BIOESTRATIGRAFIA COM BASE EM NANOFÓSSEIS CALCÁRIOS DO TESTEMUNHO GL-77, BACIA DE CAMPOS, SUDESTE DO BRASIL

DANIELY MOREIRA MACIEL

Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, 70910-900, Brasília, DF, Brasil.
danielygeo@yahoo.com.br

CLEBER FERNANDES ALVES

Fundação Gorceix, Ilha do Fundão, prédio 20, 21941-915, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
alvescf@yahoo.com.br

ELIZABETE PEDRÃO FERREIRA

BPA/CENPES, PETROBRAS, Ilha do Fundão, prédio 20, 21941-915, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
elizabeth@petrobras.com.br

ABSTRACT – BIOSTRATIGRAPHY BASED ON CALCAREOUS NANNOFOSSILS OF THE CORE GL-77, CAMPOS BASIN, SOUTHEASTERN BRAZIL. This study aims the proposition of a biostratigraphic zonation based on calcareous nannofossils assemblages recovered from the Quaternary sediments of the well GL-77. The piston core was drilled on the lower slope in the northern Campos Basin, southeastern Brazil. The nannofossil assemblage is rich, well diversified and preserved, and is recognized as being unicellular algae (coccolithophorids and nannoliths), calcareous dinoflagellates and ascidian spicules. According to the biostratigraphic framework were identified the E?, F and G intervals, of the upper Pleistocene-Holocene age. The F Interval can be divided into two parts based on abundance of small *Gephyrocapsa*: lower (high frequency) and upper (low frequency). The stratigraphic distribution pattern of the abundance of *Gephyrocapsa* and *Emiliania huxleyi* throughout the section showed similar values at the upper part of F Interval as has been reported in previous studies.

Key words: biostratigraphy, calcareous nannofossils, Campos Basin, Holocene, Pleistocene.

RESUMO – Este trabalho objetiva caracterizar a bioestratigrafia baseada nas associações de nanofósseis calcários recuperados de sedimentos quaternários do testemunho GL-77, localizado no talude inferior da área norte da bacia de Campos, sudeste do Brasil. Os nanofósseis calcários recuperados apresentaram-se com boa diversidade e preservação, sendo reconhecidos representantes de algas unicelulares (cocolitoforídeos e nanolitos), dinoflagelados calcários e espículas de ascídias. Foram identificados os seguintes intervalos bioestratigráficos: E?, F e G, posicionando os estratos no Pleistoceno superior-Holoceno. Com base na abundância de exemplares pequenos de *Gephyrocapsa*, o Intervalo F pode ser dividido em duas partes: inferior (alta abundância) e superior (baixa abundância). A análise do padrão de distribuição da abundância de exemplares do gênero *Gephyrocapsa* e da espécie *Emiliania huxleyi* ao longo da seção mostrou valores similares na parte superior do Intervalo F, como assinalado em estudos anteriores na bacia.

Palavras-chave: bioestratigrafia, nanofósseis calcários, bacia de Campos, Holoceno, Pleistoceno.

INTRODUÇÃO

Os cocolitoforídeos, algas unicelulares haptófitas e um dos maiores componentes do fitoplâncton marinho atual, produzem placas diminutas de calcita denominadas de cocólitos. Esses elementos esqueléticos juntamente com os nanolitos (corpos diminutos calcários de origem orgânica), dinoflagelados calcários, espículas de ascídias, entre outros, constituem os nanofósseis calcários.

Os nanofósseis calcários apresentam pequenas dimensões (<63µm), uma grande variedade morfológica, ampla distribuição geográfica e temporal, abundância e um grande

número de eventos de extinção e surgimento. Estes fatores qualificam os táxons para definição de biozonas e elaboração de arcabouços bioestratigráficos de alta resolução, de caráter global ou regional, para seções marinhas mesozoicas (Sissingh, 1977; Perch-Nielsen, 1985a,b; Bown, 1998) e cenozoicas (Martini, 1971; Okada & Bukry, 1980; Rio, 1982; Antunes, 1994).

Este trabalho tem por objetivo reconhecer e quantificar as associações de nanofósseis calcários presentes nos sedimentos siliciclásticos de águas profundas da Formação Ubatuba, na bacia de Campos, visando caracterizar as biozonas e posicionar cronoestratigraficamente os referidos depósitos.

ÁREA DE ESTUDO

A bacia de Campos localiza-se na costa norte do estado do Rio de Janeiro e sul do Estado do Espírito Santo (Figura 1). Limita-se ao norte no Alto de Vitória e ao sul no Alto de Cabo Frio, e abrange uma área de 10^5 km², sendo que 500 km² encontram-se atualmente emersos e o restante submersos (Rangel *et al.*, 1994).

Os sedimentos em estudo pertencem à Formação Ubatuba, a qual tem o início de sua sedimentação no Neocretáceo (Turoniano) e continua até os dias atuais. Esta unidade faz parte dos depósitos siliciclásticos do Grupo Campos, que representa uma sucessão de folhelhos com depósitos arenosos turbidíticos intercalados da Formação Carapebus (Rangel *et al.*, 1994; Winter *et al.*, 2007). Esses sedimentos pelágicos são ricos em microfósseis que possibilitam o seu posicionamento cronoestratigráfico com relativa acurácia.

MATERIAL E MÉTODOS

O poço GL-77 (21°12' 20,3859" S / 40°02' 47,7543" O) foi efetuado com um *Jumbo Piston Core* (pistão), de 21 m, tendo recuperado 18,15 m de sedimentos, em lâmina d'água de 1.287 m, no talude inferior da bacia de Campos. Essa operação ocorreu no navio de sondagem "Bucentauro Cruzeiro", durante campanha de campo realizada em 2002/2003.

O perfil litológico do poço GL-77 é composto essencialmente por sedimentos de granulometria fina, sendo

possível caracterizar seis fácies (Figura 2) conforme descritas por Kowsmann & Mendonça (1994 *apud* Maciel, 2008). A fácies AS, caracterizada por areia siliciclástica, é composta de grãos de quartzo e mica, finos a médios, base abrupta e topo bioturbado. A fácies L apresenta lama siliciclástica, cinza esverdeada escura, bioturbada, micácea, com níveis centimétricos ricos em matéria orgânica, com tubos de pirita. A fácies LA é composta por lama arenosa, cinza esverdeada escura, micácea e bioturbada. A fácies LL apresenta uma lama levemente carbonática, cinza esverdeada escura. A fácies LR é caracterizada por lama rica em carbonato, e a fácies MG, por margas amareladas a cinza oliva, bastante bioturbadas.

Para a análise de nanofósseis calcários foram coletadas 85 amostras em níveis variáveis (de 5 em 5 cm; 10 em 10 cm; ou 30 em 30 cm), no intervalo 0-18,15 m (Figura 2). O processamento das amostras seguiu as etapas descritas por Alves (2007), sendo realizadas no Laboratório de Nanofósseis Calcários, da Gerência de Bioestratigrafia e Paleoecologia, (PETROBRAS/CENPES, Rio de Janeiro, RJ). A observação dos nanofósseis foi realizada em microscópio binocular com luz polarizada, com objetivas de 40X e 100X e ocular de 12,5X, conforme critérios apresentados por Antunes (1994, 2007). As fotografias dos nanofósseis calcários foram obtidas em câmara digital acoplada ao referido microscópio. A objetiva de 40X foi utilizada para se obter uma visão um pouco mais ampla dos campos a serem analisados com nicóis paralelos e cruzados. A objetiva de 100X foi usada para a identificação dos nanofósseis, sendo necessário o uso de óleo de imersão na superfície da lamínula.

Figura 1. Mapa de localização da bacia de Campos e do poço GL-77 (modificado de Maciel, 2008).

Figure 1. Location map showing the Campos Basin and the piston core GL-77 (modified from Maciel, 2008).

A análise do nanoplâncton foi realizada a partir da contagem total de espécimes em cinco campos de visão, onde cada campo é dividido em quatro quadrantes e a identificação e contagem dos táxons realizada no sentido horário (Alves, 2003, 2007). Isto facilita a observação e apuração dos exemplares encontrados, além de definir categorias de frequência relativa relacionadas aos números de indivíduos (Tabela 1). A partir da aplicação desse método, fez-se a contagem semi-quantitativa (Tabela 2), com análise visual da frequência dos diferentes espécimes presentes.

Neste trabalho também foi adotada a divisão de morfogrupo dimensionais estabelecida por Rio (1982) para os exemplares do gênero *Gephyrocapsa* (pequena <3,5 µm; média 3,5-5,5 µm e grande >5,5 µm). A importância dessa divisão constitui eventos biológicos diagnósticos de biozonas da seção do Pleistoceno conforme arcabouços elaborados

por diversos autores (Gartner, 1977; Raffi & Rio, 1979; Rio, 1982; Rio *et al.*, 1990; Antunes, 1994; Hine & Wever 1998).

A posição cronoestratigráfica dos depósitos em estudo foi calibrada com os dados cronoestratigráficos obtidos pelas biozonas de foraminíferos planctônicos (W, X, Y e Z) caracterizadas por Sanjinés (2006) no referido poço.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras investigadas apresentam alta diversidade e boa preservação, em termos de nanofósseis calcários, o que permite classificações taxonômicas em nível específico, exceto no intervalo de 18,15 a 17,15 m. Este fato pode ser atribuído à presença de areias e lamas siliciclásticas com granulometria fina a média, uma litofáceis não favorável à preservação do nanoplâncton.

As tabelas 1 e 2 mostram a distribuição estratigráfica dos táxons de nanofósseis calcários, sendo 30 espécies de coccolitoforídeos, quatro de nanolitos, um gênero de dinoflagelado calcário e dois gêneros de espículas de ascídias.

A seguir, é apresentado o resultado bioestratigráfico do poço GL-77 com base em espécies-guia constantes no arcabouço bioestratigráfico de Antunes (1994), e uma correlação com as biozonas dos arcabouços de referência (Figuras 3, 4).

Intervalo bioestratigráfico E?

Definição. Limite inferior marcado pela última ocorrência da espécie *Pseudoemiliana lacunosa* e limite superior marcado pela última ocorrência da espécie *Helicosphaera inversa* (como definida por Antunes, 1994).

Cronoestratigrafia. Pleistoceno superior.

Observação. As espécies-guia *Pseudoemiliana lacunosa* e *Helicosphaera inversa* não foram identificadas no poço GL-77. De acordo com estudos bioestratigráficos realizados por Antunes (1994) na seção pleistocênica da bacia de Campos, *H. inversa* é rara e possui ocorrência irregular, dificultando a marcação do topo do Intervalo E.

Por esse motivo, o Intervalo E foi inferido como questionável (?) por ter como critério a abundância de *Gephyrocapsa* pequena, ausência de *Pseudoemiliana lacunosa* e de *Emiliana huxleyi*. Essa opção de interpretação bioestratigráfica está embasada no estudo de Young (1994), que registrou dominância de *Gephyrocapsa* pequena na parte superior da Zona *G. oceanica*. Na bacia de Campos, Antunes (1994) registrou abundância de *Gephyrocapsa* pequena na parte superior do Intervalo E, o qual é equivalente a zonas NN20 de Martini (1971) e *G. oceanica* de Gartner (1977).

O Intervalo E?, de 16,85 a 16,55m, é correspondente à Zona *Gephyrocapsa oceanica* (NN20?) de Martini (1971), à Zona *Gephyrocapsa oceanica* (CN14) de Okada & Bukry (1980), à Zona *Gephyrocapsa oceanica* de Gartner (1977) e à Zona *Gephyrocapsa oceanica* (MNN20) de Rio *et al.* (1990) (Figura 4).

Intervalo bioestratigráfico F

Definição. Limite inferior marcado pela última ocorrência de *Helicosphaera inversa* e limite superior marcado a partir do nível mais inferior de dominância da espécie *Emiliana huxleyi* (como definida por Antunes, 1994).

Figura 2. Fácies sedimentares do poço GL-77 (modificado de Maciel, 2008).

Figure 2. Sedimentary facies from the piston core GL-77 (modified from Maciel, 2008).

Observações. A espécie *Helicosphaera inversa*, utilizada para marcar o limite inferior do Intervalo F no arcabouço bioestratigráfico de Antunes (1994) não foi encontrada no presente estudo. O limite inferior do Intervalo F no poço GL-77, na profundidade 16,55 m, foi marcado, com base na primeira ocorrência da espécie *Emiliania huxleyi* (Tabela 1; Figura 5F).

Em função dos níveis de abundância relativa de algumas entidades taxonômicas, foi possível dividir o Intervalo F (16,55-0,8 m) em duas partes. Essa divisão está fundamentada nos morfogrupos de exemplares de *Gephyrocapsa* pequena (Figura 5G), média (Figura 5H) e grande (Figura 5I), cujo padrão de distribuição estratigráfica é irregular. A variação da abundância de *Gephyrocapsa* pequena foi usada como

Table 1. Calcareous nannofossils stratigraphic distribution chart from the piston core GL-77.MACIEL ET AL.indd 167

Table 2. Semi-quantitative stratigraphic distribution chart of calcareous nannofossils from the piston core GL-77. **Abbreviations:** **A**, abundant; **C**, common; **P**, poor; **R**, rare.

[illegible]

Figura 3. Principais arcabouços bioestratigráficos de nanofósseis calcários. (*) escala temporal modificada de Gradstein *et al.* (2004) e Antunes (1994); (1) segundo Martini (1971); (2) segundo Bukry (1973, 1975); (3) segundo Gartner (1977); (4) segundo Rio *et al.* (1990); (5) segundo Antunes (1994).

Figure 3. Main calcareous nannofossils biostratigraphic frameworks. (*) modified from Gradstein *et al.* (2004) and Antunes (1994); (1) according to Martini (1971); (2) according to Bukry (1973, 1975); (3) according to Gartner (1977); (4) according to Rio *et al.* (1990); (5) according to Antunes (1994).

critério para a divisão do Intervalo F, sendo que no intervalo 16,55-6,70 m, foi registrada a maior frequência desse morfogrupo. De acordo com Antunes (1994), exemplares de *Gephyrocapsa* pequena apresentam maior abundância na parte superior do Intervalo E e na porção inferior do Intervalo F.

A parte superior do Intervalo F (6,70-0,80 m) foi marcada pela abundância reduzida de *Gephyrocapsa* pequena, em relação à parte inferior do mesmo intervalo. Um registro similar foi encontrado na bacia de Campos por Antunes (1994:298, fig. 3). No estudo por ele realizado, a abundância de *Helicosphaera carteri* é significativa na parte superior da Zona F, enquanto que na seção em estudo essa espécie é rara.

A espécie *Helicosphaera wallichii* (Figuras 5D, E),

registrada no presente estudo, corresponde a *H. wallichii* forma A descrita por Antunes (1994).

Na parte superior do Intervalo F (Figura 4), foi registrado um intervalo com os valores dos percentuais próximos das espécies *Emiliana huxleyi* e *Gephyrocapsa* spp. Essa circunstância foi também constatada nas associações de nanofósseis calcários identificadas por Tokutake (2005), em dois testemunhos a pistão localizados nas proximidades do poço GL-77. O referido autor, com base nessa caracterização quantitativa do gênero *Gephyrocapsa* e da espécie *E. huxleyi*, propôs um intervalo bioestratigráfico denominado de Transição F/G, localizado na porção superior do Intervalo F e abaixo do limite inferior do Intervalo G.

O Intervalo F, de 16,55 a 0,80 m, correspondente à Zona *Emiliana huxleyi* (NN21) de Martini (1971), à Zona

Figura 4. Resultados biocronoestratigráficos integrados.

Figure 4. Biochronostratigraphic integrated data.

Emiliana huxleyi (CN15) de Okada & Bukry (1980), à Zona *Emiliana huxleyi* de Gartner (1977) e à Zona *Emiliana huxleyi* (MNN21a) de Rio *et al.* (1990) (Figura 4).

Intervalo bioestratigráfico G

Definição. Limite inferior marcado acima do nível de dominância de *Emiliana huxleyi* (como definido por Antunes, 1994).

Cronoestratigrafia. Pleistoceno superior-Holoceno.

Observações. Os valores de abundância da espécie *Emiliana huxleyi* em relação aos valores das demais espécies em cada amostra, quando convertidos para percentuais, mostram uma mudança no seu padrão de distribuição: no intervalo de 16,85

a 1,37 m, os percentuais são inferiores a 10%; no intervalo de 1,37 a 0,36 m, os percentuais variam entre 11,8 e 22,2%; e no intervalo de 0,40 a 0,02 m, os percentuais desde táxon estão entre 25,5 a 41,5%. Com base nesses percentuais, o Intervalo G foi marcado entre 0,80 a 0,02 m, onde ocorrem os maiores percentuais de *E. huxleyi* (Figuras 5A,C, 6).

O Intervalo G, de 0,80 a 0 m, é correspondente às partes superiores das zonas *Emiliana huxleyi* (NN21) de Martini (1971) e *E. huxleyi* (CN15) de Okada & Bukry (1980). O Intervalo G também é correlacionável com a Zona acme de *E. huxleyi* de Gartner (1977) e de Zona de acme de *E. huxleyi* (MNN21b) de Rio *et al.* (1990) (Figura 4).

Figura 5. Fotomicrografias de nanofósseis calcários. **A**, *Ceratolithus cristatus*; **B**, *Helicosphaera carteri*; **C**, *Helicosphaera carteri*; **D**, *Helicosphaera wallichii*; **E**, *Helicosphaera wallichii*; **F**, *Emiliana huxleyi*; **G**, *Gephyrocapsa* pequena; **H**, *Gephyrocapsa* média; **I** *Gephyrocapsa* grande. Nicóis cruzados em A, B, D, F-I; nicóis paralelos em C e E.

Figure 5. Calcareous nannofossils photomicrographs. Cross-polarized light in A, B, D, F-I; plane-polarized light in C and E.

Figura 6. Fotomicrografias de campos visuais, obtida em microscópio petrográfico (aumento de 400X), com nicóis cruzados. **A**, predominância de *Emiliana huxleyi* (prof. 0,08 m); **B**, Intervalo de Transição F/G (prof. 0,63 m); **C**, predominância de *Gephyrocapsa* (prof. 14,15 m).

Figure 6. Photomicrographs of field of view, in petrographic microscope (increase of 400X), cross-polarized light. **A**, interval of abundance of *Emiliana huxleyi* (depth 0,08 m); **B**, F/G transitional interval (depth 0,63 m); **C**, interval of abundance of *Gephyrocapsa* (depth 14,15 m).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas biozonas de nanofósseis calcários, Intervalo E?, Intervalo F e Intervalo G, reconhecidas no furo GL-77 foi possível posicionar os depósitos no Pleistoceno superior-Holoceno. Os morfogrupos de *Gephyrocapsa* permitiram a proposição de uma divisão do Intervalo F em duas partes: inferior (alta abundância de exemplares pequenos) e superior (baixa abundância de exemplares pequenos). A análise quantitativa dos táxons que compõem o nanoplâncton mostrou valores de abundância semelhantes entre o gênero *Gephyrocapsa* e a espécie *Emiliania huxleyi* na porção superior do Intervalo F, conforme estudos precedentes na área.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à PETROBRAS pelo fornecimento das amostras e aos bioestratígrafos S. Shimabukuro, R.L. Antunes e F.A.L. Toledo pela leitura crítica do manuscrito.

REFERÊNCIAS

- Alves, C.F. 2003. *Biocronoestratigrafia de um intervalo cretácico do Atlântico Sul através dos nanofósseis calcários*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 173 p.
- Alves, C.F. 2007. *Cretáceo-Paleógeno da bacia de Dahomey e Atlântico Sul Equatorial: bioestratigrafia, paleoecologia e paleoceanografia dos nanofósseis calcários*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 348 p.
- Antunes, R.L. 1994. Bioestratigrafia dos nanofósseis quaternários da bacia de Campos. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **8**:295-313.
- Antunes, R.L. 2007. *Nanofósseis calcários do Quaternário da margem continental brasileira*. Rio de Janeiro, CENPES/PETROBRAS, 76 p. (Série Ciência Técnica Petróleo 21).
- Bown, P.R. 1998. Taxonomy, evolution and biostratigraphy of Late Triassic-Early Jurassic calcareous nannofossils. *Special Papers in Palaeontology*, **38**:1-118.
- Bukry, D. 1973. Low-latitude coccolith biostratigraphic zonation. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, **15**:685-703.
- Bukry, D. 1975. Coccolith and silicoflagellate stratigraphy, Northwestern Pacific Ocean, Deep Sea Drilling Project leg 32. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, **32**:677-701.
- Gartner, S. 1977. Calcareous nannofossil biostratigraphy and revised zonation of the Pleistocene. *Marine Micropaleontology*, **2**:1-25.
- Gradstein, F.; Ogg, J. & Smith, A. 2004. *A Geologic Time Scale 2004*. Cambridge, Cambridge University Press, 589 p.
- Hine, N. & Wever, P.P.E. 1998. Quaternary. In: P.R. Bown & S. Lecturer (eds.) *Calcareous Nannofossil Biostratigraphy*, Chapman & Hall, p. 266-283.
- Maciel, D.M. 2008. *Bioestratigrafia com base em nanofósseis calcários do Pleistoceno-Holoceno, área norte da Bacia de Campos*. Programa de Graduação em Geologia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Trabalho de Conclusão de Curso, 107 p.
- Martini, E. 1971. Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation. *Edizioni Tecnoscienza*, **2**:739-785.
- Okada, H. & Bukry, D. 1980. Supplementary modification and introduction of code numbers to the low latitude coccolith biostratigraphy zonation (Bukry, 1973; 1975). *Marine Micropaleontology*, **5**:321-325.
- Perch-Nielsen, K. 1985a. Mesozoic calcareous nannofossils. In: H.M. Bolli; J.B. Saunders & K. Perch-Nielsen (eds.) *Plankton Stratigraphy*, Cambridge University Press, **1**:329-426.
- Perch-Nielsen, K. 1985b. Cenozoic calcareous nannofossils. In: H.M. Bolli; J.B. Saunders & K. Perch-Nielsen (eds.) *Plankton Stratigraphy*, Cambridge University Press, **1**:527-554.
- Raffi, I. & Rio, D. 1979. Calcareous nannofossil biostratigraphy of DSDP Site 132-Leg 13 (Tyrrhenian Sea-Western Mediterranean). *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, **85**:127-172.
- Rangel, H.D.; Martins, F.A.L.; Esteves, F.R. & Feijó, F.J. 1994. Bacia de Campos. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **8**: 203-217.
- Rio, D. 1982. The fossil distribution of coccolithophore genus *Gephyrocapsa* Kamptner and related Plio-Pleistocene chronostratigraphic problems. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, **68**:325-343.
- Rio, D.; Raffi, I. & Villa, G. 1990. Pliocene-Pleistocene calcareous nannofossil distribution patterns in the Western Mediterranean. *Proceedings of the Ocean Drilling Project*, **17**:513-533.
- Sanjinés, A.H.S. 2006. *Biocronoestratigrafia de foraminíferos em três testemunhos do Pleistoceno-Holoceno do talude continental da Bacia de Campos, RJ-Brasil*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 119 p.
- Sissingh, W. 1977. Biostratigraphy of Cretaceous nannoplankton. *Geologie in Mijinbow*, **56**:37-65.
- Tokutake, L.R. 2005. *Bioestratigrafia de nanofósseis calcários e estratigrafia de isótopos (C e O) do talude médio, Quaternário, porção N da bacia de Campos, ES*. Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, M.Sc. thesis, 96 p.
- Winter, W.R.; Jahnert, R.J. & França, A.B. 2007. Bacia de Campos. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **15**:511-530.
- Young, J.R. 1994. Functions of coccoliths. In: A. Winter & W. Siesser (eds.) *Coccolithophores*, Cambridge University Press, p. 63-82.

Received in September, 2011; accepted in February, 2012.