razão

isotópica de carbono e oxigênio da câmara saculiforme foi analisada separadamente do restante da testa (WS).

O material selecionado foi analisado em espectrômetro de massa *Micromass Optima isotope ratio* (IRMS) acoplado a um dispositivo de banho ácido comum, no qual as amostras são reagidas em ácido ortofosfórico 105 % a 90 °C. Os valores de isótopos são apresentados na notação δ (delta) em partes por mil (‰) em relação ao padrão V-PDB (Vienna - Pee Dee Belemnite). A precisão externa obtida com base em repetidas análises de amostras de carbonato padrão UCD-SM92 (sintetizado a partir do padrão NBS-19) (N = 93) foi de 0.10 e 0.12 para $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$, respectivamente. Valores com diferença superior a 2σ do valor médio de cada população foram considerados *outliers* e não foram utilizados nas análises. Nas representações gráficas o eixo de $\delta^{18}\text{O}$ será sempre plotado em escala reversa para facilitar a correlação da razão isotópica de oxigênio com a temperatura e profundidade.

A base teórica para esta análise é a proporção entre isótopos estáveis de um mesmo elemento químico encontrada nos objetos de estudo. Neste caso, os isótopos de oxigênio ^{16}O , ^{17}O e ^{18}O , e de carbono ^{12}C e ^{13}C que compõem a calcita (CaCO_3) da testa dos foraminíferos planctônicos. A calcita em contato com o ácido ortofosfórico produz moléculas de dióxido de carbono (CO_2) que podem ser compostas por combinações desses isótopos estáveis. Isótopos possuem o mesmo número de prótons e diferem no número de nêutrons, resultando em diferentes massas atômicas. O espectrômetro utilizado mede o fluxo de moléculas de massa 44 ($^{12}\text{C}^{16}\text{O}_2$), 45 ($^{13}\text{C}^{16}\text{O}_2$) e 46 ($^{12}\text{C}^{16}\text{O}^{18}\text{O}$); a razão entre as moléculas de massa 45/44 resulta no valor isotópico $\delta^{13}\text{C}$, enquanto a razão entre as moléculas de massa 46/45 resulta no valor isotópico $\delta^{18}\text{O}$.

Quando trabalhamos com razões isotópicas, estamos lidando com razões extremamente pequenas; a frequência de isótopos leves na natureza é de aproximadamente 99 % e de isótopos pesados é de 1 %. Por este motivo, o valor é expresso através da notação δ da proporção entre os isótopos pesados e isótopos leves na amostra pela mesma proporção em uma amostra referência em partes por mil (Equação 4.4.1). A referência utilizada é a amostra sintética V-PDB produzida a partir da amostra histórica PDB. Mais detalhes sobre a notação, amostras referência e conceitos de análises isotópicas podem ser encontrados em Cooke e Rohling (2001) e Pearson (2012).

Por possuírem diferentes massas, cada isótopo tem propriedades cinéticas distintas. Em outras palavras, os isótopos mais leves tem maior agitação e maior facilidade para reagir e mudar de fase. Dessa forma, processos como evaporação e fotossíntese removem do reservatório-fonte preferencialmente os isótopos leves, mudando levemente a razão isotópica entre o reservatório-fonte e o objeto de estudo. Processos como formação de gelo e temperatura reduzida resultam em valores de $\delta^{18}\text{O}$ elevados; e alta produção primária na coluna d'água ou pelos simbioses na testa resultam em valores de $\delta^{13}\text{C}$ elevados.

$$\delta^{\text{pesado}E} = \frac{\frac{\text{pesado}E}{\text{leve}E}_{\text{amostra}} - \frac{\text{pesado}E}{\text{leve}E}_{\text{referência}}}{\frac{\text{pesado}E}{\text{leve}E}_{\text{referência}}} \times 1000$$

EQUAÇÃO 4.4.1 - EQUAÇÃO DE VALOR ISOTÓPICO EM PARTES POR MIL (UREY, 1948).

As análises isotópicas e outras análises geoquímicas são em geral conduzidas em um grupo de testas a fim de

obter-se massa suficiente para realizá-las. No entanto, como o objetivo do estudo é correlacionar a morfometria a variações ambientais, é interessante que a correlação seja feita de forma pareada e não agrupada.

4.4.1. Cálculo dos valores esperados de $\delta^{18}\text{O}$ através de equações de $\delta^{18}\text{O}$:temperatura

Os diferentes isótopos tem reatividade distinta devido às diferenças cinéticas proporcionadas pela diferença da massa atômica. Segundo os fundamentos básicos de cinética, essas diferenças são afetadas pela temperatura no momento da deposição da calcita (Urey, 1947; 1948). O efeito da temperatura sobre a razão isotópica de oxigênio da calcita depositada foi quantificado, possibilitando o desenvolvimento de equações de $\delta^{18}\text{O}$:temperatura (Equação 4.4.1) para calcita inorgânica por McCrea (1950). Posteriormente foram elaboradas outras equações, incluindo a primeira equação para calcita depositada por organismos vivos de Epstein et al. (1953). Como mencionado anteriormente, respiração, fotossíntese e outros processos metabólicos, conjuntamente referidos como efeitos vitais, também tem efeito sobre a razão isotópica. Os efeitos vitais no entanto são diferentes de espécie para espécie. Posteriormente foram elaboradas calibrações das equações de $\delta^{18}\text{O}$:temperatura para conchas de moluscos e para algumas espécies de foraminíferos. Dessa forma, foram utilizadas as equações de $\delta^{18}\text{O}$:temperatura de Bouvier-Soumagnac e Duplessy (1985), Erez e Luz (1983), Bouvier-Soumagnac e Duplessy (1985) e Mulitza et al. (2003) para *Globigerinoides ruber*, *Globigerinoides sacculifer*, *Globorotalia menardii* e *Globigerinella siphonifera*, respectivamente. Os coeficientes de cada uma das equações podem ser encontrados na Tabela 4.4.1. No caso de equações

quadráticas, que proporcionam duas respostas matematicamente possíveis, como as equações de Erez e Luz 1983 e Munitz et al. (2003) foi descartado o resultado com valor sem sentido físico e ecológico.

$$T (^{\circ}C) = a - b(\delta_c - \delta_w) + c(\delta_c - \delta_w)^2$$

EQUAÇÃO 4.4.2 - EQUAÇÃO DE $\delta^{18}O$:TEMPERATURA, ONDE T É A TEMPERATURA EM GRAUS CELSIUS, δ_c É O VALOR ISOTÓPICO DA CALCITA E δ_w É O VALOR ISOTÓPICO DA ÁGUA ONDE OCORREU A CALCIFICAÇÃO.

Valores esperados de $\delta^{18}O$ da calcita podem ser calculados a partir destas equações quando há informações da temperatura e δ_w (valor isotópico de oxigênio na água do mar) onde a calcita é formada. Os valores esperados de $\delta^{18}O$ foram calculados para cada estação do ano no local de cada testemunho a partir de dados sazonais de salinidade e temperatura disponíveis no banco de dados do WOA09 (Antonov et al., 2010; Locarnini et al., 2010). O valor de δ_w foi estimado a partir da relação salinidade: δ_w para o Atlântico equatorial oeste de Fairbanks et al. (1992) (Equação 4.4.3) (no manuscrito para publicação os valores de salinidade serão revistos segundo a relação de salinidade: δ_w de LeGrande e Schmidt (2006), que é mais atualizada e geograficamente abrangente, não limitando-se a região equatorial do Atlântico). Desta forma, obteve-se um perfil da coluna d'água com valores esperados da calcita para cada estação do ano. A partir destes perfis foi possível inferir em que contexto (profundidade e estação do ano) os indivíduos estudados se inserem. Havendo consistência para indivíduos de um mesmo morfotipo, é possível avaliar as possíveis preferências ecológicas de cada um deles.

TABELA 4.4.1 - COEFICIENTES DE CADA UMA DAS EQUAÇÕES DE $\delta^{18}\text{O}$:TEMPERATURA UTILIZADAS.

Referência	Espécie	a	b	c	(VSMOW to VPDB)
Bouvier-Soumagnac e Duplessy, 1985	<i>O. universa</i> usada para <i>G. ruber</i>	15.40	4.81	-	-0.20 ‰
Erez e Luz 1983	<i>G. sacculifer</i>	17.00	4.52	0.03	-0.22 ‰
Bouvier-Soumagnac e Duplessy, 1985	<i>G. menardii</i>	14.50	5.00	-	-0.20 ‰
Mulitza et al., 2003	Equação multiespécies usada para <i>G. siphonifera</i>	14.32	4.28	0.07	-0.27‰

$$\delta_w = 0.19(S) - 5,97$$

EQUAÇÃO 4.4.3 - RELAÇÃO SALINIDADE: δ_w PARA O ATLÂNTICO EQUATORIAL OESTE DE FAIRBANKS ET AL. (1992).

4.5. Análises Estatísticas

As medidas morfométricas obtidas foram sujeitas a análises estatísticas multivariadas, como análises discriminantes e agrupamentos hierárquicos.

Primeiramente, foi realizada uma análise discriminante para verificar a existência de diferenças morfométricas entre as seis diferentes classes de tamanho. Nesta comparação foram utilizadas apenas as espécies *Orbulina universa*, *Neoglobobadrina dutertrei*, *Globorotalia menardii*, *Globigerinoides sacculifer* sem saco, *Globigerinoides sacculifer* com saco, *Globigerinoides ruber pink*, *Globigerinoides ruber white*, *Globigerinoides conglobatus* e *Globigerinoides siphonifera*; as demais espécies não apresentam número suficiente em todas frações de tamanho para possibilitar a análise. Posteriormente, foi realizada uma nova análise discriminante para avaliar o

potencial do uso das medidas morfométricas para classificar as morfoespécies.

Análises de Agrupamento Hierárquicos utilizando o Método de Ward com distâncias euclidianas foram utilizadas para o estabelecimento de morfotipos dentro das morfoespécies *Globigerinoides ruber white*, *Globigerinoides. sacculifer*, *Globigerinella siphonifera* e *Globorotalia menardii*. A análise discriminante foi novamente utilizada para comparar as características morfométricas entre os morfotipos estabelecidos pelo Agrupamento Hierárquico.

Para as morfoespécies *Globigerinoides ruber* e *Globigerinella siphonifera* encontram-se disponíveis na literatura dados morfométricos associados a dados moleculares para identificação dos genótipos dessas morfoespécies (Aurahs et al., 2011; Bijma et al., 1998; Huber et al., 1997). Para isso, foram utilizadas funções discriminantes.

As análises estatísticas foram conduzidas no *software* Statistica 12 e parte da estatística exploratória e elaboração de gráficos no *software* Origin 9.

5. Resultados

5.1. Consistência de identificação de foraminíferos gerada através do conceito clássico de morfoespécies

Primeiramente é apresentada uma comparação entre as identificações de foraminíferos planctônicos realizadas por três pesquisadores diferentes do LaPAS. As contagens repetidas foram realizadas em amostras do testemunho KF-18, pertencente a Bacia de Santos. No Apêndice 2 é possível encontrar as tabelas de contagem dos três pesquisadores.

TABELA 5.1.1 - MANOVA REALIZADA SOBRE DADOS DE CONTAGEM DE DIFERENTES AMOSTRAS POR TRÊS PESQUISADORES DO LABORATÓRIO. NÃO OBSERVAM-SE DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS ENTRE OS PESQUISADORES; NO ENTANTO, TAMBÉM NÃO OBSERVAM-SE DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS ENTRE AS DIFERENTES PROFUNDIDADES, ONDE SABE-SE QUE EXISTEM DIFERENÇAS FAUNÍSTICAS E CLIMÁTICAS IMPORTANTES PARA AS INTERPRETAÇÕES PALEOAMBIENTAIS.

Efeito	Teste	Valor	F	Effect df	Error df	p
Intercepto	Wilks	0.000679	70.09751	21	1	0.093938
Pesquisador	Wilks	0.026813	0.24319	42	2	0.976607
Profundidade	Wilks	0.002534	18.74797	21	1	0.180413
Pesquisador* Profundidade	Wilks	0.010161	0.42479	42	2	0.892609

Apesar de não serem observadas diferenças estatisticamente significativas entre o resultado dos três pesquisadores, também não se observam diferenças significativas entre as diferentes profundidades (Tabela 5.1.1), as quais certamente representam faunas de diferentes condições ambientais; a amostra 573 cm é datada em 122.2 ka. Adicionalmente, é possível observar através da Figura 5.1.1 que para algumas morfoespécies as diferenças podem ser grandes. Para uma mesma amostra pode haver diferenças de até 20% como pode ser observado para

Globorotalia menardii tumida na profundidade 6 cm. Portanto, apesar dos testes estatísticos não apontarem diferenças significativas, as diferenças podem ser afetar consideravelmente interpretações paleoambientais.

FIGURA 5.1.1 - ABUNDÂNCIAS EM PORCENTAGEM OBTIDAS A PARTIR DA CONTAGEM DE TRÊS DIFERENTES PESQUISADORES EM NOVE AMOSTRAS. É POSSÍVEL OBSERVAR UMA CERTA CONSISTÊNCIA PARA ALGUMAS AMOSTRAS. NO ENTANTO, EM OUTRAS, COMO É O CASO DA AMOSTRA DE 573 CM PARA A ESPÉCIE *GLOBOROTALIA CRASSAFORMIS* E 6 CM PARA A ESPÉCIE *GLOBOROTALIA MENARDII TUMIDA*, PODEM OCORRER DIFERENÇAS DE ATÉ 20 % ENTRE AS CONTAGENS.

5.2. Frações de tamanho

Para a maior parte das espécies não há muitas diferenças morfológicas significativas entre indivíduos de diferentes classes de tamanho. No entanto, para as quatro espécies selecionadas para as outras etapas do estudo, *Globigerinoides ruber*, *Globigerinoides sacculifer*, *Globigerinella siphonifera* e *Globorotalia menardii*, existe um número considerável de parâmetros morfométricos que apresentam diferenças significativas entre as diferentes classes de tamanho (Apêndice 3). A classe de tamanho de

355-425 μm foi então escolhida para as demais análises por ser a classe de tamanho na qual encontra-se maior abundância de indivíduos em todas amostras para a maior parte das espécies (Apêndice 4). A fração de 355-425 μm é ainda a classe de tamanho onde encontram-se testas com massa ideal para a condução de análises isotópicas em testas individuais ($\sim 30 \mu\text{g}$).

5.3. Funções Discriminantes

5.3.1. Identificação de morfoespécies

Afim de reduzir a subjetividade morfológica como a apresentada no item 5.1, utilizou-se a morfometria neste estudo. A Análise Discriminante executada sobre os parâmetros morfométricos obtidos indica que todas os parâmetros morfométricos obtidos são considerados significativos para distinguir as morfoespécies utilizadas no estudo (Tabela 5.3.1). Ainda através da análise discriminante, é possível gerar funções de classificação (Tabela 5.3.2) a partir das medidas fornecidas ao *software*. Essas funções podem ser úteis para a taxonomia e identificação de foraminíferos planctônicos.

5.3.2. Identificação de genótipos descritos na literatura

5.3.2.1. *Globigerinoides ruber*

A função discriminante obtida por Aurahs *et al.* (2011) foi aplicada aos dados morfométricos da morfoespécie *G. ruber* obtidos neste estudo. Através desta função discriminante, a morfometria aponta que praticamente todos indivíduos desta morfoespécie nas amostras estudadas pertencem ao genótipo *pink* (Apêndice 5), mesmo não apresen-

TABELA 5.3.1 - ANÁLISE DISCRIMINANTE PARA IDENTIFICAR PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS QUE DIFEREM SIGNIFICANTEMENTE ENTRE AS MORFOESPÉCIES UTILIZADAS. A ANÁLISE INDICA QUE TODAS AS PROPORÇÕES TESTADAS SÃO SIGNIFICATIVAS NA DIFERENCIAÇÃO ENTRE AS MORFOESPÉCIES TESTADAS ($P < 0.000$).

Resumo da Análise Discriminante						
No. de vars no modelo: 7; Agrupamento: grupo (9 grps)						
Wilks' Lambda: .00632 aprox. F (56,3478)=96.970						
p<0.0000						
N=660	Wilks'	Partial	F-remove	p-value	Toler.	1-Toler.
tamanho	0,012189	0,518409	74,8990	0,000000	0,195972	0,804028
número de câmaras	0,036347	0,173851	383,1338	0,000000	0,995228	0,004772
lobação	0,007137	0,885434	10,4320	0,000000	0,697980	0,302020
razão de circularidade	0,006760	0,934766	5,6265	0,000001	0,322345	0,677655
razão de alongação	0,010744	0,588150	56,4575	0,000000	0,636544	0,363456
razão de caixa	0,011472	0,550795	65,7543	0,000000	0,634081	0,365919
área da primeira câmara	0,015180	0,416263	113,0628	0,000000	0,370642	0,629358

TABELA 5.3.2 - FUNÇÕES DE CLASSIFICAÇÃO GERADAS A PARTIR DAS PROPORÇÕES OBSERVADAS NAS ESPÉCIES OU - *ORBULINA UNIVERSA*; ND - *NEOGLOBOQUADRINA DUTERTREI*; GTM - *GLOBOROTALIA MENARDII*; GSWOS - *GLOBIGERINOIDES SACCULIFER* SEM SACO; GSWs - *GLOBIGERINOIDES SACCULIFER* COM SACO; GRP - *GLOBIGERINOIDES RUBER PINK*; GRW - *GLOBIGERINOIDES RUBER WHITE*; GCG - *GLOBIGERINOIDES CONGLOBATUS*; E GSI - *GLOBIGERINOIDES SIPHONIFERA*.

Funções de classificação									
	Ou	Nd	Gtm	Gswos	Gsws	Grp	Grw	Gcg	Gsi
tamanho	-0,03	0,05	0,05	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	-0,01
número de câmaras	6,24	30,52	29,18	18,49	23,44	17,83	17,71	23,05	31,70
lobação	1,93	2,17	1,98	1,96	2,12	2,29	2,26	2,31	1,78
razão de circularidade	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
razão de alongação	64,38	74,94	66,08	66,02	71,19	78,72	77,49	75,58	58,84
razão de caixa	123,50	73,82	68,40	67,78	94,95	64,15	66,77	75,81	92,60
área da primeira câmara	0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00
constante	-180,32	-248,60	-216,56	-162,26	-231,03	-199,44	-199,12	-221,40	-210,32

tando cor rosa e consequentemente identificados erroneamente como indivíduos da variedade *white*. No entanto, a função discriminante de Aurahs *et al.* (2011) englobou apenas genótipos *pink*, Ib e IIa, não incluindo portanto os tipos Ia e IIB de coloração branca; deixando ainda aberta a possibilidade dos indivíduos do presente estudo pertencerem a estes genótipos da variedade *white*.

5.3.2.2. *Globigerinella siphonifera*

Para a morfoespécie *G. siphonifera* não se encontra disponível uma função discriminante para a identificação dos genótipos desta morfoespécie. Análises morfométricas foram realizadas em indivíduos de genótipo conhecido para verificar a existência de um padrão morfométrico para cada um dos genótipos; porém, nenhum padrão morfométrico foi encontrado (Huber *et al.*, 1997), não permitindo o desenvolvimento de funções discriminantes. No entanto, é observada diferenciação do tamanho dos poros de cada genótipo (Bijma *et al.*, 1998; Huber *et al.*, 1997). Dessa forma, os indivíduos encontrados no presente estudo foram classificados a partir do tamanho dos poros da testa de cada indivíduo (Figura 5.3.1). Indivíduos com tamanho médio de poros em torno de 4.5 μm foram classificados como Tipo I, enquanto indivíduos com tamanho médio de poros em torno de 2.2 μm foram classificados como Tipo II. Observa-se uma dominância de indivíduos do Tipo II (Apêndice 6).

Os dados morfométricos obtidos no presente estudo foram utilizados para verificar se realmente não existe padrão morfométrico para os Tipos I e II. Os resultados da análise discriminante encontram-se de acordo com os resultados de (Huber *et al.*, 1997). Não foi possível distinguir os genótipos através da morfologia visível em estereoscópio (Tabela 5.3.3).

FIGURA 5.3.1 - IMAGENS DE INDIVÍDUOS DA MORFOESPÉCIE *GLOBIGERINELLA SIPHONIFERA*. INDIVÍDUOS DO TIPO I EM MICROSCOPIA DE LUZ, VISTA UMBILICAL (A) E LATERAL (B), E EM SEM (C), POROSIDADE MÉDIA DE 5.22 μm . INDIVÍDUOS DO TIPO II EM MICROSCOPIA DE LUZ, VISTA UMBILICAL (D) E LATERAL (E), E EM SEM (F), POROSIDADE MÉDIA 1.53 μm . ENFATIZA-SE QUE AS IMAGENS DE MICROSCOPIA DE LUZ DOS TIPO I E II NÃO DEVEM SER UTILIZADAS PARA IDENTIFICÁ-LOS; QUALQUER DIFERENÇA MORFOLÓGICA ENTRE OS DOIS INDIVÍDUOS DEVE SER ATRIBUÍDA À PLASTICIDADE MORFOLÓGICA E NÃO À DIFERENÇAS TAXONÔMICAS ENTRE OS DOIS TIPOS GENÉTICOS.

TABELA 5.3.3 - ANÁLISE DISCRIMINANTE DOS INDIVÍDUOS IDENTIFICADOS ATRAVÉS DO TAMANHO DOS POROS DA TESTA. WILKS' LAMBDA: .66783; APROX. F (10,83)=4.1283; P< .0001.

N=94	Wilks' (Lambda)	Parcial (Lambda)	F-remove ((1,83))	valor de p	Toler.	1-Toler. ((R-quad.))
$\delta^{13}\text{C}$	0.724078	0.922318	6.990700	0.009795	0.805252	0.194748
$\delta^{18}\text{O}$	0.687050	0.972025	2.388788	0.126013	0.923399	0.076602
volume F-2 ch	0.685251	0.974577	2.165126	0.144955	0.491142	0.508858
volume F-1 ch	0.698443	0.956170	3.804682	0.054484	0.344520	0.655480
volume F ch	0.674472	0.990152	0.825537	0.366197	0.566917	0.433084
esfericidade F-2 ch	0.668418	0.999120	0.073080	0.787575	0.648874	0.351126
esfericidade F-1 ch	0.677220	0.986135	1.166982	0.283151	0.316182	0.683818
esfericidade F ch	0.675530	0.988602	0.956954	0.330798	0.787063	0.212937
achatamento	0.698841	0.955625	3.854125	0.052973	0.862729	0.137271
razão de alongação	0.708040	0.943210	4.997390	0.028071	0.296438	0.703562

5.3.3. Definição de morfotipos

As quatro morfoespécies selecionadas para análises isotópicas foram subdivididas em morfotipos a partir das medidas feitas em cada indivíduo a fim de comparar as diferenças geoquímicas, e consequentemente ecológicas e/ou metabólicas, entre eles.

5.3.3.1. *Globigerinoides ruber*

A variação morfológica da morfoespécie *G. ruber* da população da margem continental brasileira possibilitou a identificação de quatro diferentes grupos através da Análise de Agrupamento Hierárquico (Figura 5.3.2). Os morfotipos 1 e 2 são os que apresentam maior grau de distinção morfométrica. Os grupos 3 e 4 podem ser considerados como um grupo único ou separadamente; por apresentarem um grande número de representantes, eles serão analisados separadamente.

FIGURA 5.3.2 – DIAGRAMA DE AGRUPAMENTO HIERÁRQUICO (MÉTODO DE WARD COM DISTÂNCIA EUCLIDIANA) PARA A VARIEDADE *WHITE* DA MORFOESPÉCIE *G. RUBER*. A ANÁLISE FOI CONDUZIDA NA POPULAÇÃO DE *G. RUBER* DA MARGEM CONTINENTAL BRASILEIRA. PODEM SER OBSERVADOS QUATRO GRUPOS

FIGURA 5.3.3 – GRÁFICO COM AS DIFERENÇAS DOS VALORES MÉDIOS DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS ENTRE OS MORFOTIPOS ENCONTRADOS PARA A MORFOESPÉCIE *G. RUBER*.

Através de um gráfico dos valores padronizados médios de cada um dos parâmetros medidos na morfoespécie, é possível observar as diferenças morfológicas de cada morfotipo (Figura 5.3.3). É possível observar novamente que os morfotipos 1 e 2 são os mais distantes morfometricamente. O tamanho da abertura e da trocoespira, comumente utilizados para identificar os morfotipos descritos até o momento na literatura (Numberger *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 1995), apresentam diferenças sutis se comparadas com outras características avaliadas neste trabalho, como esfericidade das câmaras. No entanto, o intuito não é utilizar estas diferenças para guiar a identificação dos morfotipos, e sim utilizar as funções discriminantes como as descritas anteriormente para realizar as identificações de forma mais consistente.

Apesar da metodologia utilizada não ser ideal para este tipo de afirmação, aparentemente a abundância dos morfotipos identificados não proporciona nenhum tipo de informação paleoceanográfica. Os morfotipos 1 e 2 são os menos abundantes, com exceção do testemunho KF-E, no qual o morfotipo 2 é abundante. O morfotipo 3 apresenta-se em baixos números nos testemunhos KF-C e KF-I (Tabela 5.3.4).

TABELA 5.3.4 - OCORRÊNCIA DOS MORFOTIPOS DA MORFOESPÉCIE *G. RUBER* EM CADA TESTEMUNHO.

Grupo					
	1	2	3	4	Total
Testemunho					
KF-C	1	0	4	15	20
KF-A	1	1	6	4	12
KF-13	4	1	15	4	24
KF-E	20	0	12	20	52
KF-I	0	12	1	9	22
Total	26	14	38	52	130

5.3.3.2. *Globigerinoides sacculifer*

Para o agrupamento da espécie *G. sacculifer* foi considerada apenas a morfometria da Fch, na qual é observada a maior parte da variabilidade morfológica da espécie (Hecht, 1974). Foram também estabelecidos 4 morfotipos para a espécie *G. sacculifer* (Figura 5.3.4); apesar da distância usada para a determinação dos grupos ser similar à utilizada na morfoespécie *Globigerinoides ruber* (~20), é possível observar através dos agrupamentos hierárquicos nas Figuras 5.3.2 e 5.3.4 que os morfotipos da espécie *G. sacculifer* tem maior grau de distinção entre eles do que entre os morfotipos da morfoespécie *G. ruber*; os pontos onde ocorrem dicotomias entre os indivíduos encontram-se mais distantes uns dos outros.

Na figura 5.3.5 é possível ainda observar que existe pouca sobreposição das características morfométricas de cada morfotipo. Os morfotipos 1 e 3 tem alongação da Fch semelhantes e os morfotipos 2 e 4 tem porcentagem do tamanho da Fch em relação ao WS e lobação da Fch semelhantes, no entanto os morfotipos diferem bastante no restante das medidas morfométricas.

TABELA 5.3.5 - OCORRÊNCIA DOS MORFOTIPOS DA MORFOESPÉCIE *G. SACCULIFER* EM CADA TESTEMUNHO.

Grupo					
	1	2	3	4	Total
Testemunho					
KF-C	4	2	5	4	15
KF-A	2	5	9	3	19
KF-13	5	3	9	13	30
KF-E	6	15	11	15	47
KF-I	1	2	2	6	11
Total	18	27	36	41	122

FIGURA 5.3.4 – AGRUPAMENTO HIERÁRQUICO (MÉTODO DE WARD UTILIZANDO DISTÂNCIAS EUCLIDIANAS) DA ESPÉCIE *G. SACCULIFER* BASEADO NA MORFOMETRIA DA FCH.

FIGURA 5.3.5 – DIFERENÇAS DOS VALORES MÉDIOS PADRONIZADOS DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA FCH NOS MORFOTIPOS DE *G. SACCULIFER*.

De forma geral, os morfotipos 3 e 4 são os mais abundantes; apenas no testemunho KF-A a abundância do morfotipo 3 pode ser considerada maior do que do morfotipo 4 (Tabela 5.3.5).

5.3.3.3. *Globorotalia menardii*

A morfoespécie *G. menardii* foi dividida em 3 morfotipos (Figura 5.3.6), com distâncias entre os grupos intermediárias às distâncias encontradas entre os morfotipos das morfoespécies anteriores.

Através da Figura 5.3.7 é possível observar que as características morfológicas que mais se distinguem entre os morfotipos são a lobação da testa, a área da Fch e o achatamento lateral da testa.

TABELA 5.3.6 - OCORRÊNCIA DOS MORFOTIPOS DA MORFOESPÉCIE *G. MENARDII* EM CADA TESTEMUNHO.

Grupo				
	1	2	3	Total
Testemunho				
KF-C	10	6	4	20
KF-A	10	8	7	25
KF-13	10	11	9	30
KF-E	7	2	0	9
KF-I	9	9	9	27
Total	46	36	29	111

Os três morfotipos de *G. menardii* podem ser encontrados ao longo de toda margem continental brasileira; apenas o morfotipo 3 parece ser mais raro no testemunho KF-C e apresenta-se ausente no testemunho KF-E (Tabela 5.3.6). No entanto, a ausência de indivíduos do morfotipo 3 pode se dar pela baixa abundância de indivíduos de *G. menardii* no testemunho KF-E como um todo.

FIGURA 5.3.6 — AGRUPAMENTO HIERÁRQUICO (MÉTODO DE WARD COM DISTÂNCIAS EUCLIDIANAS) DA MORFOESPÉCIE *G. MENARDII*, ONDE FORAM IDENTIFICADOS 3 MORFOTIPOS.

FIGURA 5.3.7 — DIFERENÇAS DAS MÉDIAS DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS NOS MORFOTIPOS DA MORFOESPÉCIE *G. MENARDII*.

5.3.3.4. *Globigerinella siphonifera*

Para a morfoespécie *G. siphonifera*, os indivíduos estudados foram divididos em duas subpopulações, indivíduos Tipo I e Tipo II, de acordo com Huber et al. (1997) e Bijma et al. (1998). Uma análise discriminante foi aplicada para verificar as diferenças encontradas entre os dois genótipos. No entanto, corroborando os resultados de Huber et al. (1997), não é possível identificar diferenças morfométricas significativas suficientes para distinguir os genótipos. Na tabela 5.3.3 é possível observar que das medidas morfométricas disponíveis, apenas a elongação da testa é significativamente diferente entre os dois genótipos. Por não apresentar variações morfológicas significativas, a morfoespécie não foi subdividida em morfotipos.

O Tipo II é dominante em todos testemunhos, com exceção do testemunho KF-C no qual a ocorrência dos dois tipos genéticos é igual (Tabela 5.3.7).

TABELA 5.3.7 - OCORRÊNCIA DOS GENÓTIPOS DA MORFOESPÉCIE *G. SIPHONIFERA*.

Grupo			
	I	II	Total
Testemunho			
KF-C	8	8	16
KF-A	15	26	41
KF-E	2	17	19
KF-I	3	23	26
Total	28	74	102

5.4. Composição isotópica de morfotipos

5.4.1. *Globigerinoides ruber*

Observando-se a Figura 5.4.1 com o sinal isotópico de carbono e oxigênio para cada um dos grupos determinados morfometricamente não é possível observar nenhum tipo de agrupamento e afirmar que se tratem de grupos com isótopos estáveis, e portanto ecologia, estatisticamente distintos entre eles.

FIGURA 5.4.1 - GRÁFICO DE DISPERSÃO E HISTOGRAMAS PARA VALORES DE $\delta^{13}\text{C}$ E $\delta^{18}\text{O}$ NA MORFOESPÉCIE *G. RUBER*; NÃO SE OBSERVA NENHUM TIPO DE AGRUPAMENTO DOS PONTOS REFERENTES A INDIVÍDUOS DE MESMO GRUPO.

Como mencionado anteriormente, o genótipo *pink* foi identificado como dominante nas amostras estudadas através da função discriminante de Aurahs *et al.* (2011). Foram analisados indivíduos de *G. ruber* que apresentam coloração rosa para comparar seu sinal isotópico ao dos indivíduos

brancos que foram identificados como indivíduos de genótipo *pink* (Figura 5.4.2). No entanto, a relação observada entre as colorações branca e rosa não corresponde ao esperado levando-se em consideração apenas a coloração dos indivíduos. A variedade *pink* habita camadas mais superficiais da coluna d'água, onde espera-se um sinal de oxigênio mais negativo e um sinal de carbono mais positivo em relação a indivíduos brancos; o que encontramos é um sinal isotópico bastante similar e no caso do testemunho KF-13 oposto ao descrito anteriormente. Dessa forma, acredita-se que apesar da função discriminante de Aurahs *et al.* (2011) não incluir dois dos genótipos *white*, a identificação do genótipo *pink* nestas amostras da margem continental brasileira encontra-se correta.

FIGURA 5.4.2 – SINAL ISOTÓPICO DE INDIVÍDUOS QUE APRESENTAM A COLORAÇÃO BRANCA E ROSA DA MORFOESPÉCIE *G. RUBER*.

5.4.2. *Globigerinoides sacculifer*

Para a espécie *G. sacculifer*, as análises foram conduzidas na Fch em forma de saco e no WS separadamente.

Observa-se através do gráfico na Figura 5.4.3 que os morfotipos 1 e 2 são isotopicamente similares entre si, e o mesmo ocorre entre os morfotipos 3 e 4. No entanto, assim como para a morfoespécie *G. ruber*, não observa-se nitidamente uma identidade isotópica/ecológica clara para os morfotipos.

Comparando o sinal isotópico da Fch ao sinal do WS é possível observar um sinal isotópico mais negativo para a Fch (Figura 5.4.4). Em relação ao sinal isotópico de carbono, não há tanta consistência quanto para o oxigênio; para os morfotipos 1 e 2 as câmaras finais, em geral, parecem possuir sinal positivo em relação ao WS; nos morfotipos 3 e 4 é observado o oposto. No morfotipo 2 é possível observar uma diferença isotópica reduzida quando comparada aos outros morfotipos.

FIGURA 5.4.3 — GRÁFICOS DE DISPERSÃO E HISTOGRAMAS PARA OS SINAIS ISOTÓPICOS DE CARBONO E OXIGÊNIO NA FCH EM FORMA DE SACO E O WS DA ESPÉCIE *G. SACCULIFER*.

FIGURA 5.4.4 — CORRESPONDÊNCIA DOS VALORES ISOTÓPICOS DA CÂMARA EM FORMA DE SACO E DO WS EM *G. SACCULIFER*.

5.4.3. *Globorotalia menardii*

Na morfoespécie *G. menardii* também não se observa nenhum agrupamento dos valores isotópicos por morfotipo (Figura 5.4.5). Observa-se apenas um desvio dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ para valores positivos no morfotipo 3.

FIGURA 5.4.5 — GRÁFICO DE DISPERSÃO E HISTOGRAMAS PARA VALORES DE $\delta^{13}\text{C}$ E $\delta^{18}\text{O}$ PARA A MORFOESPÉCIE *G. MENARDII*; NÃO OBSERVA-SE NENHUM TIPO DE AGRUPAMENTO DOS MORFOTIPOS.

5.4.4. *Globigerinella siphonifera*

Comparando os dois genótipos de *G. siphonifera*, observa-se um certo grau de separação dos dados geoquímicos; a maior separação encontra-se no sinal isotópico de carbono, que é considerado significativamente diferente como pode ser observado na Tabela 5.3.3. O sinal isotópico de carbono do Tipo I é mais leve do que do Tipo II; já o sinal isotópico de oxigênio é bastante consistente entre os dois genótipos (Figura 5.4.6).

FIGURA 5.4.6 - GRÁFICO DE DISPERSÃO DO SINAL ISOTÓPICO DE INDIVÍDUOS DA MORFOESPÉCIE *G. SIPHONIFERA*; OS DADOS ENCONTRAM-SE CATEGORIZADOS POR TIPO GENÉTICO, TIPOS I E II. NA PERIFERIA DO GRÁFICO ENCONTRAM-SE OS HISTOGRAMAS PARA $\delta^{13}\text{C}$ E $\delta^{18}\text{O}$ TAMBÉM CATEGORIZADOS POR TIPO GENÉTICO.

5.5. Contextualização paleoceanográfica dos morfotipos

Através das relações $\delta^{18}\text{O}$:temperatura espécie-específicas foi possível realizar a contextualização dos morfotipos de cada espécie na coluna d'água e para alguma das espécies apontar os picos de produção ao longo do ano. Para isto, foram utilizados dados de estações do WOA09, como descrito anteriormente; reconhece-se que as condições encontradas para as estações do WOA09 correspondem a condições da coluna d'água moderna e que as amostras de sedimento utilizadas podem corresponder ao sinal da coluna d'água correspondente a décadas ou até mesmo séculos. No entanto, para o propósito do presente estudo será possível identificar o gradiente ecológico observado entre os diferentes morfotipos.

Para a espécie *Globigerinoides ruber pink* é possível observar que a calcificação da testa ocorre nos primeiros 50 m da coluna d'água (Figura 5.5.1). É possível observar que os morfotipos tem ocorrência predominante em determinadas estações do ano. No entanto, esta ocorrência não é consistente entre os cinco testemunhos. O morfotipo 1 apresenta maior ocorrência durante o verão - outono na maior parte dos testemunhos; nos testemunhos KF-13 e KF-I é possível observar um pico de indivíduos com valores isotópicos característicos de outono, já no KF-E e KF-A os picos ocorrem no verão e primavera, respectivamente.

O morfotipo 2 é bastante escasso nas amostras, o valor isotópico dos indivíduos analisados apontou para valores esperados para o inverno; no entanto, no testemunho KF-E onde a ocorrência do morfotipo 2 é um pouco mais elevada, os valores apontam uma ocorrência predominantemente no verão. O morfotipo 3 aponta para valores esperados para a primavera na maior parte dos

testemunhos; no testemunho KF-E os valores obtidos tem larga distribuição abrangendo valores esperados tanto para primavera quanto para outono; já no testemunhos KF-I os valores obtidos são bastante negativos correspondendo a valores esperados para o verão. No morfotipo 4 os valores correspondem ao verão e outono, coincidindo com valores dos morfotipos 1 e 3 em alguns testemunhos.

É possível observar que a testa de indivíduos de *Globigerinoides sacculifer* é calcificada nos primeiros 80 m da coluna d'água. Os valores encontrados para a Fch indicam calcificação em maiores profundidades, entre 100 e 150m. No entanto, também observam-se valores de calcificação da Fch nos primeiros 80 m (Figura 5.5.2). Não se observa uma diferença sazonal na ocorrência dos diferentes morfotipos nesta espécie como ocorre na *Globigerinoides ruber pink*. Os indivíduos apontam maior ocorrência no outono e primavera.

Na espécie *Globorotalia menardii* não é possível realizar inferências sazonais devido à profundidade habitada pela espécie; entre 150 e 200 m de profundidade observa-se pouca variabilidade sazonal na salinidade e temperatura resultando em valores esperados da calcita bastante próximos (Figura 5.5.3). É possível observar diferenças nos valores de $\delta^{18}\text{O}$ obtidos para cada morfotipo em todos testemunhos, com exceção do testemunho KF-13. O morfotipo 1 apresenta valores mais leves em relação aos outros dois grupos, com exceção do testemunho KF-I, onde essa relação é invertida.

Para morfoespécie *Globigerinella siphonifera* é possível observar uma profundidade de calcificação da testa entre 100 e 150 m, apenas no testemunho KF-A os valores de $\delta^{18}\text{O}$ apontam para valores esperados para profundidades menores que 25 m (Figura 5.5.4). No entanto, como citado anteriormente, as diferenças isotópicas entre os Tipos I e

II de *G. siphonifera* são atribuídos à presença de diferentes simbiossomas nestas duas espécies crípticas.

FIGURA 5.5.1 - VALORES OBTIDOS PARA CADA MORFOTIPO DA ESPÉCIE *G. RUBER PINK* (PAINEL SUPERIOR) E VALORES ESPERADOS PARA A CALCITA EM CADA ESTAÇÃO DO ANO OBTIDOS ATRAVÉS DA EQUAÇÃO DE BOUVIER-SOUMAGNAC E DUPLESSY (1985) UTILIZANDO DADOS DE SALINIDADE E TEMPERATURA DO WOA09.

FIGURA 5.5.2 - VALORES OBTIDOS PARA A CÂMARA FINAL (FCH) E O WS EM CADA MORFOTIPO DA ESPÉCIE *G. SACCULIFER* (PAINÉIS SUPERIORES) E VALORES ESPERADOS PARA A CALCITA EM CADA ESTAÇÃO DO ANO OBTIDOS ATRAVÉS DA EQUAÇÃO DE EREZ E LUZ (1982) UTILIZANDO DADOS DE SALINIDADE E TEMPERATURA DO WOA09.

FIGURA 5.5.3 - VALORES OBTIDOS PARA CADA MORFOTIPO DA ESPÉCIE *G. MENARDII* (PAINEL SUPERIOR) E VALORES ESPERADOS PARA A CALCITA EM CADA ESTAÇÃO DO ANO OBTIDOS ATRAVÉS DA EQUAÇÃO DE BOUVIER-SOUMAGNAC E DUPLESSY (1985) UTILIZANDO DADOS DE SALINIDADE E TEMPERATURA DO WOA09.

o que pode ser relacionado ao efeito da temperatura sobre o sinal isotópico.

Observa-se um baixo número de correlações entre os parâmetros morfométricos e latitude ou isótopos estáveis; em sua maior parte tratam-se de correlações fracas ($<.5$). Apenas no morfotipo 2 são observadas correlações mais fortes tanto com a latitude quanto com os isótopos estáveis (Tabela 5.6.1).

TABELA 5.6.1 - CORRELAÇÃO ENTRE AS MEDIDAS MORFOMÉTRICAS DE *G. RUBER* E LATITUDE, $\delta^{13}\text{C}$ E $\delta^{18}\text{O}$.

Grupo	1			2			3			4		
	Lat	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$	Lat	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$	Lat	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$	Lat	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$
área Fch	0.26	-0.07	-0.11	0.43	0.92	0.71	-0.03	-0.11	-0.11	-0.30	-0.10	0.22
área F-1ch	-0.03	-0.11	-0.01	-0.33	0.52	0.42	-0.16	0.07	0.05	-0.19	-0.11	0.12
área F-2ch	0.14	0.01	-0.08	-0.68	-0.56	-0.41	-0.05	-0.12	-0.10	-0.07	-0.20	-0.06
esfericidad Fch	-0.23	-0.21	0.12	-0.59	-0.50	-0.30	0.13	0.32	0.13	-0.04	-0.04	0.14
esfericidad F-1ch	-0.48	-0.41	0.08	0.33	-0.75	-0.85	-0.14	-0.15	0.05	-0.10	0.14	0.24
esfericidad F-2ch	0.16	-0.06	-0.03	-0.07	-0.68	-0.34	-0.02	-0.05	0.00	-0.07	0.22	0.17
área abert	-0.06	-0.15	0.19	-0.86	0.12	0.25	0.17	0.05	-0.01	0.20	0.04	-0.17
tamanho trocoesp	0.05	-0.01	0.08	-0.31	-0.88	-0.78	0.15	-0.23	-0.19	0.22	0.13	-0.26
achatamento	0.07	-0.18	-0.03	-0.75	-0.29	-0.22	-0.10	0.21	0.12	0.26	0.30	-0.20
volume Fch	0.25	0.18	-0.13	-0.43	0.47	0.41	-0.19	-0.01	-0.19	-0.04	0.27	-0.05
volume F-1ch	0.12	0.28	0.03	-0.47	-0.01	-0.02	-0.19	0.13	-0.03	0.17	0.26	-0.25
volume F-2ch	0.14	0.36	0.07	-0.64	-0.50	-0.40	-0.12	0.10	-0.08	0.24	0.20	-0.41

Contrariamente ao que observamos na morfoespécie *Globigerinoides ruber*, não observa-se nenhuma variação do

sinal isotópico latitudinalmente em *Globigerinoides sacculifer* tanto no sinal isotópico do WS como da Fch (Figura 5.6.3 a 5.6.6).

Para *Globigerinoides sacculifer* também foram encontradas correlações fracas em sua maior parte; apenas no morfotipo 1 foram encontradas correlações mais fortes (Tabela 5.6.2).

Observando-se os histogramas de isótopos de carbono e oxigênio em *Globorotalia menardii*, observam-se valores mais enriquecidos de carbono no morfotipo 3 e valores empobrecidos de oxigênio no morfotipo 1; e que não há variações latitudinais dos valores isotópicos (Figuras 5.6.7 e 5.6.8).

Globorotalia menardii também apresenta correlações fracas com latitude e isótopos estáveis de oxigênio e carbono; o tamanho das últimas três câmaras e o achatamento são os parâmetros que apresentam maior número de correlações (Tabela 5.6.3). A relação do achatamento e temperatura observado por Brown (2006) não foi observada aqui.

Em relação à morfoespécie *Globigerinella siphonifera* não se observa diferenças no sinal isotópico que possa ser atribuída aos testemunhos. O sinal isotópico de ambos genótipos parece se manter constante latitudinalmente (Figuras 5.6.9 e 5.6.10).

Os genótipos de *G. siphonifera* também apresentam fraca correlação com latitude e isótopos estáveis de oxigênio e carbono (Tabela 5.6.4).

FIGURA 5.6.1 – VALORES DE $\delta^{13}\text{C}$ NA MORFOESPÉCIE *G. RUBER* PARA TODOS OS TESTEMUNHOS CATEGORIZADOS EM GRUPOS MORFOMÉTRICOS.

FIGURA 5.6.2 – VALORES DE $\delta^{18}\text{O}$ NA MORFOESPÉCIE *G. RUBER* PARA TODOS OS TESTEMUNHOS CATEGORIZADOS EM GRUPOS MORFOMÉTRICOS.

FIGURA 5.6.3 — HISTOGRAMAS DO SINAL ISOTÓPICO DE CARBONO DO WS DE *G. SACCULIFER* CATEGORIZADAS POR TESTEMUNHO E POR GRUPO. NÃO HÁ DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS ENTRE OS MORFOTIPOS OU ENTRE AS DIFERENTES LATITUDES.

FIGURA 5.6.4 — HISTOGRAMAS DO SINAL ISOTÓPICO DE CARBONO DA FCH EM *G. SACCULIFER* CATEGORIZADAS POR TESTEMUNHO E POR GRUPO. NÃO HÁ DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS ENTRE OS MORFOTIPOS OU ENTRE AS DIFERENTES LATITUDES.

FIGURA 5.6.5 – HISTOGRAMAS DO SINAL ISOTÓPICO DE OXIGÊNIO DO WS EM *G. SACCULIFER* CATEGORIZADAS POR TESTEMUNHO E POR GRUPO. NÃO HÁ DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS ENTRE OS MORFOTIPOS OU ENTRE AS DIFERENTES LATITUDES.

FIGURA 5.6.6 – HISTOGRAMAS DO SINAL ISOTÓPICO DE OXIGÊNIO DA FCH EM *G. SACCULIFER* CATEGORIZADAS POR TESTEMUNHO E POR GRUPO. NÃO HÁ DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS ENTRE OS MORFOTIPOS OU ENTRE AS DIFERENTES LATITUDES.

Tabela 5.6.2 - Correlação entre as medidas morfométricas em *G. sacculifer* e latitude, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$.

Grupo	1			2			3			4		
	Lat	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$	Lat	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$	Lat	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$	Lat	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$
lobação	-0.60	-0.01	0.23	-0.06	0.26	-0.11	-0.08	0.18	0.32	0.13	-0.04	0.04
razão de alongamento	-0.17	-0.41	0.16	0.01	-0.10	0.18	0.01	-0.04	-0.48	-0.11	-0.19	0.05
coeficiente de compactação	0.27	0.06	-0.05	-0.15	0.14	0.11	-0.33	0.25	0.51	0.11	0.23	-0.05
razão de caixa	-0.12	-0.44	0.06	0.09	-0.08	0.12	-0.04	0.02	-0.48	-0.13	-0.22	0.07
área Fch	0.54	0.49	0.18	-0.13	-0.01	0.02	0.19	-0.25	0.30	0.06	-0.05	0.07
área F-1ch	0.06	0.64	0.55	-0.10	-0.06	-0.14	0.31	0.02	0.06	0.23	0.05	-0.38
área F-2ch	0.35	0.55	-0.05	-0.15	0.12	-0.21	0.15	-0.06	0.40	-0.05	0.07	-0.03
esfericidade Fch	0.03	0.41	0.68	-0.08	-0.25	-0.10	0.12	-0.09	-0.52	0.02	0.31	-0.05
esfericidade F-1ch	0.10	-0.05	-0.59	0.00	0.03	-0.17	-0.00	0.22	-0.20	-0.09	-0.33	-0.02
esfericidade F-2ch	0.06	0.48	0.77	0.28	0.46	-0.20	-0.36	0.14	0.09	-0.12	0.03	0.05
% área Fch	0.42	0.14	0.35	-0.05	-0.20	0.13	0.13	-0.27	-0.20	-0.04	-0.36	0.12
lobação Fch	0.02	0.16	0.70	-0.10	0.15	-0.05	-0.06	-0.11	0.10	0.09	-0.22	0.09
elongação Fch	-0.03	0.37	0.71	-0.04	-0.26	-0.13	0.08	-0.13	-0.51	0.07	0.28	-0.09
área perfil Fch	0.07	-0.13	0.00	-0.18	-0.01	0.18	-0.37	0.00	0.27	0.03	-0.05	0.21
largura Fch	0.23	-0.10	0.23	-0.14	-0.26	0.14	-0.18	-0.19	-0.26	-0.11	0.30	0.07
área Fch	0.36	0.47	0.44	-0.24	0.06	0.01	0.08	-0.15	0.38	0.12	-0.14	0.06
achatamento	-0.05	0.16	0.63	-0.05	-0.18	0.04	0.07	0.08	-0.50	-0.14	-0.36	-0.01
volume Fch	0.02	-0.10	-0.04	-0.17	0.29	0.10	-0.14	0.16	0.45	0.03	-0.26	0.13
volume F-1ch	-0.46	0.37	0.78	-0.13	0.02	-0.36	0.19	0.29	0.02	0.31	-0.01	-0.33
volume F-2ch	-0.15	0.03	-0.27	-0.23	0.12	-0.15	0.05	0.21	0.36	-0.03	-0.07	0.02
achatamento Fch	-0.06	0.42	0.84	-0.15	-0.32	-0.06	-0.06	-0.03	-0.37	-0.05	0.29	-0.12
achatamento F-1ch	0.04	-0.41	-0.71	-0.06	-0.05	-0.16	0.13	0.31	-0.32	-0.11	-0.28	0.08
achatamento F-2ch	0.27	-0.28	-0.62	-0.11	0.03	0.14	-0.18	0.22	0.26	-0.01	0.27	0.17

FIGURA 5.6.7 — VALORES DE $\delta^{13}\text{C}$ NA MORFOESPÉCIE *G. MENARDII* PARA TODOS OS TESTEMUNHOS CATEGORIZADOS EM GRUPOS MORFOMÉTRICOS.

Figura 5.6.8 — Valores de $\delta^{18}\text{O}$ na morfoespécie *G. menardii* para todos os testemunhos categorizados em grupos morfométricos.

TABELA 5.6.3 - CORRELAÇÃO ENTRE AS MEDIDAS MORFOMÉTRICAS EM *G. MENARDII* E LATITUDE, $\delta^{13}\text{C}$ E $\delta^{18}\text{O}$.

Grupo	1			2			3		
	Lat	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$	Lat	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$	Lat	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$
lobação	-0.17	0.03	-0.01	0.11	0.15	-0.15	-0.23	-0.20	-0.12
razão de caixa	-0.10	-0.14	-0.02	-0.05	-0.28	-0.02	-0.15	-0.05	0.27
área da F ch	-0.64	-0.07	0.22	-0.43	-0.22	0.22	-0.37	-0.19	-0.07
área da F-1ch	-0.62	-0.11	0.23	-0.45	0.08	0.27	-0.50	-0.23	0.17
área da F-2ch	-0.51	-0.02	0.17	-0.43	-0.04	0.33	-0.28	-0.26	0.07
achatamento	0.32	0.38	0.07	-0.27	0.42	0.48	0.34	0.44	-0.16
ângulo sup.	0.16	0.04	0.17	-0.18	0.05	0.50	0.19	0.23	-0.16
ângulo inf.	0.26	0.48	0.02	-0.11	0.50	0.26	0.34	0.37	-0.10

FIGURA 5.6.9 — VALORES DE $\delta^{13}\text{C}$ NA MORFOESPÉCIE *G. SIPHONIFERA* PARA TODOS OS TESTEMUNHOS CATEGORIZADOS EM GENÓTIPOS.

FIGURA 5.6.10 — VALORES DE $\delta^{18}\text{O}$ NA MORFOESPÉCIE *G. SIPHONIFERA* PARA TODOS OS TESTEMUNHOS CATEGORIZADOS EM GRUPOS GENÓTIPOS.

TABELA 5.6.4 - CORRELAÇÃO ENTRE AS MEDIDAS MORFOMÉTRICAS DE *G. SIPHONIFERA* E LATITUDE, $\delta^{13}\text{C}$ E $\delta^{18}\text{O}$.

Grupo	1			2		
	Lat	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$	Lat	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$
lobação	-0.45	0.04	0.42	0.30	0.15	-0.05
razão de alongamento	-0.42	0.21	0.31	0.09	0.15	-0.19
coeficiente de compactação	0.68	-0.35	-0.50	-0.30	-0.16	0.14
razão de caixa	0.05	0.16	0.06	0.15	0.20	-0.10
área Fch	-0.55	0.68	0.44	-0.00	0.34	-0.11
área F-1ch	0.10	-0.06	0.11	0.35	0.10	-0.20
área F-2ch	-0.05	-0.17	0.12	0.15	0.03	0.06
esfericidade Fch	-0.06	0.14	0.07	0.02	0.05	0.07
esfericidade F-1ch	-0.21	0.14	0.31	0.10	0.19	0.12
esfericidade F-2ch	0.10	0.02	-0.23	-0.19	-0.03	0.08
achatamento	-0.49	0.47	0.36	0.13	0.05	-0.15
volume Fch	-0.20	-0.09	0.16	0.01	-0.08	0.18
volume F-1ch	-0.43	0.41	0.46	0.10	0.26	-0.06
volume F-2ch	0.07	-0.13	0.12	0.33	0.08	-0.14
achatamento Fch	-0.27	0.24	-0.04	-0.03	0.08	-0.25
achatamento F-1ch	0.04	-0.14	-0.09	-0.00	-0.04	-0.07
achatamento F-2ch	-0.21	0.14	0.31	0.10	0.19	0.12

6. Discussão

6.1. Consistência de identificação de foraminíferos gerada através do conceito paleontológico de morfoespécies

As contagens comparativas entre três diferentes pesquisadores tem como objetivo demonstrar que mesmo quando os conceitos taxonômicos adotados são exatamente os mesmos, ocorre inconsistência na identificação de foraminíferos planctônicos. Apesar de não serem observadas diferenças estatisticamente significativas entre os três pesquisadores (Tabela 4.1.1), a Figura 4.1.1 mostra que para algumas morfoespécies as diferenças podem ser grandes. A ausência de significância estatística pode ter menor ou nenhum impacto em análises faunais de morfoespécies (Al-Sabouni e Kucera, 2006). No entanto, foi demonstrada a contribuição que a identificação de espécies crípticas, que é mais propensa a equívocos, pode proporcionar para análises faunais (Kucera e Darling, 2002).

Para análises geoquímicas o impacto pode ser bastante notável dependendo das características ecológicas das morfoespécies que são identificadas erroneamente. As análises geoquímicas tem calibrações espécie-específicas (Kucera e Darling, 2002; Kucera, 2007); a identificação equivocada pode gerar ruído no sinal que seria em teoria monoespecífico. Quanto mais precisas as identificações realizadas durante a seleção dos espécimens para análises, mais precisas serão as interpretações ecológicas.

Esse nível de precisão e acurácia nunca será atingido através da identificação morfológica visual. Como já foi demonstrado por outros estudos morfométricos e nos resultados do presente estudo, a identificação morfométrica

se mostra como uma metodologia mais reproduzível do que a identificação morfológica visual.

6.2. Diferenças morfométricas entre frações de tamanho

A fração de 355-425 μm foi escolhida principalmente por representar a classe de tamanho na qual há maior abundância das espécies escolhidas. Além disso, foram observadas diferenças morfométricas entre as classes de tamanho nas quatro espécies que foram selecionadas para as análises isotópicas reforçando a necessidade da utilização de uma fração de tamanho restrita para a realização de correlações morfométricas. No entanto, mesmo que fossem utilizadas espécies nas quais não se observam variações morfométricas entre as classes de tamanho, a restrição a um pequeno intervalo de tamanho é importante para análises geoquímicas pois são registradas relações do sinal geoquímico com o tamanho do indivíduo (Billups e Spero, 1995; Birch *et al.*, 2013; Deuser *et al.*, 1981; Kroon e Darling, 1995). Esta relação com o tamanho se dá devido a alteração dos efeitos vitais ao longo do desenvolvimento ontogenético do organismo; a fotossíntese, por exemplo, varia sua atividade ao longo do desenvolvimento ontogenético devido à variação do número de simbioses, redução da razão entre tamanho/superfície do organismo e posição na coluna d'água (afetando a disponibilidade de luz), gerando consequentemente variações dos efeitos vitais sobre o sinal isotópico.

Neste caso, coincidentemente a fração de tamanho que apresenta maior abundância de indivíduos para a realização de análises geoquímicas repetidas é também a fração de tamanho que possui indivíduos de massa ideal para a realização das análises e apontada por Birch *et al.* (2013) como uma das frações de tamanho dentro da qual o efeito

vital sobre o sinal isotópico de carbono e oxigênio é mínimo, onde o valor isotópico da calcita depositada na testa é bastante próximo ao valor isotópico da água na qual ocorreu a calcificação. No entanto, a classe de tamanho utilizada para estas quatro espécies não é ideal para todas as espécies de foraminíferos planctônicos; no caso da morfoespécie *Neogloboquadrina dutertrei*, por exemplo, observou-se que menor efeito vital encontra-se relacionado a frações de tamanho menores, o que não seria ideal para realização de análises isotópicas em testas individuais. Vale salientar que pra outros tipos de análises geoquímicas existem diferentes efeitos vitais atuando sobre o *proxy*; desta forma, outras ferramentas geoquímicas possuirão uma fração de tamanho ideal distinta para a condução de análises.

6.3. Funções Discriminantes na identificação de morfoespécies e genótipos

As medidas morfométricas aliadas a funções discriminantes podem representar a melhor opção para solucionar erros na identificação de espécies de foraminíferos planctônicos. A função discriminante aplicada aos parâmetros morfométricos obtidos no presente estudo apontam que praticamente todos os parâmetros escolhidos são significantes para a identificação de morfoespécies.

Na identificação de genótipos dentro de uma mesma morfoespécie através de pouquíssimos parâmetro morfométricos foi possível distinguir diferentes genótipos; apenas a elipsidade das câmaras e tamanho dos poros se demonstraram ser suficientes para a distinção entre genótipos nas morfoespécies *Globigerinoides ruber* e *Globigerinella siphonifera*, respectivamente. No entanto, diferenças morfológicas entre genótipos de uma morfoespécie

são sutis. Dessa forma, para obter uma função discriminante que seja capaz de discriminar não apenas genótipos em uma morfoespécie mas também possa identificar genótipos pertencentes a diferentes morfoespécies, um número máximo de parâmetros morfométricos é necessário.

A classificação obtida através da função discriminante de Aurahs et al. (2011) teve seu resultado corroborado pelos valores isotópicos de carbono e oxigênio de indivíduos de coloração rosa; os indivíduos de coloração rosa apresentaram valores isotópicos similares aos valores encontrados para indivíduos de coloração branca identificados como indivíduos de genótipo *pink* pela função discriminante de Aurahs et al. (2011). Confirmando a observação de Aurahs et al. (2011) de que nem todos indivíduos do genótipo *pink* apresentam a coloração rosa na testa. Dessa forma, é possível afirmar que a coloração não é indicada como caractere diagnóstico do genótipo *white* e que sua dominância demonstrada por outros estudos na margem continental brasileira pode não ser correta.

Podemos afirmar que do ponto de vista morfológico visual e morfométrico, encontramos um caso de espécies crípticas na morfoespécie *Globigerinella siphonifera*. No entanto, através de observação por SEM, essa distinção é possível. Isto também ocorre para a espécie *Orbulina universa*, na qual a distinção entre os genótipos é possível apenas através do tamanho dos poros em SEM (Morard et al., 2009). Isto enfatiza a necessidade do estudo mais detalhado da morfologia de foraminíferos planctônicos não só através da microscopia eletrônica mas também através de raio-X e tomografia.

As diferenças entre tipos genéticos dentro de uma morfoespécie são sutis, permitindo a identificação dos genótipos através de poucos parâmetros morfométricos. No

entanto, para obter-se funções discriminantes genéricas que possam ser aplicadas a uma assembléia de foraminíferos planctônicos que sejam capazes de distinguir não só genótipos dentro de apenas uma morfoespécie mas que também seja capaz de distinguir entre genótipos de diferentes morfoespécies são necessários o maior número possível de parâmetros morfométricos.

6.4. Morfotipos

Os grupos em estudo encontram-se separados em espécies únicas: sendo demonstrado geneticamente por outros estudos o *status* de espécie única ou identificando os genótipos das morfoespécies morfometricamente através de dados disponíveis na literatura. *Globigerinoides sacculifer* e *Globorotalia menardii* são compostos por um único genótipo, podendo ser consideradas espécies verdadeiras (André *et al.*, 2013; Kucera e Darling, 2002). Apesar de *Globigerinoides ruber* ser uma morfoespécie composta por cinco espécies crípticas (Aurahs *et al.*, 2009; 2011; Kuroyanagi *et al.*, 2008), a função discriminante de Aurahs *et al.* (2011) identificou a dominância de indivíduos de apenas uma das espécies crípticas, o genótipo *pink*. Para a morfoespécie *Globigerinella siphonifera* que é composta por dois genótipos, foi possível distinguir os mesmos através da morfologia ultraestrutural da testa (Bijma *et al.*, 1998; Huber, *et al.*, 1997). Dessa forma, todos os grupos utilizados neste estudo encontram-se separados em espécies verdadeiras. Os morfotipos identificados nas populações em questão tratam-se de morfotipos dentro de cada espécie e não representam entidades geneticamente definidas. As diferenças morfológicas identificadas através das análises discriminantes encontram-se associadas a variações intra-

específicas que podem ser relacionadas a variações ambientais.

A morfoespécie *Globigerinoides ruber* é uma das mais utilizadas em estudos paleoceanográficos devido à sua alta abundância em águas tropicais (Hecht e Savin, 1972), ampla distribuição geográfica e temporal e por habitar as camadas mais superficiais da coluna d'água (Hecht, 1974; Lin et al., 2006), proporcionando informações valiosas sobre a evolução da superfície dos oceanos. São reconhecidas duas variedades dentro desta morfoespécie, uma de coloração rosa devido à pigmentação de seus simbioses, *G. ruber pink*, e outra branca já que seus simbioses não conferem pigmentação à testa, *G. ruber white*. A variedade *white* foi inicialmente morfologicamente dividida de forma arbitrária em indivíduos *sensu stricto* (ss) e *sensu lato* (sl). Posteriormente, estudos geoquímicos e moleculares comprovaram que a diferença entre os dois tipos de indivíduos não era apenas morfológica. Wang (2000) foi o primeiro a observar diferenças entre o sinal isotópico dos dois morfotipos, denotando preferência ecológica distinta; neste caso, a preferência por diferentes profundidades na coluna d'água. Apesar dessa diferença isotópica não comprometer as análises isotópicas realizadas anteriormente, a diferenciação dos morfotipos para análises futuras pode enriquecer as análises trazendo informações de diferentes níveis da coluna d'água (Kuroyanagi et al., 2008), tornando as interpretações paleoceanográficas mais detalhadas.

Atualmente são reconhecidos cinco tipos genéticos dentro da morfoespécie *G. ruber*, um para a variedade *pink*, e quatro para a variedade *white* (Aurahs et al., 2009; 2011; Kuroyanagi et al., 2008), sendo três destes tipos genéticos correspondentes ao morfotipo ss e o outro ao morfotipo sl

descritos previamente por Wang (2000). A variedade *white* da morfoespécie *G. ruber* é frequentemente apontada como dominante em assembléias de foraminíferos planctônicos da margem continental brasileira (Pivel et al., 2013; Sanjinés, 2006; Toledo et al., 2008), sendo inclusive apontada como a espécie de águas tropicais mais bem sucedida em termos de abundância e distribuição no oceano Atlântico (Tolderlund e Bé, 1971). Através deste estudo esperava-se verificar se os morfotipos definidos pela análise hierárquica poderiam representar os genótipos de *G. ruber white* encontrados por Aurahs et al. (2011) no Atlântico Norte. No entanto, a identificação morfométrica e posteriormente a composição isotópica de amostras ao longo da margem continental brasileira apresentam evidências de que na verdade a variedade *pink* é dominante nessa região e não a variedade *white*. Obteve-se portanto morfotipos dentro da espécie *G. ruber pink*; os morfotipos não correspondem a espécies crípticas como esperado, já que a variedade *pink* representa apenas um genótipo, se tratam apenas de variações morfológicas intra-específicas em *G. ruber pink*.

Para a espécie *G. ruber pink*, a ocorrência do morfotipo 1 apenas nos testemunhos KF-13 e KF-E pode indicar relação do grupo com áreas mais produtivas; enquanto a ocorrência do morfotipo 2 quase restrita ao testemunho KF-I pode indicar uma preferência por águas mais frias. Os valores esperados para calcita indicam que os indivíduos de *G. ruber pink* se desenvolvem principalmente entre o verão e o outono, e para alguns morfotipos também é indicada produção durante a primavera. Isto não indica que *G. ruber pink* não se desenvolva durante o inverno; Sorano (2006) observou que a ocorrência de morfoespécies de foraminíferos planctônicos durante o inverno na região sudeste da margem continental brasileira é escassa e ocorre

em tamanhos em torno de 80 μm , não possibilitando uma identificação acurada dos espécimens; o presente estudo utilizou a fração de tamanho entre 355 - 425 μm , não englobando portanto indivíduos de tamanho característicos de inverno. Os morfotipos de *G. ruber pink* são os únicos que apresentaram diferenças sazonais claras em sua produção, apresentando potencial para utilização dos mesmos em reconstruções paleoceanográficas sazonais.

Na espécie *Globigerinoides sacculifer*, apesar das análises isotópicas indicarem uma similaridade isotópica entre os grupos 1 e 2, e 3 e 4, segundo o agrupamento hierárquico (Figura 4.4.3), os indivíduos não podem ser agrupados em grupos maiores dessa forma. Caso fosse decidido reduzir o número de grupos, as possibilidades de reagrupamento seriam o agrupamento dos morfotipos 2 e 3 ou dos morfotipos 2, 3 e 4; no entanto, pelo sinal isotópico dos grupos, avalia-se que a subdivisão em quatro morfotipos seja mais adequada. No entanto, os valores sazonais esperados da calcita e os valores isotópicos da testa e da Fch de cada morfotipo isoladamente não sugerem nenhum tipo de sazonalidade entre os morfotipos.

Devido a grande variabilidade morfológica da espécie *G. sacculifer*, especialmente na Fch, a espécie já foi separada em mais de uma espécie e morfotipos (André et al., 2013), no entanto, análises moleculares recentes demonstraram que *G. sacculifer* representa uma espécie única (André et al., 2013; Darling et al., 1996; de Vargas et al., 1997). O desenvolvimento da câmara em forma de saco foi associada à flutuabilidade, permitindo que indivíduos com saco habitem águas mais superficiais (Bermudez, 1961 apud Hecht e Savin, 1972). Porém, Jones (1967) constatou através de estudos de rede de plancton em diferentes profundidades que indivíduos com saco também habitam

maiores profundidades. Hecht e Savin (1972) através de análises isotópicas puderam também constatar que ambos morfotipos calcificam em mesma profundidade e não há diferenças isotópicas entre a Fch e o WS. No entanto, posteriormente foi observado que os dois morfotipos apresentam distribuição geográfica distinta, sustentando a importância ecológica de considerá-los separadamente (Hecht, 1974).

Acredita-se que a diversidade morfológica da Fch esteja relacionada com as condições no momento de calcificação. Aqui, as Fch foram analisadas individualmente para avaliar se Fch de morfologia similares são formadas sob condições ambientais similares. Enquanto os valores de $\delta^{18}\text{O}$ do WS encontram-se consistentemente entre -0.5 e -2.0 ‰ em todos morfotipos, a amplitude dos valores encontrados para a Fch é distinta entre os morfotipos; o morfotipo 4 apresenta a maior distribuição de valores (entre -1.5 e 2.0 ‰), já os outros três morfotipos tem distribuição restrita entre -1.0 a 0.0 ‰, sugerindo uma maior migração vertical no morfotipo 4. No entanto, apesar dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ no morfotipo 4 apresentarem valores mais enriquecidos, entre 2.5 e 3.2 ‰ enquanto os valores dos outros três morfotipos encontram-se predominantemente entre 2.3 e 2.8 ‰, isto ocorre para as Fch do morfotipo todo e não apenas para as Fch de indivíduos que apontam maiores profundidades. Dessa forma, sugere-se que os simbiossitos dos indivíduos desempenhem grande influência sobre os valores de $\delta^{13}\text{C}$ no morfotipo 4 podendo mascarar o efeito da profundidade nos valores de $\delta^{13}\text{C}$; a presença de simbiossitos adaptados ao sombreamento, como ocorre no Tipo II de *Globigerinella siphonifera* (Huber et al., 1997), poderia causar um desvio para valores mais pesados de $\delta^{13}\text{C}$, mascarando o efeito da profundidade, que seria na direção contrária e não é

observada nos dados presentes. Através do sinal isotópico de oxigênio das câmaras finais é possível afirmar que em todos morfotipos as mesmas são calcificadas em menores temperaturas e, conseqüentemente, maiores profundidades. No morfotipo 2 as diferenças isotópicas entre o sinal isotópico tanto de oxigênio quanto de carbono é baixa quando comparada aos outros morfotipos; o morfotipo deve provavelmente apresentar uma amplitude migratória vertical reduzida em relação aos demais morfotipos. Dessa forma, apesar dos morfotipos não representarem potencial para a reconstrução sazonal, o sinal isotópico da Fch pode proporcionar informações de diferentes camadas da coluna d'água.

Globorotalia menardii possui um grande variabilidade morfológica e um grande número de sub-espécies descritas: *G. menardii menardii*, *G. menardii cultrata*, *G. menardii ungulata*, *G. menardii tumida*, *G. menardii flexuosa* e *G. menardii fimbriata*. A distinção entre estas sub-espécies é sutil e possui estágios intermediários; desta forma, as sub-espécies são frequentemente consideradas em estudos paleoceanográficos como um grupo único sob a nomenclatura de complexo menardiiforme (de Oliveira Lessa et al., 2014; Kennett e Huddleston, 1972; Kennett e Shackleton, 1975; Malmgren e Healy-Williams, 1978; Malmgren e Kennett, 1976; Portilho-Ramos et al., 2006). No entanto, é possível observar diferenças ecológicas entre as sub-espécies; os tipos morfológicos *G. menardii menardii* e *G. menardii cultrata*, por exemplo, se utilizadas sem distinção em análises geoquímicas para estimativa de paleotemperatura podem levar a uma superestimação de ~2,5 °C (Regenberg et al., 2010).

O sequenciamento genético em *G. menardii* não identificou a presença de tipos genéticos (Kucera e

Darling, 2002). Alguns autores consideram as variedades tumida, tumida flexuosa, cultrata e ungulata como morfoespécies distintas (Bé, 1967; Bolli *et al.*, 1989; Parker, 1962; Stainforth *et al.*, 1975); enquanto outros autores consideram a existência de uma morfoespécie única com alta variabilidade morfológica (Ericson *et al.*, 1961; Ericson e Wollin, 1956). Não fica claro se o sequenciamento genético em *G. menardii* incluiu indivíduos de todos os tipos morfológicos descritos na literatura. Aqui, por falta de critérios morfológicos que possibilitem uma separação precisa, os indivíduos foram considerados como uma morfoespécie com grande plasticidade morfológica. Os indivíduos estudados aqui foram divididos em apenas três grupos morfológicos, em oposição aos seis morfotipos descritos na literatura.

Na *G. menardii* apenas o morfotipo 3 parece ter sinal isotópico distinto dos outros grupos; o morfotipo 2 apresenta valores intermediários aos outros dois morfotipos. O morfotipo 3 apresenta valores de $\delta^{13}\text{C}$ mais positivos e valores de $\delta^{18}\text{O}$ levemente mais positivos em relação aos outros dois morfotipos; em termos de profundidade, o sinal isotópico de oxigênio e carbono são contraditórios, caso o morfotipo habite maiores profundidades, o sinal de carbono deveria ser mais negativo e de oxigênio mais positivo, e caso habite locais com maior incidência de luz, e portanto menos profundos, o sinal de carbono deveria ser mais positivo e de oxigênio mais negativo. A diferença dos valores isotópicos pode ser atribuída à atividade fotossintética de simbiontes adaptados ao sombreamento no morfotipo 3. O morfotipo 1 parece habitar águas menos profundas com maior incidência luminosa e conseqüentemente maior atividade fotossintética. O testemunho KF-I apresenta as menores temperaturas dentre

os cinco testemunhos estudados e também possui uma camada de mistura menos espessa, dessa forma, mesmo o morfotipo 1 estando em uma camada menos profunda, esta pode encontrar-se na termoclina, gerando um registro de temperaturas mais frias, causando uma inversão aparente da relação dos valores isotópicos do morfotipo 1 com os demais morfotipos. Adicionalmente, a variação de algumas medidas morfométricas individualmente encontra-se correlacionada com a latitude, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$, possibilitando inferências ambientais diretas a partir de variações morfológicas.

Os dois genótipos de *Globigerinella siphonifera* apresentam sinal isotópico de oxigênio similar, sugerindo que eles vivam sob as mesmas profundidade e condições de temperatura; de fato, indivíduos dos dois genótipos foram coletados em uma mesma profundidade por Bijma et al. (1998). Devido a profundidade habitada pela morfoespécie não é possível inferir a estação do ano em que sua produção ocorre através do gráfico de valores esperados para a calcita. Segundo Boltovskoy (1965), a morfoespécie realmente não apresenta preferência sazonal.

Os genótipos diferem significativamente no sinal isotópico de carbono, que como constatado em estudos em indivíduos coletados vivos pode ser atribuído a atividade fotossintética dos dois genótipos devido ao tipo e número de simbioses em cada um deles; o Tipo I possui um conteúdo de foto-pigmentos muito mais baixo, resultando numa taxa fotossintética mais baixa (Bijma et al., 1998). Os dados de isótopos estáveis obtidos aqui corroboram estas informações, o que indica que o tamanho dos poros da testa possam ser utilizados com segurança para a identificação dos genótipos da morfoespécie *G. siphonifera*.

Aqui foram atribuídas algumas características aos morfotipos das espécies anteriores baseado em sua

abundância e distribuição geográfica; no entanto, o número de indivíduos utilizados para as análises morfométricas e isotópicas não reflete a ocorrência natural dos mesmos nas amostras, não permitindo inferências ecológicas seguras a partir da abundância em cada morfotipo. A única morfoespécie em que o número de indivíduos analisados realmente reflete a abundância dos morfotipos nas amostras foi a *G. siphonifera*, na qual é observada uma nítida dominância do Tipo II. No trabalho de Bijma *et al.* (1998) o Tipo I tem maior número de análises, mas não fica claro se este número reflete a abundância do genótipo nas amostras. O Tipo II é o genótipo que possui maior número de simbioses (Huber *et al.*, 1997; Bijma *et al.*, 1998); sua maior taxa fotossintética é observada a partir do sinal isotópico de carbono mais positivo em relação ao Tipo I. A dominância do Tipo II pode ocorrer em regiões onde a produtividade primária local é reduzida, sendo o sucesso de seus indivíduos facilitada pela presença de seus simbioses. Em oposição, o Tipo I depende em menor grau de seus simbioses, sendo menos adaptada a condições oligotróficas. De acordo com dados do WOA09 (Garcia *et al.*, 2010), a concentração de fosfato em Curaçao, onde Bijma *et al.* (1998) observaram abundância relativa dos genótipos de *G. siphonifera* oposta à observada aqui, chega a ser duas vezes maior do que na margem continental brasileira. Confirmando dessa forma que, assim como sugerido por Bijma *et al.* (1998), os dois tipos genéticos podem ser utilizados na reconstrução da produtividade local.

A morfologia foi empregada mais frequentemente na paleoceanografia relacionando-a diretamente às variações ambientais (Berger, 1969a; Baumfalk *et al.*, 1982; Feldmeijer *et al.*, 2015; Hemleben *et al.*, 1987; Mazumder *et al.*, 2014; Wiles, 1965); poucas vezes sendo ela explorada

morfometricamente de forma a auxiliar na classificação/identificação de morfoespécies ou morfotipos em foraminíferos planctônicos (Aurahs et al., 2011; Huber et al., 1997; Malmgren e Kennett, 1977; Morard et al., 2009; Numberger et al., 2009). A relação de variações ambientais é apenas válida quando feita dentro de um grupo de preferências ecológicas bem definidas, ou seja, dentro de uma espécie única (Hecht, 1974; Darling et al., 2006); somente então as relações encontradas podem ser válidas, como foi observado no presente estudo para a espécie *Globorotalia menardii*. Caso contrário, pode encontrar-se relações artificiais errôneas, como alguém poderia encontrar em *Globigerinella siphonifera*, por exemplo.

A porosidade em *Globigerinella siphonifera* determina a existência de tipos genéticos distintos, os Tipos I e II, com diferentes afinidades por condições de produtividade. Neste caso, a relação da porosidade com variáveis ambientais pode não resultar necessariamente numa relação ambiental que faça sentido fisiologicamente. A significância ecológica das diferenças morfológicas em foraminíferos planctônicos ainda não é bem compreendida (Berger, 1969a; Kucera, 2007). Em estudos anteriores foi sugerida a relação da porosidade com períodos glaciais/interglaciais (Wiles, 1965), proteção e extensão do protoplasma (Lipps, 1966), disponibilidade de calor e luminosidade (Bé, 1968) e trocas gasosas (Hemleben et al., 1989). A relação da porosidade com a produtividade, que poderia ser sugerida a partir dos dados de Bijma et al (1998) e também pelos resultados do presente trabalho, é fisiologicamente contraditória às hipóteses de Wiles (1965) e de Hemleben et al. (1989). Em períodos glaciais espera-se que a termoclina se encontre mais rasa, proporcionando maior quantidade de nutrientes, o que resultaria em maior

abundância do Tipo I de *G. siphonifera* (maior porosidade). No entanto, Wiles (1965) observou menor porosidade durante períodos glaciais. Com relação à hipótese de Hemleben et al. (1989) que sugere maior porosidade relacionada a maior atividade de trocas gasosas, o Tipo I possui menor quantidade de simbioses, demandando menos trocas gasosas em relação o Tipo II e consequentemente menor porosidade, que é o contrário do que observa-se no Tipo I. O restante das hipóteses concordam com o observado no presente estudo. O Tipo I possui menor quantidade de simbioses, sua maior porosidade gera uma maior exposição do protoplasma (Lipps, 1966) e de seus simbioses ao calor e luminosidade (Bé, 1968), aumentando sua atividade fotossintética. No entanto, a porosidade em *G. siphonifera* pode ter se desenvolvido em sua origem por alguma adaptação ambiental compatível às hipóteses de Wiles (1965) e Hemleben et al (1989), mas talvez atualmente a ocorrência dos tipos genéticos esteja relacionada a outra característica ecológica da espécie que não a porosidade e sua relação com o ambiente. Apesar da porosidade ser a diferença morfológica mais notável, e talvez a única, entre os dois tipos genéticos e os mesmos apresentarem potencial para inferências de produtividade, seria incorreto relacionar a porosidade em *G. siphonifera* com variáveis ambientais, ainda que em sua origem a porosidade tenha se diferenciado por uma adaptação ao ambiente.

Dessa forma, encoraja-se a continuidade da exploração das relações entre morfologia e parâmetros ambientais, mas que no entanto isto seja realizado em grupos restritos e idealmente morfometricamente definidos após estudos que conciliem genética e morfometria.

6.5. Potencial do uso da morfometria na paleoceanografia

Assim como outros *proxies* paleoceanográficos obtidos em foraminíferos planctônicos, a morfologia também pode oferecer importantes informações paleoceanográficas. No entanto, enquanto análises geoquímicas proporcionam resultados sem ambiguidades e acurados, a morfologia é mais complexa e geralmente explorada de forma qualitativa (Kucera, 2007). Por seu caráter qualitativo, estudos morfológicos são evitados por parecerem meramente especulativos (Scott, 1973). No entanto, a precisão das análises geoquímicas depende da seleção de amostras de indivíduos de identificação e ecologia bem definidas. A morfometria detalhada e testes biométricos precisos beneficiam o debate filogenético do grupo (Malmgren *et al.*, 1983), aperfeiçoando tanto a classificação do grupo como compreensão da ecologia de cada uma de suas espécies. Apesar da morfometria ser um método trabalhoso e que tem demanda de tempo alta, acredita-se que o avanço de métodos automáticos e semi-automáticos de obtenção de imagens e medidas irá permitir o crescimento de estudos morfométricos no futuro (Schmidt, 2002; Knappertsbusch *et al.*, 2009).

Os estudos moleculares tem demonstrado que o conceito paleontológico subestimou a diversidade do grupo (Darling *et al.*, 1999; Kucera, 2007). A classificação e filogenia baseada através da morfologia geral da testa não é eficaz já que as adaptações morfológicas podem decorrer de convergência sob estresse ambiental similar em diferentes espécies (Lipps, 1966). A melhor compreensão da diversidade dentro dos foraminíferos planctônicos e da relação da sua morfologia com o ambiente permitirá também melhor compreensão dos processos evolutivos e relações filogenéticas dentro do grupo (Lipps, 1966; Weinkauf, 2014).

A aplicação direta da morfologia para inferências ecológicas como descrita na literatura anterior aos estudos moleculares teve seu potencial reduzido nas morfoespécies em que foram encontradas a presença de espécies crípticas. Em outras palavras, a diversidade genética revelada pelos estudos moleculares sugere uma forte componente genética na variação morfológica (Kucera, 2007). Apesar da morfologia refletir adaptações da testa às condições do fluído na qual ela se encontra (Furbish e Arnold, 1997), a morfologia observada atualmente numa dada espécie pode ter perdido sua significância ecológica como foi sugerido aqui para a porosidade em *Globigerinella siphonifera*. Na literatura já foram identificados outros casos de relações morfológicas-ambientais equivocadas como ocorre para o sentido de enrolamento na morfoespécie *Neoglobobadrina pachyderma*, que foi relacionado a variações de temperatura (Ericson, 1959; Naidu e Malmgren, 1996; Thompson e Shackleton, 1980), quando na verdade também se trata de uma feição taxonômica que diferencia espécies crípticas (Darling et al, 2006); e para tamanho e formato na morfoespécie *Globorotalia truncatulinoides*, os quais foram atribuídos a *habitat tracking* dos tipos genéticos da morfoespécie (Renaud e Schmidt, 2003).

Relações entre a morfologia e variações ambientais ainda podem ser encontradas. No entanto, ela deve ser feita dentro de uma população em que os indivíduos sejam genética e ecologicamente contínuos; ou seja, numa população em que seja possível diferenciar espécies crípticas. O potencial do uso da morfologia para inferências ambientais deve ser reavaliado em cada espécie/morfoespécie.

As quatro espécies estudadas aqui apresentaram diferentes relações entre a morfologia e a ecologia de seus indivíduos. Para a morfoespécie *G. ruber* a morfologia

mostrou-se bastante útil para a identificação dos tipos genéticos. No caso da *G. sacculifer* a variação morfológica parece estar relacionadas à presença de morfotipos com diferenças comportamentais; enquanto na *G. siphonifera*, as diferenças estão relacionadas à variações taxonômicas dos Tipos I e II. Já na *G. menardii* apesar de não existirem morfotipos de ecologia ou comportamento distintos, cada parâmetro morfométrico individualmente parece estar mais diretamente relacionado aos parâmetros ambientais como sugerido pela literatura anteriormente.

Apesar da presença de grupos genética e ecologicamente distintos ser descrita na literatura, pouco encontra-se disponível para a identificação dos mesmos. Tentativas de identificação visual destes grupos leva ao mesmo tipo de subjetividade encontrado na classificação e identificação de morfoespécies criando o potencial para conclusões equivocadas (Thirumalai *et al.*, 2014). É importante o desenvolvimento de estudos moleculares aliados à morfometria, para permitir a identificação dos indivíduos (Seears *et al.*, 2012), e à observações biológicas e/ou análises químicas, para que seja possível realizar inferências ambientais a partir da identificação dos indivíduos encontrados, como pode ser observado para os genótipos de *G. siphonifera*. Através dos resultados obtidos aqui é possível afirmar que o maior potencial do uso da morfometria, não só na paleoceanografia, mas para estudos modernos também, é na identificação de morfoespécies/espécies (pseudo) crípticas/morfotipos.

Adicionalmente, acredita-se que a morfologia detalhada e análises geoquímicas em testas individuais de foraminíferos planctônicos tem um subestimado potencial paleoceanográfico. Além das análises em testas individuais permitirem correlações mais precisas entre a morfologia e a

geoquímica da testa (Fehrenbacher *et al.*, 2015; Numberger *et al.*, 2009; Vetter *et al.*, 2013; Wit *et al.*, 2013), elas permitem também identificar efeitos de bioturbação e observar a real variabilidade morfométrica e isotópica dentro de uma mesma população (Billups e Spero, 1995; Wit *et al.* 2013). Apesar do grande número de publicações que relacionam a morfologia com dados isotópicos, em sua maior parte se tratam de análises em agrupamentos de testas (Birch *et al.*, 2013; Emiliani, 1971; Van Eijden, 1995), os quais acabam diluindo a informação paleoceanográfica introduzindo ruído ao sinal isotópico obtido (Killingley *et al.*, 1981).

7. Conclusões

A morfometria se mostrou acurada e precisa na diferenciação tanto de morfoespécies como de espécies crípticas, esta última exemplificada pelas morfoespécies *G. ruber* e *G. siphonifera*;

Foi identificada a dominância do genótipo *pink* da morfoespécie *G. ruber* ao longo da margem continental brasileira, ao contrário do que foi observado em estudos anteriores que utilizaram apenas a coloração dos indivíduos para distinguir espécimens *white* e *pink*. Dessa forma, conclui-se também que a cor não é um caractere confiável para a distinção entre espécies neste caso;

É possível obter informações sazonais relevantes apenas em morfoespécies que habitam as camadas superficiais da coluna d'água já que a variação sazonal em maiores profundidades é bastante reduzida. Neste caso, apenas os morfogrupos de *G. ruber* apresentaram este potencial;

Apesar dos valores isotópicos do WS ou da Fch em *G. sacculifer* não serem significativamente distintos entre os morfotipos, é possível observar que a diferença entre os valores de WS e da Fch é distinta em cada morfotipo, denotando migração vertical distinta em cada morfotipo;

Foi identificada a dominância de indivíduos Tipo I na morfoespécie *G. siphonifera* ao longo da margem continental brasileira;

A abundância relativa dos tipos genéticos de *G. siphonifera* apresenta potencial para inferências de produtividade local;

A porosidade de *G. siphonifera* não se encontra relacionada com a produtividade do ambiente em que os indivíduos se desenvolvem;

Com exceção de *G. menardii*, as correlações entre a morfologia dos indivíduos das morfoespécies e a latitude, $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ se reduzem quando as correlações são realizadas isoladamente em cada morfotipo, indicando que as variações morfológicas encontram-se mais relacionadas à existência de diferentes morfotipos do que propriamente com variações ambientais.

8. Referências Bibliográficas

- AL-SABOUNI, N.; KUCERA, M. M. Reproducibility of species recognition in modern planktonic foraminifera. FORAMS'2006, International Symposium on Foraminifera. In: Anuário do Instituto de Geociências, 29(1):394, 2006.
- ANDRÉ, A. et al. The cryptic and the apparent reversed: lack of genetic differentiation within the morphologically diverse plexus of the planktonic foraminifer *Globigerinoides sacculifer*. *Paleobiology*, v. 1, p. 21–39, 2013.
- ANJOS-ZERFASS, G. DE S. D.; CARREÑO, A. L. Ambigüidades Taxonômicas e seus efeitos nos estudos Bioestratigráficos e Paleoceanográficos: o exemplo do foraminífero planctônico. p. 1–4, 2006.
- ANTONOV, J. I. et al. WORLD OCEAN ATLAS 2009 Volume 2: Salinity. In: LEVITUS, S. (Ed.). NOAA Atlas NESDIS 69. Washington, D.C.: U.S. Gov. Printing Office, 2010. p. 184.
- ARMSTRONG, H.; BRASIER, M. *Microfossils*. John Wiley e Sons, 2013. p. 296.
- ARZ, H. W.; PATZOLD, J.; WEFER, G. Climatic changes during the last deglaciation recorded in sediment cores from the northeastern Brazilian Continental Margin. *Geo-Marine Letters*, v. 19, n. 3, p. 209–218, 1999.
- AURAHS, R. 2010. Genetic Diversity and Cryptic Speciation in Planktonic Foraminiferal Morphotaxa. Tese (Doutorado) – Universität Tübingen.
- AURAHS, R. et al. Geographical distribution of cryptic genetic types in the planktonic foraminifer *Globigerinoides ruber*. *Molecular Ecology*, v. 18, n. 8, p. 1692–1706, 2009.

- AURAHS, R. et al. A revised taxonomic and phylogenetic concept for the planktonic foraminifer species *Globigerinoides ruber* based on molecular and morphometric evidence. *Marine Micropaleontology*, p. 1–14, 2011.
- BAUM, D. Phylogenetic species concepts. *Trends in Ecology e Evolution*, v. 7, n. 1, p. 1, 1992.
- BAUMFALK, Y. A. et al. Phenotypic variation of *Globorotalia scitula* (foraminiferida) as a response to Pleistocene climatic fluctuations. *Marine Geology*, v. 75, n. 1, p. 231–240, 1987.
- BERGER, W. H. Planktonic foraminifera: basic morphology and ecologic implications. *Journal of Paleontology*, p. 1369–1383, 1969a.
- BERGER, W. H. Ecologic patterns of living planktonic foraminifera. v. 16, n. 1, p. 1–24, 1969b.
- BÉ, A. W. H. Foraminifera. *Zooplankton*, p. 1–10, 1967.
- BÉ, A. W. H. Shell porosity of recent planktonic foraminifera as a climatic index. *Science*, v. 161, n. 3844, p. 881, 1968.
- BÉ, A. W. H. et al. X-ray microscopy of Recent planktonic Foraminifera. *Journal of Paleontology*, p. 1384–1396, 1969.
- BIJMA, J. et al. Experimental determination of the ontogenetic stable isotope variability in two morphotypes of *Globigerinella siphonifera* (d'Orbigny). *Marine Micropaleontology*, v. 35, n. 3, p. 141–160, 1998.
- BILLUPS, K.; SPERO, H. J. Relationship between shell size, thickness and stable isotopes in individual planktonic foraminifera from two equatorial Atlantic cores. *The Journal of Foraminiferal Research*, v. 25, n. 1, p. 24–37, 1995.

- BIRCH, H. S. *et al.* Planktonic foraminifera stable isotopes and water column structure: Disentangling ecological signals. *Marine Micropaleontology*, v. 101, p. 127–145, 2013.
- BOLLI, H. M. *et al.* Plankton Stratigraphy: Volume 1, Planktic Foraminifera, Calcareous Nannofossils and Calpionellids. v. 1, 1989.
- BOLTOVSKOY, E. Clasificación de los foraminíferos. *In: Los foraminíferos recientes: biología, métodos de estudio, aplicación oceanográfica.* Buenos Aires: Eudeba, 1965. p. 510.
- BOUVIER-SOUMAGNAC, Y.; DUPLESSY, J.-C. Carbon and oxygen isotopic composition of planktonic foraminifera from laboratory culture, plankton tows and Recent sediment; implications for the reconstruction of paleoclimatic conditions and of the global carbon cycle. *The Journal of Foraminiferal Research*, v. 15, n. 4, p. 302–320, 1985.
- BROWN, K. Morphological variation in late Pleistocene-Holocene *globorotalid* foraminifera. FORAMS'2006, International Symposium on Foraminifera. *In: Anuário do Instituto de Geociências*, 29(1):394, 2006.
- CALADO, L. *et al.* Feature-oriented regional modeling and simulations (FORMS) for the western South Atlantic: Southeastern Brazil region. *Ocean Modelling*, v. 25, n. 1-2, p. 48–64, 2008.
- CAMPOS, E. J. D. *et al.* Water mass characteristics and geostrophic circulation in the South Brazil Bight: Summer of 1991. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978–2012), v. 100, n. C9, p. 18537–18550, 1995.
- CHIESSI, C. M. *et al.* Signature of the Brazil-Malvinas Confluence (Argentine Basin) in the isotopic

- composition of planktonic foraminifera from surface sediments. *Marine Micropaleontology*, v. 64, n. 1-2, p. 52-66, 2007.
- COOKE, S.; ROHLING, E. J. Stable isotopes in foraminiferal carbonate. Southampton Oceanography Centre Internal Document 72, 2001.
- CORDEY, W. G. The development of *Globigerinoides ruber* (d'Orbigny 1839) from Miocene to Recent. *Palaeontology*, v. 10, n. 4, p. 647-659, 1967.
- COSTA, K. B. 2000. Variações Paleoceanográficas na Porção Oeste do Atlântico Sul entre o Último Máximo Glacial e o Holoceno: Isótopos Estáveis do Oxigênio e Carbono e a razão Cd/Ca em Foraminíferos Bentônicos. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- DARLING, K. F. et al. Molecular phylogeny of the planktic foraminifera. *The Journal of Foraminiferal Research*, v. 26, n. 4, p. 324-330, 1996.
- DARLING, K. F. et al. The diversity and distribution of modern planktic foraminiferal small subunit ribosomal RNA genotypes and their potential as tracers of present and past ocean circulations. *Paleoceanography*, v. 14, n. 1, p. 3-12, 1999.
- DARLING, K. F. et al. Molecular evidence for genetic mixing of Arctic and Antarctic subpolar populations of planktonic foraminifers. *Nature*, n. 405, 2000.
- DARLING, K. F. et al. Molecular evidence links cryptic diversification in polar planktonic protists to Quaternary climate dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 101, n. 20, p. 7657-7662, 2004.

- DARLING, K. F. et al. A resolution for the coiling direction paradox in *Neogloboquadrina pachyderma*. *Paleoceanography*, v. 21, n. 2, p. 1-14, 2006.
- DAVIS, C. V. et al. The response of calcifying plankton to climate change in the Pliocene. *Biogeosciences*, v. 10, n. 9, p. 6131-6139, 2013.
- DE OLIVEIRA LESSA, D. V. et al. Marine Micropaleontology. *Marine Micropaleontology*, v. 106, p. 55-68, 2014.
- DE QUADROS, J. P. 2007. Nanofósseis calcários da margem continental nordeste do Brasil: uma contribuição à paleoceanografia do Atlântico Sul nos últimos 25.000 anos. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo.
- DE VARGAS, C. et al. Phylogeny and rates of molecular evolution of planktonic foraminifera: SSU rDNA sequences compared to the fossil record. *Journal of molecular evolution*, v. 45, n. 3, p. 285-294, 1997.
- DE VARGAS, C. et al. Molecular evidence of cryptic speciation in planktonic foraminifers and their relation to oceanic provinces. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 96, n. 6, p. 2864-2868, 1999.
- DE VARGAS, C. et al. Pleistocene adaptive radiation in *Globorotalia truncatulinoides*: genetic, morphologic, and environmental evidence. *Paleobiology*, v. 27, n. 1, p. 104-125, 2001.
- DE VARGAS, C. et al. A molecular approach to biodiversity and biogeography in the planktonic foraminifer *Globigerinella siphonifera* (d'Orbigny). *Marine Micropaleontology*, v. 45, n. 2, p. 101-116, 2002.
- DE VARGAS, C.; PAWLOWSKI, J. Molecular versus taxonomic rates of evolution in planktonic foraminifera.

- Molecular Phylogenetics and Evolution, v. 9, n. 3, p. 463–469, 1998.
- DEUSER, W. G. et al. Seasonal changes in species composition, numbers, mass, size, and isotopic composition of planktonic foraminifera settling into the deep Sargasso Sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 33, n. 1, p. 103–127, 1981.
- DEUSER, W. G.; ROSS, E. H. Seasonally abundant planktonic foraminifera of the Sargasso Sea; succession, deep-water fluxes, isotopic compositions, and paleoceanographic implications. *The Journal of Foraminiferal Research*, v. 19, n. 4, p. 268–293, 1989.
- EMILIANI, C. A New Paleontology. *Micropaleontology*, v. 15, n. 3, p. 265–300, 1969.
- EMILIANI, C. Isotopic paleotemperatures and shell morphology of *Globigerinoides rubra* in the type section for the Pliocene-Pleistocene boundary. *Micropaleontology*, p. 233–238, 1971.
- EPSTEIN, S. et al. Revised Carbonate-Water Isotopic Temperature Scale. *Geological Society of America Bulletin*, v. 64, p. 1315–1326, 1953.
- EREZ, J.; LUZ, B. Experimental paleotemperature equation for planktonic foraminifera. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 47, n. 6, p. 1025–1031, 1983.
- ERICSON, D. B. Coiling direction of *Globigerina pachyderma* as a climatic index. *Science*, v. 130, n. 3369, p. 219, 1959.
- ERICSON, D. B. et al. Atlantic Deep-Sea Sediment Cores. *Geological Society of America Bulletin*, v. 72, n. 2, p. 193, 1961.

- ERICSON, D. B.; WOLLIN, G. Correlation of six cores from the equatorial Atlantic and the Caribbean. *Deep Sea Research* (1953), v. 3, n. 2, p. 104–125, 1956.
- EVANS, D. L.; SIGNORINI, S. R. Vertical structure of the Brazil Current. *Nature*, v. 315, n. 6014, p. 48–50, 1985.
- FAIRBANKS *et al.* Origin of global meltwater pulses. In: TAYLOR *et al.* (Eds.). *Radiocarbon after four decades*. New York: Springer, 1992. p. 473–500.
- FEHRENBACHER, J. S. *et al.* Optimizing LA-ICP-MS analytical procedures for elemental depth profiling of foraminifera shells. *Chemical Geology*, v. 407–408, p. 2–9, 2015.
- FELDMEIJER, W. *et al.* Reconstructing the depth of the permanent thermocline through the morphology and geochemistry of the deep dwelling planktonic foraminifer *Globorotalia truncatulinoides*. *Paleoceanography*, v. 30, p. 1–22, 2015.
- FURBISH, D. J.; ARNOLD, A. J. Hydrodynamic strategies in the morphological evolution of spinose planktonic foraminifera. *Geological Society of America Bulletin*, v. 109, n. 8, p. 1055–1072, 1997.
- GARCIA, H. E. *et al.* WORLD OCEAN ATLAS 2009, Volume 4: Nutrients (phosphate, nitrate, and silicate). In: LEVITUS, S. (Ed.). NOAA Atlas NESDIS 71. Washington, D.C.: NOAA Atlas NESDIS 71, 2010. p. 398.
- HAYNES, J. R. Supposed pronounced ecophenotypy in foraminifera. *Journal of Micropalaeontology*, 1992.
- HECHT, A. D. Intraspecific variation in recent populations of *Globigerinoides ruber* and *Globigerinoides trilobus* and their application to paleoenvironmental analysis. *Journal of Paleontology*, p. 1217–1234, 1974.

- HECHT, A. D.; SAVIN, S. M. Phenotypic variation and oxygen isotope ratios in recent planktonic foraminifera. *The Journal of Foraminiferal Research*, v. 2, n. 2, p. 55–67, 1972.
- HEMLEBEN, C. et al. Morphological and physiological responses of *Globigerinoides sacculifer* (Brady) under varying laboratory conditions. *Marine Micropaleontology*, v. 12, p. 305–324, 1987.
- HEMLEBEN, C. et al. Modern planktonic foraminifera. New York: Springer, 1989.
- HENDERSON, G. M. New oceanic proxies for paleoclimate. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 203, n. 1, p. 1–13, 2002.
- HUBER, B. T. et al. Cryptic speciation in the living planktonic foraminifer *Globigerinella siphonifera* (d'Orbigny). *Paleobiology*, p. 33–62, 1997.
- IWAI, S. 2010. Assembléias de foraminíferos planctônicos: Implicações paleoceanográficas nos últimos 450.000 anos em testemunhos do sudoeste do Atlântico Sul. Dissertação (Mestrado) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo.
- IWASAKI, S. et al. Observation of the dissolution process of *Globigerina bulloides* tests (planktic foraminifera) by X-ray microcomputed tomography. *Paleoceanography*, v. 30, p. 317–331, 2015.
- JONES, J. I. Significance of the distribution of planktonic foraminifera in the equatorial Atlantic undercurrent. *Micropaleontology*, v. 13, n. 4, p. 489–501, 1967.
- KEMLE-VON MÜCKE, S.; HEMLEBEN, C. Foraminifera. In: BOLTOVSKOY, D. (Ed.). *South Atlantic Zooplankton*. Leiden, Netherlands: Backhuys Publishers, 1999. p. 43–73.

- KENNETT, J. P.; HUDDLESTON, P. Late Pleistocene paleoclimatology, foraminiferal biostratigraphy and tephrochronology, western Gulf of Mexico. *Quaternary Research*, v. 2, n. 1, p. 38–69, 1972.
- KENNETT, J. P.; SHACKLETON, N. J. Laurentide ice sheet meltwater recorded in Gulf of Mexico deep-sea cores. *Science*, v. 188, n. 4184, p. 147–150, 1975.
- KENNETT, J. P.; SRINIVASAN, M. S. Neogene planktonic foraminifera: a phylogenetic atlas. Hutchinson Ross, 1983.
- KILLINGLEY, J. S. et al. Oxygen and carbon isotopes of individual shells of planktonic foraminifera from Ontong-Java Plateau, equatorial Pacific. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 33, n. 1, p. 193–204, 1981.
- KNAPPERTSBUSCH, M. Morphological variability of *Globorotalia menardii* (planktonic foraminifera) in two DSDP cores from the Caribbean Sea and the Eastern Equatorial Pacific. *Carnets de Géologie/Notebooks on Geology, Brest, Article*, v. 4, 2007.
- KNAPPERTSBUSCH, M. et al. AMOR-A new system for automated imaging of microfossils for morphometric analyses. *Palaeontologia Electronica*, v. 12, n. 2, 2009.
- KNOWLTON, N. Sibling species in the sea. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1993.
- KROON, D.; DARLING, K. F. Size and upwelling control of the stable isotope composition of *Neogloboquadrina dutertrei* (d'Orbigny), *Globigerinoides ruber* (d'Orbigny) and *Globigerina bulloides* d'Orbigny; examples from the Panama Basin and Arabian Sea. *The Journal of Foraminiferal Research*, v. 25, n. 1, p. 39–52, 1995.

- KUCERA, M. M. Planktonic Foraminifera as Tracers of Past Oceanic Environments. In: HILLAIRE-MARCEL, C.; DE VERNAL, A. (Eds.). Proxies in Late Cenozoic Paleoceanography. Elsevier, 2007. p. 213–262.
- KUCERA, M. M. et al. Reconstruction of sea-surface temperatures from assemblages of planktonic foraminifera: multi-technique approach based on geographically constrained calibration data sets and its application to glacial Atlantic and Pacific Oceans. Quaternary Science Reviews, v. 24, n. 7–9, p. 951–998, 2005.
- KUCERA, M. M.; DARLING, K. F. Cryptic species of planktonic foraminifera: their effect on palaeoceanographic reconstructions. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, v. 360, n. 1793, p. 695–718, 2002.
- KUCERA, M. M.; KENNETT, J. P. Causes and consequences of a middle Pleistocene origin of the modern planktonic foraminifer *Neoglobobulimina pachyderma* sinistral. Geology, v. 30, n. 6, p. 539–542, 2002.
- KUROYANAGI, A. et al. The occurrence of two genotypes of the planktonic foraminifer *Globigerinoides ruber* (white) and paleo-environmental implications. Marine Micropaleontology, v. 68, n. 3–4, p. 236–243, 2008.
- LIN, Y.-S. et al. The Holocene *Pulleniatina* Minimum Event revisited: Geochemical and faunal evidence from the Okinawa Trough and upper reaches of the Kuroshio current. Marine Micropaleontology, v. 59, n. 3–4, p. 153–170, 2006.
- LIPPS, J. H. Wall structure, systematics, and phylogeny studies of Cenozoic planktonic foraminifera. Journal of Paleontology, p. 1257–1274, 1966.

- LOCARNINI, R. A. *et al.* WORLD OCEAN ATLAS 2009, vol. 1: Temperature. In: LEVITUS, S. (Ed.). NOAA Atlas NESDIS 68. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 2010. p. 184.
- LOHMANN, G. P.; MALMGREN, B. A. Equatorward migration of *Globorotalia truncatulinoides* ecophenotypes through the late Pleistocene: gradual evolution or ocean change? *Paleobiology*, p. 414–421, 1983.
- MALMGREN, B. A. *et al.* Evidence for punctuated gradualism in the Late Neogene *Globorotalia tumida* lineage of planktonic foraminifera. *Paleobiology*, p. 377–389, 1983.
- MALMGREN, B. A.; KENNETT, J. P. Biometric differentiation between recent *Globigerina bulloides* and *Globigerina falconensis* in the southern Indian Ocean. *The Journal of Foraminiferal Research*, v. 7, n. 2, p. 130–148, 1977.
- MALMGREN, B. A.; HEALY-WILLIAMS, N. Variation in test diameter of *Orbulina universa* in the paleoclimatology of the late Quaternary of the Gulf of Mexico. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 25, n. 3, p. 235–240, 1978.
- MALMGREN, B. A.; KENNETT, J. P. Principal component analysis of Quaternary planktic foraminifera in the Gulf of Mexico: paleoclimatic applications. *Marine Micropaleontology*, v. 1, p. 299–306, 1976.
- MATSUURA, Y. Contribuição ao estudo da estrutura oceanográfica da região sudeste entre Cabo Frio (RJ) e Cabo de Santa Marta Grande (SC). *Ciência e Cultura*, v. 38, 1986.
- MAZUMDER, A. *et al.* The Interdependency of the Morphological Variations of the Planktonic Foraminiferal Species *Globigerina bulloides* in

- Surface Sediments on the Environmental Parameters of the Southwestern Indian Ocean. *International Scholarly Research Notices*, v. 2014, n. 1, p. 1–9, 2014.
- MCCREA, J. M. On the Isotopic Chemistry of Carbonates and a Paleotemperature Scale. *The Journal of Chemical Physics*, v. 18, n. 6, p. 849, 1950.
- MORA, R. R.; AMANN, R. The species concept for prokaryotes. *FEMS Microbiology Reviews*, v. 25, p. 1–29. 2000.
- MORARD, R. et al. Morphological recognition of cryptic species in the planktonic foraminifer *Orbulina universa*. *Marine Micropaleontology*, v. 71, n. 3–4, p. 148–165, 2009.
- MORARD, R. et al. Worldwide Genotyping in the Planktonic Foraminifer *Globoconella inflata*: Implications for Life History and Paleoceanography. *PLoS ONE*, v. 6, n. 10, p. 1–12, 2011.
- MORARD, R. et al. Ecological modeling of the temperature dependence of cryptic species of planktonic Foraminifera in the Southern Hemisphere. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, p. 13–33, 2013.
- MULITZA, S. et al. Temperature: $\delta^{18}\text{O}$ relationships of planktonic foraminifera collected from surface waters. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 202, n. 1–2, p. 143–152, 2003.
- NAIDU, P. D.; MALMGREN, B. A. Relationship between late Quaternary upwelling history and coiling properties of *Neoglobobulimina pachyderma* and *Globobulimina bulloides* in the Arabian Sea. *The Journal of Foraminiferal Research*, v. 26, n. 1, p. 64–70, 1996.

- NORRIS, R. D.; CORFIELD, R. M.; CARTLIDGE, J. E. What is gradualism? Cryptic speciation in *Globorotalioid* foraminifera. *Paleobiology*, p. 386–405, 1996.
- NORRIS, R. D.; DE VARGAS, C. Evolution all at sea. *Nature*, v. 405, n. 6782, p. 23–24, 2000.
- NUMBERGER, L. et al. Habitats, abundance patterns and isotopic signals of morphotypes of the planktonic foraminifer *Globigerinoides ruber* (d'Orbigny) in the eastern Mediterranean Sea since the Marine Isotopic Stage 12. *Marine Micropaleontology*, v. 73, n. 1–2, p. 90–104, 2009.
- PARKER, F. L. Planktonic foraminiferal species in Pacific sediments. *Micropaleontology*, v. 8, n. 2, p. 219–254, 1962.
- PAWLOWSKI, J.; HOLZMANN, M. Molecular phylogeny of Foraminifera a review. *European Journal of Protistology*, v. 38, n. 1, p. 1–10, 2002.
- PAWLOWSKI, J.; HOLZMANN, M. A plea for DNA barcoding of Foraminifera. *The Journal of Foraminiferal Research*, v. 44, n. 1, p. 62–67, 2014.
- PEARSON, P. N. Oxygen isotopes in foraminifera: Overview and Historical Review. *Reconstructing Earth's Deep-Time Climate—The State of the Art in*, p. 1–38, 2012.
- PETERSON, R. G.; STRAMMA, L. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. *Progress in oceanography*, v. 26, n. 1, p. 1–73, 1991.
- PIVEL, M. A. G. 2009. Reconstrução da hidrografia superficial do Atlântico Sul Ocidental desde o Último Máximo Glacial a partir do estudo de foraminíferos planctônicos. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo.
- PIVEL, M. A. G. et al. The holocene onset in the southwestern South Atlantic. *Palaeogeography*,

- Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 374, p. 164–172, 2013.
- PORTILHO-RAMOS, R. C.; RIO-NETTO, A. M.; BARBOSA, C. F. Caracterização bioestratigráfica do Neógeno superior da Bacia de Santos com base em foraminíferos planctônicos. *Revista Brasileira de Paleontologia*, v. 9, n. 3, p. 349–354, 2006.
- QUILLÉVÉRÉ, F. *et al.* Global scale same-specimen morphogenetic analysis of *Truncorotalia truncatulinoides*: A perspective on the morphological species concept in planktonic foraminifera. *Palaeogeography*, p. 1–12, 2013.
- RAVELO, A. C.; HILLAIRES-MARCEL, C. The use of oxygen and carbon isotopes of foraminifera in paleoceanography. *In*: HILLAIRES-MARCEL, C.; DE VERNAL, A. (Eds.). *Proxies in Late Cenozoic Paleocyanography*. Elsevier, 2007.
- REGENBERG, M. *et al.* Morphological, geochemical, and ecological differences of the extant menardiiform planktonic foraminifera *Globorotalia menardii* and *Globorotalia cultrata*. *Marine Micropaleontology*, v. 74, n. 3–4, p. 96–107, 2010.
- RENAUD, S.; SCHMIDT, D. N. Habitat tracking as a response of the planktic foraminifer *Globorotalia truncatulinoides* to environmental fluctuations during the last 140 kyr. *Marine Micropaleontology*, v. 49, n. 1, p. 97–122, 2003.
- ROBBINS, L. L.; HEALY-WILLIAMS, N. Toward a classification of planktonic foraminifera based on biochemical, geochemical, and morphological criteria. *The Journal of Foraminiferal Research*, v. 21, n. 2, p. 159–167, 1991.

- SANJINES, A. E. S. 2006. Biocronoestratigrafia E Correlação Gráfica De Três Testemunhos A Pistão Do Talude Continental Da Bacia De Campos, RJ – Brasil. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- SANTAROSA, A. C. A. 2010. Caracterização paleoceanográfica de um testemunho da Bacia de Santos com base em foraminíferos planctônicos durante o Holoceno. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo.
- SANTOS, DOS, E. C., Jr. 2007. Foraminíferos planctônicos em resposta às mudanças oceanográficas no Atlântico Tropical oeste durante os últimos 30.000 anos. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo.
- SCHMIDT, D. N. 2002. Size variability in planktic foraminifers. Tese (Doutorado) – ETH Zürich.
- SCOTT, G. H. Ontogeny and shape in *Globorotalia menardii*. The Journal of Foraminiferal Research, v. 3, n. 3, p. 142–146, 1973.
- SCOTT, G. H. Holotypes in the taxonomy of planktonic foraminiferal morphospecies. Marine Micropaleontology, v. 78, n. 3-4, p. 96–100, 2011.
- SEARS, H. A.; DARLING, K. F.; WADE, C. M. Ecological partitioning and diversity in tropical planktonic foraminifera. BMC Evolutionary Biology, v. 12, n. 1, p. 54, 2012.
- SHUXI, C.; SHACKLETON, N. J. New technique for study on isotopic fractionation between sea water and foraminiferal growing processes. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, v. 8, n. 4, p. 299–305, 1990.
- SILVEIRA, I. C. A. et al. A corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. Revista Brasileira de Oceanografia, v. 48, n. 2, p. 171–183, 2000.

- SILVEIRA, I. C. A. *et al.* On the origins of the North Brazil Current. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978–2012), v. 99, n. C11, p. 22501–22512, 1994.
- SIMPSON, G. G. *Principles of animal taxonomy*. Columbia University Press, 1961.
- SORANO, M. R. G. DE S. 2006. Distribuição de foraminíferos planctônicos (0–100 m na coluna d'água) e seu registro no sedimento na margem continental sudeste brasileira, entre São Sebastião, SP, e Cabo de São Tomé, RJ. *Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo*.
- SRINIVASAN, M. S.; KENNETT, J. P.; BÉ, A. W. H. *Globorotalia menardii neoflexuosa* new subspecies from the northern Indian Ocean. v. 21, n. 4, p. 321–324, 1974.
- STAINFORTH, R. M. *et al.* Cenozoic planktonic foraminiferal zonation and characteristics of index forms. *The University of Kansas Paleontological Contributions*, 1975.
- STEWART, I. A. *et al.* Genotypic variability in subarctic Atlantic planktic foraminifera. *Marine Micropaleontology*, v. 43, n. 1–2, p. 143–153, 2001.
- STRAMMA, L. Geostrophic transport of the South Equatorial Current in the Atlantic. *Journal of Marine Research*, v. 49, n. 2, p. 281–294, 1991.
- STRAMMA, L. *et al.* Geostrophic transport in the Brazil Current region north of 20 S. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, v. 37, n. 12, p. 1875–1886, 1990.
- STROTZ, L. C.; ALLEN, A. P. Assessing the role of cladogenesis in macroevolution by integrating fossil

- and molecular evidence. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2013.
- THIRUMALAI, K. *et al.* *Globigerinoides ruber* morphotypes in the Gulf of Mexico: A test of null hypothesis. Scientific Reports, v. 4, 2014.
- THOMPSON, P. R.; SHACKLETON, N. J. North Pacific paleoceanography: late quaternary coiling variations of planktonic foraminifer *Neogloboquadrina pachyderma*. Nature, v. 287, p. 829–833, 1980.
- TOLDERLUND, D. S.; BÉ, A. W. H. Seasonal Distribution of Planktonic Foraminifera in the Western North Atlantic. Micropaleontology, v. 3, p. 297–329, 1971.
- TOLEDO, F. A. L. 2000. Variações Paleoceanográficas nos últimos 30.000 anos no oeste do Atlântico Sul: Isótopos de Oxigênio, Assembléia de Foraminíferos Plantônicos e Nanofósseis Calcários. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- TOLEDO, F. A. L. *et al.* Tracing past circulation changes in the western South Atlantic based on planktonic foraminifera. Revista Brasileira de Paleontologia, v. 11, n. 3, p. 169–178, 2008.
- TSUCHIYA, M. *et al.* Phylogenetic relationships among species of *Glabratellidae* (Foraminifera) inferred from ribosomal DNA sequences: comparison with morphological and reproductive data. Micropaleontology, p. 13–20, 2000.
- UJIIÉ, Y.; ASAMI, T. Temperature is not responsible for left-right reversal in pelagic unicellular zooplanktons. Journal of Zoology, v. 293, n. 1, p. 16–24, 2013.
- UJIIÉ, Y.; LIPPS, J. H. Cryptic diversity in planktic foraminifera in the northwest Pacific Ocean. The

- Journal of Foraminiferal Research, v. 39, n. 3, p. 145–154, 2009.
- UJIIÉ, Y. *et al.* Coiling dimorphism within a genetic type of the planktonic foraminifer *Globorotalia truncatulinoides*. *Marine Micropaleontology*, v. 77, n. 3–4, p. 145–153. 2010.
- UREY, H. C. The thermodynamic properties of isotopic substances. *Journal of the Chemical Society*, p. 562, 1947.
- UREY, H. C. Oxygen isotopes in nature and in the laboratory. *Science*, v. 108, n. 2810, p. 489–496, 1948.
- VAN EIJDEN, A. Morphology and relative frequency of planktic foraminiferal species in relation to oxygen isotopically inferred depth habitats. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 113, n. 2, p. 267–301, 1995.
- VETTER, L. *et al.* Micron-scale intrashell oxygen isotope variation in cultured planktic foraminifers. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 107, p. 267–278, 2013.
- WANG, L. Isotopic signals in two morphotypes of *Globigerinoides ruber* (white) from the South China Sea: implications for monsoon climate change during the last glacial cycle. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 161, n. 3, p. 381–394, 2000.
- WANG, L. *et al.* Paleo sea surface salinities in the low-latitude Atlantic: The $\delta^{18}\text{O}$ record of *Globigerinoides ruber* (white). *Paleoceanography*, v. 10, n. 4, p. 749–761, 1995.
- WEINER, A. K. M. *et al.* Phylogeography of the Tropical Planktonic Foraminifera Lineage *Globigerinella*

- Reveals Isolation Inconsistent with Passive Dispersal by Ocean Currents. PLoS ONE, v. 9, n. 3, 2014.
- WEINER, A. K. M. *et al.* Genetic and morphometric evidence for parallel evolution of the *Globigerinella calida* morphotype. Marine Micropaleontology, v. 114, p. 1–17, 2015.
- WEINKAUF, M. F. G. Disruptive selection and bet-hedging in planktonic Foraminifera: shell morphology as predictor of extinctions. Frontiers in Ecology and Evolution, v. 2, p. 1–12, 2014.
- WILES, W. W. Pleistocene changes in the pore concentration of a planktonic foraminiferal species from the Pacific Ocean. Progress in oceanography, v. 4, p. 153–160, 1965.
- WILLIAMS, M. *et al.* The type material of the Miocene to Recent species *Globigerinoides sacculifer* (Brady) revisited. Journal of Micropalaeontology, v. 25, n. 2, p. 153–156, 2006.
- WIT, J. C. *et al.* Unmixing of stable isotope signals using single specimen $\delta^{18}\text{O}$ analyses. Geochemistry Geophysics Geosystems, 2013.

Apêndices

APÊNDICE 1 – ASSEMBLÉIA DE FORAMINÍFEROS PLANCTÔNICOS NAS AMOSTRAS DE TOPO DOS CINCO TESTEMUNHOS UTILIZADOS NO ESTUDO. AS ABUNDÂNCIAS DAS ESPÉCIES ENCONTRAM-SE REPRESENTADAS EM PORCENTAGEM (%).

	<i>O. universa</i>	<i>G. conglobatus</i>	<i>G. ruber pink</i>	<i>G. ruber white</i>	<i>G. ruber total</i>	<i>G. tenellus</i>	<i>G. sacculifer without sac</i>	<i>G. sacculifer with sac</i>	<i>G. sacculifer total</i>
KF-C	0.50	1.10	10.50	49.50	60.00	0.30	19.00	1.30	20.30
KF-A	0.76	0.00	20.81	50.76	71.57	1.77	3.29	1.01	4.31
KF-13	1.00	0.76	12.37	53.53	65.90	5.56	4.80	0.51	5.31
KF-E	0.95	2.38	21.42	43.09	64.52	1.42	2.61	0.71	3.33
KF-I	1.85	0.93	13.00	41.80	54.80	1.24	2.16	1.24	3.40

	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. rubescens</i>	<i>G. humilis</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>N. pachyderma L</i>	<i>N. pachyderma R</i>
KF-C	3.60	3.20	0.00	1.20	0.00	1.30	0.00	-	-	-
KF-A	2.53	2.53	2.03	0.25	0.50	1.26	0.50	0.50	0.00	0.00
KF-13	1.01	2.52	0.00	0.51	0.00	0.25	0.00	0.00	0.25	0.00
KF-E	1.42	2.85	1.66	1.42	0.00	0.23	1.19	0.23	0.00	0.00
KF-I	4.64	4.33	6.19	4.02	0.00	1.24	0.61	0.61	0.00	0.00

APÊNDICE 1 - (CONTINUAÇÃO) ASSEMBLÉIA DE FORAMINÍFEROS NAS AMOSTRAS DE TOPO DOS CINCO TESTEMUNHOS UTILIZADOS NO ESTUDO. AS ABUNDÂNCIAS DAS ESPÉCIES ENCONTRAM-SE REPRESENTADAS EM PORCENTAGEM (%).

	<i>N. dutertrei</i>	<i>P. obliquiloculata</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. truncatulinoides</i> L	<i>G. truncatulinoides</i> R	<i>G. truncatulinoides</i> total	<i>G. crassaformis</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. anfracta</i>
KF-C	0.40	0.00	0.00	0.40	0.00	-	0.30	0.00	0.00	-
KF-A	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.25
KF-13	0.00	0.00	0.51	0.00	0.76	0.76	0.00	0.00	0.25	0.00
KF-E	0.23	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00	0.00
KF-I	0.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61	0.30

	<i>G. tumida</i>	<i>G. menardii</i>	<i>G.m. flexuosa</i>	<i>G.m. total</i>	<i>C.nitida</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G.iota</i>	<i>H.pelagica</i>	Fragmentos	bent. foram
KF-C	0.50	2.60	0.50	-	1.90	1.80	-	0.00	-	-
KF-A	0.76	3.04	0.00	3.80	0.50	5.83	0.25	0.00	25.88	9.13
KF-13	0.76	2.02	0.00	2.78	0.00	12.63	0.00	0.00	2.70	3.88
KF-E	0.47	2.61	0.00	3.09	0.23	13.80	0.23	0.00	5.95	1.19
KF-I	0.00	4.33	0.00	4.33	0.00	9.60	0.30	-	11.67	1.32

APÊNDICE 2 - CONTAGENS REPETIDAS DE ASSEMBLÉIAS DE AMOSTRAS DO TESTEMUNHO KF-18 POR TRÊS PESQUISADORES DIFERENTES DO LAPAS. ABUNDÂNCIAS SÃO APRESENTADAS EM PORCENTAGEM (%). GTM - *GLOBOROTALIA MENARDII*; GTUM - *GLOBOROTALIA MENARDII TUMIDA*; GTFIM - *GLOBOROTALIA MENARDII TUMIDA FIMBRIATA*; PLX - COMPLEXO MENARDIIFORME; GBER - *GLOBIGERINA BERMUDEZI*; CN - *CANDEINA NITIDA*; GGLWOB - *GLOBIGERINITA GLUTINATA* SEM BULA; GGLT - *GLOBIGERINITA GLUTINATA* TOTAL.

Prof. (cm)	Pesquis.	Gtm	Gtum	Gtumf	Gtfim	Plx	Gber	Cn	Gglwb	Gglwob	GglT
0	1	9	2	0	1	0	2	0	15	18	33
0	2	10	3	0	1	0	0	0	23	14	37
0	3	12	0	0	1	0	0	0	19	22	41
6	1	18	20	0	0	0	1	0	25	24	49
6	2	28	8	0	0	0	0	0	30	26	56
6	3	11	28	1	0	0	0	0	34	30	64
14	1	0	0	0	0	0	1	0	42	54	96
14	2	0	0	0	0	0	0	0	48	56	104
14	3	0	0	0	0	0	0	0	27	60	87
31	1	0	0	0	0	0	2	0	21	28	49
31	2	0	0	0	0	0	1	0	28	28	56
31	3	0	0	0	0	0	1	0	22	30	52
96	1	0	0	0	0	0	0	0	24	92	116
96	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
96	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
126	1	0	0	0	0	0	2	0	7	37	44
126	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
126	3	0	0	0	0	0	0	0	8	40	48
398	1	7	3	2	0	0	0	0	17	18	35
398	2	11	0	0	0	11	0	0	0	0	0
398	3	9	7	3	0	0	0	0	0	0	0
458	1	9	16	11	0	0	0	0	10	11	21
458	2	13	3	11	0	0	0	0	0	0	0
458	3	12	14	5	0	31	0	0	0	0	0
573	1	2	6	0	6	8	0	0	6	28	34
573	2	5	0	5	0	1	0	11	25	36	61
573	3	0	4	0	0	0	0	0	7	29	36

APÊNDICE 2 - (CONTINUAÇÃO) CONTAGENS REPETIDAS DE UMA MESMA ASSEMBLÉIA POR TRÊS PESQUISADORES DIFERENTES DO LAPAS. ABUNDÂNCIAS SÃO APRESENTADAS EM PORCENTAGEM (%). NP - *NEOGLOBOQUADRINA PACHYDERMA*; NI - *NEOGLOBOQUADRINA INCOMPTA*; ND - *NEOGLOBOQUADRINA DUTERTREI*; PSSP - *PULLENIATINA SPP.*; GIN - *GLOBOROTALIA INFLATA*; GTRS - *GLOBOROTALIA TRUNCATULINOIDES SINISTRAL*; GTRD - *GLOBOROTALIA TRUNCATULINOIDES DEXTRAL*; GCRA - *GLOBOROTALIA CRASSAFORMIS*; GH - *GLOBOROTALIA HIRSUTA*; GSCI - *GLOBOROTALIA SCITULA*.

Prof. (cm)	Pesquis.	Np	Ni	Nd	Pssp	Gin	GtrS	GtrD	Gcra	Gh	Gsci
0	1	0	0	0	0	5	2	4	4	0	3
0	2	0	0	1	0	6	4	5	1	0	2
0	3	0	0	0	0	6	2	5	3	1	1
6	1	0	0	6	5	6	2	13	0	3	1
6	2	0	0	6	2	8	2	11	0	4	1
6	3	0	0	7	2	8	2	12	1	4	2
14	1	0	12	9	0	36	10	12	1	0	16
14	2	0	8	6	0	33	9	11	2	0	15
14	3	0	20	3	0	41	9	11	0	0	17
31	1	0	4	4	0	52	9	20	3	6	8
31	2	0	5	7	0	60	12	21	0	8	8
31	3	0	10	5	2	59	11	20	0	9	6
96	1	0	9	5	5	26	3	22	7	1	11
96	2	0	1	3	7	27	0	22	1	1	13
96	3	2	15	9	6	27	4	18	0	7	6
126	1	0	1	1	0	7	4	2	5	5	2
126	2	0	1	0	0	10	6	2	0	2	8
126	3	0	2	0	0	12	4	3	0	10	2
398	1	0	0	0	2	9	0	5	6	3	5
398	2	0	0	1	1	14	2	4	2	0	12
398	3	0	0	3	1	9	0	6	1	8	4
458	1	0	0	0	0	3	1	4	1	1	8
458	2	0	0	0	1	1	2	2	1	1	16
458	3	0	0	0	0	5	3	2	0	4	5
573	1	0	0	0	7	5	1	25	25	2	2
573	2	0	0	0	6	6	1	21	1	3	1
573	3	0	1	0	0	0	1	24	1	6	2

APÊNDICE 3 – COMPARAÇÃO DOS DADOS MORFOMÉTRICOS EM MORFOESPÉCIES DE FORAMINÍFEROS PLANCTÔNICOS ENTRE AS DIFERENTES CLASSES DE TAMANHO.

		Wilks' (Lambda)	Partial (Lambda)	F-remove ((5,66))	p-value	Toler.	1-Toler. ((R-Sqr.))
<i>Orbulina universa</i> (N=74)	eixo máximo	0.09490	0.96035	0.54500	0.74150	0.03094	0.96906
	lobação	0.09998	0.91153	1.28120	0.28260	0.03004	0.96996
	esfericidade	0.09751	0.93460	0.92368	0.47137	0.56674	0.43326
<i>Globigerinoides conglobatus</i> (N=88)	lobação	0.11339	0.51764	13.60498	0.00000	0.06932	0.93068
	elongação	0.09126	0.64316	8.10042	0.00000	0.11967	0.88034
	razão de caixa	0.06205	0.94594	0.83443	0.52950	0.45213	0.54787
	área câmara F	0.05994	0.97919	0.31030	0.90527	0.26912	0.73088
	área câmara F-1	0.06186	0.94887	0.78681	0.56252	0.18392	0.81608
	área câmara F-2	0.08021	0.73173	5.35260	0.00030	0.21386	0.78614
	esfericidade câmara F	0.06570	0.89332	1.74346	0.13547	0.35788	0.64212
	esfericidade câmara F-1	0.06016	0.97562	0.36484	0.87102	0.45202	0.54798
	esfericidade câmara F-2	0.06739	0.87089	2.16448	0.06730	0.45653	0.54347
	tamanho da abertura	0.06558	0.89497	1.71343	0.14226	0.65187	0.34813
<i>Globigerinoides ruber</i> (N=104)	lobação	0.02890	0.50654	17.34017	0.00000	0.15968	0.84032
	razão de caixa	0.01631	0.89778	2.02665	0.08245	0.14840	0.85160
	área câmara F	0.02002	0.73145	6.53525	0.00003	0.15355	0.84645
	área câmara F-1	0.02272	0.64429	9.82718	0.00000	0.26481	0.73519
	área câmara F-2	0.02152	0.68027	8.36612	0.00000	0.31873	0.68127
	esfericidade câmara F	0.01678	0.87237	2.60412	0.03026	0.35083	0.64917
	esfericidade câmara F-1	0.02043	0.71653	7.04213	0.00001	0.64700	0.35300
	esfericidade câmara F-2	0.01619	0.90425	1.88478	0.10490	0.76454	0.23547
	tamanho da abertura	0.01663	0.88028	2.42081	0.04172	0.69049	0.30951
	elongação	0.01790	0.81781	3.96546	0.00271	0.19963	0.80037
<i>Globigerinoides sacculifer</i> (N=179)	tamanho	0.05132	0.64551	18.01248	0.00000	0.10075	0.89925
	lobação	0.03491	0.94891	1.76591	0.12261	0.78582	0.21419
	elongação	0.03399	0.97472	0.85075	0.51573	0.34011	0.65990
	razão de caixa	0.04358	0.76015	10.34925	0.00000	0.08477	0.91524
	área câmara F	0.03773	0.87791	4.56133	0.00064	0.47046	0.52954
	área câmara F-1	0.03414	0.97021	1.00696	0.41538	0.36068	0.63932

		Wilks' (Lambda)	Partial (Lambda)	F-remove ((5,66))	p-value	Toler.	1-Toler. ((R-Sqr.))
	área câmara F-2	0.04027	0.82268	7.06949	0.00001	0.53807	0.46193
	esfericidade câmara F	0.03362	0.98543	0.48487	0.78722	0.25227	0.74773
	esfericidade câmara F-1	0.03512	0.94312	1.97824	0.08446	0.36996	0.63004
	esfericidade câmara F-2	0.03520	0.94110	2.05268	0.07396	0.49824	0.50176
<i>Globigerina bulloides</i> (N=57)	lobação	0.09631	0.96602	0.80915	0.45147	0.09441	0.90559
	razão de caixa	0.10129	0.91846	2.04196	0.14137	0.38579	0.61421
	área câmara F	0.09810	0.94836	1.25247	0.29536	0.17315	0.82685
	área câmara F-1	0.12002	0.77516	6.67145	0.00286	0.35577	0.64423
	área câmara F-2	0.10575	0.87979	3.14272	0.05256	0.26647	0.73354
	esfericidade câmara F	0.09675	0.96163	0.91781	0.40658	0.57416	0.42584
	esfericidade câmara F-1	0.10044	0.92627	1.83082	0.17177	0.67607	0.32393
	esfericidade câmara F-2	0.09651	0.96396	0.85999	0.42986	0.77962	0.22038
	tamanho da abertura	0.09617	0.96739	0.77529	0.46650	0.63577	0.36423
<i>Globigerinella siphonifera</i> (N=134)	tamanho	0.02940	0.65653	12.34660	0.00000	0.04338	0.95662
	lobação	0.02065	0.93468	1.64923	0.15236	0.08330	0.91670
	elongação	0.02154	0.89585	2.74377	0.02209	0.26373	0.73628
	razão de caixa	0.02027	0.95205	1.18866	0.31892	0.58648	0.41353
	área câmara F	0.01970	0.97977	0.48736	0.78514	0.29677	0.70323
	área câmara F-1	0.02009	0.96077	0.96364	0.44306	0.31500	0.68501
	área câmara F-2	0.04675	0.41282	33.56834	0.00000	0.04919	0.95081
	esfericidade câmara F	0.01953	0.98813	0.28357	0.92131	0.72776	0.27224
	esfericidade câmara F-1	0.02100	0.91922	2.07393	0.07344	0.84178	0.15822
	esfericidade câmara F-2	0.02143	0.90073	2.60101	0.02864	0.14309	0.85692
<i>Globigerinella calida</i> (N=59)	tamanho da abertura	0.01967	0.98147	0.44569	0.81568	0.22651	0.77349
	tamanho	0.04447	0.85985	3.74885	0.03103	0.07961	0.92039
	lobação	0.05257	0.72743	8.61832	0.00066	0.06381	0.93619
	elongação	0.04067	0.94016	1.46384	0.24192	0.13596	0.86404
	razão de caixa	0.04032	0.94840	1.25137	0.29567	0.08601	0.91399
	área câmara F	0.05040	0.75875	7.31318	0.00175	0.19607	0.80393
	área câmara F-1	0.04632	0.82559	4.85895	0.01218	0.25496	0.74504
	área câmara F-2	0.05290	0.72287	8.81751	0.00057	0.26790	0.73210

		Wilks' (Lambda)	Partial (Lambda)	F-remove ((5,66))	p-value	Toler.	1-Toler. ((R-Sqr.))
<i>Globigerinita glutinata</i> (N=32)	esfericidade câmara F	0.03903	0.97982	0.47381	0.62563	0.75582	0.24418
	esfericidade câmara F-1	0.04010	0.95373	1.11576	0.33637	0.75104	0.24896
	esfericidade câmara F-2	0.03847	0.99403	0.13824	0.87125	0.74946	0.25054
	tamanho da abertura	0.05137	0.74440	7.89750	0.00113	0.54125	0.45875
	lobação	0.47000	0.98826	0.26127	0.61434	0.04050	0.95951
	elongação	0.46506	0.99875	0.02752	0.86976	0.20995	0.79005
	razão de caixa	0.46801	0.99247	0.16690	0.68683	0.19395	0.80605
	área câmara F	0.48707	0.95362	1.06993	0.31220	0.06940	0.93060
	área câmara F-1	0.47300	0.98200	0.40336	0.53191	0.18234	0.81766
	área câmara F-2	0.48042	0.96683	0.75470	0.39437	0.35939	0.64061
<i>Globorotalia crassaformis</i> (N=11)	esfericidade câmara F	0.47703	0.97369	0.59453	0.44888	0.66338	0.33662
	esfericidade câmara F-1	0.46720	0.99418	0.12874	0.72316	0.56301	0.43700
	esfericidade câmara F-2	0.54717	0.84888	3.91647	0.06047	0.75449	0.24551
	lobação	0.00917	0.00302	165.17050	0.05494	0.00017	0.99983
	razão de caixa	0.00268	0.01035	47.83060	0.10171	0.00118	0.99882
	área câmara F	0.00465	0.00595	83.48260	0.07716	0.00079	0.99921
	área câmara F-1	0.00323	0.00857	57.87620	0.09255	0.00303	0.99698
	área câmara F-2	0.00635	0.00436	114.15360	0.06604	0.00063	0.99937
	esfericidade câmara F	0.00030	0.09324	4.86240	0.30536	0.03936	0.96064
	esfericidade câmara F-1	0.01466	0.00189	264.17620	0.04346	0.00068	0.99932
<i>Globorotalia scitula</i> (N=24)	esfericidade câmara F-2	0.00465	0.00596	83.42920	0.07718	0.00081	0.99919
	tamanho	0.01098	0.80702	0.79711	0.52311	0.00368	0.99633
	lobação	0.01090	0.81312	0.76612	0.53860	0.00437	0.99563
	elongação	0.01142	0.77568	0.96396	0.44717	0.04498	0.95503
	razão de caixa	0.01102	0.80411	0.81205	0.51580	0.02115	0.97885
	área câmara F	0.01193	0.74239	1.15668	0.37376	0.12644	0.87356
	área câmara F-1	0.01134	0.78135	0.93277	0.46044	0.07009	0.92991
	área câmara F-2	0.01005	0.88184	0.44664	0.72506	0.12747	0.87254
	esfericidade câmara F	0.00987	0.89773	0.37974	0.76979	0.55373	0.44627
	esfericidade câmara F-1	0.00939	0.94356	0.19937	0.89445	0.58496	0.41504

		Wilks' (Lambda)	Partial (Lambda)	F-remove ((5,66))	p-value	Toler.	1-Toler. ((R-Sqr.))
	esfericidade câmara F-2	0.01193	0.74271	1.15472	0.37444	0.62767	0.37233
	achatamento	0.00981	0.90359	0.35566	0.78624	0.68308	0.31692
<i>Neogloboquadrin a dutertrei</i> (N=44)	lobação	0.20503	0.61813	6.38381	0.00170	0.35865	0.64135
	elongação	0.13938	0.90931	1.03056	0.39262	0.09488	0.90512
	razão de caixa	0.13651	0.92842	0.79671	0.50512	0.10967	0.89033
	área câmara F	0.13345	0.94974	0.54687	0.65396	0.48066	0.51934
	área câmara F-1	0.13177	0.96184	0.40993	0.74698	0.58127	0.41873
	área câmara F-2	0.13019	0.97348	0.28149	0.83834	0.51188	0.48812
	esfericidade câmara F	0.14874	0.85210	1.79364	0.16891	0.45814	0.54186
	esfericidade câmara F-1	0.13663	0.92762	0.80628	0.50001	0.71170	0.28830
	esfericidade câmara F-2	0.13441	0.94294	0.62536	0.60404	0.77558	0.22442
	tamanho da abertura	0.12856	0.98581	0.14872	0.92973	0.58845	0.41155
<i>Globorotalia menardii</i> (N=164)	lobação	0.02076	0.90501	3.10674	0.01071	0.04562	0.95438
	tamanho	0.01931	0.97311	0.81804	0.53862	0.04518	0.95482
	elongação	0.01987	0.94541	1.70928	0.13590	0.07032	0.92968
	razão de caixa	0.01973	0.95217	1.48694	0.19744	0.04247	0.95753
	área câmara F	0.02279	0.82456	6.29812	0.00003	0.50847	0.49153
	área câmara F-1	0.02038	0.92180	2.51113	0.03250	0.43496	0.56504
	área câmara F-2	0.02460	0.76378	9.15460	0.00000	0.37060	0.62940
	esfericidade câmara F	0.02058	0.91270	2.83136	0.01795	0.81403	0.18597
	esfericidade câmara F-1	0.02002	0.93826	1.94788	0.08980	0.71536	0.28464
	esfericidade câmara F-2	0.01975	0.95137	1.51304	0.18911	0.72446	0.27554
	achatamento	0.02151	0.87336	4.29207	0.00113	0.63025	0.36975

APÊNDICE 4 - OCORRÊNCIA DAS MORFOESPÉCIES EM CADA CLASSE DE TAMANHO. A OCORRÊNCIA DAS MORFOESPÉCIES ENCONTRA-SE CODIFICADA POR CORES DE ACORDO COM SUA ABUNDÂNCIA NA AMOSTRA; EM VERDE, AS AMOSTRAS NAS QUAIS ENCONTRA-SE O NÚMERO IDEAL DE INDIVÍDUOS PARA AS ANÁLISES MORFOMÉTRICAS E ISOTÓPICAS; EM AMARELO AS AMOSTRAS NAS QUAIS ENCONTRA-SE UM NÚMERO RAZOÁVEL DE INDIVÍDUOS E EM VERMELHO AS AMOSTRAS ONDE NÃO ENCONTRAM-SE INDIVÍDUOS SUFICIENTES.

	>500 μm	425-500 μm	355-425 μm	300-355 μm	250-300 μm	150-250 μm	125-150 μm
1 <i>Orbulina universa</i>	30	14	6	1	1	1	-
2 <i>Globigerinoides conglobatus</i>	30	30	30	30	13	9	-
3 <i>Globigerinoides ruber</i>	0	30	30	30	30	30	-
4 <i>Globigerinoides sacculifer</i>	12	30	30	30	30	30	-
5 <i>Globoturborotalita tenella</i>	0	0	0	0	0	30	-
6 <i>Globoturborotalita rubescens</i>	0	0	0	0	0	2	-
7 <i>Globigerina bulloides</i>	0	0	7	30	30	30	-
8 <i>Globigerinella siphonifera</i>	0	7	30	30	30	30	-
KF-A 9 <i>Globigerinella calida</i>	1	0	3	22	30	30	-
10 <i>Globigerinita glutinata</i>	0	0	0	1	1	30	-
11 <i>Neogloboquadrina pachyderma</i>	0	0	0	1	0	1	-
12 <i>Neogloboquadrina dutertrei</i>	0	2	6	7	2	2	-
13 <i>Globorotalia menardii</i>	30	30	30	30	30	30	-
14 <i>Globorotalia inflata</i>	0	0	0	0	0	0	-
15 <i>Globorotalia truncatulinoides</i>	0	1	5	5	3	5	-
16 <i>Globorotalia crassaformis</i>	0	2	11	11	4	6	-
17 <i>Globorotalia scitula</i>	0	0	2	2	1	1	-
1 <i>Orbulina universa</i>	30	6	7	3	0	0	-
2 <i>Globigerinoides conglobatus</i>	22	23	22	14	5	3	-

	>500 μm	425–500 μm	355–425 μm	300–355 μm	250–300 μm	150–250 μm	125–150 μm
3 <i>Globigerinoides ruber</i>	7	30	30	30	30	30	-
4 <i>Globigerinoides sacculifer</i>	16	30	30	30	30	30	-
5 <i>Globoturborotalita tenella</i>	0	0	0	0	0	3	-
6 <i>Globoturborotalita rubescens</i>	0	0	0	0	0	3	-
7 <i>Globigerina bulloides</i>	0	1	5	30	30	30	-
8 <i>Globigerinella siphonifera</i>	0	7	28	30	30	30	-
KF-C 9 <i>Globigerinella calida</i>	0	0	3	30	20	30	-
10 <i>Globigerinita glutinata</i>	0	3	0	0	0	30	-
11 <i>Neogloboquadrina pachyderma</i>	0	0	0	0	0	0	-
12 <i>Neogloboquadrina dutertrei</i>	0	1	4	5	1	1	-
13 <i>Globorotalia menardii</i>	30	30	30	30	30	30	-
14 <i>Globorotalia inflata</i>	0	0	0	0	0	0	-
15 <i>Globorotalia truncatulinoides</i>	0	0	0	0	2	0	-
16 <i>Globorotalia crassaformis</i>	0	2	9	12	7	1	-
17 <i>Globorotalia scitula</i>	0	0	0	0	0	1	-
1 <i>Orbulina universa</i>	30	30	22	11	17	15	0
2 <i>Globigerinoides conglobatus</i>	30	30	30	22	14	11	0
3 <i>Globigerinoides ruber</i>	9	30	30	30	30	30	30
4 <i>Globigerinoides sacculifer</i>	30	30	30	30	30	30	0
5 <i>Globoturborotalita tenella</i>	0	0	0	0	14	30	30
6 <i>Globoturborotalita rubescens</i>	0	0	0	0	1	30	30
7 <i>Globigerina bulloides</i>	0	2	4	27	30	30	30

		>500 μm	425–500 μm	355–425 μm	300–355 μm	250–300 μm	150–250 μm	125–150 μm
KF-13	8 <i>Globigerinella siphonifera</i>	0	6	30	28	30	30	1
	9 <i>Globigerinella calida</i>	0	4	12	23	24	30	30
	10 <i>Globigerinita glutinata</i>	0	0	0	1	30	30	30
	11 <i>Neogloboquadrina pachyderma</i>	0	3	7	20	24	30	30
	12 <i>Neogloboquadrina dutertrei</i>	1	17	30	16	11	5	0
	13 <i>Globorotalia menardii</i>	30	30	30	30	30	30	30
	14 <i>Globorotalia inflata</i>	0	0	0	2	1	0	0
	15 <i>Globorotalia truncatulinoides</i>	0	13	30	13	30	30	8
	16 <i>Globorotalia crassaformis</i>	0	7	10	3	1	9	2
	17 <i>Globorotalia scitula</i>	0	0	5	4	6	19	17
KF-E	1 <i>Orbulina universa</i>	30	30	30	12	14	3	-
	2 <i>Globigerinoides conglobatus</i>	30	30	30	30	30	30	-
	3 <i>Globigerinoides ruber</i>	14	30	30	30	30	30	-
	4 <i>Globigerinoides sacculifer</i>	30	30	30	30	30	30	-
	5 <i>Globoturborotalita tenella</i>	0	0	0	2	3	30	-
	6 <i>Globoturborotalita rubescens</i>	0	0	0	0	0	2	-
	7 <i>Globigerina bulloides</i>	0	1	6	30	30	30	-
	8 <i>Globigerinella siphonifera</i>	3	30	30	30	30	30	-
	9 <i>Globigerinella calida</i>	0	0	2	19	30	30	-
	10 <i>Globigerinita glutinata</i>	0	0	6	0	19	30	-
	11 <i>Neogloboquadrina pachyderma</i>	0	0	2	5	11	0	-
	12 <i>Neogloboquadrina dutertrei</i>	1	12	30	30	18	5	-

	>500 μm	425–500 μm	355–425 μm	300–355 μm	250–300 μm	150–250 μm	125–150 μm
13 <i>Globorotalia menardii</i>	30	30	30	30	30	30	-
14 <i>Globorotalia inflata</i>	0	0	0	0	0	0	-
15 <i>Globorotalia truncatulinoides</i>	2	3	16	28	12	5	-
16 <i>Globorotalia crassaformis</i>	0	6	22	3	8	2	-
17 <i>Globorotalia scitula</i>	0	0	6	9	2	4	-
1 <i>Orbulina universa</i>	30	14	12	6	7	3	-
2 <i>Globigerinoides conglobatus</i>	30	29	30	18	11	3	-
3 <i>Globigerinoides ruber</i>	4	30	30	30	30	30	-
4 <i>Globigerinoides sacculifer</i>	26	30	30	30	30	30	-
5 <i>Globoturborotalita tenella</i>	0	0	0	0	0	30	-
6 <i>Globoturborotalita rubescens</i>	0	0	0	0	0	7	-
7 <i>Globigerina bulloides</i>	0	0	0	23	30	30	-
8 <i>Globigerinella siphonifera</i>	4	16	30	30	30	27	-
KF-I 9 <i>Globigerinella calida</i>	0	1	7	13	15	30	-
10 <i>Globigerinita glutinata</i>	0	0	0	0	4	30	-
11 <i>Neogloboquadrina pachyderma</i>	0	0	1	1	0	1	-
12 <i>Neogloboquadrina dutertrei</i>	0	3	23	25	14	0	-
13 <i>Globorotalia menardii</i>	30	30	30	30	30	30	-
14 <i>Globorotalia inflata</i>	0	0	1	2	5	1	-
15 <i>Globorotalia truncatulinoides</i>	0	0	1	3	5	16	-
16 <i>Globorotalia crassaformis</i>	0	0	7	4	1	1	-
17 <i>Globorotalia scitula</i>	0	0	3	5	4	19	-

APÊNDICE 5 - CLASSIFICAÇÃO DISCRIMINANTE DE INDIVÍDUOS DA MORFOESPÉCIE *GLOBIGERINOIDES RUBER* UTILIZANDO-SE A FUNÇÃO DISCRIMINANTE DE AURAHS ET AL. (2011). A TABELA MOSTRA A CLASSIFICAÇÃO COM VALOR DE P . 07547, .27044, .65409; É POSSÍVEL OBSERVAR QUE PRATICAMENTE TODA A POPULAÇÃO DA MARGEM CONTINENTAL BRASILEIRA FOI CLASSIFICADA COMO *PINK* E OS POUCOS INDIVÍDUOS CLASSIFICADOS COMO IB OMAN OU IIA TEM COMO SEGUNDA CLASSIFICAÇÃO POSSÍVEL O GENÓTIPO *PINK*.

Testa	Testemunho	1 (p=.07547)	2 (p=.27044)	3 (p=.65409)
RW C C101	KF-C	pink	Ib Oman	IIa
RW C C102	KF-C	pink	Ib Oman	IIa
RW C C103	KF-C	pink	Ib Oman	IIa
RW C C104	KF-C	pink	Ib Oman	IIa
RW C C105	KF-C	pink	IIa	Ib Oman
RW C C106	KF-C	pink	Ib Oman	IIa
RW C C107	KF-C	Ib Oman	pink	IIa
RW C C108	KF-C	pink	Ib Oman	IIa
RW C C109	KF-C	pink	IIa	Ib Oman
RW C C110	KF-C	pink	Ib Oman	IIa
RWC C201	KF-C	pink	Ib Oman	IIa
RWC C202	KF-C	pink	Ib Oman	IIa
RWC C203	KF-C	pink	Ib Oman	IIa
RWC C204	KF-C	pink	Ib Oman	IIa
RWC C205	KF-C	pink	Ib Oman	IIa
RWC C207	KF-C	pink	Ib Oman	IIa
RWC C206	KF-C	pink	Ib Oman	IIa
RWC C208	KF-C	pink	Ib Oman	IIa
RWC C209	KF-C	pink	Ib Oman	IIa
RWC C302	KF-C	pink	Ib Oman	IIa
RWC C303	KF-C	pink	Ib Oman	IIa
RWC C304	KF-C	pink	IIa	Ib Oman
RWC C401	KF-C	pink	Ib Oman	IIa
RWC C403	KF-C	Ib Oman	pink	IIa
RWC C407	KF-C	pink	IIa	Ib Oman
RW A C101	KF-A	pink	Ib Oman	IIa
RW A C102	KF-A	pink	IIa	Ib Oman
RW A C103	KF-A	pink	Ib Oman	IIa
RW A C104	KF-A	pink	IIa	Ib Oman
RW A C105	KF-A	pink	IIa	Ib Oman
RW A C106	KF-A	pink	Ib Oman	IIa
RW A C107	KF-A	pink	IIa	Ib Oman
RW A C108	KF-A	Ib Oman	pink	IIa
RW A C109	KF-A	pink	IIa	Ib Oman
RW A C110	KF-A	pink	Ib Oman	IIa
RW A C201	KF-A	pink	IIa	Ib Oman

Testa	Testemunho	1 (p=.07547)	2 (p=.27044)	3 (p=.65409)
RW A C202	KF-A	pink	Ib Oman	IIa
RW A C203	KF-A	pink	IIa	Ib Oman
RW A C204	KF-A	pink	Ib Oman	IIa
RW A C205	KF-A	pink	Ib Oman	IIa
RW A C206	KF-A	pink	Ib Oman	IIa
RW A C207	KF-A	pink	Ib Oman	IIa
RW A C208	KF-A	pink	IIa	Ib Oman
RW A C209	KF-A	pink	IIa	Ib Oman
RW A C303	KF-A	pink	IIa	Ib Oman
RW A C304	KF-A	Ib Oman	pink	IIa
RW A C307	KF-A	pink	Ib Oman	IIa
RW A C401	KF-A	pink	Ib Oman	IIa
RW A C402	KF-A	pink	IIa	Ib Oman
RW A C510	KF-A	pink	Ib Oman	IIa
RW A C601	KF-A	Ib Oman	pink	IIa
RW A C602	KF-A	pink	Ib Oman	IIa
RW A C604	KF-A	pink	Ib Oman	IIa
RW A C701	KF-A	Ib Oman	pink	IIa
RW A C707	KF-A	Ib Oman	pink	IIa
RW 13C4 01	KF-13	pink	Ib Oman	IIa
RW 13C4 02	KF-13	pink	Ib Oman	IIa
RW 13C4 03	KF-13	pink	IIa	Ib Oman
RW 13C404	KF-13	Ib Oman	pink	IIa
RW 13C4 05	KF-13	pink	Ib Oman	IIa
RW 13C4 07	KF-13	Ib Oman	pink	IIa
RW 13C4 08	KF-13	pink	IIa	Ib Oman
RW 13C4 09	KF-13	Ib Oman	pink	IIa
RW 13C4 10	KF-13	pink	IIa	Ib Oman
RW 13C1 02	KF-13	pink	Ib Oman	IIa
RW 13C1 03	KF-13	pink	IIa	Ib Oman
RW 13C1 04	KF-13	pink	IIa	Ib Oman
RW 13C1 05	KF-13	pink	IIa	Ib Oman
RW 13C1 07	KF-13	pink	Ib Oman	IIa
RW 13C1 09	KF-13	pink	IIa	Ib Oman
RW 13C2 02	KF-13	Ib Oman	pink	IIa
RW 13C2 10	KF-13	pink	Ib Oman	IIa
RW 13C3 01	KF-13	pink	Ib Oman	IIa
RW 13C3 02	KF-13	pink	Ib Oman	IIa
RW 13C3 03	KF-13	pink	Ib Oman	IIa
RW 13C3 04	KF-13	pink	IIa	Ib Oman
RW 13C3 05	KF-13	pink	Ib Oman	IIa
RW 13C3 06	KF-13	pink	Ib Oman	IIa

Testa	Testemunho	1 (p=.07547)	2 (p=.27044)	3 (p=.65409)
RW 13C3 07	KF-13	pink	IIa	Ib Oman
RW 13C3 08	KF-13	pink	Ib Oman	IIa
RW 13C3 09	KF-13	pink	Ib Oman	IIa
RW 13C3 10	KF-13	pink	Ib Oman	IIa
RW 13C2 03	KF-13	pink	Ib Oman	IIa
RW 13C2 04	KF-13	pink	Ib Oman	IIa
RW 13C2 05	KF-13	pink	IIa	Ib Oman
RW E C107	KF-E	pink	IIa	Ib Oman
RW E C102	KF-E	pink	Ib Oman	IIa
RW E C109	KF-E	pink	Ib Oman	IIa
RW E C104	KF-E	pink	IIa	Ib Oman
RW E C105	KF-E	pink	Ib Oman	IIa
RW E C106	KF-E	pink	Ib Oman	IIa
RW E C101	KF-E	pink	IIa	Ib Oman
RW E C108	KF-E	Ib Oman	pink	IIa
RW E C103	KF-E	pink	Ib Oman	IIa
RW E C110	KF-E	pink	Ib Oman	IIa
RW E C201	KF-E	pink	Ib Oman	IIa
RW E C202	KF-E	pink	Ib Oman	IIa
RW E C203	KF-E	pink	Ib Oman	IIa
RW E C204	KF-E	pink	IIa	Ib Oman
RW E C205	KF-E	pink	IIa	Ib Oman
RW E C206	KF-E	pink	IIa	Ib Oman
RW E C207	KF-E	pink	IIa	Ib Oman
RW E C301	KF-E	pink	IIa	Ib Oman
RW E C302	KF-E	pink	Ib Oman	IIa
RW E C308	KF-E	IIa	pink	Ib Oman
RW E C310	KF-E	pink	Ib Oman	IIa
RW E C401	KF-E	pink	Ib Oman	IIa
RW E C402	KF-E	pink	Ib Oman	IIa
RW E C404	KF-E	pink	IIa	Ib Oman
RW E C406	KF-E	pink	Ib Oman	IIa
RW E C506	KF-E	pink	Ib Oman	IIa
RW E C509	KF-E	Ib Oman	pink	IIa
RW I C301	KF-I	pink	IIa	Ib Oman
RW I C302	KF-I	pink	Ib Oman	IIa
RW I C303	KF-I	pink	IIa	Ib Oman
RW I C305	KF-I	pink	Ib Oman	IIa
RW I C306	KF-I	pink	Ib Oman	IIa
RW I C304	KF-I	Ib Oman	pink	IIa
RW I C307	KF-I	pink	Ib Oman	IIa
RW I C308	KF-I	pink	Ib Oman	IIa

Testa	Testemunho	1 (p=.07547)	2 (p=.27044)	3 (p=.65409)
RW I C309	KF-I	pink	Ib Oman	IIa
RW I C310	KF-I	pink	Ib Oman	IIa
RW I C101	KF-I	pink	Ib Oman	IIa
RW I C102	KF-I	pink	IIa	Ib Oman
RW I C103	KF-I	pink	Ib Oman	IIa
RW I C104	KF-I	pink	Ib Oman	IIa
RW I C105	KF-I	pink	Ib Oman	IIa
RW I C106	KF-I	pink	Ib Oman	IIa
RW I C107	KF-I	pink	Ib Oman	IIa
RW I C108	KF-I	pink	Ib Oman	IIa
RW I C109	KF-I	pink	Ib Oman	IIa
RW I C110	KF-I	pink	Ib Oman	IIa
RW I C201	KF-I	pink	Ib Oman	IIa
RW I C202	KF-I	pink	Ib Oman	IIa
RW I C208	KF-I	pink	Ib Oman	IIa
RW120C101	KF-13 120 cm	pink	Ib Oman	IIa
RW120C103	KF-13 120 cm	pink	IIa	Ib Oman
RW120C104	KF-13 120 cm	pink	IIa	Ib Oman
RW120C105	KF-13 120 cm	pink	IIa	Ib Oman
RW120C106	KF-13 120 cm	pink	IIa	Ib Oman
RW120C107	KF-13 120 cm	pink	IIa	Ib Oman
RW120C108	KF-13 120 cm	pink	Ib Oman	IIa
RW120C109	KF-13 120 cm	pink	Ib Oman	IIa
RW120C110	KF-13 120 cm	pink	IIa	Ib Oman
RW120C201	KF-13 120 cm	pink	Ib Oman	IIa
RW120C202	KF-13 120 cm	pink	IIa	Ib Oman
RW120C203	KF-13 120 cm	pink	IIa	Ib Oman
RW120C204	KF-13 120 cm	pink	IIa	Ib Oman
RW120C205	KF-13 120 cm	pink	Ib Oman	IIa
RW120C206	KF-13 120 cm	pink	Ib Oman	IIa
RW120C207	KF-13 120 cm	pink	IIa	Ib Oman
RW120C208	KF-13 120 cm	pink	Ib Oman	IIa
RW120C209	KF-13 120 cm	pink	IIa	Ib Oman
RW120C210	KF-13 120 cm	Ib Oman	pink	IIa
RW120C301	KF-13 120 cm	Ib Oman	pink	IIa
RW120 C302	KF-13 120 cm	pink	IIa	Ib Oman
RW120 C304	KF-13 120 cm	pink	Ib Oman	IIa
RW120 C305	KF-13 120 cm	pink	IIa	Ib Oman
RW130C101	KF-13 130 cm	pink	Ib Oman	IIa
RW130C102	KF-13 130 cm	pink	IIa	Ib Oman
RW130C103	KF-13 130 cm	pink	IIa	Ib Oman
RW130C104	KF-13 130 cm	pink	Ib Oman	IIa

Testa	Testemunho	1 (p=.07547)	2 (p=.27044)	3 (p=.65409)
RW130C105	KF-13 130 cm	Ib Oman	pink	IIa
RW130C106	KF-13 130 cm	pink	Ib Oman	IIa
RW130C303	KF-13 130 cm	Ib Oman	pink	IIa
RW130C306	KF-13 130 cm	pink	Ib Oman	IIa
RW130C308	KF-13 130 cm	pink	Ib Oman	IIa
RW130C403	KF-13 130 cm	pink	IIa	Ib Oman
RW130 C401	KF-13 130 cm	pink	IIa	Ib Oman
RW130 C402	KF-13 130 cm	pink	Ib Oman	IIa
RW130 C403	KF-13 130 cm	pink	Ib Oman	IIa
RW130 C404	KF-13 130 cm	pink	Ib Oman	IIa
RW130 C405	KF-13 130 cm	pink	IIa	Ib Oman
RW130 C406	KF-13 130 cm	pink	Ib Oman	IIa
RW130 C407	KF-13 130 cm	pink	IIa	Ib Oman
RW130 C408	KF-13 130 cm	pink	Ib Oman	IIa
RW130 C501	KF-13 130 cm	pink	IIa	Ib Oman
RW130 C502	KF-13 130 cm	pink	IIa	Ib Oman
RW130 C507	KF-13 130 cm	pink	IIa	Ib Oman

APÊNDICE 6 - CLASSIFICAÇÃO DE INDIVÍDUOS DA MORFOESPÉCIE
GLOBIGERINELLA SIPHONIFERA ATRAVÉS DO TAMANHO MÉDIO DOS POROS.

Testa	Testemunho	Tamanho médio dos poros (μm)	Tipo
SC1-1 1	KF-C	3.05	2
SC1-1 2	KF-C	5.37	1
SC1-1 3	KF-C	2.15	2
SC1-1 4	KF-C	2.18	2
SC1-1 6	KF-C	4.35	1
SC1-1 7	KF-C	2.92	2
SC1-1 8	KF-C	2.10	2
SC1-1 9	KF-C	4.58	1
SC2-1 1	KF-C	1.63	2
SC2-1 2	KF-C	4.39	1
SC2-1 3	KF-C	2.28	2
SC2-1 4	KF-C	4.38	1
SC2-1 5	KF-C	1.27	2
SC2-1 6	KF-C	3.36	1
SC2-1 7	KF-C	3.70	1
SC2-1 10	KF-C	3.80	1
SC2-2 1	KF-E	2.40	2
SC2-2 2	KF-E	4.74	1
SC2-2 4	KF-E	2.45	2
SC2-2 5	KF-E	2.25	2
SC2-2 6	KF-E	2.41	2
SC1-3 1	KF-E	3.20	1
SC1-3 2	KF-E	2.18	2
SC1-3 3	KF-E	1.29	2
SC1-3 4	KF-E	2.18	2
SC1-3 10	KF-E	1.93	2
SC2-3 1	KF-E	2.35	2
SC2-3 2	KF-E	1.97	2
SC2-3 3	KF-E	2.85	2
SC2-3 4	KF-E	2.56	2

Testa	Testemunho	Tamanho médio dos poros (μm)	Tipo
SC2-3 5	KF-E	1.63	2
SC2-3 6	KF-E	2.56	2
SC2-3 7	KF-E	2.45	2
SC2-3 9	KF-E	2.31	2
SC2-3 10	KF-E	2.22	2
SC3-1 1	KF-I	2.76	2
SC3-1 2	KF-I	2.23	2
SC3-1 3	KF-I	2.25	2
SC3-1 5	KF-I	3.53	1
SC3-1 6	KF-I	2.91	2
SC3-1 7	KF-I	3.39	1
SC3-1 8	KF-I	2.60	2
SC3-1 9	KF-I	1.80	2
SC3-1 10	KF-I	1.97	2
SC4-1 1	KF-I	2.18	2
SC4-1 2	KF-I	1.79	2
SC4-1 4	KF-I	2.30	2
SC4-1 5	KF-I	2.37	2
SC4-1 6	KF-I	2.32	2
SC4-1 7	KF-I	2.32	2
SC4-1 8	KF-I	2.08	2
SC4-1 9	KF-I	2.82	2
SC4-1 10	KF-I	2.40	2
SC1-2 1	KF-I	2.52	2
SC1-2 2	KF-I	2.51	2
SC1-2 3	KF-I	2.05	2
SC1-2 4	KF-I	2.10	2
SC1-2 6	KF-I	2.22	2
SC1-2 7	KF-I	2.16	2
SC1-2 8	KF-I	3.82	1
SC1-2 9	KF-I	2.14	2
SC3-2 1	KF-A	2.21	2
SC3-2 2	KF-A	2.43	2

Testa	Testemunho	Tamanho médio dos poros (μm)	Tipo
SC3-2 3	KF-A	1.99	2
SC3-2 4	KF-A	2.42	2
SC3-2 5	KF-A	2.85	2
SC3-2 6	KF-A	1.67	2
SC3-2 8	KF-A	2.99	2
SC3-2 9	KF-A	4.77	1
SC3-2 10	KF-A	3.22	1
S1	KF-A	3.33	1
S4	KF-A	4.08	1
S6	KF-A	5.21	1
S7	KF-A	3.50	1
S8	KF-A	4.61	1
S9	KF-A	1.88	2
S10	KF-A	1.87	2
S13	KF-A	2.19	2
S14	KF-A	1.49	2
S15	KF-A	4.33	1
S17	KF-A	2.73	2
S18	KF-A	2.59	2
S20	KF-A	1.53	2
S21	KF-A	3.71	1
S22	KF-A	1.98	2
S23	KF-A	4.50	1
S26	KF-A	2.52	2
S25	KF-A	2.98	2
S27	KF-A	2.92	2
S28	KF-A	2.82	2
S29	KF-A	4.81	1
S30	KF-A	2.68	2
S31	KF-A	2.89	2
S32	KF-A	4.57	1
S34	KF-A	1.92	2
S35	KF-A	2.62	2

Testa	Testemunho	Tamanho médio dos poros (μm)	Tipo
S36	KF-A	3.01	2
S37	KF-A	3.37	1
S38	KF-A	2.47	2
S39	KF-A	5.17	1
S40	KF-A	5.28	1
S41	KF-A	2.74	2

"We can travel the world
but nothing comes close to the golden coast."
Katy Perry

Fim