4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Aquisição dos Testemunhos e Cronologia

Os testemunhos KF-C e KF-B (Figura 30) utilizados neste estudo foram coletados a pistão pela *Texas University*, entre 26 de janeiro e 05 de março de 1996 a bordo do *R/V Powell*, em uma campanha de prospecção geoquímica nas bacias da costa brasileira coordenada pelo Centro de Pesquisas da PETROBRAS. Os testemunhos foram encaminhados para o Laboratório de Rocha da Gerência de Exploração da Bacia de Campos para estudo sedimentológicos e arquivamento (Santos & Babinski, 1996). Os procedimentos de descrição e amostragem dos testemunhos estão descritos em Toledo (2000) e Costa (2000).

Para este estudo foram selecionadas 15 amostras do KF-C (144 cm) e 8 amostras do KF-B (19 cm), pois de acordo com os resultados isotópicos (^{14}C), estas amostras seriam suficientes para compreender todo o período de interesse deste estudo, os últimos 30.000 anos. O intervalo de amostragem foi de aproximadamente 11 cm no KF-C e mais detalhado no KF-B, cerca de 3 cm entre cada amostra.

A cronologia para os testemunhos foi estabelecida a partir da análise de isótopos de oxigênio em foraminíferos planctônicos (*Globigerinoides ruber*) ao para os dois testemunhos estudados. Foram efetuadas datações de radiocarbono (^{14}C) em quatro amostras, duas por testemunho. As análises de isótopos estáveis de oxigênio e de carbono foram realizadas no Laboratório Pará-Iso da Universidade Federal do Pará (UFPA). As datações de radiocarbono foram efetuadas no *National Ocean Science Accelerator Mass Spectrometrer Facility* (*NOSAMS*) no *Woods Hole Oceanographic Institution* (*WHOI*), EUA.

As idades de radiocarbono foram corrigidas para efeito reservatório de acordo com Butzin *et al.* (2005). A conversão para idades calendário foi efetuada com base na curva de calibração proposta por Fairbanks *et al.* (2005).

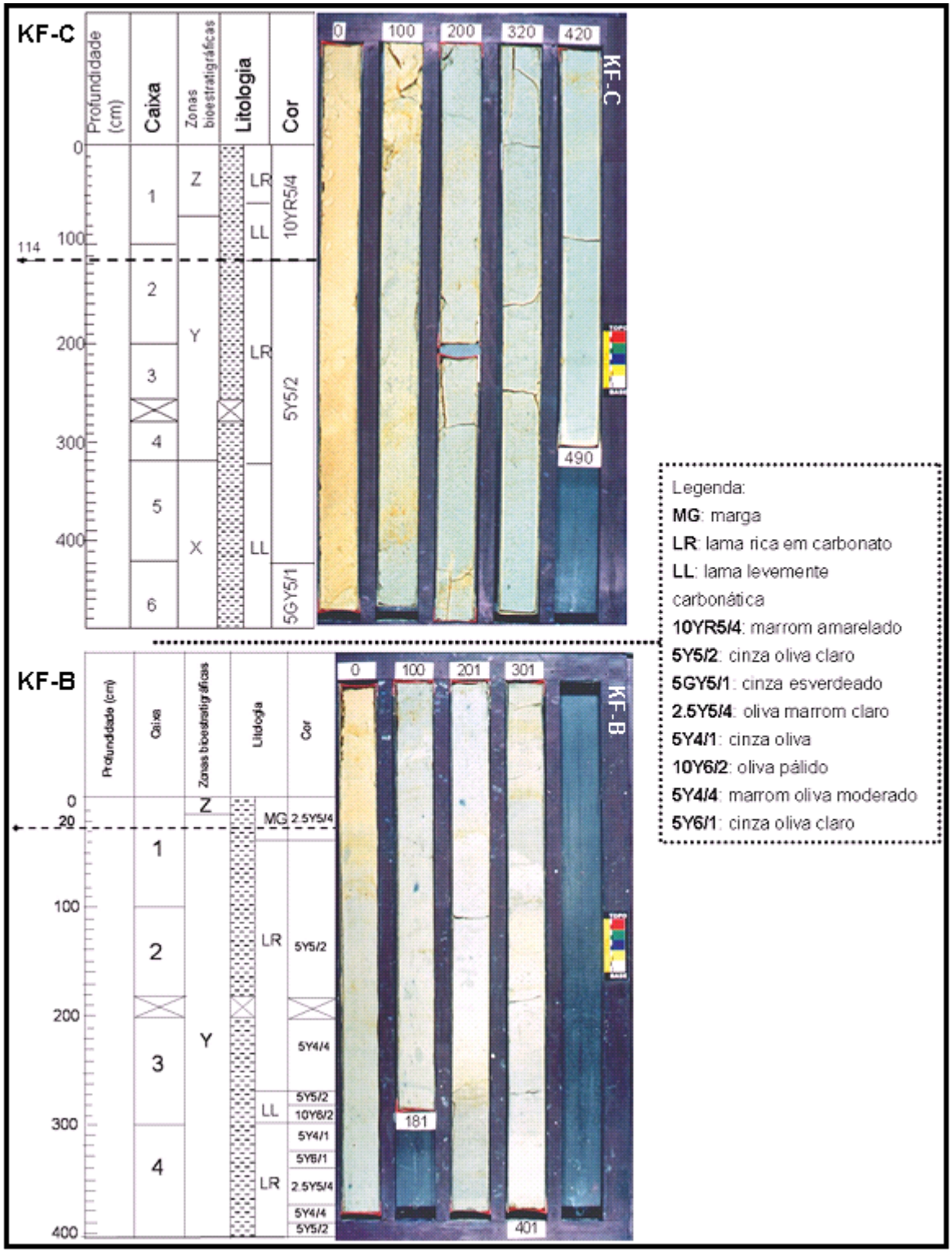

Figura 30: Testemunhos KF-C (topo) e KF-B, exibindo as zonas biogeográficas, litologia e cor (Toledo (2000) e Costa (2000)). A linha horizontal pontilhada na ilustração indica o comprimento representativo do intervalo de tempo de interesse deste estudo.

Idade Reservatório é como é conhecida a diferença entre o conteúdo de ^{14}C atmosférico e o conteúdo local de ^{14}C na superfície do oceano. Esta diferença varia geograficamente devido à determinadas influências, como as taxas de troca isotópica entre oceano e atmosfera e a mistrura com águas profundas mais antigas, escassas em ^{14}C. Este estudo optou pelo modelo de Butzin *et al.* (2005) para correção da idade reservatório, já que Fairbanks *et al.* (2005) e Cao *et al.* (2007) consideram este o melhor modelo disponível sobre a estimativa de idades reservatório dos oceanos modernos.

De acordo com o modelo de Butzin *et al.* (2005) a idade reservatório na área deste estudo é menor que o padrão até então utilizado para as regiões tropicais, de 400 anos em média. As idades reservatório sugeridas pelos autores e utilizadas para a correção foram 288 anos (Figura 31). As correções para efeito reservatório e as conversões para idade calendário são mostradas na tabela 1 e as curvas de calibração do modelo de Fairbanks *et al.* (2005) para conversão para idades calendário são mostradas nas figuras 32 e 33.

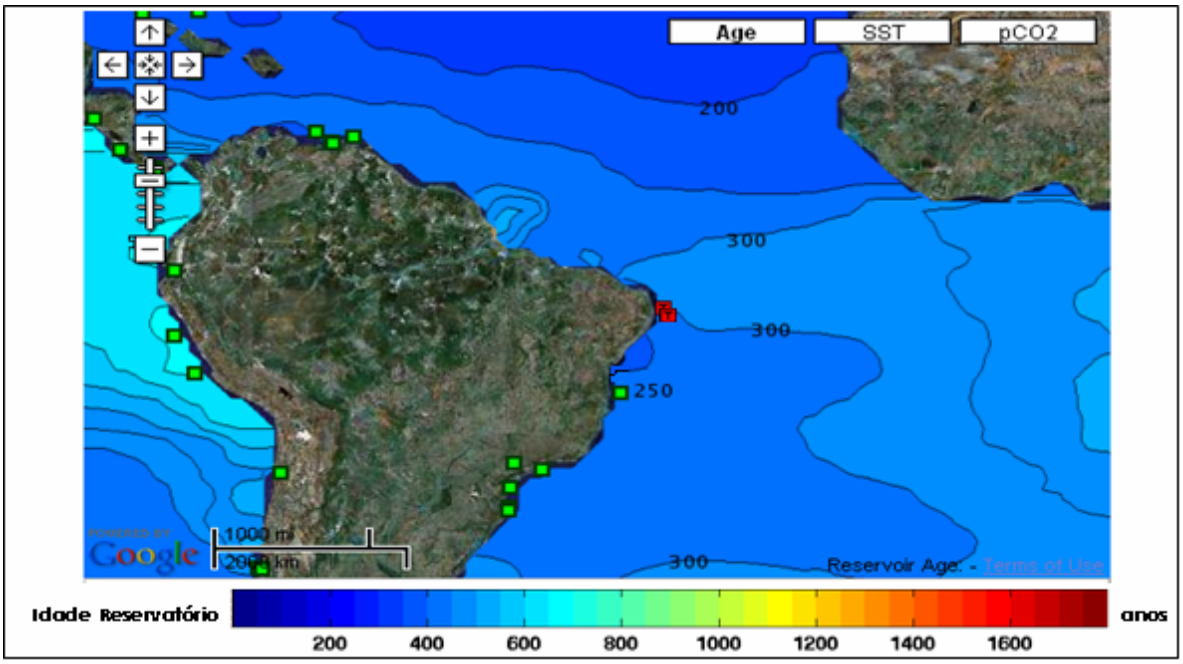

Figura 31: Idades reservatório para o Atlântico Sul de acordo com Butzin *et al.* (2005); os pontos verdes são dados de idade reservatório medidos por Butzin *et al.* (2005); os pontos vermelhos são valores calculados pelo modelo para o local dos testemunhos utilizados neste estudo (imagem gerada em http://radiocarbon.ldeo.columbia.edu/research/resage/).

Tabela 1: Datação de radiocarbono, correção para efeito reservatório e conversão para idade calendário das quatro amostras datadas.

Testemunho	Amostra (cm)	^{14}C idade (anos)	desvio padrão (anos)	Idade Reservatório (anos)	Idade ^{14}C corrigida (anos)	Idade Calendário (anos)
KF-C	81	17.500	80	288	17.212	20.337±74
KF-C	159	38.900	330	288	38.612	42.960 ±287
KF-B	3,5	5.890	35	288	5.602	6.379 ± 40
KF-B	19	32.100	180	288	31.812	36.774 ±124

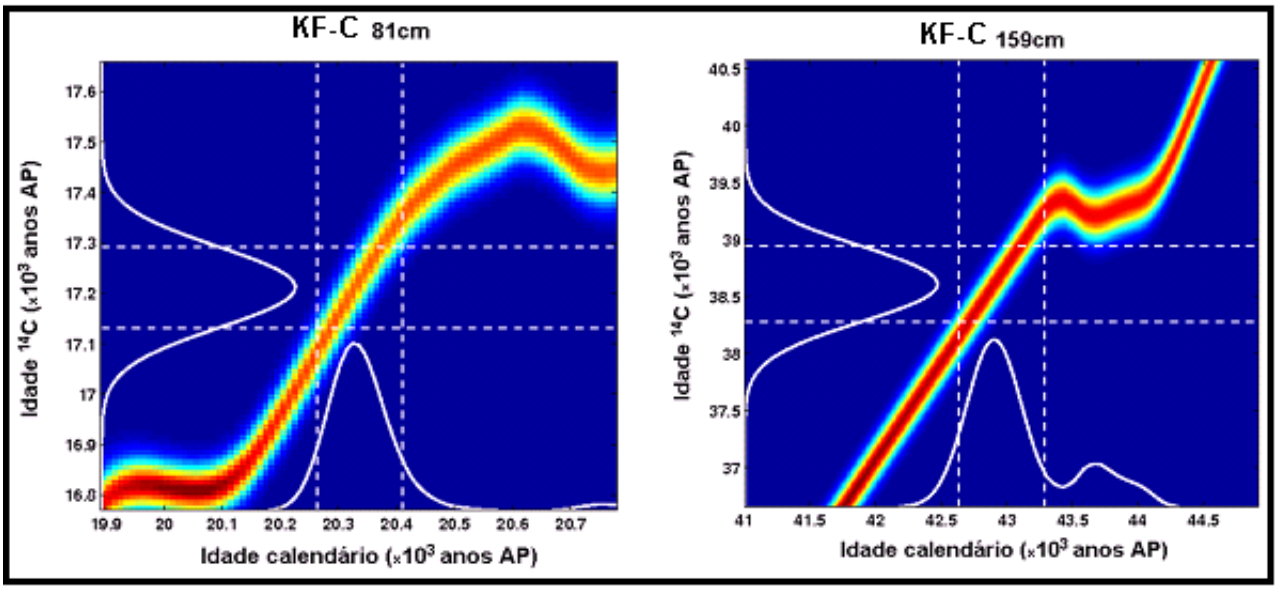

Figura 32: Curvas de calibração do modelo de Fairbanks *et al.* (2005) para as idades radiocarbono corrigidas, do testemunho KF-C (imagem gerada em http://radiocarbon.ldeo.columbia.edu/ research/radcarbcal/).

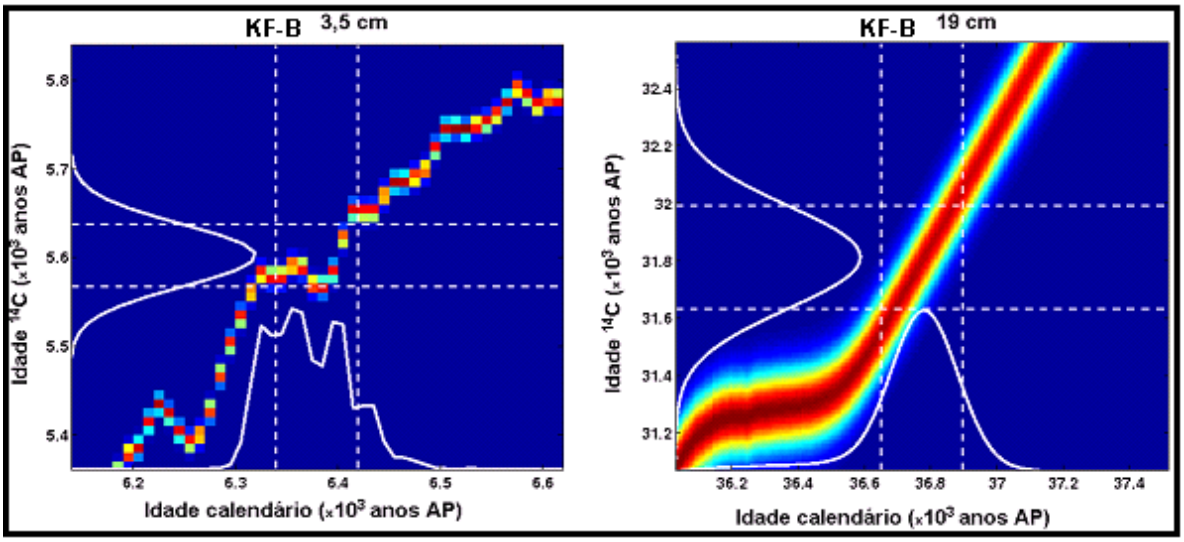

Figura 33: Curvas de calibração do modelo de Fairbanks *et al.* (2005) para as idades radiocarbono corrigidas do testemunho KF-B (imagem gerada em http://radiocarbon.ldeo.columbia.edu/ research/radcarbcal/).

Para as demais amostras de ambos os testemunhos as idades foram estimadas por interpolação linear, considerando-se as taxas de sedimentação constantes entre os intervalos datados (Tabela 2).

Tabela 2: Idades calendário dos testemunhos KF-C e KF-B. As amostras em destaque (*) foram datadas; as demais interpoladas.

KF-C		KF-B	
Amostra (cm)	**Idade Calendário** (m.a.)	**Amostra** (cm)	**Idade Calendário** (m.a.)
0	0,006	1	1,8
11	2,8	* 3,5	6,4
23	5,8	6	11,3
35	8,8	8,5	16,2
46	11,6	10,5	20,1
53	13,3	12,5	24
57	14,3	15	29
61	15,3	* 19	36,8
65	16,3		
69	17,3		
74	18,6		
* 81	20,3		
92	23,5		
103	26,7		
114	29,9		

4.2 Foraminíferos Planctônicos Recentes

Os foraminíferos planctônicos modernos compreendem um grupo de protozoários que ocupam os mais variados regimes marinhos e oceânicos, totalizando aproximadamente 44 espécies (Hemleben *et al*., 1989). Eles ocupam amplamente a zona fótica, mas também podem ocupar posições mais profundas na coluna d'água (Bé, 1977). Esses organismos pertencem ao microzooplâncton marinho e a constante deposição de suas testas formam as conhecidas "Vasas de *Globigerina*" (Hemleben *et al*., *op.cit.*).

Os foraminíferos planctônicos têm uma importância fundamental no estudo de ecossistemas marinhos modernos e antigos. Sua ampla ocorrência nos oceanos modernos, com províncias faunais claramente definidas para diversas espécies e o fato de produzirem uma testa de calcita contribuem significantemente com o registro geológico microfóssil (Hemleben *et al*., *op.cit.*). A constante decantação destas carapaças na coluna d'água e o seu conseqüente acúmulo cobrem cerca de um terço de todo o leito oceânico (Kemle-von Mücke e Oberhänsli, 1999).

O conhecimento da ecologia moderna destes organismos e dos fatores ambientais que controlam o seu crescimento, sua vitalidade e a morfologia final de sua testa é fundamental na compreensão dos ecossistemas marinhos relacionando, de forma mais clara, os ambientes antigos e recentes. Dentre os diversos conceitos de relevante importância destacam-se: 1) a distribuição geográfica das espécies e seu *habitat* típico na coluna d'água (profundidade de *habitat*); 2) vitalidade e longevidade (parcialmente estimada a partir da morfologia final da testa) em relação as significantes variáveis ambientais, *e.g.*, disponibilidade de luz, temperatura, salinidade, tipo e abundância de presas; 3) abundância sazonal e origem geográfica das populações; 4) estrutura da comunidade e 5) interpretação autoecológica em relação a sinecologia entre as espécies (Hemleben *et al*., *op.cit.*).

4.2.1 Classificação dos Foraminíferos Planctônicos Modernos (Bé, 1977)

O conhecimento ecológico dos foraminíferos planctônicos, dos fatores ambientais que influenciam o seu desenvolvimento vital e da morfologia final de sua testa é essencial na compreensão dos ecossistemas marinhos antigos e recentes. Este capítulo é uma compilação do que foi escrito por Bé (1977). Neste trabalho ele descreve de maneira ampla e aprofundada a classificação dos foraminíferos planctônicos assim como sua distribuição biogeográfica, seu comportamento ecológico e os principais fatores que influenciam a distribuição dos foraminíferos planctônicos vivos e fósseis.

Os foraminíferos planctônicos são classificados como:

Reino Protista

Filo Sarcomastigophora

Subfilo Sarcodina

Superclasse Rhizopoda

Classe Granuloreticulosea

Ordem Foraminiferida

A ordem FORAMINIFERIDA dá origem a Superfamília GLOBIGERINACEA (Carpenter *et al*., 1862). Esta por sua vez contém as famílias HANTKENINIDAE (Cushman, 1927), GLOBIGERINIDAE (Carpenter *et al*., 1862) e GLOBOROTALIIDAE (Cushman, 1927).

Família HANTKENINIDAE (Cushman, 1927)

Os organismos que compõem esta família possuem enrolamento bisserial e apresentam testa planispiral; abertura primária simétrica e equatorial, única ou múltipla podendo apresentar aberturas secundárias relíquias. As espécies vivas exibem espinhos trirradiados. Os foraminíferos planctônicos que pertencem a esta família são do gênero *Hastigerina*, a seguir:

- *Hastigerina pelagica*
- *Hastigerinella digitata*.

Família GLOBIGERINIDAE (Carpenter *et al*., 1862)

Exibem testa trocospiral durante o estágio adulto ou durante a ontogenia, estreptospiral ou globular ; câmaras esféricas, clavadas ou ovais; parede calcárea perfurada; espécimes vivos exibem espinhos radiais, rígidos tanto na fase adulta quanto na ontogenética; abertura primária umbilical, umbilical-extra-umbilical, equatorial ou espiroumbilical; pode apresentar aberturas secundárias; pode exibir *bullae* com aberturas acessórias infralaminais. Dois gêneros pertencem a esta família: 1) o gênero *Globigerinoides* e 2) o gênero *Globigerina*.

1) *Globigerinoides*

As espécies que pertencem ao gênero *Globigerinoides* são:

- *Orbulina universa*[*]
- *Globigerinoides conglobatus**
- *Globigerinoides ruber**

[*] Os nomes destacados por * referem-se às espécies observadas neste estudo.

- *Globigerinoides sacculifer**
- *Globigerinoides tenellus**
- *Sphaeroidinella dehiscens**

2) *Globigerina*

As espécies que pertencem ao gênero *Globigerina* são:

- *Globigerina rubescens**
- *Globigerina quinqueloba*
- *Globigerina humilis**
- *Globigerina falconensis**
- *Globigerina bulloides**
- *Globigerina calida**
- *Globigerina digitata**
- *Globigerinella siphonifera**
- *Globigerinella adamsi*

Família GLOBOROTALIIDAE (Cushman, 1927)

Exibem testa com enrolamento trocospiral; câmaras anguladas a ovais ou esféricas; podem apresentar uma quilha; parede calcárea perfurada, estrutura radial, suave. Os espécimes vivos não exibem espinhos na fase adulta nem no período ontogenético; aberturas primárias extraumbilical-umbilical ou umbilical; não exibe aberturas secundárias. Quatro gêneros compõem esta família: 1) *Globigerinita*; 2) *Globoquadrina*; 3) *Globorotalia* e 4) *Candeina*.

1) *Globigerinita*

As espécies que pertencem ao gênero *Globigerinita* são:

- *Globigerinita glutinata**
- *Globigerinita bradyi*
- *Globigerinita iota**

2) *Globoquadrina*

As espécies que pertencem ao gênero *Globoquadrina* são:

- *Globoquadrina pachyderma*
- *Globoquadrina dutertrei**
- *Globoquadrina hexagona*
- *Globoquadrina conglomerata**
- *Pulleniatina obliquoloculata**

3) *Globorotalia*

As espécies que pertencem ao gênero *Globorotalia* são:

- *Globorotalia pulimio*
- *Globorotalia inflata**
- *Globorotalia scitula**
- *Globorotalia theyeri*
- *Globorotalia crassaformis**
- *Globorotalia crotonensis*
- *Globorotalia cavernula*
- *Globorotalia hirsuta**
- *Globorotalia truncatulinoides**
- *Globorotalia menardii menardii**
- *Globorotalia menardii gibberula*
- *Globorotalia menardii neoflexuosa**
- *Globorotalia tumida**

4) *Candeina*

A única espécie pertencente ao gênero *Candeina* é a espécie *Candeina nitida**.

4.2.2 Fatores que Influenciam a Distribuição e Abundância dos Foraminíferos Plactônicos Vivos.

- Fatores Biológicos

A produtividade dos foraminíferos planctônicos e sua distribuição nos oceanos dependem de uma série de fatores biológicos, entre estes, o tempo de vida (taxas de crescimento, reprodução, mortalidade de cada espécie); a predação, já que todas as espécies estão sujeitas e requer um suprimento alimentar e detritos orgânicos. Algumas espécies exibem relações de simbiose com dinoflagelados.

- Fatores Físico-químicos

A complexa inter-relação entre a distribuição das espécies e as condições ambientais existe quando objetiva-se correlacionar as abundâncias quantitativas com os parâmetros físico-químicos da região amostrada. Um exemplo desta comparação para os foraminíferos planctônicos que vivem até 300 m de profundidade no Oceano Índico (Wyrtki's 1971 Atlas) é exibido na tabela 3.

- Distribuição Vertical

Diversas espécies de foraminíferos planctônicos vivem na zona fótica onde podem se alimentar do fitoplâncton e manter suas relações simbióticas com zooxantelas que encontram-se em seu protoplasma. A maior concentração de foraminíferos planctônicos é encontrada entre 10 e 50 metros de profundidade.

Os foraminíferos planctônicos que habitam a camada superficial geralmente são menores e possuem a parede da testa mais fina do que as espécies que ocupam as regiões mais profundas. Os foraminíferos planctônicos mesopelágicos (300 – 1000 m) e batipelágicos (1000 – 3000 m) ocupam profundidades mais rasas durante os estágios iniciais para afundar durante os estágios mais maduros.

Tabela 3: Espécies de foraminíferos planctônicos de acordo com quatro parâmetros físico-químicos na superfície do Oceano Índico baseado na comparação entre abundância absoluta de espécies em 154 redes de plâncton e dados ambientais físico-químico de Wyrtki (1971)

Temperatura (°C)		Salinidade	
Espécie	Média / Desvio Padrão	Espécie	Média / Desvio Padrão
Globoquadrina conglomerata	28,3 / 1,006	*Globorotalia truncatulinoides*	35,55 / 2,283
Globoquadrina hexagona	28,1 / 0,240	*Globigerina rubescens*	35,52 / 1,980
Globorotalia tumida	25,3 / 1,658	*Globorotalia crassaformis*	35,45 / 0,795
Globigerinoides sacculifer	25,2 / 3,256	*Orbulina universa*	35,40 / 1,632
Pulleniatina obliculoculata	24,9 / 1,947	*Globigerinita glutinata*	35,38 / 4,403
Globigerinoides conglobatus	24,4 / 3,111	*Globorotalia scitula*	35,35 / 1,692
Globigerinoides ruber	24,2 / 3,544	*Globigerinella siphonifera*	35,34 / 2,136
Globigerinella siphonifera	23,5 / 4,446	*Globoquadrina conglomerata*	35,31 / 0,139
Globorotalia theyeri	23,4 / 4,671	*Hastigerina pelagica*	35,31 / 3,730
Hastigerina pelagica	23,3 / 4,098	*Globigerinoides ruber*	35,25 / 1,987
Globoquadrina dutertrei	23,2 / 2,991	*Globorotalia inflata*	35,23 / 3,797
Globorotalia menardii	23,1 / 2,758	*Globoquadrina dutertrei*	35,19 / 1,604
Globigerina rubescens	23,0 / 1,980	*Globorotalia theyeri*	35,11 / 2,018
Globorotalia scitula	22,7 / 3,713	*Globorotalia menardii*	34,99 / 1,547
Globigerinita glutinata	22,2 / 7,551	*Globigerinoides conglobatus*	34,99 / 1,325
Orbulina universa	21,7 / 2,393	*Pulleniatina obliculoculata*	34,97 / 1,307
Globorotalia truncatulinoides	20,3 / 2,878	*Globigerinoides sacculifer*	34,94 / 1,476
Globorotalia crassaformis	18,1 / 3,455	*Globigerina bulloides*	34,76 / 5,116
Globorotalia inflata	16,5 / 3,819	*Globorotalia tumida*	34,70 / 1,053
Globigerina bulloides	13,4 / 7,114	*Globigerina quinqueloba*	34,51 / 3,579
Globigerina quinqueloba	9,8 / 5,411	*Globoquadrina hexagona*	34,49 / 0,064
Globigerinita bradyi	7,5 / 4,850	*Globigerinita bradyi*	34,09 / 1,882
Globoquadrina pachyderma	4,8 / 5,524	*Globoquadrina pachyderma*	34,05 / 2,901
Oxigênio (ml/l)		Fosfato-P (µg/l)	
Espécie	Média / Desvio Padrão	Espécie	Média / Desvio Padrão
Globigerinita bradyi	7,520 / 0,069	*Globoquadrina pachyderma*	1,517 / 0,451
Globoquadrina pachyderma	7,507 / 0,334	*Globigerinita bradyi*	1,415 / 0,606
Globigerina quinqueloba	6,615 / 0,303	*Globigerina quinqueloba*	0,880 / 0,214
Globigerina bulloides	6,272 / 0,442	*Globigerina bulloides*	0,742 / 1,148
Globorotalia inflata	5,660 / 0,373	*Globorotalia crassaformis*	0,415 / 0,065
Globorotalia crassaformis	5,315 / 0,210	*Globigerinita glutinata*	0,369 / 1,931
Globorotalia truncatulinoides	5,199 / 0,221	*Globorotalia inflata*	0,365 / 0,420
Globigerina rubescens	5,165 / 0,127	*Hastigerina pelagica*	0,229 / 1,433
Globigerinita glutinata	5,134 / 1,451	*Globoquadrina conglomerata*	0,223 / 0,718
Orbulina universa	5,085 / 0,197	*Globorotalia scitula*	0,222 / 0,878
Hastigerina pelagica	4,991 / 0,455	*Globigerinella siphonifera*	0,218 / 1,525
Globoquadrina dutertrei	4,953 / 0,186	*Pulleniatina obliculoculata*	0,216 / 1,136
Globorotalia scitula	4,952 / 0,170	*Globoquadrina dutertrei*	0,202 / 1,437
Globorotalia theyeri	4,927 / 0,238	*Globorotalia tumida*	0,200 / 1,080
Globigerinella siphonifera	4,880 / 1,000	*Globigerinoides sacculifer*	0,198 / 1,386
Globorotalia menardii	4,862 / 0,279	*Globorotalia theyeri*	0,196 / 0,932
Globigerinoides ruber	4,841 / 0,576	*Globoquadrina hexagona*	0,195 / 0,057
Globigerinoides conglobatus	4,808 / 0,219	*Globigerinoides ruber*	0,193 / 1,577
Globigerinoides sacculifer	4,724 / 0,216	*Globorotalia menardii*	0,191 / 1,158
Pulleniatina obliculoculata	4,660 / 0,213	*Globorotalia truncatulinoides*	0,191 / 0,366
Globorotalia tumida	4,652 / 0,293	*Globigerinoides conglobatus*	0,183 / 1,197
Globoquadrina hexagona	4,530 / 0,014	*Orbulina universa*	0,152 / 0,981
Globoquadrina conglomerata	4,463 / 0,059	*Globigerina rubescens*	0,125 / 0,629

- Profundidade de *habitat* das espécies individuais

A variação vertical da profundidade de *habitat* das espécies é extremamente vasta e varia tanto regionalmente quanto sazonalmente. Algumas espécies ajustam sua profundidade de *habitat* durante seu ciclo de vida.

Os foraminíferos planctônicos devem ser considerados em três grandes grupos, cada qual caracteriza uma profundidade de habitat particular (Tabela 4): 1) as espécies de águas rasas que são predominantemente as formas espinhosas incluindo todas as espécies de *Globigerinoides* e algumas espécies de *Globigerina*; 2) as espécies de águas intermediárias que incluem tanto as espécies espinhosas quanto as não-espinhosas e, finalmente, 3) as espécies de águas profundas, que consistem de 12 espécies que vivem na zona fótica quando juvenis e predominantemente abaixo de 100 m quando adultos. Todas as espécies de *Globorotalia* e a espécie não-espinhosa *Globoquadrina pachyderma* pertencem a este grupo.

Tabela 4: Profundidade de habitat generalizado dos foraminíferos planctônicos

Espécies de águas rasas - z ≤ 50 m	
Globigerinoides ruber	
Globigerinoides sacculifer	
Globigerinoides conglobatus	
Globigerina quinqueloba	
Globigerina rubescens	
Espécies de águas intermediárias - 50 m ≤ z ≤ 100m	
Globigerina bulloides	
Hastigerina pelagica	
Pulleniatina obliculoculata	
Globoquadrina dutertrei	
Orbulina universa	
Candeina nitida	
Globigerinella siphonifera	
Globigerina calida	
Globigerinita glutinata	
Espécies de águas profundas - z ≥ 100 m	
Globorotalia menardii	*Globoquadrina pachyderma*
Globorotalia tumida	*Globoquadrina conglomerata*
Globorotalia inflata	*Globoquadrina hexagona*
Globorotalia hirsuta	*Globigerinella adamsi*
Globorotalia truncatulinoides	*Sphaeroidinella dehiscens*
Globorotalia crassaformis	*Hastigerinella digitata*
Globorotalia scitula	

- Migração diária

As espécies de foraminíferos planctônicos que exibem variações diurnas de destaque são *Globigerina bulloides*, *Globigerinella calida*, *Globigerinita bradyi*, *Globorotalia menardii* e *Globoquadrina dutertrei*. Com exceção de *G. menardii* estas espécies são abundantes em regiões de águas frias e férteis.

As espécies que mostram variações diurnas menos significantes são *Hastigerina pelagica*, *Globigerina quinqueloba*, *Globigerinella siphonifera* e *Globorotalia hirsuta*.

Os foraminíferos planctônicos que exibem pouca variação na concentração dia-noite são *Globigerinoides ruber*, *G. sacculifer*, *G. conglobatus*, *Globigerinita glutinata* e *Pulleniatina obliquoloculata*. Estas espécies ocupam predominantemente as águas rasas e oligotróficas das regiões tropicais.

- Distribuição Sazonal

As variações nas abundâncias dos foraminíferos planctônicos estão estreitamente associadas aos ciclos sazonais e aos processos oceanográficos. A mistura vertical durante os meses de inverno resulta em um enriquecimento das águas sobrejacentes ocasionando num aumento do fitoplâncton em diferentes épocas do ano dependendo da latitude. As florações fitoplanctônicas ocorrem durante o inverno nas regiões tropicais enquanto que nas regiões subtropicais e temperadas estes máximos ocorrem durante os meses do outono e da primavera.

A substituição sazonal de diversos grupos de espécies nos oceanos tem significantes implicações paleoecológicas. É importante ressaltar que embora as testas vazias destas espécies ocorram junto com as assembléias fósseis no fundo oceânico elas não necessariamente habitam as águas sobrajacentes no mesmo tempo. Deste modo, cada espécie pode representar diferentes condições ecológicas e sazonais.

- Divisões Biogeográficas das Assembléias Vivas

As barreiras continentais assim como as grandes ilhas interrompem a continuidade circumglobal na distribuição das espécies vivas epiplanctônicas que vivem no cinturão de águas mais quentes entre 40°N e 40°S. As barreiras topográficas são um impedimento à mistura faunal e prevenção da mistura genética entre populações adjacentes por uma duração suficientemente longa resultando, ultimamente, em um provincialismo da população isolada.

Com o intuito de delinear a área onde cada espécie ocorre em maior abundância, é possível agrupar os foraminíferos planctônicos em provícias faunais e zonas de transição, a seguir:

- Província Tropical

Esta província apresenta a maior diversidade de espécies. As espécies dominantes nas águas tropicais são: *Globigerinoides sacculifer*, *G. ruber*, *Pulleniatina obliquoloculata*, *Globoquadrina dutertrei* e *Globorotalia menardii*. Embora *G. ruber* seja considerada uma espécie subtropical ela prolifera em águas tropicais sendo frequentemente a espécie dominante.

- Província Subtropical

Nesta província estão as espécies *Globoquadrina dutertrei*, *Globigerinella siphonifera*, *Hastigerina pelagica* e *Globorotalia menardii gibberula*, associadas a regiões de ressurgências ou correntes de contorno de massas d'águas centrais. Espécies tropicais freqüentemente encontradas nesta província são: *Pulleniatina obliquoloculata*, *Globigerinoides sacculifer* e *Globigerina rubescens*.

- Zona de Transição

As zonas de transição são regiões onde ocorre a mistura entre espécies tropicais e subtropicais e onde as espécies subpolares ocorrem e como resultado podem ser encontradas diferentes assembléias a estações distantes poucos quilômetros uma da outra. Embora a diversidade das espécies desta região seja das denominadas 'espécies expatriadas' a única espécie de foraminífero planctônico própria deste local é a espécie *Globorotalia inflata*.

- Província Subpolar

A fauna subpolar consiste prodominantemente de *Globigerina bulloides*. Outras espécies são *Globigerina quinqueloba*, *Globoquadrina pachderma* dextral, *Globoquadrina pachyderma* sinistral, *Globorotalia scitula* e *Globigerinita bradyi*.

- Província Polar

Globoquadrina pachyderma sinistral é a espécie dominante nos Oceanos Ártico e Antártico. Algumas espécies subpolares são encontradas no Oceano Antártico, *e.g.*, *Globigerina bulloides, Globigerina quinqueloba* e *Globigerinita bradyi*. No oceano Ártico *Globigerina quinqueloba* é a única espécie que ocorre nos sedimentos superficiais junto com *Globoquadrina pachyderma* sinistral. O maior número de espécies nas águas frias do hemisfério sul pode estar relacionada a natureza mais contínua da circulação oceânica Antártica, comparado a aprisionada circulação do oceano Ártico.

4.2.3 Fatores que Influenciam a Distribuição e Abundância dos Foraminíferos Planctônicos Fósseis

A partir da morte do foraminífero planctônico sua testa está sujeita a uma série de processos de alteração *post-mortem* que determinará sua preservação e sua deposição final. As seguintes variáveis desempenham um papel na complexa interação entre a testa vazia e o ambiente bio-físico-químico.

- Ingestão por detritívoros

Os indivíduos mortos podem apresentar restos citoplasmáticos dentro de suas testas, o que são fontes de alimento potencial para organismos heterotróficos tanto na coluna d'água quanto no leito oceânico.

- Taxas de decantação e transporte por correntes

A velovidade de decantação média para os foraminíferos planctônicos varia de 0,3 cm/s para testas entre 62 – 125 µm à 2,3 cm/s para testas maiores que 250 µm. Para alcançar uma profundidade de 5.000 metros a testa vazia pode levar de 19 dias (para testas entre 62 – 125 µm) a 2,5 dias (para testas maiores que 250 µm). As taxas de decantação varia para cada espéciee os indivíduos não-espinhosos com paredes calcáreas mais grossa devem afundar mais rapidamente na coluna d'água do que as espécies espinhosas de mesmo tamanho.

Em regiões de fortes correntes superficiais e subsuperficiais as testas vazias podem ser transportadas por consideráveis distâncias do *habitat* original.

- Redeposição/retrabalhamento

Sedimentos contendo assembléias fósseis estão sujeitas a redeposição/retrabalhamento por correntes de fundo, como na região entre Austrália e Antártica. As correntes de turbidez também são importantes agentes

no transporte de assembléias fósseis de área com alta topografia para regiões mais profundas do leito oceânico, sendo particularmente significantes na região de taludes continentais.

- Produtividade

Já que as espécies diferenciam-se no tempo de vida, as que exibem menores longevidades parecem apresentar uma maior taxa de reposição (*turnover*) e conseqüentemente maiores taxas de reprodução. As espécies espinhosas (*Globigerinoides ruber*, *Globigerina bulloides* e *Orbulina universa*) produzem testas vazias duas vezes mais rápidas que as espécies não-espinhosas (*e.g.*, *Globoquadrina dutertrei*). No entanto as espécies espinhosas afundam mais lentamente na coluna d'água que as de testas mais espessas.

- Dissolução seletiva

A dissolução das testas calcárias ocorrem em centenas de metros de profundidades no Oceano Pacífico e abaixo de 1.500 m de profundidade no Oceano Atlântico. Entre os fatores que influenciam a dissolução do carbonato das testas dos foraminíferos planctônicos destacam-se:

1. O grau de insaturação da água do mar com respeito ao $CaCO_3$;
2. O fluxo das correntes de fundo que determinará a extensão do reabastecimento da água insaturada;
3. A taxa de oxidação da matéria orgânica que determinará a produçãode dióxido de carbono na coluna d'água;
4. O tempo no qual as testas estão expostas as corrosivas águas de fundo;
5. Taxa de suprimento de partículas calcárias ou não-calcarias; e
6. Tamanho, espessura e microestrutura da parede calcária dos foraminíferos planctônicos.

A profundidade na qual a dissolução do carbonato inicia-se é denominada lisoclina. Abaixo da lisoclina a dissolução ocorre a taxas mais acelaradas resultando em um progressivo decréscimo na proporção de material carbonático preservado nos sedimentos. A profundidade na qual esta proporção é inferior a 20% do sedimento total é chamada de profundidade de compensação do carbonato (PCC).

4.2.3.1 Distribuição de algumas espécies nos sedimentos superficiais

- Espécie polar

Globoquadrina pachyderma (Ehrenberg)

Globoquadrina pachyderma é a espécie dominante nos sedimentos superficiais Ártico e Antártico. Esta espécie é subdividida em duas populações distintas: *Globoquadrina pachyderma* sinistral e *Globoquadrina pachyderma* dextral. A forma *Globoquadrina pachyderma* sinistral, de caráter polar, é predominante (mais de 90%) nos sedimentos dos oceanos Ártico e Antártico. A forma *Globoquadrina pachyderma* dextral é um importante constituinte das zonas de transição.

- Espécie subpolar

Globigerina bulloides (d'Orbigny)

Globigerina bulloides é uma das mais bem sucedidas espécies ubiqüistas dos foraminíferos planctônicos. Embora ocorra predominantemente em regiões subpolares esta espécie é comummente encontrada em áreas de ressurgência nas regiões de médias e de baixas latitudes. A maior abundância de G. bulloides é encontrada entre 35°S e 50°S.

- Espécie de transição

Globorotalia inflata (d'Orbigny)

Globorotalia inflata é a única espécie cuja origem é relacionada às zonas de transição, localizada entre as províncias subpolar e subtropical. Sua maior abundância no Oceano Atlântico ocorre entre 25°S e 50°S.

- Espécies subtropicais

Globigerinoides ruber (d'Orbigny)

Globigerinoides ruber é a mais bem sucedida espécie de águas quentes no que tange a abundância e distribuição tanto nas águas ocânicas quanto nos sedimentos superficiais. Embora o pico de sua abunância ocorra nas regiões subtropicais é extremamente comum nos sedimentos tropicais.

Globorotalia truncatulinoides (d'Orbigny)

Globorotalia truncatulinoides é uma espécie de médias latitudes e suas populações exibem clara preferência pelas condições de inverno. A forte natureza sazonal desta espécie justifica sua baixa ocorrência nos sedimentos superficiais.

Globorotalia hirsuta (d'Orbigny)

Globorotalia hirsuta é uma espécie rara nos sedimentos superficiais dificilmente representando 5% da fauna fóssil total.

Globigerinella siphonifera (Brady)

Globigerinella siphonifera é uma espécie tropical-subtropical que ocorre preferencialmente em correntes próximas as áreas continentais ou regiões de ressurgência.

Orbulina universa (d'Orbigny)

Orbulina universa é uma espécie de ocorrência vasta no Oceano Atlântico encontrada nos sedimentos superficiais desde 65°N a 50°S.

Globigerinoides conglobatus (Brady)

Globigerinoides conglobatus é uma espécie subtropical que vive em populações que habitam as águas centrais no Oceano Atlântico. Por apresentar uma espessa testa esta espécie tende a ter uma boa preservação mesmo em bacias localizadas a grandes profundidades.

- Espécies tropicais

Globigerinoides sacculifer (Brady)

Globigerinoides sacculifer é uma espécie estritamente tropical e sua abundância máxima ocorre entre 20°N e 20°S. Sua maior ocorrência (>20%) ocorre ao longo do cinturão equatorial Atlântico.

Globorotalia menardii menardii (d'Orbigny)

Globorotalia menardii menardii é uma espécie predominantemente tropical e suas maiores dendidades ocorrem entre 20°N e 10°S no Oceano Atlântico.

Globoquadrina dutertrei (d'Orbigny)

Globoquadrina dutertrei é uma espécie tropical-subtropical que ocorre em abundância em sistemas de correntes ao longo das margens continentais e em regiões de ressurgência. Em regiões oceânicas centrais, longe das massas continentais, a ocorrência desta espécie é rara.

Pulleniatina obliquoloculata (Parker e Jones)

Pulleniatina obliquoloculata é uma espécie tropical na qual a abundância máxima nos sedimentos superficiais ocorre em um cinturão relativamente estreito, entre 10°N e 10°S. Esta área coincide com a área do sistema de correntes equatoriais.

4.2.4 Preparação das Amostras de Foraminíferos Planctônicos

Os procedimentos de recuperação dos foraminíferos planctônicos e processamento das amostras (que incluem as etapas de pesagem do material, lavagem, secagem e peneiramento) estão descritos em Toledo (2000) e Costa (2000).

4.2.4.1 Análise Faunal de Foraminíferos Planctônicos

Para a análise quantitativa de foraminíferos planctônicos este estudo seguiu a metodologia utilizada pelo CLIMAP (1976, 1981), analisando a fração de sedimentos maior que 150 µm. Após serem peneiradas, as amostras foram separadas, processo conhecido como "*quarteamento*", até obter-se um número entre 300 - 600 espécimes de foraminíferos planctônicos. Nos dois testemunhos estudados foram analisadas 23 amostras, totalizando aproximadamente 33.400 foraminíferos planctônicos observados, sendo cerca de 20.700 espécimes no KF-C e cerca de 12.700 espécimes no KF-B, todos devidamente identificados em lâminas micropaleontológicas. A seqüência do processo foi a seguinte:

(1) Quartearmento da amostra sedimentar quantas vezes forem necessárias para que se obtenha entre 300-600 espécimes de foraminíferos planctônicos por amostra;

(2) Contagem e identificação, em nível de espécie, toda fauna de foraminíferos planctônicos observada na lâmina;

Em cada amostra sedimentar analisada foram discriminadas, em uma planilha, todas as espécies de foraminíferos planctônicos observados. Nesta planilha continha o número de espécimes observados e quais espécimes foram

observados por intervalo amostrado, assim como o número de separações efetuadas e o peso seco inicial da amostra sedimentar.

4.3 Isótopos Estáveis: Oxigênio ($\partial^{18}O$) e Carbono ($\partial^{13}C$)

O estudo isotópico das testas dos foraminíferos planctônicos é importante na determinação de parâmetros paleoceanográficos desejados, porém não observados (*i.e. proxies*). A composição isotópica do oxigênio é função da temperatura da água do mar e a composição isotópica do carbono é amplamente influenciada pela produtividade; desta forma a razão $^{18}O/^{16}O$ ($\partial^{18}O$) atua como *proxy* de paleotemperatura assim como a razão $^{13}C/^{12}C$ ($\partial^{13}C$) atua como *proxy* de paleoprodutividade.

Este estudo utiliza as curvas de variação dos valores de $\partial^{18}O$ e $\partial^{13}C$ do foraminífero planctônico *Globigerinoides ruber* 'branca' ao longo dos últimos 30.000 anos. Pretende-se desta forma relacionar estes *proxies* de paleotemperatura e de paleoprodutividade com as abundâncias relativas das principais espécies de foraminíferos planctônicos estudados. Estas informações visam auxiliar na compreensão das mudanças oceanográficas no Atlântico equatorial durante os últimos 30.000 anos.

4.3.1 Oxigênio ($\partial^{18}O$)

As testas calcíticas dos foraminíferos planctônicos depositados nos fundos oceânicos estão entre as mais importantes fontes para a compreensão de paleotemperaturas marinhas (Niebler *et al*, 1999). Estas estruturas biogênicas têm a capacidade de registrar a composição isotópica do oxigênio e, conseqüentemente, a temperatura do ambiente em que viveram em sua testa.

O elemento oxigênio apresenta três isótopos: ^{16}O, ^{17}O e ^{18}O. O mais abundante é o ^{16}O (99,76%) enquanto que o ^{17}O e ^{18}O compreendem, respectivamente, 0,04% e 0,2% do oxigênio total. Diversos estudos focam a razão

dos isótopos mais abundantes ^{16}O e ^{18}O. A composição isotópica de uma amostra sendo medida é expressa em $\partial^{18}O$:

$$\partial^{18}O\ (‰) = \{[(^{18}O/^{16}O)_{amostra} - (^{18}O/^{16}O)_{padrão}] / (^{18}O/^{16}O)_{padrão}\} * 1000,$$

que representa a diferença na razão ($^{18}O/^{16}O$) entre a amostra e o padrão, expresso em partes por mil. As amostras de carbonato são medidas em relação ao padrão PDB (formação belemnite do cretáceo em *PeeDee*, Carolina do Sul, EUA), onde as amostras de água referem-se ao SMOW (*Standard Mean Ocean Water*). Esta nomenclatura é conhecida por V-PDB e V-SMOW (Niebler *et al*, 1999).

Diversos estudos têm demonstrado que existe uma variabilidade tanto nos valores de $\partial^{18}O$ quanto no fluxo de muitas espécies de foraminíferos planctônicos (Deuser e Ross 1989). No entanto já foi demonstrado que as variações sazonais na razão isotópica do oxigênio de *Globigerinoides ruber* é função direta da temperatura da água. Isto prova que o sinal de temperatura registrado é transportado para o sedimento sem alterações significantes (Mulitza *et al*, 2004).

Os foraminíferos planctônicos podem viver verticalmente dispersados na coluna d'água e a profundidade de *habitat* pode influenciar a composição isotópica do oxigênio do foraminífero planctônico (Fairbanks *et al*, 1980; Kemle von Mücke e Oberhänsli 1999; Mulitza *et al*, *op.cit.*).

Muitas espécies de foraminíferos planctônicos precipitam suas testas na zona de máxima clorofila, uma das principais fontes de alimento explorada pelos foraminíferos planctônicos (Fairbanks *et al*, 1982). Entretanto, os dados de isótopos das espécies que ocupam a superfície indicam que estes foraminíferos precipitam sua testa em zonas de profundidades que são significantemente mais estreitas do que a distribuição total destas espécies na coluna d'água (Fairbanks *et al*, *op.cit.*).

As espécies *Globigerinoides ruber* e *G. sacculifer*, que habitam a superfície dos oceanos, podem ser encontradas em até centenas de metros de profundidade. No entanto os valores isotópicos de suas carapaças indicam que a

calcificação ocorre dentro da zona fótica, onde ambas as espécies exibem suas maiores abundâncias (Mulitza *et al*, 2004).

Todavia é evidente que os valores de $\partial^{18}O$ de *G. sacculifer* aumentam dentro da termoclina sazonal enquanto que os valores de $\partial^{18}O$ de *G.ruber* são relativamente constante através de toda a coluna d'água. Isto indica que a profundidade de calcificação de *G.ruber* é menor que a profundidade de calcificação de *G. sacculifer* (Mulitza *et al*, *op.cit.*).

Como dito anteriormente, a composição isotópica do oxigênio nos foraminíferos planctônicos depende, principalmente, da temperatura e do $\partial^{18}O$ da água do mar. Esta última foi sujeita a grandes variações de temperatura ao longo do período Quaternário devido as variações no volume de gelo global. O gelo acumulado nos continentes apresenta, geralmente, baixos valores de $\partial^{18}O$. Por este motivo o aumento e a diminuição das massas de gelo têm um significativo efeito na composição isotópica dos oceanos (Mulitza *et al*, *op.cit.*).

As estimativas do "efeito do gelo" variam entre 1,3‰ (Fairbanks, 1989) e 1‰ (Laberyie *et al*. 1987). Entretanto deve-se notar que a composição isotópica do oxigênio da água do mar em uma determinada região é influenciada por efeitos locais, *e.g.* mudanças na circulação ou no balanço de mistura e no volume de gelo global. Até mesmo as mudanças dos valores de $\partial^{18}O$ entre os períodos glaciais e interglaciais em águas profundas não são uniformemente distribuídas. Por exemplo, Shrag *et al*. (1996) reportaram diferentes mudanças entre 0,7‰ e 1,1‰ em diferentes pontos do Atlântico.

Infelizmente o sinal paleoceanográfico do $\partial^{18}O$ dos foraminíferos planctônicos é dissimulado por efeitos fisiológicos e ecológicos que geram um "desequilíbrio isotópico do oxigênio" em relação ao $\partial^{18}O$ da água do mar. Desta forma, um bom conhecimento da ecologia, do ciclo de vida e dos processos de calcificação das testas das espécies dos foraminíferos planctônicos é essencial para a correta interpretação dos registros fósseis (Niebler *et al*, 1999).

Este estudo analisa o $\partial^{18}O$ do foraminífero planctônico *Globigerinoides ruber* 'branca' como *proxy* de paleotemperatura procurando avaliar a variação destes valores nos últimos 30.000 anos. Estes valores serão correlacionados com

as abundâncias relativas das principais espécies de foraminíferos planctônicos observados, objetivando compreender as mudanças paleoceanográficas na região equatorial brasileira durante os últimos 30.000 anos.

4.3.2 Carbono ($\partial^{13}C$)

Os organismos unicelulares zooplanctônicos (*e.g.* foraminíferos planctônicos) e fitoplânctonicos são as maiores fontes de carbono orgânico no ambiente marinho. Além da matéria orgânica alguns organismos planctônicos constroem testas que consistem de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) ou opala (SiO_2 . nH_2O). Estes três componentes, especialmente o carbonato de cálcio, constituem potencialmente toda a fração biogênica nos depósitos sedimentares nos fundos oceânicos (Rühlemann, *et al*, 1999).

Estudos de paleoprodutividade em sedimentos marinhos procuram documentar mudanças temporais e espaciais na produção destes componentes biogênicos e encontrar as causas e efeitos em particular no que diz respeito ao clima da Terra.

A razão $^{13}C/^{12}C$ ($\partial^{13}C$) das testas dos foraminíferos planctônicos é afetada por uma variedade de fatores, destacando-se o fracionamento dos isótopos de carbono durante a fotossíntese algal. As algas preferencialmente assimilam o ^{12}C do carbono inorgânico dissolvido e em tempos de alta produtividade as águas oceânicas superficiais tornam-se enriquecidas em ^{13}C aumentando, desta forma, o valor da razão $^{13}C/^{12}C$ ($\partial^{13}C$) (Bradley, 1999).

É importante ressaltar que os dados isotópicos de carbono em foraminíferos podem sofrer alterações devido a outros fatores que não apenas as variações na produtividade primária, *e.g.* efeitos vitais e simbiose.

Neste estudo o $\partial^{13}C$ ($^{13}C/^{12}C$) do foraminífero planctônico *Globigerinoides ruber* 'branca' é utilizado como *proxy* de paleoprodutividade, procurando analisar a variação destes valores nos últimos 30.000 anos. Desta forma, este estudo busca conhecer estas variações correlacionando-as com as possíveis variações

paleoceanográficas ocorridas nesse intervalo de tempo na região equatorial brasielira.

4.4 Estimativa de Paleotemperatura Superficial

A relação entre a distribuição das faunas modernas dos foraminíferos planctônicos e as condições físicas dos oceanos atuais é amplamente empregada em estudos paleoceanográficos (Princípio do Uniformitarismo). Esta interessante perspectiva foi descoberta nos primeiros estudos paleoceanográficos e, desde então, as reconstruções paleoceanográficas e as mudanças climáticas ao longo do Quaternário a partir de faunas fósseis têm sido um procedimento freqüentemente utilizado (Malmgren *et al* 2001).

Alguns estudos procuram quantificar a relação entre a abundância das espécies e os parâmetros físicos observados, respaldados por métodos matemáticos relativamente simples. No entanto, o esforço dos pesquisadores para o aperfeiçoamento da precisão das estimativas fez com que eles recorressem a métodos, estatísticos e computacionais, mais complexos (Malmgren *et al* 2001).

Até o momento três diferentes abordagens têm sido empregadas para quantificar a relação entre os dados faunais e as propriedades físicas do ambiente.

A primeira abordagem, conhecida como função de transferência de Imbrie-Kipp (*IKTF – Imbrie-Kipp Transfer Function*), utiliza a técnica estatística padrão de análise de componentes principais de modo-Q para decompor a variação do dado faunal em um número menor de variáveis, que são reduzidas em parâmetros ambientais físicos (Malmgren *et al* 2001; Kucera, M. 2003).

A técnica do análogo moderno (*MAT – Modern Analog Technique*) não gera uma única fórmula de calibração entre os dados faunais e os dados físicos. Ao invés disto este método procura por uma base de dados de amostras de faunas modernas com a assembléia que mais se aproxima da assembléia fóssil estudada. O ambiente representativo desta assembléia fóssil é, desta forma, reconstruída a partir das propriedades físicas registradas nas amostras que representam os melhores análogos modernos (Malmgren *et al* 2001; Kucera, M. 2003).

Enquanto o método de Imbrie-Kipp baseia-se na hipótese que a reconstrução dos parâmetros físicos a partir das espécies irá fornecer as estimativas mais confiáveis dos paleoambientes, a técnica do análogo moderno recorre apenas à busca por situações modernas mais similares àquelas amostras fósseis observadas. Aperfeiçoamentos significantes desta abordagem incluem o método do análogo moderno com índice de similaridade (*SIMMAX*) (Pflaumann *et al*, 1996) e o método de análogo revisado (*RAM – Revised Analog Method*) (Kucera, M. 2003).

A mais moderna abordagem utiliza redes neurais artificiais (*ANN – Artificial Neural Networks*), um ramo da inteligência artificial. Este método baseia-se no fato de que existe, realmente, uma relação entre a distribuição das faunas modernas e as propriedades físicas do ambiente. As redes neurais artificiais têm a habilidade de superar problemas de relações complexas não-lineares entre as variáveis (Kucera, 2003; Kucera *et al*, 2005).

Esta abordagem, de caráter profundamente computacional, é baseada em um algoritmo que tem a habilidade de aprendizagem autônoma de uma relação entre dois grupos de membros. Uma vez treinado, a rede neural artificial atua como uma única função de transferência, já que ao mesmo tempo esta função altamente não-linear e recorrente é tão complexa que tem a habilidade de simular uma decisão algorítmica. A utilidade das redes neurais artificiais foi demonstrada por Malmgren *et al.* (2001).

A existência de diferentes abordagens sobre estimativas de paleotemperatura superficial dos oceanos inevitavelmente levanta questões a cerca de qual metodologia é a mais eficaz. Um rigoroso e detalhado estudo avaliou a eficácia das metodologias acima citadas, usadas para reconstruir a relação entre faunas modernas e condições ambientais (Malmgren *et al, op. cit.*). A comparação foi baseada na contagem dos foraminíferos planctônicos de amostras de topo do Atlântico de Pflaumann *et al* (1996), que incluem os dados gerados pelo CLIMAP (*Climate: Long-Range Investigation, Mapping and Prediction*).

As comparações indicaram que enquanto a técnica de Imbrie-Kipp consistentemente exibiu as piores performances, as técnicas de redes neurais artificiais (*ANN*) e do análogo moderno revisado (*RAM*) efetuaram melhores performances que a técnica do análogo moderno (*MAT*). A inclusão de informações geográficas à base de dados em treinamento (*SIMMAX* e *ANND*), aperfeiçoa a acuracidade de estimativas modernas de temperatura superficial do mar (Malmgren *et al., op. cit.*).

Entretanto quando aplicado a um conjunto de dados de validação independente os resultados não confirmam este *ranking*. As maiores diferenças nos valores das temperaturas superficiais marinhas ocorreram entre os grupos de técnicas com diferentes abordagens: *ANN* e *ANND* produziram reconstruções de temperatura superficial marinha significantemente diferentes daquelas produzidas por *RAM*, *SIMMAX* e *MAT* (Malmgren *et al., op. cit.*).

A aplicação de diversas técnicas para a validação do conjunto de dados que permitiu a comparação de reconstrução de temperaturas superficiais marinhas, sugere que as redes artificiais neurais (*ANN*) fornecem melhores estimativas de paleotemperaturas marinhas do que as outras técnicas citadas anteriormente (Malmgren *et al* 2001). Por este motivo este estudo utilizou a técnica de redes artificiais neurais (*ANN*) para a realização das estimativas de paleotemperaturas.

Os dados referentes às abudâncias relativas (%) das espécies observadas neste estudo foram enviados sob a forma de planilhas (Microsoft Excel) ao Laboratório do MARGO (*Multiproxy Approach for the Reconstruction of the Glacial Ocean surface*), onde as paleotemperatura foram estimadas.

4.5 Análise Fatorial

Os foraminíferos planctônicos são afetados diretamente pelos parâmetros físicos e químicos da região em que habitam. Se conhecermos estes parâmetros e como eles influenciam a distribuição espaço-temporal assim como abundância

relativa das espécies é possível utilizar o registro fóssil destes organismos para reconstruir o estado e as variações de ambientes passados.

Nos estudos de caráter paleoceanográficos e paleoecológico, as assembléias microfossilíferas são selecionadas de diferentes localidades e/ou intervalos de tempo. Isto requer uma análise e uma interpretação de dados compostos por um grande número de variáveis (Prentice, 1986). Desta forma, a análise estatística multivariada é importante, já que este artifício ressalta os parâmetros ecológicos desejados, simplificando a estrutura dos dados, tornando-os mais fáceis de ser explorados (Parker e Arnold, 1999).

Como os dados de foraminíferos planctônicos são geralmente esparsos (*i.e.* presença muitas espécies em baixo número de amostras) os pesquisadores costumam eliminar as espécies raras das análises com intuito de melhorar as respostas analíticas. Tradicionalmente, espécies com abundâncias relativas abaixo de 1% ou 2% são eliminadas. Entretanto é importante reconhecer que os resultados analíticos não irão referir nada a respeito destas espécies ou da porção da fauna que representam (Parker e Arnold, 1999).

Em análise multivariada, os termos “amostras” e “variáveis” são frequentemente usados e merecem ser esclarecidos. O termo *amostra* refere-se a entidades que são conceitualmente compostas ou descritas por outras entidades, as *variáveis*. Desta forma, em estudos paleoceanográficos envolvendo foraminíferos planctônicos uma *amostra* seria *a coleção do registro da abundância de várias espécies* em um dado local e as *variáveis* seriam *as espécies* (Parker e Arnold, 1999).

A análise fatorial assume que a informação contida nos dados é composta de poucos fatores comuns a todas as entidades (*amostras*), somada aos fatores particulares de cada entidade individual (*espécie*). Os fatores fundamentais comuns não são diretamente observados, mas são refletidos nas entidades observadas. Uma implicação da abordagem da análise fatorial é que o número de fatores fundamentais comuns pode ser conhecido facilitando a interpretação ambiental (Landim, 2004).

A análise fatorial procura interpretar a estrutura de um conjunto de dados tanto em *modo-Q* quanto em *modo-R*, duas técnicas amplamente difundidas e utilizadas. Quando o interesse é entender as similaridades e as relações entre as *amostras* são utilizadas a *análise fatorial modo-Q* enquanto que o *modo-R* é aplicado quando o interesse é entender as relações e similaridades entre as *espécies* (*variáveis*) (Landim, *op.cit.*).

Um estudo no oceano Atlântico tropical revelou que interpretações dos fatores faunais e sua correlação com parâmetros oceanográficos da zona fótica são facilmente entendidas, quando considerada a ecologia da camada superior dos oceanos. Em regiões pelágicas, onde a camada de mistura extende-se abaixo da zona fótica, os sedimentos são ricos em espécies da camada de mistura (*e.g. G. ruber* e *G. sacculifer*) (Ravelo *et al.,* 1990).

Este estudo utilizou análise fatorial modo-Q, processadas no programa computacional *Statistica 7.0 / Statsoft* 2005, licenciado para o Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, durante o segundo semestre de 2006.