

Distribuição estratigráfica quantitativa de foraminíferos planctônicos no Quaternário da margem continental do Sudeste brasileiro

Quantitative stratigraphic distribution of planktonic foraminifera in the quaternary of the Southeastern Brazilian continental margin

Marco Aurélio Vicalvi

resumo

Este trabalho utiliza o arcabouço bioestratigráfico anteriormente estabelecido para o Quaternário da margem continental do Sudeste do Brasil, para mostrar como as relações quantitativas entre as associações de foraminíferos planctônicos, que caracterizam os intervalos zonais e subzonais dos últimos 1,8 milhão de anos, podem auxiliar no posicionamento cronoestratigráfico de amostras de testemunhos a pistão oriundos das bacias de Santos, Campos, Espírito Santo e Jequitinhonha. É o resultado de centenas de cálculos sobre as variações

percentuais do grupo *Globorotalia menardii*, dos gêneros *Pulleniatina* e *Orbulina* e das espécies *Globorotalia inflata* e *Globorotalia truncatulinoides*. Relacionaram-se os percentuais médios de cada grupo, gênero ou espécie em cada intervalo zonal e subzonal e seus marcos locais e globais diante de uma escala de tempo, de acordo com o zoneamento definido inicialmente para o Quaternário Superior da Bacia de Campos. O presente trabalho, porém, abrange todo o Quaternário e é válido para as bacias marginais do Sudeste brasileiro.

Palavras-chave: Quaternário | bioestratigrafia | foraminíferos planctônicos

abstract

A biostratigraphic template is presented in this paper, based on the quantitative vertical succession of planktonic foraminifera species associations that characterize zonal and sub-zonal intervals during the last 1.8 million years, for the SE Brazil continental margin basins. It is the result of a compilation of hundreds of counts of percentage variations of the Globorotalia menardii group, of the genera Pulleniatina and Orbulina and of the species Globorotalia inflata and Globorotalia truncatulinoides, in samples from jumbo piston cores from the Santos, Campos, Espirito Santo basins and also from Jequitinhonha. The average percentages of each group, genera or species for each zonal or sub-zonal interval and its local and global markers were plotted against a timescale, as, it was mentioned above, restricted to the late Quaternary of the Campos Basin. This new template, however, spans the entire Quaternary period and it is valid for the SE Brazilian marginal basins.

(Expanded abstract available at the end of the paper).

Keywords: Quaternary | biostratigraphy | planktonic foraminifera

introdução

Inspirado em Ericson e Wollin (1968), Vicalvi (1997, 1999) elaborou um arcabouço bioestratigráfico para o Quaternário Superior da Bacia de Campos, com base na sucessão vertical de associações de foraminíferos planctônicos.

As associações que permitiram reconhecer cada um dos intervalos zonais e subzonais foram descritas, mas com a advertência de que estes intervalos definidos não são unidades bioestratigráficas *stricto sensu*, pois se baseiam em eventos climáticos recorrentes. Por serem recorrentes, as espécies que compõem a maioria das associações que caracterizam estes intervalos são, de modo geral, sempre as mesmas. Este trabalho procura mostrar que, embora esta afirmativa seja verdadeira, a proporção entre as espécies é diferente para cada intervalo.

Quando se trabalha com eventos climáticos de natureza recorrente, o ideal seria analisar seções completas através de uma sequência de amostras. Como nem sempre isto é possível, obrigando em algumas ocasiões a utilização de amostras isoladas, a tarefa de identificação dos intervalos bioestratigráficos propostos torna-se muito difícil.

Para facilitar o posicionamento cronoestratigráfico de uma determinada amostra isolada procurou-se mostrar as características faunais de cada associação para cada intervalo zonal, utilizando-se da média da frequência das espécies para cada um deles.

Para uma melhor compreensão e visualização da distribuição dessas associações, utilizou-se a figura 1, onde as espécies características dos intervalos zonais e subzonais do Quaternário Superior eram apresentadas com suas variações quantitativas estimadas e marcos locais diante de uma escala de tempo correspondente aos últimos 186 mil anos.

Esta figura 1, que teve a sua eficiência comprovada durante vários anos de aplicação nos estudos da estabilidade geotécnica e datação de eventos de movimentos de massa do talude continental, vinha ilustrando as comunicações e relatórios técnicos sobre o posicionamento cronoestratigráfico das amostras de testemunhos a pistão longos (20m) obtidos em várias áreas do talude da margem continental brasileira.

Com o avanço das pesquisas para águas ultraprofundas com baixas taxas de sedimentação e

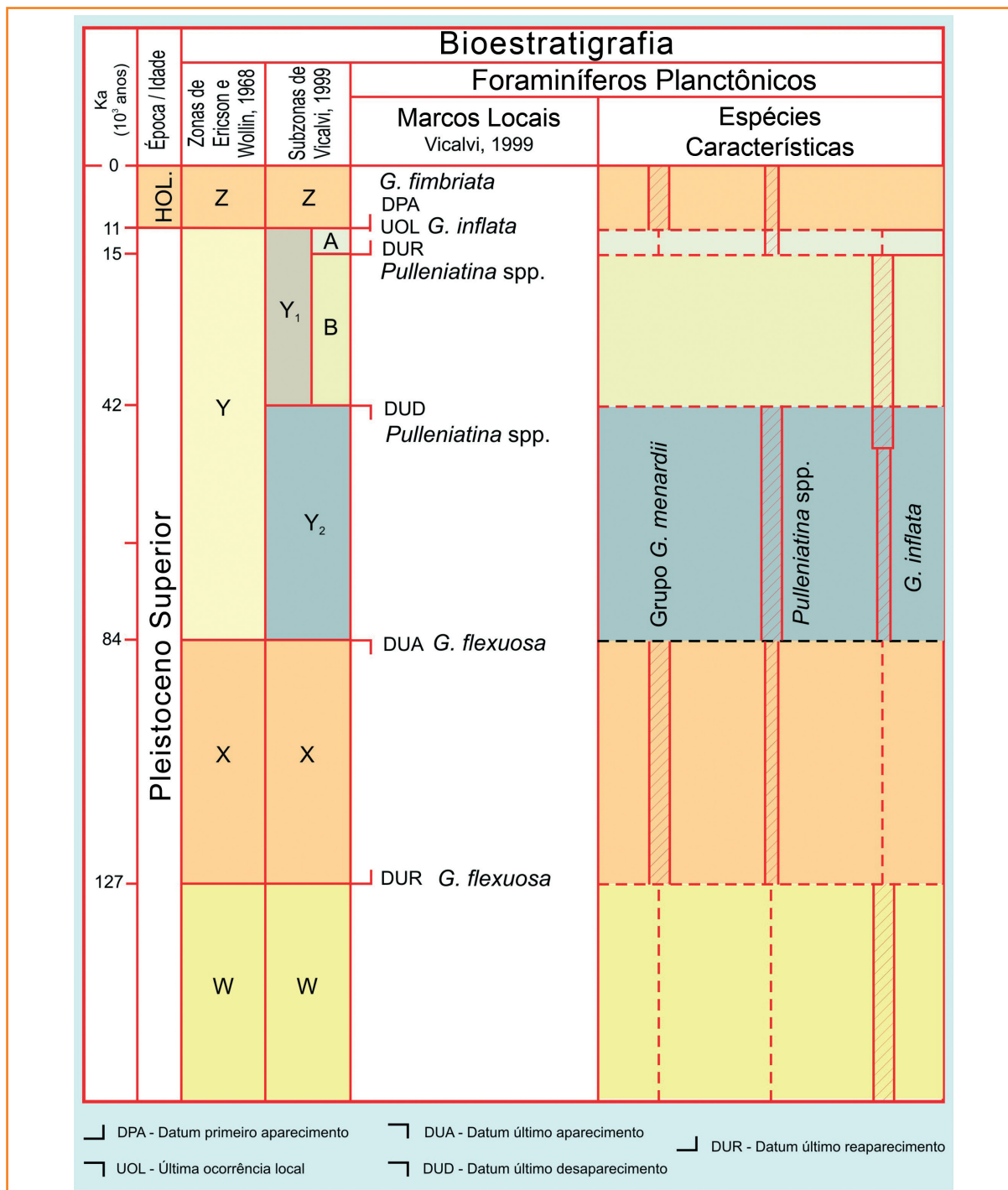


Figura 1
Esquema do biozoneamento do Quaternário Superior da Bacia de Campos onde a distribuição vertical das espécies de foraminíferos planctônicos características dos intervalos zonais e subzonais eram apresentadas com suas variações quantitativas estimadas.

Figure 1
Template of the biozonation for the Late Quaternary of the Campos basin, where the vertical distribution of planktonic foraminifera species characteristic of the zonal and sub-zonal intervals are presented with their estimated quantitative variations.

consequente recuperação de sequências mais antigas do Quaternário, antes só atingidas em áreas de afloramentos submarinos, fez-se necessário o estabelecimento da distribuição quantitativa dos táxons para todo o Quaternário. O resultado foi o reconhecimento da sequência bioestratigráfica completa para o Pleistoceno e Holoceno, conforme definida originalmente por Ericson e Wollin (1968) e detalhada neste trabalho.

método

Os cálculos foram realizados para centenas de amostras provenientes de testemunhos a pistão, de até 20m de comprimento, coletados em várias campanhas, nos taludes das bacias de Santos, Campos, Espírito Santo e Jequitinhonha. Para estes cálculos utilizaram-se os resultados das

análises de todas as amostras de seções completas de todos os testemunhos.

Inicialmente, após identificação e contagem das espécies características em cada amostra, obteve-se uma média percentual para cada espécie para cada intervalo zonal ou subzonal da Bacia de Campos. Em seguida, calculou-se a média percentual das espécies para cada intervalo zonal ou subzonal das demais

bacias. Finalmente, tomou-se a média percentual de cada espécie para cada zona ou subzona de cada bacia e tirou-se uma média final para os intervalos zonais e subzonais de todas as bacias da margem continental sudeste. A tabela 1 traz os números para um testemunho da Bacia de Campos apenas tomado como exemplo de aplicação do método e a figura 2 mostra a curva resultante obtida com estes números.

Tabela 1

Participação percentual das espécies planctônicas selecionadas na composição da fauna total de cada amostra de um testemunho tomado como exemplo de aplicação do método, coletado na Bacia de Campos. Em azul, biozonas glaciais e em rosa, biozonas interglaciais.

Table 1

Percent participation of selected planktonic foraminifera species in the total faunal composition of each sample from a piston core taken as an example of the application of the methodology, collected in the Campos Basin. In blue, we see glacial biozones and in pink, interglacial biozones.

Amostras cm	Globorotalia menardii %	Pulleniatina obliquiloculata %	Globorotalia inflata %	Globorotalia truncatulinoides %	Zonas de Ericson e Wollin, 1968 e Subzonas Vicalvi, 2009		
6	18,09	0,95	0	7,61	Z		
11	21,22	0,94	1,88	1,88			
17	32,26	0,53	0	4			
27	0,8	2,4	5,62	22,08	A	Y ₁	
40	0	0,34	7,54	4,83			
43	0	2,67	5,35	19,64	B		
50	0	0	9,18	9,89			
57	0	0	4,67	5,65			
63	0	0	10,22	5,77			
70	0	0	9,11	4,22			
75	0	0	9,47	7,58			
88	0	0,27	9,87	6,93			Y ₂
130	0	2,99	20,35	16,76			
149	0	0,3	13,31	7,4			
160	0	0,41	16,53	8,26			
180	0	0,98	14,71	9,48			
193	0	3,5	16,66	3,5			
236	0	9,05	17,73	9,43			
262	0,36	11,59	3,62	5,43	X		
272	0,88	2,64	3,81	1,47			
282	28	0,97	2,91	6,47			
294	51,04	3,49	3,49	7,69			
376	25,96	6,66	2,45	5,26			
423	10,81	7,86	2,95	9,18	W		
440	0	0,48	9,81	12,44			
470	0,49	0,74	7,13	16,22			
510	3,89	0,39	12,84	9,34	V		
545	14,29	1,3	3,03	2,06			
650	22,5	0,36	3,93	1,79			
710	36,93	1,96	4,25	3,59			
815	22,85	3,56	7,72	1,48			
880	10,35	0	11,65	6,65			
910	25,97	0,52	8,31	2,86			
940	18,51	1,79	9,25	1,19			
1060	23,99	0,67	2,69	3,36			
1100	9,73	0,34	7,05	2,01			
1250	20,56	0	6,31	6,54			
1315	36,07	0	15,16	4,92			
1410	15,97	0,42	0	1,68			
1550	18,75	0	2,08	19,58			
1600	23,77	0	1,89	13,58			
1630	23,6	0	2,8	6,52			
1640	1,35	0,45	10,36	4,95		U	
1650	0,35	0,35	12,94	3,5			
1740	0	12,46	1,56	1,56			
1870	0	13,4	4,12	2,41			
1950	0	10,62	6,42	7,08			
1975	0,47	3,74	7,48	2,8			
1990	17,94	0	1	12,62	T		
2035	30,99	0,28	0	18,03			

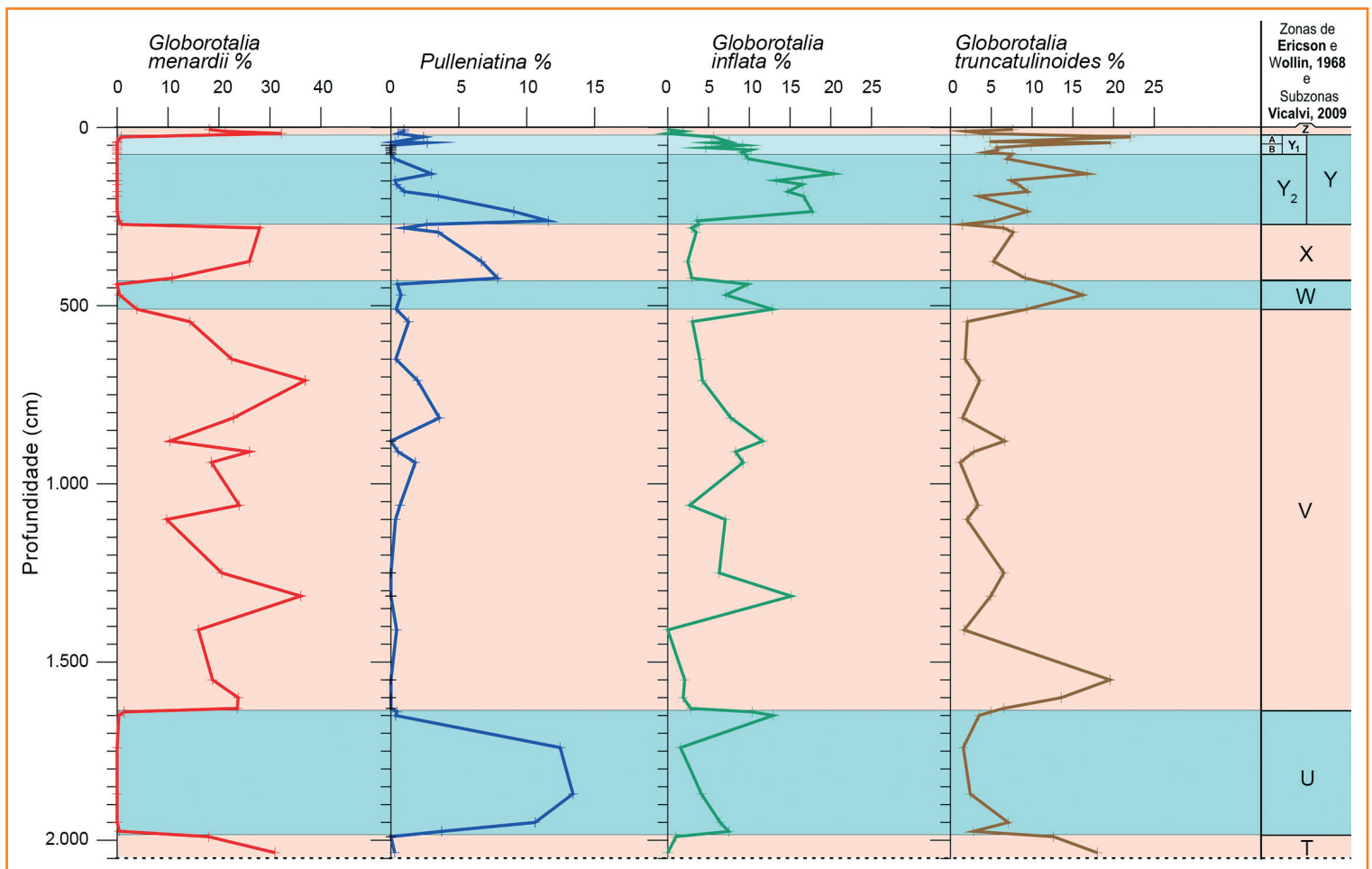


Figura 2 - Curvas para quatro espécies de foraminíferos planctônicos, utilizando-se dos percentuais da tabela 1, por meio dos quais foi possível identificar biozonas glaciais, em azul e biozonas interglaciais, em rosa.

Figure 2 - Curves for four species of planktonic foraminifera using the percentages from Table 1, from which it is possible to identify glacial biozones in blue and interglacial biozones in pink.

A escala de tempo utilizada para os marcos locais e para os intervalos zonais foi baseada, respectivamente, em Vicalvi (1997, 1999) e na compilação de Kohl *et al.* (2004) e suas referências. Os marcos globais são de Ogg e Lugowski, 2006.

caracterização dos intervalos bioestratigráficos

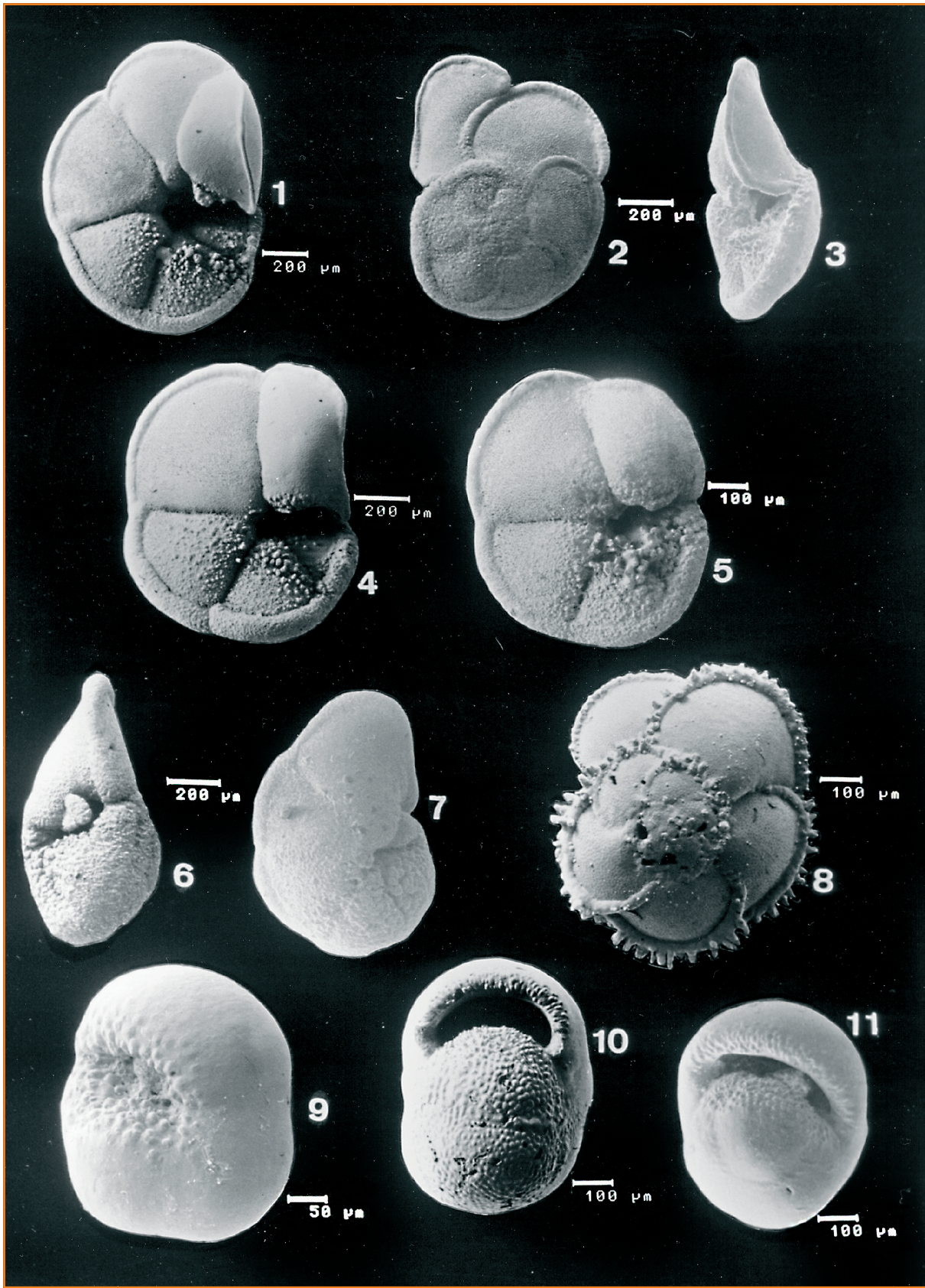
A sequência bioestratigráfica original definida por Ericson e Wollin (1968) para o Quaternário, baseada apenas na *Globorotalia menardii* e adaptada por Vicalvi (1997, 1999) inicialmente para a Bacia de Campos e aqui para as demais bacias da margem continental Sudeste, compreende uma sucessão de

dez intervalos bioestratigráficos denominados, do mais velho para o mais novo, de Q a Z, identificados em seções contínuas de testemunhos a pistão:

- 1) Zona Q – Foi identificada através de afloramentos submarinos no talude da Bacia de Jequitinhonha e em seções contínuas na Bacia de Santos. Está caracterizada pela ausência de menardiformes e abundância de *G. truncatulinoides* (>9%) e *Orbulina* spp. (>9%). Comparecem em pequeno número *Pulleniatina* spp. (1%-3%) e *G. inflata* (0%-1%);
- 2) Zona R – Registra um reaparecimento abrupto de menardiformes. Está representada por altos percentuais do grupo *G. menardii* e de um pequeno percentual de exemplares do gênero *Pulleniatina* spp. Os percentuais de *G. inflata* são baixos, sempre subordinados à espécie *G. truncatulinoides*. *Orbulina* spp. está bem representada;

- 3) Zona S - O limite entre as zonas R e S é marcado pelo desaparecimento do grupo *G. menardii* e um ligeiro predomínio de *G. truncatulinoides* (3%-5%) sobre *G. inflata* (1%-3%) e *Pulleniatina* spp. (1%-3%). A Zona S foi identificada em testemunhos das bacias de Campos e Santos;
- 4) Zona T – A base desta está marcada pelo reaparecimento do grupo *G. menardii*. Esta zona é ainda distinguida pelas baixas ocorrências de *Pulleniatina* spp. (0%-1%) e *G. inflata* (1%-3%) e pela presença proeminente de *G. truncatulinoides* (7%-9%);
- 5) Zona U – Nesta zona são raros ou ausentes os exemplares do grupo *G. menardii*. É facilmente distinguida pelos altos percentuais de *Pulleniatina* spp. na sua parte inferior e mediana, chegando até 15%. Este percentual decresce na sua parte superior, para uma média final entre 5%-7%. *G. inflata*, com o mesmo percentual médio (5%-7%) do gênero *Pulleniatina* spp. supera a presença de *G. truncatulinoides* (3%-5%);
- 6) Zona V – O limite entre as zonas U e V é marcado pelo repentino reaparecimento do grupo *G. menardii*, com *G. flexuosa* aparecendo concentrada na parte mais superior do intervalo. A Zona V corresponde a um longo intervalo de tempo (299 mil anos) e este grupo se apresenta com altos percentuais oscilando e alcançando até 55% da fauna. É muito comum, na média, a presença bastante variável de *G. inflata* (5%-7%) predominando sobre *G. truncatulinoides* (3%-5%) e *Pulleniatina* spp. (1%-3%);
- 7) Zona W – Está caracterizada pela ausência ou rara presença do grupo *G. menardii*. A espécie predominante neste intervalo é *G. truncatulinoides* com mais de 9% da fauna, secundada por *G. inflata* (5%-7%). O gênero *Pulleniatina* comparece com 1%-3%;
- 8) Zona X – É típica para esta zona a presença em altas percentagens do grupo *G. menardii* (com *G. flexuosa*) e, ao contrário da Zona V, a pouca representatividade de *G. inflata* (1%-3%). *Pulleniatina* spp. (3%-5%) e *G. truncatulinoides* (3%-5%) estão em equilíbrio e com maior presença do que *G. inflata*. O topo desta zona está marcado pelo último aparecimento de *G. flexuosa*;
- 9) Zona Y – Está caracterizada pela ausência ou rara presença do grupo *G. menardii* e pela proeminente presença das espécies *G. inflata* (7%-9%) e *G. truncatulinoides* (5%-7%). Dividida em duas subzonas, Y1 e Y2, diferencia-se pela ausência na primeira e presença na segunda, de espécies do gênero *Pulleniatina* (3%-5%). Por sua vez, a Subzona Y1, subdivide-se em A e B, também em função da presença-ausência de *Pulleniatina* spp. A Subzona Y1B não registra o gênero *Pulleniatina* e a Subzona Y1A marca o último reaparecimento deste gênero (0%-1%) e apresenta altos percentuais de *G. truncatulinoides* (>9%), indicando a passagem do Pleistoceno para o Holoceno;
- 10) Zona Z – O limite Pleistoceno/Holoceno (limite Y/Z) assinala o repentino reaparecimento do grupo *G. menardii*, incluindo *G. fimbriata* e quase uma completa ausência de *G. inflata* nas bacias de Campos e Espírito Santo e, eventualmente em baixos percentuais em Santos. *Globorotalia truncatulinoides* (3%-5%) predomina sobre *Pulleniatina* spp. (0%-1%).

As espécies de foraminíferos planctônicos utilizadas neste trabalho podem ser identificadas nas estampas 1 e 2, onde também são ilustradas a maioria das espécies encontradas no Quaternário das bacias do Sudeste brasileiro.



Estampa 1

Plate 1

Fig. 1 - *Globorotalia tumida flexuosa* (Koch)

Figs. 2 e 3 - *Globorotalia tumida flexuosa* (Koch)

Fig. 4 - *Globorotalia menardii* (d'Orbigny) forma *neoflexuosa**

Fig. 5 - *Globorotalia menardii menardii* (Parker, Jones e Brady)

Figs. 6 e 7 - *Globorotalia tumida tumida* (Brady)

Fig. 8 - *Globorotalia fimbriata* (Brady)

Fig. 9 - *Pulleniatina primalis* Banner e Blow

Fig. 10 - *Pulleniatina finalis* Banner e Blow

Fig. 11 - *Pulleniatina obliquiloculata* (Parker e Jones)

(* uso informal).

Estampa 2

Plate 2

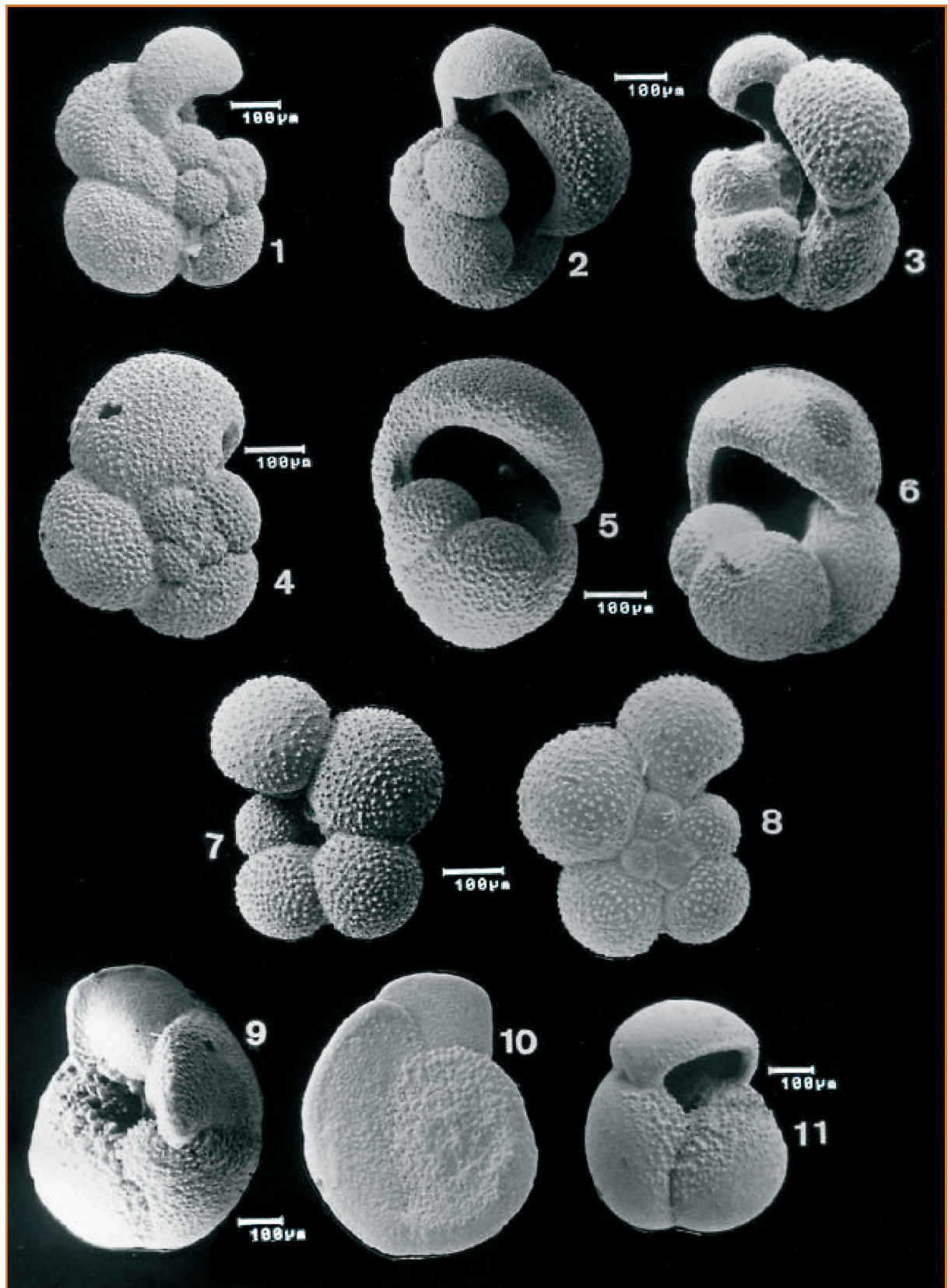
Figs. 1, 2 e 3 - *Globigerina bermudezi* Seiglie

Figs. 4, 5 e 6 - *Globigerina bermudezi* Seiglie

Figs. 7 e 8 - *Globigerina calida calida* Parker

Figs. 9 e 10 - *Globorotalia truncatulinoides* (d'Orbigny)

Fig. 11 - *Globorotalia inflata* (d'Orbigny)



resultado final

A figura 3 ilustra o resultado final deste trabalho cujo objetivo foi plenamente alcançado.

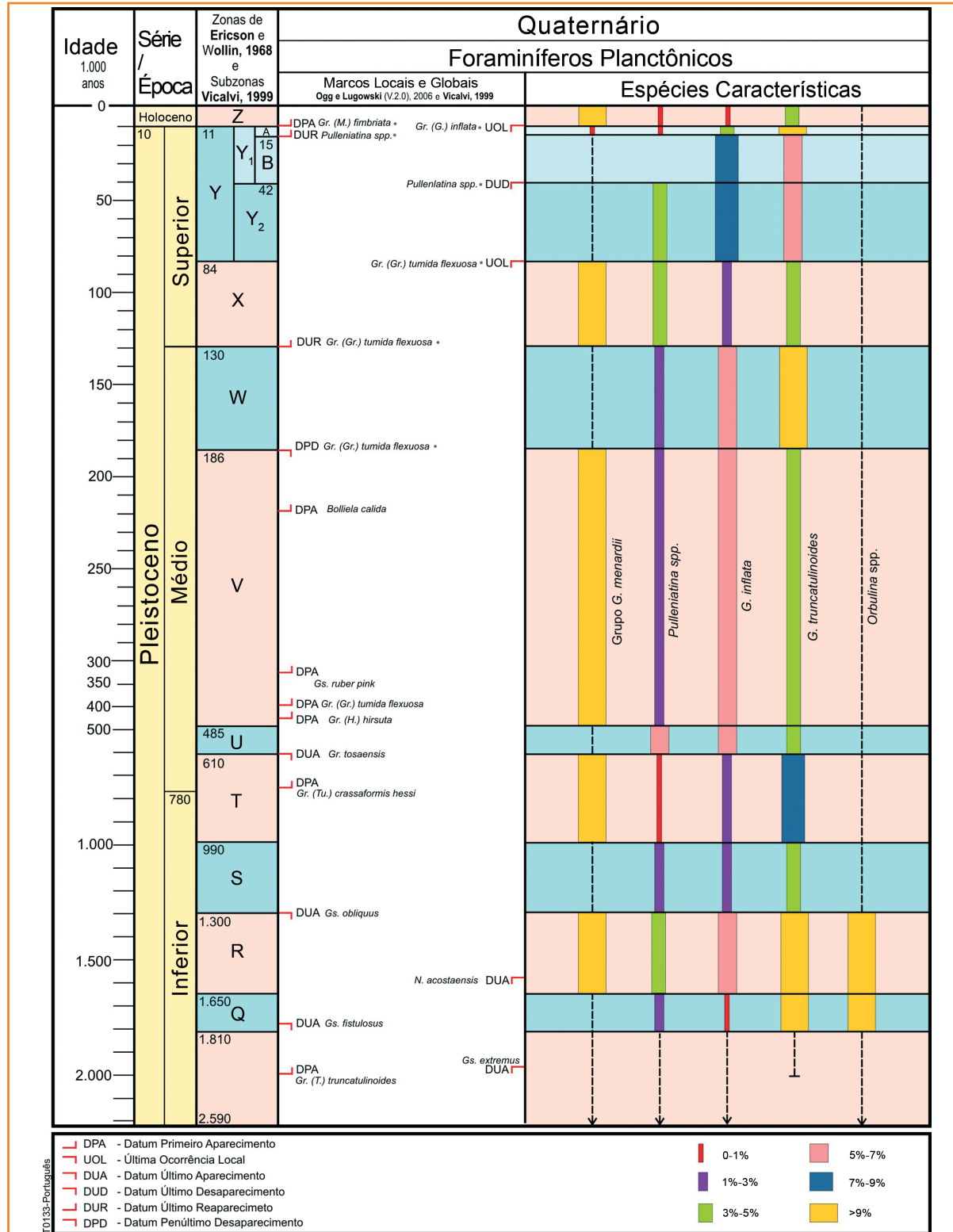


Figura 3

Esquema do biozoneamento do Quaternário das bacias da margem continental Sudeste onde a distribuição vertical de espécies selecionadas de foraminíferos planctônicos característicos dos intervalos zonais e subzonais é apresentada com suas variações quantitativas calculadas.

Figure 3

Template of the biozonation for the entire Quaternary of the SE Brazil marginal basins, where the vertical distribution of selected planktonic foraminifera, characteristic of the zonal and sub-zonal intervals, is presented with their calculated quantitative variations.

Quando se trabalha com eventos climáticos de natureza recorrente, o ideal seria analisar seções completas através de uma sequência de amostras. Como nem sempre isto é possível, obrigando em algumas ocasiões à utilização de amostras isoladas, a tarefa de identificação dos intervalos bioestratigráficos propostos torna-se muito difícil.

Para facilitar o posicionamento cronoestratigráfico de determinada amostra isolada procurou-se mostrar as características faunais de cada associação para cada intervalo zonal, utilizando-se a média da frequência das espécies para cada um deles.

Adverte-se que foram utilizadas médias percentuais para cada espécie para todas as bacias do Sudeste, o que não impede que em determinadas amostras de uma zona ou subzona de uma ou outra bacia, não se encontre um percentual maior ou menor do que aquele expresso nessas médias.

Os táxons escolhidos são aqueles que melhor respondem às variações climáticas, mas outros componentes da fauna planctônica de foraminíferos estão sendo investigados, como por exemplo, o gênero *Orbulina* e a espécie *Globorotalia crassaformis* ronda. O gênero *Orbulina* já provou a sua utilidade na caracterização da Zona Q e mostra potencial na Zona R. *Globorotalia crassaformis* ronda parece indicar uma divisão para a parte inferior da Subzona Y2 cujo topo seria coincidente com o estágio isotópico 5 de Emiliani (1966). A Zona U deverá ser dividida em duas subzonas baseadas na variação percentual do gênero *Pulleniatina*. O restante dos táxons de foraminíferos tem pouco ou nenhum significado prático para a interpretação bioestratigráfica do Quaternário.

KOHL, B.; FILLON, R. H.; ROBERTS, H. H. Foraminiferal biostratigraphy and paleoenvironments of the Pleistocene Lagniappe delta and related section, northeastern Gulf of Mexico. In: ANDERSEN, J. B.; FILLON, R. (Ed.). **Late Quaternary Stratigraphic Evolution of the Gulf of Mexico Basin**. Tulsa: SEPM, 2004. p. 189-216. (Special Publication, 79).

OGG, J. G.; LUGOWSKI, A. **Time Scale Creator v.2.0**. International Commission on Stratigraphy, 2006.

VICALVI, M. A. Zoneamento bioestratigráfico e paleoclimático dos sedimentos do Quaternário Superior do talude da Bacia de Campos, RJ, Brasil. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 1-2, p. 132-165, jan./dez. 1997.

VICALVI, M. A. **Zoneamento bioestratigráfico e paleoclimático do Quaternário Superior do talude da Bacia de Campos e Platô de São Paulo Adjacente, com base em Foraminíferos Planctônicos**. 184 f. 1999. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.

referências bibliográficas

EMILIANI, C. Paleotemperature analysis of the Caribbean cores P6304-8 and P6304-9, and a generalized temperature curve for the past 425,000 years. **Journal of Geology**, Chicago, v. 74, n. 2, p. 109-124, Mar. 1966.

ERICSON, D. B.; WOLLIN, G. Pleistocene climates and chronology in deep-sea sediments. **Science**, Washington, v. 162, n. 3859, p. 1227-1234, Dec. 1968.

expanded abstract

A bio stratigraphic template for the Late Quaternary of the Campos basin was initially elaborated based on the vertical succession of planktonic foraminifera associations. These associations defined zonal and sub-zonal intervals based on recurrent climatic events. Because they are recurrent, the species that compose most of the associations that characterize these intervals are always the same. This paper intends to show that in spite of this, the proportion between species is distinct for each interval.

In order to understand and visualize the distribution of these associations, the template shown in figure 1 was used, where species characteristics of the zonal and subzonal intervals of the Late Quaternary are shown against their estimated quantitative variations and local markers, for a time period spanning the last 186.000 years.

This template proved its value during many years of use in its application in submarine slope stability studies and in the dating of submarine landslide events on the continental slope. It accompanied technical reports on the chronostratigraphic position of samples from jumbo piston cores (20m in length) obtained in various areas of the Brazilian continental slope.

With the advance of hydrocarbon exploration into ultra-deep waters with very low sedimentation rates and the consequent recovery of older Quaternary sequences, which previously reached only in areas of submarine outcrops, it became imperative to establish a quantitative distribution of taxa for the entire Quaternary period. It resulted in the establishment of the complete biostratigraphic sequence for the Pleistocene and the Holocene, as defined by Ericson and Wollin (1968) and detailed in the present study.

Figure 3 presents the vertical succession of the selected associations of taxa of planktonic foraminifera that characterize zonal and sub-zonal intervals for the complete sequence of the last 1.8 million years. It is the result of hundreds of calculations on the quantitative variations of the *Globorotalia menardii* group, of the genera *Pulleniatina* and *Orbulina* and of the species *Globorotalia inflata* and *Globorotalia truncatulinoides* in samples from the continental slope of the Santos, Campos, Espirito Santo and additionally, Jequitinhonha basins. For

these computations count results of all samples from complete sections was used, from all cores.

After the identification and counting of the characteristic species in each sample, an average percentage was obtained for each species and for each interval, initially for the Campos basin. Next, an average percentage was calculated for each zonal interval for the other basins. Finally, the average percentage of each species for each zone in each basin was compiled and a final average for the zonal and sub-zonal intervals of all the SE Brazilian marginal basins was obtained.

autor



Marco Aurélio Vicalvi

Centro de Pesquisas da Petrobras
(Cenpes)

P&D em Geociências

Bio-Estratigrafia e Paleoecologia

vicalvi.gorceix@petrobras.com.br

Marco Aurélio Vicalvi é geólogo graduado pela Universidade de São Paulo (USP) com mestrado e doutorado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) na área de Micropaleontologia. cursou cadeiras de pós-graduação na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (Universidad de Buenos Aires, Argentina) e Fairleigh Dickinson University (U.S. Virgin Island, St. Croix). Fez parte do laboratório de Paleontologia da Petrobras/Renor (Belém, PA) e iniciou seus trabalhos com os foraminíferos do Quaternário durante o Projeto Remac (1972-1980), tendo sido Guest Investigator no Woods Hole Oceanographic Institution (Woods Hole, Mass) nesse período. Desde 1992, vem desenvolvendo junto ao Centro de Pesquisas da Petrobras/Gerência de Bio-Estratigrafia e Paleoecologia (Petrobras/Cenpes/BPA) trabalhos no Quaternário marinho das bacias marginais brasileiras, com ênfase nos estudos da estabilidade geotécnica e datação de eventos de movimentos de massa no talude continental.