

Análise multivariada em nanofósseis calcários e isótopos estáveis ($\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$) do Campaniano superior - Maastrichtiano inferior na Bacia de Campos

Multivariate analysis of calcareous nannofossils and stable isotopic ($\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$) in the upper Campanian – lower Maastrichtian of the Campos Basin, Brazil

Luiz Carlos Veiga de Oliveira | René Rodrigues | Valesca Brasil Lemos

resumo

Análises qualitativas em nanofósseis são ferramentas eficientes para estudos bioestratigráficos que objetivam, principalmente, a identificação de biozonas e determinação de idade relativa. Mas para inferências paleoceanográficas e bioestratigrafia de alta resolução é necessário utilizarem-se análises quantitativas. Com o objetivo de testar novas metodologias de quantificação e ferramentas de correlação não tradicionais, análise multivariada foi aplicada em nanofósseis de um testemunho (18 m) do Campaniano superior - Maastrichtiano inferior da Bacia de Campos, possibilitando o entendimento da interação de diferentes espécies. Também foi utilizada a técnica de regressão múltipla para se determinar o melhor método de contagem. Verificou-se que *Watznaueria barnesae* e *Micula decussata* dominam a assembléia fossilífera e possuem comportamentos inversos de abundância, sendo espécies oportunistas em competição pelos nutrientes disponíveis. Análise fatorial modo Q (57 amostras, 19 variáveis) foi aplicada ao mesmo testemunho, revelando que dois fatores explicam 99,2%

da variância total da assembléia microfossilífera. O primeiro fator representa 83,6% da variância total e o segundo apenas 15,6%. No primeiro predominam *Watznaueria barnesae*, *Cribrosphaerella ehrenbergii* e *Stradneria crenulata*, representando a população original do nanoplâncton, enquanto que o segundo é dominado por *Micula decussata* e, provavelmente, representa os efeitos da dissolução na interface água - sedimento. Ambos os fatores foram utilizados para a construção de uma curva de dissolução de nanofósseis - variação relativa do nível do mar. Esta curva, quando combinada com isótopos de oxigênio e carbono, mostra que intensa dissolução ocorreu quando os valores de $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$ e COT foram baixos, durante o neocampaniano - eomaastrichtiano. Esta correlação indica uma forte ligação entre subida do nível do mar, altas temperaturas e diminuição do aporte de matéria orgânica continental.

(originais recebidos em 04.01.2005)

Palavras-chave: nanofósseis | Bacia de Campos | análise multivariada | isótopos estáveis | Campaniano - Maastrichtiano

abstract

*Qualitative analysis in calcareous nannofossils is a powerful tool for biostratigraphic uses, principally in identification of biozones and determination of relative age. But quantitative studies must be applied for paleoceanographic applications and high-resolution biostratigraphy. In order to better understand the relationships between the different species of nannofossils, new methodologies and non-traditional correlation tools were tested on a 18 m upper Campanian – lower Maastrichtian core from Campos Basin. Multiple regression helped to determine the best counting method. *Watznaueria barnesae* and *Micula decussata* dominate the fossil assemblage and have inverse abundances to each other. Both were opportunist species in competition for nutrients. Q mode factorial analysis (57 samples, 19 variables) was applied to the same core and shows that two factors explain 99.2% of the total variance of the microfossil assemblage. The first factor represents 83.6% and the second factor only 15.6% of the total variance. The former is associated with *Watznaueria barnesae*, *Cribrosphaerella ehrenbergii* and *Stradneria crenulata*, which represent the original population of nanoplankton. The latter factor is associated with *Micula decussata*, which is believed to represent the effect of solution at the sediment-water interface. Both factors were used to develop a dissolution-sea level curve for nannofossils. When combined with oxygen and carbon isotopes, this curve clearly shows that higher dissolution occurred during the late Campanian - early Maastrichtian time when $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$ and TOC all had lower values. These correlations indicate a strong link between high sea levels, high temperatures and lower amount of continental organic debris.*

(expanded abstract available at the end of the paper)

Keywords: nannofossil | Campos Basin | multivariate analysis | Stable isotopic | Campanian - Maastrichtian

introdução

A origem fitoplanctônica, que faz dos nanofósseis uma ferramenta útil no entendimento das interações dos organismos nos oceanos pré-territos, aliada à variação de resistência dos seus

taxa à dissolução, torna a análise quantitativa destes microfósseis uma técnica importante para o estudo tanto da paleoprodutividade em superfície quanto das condições de preservação no fundo.

Entretanto, nos trabalhos rotineiros da indústria petrolífera, os estudos de nanofósseis estão, quase sempre, direcionados para o exame qualitativo do conteúdo fossilífero, ou seja, somente a identificação dos fósseis presentes no intervalo, sem quantificação. Tal procedimento é explicável pelo tipo de material normalmente disponível, que são amostras de calha, onde a contaminação pode ser elevada. Isso torna a contagem pouco confiável pois, em muitos casos, não é possível distinguir os fósseis depositados *in situ* dos provenientes de desmoronamentos. Assim, os resultados obtidos são biozonas cujos limites são identificados apenas por eventos de extinção, que não são afetados por desmoronamentos.

Atualmente, devido ao alto grau de detalhe exigido na exploração de petróleo, existe uma crescente demanda por refinamentos estratigráficos e informações paleoceanográficas que podem ser obtidos com o uso de amostras laterais e testemunhos, tipos de amostragem que permitem a adequada quantificação.

No Brasil, os trabalhos quantitativos em nanofósseis ainda são escassos. O estudo pioneiro foi realizado por Quadros (1981), em sedimentos do Maastrichtiano - Campaniano da Bacia de Sergipe - Alagoas. Este estudo teve como objetivo a quantificação de *Braarudosphaera bigelowii*, interpretado como um indicador de águas rasas. Outros trabalhos visaram, principalmente, ao estudo da nanoflora quaternária da Bacia de Campos (Antunes 1994; Toledo, 1995). Já Costa *et al.* (2003) quantificaram nanofósseis do Maastrichtiano inferior da Bacia do Ceará, realizando uma abordagem paleoecológica através da integração com foraminíferos planctônicos e bentônicos.

Neste artigo, que tem como base o estudo de Oliveira (1997), foram analisados e quantificados os nanofósseis calcários do Campaniano superior – Maastrichtiano inferior de um testemunho de 18 m da Bacia de Campos (fig. 1). Foi aplicada uma metodologia que permitiu quantificar os fósseis presentes, proporcionando inferências pa-

leoceanográficas. A definição da quantidade ideal de fósseis a serem contabilizados foi feita através de análise de regressão múltipla.

Para o tratamento dos dados obtidos através da análise quantitativa aplicou-se análise fatorial modo **Q** que permite analisar, em conjunto, duas ou mais variáveis de um grupo de observações. Desta forma, é possível estudar a relação entre as espécies observadas e as amostras, de modo que um número limitado de fatores explique o comportamento da comunidade fossilífera. No caso específico dos nanofósseis deve-se levar em conta tanto os efeitos da interação das espécies quando vivas como as modificações que ocorrem durante e após a deposição.

Por fim, com o propósito de demonstrar a possibilidade do refinamento do arcabouço estratigráfico e detalhar a paleoceanografia, foram correlacionados os dados da análise multivariada com os teores de Carbono Orgânico Total (COT) e os valores de isótopos estáveis de oxigênio e carbono ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$), obtidos na fração carbonática (rocha total) do testemunho estudado.

caracterização sedimentológica e metodologia

De acordo com Caddah (1993), o testemunho analisado é constituído de uma fácies arenosa (R2), uma fácies de folhelho/siltito cinza-esverdeado (A3) e uma fácies de folhelho cinza-oliva (A4) (fig. 2). A fácies arenosa (R2), é um arenito de cor cinza-claro / castanho-médio a escuro, com granulometria fina a grossa, apresentando granodecrescência ascendente. Já a fácies folhelho/siltito cinza-esverdeado (A3) é formada pela alternância de folhelhos silticos e siltitos argilo-arenosos de cor cinza-esverdeado, com espessuras decimétricas e contatos gradacionais. Localmente, ocorrem níveis arenosos. A bioturbação nos folhelhos e siltitos da fácies (A3) varia de moderada a intensa. Foram encontrados os icnogêneros *Zoophycos*, *Planolites*, *Helminthopsis* e, mais raramente, *Teichichnus* e *Terebelina*. Inoceramídeos também estão presentes. A fácies fo-

lhelho cinza-oliva (A4) é formada por um folhelho siltico de cor cinza-oliva, micáceo e intensamente bioturbado. Os icnogêneros mais frequentes são *Helminthopsis* / *Helminthoida*, *Chondrites*, *Planolites* (Icnofácies *Nereites*) e, mais raramente, *Zoophycos*. Fósseis de inoceramídeos são encontrados com muita frequência.

As lâminas de nanofósseis foram preparadas de acordo com os procedimentos descritos por Oliveira (1997), sendo analisadas 57 amostras, com espaçamento de 30 cm. Foram identificadas as biozonas de Sissingh (1977) CC-23a, CC-22b e CC-21 (fig. 2). As duas últimas indicam idade neocampaniano. A biozona CC-23a tem amplitude total entre o neocampaniano e o início do Maastrichtiano, não sendo possível determinar nos sedimentos analisados, apenas pela análise qualitativa, se esta biozona estaria inserida apenas no Campaniano superior ou também se estenderia ao Maastrichtiano. A ausência da subzona CC-22a caracteriza um hiato corroborado pela mudança de comportamento dos perfis de raios gama e resistividade.

O número adequado de fósseis a serem quantificados por amostra foi obtido através de análise de regressão múltipla, utilizando-se o programa estatístico SPSS. A análise fatorial modo **Q** foi feita com o programa CABFAC (Klovan e Imbrie, 1971), modificado para uso em PCs por Souto e Ayup-Zouain (1995). Este programa calcula, a partir de uma matriz de dados percentuais, a variância de cada fator, a comunalidade de

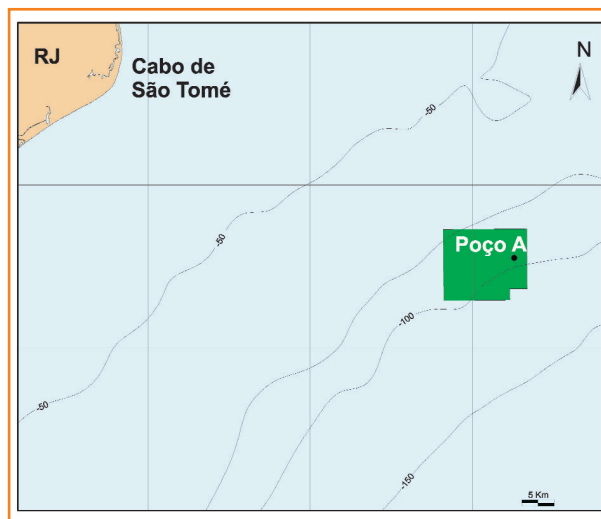


Figura 1

Mapa de localização.

Figure 1

Location map.

cada amostra, a matriz de escores (*factor scores matrix*) para cada variável (espécies ou grupos) e a matriz de projeção oblíqua das cargas fatoriais (*oblique projection matrix*).

Utilizou-se um equipamento LECO SC-444 para a determinação dos teores de carbono orgânico e um sistema automático de preparo de amostra (sistema KIEL), diretamente acoplado ao espectrômetro de massas Finnigan 252, para as análises isotópicas do oxigênio e carbono. As análises químicas foram realizadas na Gerência de Geoquímica do Centro de Pesquisas da Petrobras (Cenpes), de acordo com os procedimentos apresentados por Oliveira (1997).

análise multivariada em nanofósseis calcários

análise quantitativa

A contagem dos espécimes que constituem uma determinada assembléia fossilífera é essencial quando se deseja estabelecer interpretações paleoambientais acuradas. Entretanto, em muitos grupos fósseis a contagem absoluta é uma atividade de difícil execução, principalmente tratando-se de microfósseis. O número de nanofósseis em uma lâmina pode alcançar centenas de milhares ou até mesmo milhões de indivíduos. Desta forma, nas análises quantitativas contabiliza-se uma parcela da assembléia nanofossilífera na qual se acredita estar expressando, percentualmente, a totalidade dos fósseis ali existentes, com a menor taxa de erro possível.

Assim, caberiam as seguintes perguntas: quantos fósseis constituem uma amostra representativa? Qual o número mínimo necessário para que o resultado obtido seja verdadeiro? Entretanto, para estas perguntas não existem respostas consensuais. Em diversos trabalhos, nos quais foram utilizadas ou citadas técnicas quantitativas em nanofósseis, encontram-se diferentes formas de abordagem, com variadas técnicas de quantificação nas quais o número total de fósseis contabilizados flutua entre 100 e 1000 espécí-

mes (exemplos: Hill, 1975; Roth e Coulbourn, 1982; Mutterlose, 1987; Bralower, 1988; Francés et al. 1991; Thierstein e Roth, 1991; Erba, 1992; Paul et al. 1994; Antunes, 1994; Toledo 1995; Bown, 1998; Perilli, 2000). Destes trabalhos apenas uma pequena parcela baseou sua opção em teorias estatísticas, principalmente naquelas que são fornecidas pelos estudos de Chang (1967), Dennison e Hay (1967) e Patterson e Fishbein (1989).

Para a análise quantitativa foram selecionados 19 espécies, ou gêneros, a serem contabilizados. Utilizou-se como critério principal à presença constante, procurando-se eliminar aqueles extremamente raros (menos de um exemplar a cada cinco amostras) ou com identificação problemática. Os fósseis escolhidos foram os seguintes:

- 1) *Arkhangelskiella cymbiformis* - Incluindo *A. specillata*.
- 2) *Watznaueria barnesae* - Não foi feita distinção entre *W. barnesae* e *W. biporta*.
- 3) *Micula decussata* - Considerou-se como pertencente a este grupo *M. decussata*, *M. concava* e *M. staurophora*.
- 4) *Cribrosphaerella ehrenbergii*.
- 5) *Stradneria crenulata*.
- 6) *Quadrum* spp. - Incluindo *Q. sissinghii* e *Q. trifidum*.
- 7) *Prediscosphaera cretacea* - Incluindo *P. spinosa*.
- 8) *Reinhardtites* spp. - Neste grupo foram reunidos *R. anthophorus*, *R. aff. R. anthophorus* e *R. levis*.
- 9) *Eiffelithus* spp. - Incluindo *E. gorkae*, *E. turriseiffelii* e *E. eximius*.
- 10) *Tranolithus* spp. - Correspondente a *T. gabalus* e *T. phacelosus*.
- 11) *Chiastozygus litterarius*.
- 12) *Cylindralithus* spp.
- 13) *Glaukolithus* spp. - Referindo-se a *G. diplogramus* e *G. compactus*.
- 14) *Aspidolithus parvus*.
- 15) *Placozygus fibuliformis*.
- 16) *Ceratolithoides* spp. - Foram incluídas neste grupo as variações de *C. aculeus*.
- 17) *Zeugrhabdotus embergeri*.

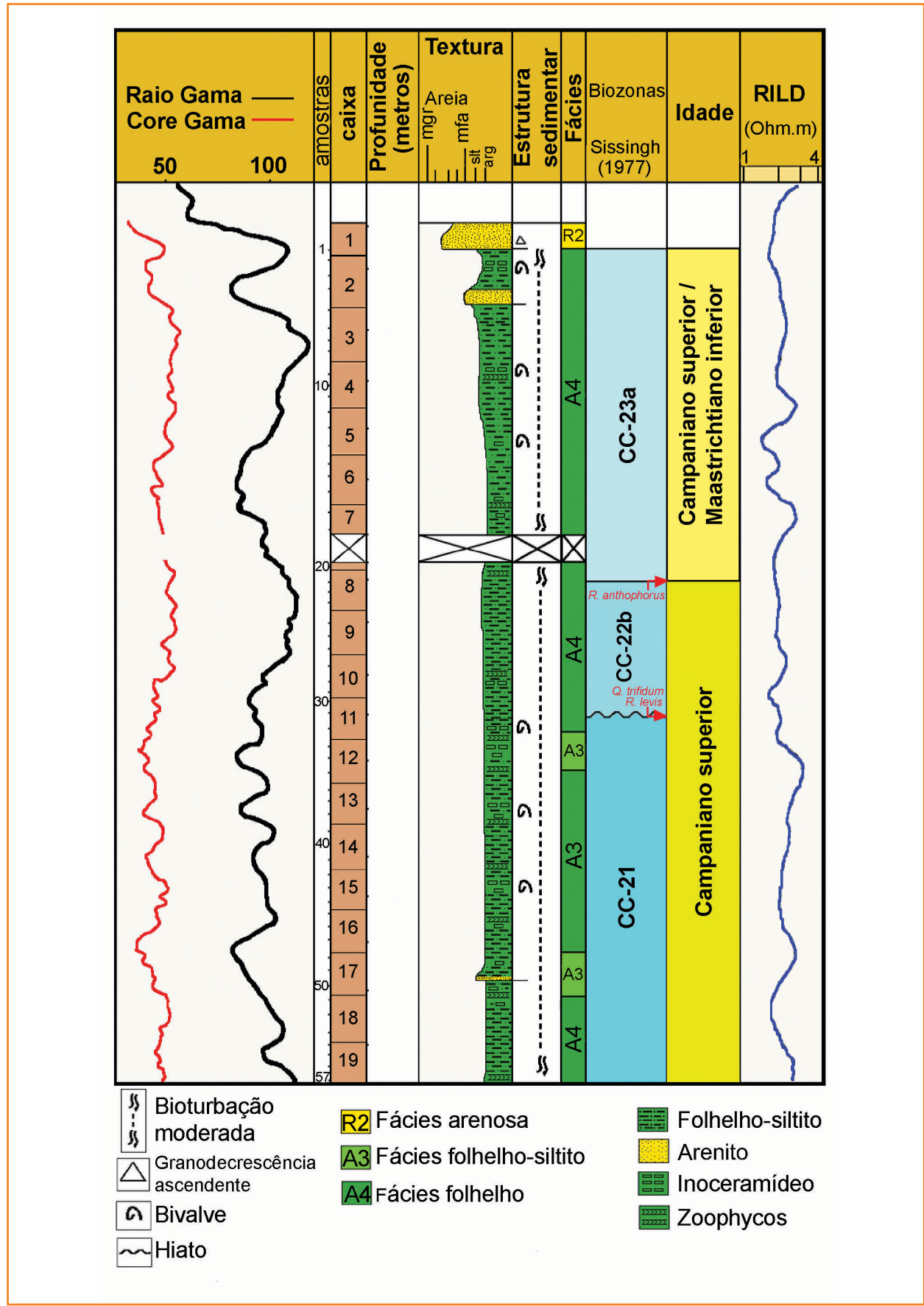


Figura 2

Caracterização sedimentológica da seção estudada e correlação com as biozonas de nanofósseis e perfis elétricos.

Figure 2

Sedimentary characterization of the studied section and correlations with nanofossils biozones and electric logs.

18) *Rhagodiscus* spp. - Referindo-se a *R. angustus* e *R. splendens*.

19) *Cretarhabdus decorus*.

Neste estudo, optou-se por aplicar tratamento estatístico para a identificação do número ideal de fósseis a serem contabilizados por amostra. Assim, do total de amostras, foram inicialmente analisadas as amostras 4, 8, 19, 25, 31, 40, 44, 50, 52, 57, onde foram quantificados, em cada uma, 200, 300, 400 e 500 exemplares, distribuídos pelos 19 grupos selecionados. Nestas contagens aplicou-se análise de regressão múltipla, demonstrando que as diferenças entre as contabilizações realizadas não foram expressivas. Utilizando-se fator de confiança de 95%, os resultados entre as contagens não ultrapassaram 0,8% de diferença. Assim, definiu-se que, para a assembléia nanofossilífera em estudo, a contabilização de 200 exemplares já seria suficiente e adequada para interpretações paleoambientais.

Na figura 3 sumariza-se graficamente o índice de abundância relativo, obtido através da razão número de fósseis observados (200 espécimes) por campos de visão, a quantidade de espécies por amostra e a distribuição percentual de todas as espécies observadas. O índice de abundância relativa variou de um mínimo de 2,22 na amostra 1 até um máximo de 18,18 na amostra 39. A média de fósseis por campo ficou em 10,22. Duas espécies dominam a assembléia fossilífera: *W. barnesae* e *M. decussata*. A soma das suas percentagens nunca foi inferior a 50%, sendo que na amostra 41 atingiram 100% (fig. 4). Também se observou uma divisão de domínio, *W. barnesae* predomina na parte superior do testemunho (até a amostra 27) e *M. decussata* na parte inferior (abaixo da amostra 35). Também ocorre uma porção intermediária, entre as amostras 28 e 34, onde as diferenças percentuais são pequenas e as duas espécies se alternam na predominância. Desta forma, os grupos descritos poderiam ser classificados em três categorias:

- a) Dominantes - *W. barnesae* e *M. decussata*.
- b) Baixa concentração - *S. crenulata*, *Quadrum* spp., *C. ehrenbergii* e *P. cretacea*.
- c) Rara expressão - os restantes.

Considerando-se a distribuição percentual, torna-se evidente a divisão do testemunho em três intervalos:

1) Intervalo 1 (amostras de 2 a 27) - Predomínio de *W. barnesae* sobre *M. decussata* e quantidade razoável do total dos outros 17 grupos.

2) Intervalo 2 (amostras 28 a 34) - *W. barnesae* e *M. decussata* com percentuais próximos e valores variando de baixo a médio na soma dos restantes.

3) Intervalo 3 (amostras 35 a 57) - supremacia de *M. decussata* sobre *W. barnesae* e total dos outros grupos muito baixo.

As espécies dominantes, *W. barnesae* e *M. decussata*, possuem um comportamento de distribuição inverso, sendo o aumento de uma correspondente à diminuição de outra (fig. 5). De fato, *M. decussata* e *W. barnesae* mostram uma forte relação negativa, com coeficiente de correlação de -0,92 (fig. 6).

análise fatorial modo Q

A viabilidade do uso da análise fatorial modo Q ao nanoplâncton foi demonstrada por Francés *et al.* (1991), que aplicaram esta técnica estatística nos nanofósseis do Tortoniano superior - Messiniano inferior, recuperados na perfuração 654 do ODP (*Ocean Drilling Program*), localizada no Mar Mediterrâneo Ocidental (Mar Tirreno). Foram obtidos quatro fatores que explicam 98% do comportamento da associação analisada. Na interpretação dos fatores foram identificados os prováveis processos que causaram as variações tais como alterações tafonômicas, causadas pela dissolução pontual, correntes de fundo e mudanças climáticas.

Registra-se, aqui, a primeira aplicação de análise fatorial modo Q em nanofósseis calcários da margem continental brasileira. Como matriz inicial foram utilizados os dados de distribuição quantitativa dos 19 grupos de nanofósseis cujas variâncias acumuladas dos fatores atingem 100%, sendo que apenas dois deles explicam 99,23% do conjunto fossilífero. O fator 1 explica 83,62% da variância, enquanto que o fator 2 corresponde a 15,61%. Disto se depreende que

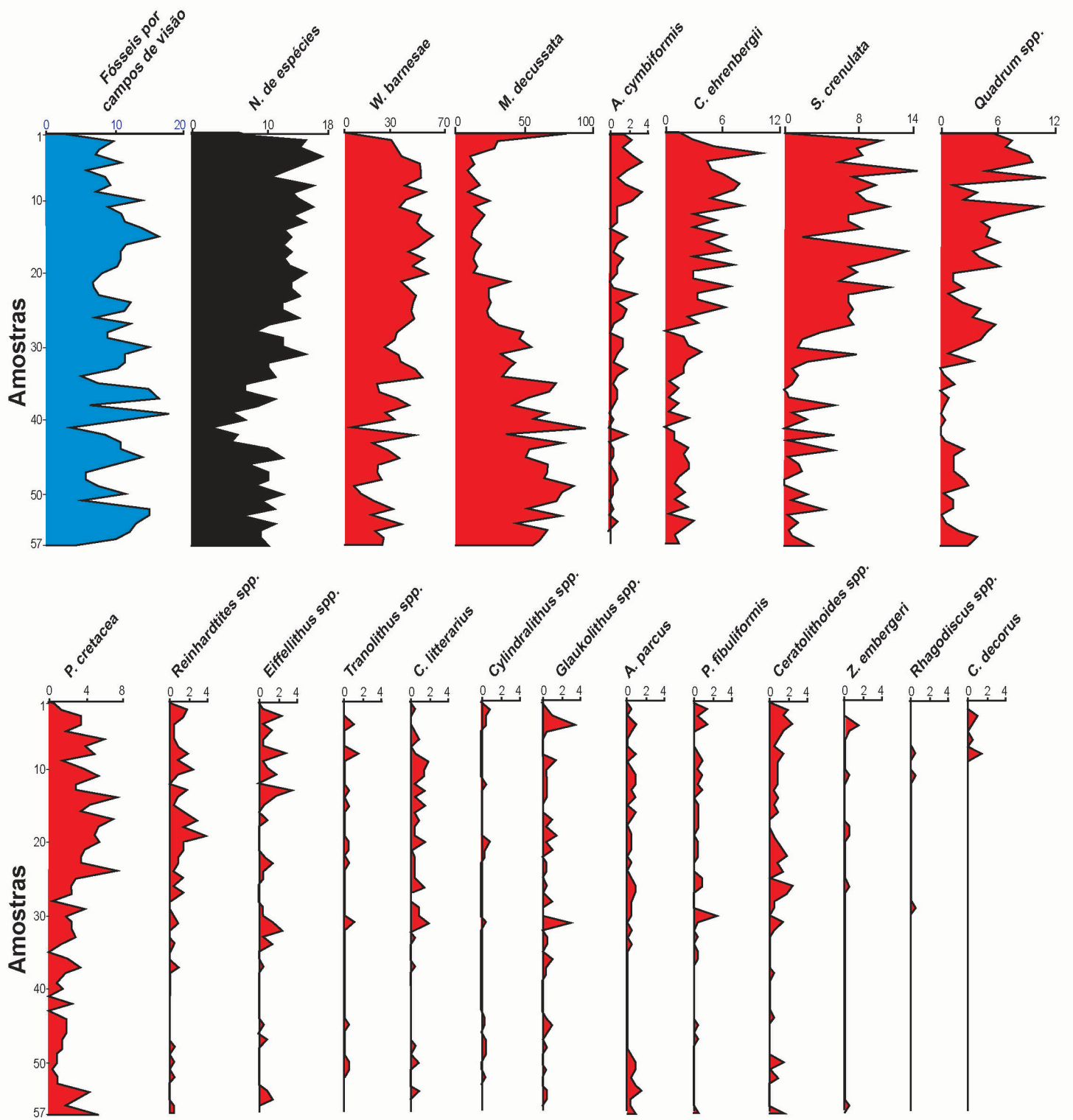


Figura 3 – Distribuição percentual dos grupos fósseis estudados.

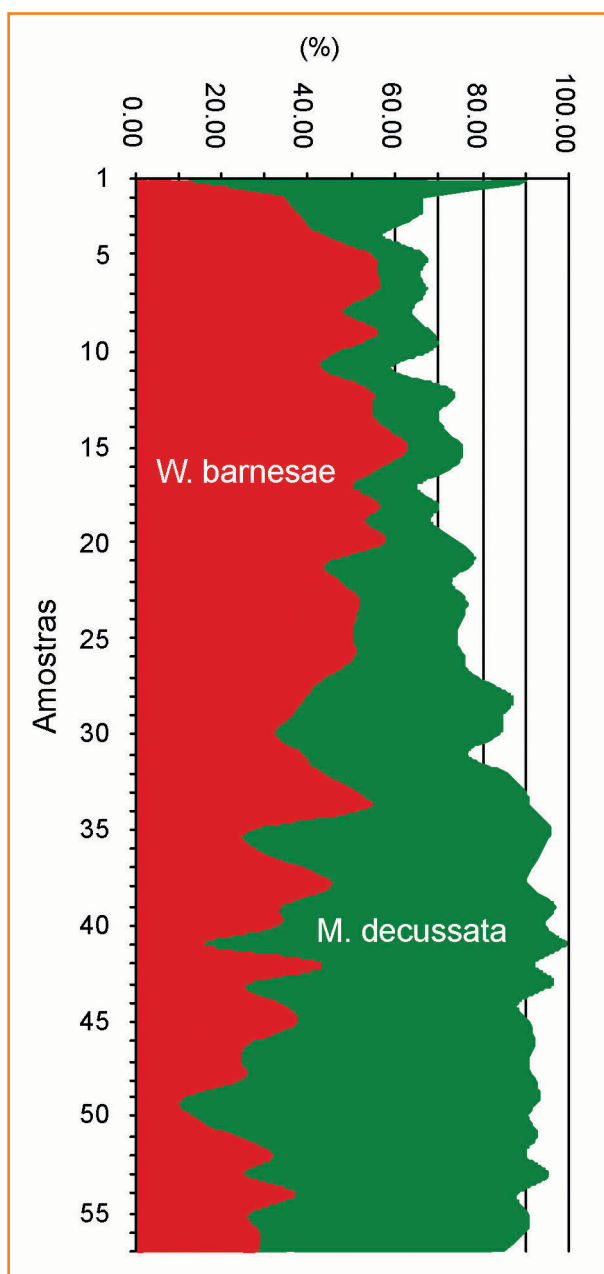
Figure 3 – Percentage distribution of studied fossils groups.

Figura 4

Soma das percentagens de *W. barnesae* e *M. decussata*.

Figure 4

W. barnesae and *M. decussata* total percentages.



a maior carga de influências provém do fator 1, tendo o fator 2 uma importância de menor magnitude. Os outros fatores restantes possuem valores bastante reduzidos, sendo inexpressivos em termos estatísticos (tabela I). A matriz de escores (tabela II) revela quanto cada espécie contribuiu proporcionalmente com cada um dos fatores. Assim, o grupo que domina o fator 1 é *W. barnesae* (0,9706), também tendo alguma importância *C. ehrenbergii* (0,1048) e *S. crenulata* (0,1673). O fator 2 é completamente dominado por *M. decussata* (0,9987). Na tabela III representa-se a

matriz de projeção oblíqua, expressando a proporção dos dois fatores preponderantes em cada amostra, sendo que a de número 6 caracteriza o fator 1 e a 41 seria a amostra padrão do fator 2. A comunalidade muito elevada, sempre acima de 0,9, confere alto grau de confiabilidade na análise de todas as amostras.

Também foi realizada análise fatorial modo **Q**, separadamente, nas primeiras 33 amostras, porção onde predomina *W. barnesae* sobre *M. decussata*. Também foi nesta porção que os outros 17 grupos fósseis foram mais abundantes. A análise fatorial destas 33 amostras teve como resultado 19 fatores com variância acumulada de 100%. O comportamento geral continuou explicado por apenas dois fatores. Entretanto, o fator 1 cresceu de valor, passando a 91,2%, enquanto que o fator 2 diminuiu praticamente à metade (7,74%). O fator 1 continuou constituído, principalmente, de *W. barnesae* e, subordinadamente, por *C. ehrenbergii* e *S. crenulata*. Também foi constatada a influência de *M. decussata* no fator 1, com composição negativa (- 0,1375). O fator 2 continuou dominado por *M. decussata*, mas *W. barnesae* passou a ter razoável importância, com 0,1431. A amostra 6 continuou como padrão do fator 1, enquanto que o fator 2 passou a ser mais bem representado pela amostra 1 (tabela IV).

Para a melhor visualização das influências dos fatores em cada amostra, foram construídos gráficos de correlação para todo o testemunho e apenas com as 33 primeiras amostras (figs. 7a e 7b). Neles, constatou-se que a composição da assembléia fossilífera foi mais afetada pelo fator 1. Isto fica mais evidente na correlação entre os fatores nas 33 primeiras amostras do testemunho, onde apenas duas amostras (1 e 30) estão na zona de influência do fator 2, três são intermediárias (28, 29 e 32) e as demais estão sobre o domínio do fator 1 (fig.7b).

isótopos estáveis de oxigênio e carbono e COT

As curvas obtidas dos valores isotópicos de oxigênio e carbono e os de COT (Carbono Orgâ-

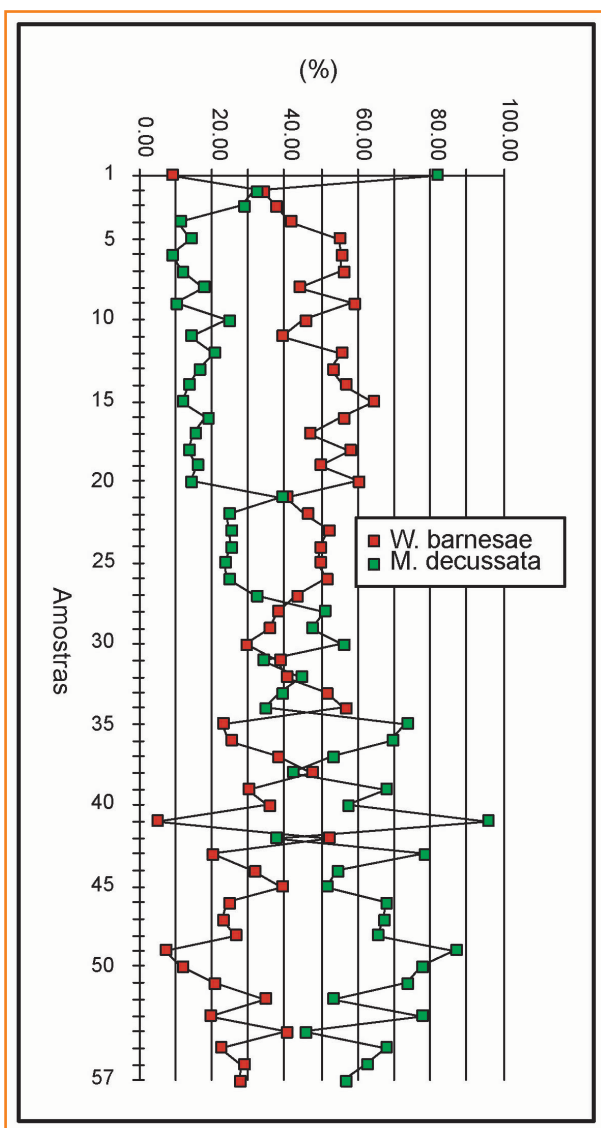


Figura 5 – Distribuição percentual de *W. barnesae* e *M. decussata* mostrando o comportamento inverso das espécies.

Figure 5 – Percentage distribution of *W. barnesae* and *M. decussata*, showing inverse behavior of these species.

nico Total) estão representadas na figura 8. Os teores deste último são baixos em consequência do pequeno aporte e/ou baixa preservação da matéria orgânica, não ultrapassando 0,27% (com exceção da amostra 11, que alcançou 0,41%) e os de $\delta^{13}\text{C}$ ficaram entre +1,63 (amostra 26) e -1,13 (amostra 49). Segundo Rodrigues (1996), após o evento anóxico do Cenomaniano – Turoniano, as bacias da margem continental brasileira passaram a ter o fundo mais oxigenado, ocasionando a diminuição dos

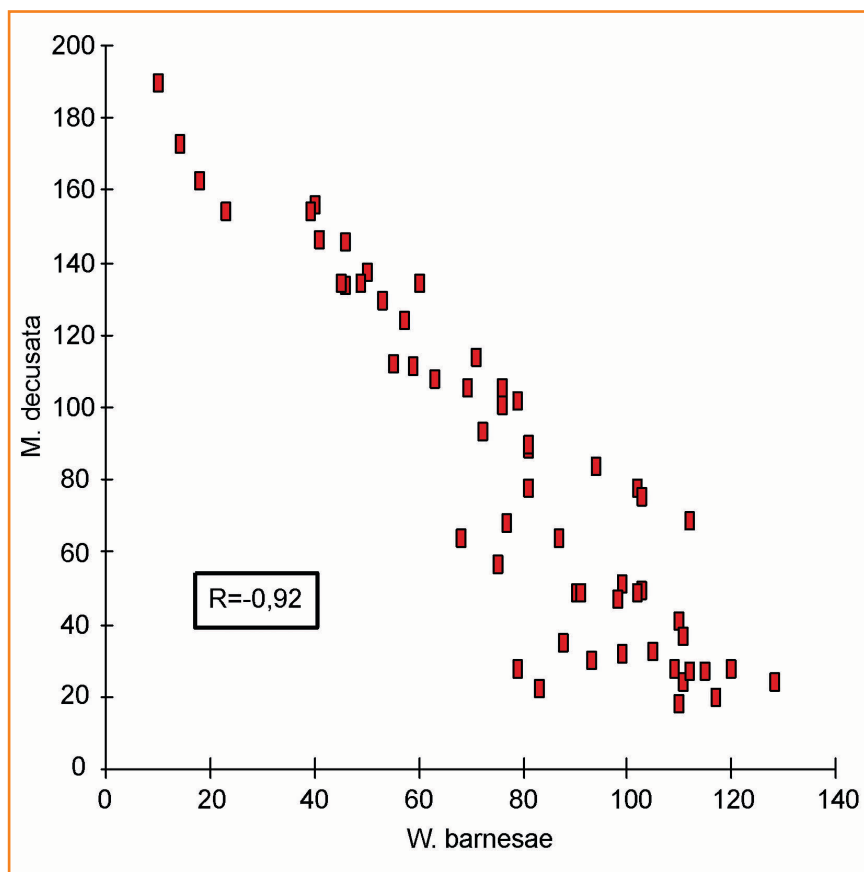


Figura 6 – Correlação entre *M. decussata* e *W. barnesae* com tendência fortemente negativa.

Figure 6 – Correlation between *W. barnesae* and *M. decussata* with strong negative trend.

teores de matéria orgânica. Os valores de COT corroboram esta afirmação, revelando que no neocampaniano e eomaastrichtiano as águas de fundo da Bacia de Campos eram oxigenadas. Já os valores de $\delta^{18}\text{O}$ se mantiveram entre -7,08 (amostra 6) e -2,69 (amostra 4). A tendência geral da curva é um deslocamento para valores positivos, indicando diminuição da temperatura das águas oceânicas durante esta época. O mesmo Rodrigues (1996) entende que nas bacias da costa brasileira, após o evento anóxico Cenomaniano – Turoniano, ocorreu um progressivo resfriamento das águas oceânicas. Huber *et al.* (1995) também registraram um relativo resfriamento na passagem Campaniano - Maastrichtiano nas regiões de alta latitude sul. Através das diferenças dos valores de $\delta^{18}\text{O}$ dos foraminíferos bentônicos e planctônicos, estes autores também verificaram que a coluna d'água era moderadamente misturada durante o neocam-

Tabela I

Fatores e variâncias nas 57 amostras.

Table I

Factors and variances in all 57 samples.

Fatores	Variância (%)	Var. acumulada
1	83.6185	83.6185
2	15.6129	99.2314
3	0.3972	99.6286
4	0.1601	99.7887
5	0.0702	99.8589
6	0.0535	99.9124
7	0.0191	99.9315
8	0.0161	99.9476
9	0.0131	99.9607
10	0.012	99.9727
11	0.0086	99.9813
12	0.0073	99.9886
13	0.0041	99.9927
14	0.0032	99.9959
15	0.0017	99.9976
16	0.0011	99.9987
17	0.0007	99.9994
18	0.0005	99.9999
19	0.0002	100.000

Tabela II

Matriz de escores, nas 57 amostras, dos dois principais fatores.

Table II

Score table of the two principal factors in all 57 samples.

Fósseis	Fator 1	Fator 2
<i>A. cymbiformis</i>	0.0306	-0.0043
<i>W. barnesae</i>	0.9706	0.0124
<i>M. decussata</i>	-0.0007	0.9987
<i>C. ehrenbergii</i>	0.1048	-0.0205
<i>S. crenulata</i>	0.1673	-0.0402
<i>Quadrum</i> spp.	0.0973	-0.0136
<i>P. cretacea</i>	0.0809	-0.0072
<i>Reinhardtites</i> spp.	0.0257	-0.0069
<i>Eiffellithus</i> spp.	0.0187	-0.0028
<i>Tranolithus</i> spp.	0.004	-0.0006
<i>C. litterarius</i>	0.0154	-0.0037
<i>Cylindralithus</i> spp.	0.0024	0.0014
<i>Glaukolithus</i> spp.	0.0132	-0.0008
<i>A. parvus</i>	0.0083	0.002
<i>P. fibuliformis</i>	0.0095	-0.0004
<i>Ceratolithoides</i> spp.	0.0206	-0.0029
<i>Z. embergeri</i>	0.0036	-0.0016
<i>Rhagodiscus</i> spp.	0.0009	-0.0002
<i>C. decorus</i>	0.0028	-0.001

Amostras	Comunalidade	Fator 1	Fator 2
1	0.993	0.0998	0.9002
2	0.971	0.6837	0.3163
3	0.987	0.7364	0.2636
4	0.959	0.9472	0.0528
5	0.987	0.9413	0.0587
6	0.99	1	0
7	0.987	0.9651	0.0349
8	0.983	0.8775	0.1225
9	0.993	0.9897	0.0103
10	0.995	0.8104	0.1896
11	0.951	0.9072	0.0928
12	0.996	0.8808	0.1192
13	0.996	0.9113	0.0887
14	0.994	0.9503	0.0497
15	0.983	0.9753	0.0247
16	0.996	0.9002	0.0998
17	0.979	0.9166	0.0834
18	0.996	0.9545	0.0455
19	0.993	0.9101	0.0899
20	0.991	0.9516	0.0484
21	0.997	0.6622	0.3378
22	0.988	0.8159	0.1841
23	0.994	0.8287	0.1713
24	0.994	0.8185	0.1815
25	0.998	0.8356	0.1644
26	0.995	0.8311	0.1689
27	0.996	0.7374	0.2626
28	0.995	0.5649	0.4351
29	0.997	0.572	0.428
30	0.998	0.4626	0.5374
31	0.991	0.69	0.31
32	0.997	0.62	0.38
33	0.984	0.7131	0.2869
34	0.981	0.7666	0.2334
35	1	0.3087	0.6913
36	0.999	0.3459	0.6541
37	0.994	0.5449	0.4551
38	0.994	0.6767	0.3233
39	0.998	0.4023	0.5977
40	0.998	0.5063	0.4937
41	0.999	0	1

continua...

Amostras	Comunalidade	Fator 1	Fator 2
42	0.989	0.7296	0.2704
43	1	0.2547	0.7453
44	0.998	0.4958	0.5042
45	0.994	0.5679	0.4321
46	0.999	0.3521	0.6479
47	0.999	0.3384	0.6616
48	0.999	0.3812	0.6188
49	0.997	0.0524	0.9476
50	0.996	0.1487	0.8513
51	1	0.2788	0.7212
52	0.999	0.5239	0.4761
53	1	0.25	0.75
54	0.993	0.6148	0.3852
55	0.999	0.3287	0.6713
56	0.998	0.4181	0.5819
57	0.996	0.4448	0.5552

Tabela III – Matriz de projeção oblíqua, nas 57 amostras, dos dois principais fatores.

Table III – Oblique projection table of the two principal factors in all 57 samples.

paniano - eomaastrichtiano, tendendo a bem equalizada no topo do Maastrichtiano. Ou seja, nesta época existia uma razoável a boa circulação entre a superfície e o fundo oceânico, diminuindo as diferenças de temperatura entre as profundidades e proporcionando uma maior circulação das águas de fundo, resultando em melhor oxigenação. Entretanto, no testemunho analisado, paralelamente à tendência geral, também foram verificados comportamentos diferenciados da curva de $\delta^{18}\text{O}$ (fig. 8). Estes ciclos são marcados, no seu topo, por uma brusca mudança da curva para valores mais negativos, indicando um provável aumento da temperatura da água. Após a rápida modificação os valores de $\delta^{18}\text{O}$ voltam a aumentar, indicando o resfriamento, delineando o padrão “dente de tubarão”, comum nas curvas de $\delta^{18}\text{O}$ do Quaternário, que representam breves momentos de aquecimento, contrastando com progressivos e vagarosos períodos de resfriamento (Berger, 1979).

Amostras	Comunalidade	Fator 1	Fator 2
1	0.995	0	1
2	0.976	0.6337	0.3663
3	0.99	0.6944	0.3056
4	0.963	0.9373	0.0627
5	0.987	0.93	0.07
6	0.991	1	0
7	0.988	0.9582	0.0418
8	0.984	0.8579	0.1421
9	0.993	0.9883	0.0117
10	0.996	0.7799	0.2201
11	0.956	0.8901	0.1099
12	0.995	0.8604	0.1396
13	0.996	0.8963	0.1037
14	0.993	0.9419	0.0581
15	0.981	0.9722	0.0278
16	0.995	0.8833	0.1167
17	0.981	0.9031	0.0969
18	0.995	0.9468	0.0532
19	0.994	0.8952	0.1048
20	0.989	0.9442	0.0558
21	0.996	0.6113	0.3887
22	0.989	0.7865	0.2135
23	0.992	0.8011	0.1989
24	0.993	0.7896	0.2104
25	0.998	0.8088	0.1912
26	0.994	0.8032	0.1968
27	0.997	0.6956	0.3044
28	0.995	0.5014	0.4986
29	0.996	0.5099	0.4901
30	0.998	0.3889	0.6111
31	0.991	0.6425	0.3575
32	0.995	0.5635	0.4365
33	0.98	0.6691	0.3309

Tabela IV

Matriz de projeção oblíqua, nas amostras de 1 a 33, dos dois principais fatores.

Table IV

Oblique projection table of the two principal factors in samples 1 to 33.

discussões

As assembléias nanofossilíferas possuem a característica de poder refletir tanto a composição da biocenose original quanto às alterações posteriores que atingem a tanatocenose, como demonstraram Eshet e Almogi-Labin (1995) ao analisarem os nanofósseis maastrichtianos e cam-

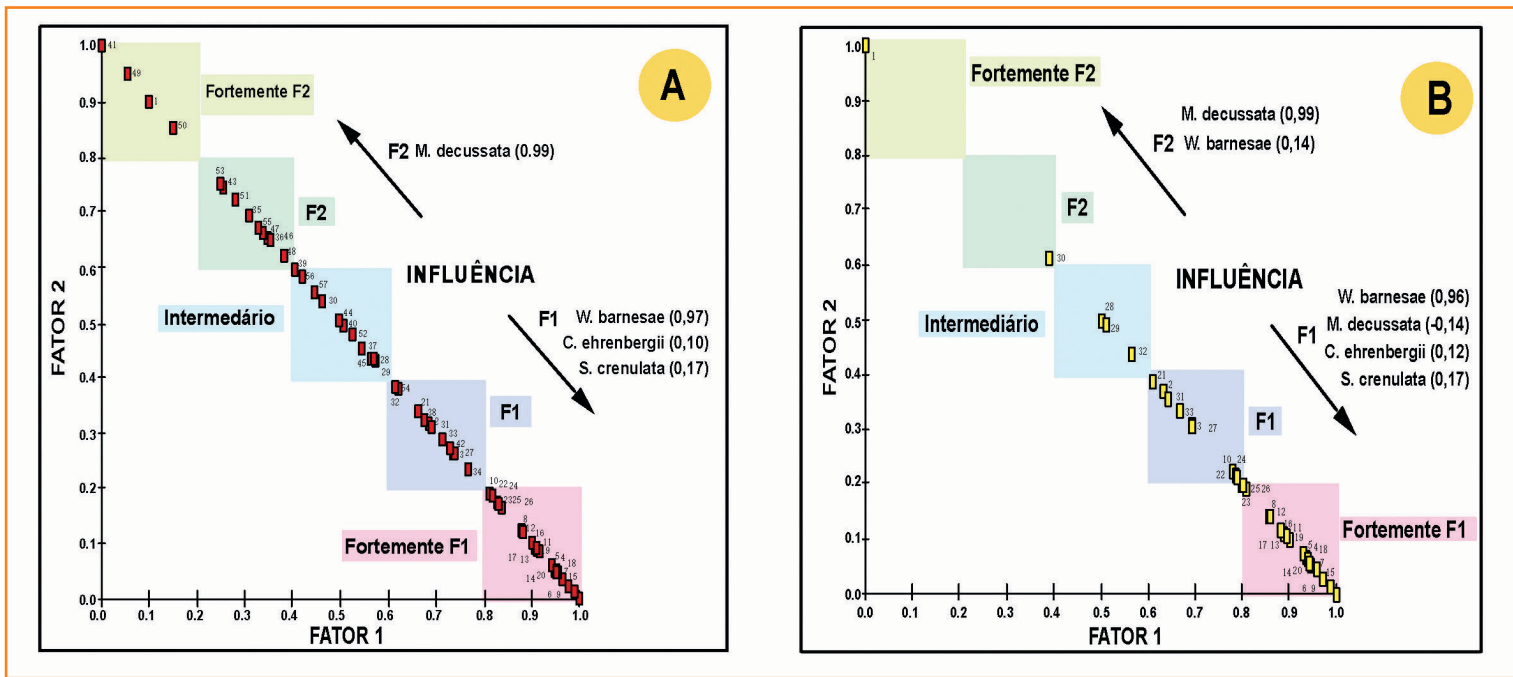


Figura 7

Correlação entre os fatores 1 e 2 e as suas influências: (a) em todas as 57 amostras, (b) nas primeiras 33 amostras.

Figure 7

Correlation between factors 1 and 2 and their influence. (a) In all 57 samples. (b) In the first 33 samples.

panianos depositados em zonas de ressurgência em Israel.

Nos nanofósseis do Campaniano superior – Maastrichtiano inferior estudados na Bacia de Campos verificou-se, por meio de análise quantitativa, o comportamento inverso de *W. barnesae* e *M. decussata*, como resultado da competição interespecífica pela utilização de recursos, quando ocorre a inibição indireta de uma espécie pela outra durante a busca dos nutrientes (Odum, 1988). Esta competição, em um sistema aberto, não leva necessariamente ao desaparecimento de um dos competidores. Normalmente ocorrem situações que permitem a coexistência das espécies. No caso, *W. barnesae* e *M. decussata* eram espécies oportunistas (estrategistas *r*), privilegiadas em ambientes eutróficos. Para Shimabukuro (1994), organismos oportunistas são aqueles que se aproveitam de determinadas circunstâncias ambientais, restritivas à maioria dos *taxa*, para ocupar o nicho vago em termos de recursos tróficos. Caracterizam-se por grande tolerância às mudanças ambientais (euritópicos) e, principalmente, grande capacidade reprodutiva. Assim, o fato de *W. barnesae* e *M. decussata* serem dominantes, seria explicado por serem estrategistas *r*, com taxas reprodutivas muito elevadas que suplantariam as demais espécies. Já o

comportamento de distribuição contrária, onde o aumento do número de exemplares de uma espécie corresponde à imediata diminuição dos valores quantitativos da outra, é relacionado com a forte competição interespecífica pelos recursos disponíveis. A predominância de *W. barnesae* e *M. decussata* também foi verificada por Quadros (1981), em sedimentos campanianos - maastrichtianos da Bacia de Sergipe – Alagoas. Thierstein (1981), analisando sedimentos do Campaniano superior ao Daniano inferior do site 356 (Platô de São Paulo), do DSDP (*Deep Sea Drilling Project*) demonstrou a supremacia de *W. barnesae* e *M. decussata* durante o neocampaniano e o Maastrichtiano.

De acordo com a classificação de resistência à dissolução de Thierstein (1980), dos nanofósseis observados no testemunho *P. cretacea* seria a espécie mais suscetível à dissolução, enquanto que *M. decussata* seria a mais resistente à dissolução. A segunda espécie mais resistente seria *Q. trifidum*. *W. barnesae* ficaria no limiar entre conservação e dissolução, mas ainda dentro do grupo dos resistentes. O gráfico de correlação entre a espécie mais resistente e a mais passível de dissolução revela uma correlação negativa (-0,70) (fig. 9a), entretanto mais positiva do que a correlação de *M. decussata* e *W. barnesae* (-

0,92). Já as correlações de *P. cretacea* e *M. decussata* realizadas, separadamente, nos intervalos 1 e 3, mostraram valores diferentes. No intervalo 1 (amostras 2 a 27) o índice de correlação foi de -0,30, ou seja, não existe nesta porção do testemunho grande relação entre os comportamentos das espécies, ocorrendo uma leve tendência para a correlação negativa, mas com forte dispersão dos valores (fig. 9b). No intervalo 3 (amostras 35 a 57) aumenta a tendência negativa, o índice atinge -0,62, mesmo assim inferior ao que seria de se esperar em uma assembléia fossilífera em que a dissolução tivesse um valor preponderante (fig. 9c). Desta forma, apesar da dissolução ser um fator importante no comportamento do conjunto de fósseis, não foi o único a influenciar a assembléia fossilífera, atuando mais na porção inferior e tendo pouca influência na parte superior do testemunho.

A aplicação da análise fatorial revelou que os processos naturais que afetaram o conjunto de fósseis analisados estão contidos em dois fatores que explicam o comportamento observado. Ao primeiro fator corresponde uma variância de 83,62%, quando aplicado na totalidade do testemunho. A variância sobe para 91,2% quando tratadas apenas as 33 primeiras amostras do testemunho. Portanto, quase todo o comportamento de distribuição dos fósseis estaria condicionado por este fator que associa as interações dos organismos do nanoplâncton, sujeitos às variações ecológicas. Os maiores escores no fator 1 foram de *W. barnesae* acompanhada, em menores proporções, por *C. ehrenbergii* e *S. crenulata*. Nas 33 amostras da parte superior do testemunho percebe-se que *M. decussata* também tem influência, com carga negativa, no comportamento geral. A competição interespecífica pelos recursos disponíveis poderia ser um dos vetores influenciadores. Pequenas variações nas condições ambientais favoreceriam um, ou outro grupo, tais como mudanças na luminosidade, salinidade, temperatura aliadas à disponibilidade de nutrientes (N, P, K etc...) que poderiam ser mais benéficas, ou melhor aproveitadas, por um determinado grupo de espécies. Outra causa poderia ser atribuída a diferentes taxas de reprodução. Embora *W. barnesae* e *M. decussata* se-

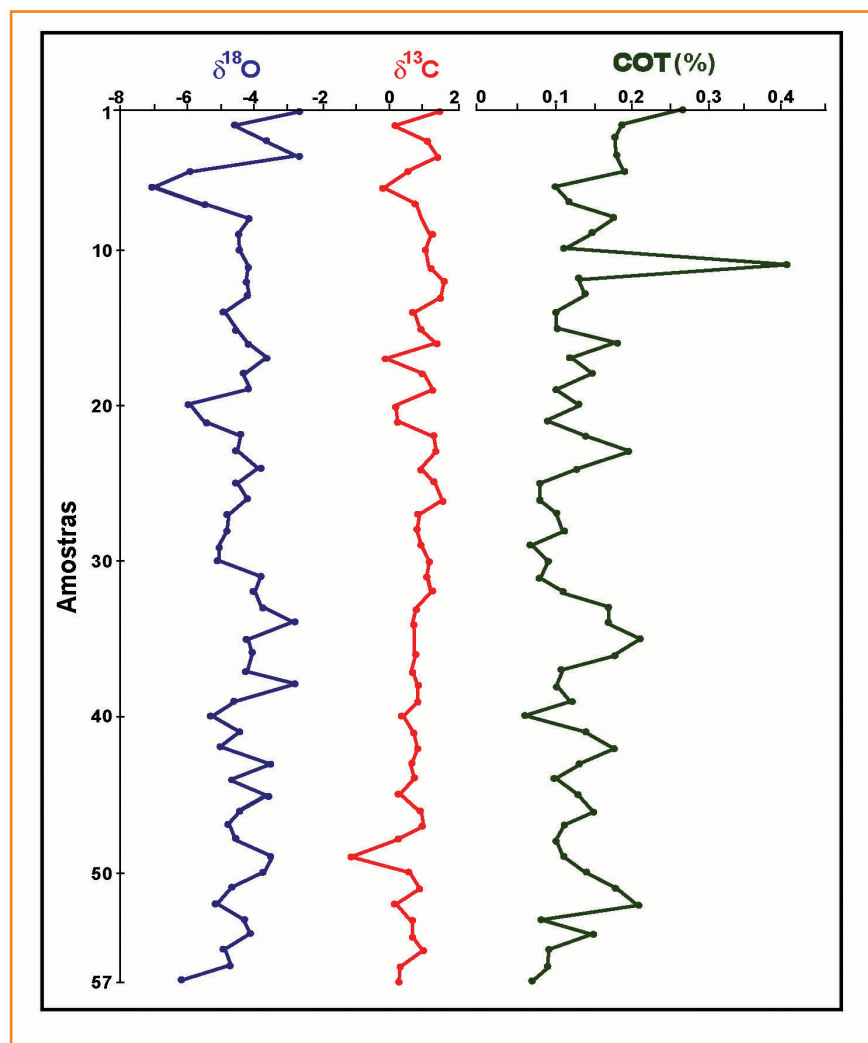


Figura 8

COT e isótopos de carbono e oxigênio da seção estudada.

Figure 8

TOC and carbon and oxygen isotopes in the section studied

jam espécies estrategistas *r*, que possuem alta capacidade reprodutiva, *W. barnesae* poderia ter ciclos reprodutivos menores, produzindo mais indivíduos em menor tempo. De qualquer forma, não seria possível determinar com exatidão qual a principal causa, sendo a mais provável uma ação conjunta dos eventos naturais, causando oscilações na produtividade dos organismos.

O fator 2 possui uma variância de 15,61%, considerando-se a totalidade das amostras. Na parte superior do testemunho a variância decai para 7,7%. Neste fator estão contidos os efeitos causados pela dissolução e predomina *M. decussata*, nanofóssil mais resistente na assembléia observada. Na análise modo *Q*, realizada em separado nas 33 primeiras amostras, *W. barnesae* participa deste fator com 0,14. Apesar de estar no limite entre resistência e suscetibilidade, *W. barnesae* seria menos passível à dissolução que

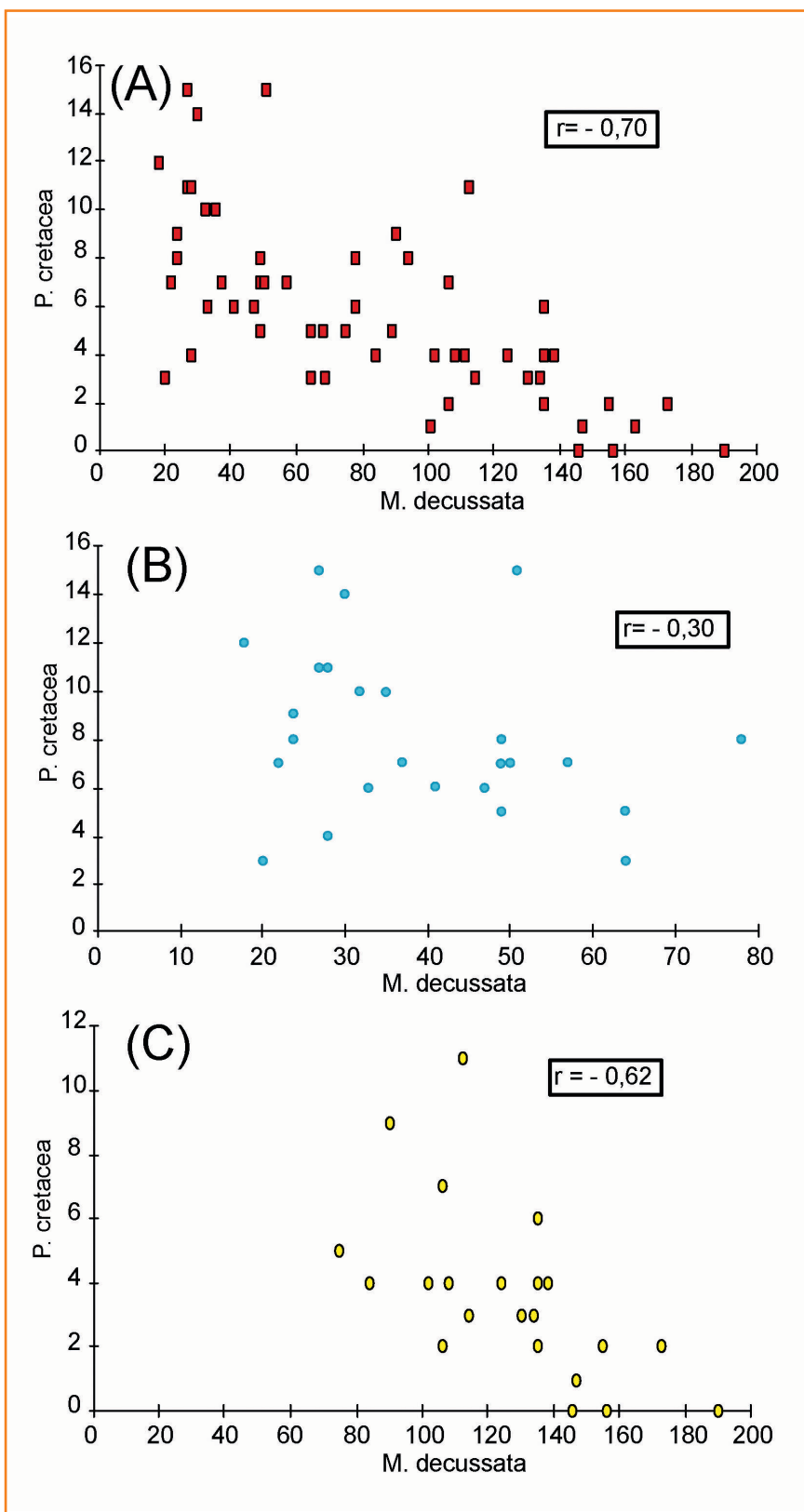


Figura 9 – Correlações entre os valores percentuais de *P. cretacea* e *M. decussata*: (a) em todas as amostras, (b) nas amostras de 2 a 27, (c) nas amostras de 35 a 57.

Figure 9 – Correlation between percentage values of *P. cretacea* and *M. decussata*. (a) In all samples. (b) In samples 2 to 27. (c) In samples 35 to 57.

as demais espécies (Thierstein, 1980), tendo a sua importância ressaltada na porção superior, onde a influência do fator 2 se mostra pequena.

As zonas de influências, obtidas através do gráfico de correlação do fator 1 com o fator 2 (figs. 7a e 7b), demonstram que a parte superior do testemunho foi fortemente afetada pelo fator 1, enquanto que as porções intermediárias e inferior oscilaram entre uma forte influência do fator 2 e do fator 1. A curva obtida indica o grau de dissolução ao longo da coluna sedimentar analisada (fig. 10a).

A atribuição de valores absolutos foi realizada associando-se as biozonas neocampanianas e eomastrichtianas de Sissingh (1977), a escala de tempo geológico e a curva eustática de Harland *et al.* (1982 e 1989), e as idades absolutas atribuídas aos limites das biozonas por Beurlen *et al.* (1992) para a Bacia de Campos (fig. 10b). Com base nestas correlações, a base da biozona CC-21 foi posicionada a 77,1 Ma, e o seu topo a 75,7 Ma, o topo da biozona CC-22 a 74,4 Ma e o topo da CC-23 a 72,6 Ma. As duas quedas relativas do nível do mar, correspondentes à base e ao topo do ciclo 4.3 de Haq *et al.* 1987, foram marcadas a 76,6 Ma e 74,7 Ma. Assim, o hiato detectado pela ausência da biozona CC-22a seria referente ao rebaixamento relativo do nível do mar ocorrido a 74,7 Ma. Assumindo-se que os sedimentos correspondentes ao topo da biozona CC-21 (75,7 Ma) não teriam sido erodidos, o valor temporal deste hiato seria de 1,0 Ma e estariam ausentes não só os sedimentos relacionados à biozona CC-22a como aqueles da parte inferior da CC-22b. A taxa de sedimentação calculada para a biozona CC-22b foi de cerca de 1 metro a cada 100 mil anos. A extrapolação desta taxa para o restante do testemunho posicionaria a sua base e o seu topo a 76,5 Ma e 73,8 Ma, respectivamente. Segundo Harland *et al.* (1989), a passagem do Campaniano para o Maastrichtiano ocorreu a 74 Ma. Desta forma, a maior parte do testemunho analisado estaria no Campaniano superior. Apenas as sete primeiras amostras seriam do início do Maastrichtiano (figs. 10a e 10b).

A correlação entre a curva de dissolução e a variação eustática mostra que os sedimentos da

biozona CC-21, onde o grau de dissolução foi maior, corresponde a uma época de mar relativamente mais elevado. Nas biozonas CC-22b e CC-23a o efeito da dissolução foi pequeno e o mar estava em nível mais baixo do que no período anterior.

A correspondência da elevação do nível do mar com a dissolução, nos sedimentos neocampanianos - eomaastrichtianos da Bacia de Campos, já havia sido detectada por Strohschoen Jr. (1995), que observou um alto grau de degradação nas carapaças de foraminíferos. O autor considerou tal fenômeno como consequência da elevação da lisóclina e da CCD (*Calcite Compensation Depth*). Citando vários outros autores, Kennet (1982) demonstra que a profundidade da CCD oscilou bastante durante o Mesozóico e Cenozóico, sendo um evento global estreitamente ligado às variações do nível do mar. Durante as transgressões marinhas globais a precipitação de carbonatos seria estimulada nas plataformas continentais rasas e mares epicontinentais, tornando-se indisponível para a deposição em oceanos abertos. Como resultado, a CCD se tornaria muito rasa para manter o equilíbrio de carbonatos nos oceanos. Por outro lado, durante regressões marinhas, grande quantidade de carbonatos seria transportada para o ciclo oceânico, causando o aprofundamento da CCD. Além da variação do nível do mar, a circulação oceânica de fundo poderia afetar a CCD. Este tipo de circulação está ligado à formação das calotas polares, que se desenvolveram a partir do Cenozóico. As águas frias de fundo são ricas em dióxido de carbono, tendendo a dissolver o carbonato de cálcio. Teoricamente, no Cretáceo este tipo de mecanismo de circulação não existia, devido ao clima quente, com ausência de gelo polar (Saltzman e Barron, 1982).

No testemunho analisado, além da constatação de que o intervalo com menor influência da dissolução corresponde à época de mar relativamente mais baixo, observam-se várias oscilações no grau de dissolução, principalmente na parte inferior. Assumindo-se que durante o Neocretáceo as mudanças na profundidade da CCD são apenas devido às flutuações do nível do mar, a curva de dissolução apresentada poderia refle-

tir não só as oscilações na capacidade de dissolução como também as variações relativas do nível do mar de 4ª e 5ª ordens.

Associando-se as curvas de $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$ e COT, as biozonas de nanofósseis, as idades e a curva de dissolução de nanofósseis, foram individualizados quatro intervalos (fig. 11):

Intervalo A: Corresponde à biozona CC-21. Seu topo é marcado por um hiato, diagnosticado pela ausência da biozona CC-22a, e por um brusco deslocamento da curva de $\delta^{18}\text{O}$ para valores negativos. Durante este intervalo, os valores dos isótopos de oxigênio demonstram uma tendência mais positiva, mas com muitas oscilações. A curva de dissolução de nanofósseis revela que o nível do mar foi relativamente mais alto neste do que nos outros intervalos subseqüentes, apresentando, entretanto, muitas variações. A grosso modo, podem ser relacionadas as subidas do nível do mar com valores relativamente mais negativos da curva de $\delta^{18}\text{O}$, indicando, desta forma, uma possível ligação entre a subida relativa do nível do mar (e consequente aumento da dissolução) e o momentâneo aquecimento relativo dos oceanos, nesta época. A curva de $\delta^{13}\text{C}$ mostrou-se bastante homogênea durante o intervalo, com exceção da brusca queda dos valores nas proximidades da amostra 49. Esta excursão negativa é acompanhada por uma subida relativa do nível do mar / aumento da dissolução de nanofósseis.

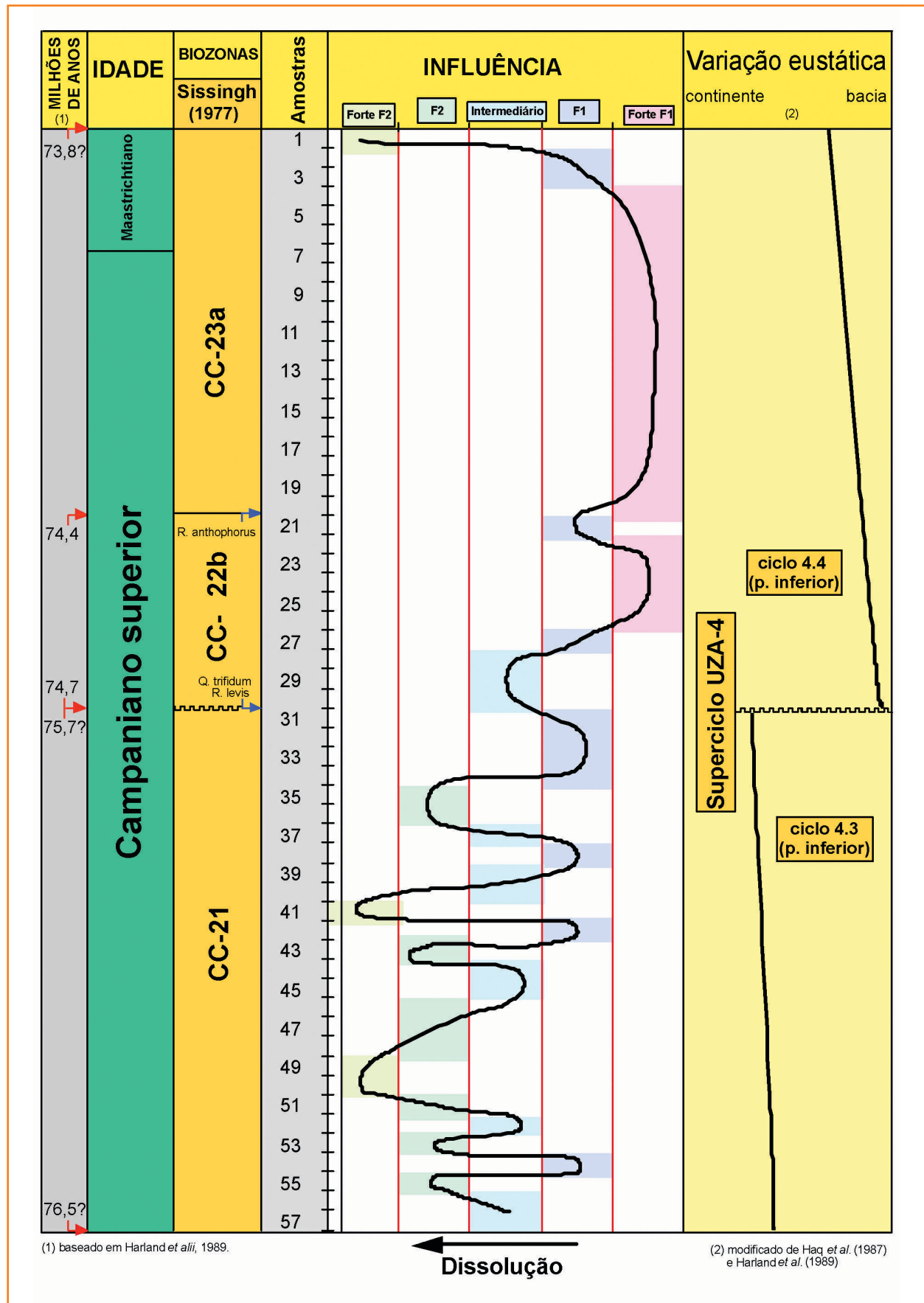
Intervalo B: Corresponde à totalidade da biozona CC-22b. O topo do intervalo é caracterizado pela diminuição dos valores de $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$ e COT, acompanhada por um momentâneo aumento da dissolução e do nível do mar. Desta forma, o evento que assinala a passagem deste intervalo para o seguinte é marcado por um rápido aquecimento dos oceanos e uma subida relativa do nível do mar, constatada pelo súbito aumento de dissolução de nanofósseis. É provável que a diminuição da quantidade de matéria orgânica não seja devida, somente, à baixa preservação. Provavelmente, a transgressão marinha diminuiu o afluxo de sedimentos continentais e, consequentemente, o aporte da matéria orgânica advinda dos vegetais superiores. O intervalo pode ser subdividido em duas fases distintas: a sua parte inferior tem menores valores de $\delta^{18}\text{O}$,

Figura 10 A

Correlação entre a curva de dissolução, variação eustática, biozonas de nanofósseis e as idades absolutas inferidas.

Figure 10 A

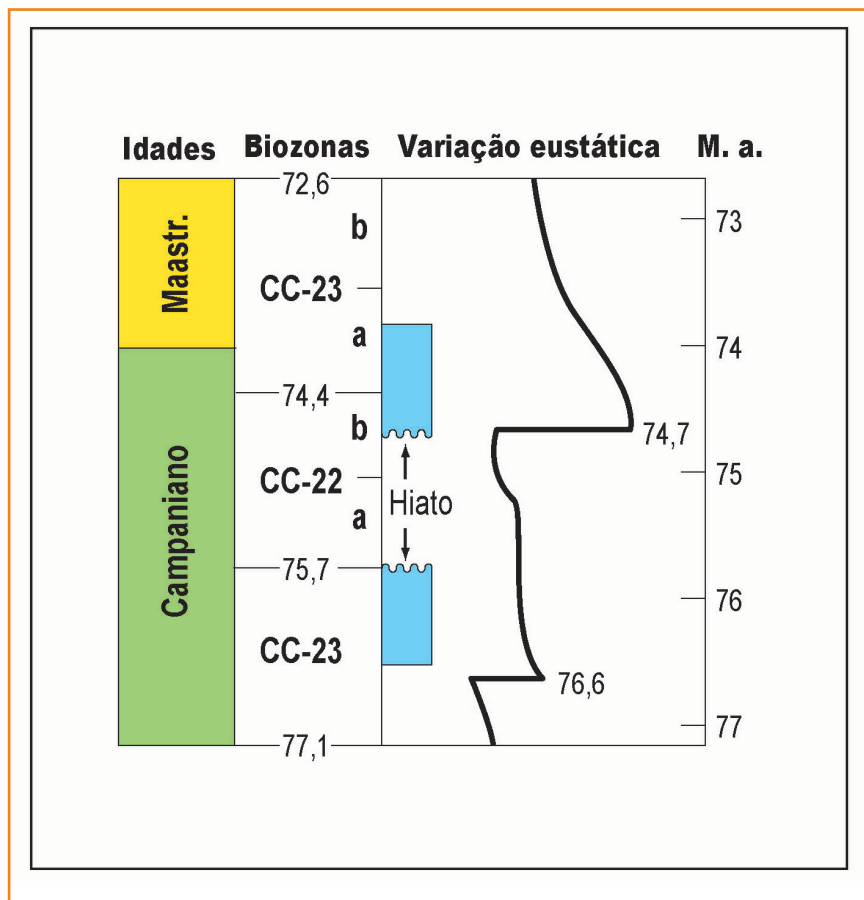
Correlation between the dissolution curve, eustatic variation, nanofossils biozones and absolute inferred ages.



$\delta^{13}\text{C}$ e COT associados a um aumento da dissolução, enquanto a porção superior tem como características valores relativamente mais altos de $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$ e COT, com uma menor dissolução de nanofósseis. Assim, pode-se interpretar que o intervalo teve início com um nível de mar relativamente mais alto, com temperaturas mais elevadas e com baixa preservação e/ou menor afluxo da matéria orgânica. Posteriormente, ocorreu um rebaixamento do nível oceânico, acompanhado de diminuição da temperatura e melhora na preservação e/ou aumento do aporte da matéria orgânica, culminando com um rápido aumento de temperatura, elevação dos mares e diminuição dos teores da matéria orgânica.

Intervalo C: Corresponde à parte da biozona CC-23a. Durante este intervalo a curva de dissolução de nanofósseis é praticamente contínua. Nesta época, o nível do mar encontrava-se relativamente mais baixo com a CCD localizada a altas profundidades, proporcionando alta conservação dos nanofósseis. Já as curvas de isótopos de oxigênio e carbono mostram algumas variações. Entretanto, as mudanças do comportamento das curvas não mostram correlação, comportando-se de forma independente. Apenas nos eventos que assinalam o topo e a base do intervalo existe a concordância das curvas, com ambas diminuindo de valor. O limite deste intervalo com o sobrejacente é marcado por um súbito deslocamento das curvas de oxigênio e carbono para valores negativos. O limite superior do intervalo também coincide com a passagem Maastrichtiano – Campaniano.

Intervalo D: Corresponde ao restante das biozona CC-23a. As curvas de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ comportam-se de forma simétrica, mostrando forte correlação. A base do intervalo é marcada por forte deslocamento das curvas em direção a valores negativos, seguido por um rápido aumento. Logo após ocorre uma nova excursão negativa, passando em seguida para uma tendência positiva. O intervalo exibe um gradiente mais elevado do que os demais, em direção a temperaturas mais baixas. A curva de dissolução de nanofósseis inicia o intervalo com tendência à preservação passando a altos valores de dissolução, na porção superior do intervalo. Isto poderia indicar



que durante o período representado por este intervalo o nível do mar subiu rapidamente. Foi verificado nos demais intervalos, principalmente nos seus limites, que excursões negativas de oxigênio e carbono são acompanhadas por aumentos da dissolução. Entretanto, a base deste intervalo, que é assinalada por valores mais negativos de $\delta^{18}\text{O}$ encontrados no testemunho, não corresponde, imediatamente, a um aumento de dissolução. O registro da dissolução está defasado do evento que assinala o aumento de temperatura oceânica.

Da mesma forma como foi verificado anteriormente por Huber *et al.* (1995) e Rodrigues (1996), observou-se, ao longo de todo o intervalo estudado, uma diminuição dos valores de $\delta^{18}\text{O}$ do Campaniano superior ao Maastrichtiano, indicando um progressivo resfriamento das águas oceânicas. Entretanto, a análise dos valores de $\delta^{18}\text{O}$ do testemunho, com amostras a cada 30 cm, proporcionou uma visão completa das variações de temperatura do neocampaniano - eomaastri-

Figura 10 B

Posicionamento do testemunho através de correlação gráfica entre as biozonas, idades absolutas e curva de variação eustática.

Figure 10 B

Core positioning applying graphic correlation between biozones, absolute ages and eustatic variation curve.

chtiano. A tendência geral registrou números cada vez mais positivos, ocorrendo momentos em que os valores de $\delta^{18}\text{O}$ se desviaram rapidamente para o negativo, mas aumentando logo em seguida. Ou seja, dentro da tendência geral de diminuição das temperaturas oceânicas, existem rápidas elevações, vinculadas a ciclos de mais alta frequência, voltando a esfriar após a excursão negativa dos valores de $\delta^{18}\text{O}$. Com a correlação das biozonas com as curvas de $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$, COT e dissolução de nanofósseis, foram observadas coincidências de vários eventos. Quase sempre, o aumento da dissolução corresponde a quedas nos valores isotópicos de $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$ e COT. A concomitância destes fatos sugere que as momentâneas elevações do nível do mar, durante o neocampaniano - eomaastrichtiano, foram acompanhadas de um breve aumento da temperatura das águas oceânicas. Os baixos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e COT são consequência da pequena preservação da matéria orgânica devido às águas oxigenadas de fundo. Entretanto, em períodos de elevação do nível do mar, a má preservação pode não ser o único elemento determinante da pequena quantidade da matéria orgânica. Durante a transgressão marinha, o aporte de material continental seria barrado no litoral, impedindo a chegada da matéria orgânica de origem terrestre. O hiato diagnosticado devido à ausência da biozona CC-22a coincide com o limite superior do intervalo A, definido a partir da associação das curvas de $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$ e dissolução de nanofósseis. O topo da biozona CC-22b, assinalado pela extinção de *Reinhardtites anthophorus*, está no mesmo nível estratigráfico do limite superior do intervalo B. Estes fatos evidenciam uma relação entre os marcos bioestratigráficos e os intervalos individualizados. Na passagem Campaniano - Maastrichtiano, posicionada a partir da correlação com as idades absolutas de Harland *et al.* (1989) em 74 Ma, os valores de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ decrescem subitamente, formando uma forte feição geoquímica. Diferente dos outros intervalos, no intervalo D os valores negativos de $\delta^{18}\text{C}$ e $\delta^{13}\text{C}$ não correspondem, imediatamente, a um aumento de dissolução de nanofósseis. O aumento da dissolução só ocorre após a excursão negativa de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$. A hipótese aventada

para explicar este aparente diacronismo seria que a transferência da CCD para profundidades menores não seria imediata, ocorrendo após certo espaço de tempo. Como no intervalo anterior, o nível do mar manteve-se baixo por um grande período e a CCD encontrava-se a grandes profundidades. A sua elevação fez-se, então, de forma gradativa até atingir a profundidade de dissolução dos nanofósseis que, a partir deste ponto, cresceu exponencialmente.

conclusões

1) A análise multivariada revelou que *W. barnesae* e *M. decussata* dominaram a assembléia nanofossilífera durante o neocampaniano e o início do Maastrichtiano da Bacia de Campos. Juntos, estão sempre acima de 50%, possuindo comportamento de distribuição inverso, com coeficiente de correlação de -0,92. Foram espécies oportunistas, capazes de suportar melhor as mudanças ambientais e com grande capacidade reprodutiva. A competição entre elas era interespecífica com a inibição indireta de uma espécie pela outra, durante a busca dos nutrientes.

2) A aplicação da análise fatorial modo **Q** revelou que apenas dois fatores explicam 99,23% do comportamento da assembléia nanofossilífera: fator 1, com 83,62%, e fator 2 com 15,61%. Os nanofósseis com maior peso no fator 1 são *W. barnesae* (0,97), *C. ehrenbergii* (0,10) e *S. crenulata* (0,17). Quase toda a distribuição dos fósseis está condicionada por este fator que representa a composição do nanoplâncton original, refletindo a interação entre os organismos e as suas respostas às variações ecológicas. No fator 2 predomina *M. decussata*, que era o fóssil mais resistente da assembléia observada. Portanto, neste fator estão contidos os efeitos causados pela dissolução.

3) Com base nas correlações realizadas conclui-se que:

a) o topo do testemunho teria idade absoluta de 73,8 Ma, a sua base corresponderia a 76,5 Ma, o limite superior da biozona

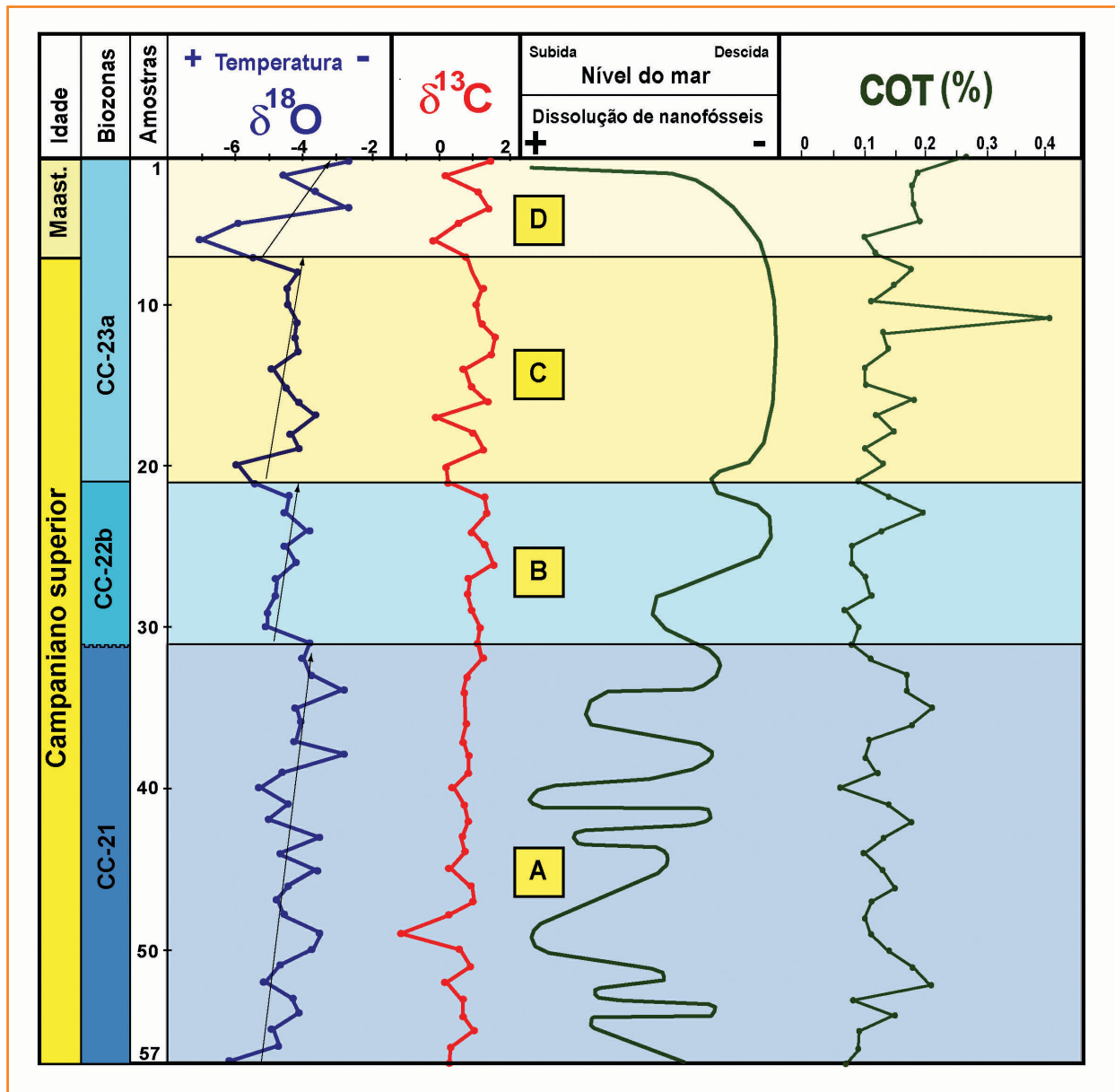


Figura 11

Compartimentação da seção em intervalos com base na correlação das biozonas de nanofósseis, isótopos de oxigênio e carbono, curva de dissolução de nanofósseis e Carbono Orgânico Total (COT).

Figure 11

Section subdivisions based on the correlations among nanofossils biozones, oxygen and carbon isotopes, nanofossils dissolution curve and Total Organic Carbon (TOC).

CC-22b estaria posicionado a 74,4 Ma e o topo da biozona CC-21 a 75,7 Ma;

b) o hiato detectado pela ausência da biozona CC-22a corresponde ao rebaixamento do nível do mar ocorrido a 74,7 Ma. Estariam ausentes a biozona CC-22a e a parte inferior da zona CC-22b. O valor temporal do hiato é de 1,0 Ma;

c) a taxa de sedimentação seria de 1 m a cada 100 mil anos, calculada para a biozona CC-22b e extrapolada para o restante do testemunho;

d) as amostras de 1 a 7 do testemunho correspondem ao Maastrichtiano. As restantes 50 pertencem ao Campaniano superior;

e) a curva de dissolução mostra que os sedimentos da biozona CC-21 correspondem a um grau de dissolução mais intenso. A curva de variação eustática revela que nesta época o mar estava relativamente mais elevado;

f) nos sedimentos correspondentes às biozonas CC-22b e CC-23a o efeito da dissolução foi menor do que na zona CC-21

e a curva de variação eustática demonstra que o mar estava em nível mais baixo do que no período anterior.

4) De maneira geral, os valores de COT obtidos foram baixos devido à baixa preservação e/ou pequeno aporte de matéria orgânica. Já os valores de $\delta^{18}\text{O}$ mostram tendência de deslocamento para valores mais positivos, indicando diminuição da temperatura das águas oceânicas do neocampaniano ao início do Maastrichtiano. A associação dos valores de $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$ e COT com as biozonas de nanofósseis, idades absolutas e com a curva de dissolução de nanofósseis proporcionou a identificação de quatro intervalos, sendo que o limite superior destes (com exceção do intervalo mais superior, correspondente ao Maastrichtiano, do qual não se tem conhecimento do limite superior) são marcados por um deslocamento abrupto da curva de $\delta^{18}\text{O}$ para valores negativos, indicando um relativo aumento de temperatura de pequena duração.

5) De modo geral, as subidas do nível do mar, registradas pela curva de dissolução, estão relacionadas à diminuição dos valores de $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$ e COT. Isto indica uma relação entre a subida do nível do mar, o aquecimento relativo dos oceanos e a diminuição do aporte de matéria orgânica devido à transgressão. Também foi observado que a passagem Campaniano – Maastrichtiano assinalada corresponde a uma forte excursão negativa dos valores de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$. Caso não seja um evento local, poderá vir a ser um importante auxiliar na identificação deste limite cronoestratigráfico.

agradecimentos

Aos colegas Gerhard Beurlen, pelo auxílio na modificação e na recuperação dos arquivos originais do texto, a Heriberto V. dos Santos pela presteza no tratamento das figuras e tabelas, a Rogério L. Antunes, Gilmar Vital Bueno e R. L. M. Azevedo pela revisão e importantes sugestões ao texto, a Sylvia C. Anjos, Edison Milani e Gereson S. Terra pelo estímulo e apoio, e à Petrobras pela permissão de publicação deste trabalho.

referências bibliográficas

ANTUNES, R. L. Bioestratigrafia dos nanofósseis quaternários da Bacia de Campos. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 2/4, p. 295-313, 1994.

BERGER, W. H. Stable isotope in foraminifera. In: **Foraminiferal ecology and paleoecology**. Houston: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 1979. p. 156-198. (Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. Short Course, 6).

BEURLLEN, G. B.; RICHTER, A. J.; CUNHA, A. A.; SILVATELLES JR., A.; MARTINIS, E.; PEDRÃO, E.; MOURA, J. A.; GOMIDE, J.; VIVIERS, M. C.; ARAI, M.; UESUGUI, N.; NASCIMENTO, N. L.; AZEVEDO, R. L. M.; DINO, R.; ANTUNES, R. L.; SHIMABUKURO, S.; ABREU, W. S. **Bioestratigrafia das Bacias Mesozóicas-Cenozóicas Brasileiras**. Texto explicativo das cartas bioestratigráficas. Rio de Janeiro: PETROBRAS. CENPES. DIVEX. SEBIPE, 1992. 2 v. Relatório interno.

BOWN, P. R. **Calcareous nanofossil biostratigraphy**. Cambridge: Chapman & Hall, 1998. 314 p. (British Micropaleontological Society Series).

BRALOWER, T. J. Calcareous nanofossil biostratigraphy and assemblages of the Cenomanian - Turonian boundary interval: Implications for the origin and timing of oceanic anoxia. **Paleoceanography**, Washington, v. 3, n. 3, p. 275-316, 1988.

CADDAH, L. F. G. **Caracterização sedimentológica e petrofísica do reservatório cretácico ...** Macaé: PETROBRAS. DESUD. DIREP. SELAG, 1993. 1 v. Relatório interno.

CHANG, Y. M. Accuracy of fossil percentage estimation. **Journal of Paleontology**, Tulsa, Okla., v. 41, n. 2, p. 500-502. 1967.

COSTA, D. S.; VIVIERS, M. C.; SHIMABUBURO, S. Ocorrência de microfósseis com preservação excepcional no Maastrichtiano da Bacia do Ceará: uma abordagem paleoecológica e autoecológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 18., 2003, Brasília, DF. **[Resumos]**... Brasília: Sociedade Brasileira de Paleontologia/UNB, 2003. p. 103.

- DENNISON, J. M.; HAY, W. W. Estimating the needed sampling area for subaquatic ecologic studies. **Journal of Paleontology**, Tulsa, Okla., v. 41, n. 3, p. 706-708. 1967.
- ERBA, E. Calcareous nannofossil distribution in pelagic rhythmic sediments (Aptian - Albian Piobiccio core, Central Italy). **Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia**, Milano, v. 97, n.3-4, p. 455-484. 1992.
- ESHET, Y.; ALMOGI-LABIN, A. Calcareous nannofossils as paleoproductivity indicators in Campanian - Maastrichtian upwelling systems. **Journal of Nanoplankton Research**, [S.l.], v. 17, n. 2, p. 55-56. 1995.
- FRANCÉS, G.; FLORES, J. A.; SIERRA, F. J. Análisis factorial (modo Q) de la nanoflora calcárea del Mioceno superior en el sondeo ODP 654 (Tirreno, Mediterráneo Occidental). **Revista Española de Paleontología**, Catalunya, v. 6, n. 1, p. 50-58. 1991.
- HAQ, B. U.; HARDENBOL, J.; VAIL, P. R. Chronology of fluctuating sea levels since de Triassic. **Science**, Washington, v. 235, p. 1156-1167, 1987.
- HARLAND, W. B.; ARMSTRONG, R. L.; COX, A. V.; CRAIG, L. E.; SMITH, A. G.; SMITH, D. G. **A geological time scale**. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. 263 p.
- HARLAND, W. B.; COX, A. V.; LLEWELLYN, P. G.; PIKTON, C. A. G.; SMITH, A. G.; WALTERS, R. **A geological time scale**. Cambridge: Cambridge University Press, 1982. 131 p.
- HILL, M. E. Selective dissolution of mid-Cretaceous (Cenomanian) calcareous nannofossils. **Micropaleontology**, New York, v. 21, n. 2, p. 227-235, 1975.
- HUBBER, B. T.; HODELL, D. A.; HAMILTON, C. P. Middle - late Cretaceous climate of the southern high latitudes: Stable isotopic evidence for minimal equator - to - pole thermal gradients. **The Geological Society of America Bulletin**, Boulder, Colo., v. 107, n. 10, p. 1164 - 1191, 1995.
- KENNET, J. P. **Marine Geology**. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1982. 813 p.
- KLOVAN, J. E.; IMBRIE, J. An algorithm on FORTAN-IV program for large-scale Q-mode factor analysis and calculation of factor scores. **Mathematical Geology**, New York, v. 3, p. 61-77, 1971.
- MUTTERLOSE, J. Calcareous nannofossils and belemnites as warm waters indicators from the NW - German middle Aptian. **Geol. Jb.**, Hannover, A96, p. 293-313, 1987.
- ODUM, E. P. **Ecologia**. Tradução Christopher J. Tribe. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1988. 434 p. Tradução de: Basic Ecology.
- OLIVEIRA, L. C. V. **Arcabouço estratigráfico do Albo-Maastrichtiano da Bacia de Campos: um estudo com base em nanofósseis calcários e suas relações com marcos elétricos - estratigráficos e a estratigrafia química**. Porto Alegre: Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997. 181 f. Dissertação (Mestrado).
- PATTERSON, R. T.; FISHBEIN, E. Re-examination of the statistical methods used to determine the number of point counts needed for micropaleontological quantitative research. **Journal of Paleontology**, Tulsa, Okla., v. 63, n. 2, p. 245-248, 1989.
- PAUL, C. R. C.; MITCHELL, S.; LAMOLDA, M.; GOROSTIDI, A. The Cenomanian - Turonian boundary event in northern Spain. **Geological Magazine**, Cambridge, v. 131, n. 6, p. 801-817, 1994.
- PERILLI, N. Calibration of early - middle Toarcian nannofossil events based on high-resolution ammonite biostratigraphy in two expanded sections from the Iberian Range (East Spain). **Marine Micropaleontology**, Amsterdam, v. 39, p. 293-308. 2000.
- QUADROS, L. P. Contribuição à paleoecologia do Cretáceo superior na área de Brejo Grande (Bacia de Sergipe / Alagoas). estudo efetuado em base de nanofósseis. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 53, n. 3, p. 595-603. 1981.
- RODRIGUES, R. O evento anóxico Cenomaniano-Turoniano e os marcos estratigráficos do Cretáceo superior das Bacias do Espírito Santo e Campos, sudeste do Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 4., Rio Claro, 1996. **Boletim...** Rio Claro: UNESP, 1996. p. 51-53.
- ROTH, P. H.; COULBOURN, W. T. Floral and solution patterns of coccoliths in surface sediments of the

- north Pacific. **Marine Micropaleontology**, Amsterdam, n. 7, p. 1-52, 1982.
- SALTZAMAN, E. S.; BARRON, E. J. Deep circulation in the Late Cretaceous: oxygen isotope paleotemperatures from *Inoceramus* remains in DSDP cores. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 40, p. 167-181. 1982.
- SHIMABUKURO, S. **Braarudosphaera Chalk**: Investigações sobre a gênese de um marco estratigráfico. Porto Alegre: Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994. 120 f. Dissertação (Mestrado).
- SISSINGH, W. Biostratigraphy of Cretaceous calcareous nannoplankton. **Geologie Mijinbouw**, Amsterdam, v. 56, n. 1, p. 37-65, 1977.
- SOUTO, P. R.; AYUP-ZOUAIN, R. N. Análise mineralógica e sedimentológica aplicada para estudos de evolução paleogeográfica da margem continental do Atlântico Sul. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 7., Porto Alegre, 1995. **[Livro de resumos]**... Porto Alegre: UFRGS, 1995. p. 24.
- STROHSCHOEN JR., O. **Microbioestratigrafia, paleoecologia e paleoceanografia do Cretáceo Superior na área centro - sul da Bacia de Campos**. Porto Alegre: Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 118 f. Dissertação (Mestrado).
- THIERSTEIN, H. R.; ROTH, P. H. Stable isotopic and carbonate cyclicity in lower Cretaceous deep-sea sediments. Dominance of diagenetic effects. **Marine Geology**, Amsterdam, n. 97, p.1-34. 1991.
- THIERSTEIN, H. R. Selective dissolution of the late Cretaceous and earliest Tertiary calcareous nanofossils: experimental evidence. **Cretaceous Research**, London, v. 2, p. 165 – 176, 1980.
- THIERSTEIN, H. R. Late Cretaceous nannoplankton and the change at the Cretaceous - Tertiary Boundary. In: WARME, J. E.; DOUGLAS, R. G.; WINTERER, E. L. (Eds.). **The Deep sea drilling project: a decade of progress**. Tulsa, Okla.: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 1981. p. 355-394. (special publication, 32).
- TOLEDO, F. A. L. **Nanofósseis calcários quaternários da Bacia de Campos - Sistemática e interpretação paleoambiental**. Porto Alegre: Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 159 f. Dissertação (Mestrado).

expanded abstract

Quantitative analysis of nannofossils is a useful methodology to study the surface paleoproductivity and the preservation conditions in the old ocean bottoms due to their phytoplanktonic origin and the variation of resistance of their taxa to the dissolution.

However, in the routine works of the petroliferous industry, the studies of nannofossils are focused on the identification of the fossils presents in the interval, without quantification. This procedure is explained by the normal kind of available material, cuttings samples. Contamination can be very high in this material and it may also hide the real numbers of fossils. In many cases, it is impossible to distinguish between in place deposits from nannofossils caving in the down-hole. In cutting samples, biostratigraphy is achieved by using only the last occurrences, which have not been affected by caving.

Currently oil exploration requires high level detail and there is an increasing demand for enhanced stratigraphic information, as well as for paleoceanographic information. The nannofossils quantitative analyses allow these studies and they can be developed using samples that permit the adequate quantification: sidewall core and cores.

This article is based on the study by Oliveira (1997) in which calcareous nannofossils from 18 meters upper Campanian – lower Maastrichtian core from the Campos Basin (Brazil) were analyzed and quantified.

The definition of the ideal amount of fossils to be counted was made by multiple regression analysis. It was verified that the *Watznaueria barnesae* and *Micula decussata* species are predominant in the nannoplakton assemblage studied and its total percentages is always above 50% in each sample. Also, they have inverse behaviors of abundance; the increase of one corresponds to the reduction of the other. The correlation coefficient between these species discloses a strong negative relation of - 0.92. Consequently, it was interpreted that *W. barnesae* and *M. decussata* were strongly competing for the available resources and were opportunist species, better prepared to support the environmental changes and with great reproductive capacity.

For the treatment of the data obtained through the quantitative analysis, factorial analysis (Q mode) was applied, which permits a simultaneous analysis of two or more variables. In the specific case of the nannofossils it must be taken into account both the effects of the interaction of the live species, as well as the modi-

fications that occur during and after the deposition.

The Q mode factorial analysis showed that only two factors explain 99.23% of the behavior of the nannofossils assemblage: In factor 1, with 83.62%, the main influences had been identified in *W. barnesae* (0.97), *C. ehrenbergii* (0.10) and *S. crenulata* (0.17). This factor reflects the composition of original nannoplakton that shows the interaction between the organisms and their reactions to environmental variations. Factor 2 is dominated by *M. decussata*, the more resistant nannofossil in the assemblage observed, and represents the effects caused by dissolution.

A curve was plotted based on factors 1 and 2 and it represents the nannofossils dissolution in the analyzed core. It was verified that the interval with lesser influence of the dissolution corresponds to a low sea level period. Some oscillations were also verified in the dissolution degree, mainly in the lower portion of the interval. Assuming that during the Upper Cretaceous changes in the CCD (Calcite Compensation Depth) occurred only due to fluctuations of the sea level, the dissolution curve presented could reflect the oscillations in the dissolution capacity and the fourth and fifth order cycles of relative variations of the sea level.

In general, the sea level rises recorded are related with the reduction of $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$ and TOC (Total Organic Carbon) values. These correlations indicate a strong link between high sea levels, high temperatures and lower amount of continental organic debris due to transgression.

The correlation between nannofossils biozones with the $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ curves and the dissolution curve allowed four stratigraphic refinement intervals to be identified.

The top of the oldest interval (unit A) was characterized by an abrupt displacement of the $\delta^{18}\text{O}$ curve to negative values. It was correlated with CC-21 nannofossil biozone.

Unit B corresponds to the CC-22b biozone, of whose top was characterized by the reduction of the $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values followed by a momentary increase in dissolution and sea level.

Unit C was correlated with the lower part of CC-23a biozone. During this interval the nannofossils' dissolution curve was almost continuous. In this period relative sea level was low and CCD was located in the great depths, thus preserving nannofossils. The limit of this interval with the superjacent unit is marked by a sudden excursion of the oxygen and carbon isotope curves into negative values and coincides with the Maastrichtian – Campanian boundary.

Unit D is the younger interval and corresponds to the remainder of CC-23 biozone. The $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ curves had a symmetrical behavior, thus showing a strong correlation. The base of the interval is marked by an abrupt displacement of the curves towards negative values, followed by a fast increase. Afterwards, a new negative excursion occurred, followed by a positive trend. This unit seems to have a steeper inclination, towards the lowest temperatures in relation to the other analyzed units.

autor author



Luiz Carlos Veiga de Oliveira

Centro de Pesquisas da Petrobras (Cenpes)

Gerência de Bioestratigrafia e Paleoecologia

e-mail: lcveiga@petrobras.com.br

Luiz Carlos Veiga de Oliveira nasceu no Rio de Janeiro (RJ) em 1960 e graduou-se em Geologia pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) em 1982. Antes de ingressar na Petrobras em 1987, trabalhou em acompanhamento geológico de poços e *mudlogging*, atuando nas bacias de Campos, Santos, Espírito Santo e Potiguar. Já na Petrobras, trabalhou na Bacia do Espírito Santo, primeiramente em acompanhamento de poços e, a partir de 1989, com a Bioestratigrafia dos nanofósseis calcários. Em 1992 foi transferido para o Setor de Bioestratigrafia e Paleoecologia do Cenpes. Obteve grau de Mestre em Geociências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul em 1997, estudando os nanofósseis calcários do Albo-Maastrichtiano da Bacia de Campos e as suas relações com marcos elétricos – estratigráficos e a estratigrafia química. Em 2002 concluiu o MBA em *Management* pela Fundação Getúlio Vargas. Durante o ano de 2003 foi assistente do Gerente Executivo do Cenpes. Atualmente trabalha na Gerência de Bioestratigrafia e Paleoecologia do Cenpes com nanofósseis calcários e estratigrafia química e realiza Doutorado pela UFRGS, tendo como tema a bioestratigrafia de nanofósseis e estratigrafia química do Pliensbaquiano - Toarciano inferior (Jurássico inferior) da região de Peniche (Bacia Lusitânica, Portugal).