UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Geologia

NANOFÓSSEIS CALCÁRIOS: ESPÉCIES QUE ORIENTAM A BIOESTRATIGRAFIA DO OLIGOCENO – PLIOCENO DA MARGEM CONTINENTAL BRASILEIRA

Denis Antonio Batiston

Prof. Dr. Dimas Dias-Brito (orientador)

Prof. Dr. Rogério Loureiro Antunes (coorientador)

Rio Claro (SP)

2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Câmpus de Rio Claro

DENIS ANTONIO BATISTON

NANOFÓSSEIS CALCÁRIOS: ESPÉCIES QUE ORIENTAM A BIOESTRATIGRAFIA DO OLIGOCENO – PLIOCENO DA MARGEM CONTINENTAL BRASILEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Geólogo.

Rio Claro - SP

2016

553.282 Batiston, Denis
B333n Nanofósseis calcários: espécies que orientam a bioestratigrafia do oligoceno – plioceno da margem continental brasileira / Denis Batiston. - Rio Claro, 2016
65 f. : il., figs.

Trabalho de conclusão de curso (Geologia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Dimas Dias Brito
Coorientador: Rogério Loureiro Antunes

1. Petróleo – Geologia. 2. Biozoneamentos. 3. Cocólito. 4. Nanólito. 5. Mioceno. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional de Petróleo (PRH-ANP nº 05) pelo apoio e suporte financeiro. Ao UNESPetro pela infraestrutura disponibilizada.

Ao Prof. Dr. Dimas Dias-Brito pela orientação da pesquisa, pelas prezadas correções e sugestões. Ao geólogo da Petrobras Rogério Loureiro Antunes pela colaboração, coorientação e imprescindível atuação de apoio ao desenvolvimento deste trabalho. À micropaleontóloga americana Denise Kulhanek pelos artigos enviados e dúvidas respondidas. Aos participantes da Banca de Exame final, Prof. Dr. Mitsuru Arai e Giancarlo Scardia, que contribuíram para o aperfeiçoamento do texto deste trabalho.

Aos meus pais, Pedro Batiston e Cecília Simão Batiston, ao meu irmão, Weliton Pedro Batiston e aos meus amigos.

RESUMO

Nas últimas décadas, a indústria do petróleo tem sido o principal motor de desenvolvimento do conhecimento geológico das bacias sedimentares, o que advém de intensos esforços exploratórios e de estudos de reservatórios. Especificamente no campo da bioestratigrafia, os nanofósseis calcários – restos fossilizados de algas microscópicas planctônicas – apresentam vantagens particulares, consistindo numa das mais importantes ferramentas utilizadas para a consecução do arcabouço estratigráfico em seções marinhas das bacias da margem continental brasileira. Por isso, o estudo deste grupo de microfósseis contribui para a exploração e prospecção de óleo e gás. A facilidade de uso destes elementos, ainda pouco usados em programas de formação de recursos humanos em cursos de graduação, faz dos nanofósseis calcários um campo aberto e bastante promissor no âmbito da formação de novos profissionais para o mercado da geologia do petróleo. Neste trabalho focaram-se conceitos de estratigrafia e bioestratigrafia, a biologia fundamental dos nanofósseis calcários e os principais trabalhos realizados na margem continental brasileira do intervalo Oligoceno – Plioceno. Ele apresenta, compara e discuti as principais espécies observadas no intervalo Oligoceno – Plioceno utilizando-se de uma coleção de lâminas confeccionadas a partir de amostras de calha obtidas de poços perfurados na margem continental brasileira. Oferece também um significativo conjunto de fotomicrográfias dos táxons principais deste intervalo. Além disso, foram comparados o biozoneamento brasileiro e biozoneamentos internacionais. Esta pesquisa viabilizou também o treinamento do autor em taxonomia e bioestratigrafia de nanofósseis calcários e contribuirá para a divulgação do conhecimento sobre os nanofósseis calcários em nosso país.

Palavras-chave: nanofósseis calcários, margem continental brasileira, bioestratigrafia, Oligoceno, Mioceno, Plioceno

ABSTRACT

Over the last few decades, the oil industry has been a major driver of development of geological knowledge of Brazilian sedimentary basins, which comes from intense oil exploration efforts and petroleum reservoir studies. Calcareous nannofossils – fossilized remains of microscopic planktonic algae – are one of the most important biostratigraphic tools used for understanding the stratigraphic framework of marine units of the Brazilian continental margin basins. Therefore, this microfossil group contributes to the exploration and exploitation of oil and gas, but unfortunately they are rarely introduced in undergraduate courses. For this reason, calcareous nannofossil biostratigraphy is an important and promising topic that should be included in the training of new petroleum geologists. Undergraduate research is one way to introduce this topic to interested individuals. This undergraduate research project focused on concepts of stratigraphy and biostratigraphy, the fundamental biology of calcareous nannofossils, and their use as biostratigraphic indicators for sediment from the Brazilian continental margin. This study documents the calcareous nannofossil assemblages from southest Brazilian coastal basins, indicating that the studied intervals range in age from Oligocene to Pliocene. The nannofossil assemblages are zoned using the zonation of Brazil and key bioevents are assigned absolute ages based on the geological time scale. Numerous images document the assemblages and contribute significantly to the dissemination of knowledge of calcareous nannofossils in Brazil. This work also trained the author in calcareous nannofossil taxonomy and biostratigraphy, preparing him for future study and work in petroleum geology.

Keywords: calcareous nannofossil, Brazilian continental margin, biostratigraphy, Oligocene, Miocene, Pliocene

DENIS ANTONIO BATISTON

NANOFÓSSEIS CALCÁRIOS: ESPÉCIES QUE ORIENTAM A BIOESTRATIGRAFIA DO OLIGOCENO – PLIOCENO DA MARGEM CONTINENTAL BRASILEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Geólogo.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Dimas Dias-Brito (orientador)

Prof. Dr. Mitsuru Arai

Prof. Dr. Giancarlo Scardia

Rio Claro, 25 de Janeiro de 2016.

Assinatura do aluno

Assinatura do orientador

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Organização celular dos cocolitoforídeos e estrutura de um cocólito (fonte: BOWN; YOUNG, 1998). 14
Figura 2.2: A: cocosfera da espécie *Helicosphaera catilliferus*. B: detalhe de um holococólito que mostra arranjo romboedral equidimensional (retirado de YOUNG; BOWN; LEES, 2013a). 14
Figura 2.3: A: cocosfera polimórfica de *Syracosphaera pulchra*. B: detalhe de um heterococólito (retirado de YOUNG; BOW; LEES, 2013a). 15
Figura 2.4: A: esfera completa de *Braarudosphaera bigelowii*. B: placa calcária individual de *Ceratolithus cristatus*. C: placa calcária individual de *Discoaster surculus* (retirado de YOUNG; BOWN; LEES, 2013a) 16
Figura 2.5: Modelo de sedimentação dos cocolitoforídeos (ALVES; WANDERLEY, 2003 segundo STEINMETZ, 1994). Obs.: escalas entre cocosfera, cocólitos e "predador" exageradas para melhor compreensão. 19
Figura 2.6: Biozoneamentos de nanofósseis calcários. Modificado de Richter et al. (1993 apud ANTUNES, 1997). Obs.: As faixas verdes e cinzas marcam o intervalo estudado nesse trabalho. 22
Figura 2.7: Principais tipos de biozonas. A biozona de abundância; B a E biozonas de intervalo; F, biozona de associação; G e H, biozonas de amplitude, também denominadas de biozona de amplitude-táxon e biozona de amplitude concorrente, respectivamente. 26
Figura 4.1: Biozoneamento de nanofósseis calcários para a margem continental brasileira para o Oligoceno. Quadro elaborado a partir de Bolli; Saunders e Perch-Nielsen (1989); Richter et al. (1993 apud ANTUNES, 1997); Bown e Young (1998) e Young; Bown e Lees (2013a). As espécies com asteriscos têm seus desaparecimentos delimitando biozonas na margem continental brasileira. Escala de tempo geológico segundo a Tabela Cronoestratigráfica Internacional (COHEN et al., 2013). 32
Figura 4.2: *Discoaster barbadensis* Tan Sin Hok 1927 (Coleção Antunes, Lâmina N-470, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho). 33
Figura 4.3: *Coccolithus formosus* (Kamptner, 1963) Wise, 1973 (Coleção Antunes, Lâmina N-470, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho). 33
Figura 4.4: *Reticulofenestra umbilicus* (Levin, 1965) Martini e Ritzkowski, 1968 (Coleção Antunes, Lâmina N-470, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho). 34
Figura 4.5: *Sphenolithus pseudoradians* Bramlette e Wilcoxon, 1967 (Coleção Antunes, Lâmina N-470, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho). 34
Figura 4.6: *Sphenolithus predistentus* Bramlette e Wilcoxon, 1967 (Coleção Antunes, Lâmina N-530, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho). 35
Figura 4.7: *Sphenolithus ciperoensis* Bramlette e Wilcoxon, 1967 (Coleção Antunes, Lâmina 4-ESS-160 2160 N-540, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho). 35
Figura 4.8: *Helicosphaera recta* (Haq, 1966) Jafar e Martini, 1975 (Coleção Antunes, Lâmina N545 9_ML_48D, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho). 36
Figura 4.9: Biozoneamento de nanofósseis calcários para a margem continental brasileira para o Mioceno. Quadro elaborado a partir de Bolli; Saunders e Perch-Nielsen

(1989); Richter et al. (1993 apud ANTUNES, 1997); Bown e Young (1998) e Young; Bown e Lees (2013a). As espécies com asteriscos têm seus desaparecimentos delimitando biozonas na margem continental brasileira. Escala de tempo geológico segundo a Tabela Cronoestratigráfica Internacional (COHEN et al., 2013). 39
Figura 4.10: *Discoaster calculosus* Bukry (1971) (Coleção Antunes, Lâmina GL-605A 290 N.547, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho)..... 40
Figura 4.11: *Triquetrorhabdulus carinatus* Martini, 1965 (Coleção Antunes, Lâmina 9_MLS_48D_N545, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho). 40
Figura 4.12: *Sphenolithus belemnos* Bramlette e Wilcoxon, 1967 (Coleção Antunes, Lâmina N560, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho). 41
Figura 4.13: *Helicosphaera ampliaperta* Bramlette e Wilcoxon, 1967 (Coleção Antunes, Lâmina GL-605A 290 N.547, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho). 42
Figura 4.14: *Sphenolithus heteromorphus* Deflandre 1953 (Coleção Antunes, Lâmina GL-613D TEST 169 NN4, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho)..... 42
Figura 4.15: *Cyclicargolithus floridanus* (Roth e Hay, in Hay et al. 1967) Bukry, 1971 (Coleção Antunes, Lâmina GL-613D TEST 169 NN4, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho)..... 43
Figura 4.16: *Discoaster kugleri* Martini e Bramlette, 1963 (Coleção Antunes, Lâmina N560, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho)..... 44
Figura 4.17: *Discoaster hamatus* Martini e Bramlette, 1963 (Coleção Antunes, Lâmina P-04 NN9, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho). 45
Figura 4.18: *Discoaster neorectus* Bukry, 1971 (Coleção Antunes, Lâmina GL_48 420 N635/NN10, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho)..... 46
Figura 4.19: *Discoaster quinqueramus* Gartner 1969 (Coleção Antunes, Lâmina GL_48 420 N635/NN10, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho)..... 46
Figura 4.20: Biozoneamento de nanofósseis calcários para a margem continental brasileira para o Plioceno. Quadro elaborado a partir de Bolli; Saunders e Perch-Nielsen (1989); Richter et al. (1993 apud ANTUNES, 1997); Bown e Young (1998) e Young; Bown e Lees (2013a). As espécies com asteriscos têm seus desaparecimentos delimitando biozonas na margem continental brasileira. Escala de tempo geológico segundo a Tabela Cronoestratigráfica Internacional (COHEN et al., 2013). 51
Figura 4.21: *Reticulofenestra pseudoumbilicus* (Gartner, 1967) Gartner, 1969 (Coleção Antunes, Lâmina GL_48 420 N635/NN10, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho)..... 52
Figura 4.22: *Discoaster surculus* Martini e Bramlette, 1963 (Coleção Antunes, Lâmina GL_48 420 N635/NN10, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho). 52

LISTA DE ESTAMPAS

Estampa 1: Biozonas N505 a N545 37
Estampa 2: Biozonas N505 a N545 38
Estampa 3: Biozonas N547 a N640 48
Estampa 4: Biozonas N547 a N640 49
Estampa 5: Biozonas N650 e N660 54
Estampa 6: Biozonas N650 e N670 55
Estampa 7: Biozonas N650 e N660 56

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 11
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 13
2.1. Generalidades 13
2.2. Breve histórico e principais trabalhos realizados nas bacias marginais brasileiras 19
2.3. Bioestratigrafia dos nanofósseis calcários e sua aplicação na indústria do petróleo 23
3. MÉTODOS DE TRABALHO 29
3.1. Etapa 1 – Levantamento Bibliográfico 29
3.2. Etapa 2 – Treinamento e Registro Fotomicrográfico. 29
3.3. Etapa 3 – Formulação do Quadro Bioestratigráfico Brasileiro e Discussão do Arcabouço Bioestratigráfico. 30
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 31
4.1. Biozonas N505 a N545 31
4.2. Biozonas N547 a N640 39
4.3. Biozonas N650 a N670 50
5. CONCLUSÕES 57
6. ENTIDADES TAXONÔMICAS CITADAS NAS BIOZONAS MAS SEM FOTOMICROGRAFIAS 59
6.1. Biozonas N505 a N545 59
6.2. Biozonas N547 a N640 59
6.3. Biozonas N650 a N670 59
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 60

1. INTRODUÇÃO

A perfuração de poços em busca por hidrocarbonetos apresenta alto custo operacional, sobretudo em áreas marinhas. Por conta disso, faz-se necessário munir-se de um espectro de métodos exploratórios visando reduzir os riscos da atividade, entre os quais, a micropaleontologia, que tem sido usada como uma das ferramentas geológicas fundamentais na exploração e explotação petrolíferas. Entre os microfósseis, os nanofósseis calcários têm sido utilizados na investigação das bacias marginais da plataforma continental brasileira desde o final da década de 60 (ANTUNES, 2007).

No final da referida década, a Petrobras começava a explorar as porções submersas das bacias costeiras de águas rasas. A exploração das bacias de Sergipe e Espirito Santo mostrou uma espessa e complexa sedimentação, revelando a importância dos estudos dos nanofósseis calcários na exploração para as décadas seguintes (LANA; BEURLEN, 2007). Dentre as bacias sedimentares já estudadas, destaca-se a Bacia de Campos, onde os nanofósseis calcários forneceram dados fundamentais para a compreensão da evolução e geometria dos reservatórios turbidíticos de campos gigantes, tais como os de Marlim e Albacora (DIAS-BRITO, 1989).

Atualmente, a pesquisa bioestratigráfica industrial feita no Brasil com base em nanofósseis calcários dispõe de detalhados zoneamentos para aplicação em geologia de subsuperfície (ANTUNES, 1997; ALVES; WANDERLEY, 2003). O meio acadêmico, todavia, somente nos últimos anos vem se envolvendo com este grupo de microfósseis.

Os nanofósseis calcários são empregados nos estudos bioestratigráficos devido à sua abundância em rochas sedimentares marinhas, ampla distribuição geográfica e alta taxa evolutiva. No desenvolvimento de poços, os nanofósseis têm contribuído para o monitoramento bioestratigráfico em tempo real. Entre as características que colaboram para que tal monitoramento seja feito está a fácil recuperação destes microfósseis a partir da matriz rochosa. Deste modo, a partir das lâminas preparadas em paralelo à perfuração do poço, as espécies-chave podem ser rapidamente identificadas, provendo resultados preciosos quanto à datação da rocha. Além disso, eles permitem uma resolução bioestratigráfica menor do que um milhão de anos, o que é valiosíssimo para a exploração petrolífera (VENTRESS, 1991; ANTUNES, 1997; ALVES; WANDERLEY, 2003). Portanto, este grupo microfossilífero pode efetivamente auxiliar

na exploração e explotação, visto que os estratos sedimentares podem ser acuradamente datados; além do mais, podem auxiliar na definição da profundidade final do poço e na definição da extensão da bacia.

Se os estudos bioestratigráficos de nanofósseis calcários em outros países do mundo são mais frequentemente publicados, no Brasil, existem relativamente poucas publicações que mostram as espécies das nossas bacias e que orientam a bioestratigrafia da margem continental. Uma exceção, restrita ao intervalo Quaternário, é o trabalho realizado por Antunes (2007) que constitui um rico acervo de imagens e detalhado estudo sobre os nanofósseis calcários daquela faixa temporal.

O presente trabalho visa contribuir para o enriquecimento do conhecimento dos nanofósseis calcários no Brasil. Oferece ilustrações, comparações e discussões das principais espécies observadas no intervalo Oligoceno – Plioceno das bacias da margem sudeste brasileira. Além disso, as relações entre as espécies que orientam o biozoneamento brasileiro e os biozoneamentos internacionais documentado em Bown e Young (1998) e Bolli; Saunders e Perch-Nielsen (1989) são mostradas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão introduzidos três aspectos importantes para a estrutura e entendimento do trabalho. Primeiramente apresentam-se as características gerais dos nanofósseis calcários, o que é seguido por um breve histórico e principais trabalhos já realizados sobre este grupo no Cenozóico da Margem Continental Brasileira; por fim, são discutidos aspectos gerais da bioestratigrafia dos nanofósseis calcários na aplicação da indústria do petróleo. O objetivo principal deste capítulo é introduzir o leitor no universo dos nanofósseis calcários, fazendo-se uso de figuras para tal propósito.

2.1. Generalidades

A denominação nanofóssil calcário é usualmente empregada para fósseis constituídos por estruturas de carbonato de cálcio menores que 30 micrômetros de diâmetro, incluindo os cocólitos e os nanólitos.

Os cocólitos são placas discóides calcárias originadas da desintegração da cocosfera que é o envoltório completo das algas unicelulares planctônicas marinhas da Divisão Haptophyta, mais conhecidas como cocolitoforídeos. Tais algas são caracterizadas por possuírem dois flagelos de igual comprimento e uma organela semelhante a um flagelo, que é denominado haptonema (Figura 2.1). A cocosfera pode ser composta por placas formadas por diminutos cristais de calcita (tipicamente menores que 0,1 μm), com mesmo formato e dimensões, designados de holococólitos (Figura 2.2) ou por cristais de calcita que variam em forma e dimensões, conhecidas como heterococólitos (Figura 2.3). Os holococólitos possuem menor potencial de preservação e, portanto, são mais raros no registro fóssil (ANTUNES 1997, BOWN; YOUNG, 1998).

Estudos sobre o ciclo de vida dos cocolitoforídeos mostram que holococólitos e heterococólitos podem ser estágios de vida diferentes de uma mesma espécie. Além disso, algumas espécies são polimórficas (dois ou mais tipos de cocólitos ocorrem em uma mesma cocosfera). Todavia, no registro fóssil, os cocólitos devem ser tratados como espécies distintas, o que, muitas vezes, dificulta o entendimento sobre a diversidade dos cocolitoforídeos do passado (KULHANEK, 2009).

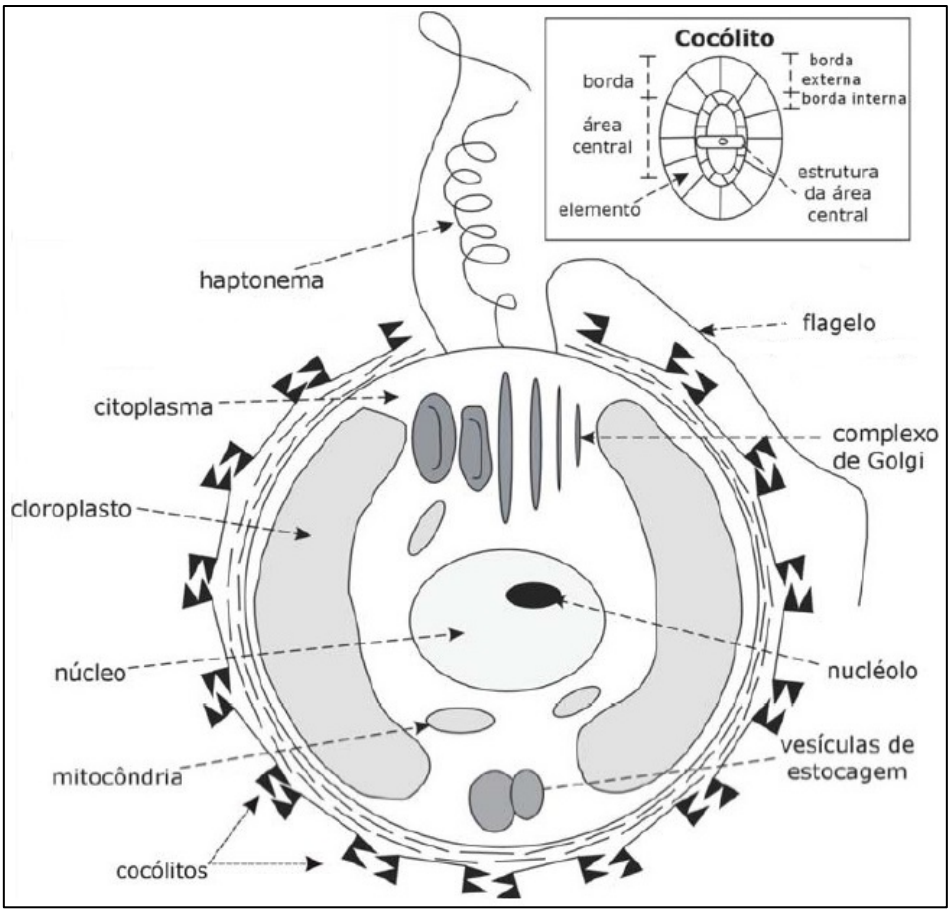


Figura 2.1: Organização celular dos cocolitoforídeos e estrutura de um cocólito (fonte: BOWN; YOUNG, 1998).

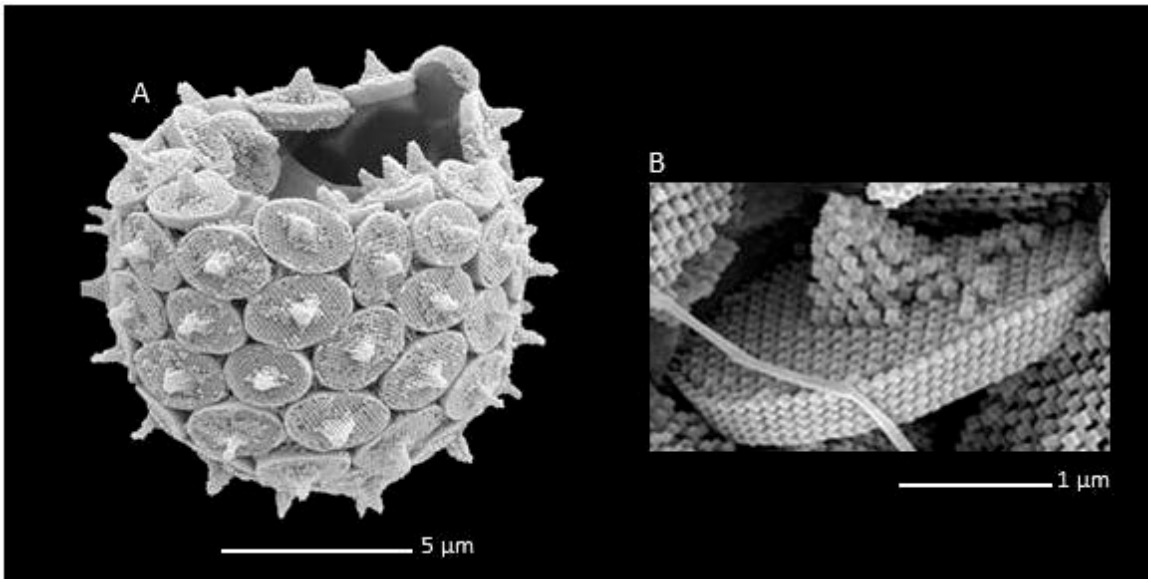


Figura 2.2: A: cocosfera da espécie *Helicosphaera catilliferus*. B: detalhe de um holococólito que mostra arranjo romboedral equidimensional (retirado de YOUNG; BOWN; LEES, 2013a).

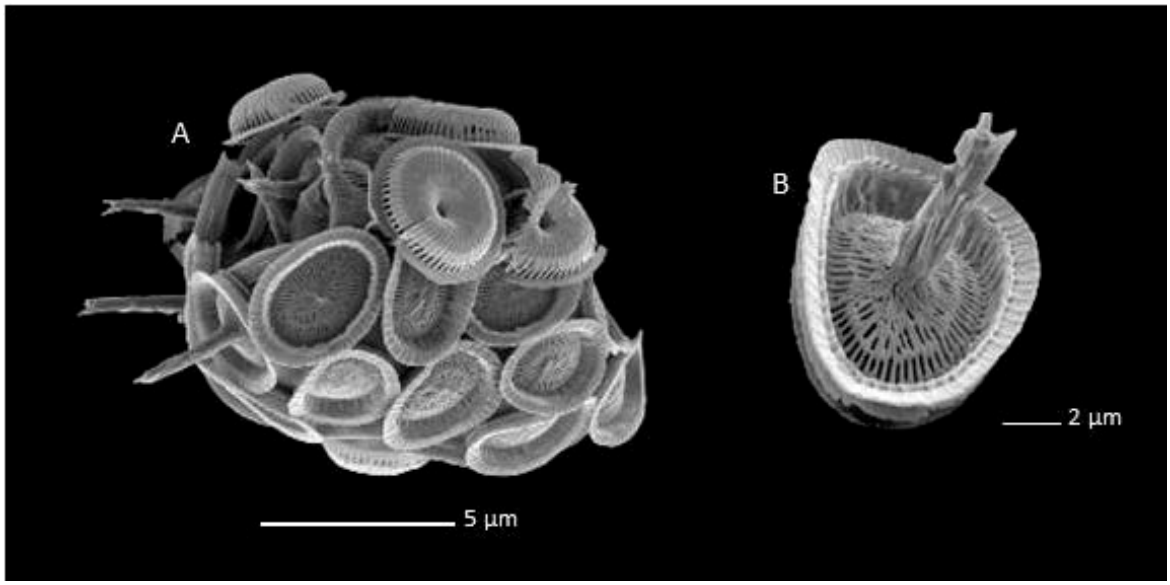


Figura 2.3: A: cocosfera polimórfica de *Syracosphaera pulchra*. B: detalhe de um heterococólito (retirado de YOUNG; BOW; LEES, 2013a).

Não há um consenso comum sobre a função dos cocólitos, porém é postulado, com frequência, que tais estruturas têm funções relacionadas à proteção, regulação tanto da luz quanto da flutuação, além de trocas bioquímicas com o meio externo (YOUNG, 1994).

O termo nanólito, por sua vez, é usualmente empregado para os nanofósseis calcários de tamanho equivalente aos cocólitos, mas sem a presença dos elementos característicos dos holococólitos e heterococólitos. Os nanólitos possuem as mais variadas formas (estrela, diamante, ferradura, cone, flecha, anzol etc.) e, às vezes, apresentam afinidade biológica incerta (Figura 2.4). Alguns são provenientes de algas haptófitas, enquanto outros incluem algas não haptófitas, tais como, as calcisferas (BOWN; YOUNG, 1998).

Além disso, outros restos calcários de tamanhos similares ocorrem juntos aos cocólitos e nanólitos. Nesse contexto, os estudos dos nannofósseis calcários também podem abranger outros grupos provenientes do nanoplâncton, termo definido por Lohmann (1909 apud YOUNG, 1997) que inclui todo o plâncton superior a 2 micrômetros e inferior a 63 micrômetros, incluindo as espículas de ascídias, dinoflagelados calcários e foraminíferos jovens, além das formas viventes atuais (ANTUNES, 1997; BOWN; YOUNG, 1998).

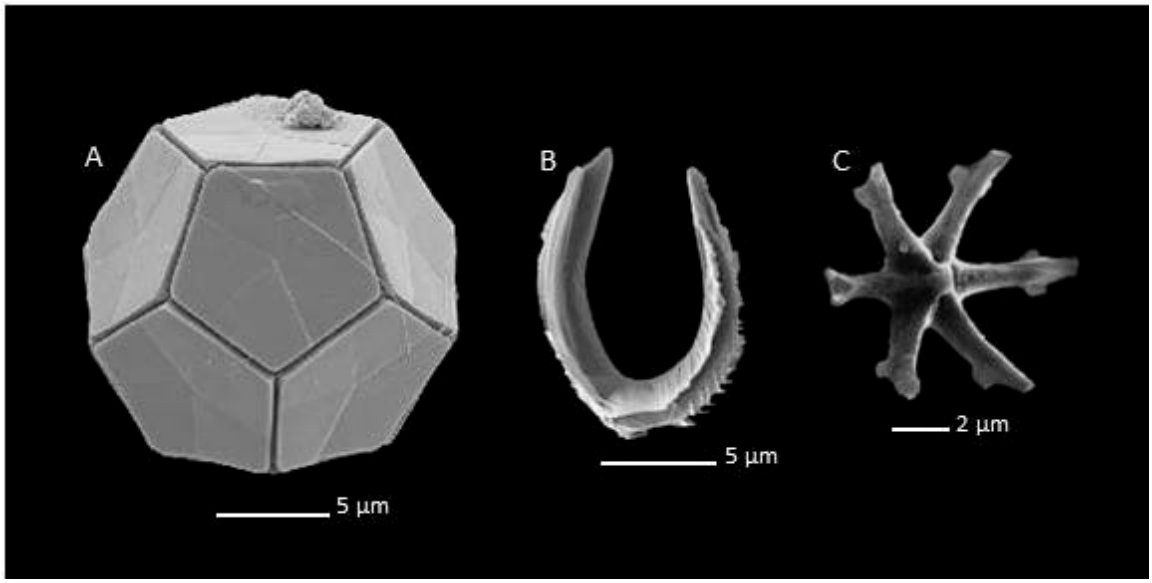


Figura 2.4: A: esfera completa de *Braarudosphaera bigelowii*. B: placa calcária individual de *Ceratolithus cristatus*. C: placa calcária individual de *Discoaster surculus* (retirado de YOUNG; BOWN; LEES, 2013a)

Estudos sobre a biologia, ecologia e biogeografia dos nanofósseis calcários são bastante baseados nas espécies atuais de cocolitoforídeos e, desta maneira, são correlacionados aos exemplares fósseis. De modo geral, os cocolitoforídeos (algas da Divisão Haptophyta, Classe Prymnesiophyceae) habitam preferencialmente as águas oligotróficas da zona fótica oceânica, com salinidade normal. Porém, são comuns relatos de espécies mais tolerantes quanto à temperatura, salinidade e / ou luminosidade. Atualmente os cocolitoforídeos possuem uma ampla distribuição geográfica, com maior diversidade em baixas latitudes devido à presença de águas mais quentes. A diversidade diminui em direção a regiões polares e águas costeiras, embora algumas espécies possam ser abundantes nessas áreas (BRAND, 1994; BOWN; YOUNG, 1998).

Segundo Brand (1994), a distribuição tanto horizontal quanto vertical dos cocolitofórideos é controlada por diversos fatores físicos, químicos e biológicos, incluindo, padrões climáticos sazonais, estratificação vertical das águas oceânicas, correntes oceânicas, intensidade luminosa, periodicidade fotossintética em ciclos claro-escuro, nutrientes, temperatura, salinidade, ciclo de vida, variação genética, morfologia, além de estratégias ecológicas. Maiores explicações a respeito da distribuição biogeográfica de cocolitoforídeos são encontrados em Winter et al. (1994); Antunes (1997); Bown e Young (1998); Saavedra-Pellitero et al. (2014).

Baseado nas informações apresentadas acima sobre a biogeografia dos cocolitofórideos atuais, diversos autores tentam compreender a distribuição geográfica desses organismos, assim como sua distribuição no tempo geológico. Por exemplo, sabe-se que durante o Cretáceo os cocolitofórideos apresentavam uma alta diversidade e uma distribuição cosmopolita, isto é, também habitavam águas polares e mais próximas à costa. Contudo, com a extinção em massa desta comunidade de microorganismos no limite Cretáceo / Paleogeno, outro grupo de fitoplâncton (as diatomáceas) ocupou estes nichos ecológicos (áreas polares e mais próximas à costa) como resultado da competição interespecífica. Atualmente as diatomáceas são mais abundantes em águas costeiras e polares (BRAND, 1994).

Do que foi exposto até agora, deve-se ter em mente que os fatores bióticos (competição, substituição ecológica etc.) e abióticos (mudanças climáticas, variação do nível do mar, disposição das placas tectônicas, suplemento de nutrientes etc.) afetam e controlam a diversidade do nanoplâncton e, portanto, tiveram papel importante no controle dos nanofósseis calcários. De fato, esses fatores atuam e atuaram juntos no controle da diversidade do nanoplâncton, estando inevitavelmente inter-relacionados (BOWN; LEES; YOUNG, 2004).

A ocorrência e a preservação dos nanofósseis calcários são também fenômenos que podem ser explicados com base na sedimentação dos cocolitoforídeos. Basicamente, após a morte do micro-organismo fotossintético, a cocosfera é desagregada e os cocólitos desprendidos. Tais elementos são transportados até o substrato oceânico, onde são sedimentados e fossilizados. Os nanofósseis calcários são comumente encontrados em rochas sedimentares marinhas de granulometria fina, incluindo, folhelhos, calcários (*chalk*), margas, vasas e siltitos argilosos. Também podem estar presente em calcários de plataforma profunda, sendo praticamente inexistentes em arenitos (STEINMETZ, 1994; ANTUNES, 1997).

São reconhecidos dois mecanismos dominantes no transporte dos cocólitos da zona fótica para o fundo oceânico: via pelotas fecais (do inglês *fecal pellets*) e por macroagregados oceânicos (do inglês, *marine snow*) (Figura 2.5). Pelotas fecais são produzidas pelo zooplâncton (predador) que habita a zona fótica, enquanto que os macroagregados oceânicos são partículas amorfas de tamanho milimétrico a centimétrico, resultado da agregação de bactérias, fitoplâncton, zooplâncton, pelotas

fecais e diversas outras partículas orgânicas e inorgânicas. Ambos os mecanismos explicam a grande abundancia de cocólitos observados no fundo oceânico devido à alta velocidade de queda. Estudos demostraram que a velocidade de queda de pelotas fecais está em torno de 200 m/dia, duas vezes maior que a dos macroagregados marinhos. Outras estimativas informam ainda que as pelotas fecais atingem o assoalho oceânico a uma razão de 250 *pellets*/m^2/dia. Além disso, uma pelota fecal contém cerca de $4x10^4$ partículas nanoplanctônicas (STEINMETZ, 1994). Com estimativas desta magnitude, fica fácil perceber porque os nanofósseis calcários são extremamente abundantes nos fundos oceânicos. Além do mais, tais processos propiciam a preservação dos nanofósseis calcários em regiões mais profundas, pois os cocólitos são revestidos por uma película orgânica que os protege dos efeitos da dissolução. Por sua vez, os cocólitos isolados possuem baixa velocidade de deposição e dissolvem-se em águas pobres em carbonato de cálcio. Sob a Zona de Compensação do Carbonato de Cálcio (CCD) os cocólitos sofrem dissolução (ANTUNES, 1997; ALVES; WANDERLEY, 2003).

Após a deposição, os nanofósseis sofrem o efeito dos processos diagenéticos, entre os quais a compactação, a recristalização e a dissolução (STEINMETZ, 1994, ANTUNES, 1997). Tais processos podem modificar e até mesmo destruir o registro nanofossílifero. Desta forma, há um grande número de fenômenos físico, químicos e biológicos que influenciam e influenciaram na sedimentação e pós-deposição dos nanofósseis e, consequentemente, na distribuição destes bioelementos ao longo do tempo geológico.

Para a indústria do petróleo, as pequenas quantidades de amostras contendo um grande número de fósseis de caráter cosmopolita e de curta distribuição vertical fazem dos nanofósseis calcários excelentes elementos para os estudos bioestratigráficos, servindo, além disso, de alguma forma, para interpretações paleoecológicas.

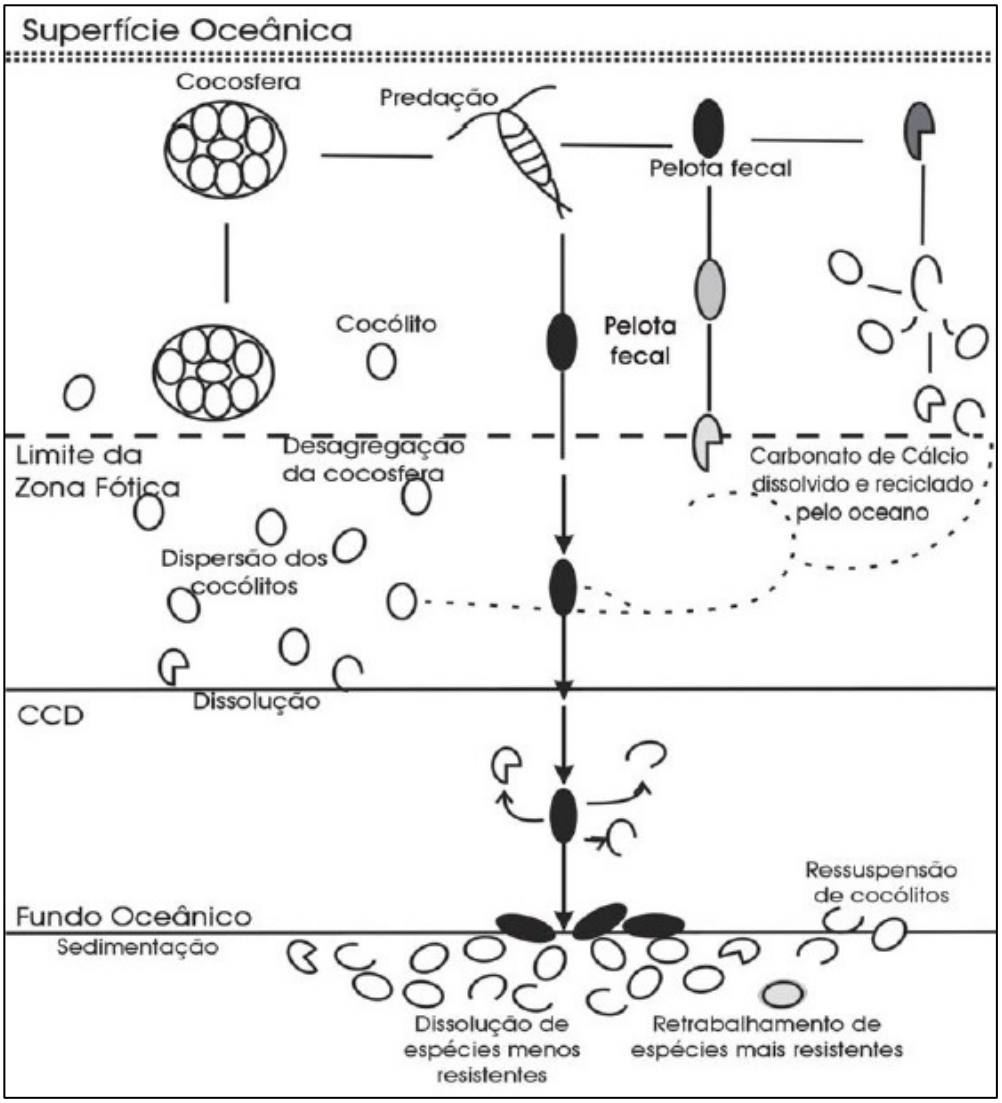


Figura 2.5: Modelo de sedimentação dos cocolitoforídeos (ALVES; WANDERLEY, 2003 segundo STEINMETZ, 1994). Obs.: escalas entre cocosfera, cocólitos e "predador" exageradas para melhor compreensão.

2.2. Breve histórico e principais trabalhos realizados nas bacias marginais brasileiras

Os primeiros estudos referentes a nanofósseis calcários datam de 1836, quando o biólogo alemão Christian G. Ehrenberg registrou, pela primeira vez, minúsculas concreções elípticas calcárias em *chalk* da ilha de Rugen no Mar Báltico; tais elementos foram inicialmente consideradas de origem inorgânica. Em 1858, Thomas Huxley atribuiu o termo cocólito para as concreções calcárias provenientes de amostras do assoalho do Atlântico Norte. Nos primeiros anos da década de 1860, George C. Wallich e Henry C. Sorby introduziram o termo cocosfera para denominar as esferas

constituídas de agregados de cocólitos. Pouco depois, Wallich postulou a origem orgânica dos cocólitos que seriam derivados de algas unicelulares calcárias microscópicas, o que foi comprovada em 1898 pelo trabalho de George Murray e Vernon H. Blackman. Nas décadas seguintes, as pesquisas foram dedicadas às investigações taxonômicas e biológicas destes organismos (SIESSER, 1994).

Outro aspecto importante para o estudo dos microfósseis foi a melhoria das técnicas de microscopia no início da década de 1950. Em 1952 já era utilizado um sistema de luz polarizada a nicóis cruzados e microscopia de contraste de fase. No início da década de 1970, o microscópio eletrônico de varredura tornou-se amplamente utilizado para investigação e ilustração do nanoplâncton. Todavia, o microscópio óptico é preferencialmente utilizado em trabalhos bioestratigráficos devido ao curto tempo de preparação das amostras, identificação das espécies (o que depende da experiência do observador) e dos resultados satisfatórios para a indústria petrolífera (SIESSER, 1994, ANTUNES, 1997).

Todos esses avanços contribuíram para o estabelecimento do conceito de utilização dos nanofósseis calcários na bioestratigrafia. Bramlette e Riedel (1954) elaboraram um trabalho pioneiro sobre a utilização de nanofósseis calcários do gênero *Discoaster* na correlação de rochas cretáceas, paleogênicas e neogênicas. Porém, o início da formulação de um arcabouço bioestratigráfico global deu-se no final da década de 1960 devido, em grande parte, aos estudos de amostras recuperadas pelo *Deep Sea Drilling Project* (DSDP). As amostras coletadas pelo DSDP continham geralmente nanofósseis calcários em grande quantidade e bem preservados, o que levou ao refinamento dos já existentes arcabouços bioestratigráficos (BOLLI; SAUNDERS; PERCH-NIELSEN, 1989). Na década de 1970 os trabalhos de Martini (1971), Bukry (1973) e Sissingh (1977), entre outros, estabeleceram importantes zoneamentos nanofossilíferos para seções meso-cenozoicas marinhas. Desde então, os estudos biocronoestratigráficos baseados em nanofósseis calcários têm contribuído grandemente para a exploração e explotação petrolífera em todo o mundo.

Para a Era Cenozóica são amplamente utilizados dois zoneamentos bioestratigráficos-padrão. Martini (1971) usou a abreviação NP (*Nanoplankton Paleogene*) e NN (*Nanoplankton Neogene*), enquanto que Okada e Bukry (1980) usou a abreviação CP e CN (*Coccoliths Paleogene* e *Neogene*, respectivamente), ambos

seguidos de números para as diferentes biozonas (BOLLI; SAUNDERS; PERCH-NIELSEN, 1989). Grande parte dos limites das biozonas são igualmente posicionados em ambos os zoneamentos.

Dentre os vários trabalhos encontrados na literatura internacional, destaca-se o de Perch-Nilsen (1989) e Bown e Young (1998) porque contêm quadros comparativos de zonação bioestratigráfica de diferentes autores referentes às eras Mesozoica e Cenozoica. Além disso, estão descritas as espécies que delimitam o topo e a base de cada intervalo (bioeventos), subdivisão de intervalos (subzonas) e indicações das espécies mais comuns em cada biozona. Destaca-se, também, a presença de esquemas evolutivos das principais famílias de nanofósseis calcários, entre outras informações.

No Brasil, a utilização de nanofósseis calcários em estudos biocronoestratigráficos teve início em 1968, o que se deu paralelamente aos avanços da exploração petrolífera para áreas marinhas (ANTUNES, 1997). Desde então, os biozoneamentos baseado em nanofósseis calcários têm sido intensamente utilizados pela Petrobras. Troelsen e Quadros (1971) publicaram o primeiro arcabouço bioestratigráfico para a margem continental brasileira relativo ao intervalo Aptiano – Mioceno. Nas décadas seguintes surgiram vários trabalhos que complementaram e aprimoraram os biozoneamentos já existentes.

Há muitos estudos realizados com os nanofósseis cretácicos da margem continental brasileira ao longo das décadas (ANTUNES, 1998; GUERRA; TOKUTAKE, 2011). Todavia, há um número muito inferior de pesquisas relacionado à nanofósseis cenozoicos. Em sua maioria, as publicações estão ligadas à melhoria do arcabouço bioestratigráfico brasileiro e possuem caráter confidencial.

Dentre os trabalhos que colaboraram para elevar o conhecimento bioestratigráfico cenozoico no Brasil, baseado em nanofósseis calcários, podem ser citados: a. Shimabukuro et al. (1986) reconheceram a aplicabilidade de algumas biozonas de Martini (1971) para margem continental brasileira; b. Gonçalves (1989) estudou seções neogênicas e quaternárias da Bacia de Santos; c. Antunes (1990) e Gomide (1990) analisaram o Terciário das bacias de Santos e Pelotas, respectivamente; d. Dehnhardt (1990) apresentou estudo sistemático dos nanofósseis paleocênicos-eocênicos da Bacia do Espírito Santo.

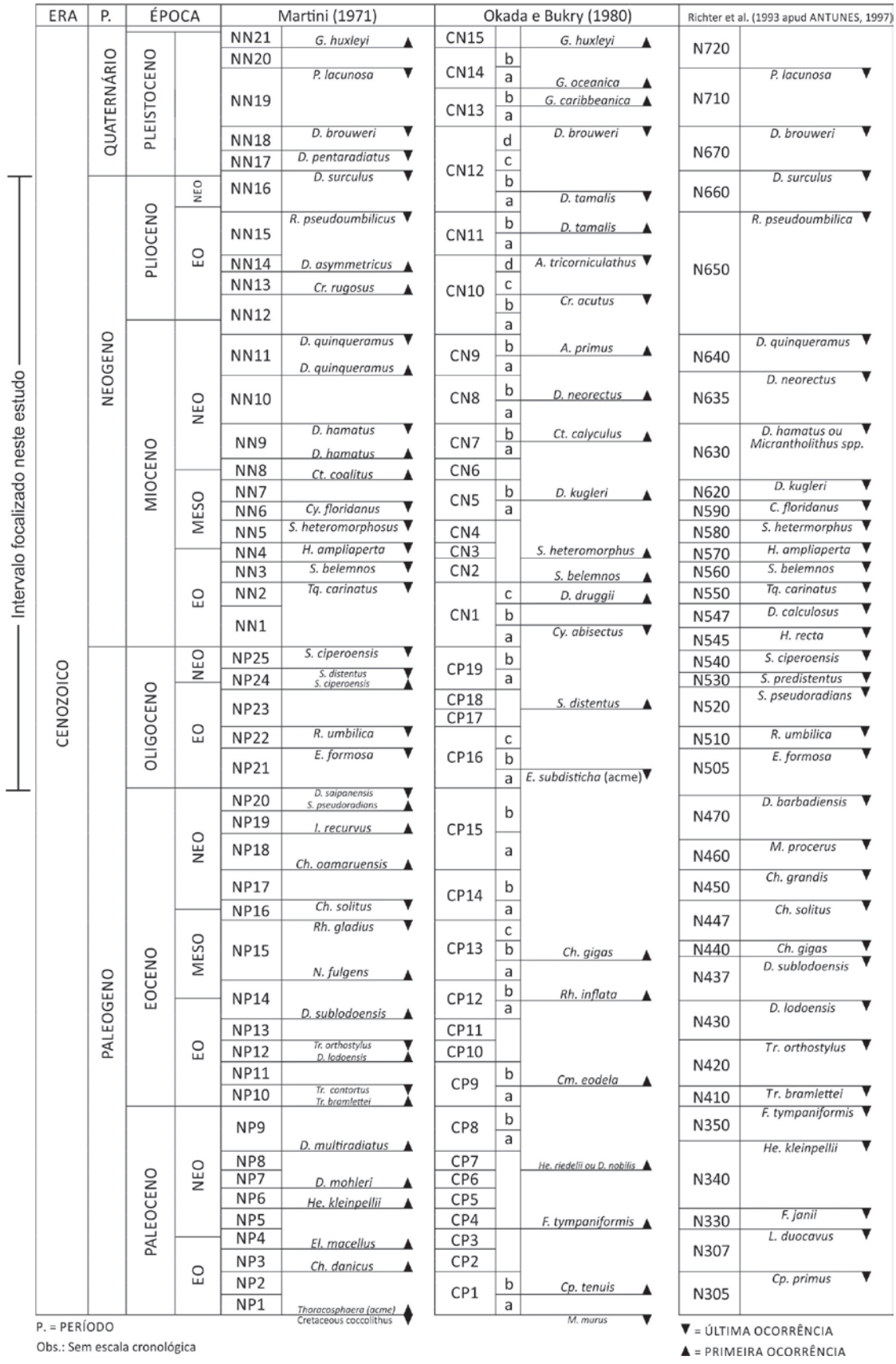


Figura 2.6: Biozoneamentos de nanofósseis calcários. Modificado de Richter et al. (1993 apud ANTUNES, 1997). Obs.: As faixas verdes e cinzas marcam o intervalo estudado nesse trabalho.

Na década de 1990, Beurlen et al. (1992) organizaram os arcabouços biocronoestratigráficos meso-cenozoicos que serviram de base para as Cartas Estratigráficas das bacias marginais brasileiras. Richter et al. (1993 apud ANTUNES, 1997) elaborou um novo zoneamento baseado em nanofósseis calcários para a seção cenozoica da Margem Continental Brasileira com base em Troelsen e Quadros (1971). O biozoneamento de Richter et al. (1993 apud ANTUNES, 1997) e sua correlação com os zoneamentos de Martini (1971) e Okada e Bukry (1980) pode ser vista na Figura 2.6.

Nos últimos anos não houve grande número de publicações sobre a bioestratigrafia baseado em nanofósseis calcários cenozoicos do Brasil. Apesar disso, há um número crescente de estudos que integram a bioestratigrafia, a paleoecologia e a paleoceanografia nanofossilífera. Destacam-se aqui diversos trabalhos considerados importantes: Wanderley (2001), Alves e Wanderley (2003), Wanderley e De Aguiar (2006), Antunes (2007), Delfino e Wanderley (2013).

2.3. Bioestratigrafia dos nanofósseis calcários e sua aplicação na indústria do petróleo

A classificação estratigráfica visa dividir e organizar sistematicamente os corpos rochosos em unidades, a partir de suas propriedades intrínsecas e tangíveis. Segundo “O Guia Internacional Estratigráfico” (SALVADOR et al. 1994), as seguintes categorias de unidades têm sido comumente empregadas na Estratigrafia: unidades cronoestratigráficas, unidades litoestratigráficas, unidades aloestratigrafia (limitadas por discordâncias), unidades de polaridade magnetoestratigráfica e unidades bioestratigráficas.

Outra categoria frequentemente utilizada são as unidades geocronológicas; estas não constituem unidades estratigráficas em si, porque são divisões de tempo e, portanto, intangíveis (SALVADOR et al. 1994). Embora, as unidades geocronológicas não sejam baseadas em uma propriedade palpável, estas estão intimamente relacionadas às unidades cronoestratigráficas que incluem todas as rochas formadas durante um dado intervalo de tempo. Daí vem a distinção entre unidades cronoestratigráficas (Eonotema, Eratema, Sistema, Série e Andar) e seus equivalentes geocronológicos (Éon, Era, Período, Época e Idade, respectivamente). A bioestratigrafia será tratada com maior ênfase neste trabalho, enquanto que maiores informações a respeito das outras

classificações estratigráficas são encontrados no Guia Internacional Estratigráfico, assim como no Código Estratigráfico Norte Americano (NACSN, 2005).

A bioestratigrafia estuda a distribuição dos fósseis no registro estratigráfico e tem como objetivo a organização das camadas sedimentares em unidades. A biozona é a unidade fundamental da bioestratigrafia, sendo definida e caracterizada pelo conteúdo fossilífero dos corpos rochosos. Usualmente as biozonas são designadas pelo nome de um táxon que as define, mas também pode ser incluído o termo indicativo do tipo de biozona (SALVADOR et al. 1994; NACSN, 2005). Além disso, os nomes formais são comumente referidos por códigos para facilitar a comunicação entre profissionais de diferentes áreas.

Por sua vez, os limites das biozonas são definidos com base em eventos biológicos (bioeventos). Basicamente, bioeventos são mudanças significativas ocorridas na biota em um curto intervalo de tempo (até milhares de anos) que são reconhecidos no registro fossilífero em uma sequência de rochas sedimentares. Na bioestratigrafia, tais limites são denominados de horizontes bioestratigráficos ou bio-horizontes (SALVADOR et al. 1994).

Os bioeventos devem ser rastreáveis fora das áreas em que foram definidos ou das seções de referência; isto se dá por meio da correlação bioestratigráfica, que busca estabelecer equivalência entre bio-horizontes separados geograficamente. A correlação bioestratigráfica não é necessariamente correlata em tempo, já que um mesmo evento biológico pode ter acontecido em uma determinada região para depois, de modo mais ou menos gradativo, passar a ocorrer em outras, o que é denominado de diacronismo (CARVALHO, 2011).

A principal função da biozona é permitir diferenciar os estratos empilhados e, devido à quantidade e ao pequeno tamanho entre outras características já ditas anteriormente, os nanofósseis calcários têm uma excelente aplicabilidade para o estabelecimento de biozoneamentos na indústria do petróleo. As expressões biozoneamento, zoneamento bioestratigráfico ou arcabouço bioestratigráfico corresponde ao conjunto de biozonas reconhecidas, caracterizadas e propostas para uma região (NACSN, 2005).

Segundo o Código Estratigráfico Norte Americano (NACSN, 2005) é reconhecido cinco tipos de biozonas: biozonas de abundância, biozonas de associação, biozonas de intervalo, biozonas de amplitude e biozonas de descendência. Vale a pena lembrar que o tipo de biozona escolhido dependerá da natureza da paleobiota, dos objetivos do trabalho, dos problemas específicos a serem investigados e do tipo de amostragem.

Para a indústria do petróleo, alguns tipos de biozonas possuem aplicações limitadas, enquanto que outros possuem resultados mais adequados na elaboração de biozoneamentos. Por exemplo, na biozona de abundância, os bio-horizontes são definidos a partir da detecção do início (base) e fim (topo) do intervalo de abundância relativa de um táxon (Figura 2.7A). Porém, no registro estratigráfico a abundância exagerada de um táxon, denominado de acme, pode ser controlada por processos ecológicos, tafonômicos ou diagenéticos de extensão local e, também pode ser repetida em vários lugares em tempos diferentes. Deste modo, a única forma segura de identificar uma zona de abundância é que tais limites baseados em acme sejam evidentes e correlacionáveis lateralmente (NACSN, 2005; CARVALHO, 2011).

No Brasil, Carvalho e Antunes (1988) e Shimabukuro (1988) caracterizaram paleobiologicamente um horizonte com abundantes indivíduos de espécies do gênero *Braaurudosphaera* (em particular de *B. bigelowii*) dentro do Oligoceno das bacias de Campos e Jequitinhonha, respectivamente. Tal horizonte, designado “Marco Azul” nas análises sismoestratigráficas, consiste num excelente *datum* para correlações geológicas; além disso, caso houvesse interesse, como sugerem aqueles autores, poderia ser ainda definida uma zona de abundância de *Braaurudosphaera bigelowii* na camada do *mudstone* oligocênico presente em amplas porções do Atlântico Norte e Sul.

Na elaboração de arcabouços bioestratigráficos com base em microfósseis, como verificado com frequência na indústria do petróleo, emprega-se comumente a “biozona de intervalo”. Tal tipo de biozona é definida e identificada como sendo um pacote de rocha situado entre dois bio-horizontes específicos marcados pelas ocorrências mais baixa e alta (do inglês *lowest occurrence* e *highest occurrence*, respectivamente) de determinado(s) táxon(s) (Figura 2.7 B e C). Eventualmente, a identificação de inícios ou fins de abundância relativa de determinada(s) espécie(s) podem fornecer bio-horizontes para a definição deste tipo de biozona (Figura 2.7 D e E). Portanto, os limites das

biozonas de intervalo possuem grande precisão, porque são baseados em bioeventos evidentes. Em função dessa precisão dos limites das biozonas de intervalo, estas costumam ter maior aplicação na elaboração de biozoneamentos.

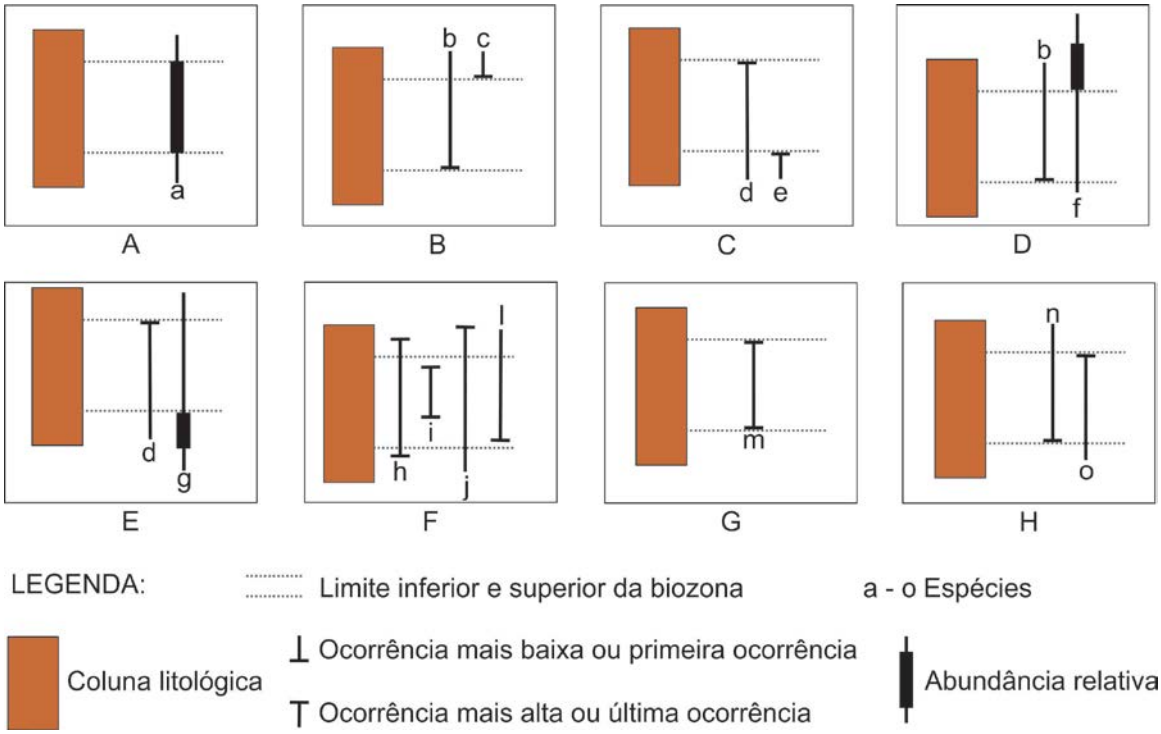


Figura 2.7: Principais tipos de biozonas. A biozona de abundância; B a E biozonas de intervalo; F, biozona de associação; G e H, biozonas de amplitude, também denominadas de biozona de amplitude-táxon e biozona de amplitude concorrente, respectivamente.

Para o estudo de seções perfuradas por poços de petróleo, as biozonas de intervalo baseadas nas ocorrências mais altas (também chamadas de últimas ocorrências estratigráficas) de táxons são preferíveis. Isto para evitar erros, já que, durante a perfuração de poços, a seção é penetrada de cima para baixo, e a identificação das espécies é feita geralmente a partir de amostras de calha, que muitas vezes apresenta contaminação (mistura de microfósseis de diferentes níveis estratigráficos). Tal contaminação pode se dar pela recirculação de sedimentos perfurados anteriormente e de material que tomba de níveis mais superiores das paredes do furo. Portanto, para a indústria do petróleo são particularmente úteis as zonas de intervalo cujos limites são definidos pelas ocorrências mais altas de dois táxons específicos (elimina-se o risco de contaminação). No Brasil, esse tipo de zona de intervalo também é conhecido como zona diferencial superior.

A biozona de associação é caracterizada por um conjunto de três ou mais taxa de fósseis que define a unidade bioestratigráfica (Figura 2.7 F). Neste tipo de biozona, torna-se muito mais importante à associação fossilífera que a define do que os limites propriamente ditos. Deste modo, biozonas de associação não têm sido empregadas na proposição de arcabouços bioestratigráficos. Todavia, este tipo de biozoneamento pode possuir interpretações paleoecológicas mais detalhadas em conjunto com outros tipos de biozonas (CARVALHO, 2011).

As biozonas de amplitude também são conhecidas como sendo um tipo de biozona de intervalo (Figuras 2.7 G e H). Biozonas de descendência não são comumente aplicadas em estudos micropaleontológicos e não serão comentadas aqui. Maiores informações sobre os tipos de biozonas podem ser encontrados em Rey e Galeotti (2008).

Dentre as várias aplicações da micropalentologia na exploração e explotação petrolífera destaca-se o uso dos nanofósseis calcários na bioestratigrafia de alta resolução. A bioestratigrafia de alta resolução visa o máximo fatiamento de uma biozona (idealmente na escala de milhão a centenas de milhares de anos), utilizando-se, para isso, abordagens quantitativas realizadas nas amostras laterais e de testemunho e, portanto isentas de contaminação, obtidas com a perfuração de poços. Com tal abordagem um intervalo estratigráfico de interesse é detalhado, como, por exemplo, reservatórios de um campo de petróleo (PAYNE; EWEN; BOWMAN, 1999; ANTUNES, et al. 2004).

Como já dito, na indústria do petróleo as biozonas são delimitadas por bioeventos de última ocorrência estratigráfica de espécies. Todavia, outros bioeventos podem estar dispostos no interior das unidades bioestratigráficas. Além disso, investigações quantitativas podem revelar diferenças na abundância relativa de um determinado táxon, sendo que estas diferenças podem ser utilizadas para aumentar o refinamento de determinada biozona. Tais atributos revelam a potencialidade dos nanofósseis calcários para a bioestratigrafia de alta resolução.

Além de acmes, do surgimento e da extinção de espécies, outros eventos biológicos podem compor um arcabouço de alta resolução. Alguns dos bioeventos

podem ser mais facilmente identificados do que outros e, neste sentido são atribuídos graus de confiança para cada um deles (ANTUNES et al. 2004).

A bioestratigrafia de alta resolução interessa à maximização da recuperação de hidrocarbonetos, já que para tal é necessário um robusto controle estratigráfico do reservatório. Na medida do possível, a bioestratigrafia de alta resolução é uma ferramenta que deve ser aplicada como parte totalmente integrada com outras ferramentas de subsuperfície, incluindo feições grafo-elétricas dos perfis geofísicos, anomalias ou tendências quimioestratigráficas, horizontes sísmicos etc. Em conjunto, estas ferramentas tem um papel crucial na locação do poço, correlação das unidades de reservatório, entendimento da arquitetura e geometria do reservatório, modelamento da conectividade e no auxílio do controle da trajetória horizontal do poço (*biosteering*) (PAYNE; EWEN; BOWMAN, 1999; ANTUNES et al. 2004).

Por fim, longe de exaurir o assunto, buscou-se neste capítulo a introdução dos principais conceitos relacionados à bioestratigrafia. Sem dúvida, os estudos dos nanofósseis calcários possuem grande aplicabilidade econômica e constituem-se num campo aberto e bastante promissor para a pesquisa acadêmica aplicada nas universidades brasileiras.

3. MÉTODOS DE TRABALHO

3.1. Etapa 1 – Levantamento Bibliográfico

Esta etapa consistiu na consulta de periódicos nacionais e internacionais, monografias, teses de doutorado, dissertações de mestrado, livros, anais e resumos de congressos e simpósios, além de relatórios técnicos. Objetivou-se a obtenção de dados geológicos referentes a generalidades sobre os nanofósseis calcários, estudos realizados nas bacias marginais brasileiras e a zoneamentos bioestratigráficos nacionais e internacionais. Além disso, foram buscados fotomicrografias visando a identificação das espécies.

3.2. Etapa 2 – Treinamento e Registro Fotomicrográfico.

Entre os meses de junho a dezembro de 2013 realizou-se um treinamento específico para identificação dos nanofósseis calcários, tendo-se como base um conjunto de 44 lâminas de referência, para treinamento taxônomico, gentilmente fornecidas pelo geólogo Dr. Rogério L. Antunes, da Petrobras. As lâminas são provenientes de amostras de calha do Cenozoico da Margem Continental Brasileira, em que não constam dados sobre as localizações específicas. Numa primeira fase foram estudadas espécies do Quaternário e, posteriormente, espécies do intervalo Oligoceno – Plioceno.

O treinamento consistiu na observação cuidadosa dos diferentes táxons e no registro fotomicrográfico dos nanofósseis calcários no Laboratório de Bioestratigrafia e Fotomicrografia (LBF) do Centro de Geociências Aplicadas ao Petróleo (UNESPetro). Utilizou-se um microscópio óptico (MO) da marca Carl Zeiss, modelo Axio Imager.A2, equipado com platina giratória, com luz transmitida e polarizada, com aumento variando de 400 a 1000 vezes. As fotomicrografias foram feitas com a máquina fotográfica ZEISS Axiocam 506 color, utilizando-se o *software* AxioVision LE64 V4.9.1.0 para a captura das imagens.

O método de identificação taxonômica consistiu na comparação das espécies observadas e fotografadas com as da literatura consultada (ANTUNES, 2007; BOLLI; SAUNDERS; PERCH-NIELSEN, 1989; BOWN; YOUNG, 1998, entre outros) e com o website Nannotax3 (YOUNG; BOWN; LEES, 2013a) entre outros. Além disso, a

identificação das espécies contou com o franco apoio do especialista Rogério L. Antunes, que norteou o treinamento.

Nos meses de junho a novembro de 2015 foram realizados novas observações e registros fotomicrográficos a fim de acrescentar novas espécies ao banco de dados já existente. As fotomicrografias estão armazenadas no computador UNESP09-PC do Laboratório de Bioestratigrafia e Fotomicrografia (LBF) do UNESPetro.

3.3. Etapa 3 – Formulação do Quadro Bioestratigráfico Brasileiro e Discussão do Arcabouço Bioestratigráfico.

Nesta etapa foi realizada a formulação do quadro bioestratigráfico das espécies que orientam a bioestratigrafia dos nanofósseis calcários da Margem Continental Brasileira. A seleção das espécies teve como base principal de referência o trabalho de Bown e Young (1998), que contém a descrição dos principais biozoneamentos e bioeventos internacionais do Triássico ao Quaternário. Neste trabalho o enfoque foi dado às espécies que separam as biozonas e subzonas do intervalo Oligoceno – Plioceno. Nesta fase, foi de extrema importância a colaboração de R. Antunes, uma vez que não são encontradas, com facilidade, publicações sobre o biozoneamento nacional. Concomitantemente à seleção das espécies, foram realizadas comparações e discussões sobre os principais bioeventos que definem o biozoneamento~~s~~ obtido~~s~~ nesse estudo e o biozoneamento internacional.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para propósitos de discussão, o trabalho foi aqui dividido de acordo com o biozoneamento de Richter et al. (1993 apud ANTUNES, 1997), totalizando 18 biozonas (N505 a N660). Vale ressaltar que os biozoneamentos de Martini (1971) e Okada e Bukry (1980) foram realizados com amostras provenientes de poços com testemunhagem contínuas (DSDP) e de afloramentos; deste modo, possuem biozonas de intervalo delimitadas tanto por primeira ocorrência quanto por última ocorrência, além de biozonas de amplitude (amplitude-táxon e amplitude concorrente). Essas possuem aplicação limitada para a indústria do petróleo. Diferentemente, o biozoneamento de Richter et al. (1993 apud ANTUNES, 1997 é delimitado somente por última ocorrência ("desaparecimento") de determinado táxon, diminuindo assim os riscos de contaminação das amostras e, consequentemente, erros de interpretação bioestratigráfica.

4.1. Biozonas N505 a N545

Correspondem a seis biozonas inseridas em um intervalo de tempo de aproximadamente 11,9 milhões de anos (Figura 4.1). Das 17 espécies-guia selecionadas que permitem usar os biozoneamentos de Martini (1971) e Okada e Bukry (1980), sete são usadas para delimitar as biozonas da margem continental brasileira.

Em termos gerais, há uma boa correlação entre diversidade de nanoplâncton e temperatura, ou seja, a diversidade aumenta durante períodos de clima quente, por exemplo, durante o Mioceno e, diminui em períodos de clima frio, por exemplo, no Eoceno – Oligoceno (BOWN; LEES; YOUNG, 2004). Segundo Bolli; Saunders e Perch-Nielsen (1989) e Sezen (2014) a diversidade é relativamente baixa na maioria das amostras do Oligoceno. Nesse intervalo, geralmente os únicos discoasteres encontrados são: *Discoaster deflandrei*, *Discoaster tanii* e *Discoaster nodifer*, sendo este último frequentemente classificado como uma subespécie de *D. tanii*. Segundo Bown, Lee e Young (2004) a diversidade mínima cenozoica ocorreu durante o máximo glacial oligocênico devido à diminuição de hábitats oligotróficos estáveis. Nessa época também são observados tendências de diminuição da diversidade em outros grupos fósseis (foraminíferos planctônicos). O limite Eoceno – Oligoceno é usualmente delimitado pela última ocorrência de discoasteres com formato de disco representado por *Discoaster barbadensis* (Figura 4.2) e *Discoaster saipanensis*.

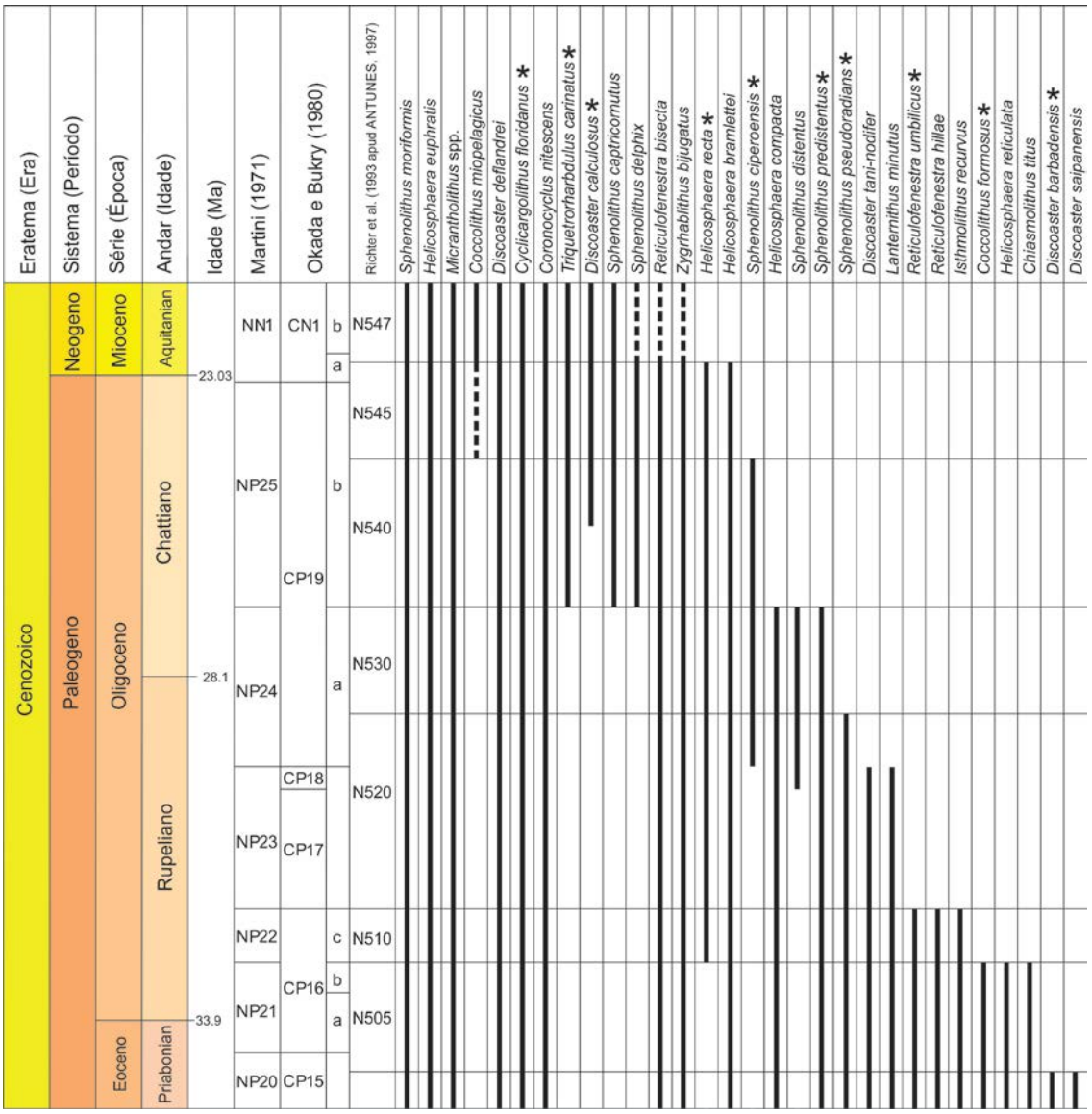


Figura 4.1: Biozoneamento de nanofósseis calcários para a margem continental brasileira para o Oligoceno. Quadro elaborado a partir de Bolli; Saunders e Perch-Nielsen (1989); Richter et al. (1993 apud ANTUNES, 1997); Bown e Young (1998) e Young; Bown e Lees (2013a). As espécies com asteriscos têm seus desaparecimentos delimitando biozonas na margem continental brasileira. Escala de tempo geológico segundo a Tabela Cronoestratigráfica Internacional (COHEN et al., 2013).

A biozona N505, também denominada *Coccolithus formosus* (Figura 4.3), possui a parte inferior situada no Eoceno Superior. Esta biozona é delimitada pela última ocorrência estratigráfica de *Discoaster barbadiensis*, na base e, última ocorrência estratigráfica de *Coccolithus formosus*, no topo. As últimas ocorrências de *Helicosphaera reticulata* e *Chiasmolithus titus* também podem ser utilizadas para limitar o topo desta biozona.

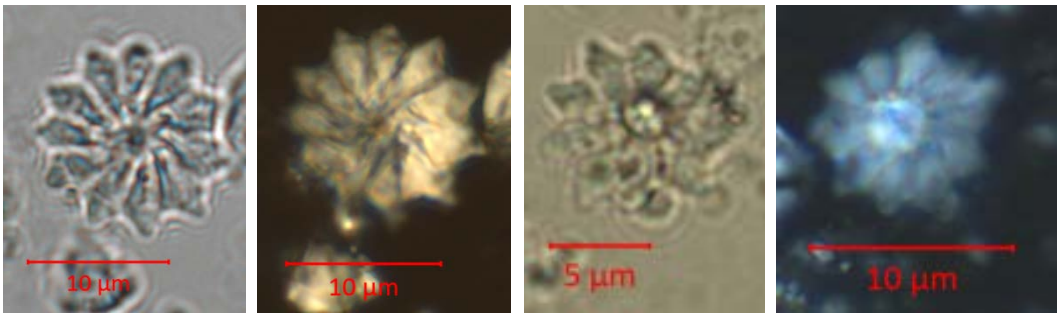


Figura 4.2: *Discoaster barbadensis* Tan Sin Hok 1927 (Coleção Antunes, Lâmina N-470, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

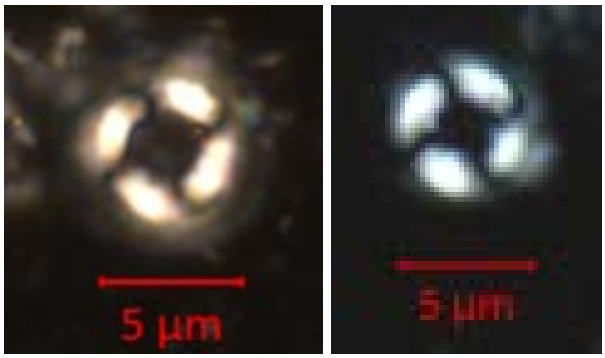


Figura 4.3: *Coccolithus formosus* (Kamptner, 1963) Wise, 1973 (Coleção Antunes, Lâmina N-470, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

As biozonas N510 e N520 são denominadas de *Reticulofenestra umbilicus* (Figura 4.4) e *Sphenolithus pseudoradians* (Figura 4.5), respectivamente.

Há certa confusão na literatura com relação a exemplares de reticulofenestras e, portanto, nem sempre as diferenças entre elas são claras. Neste sentido, numerosas espécies têm sido propostas sendo que conceitos de espécies variam amplamente entre os autores. Alguns grupos distintos podem ser facilmente reconhecidos, mas muitos táxons são separados por critérios arbitrários, como o tamanho. Fundamentalmente *Reticulofenestra* spp. são separadas em sete diferentes grupos: *Cyclicargolithus floridanus*, *Reticulofenestra bisecta*, *Reticulofenestra lockeri*, *Reticulofenestra parvula*, *Reticulofenestra pseudoumbilicus*, *Reticulofenestra reticulata* e *Reticulofenestra umbilicus* (YOUNG; BOWN; LEES, 2013b).

Reticulofenestra hillae e *Isthmolithus recurvus* também podem ser utilizados para demarcar o topo da biozona *Reticulofenestra umbilicus* (N510).

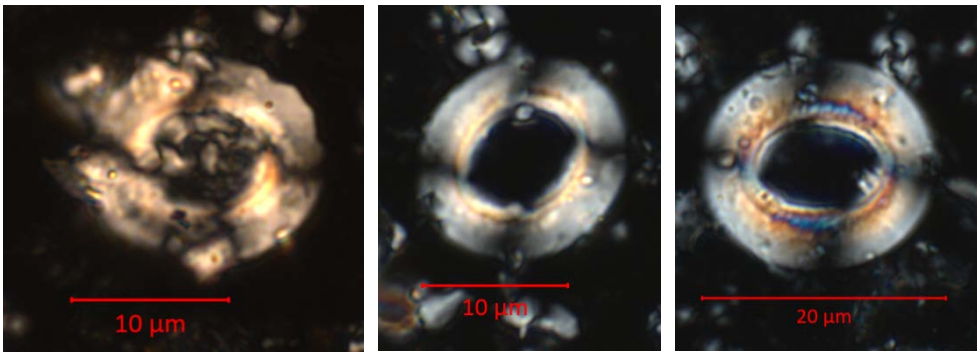


Figura 4.4: *Reticulofenestra umbilicus* (Levin, 1965) Martini e Ritzkowski, 1968 (Coleção Antunes, Lâmina N-470, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

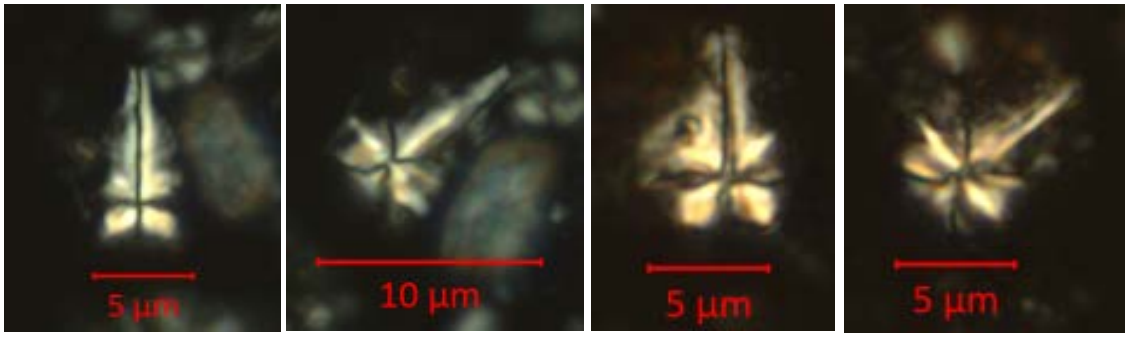


Figura 4.5: *Sphenolithus pseudoradians* Bramlette e Wilcoxon, 1967 (Coleção Antunes, Lâmina N-470, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

Os limites das biozonas N530 e N540 são baseados em *Sphenolithus* spp.. Segundo Bolli; Saunders e Perch-Nielsen (1989) *S. predistentus* (Figura 4.6) geralmente desaparece antes da última ocorrência de *S. distentus*.

Sezen (2014) estudou amostras recuperadas de uma sequência sedimentar completa do Paleoceno ao Neogeno superior pelo *Ocean Drilling Project* (ODP – Estágio 154, Sítio 929) localizado no Alto do Ceará na região equatorial do Atlântico ocidental. Os resultados mostram que as espécies *S. ciperoensis* (Figura 4.7) e *S. distentus* estão presentes, porém são raros. Apesar da abundância de *S. predistentus* ser rara a frequente, é consistentemente presente; *S. pseudoradians* ocorre esporadicamente. Espécies do Oligoceno inferior tais como *Reticulofenestra* spp., *Dictyococcites* spp. e *Cyclicargolithus* spp. são comuns a muito abundantes. *Helicosphaera* spp. são raras a frequentes na maior parte do Oligoceno, incluindo *H. euphratis, H. recta e H. intermedia.* O grupo irmão constituído por *H. reticulata, H. compacta* e *H. bramlettei* extingue-se no final do Paleogeno.

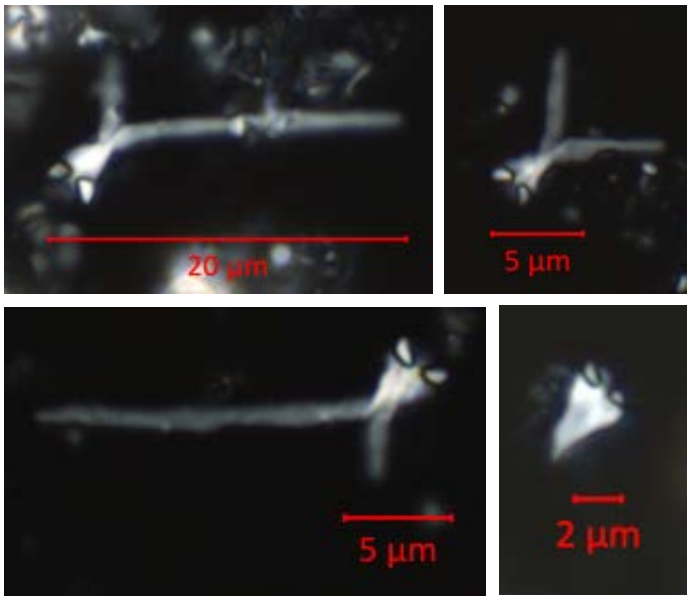


Figura 4.6: *Sphenolithus predistentus* Bramlette e Wilcoxon, 1967 (Coleção Antunes, Lâmina N-530, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

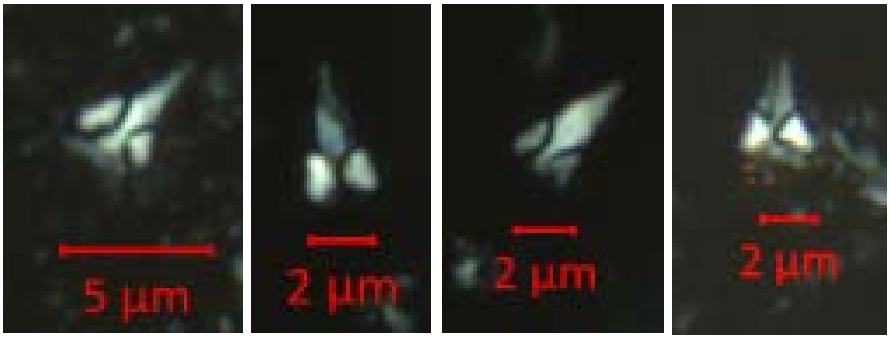


Figura 4.7: *Sphenolithus ciperoensis* Bramlette e Wilcoxon, 1967 (Coleção Antunes, Lâmina 4-ESS-160 2160 N-540, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

A biozona N545, denominada de *Helicosphaera recta* (Figura 4.8), é um exemplo da importância do detalhamento de determinadas seções que contêm importantes campos de petróleo. Boa parte dos reservatórios dos campos gigantes da Bacia de Campos, incluindo Marlim, Marlim Sul e Leste, entre outros, estão contidos nessa biozona que foi dividida em dez intervalos bioestratigráficos baseado em espécies de *Sphenolithus*. A amplitude média de cada intervalo bioestratigráfico, que constitui a biozona N545, é da ordem de 370 mil anos, o que possibilita individualizar vários fluxos turbidíticos que formaram as camadas-reservatório desses campos (ANTUNES et al. 2004).

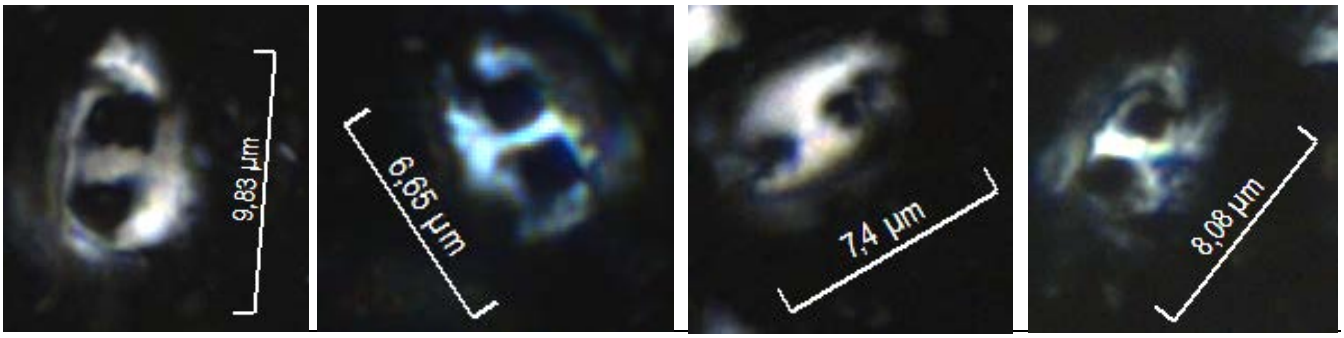
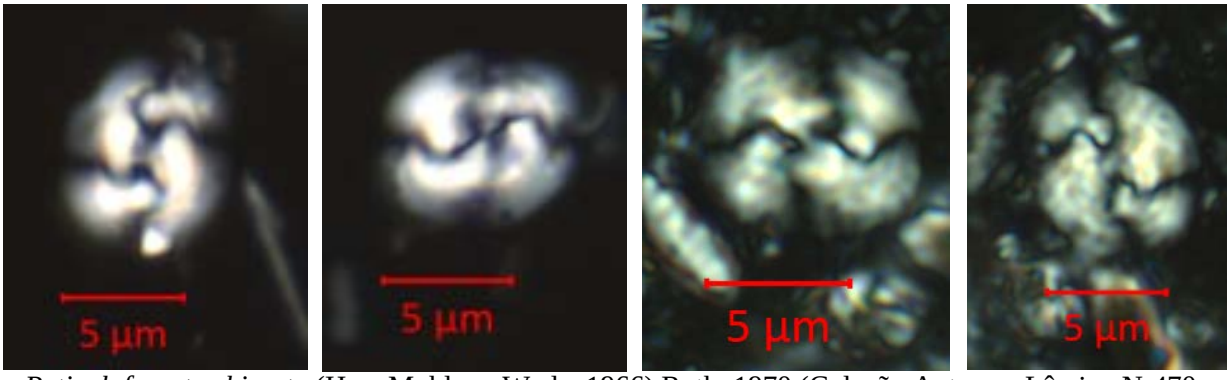


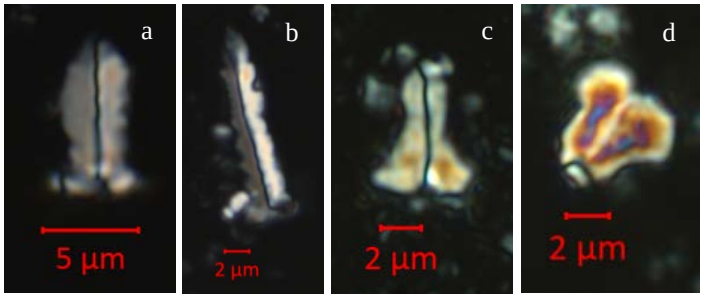
Figura 4.8: *Helicosphaera recta* (Haq, 1966) Jafar e Martini, 1975 (Coleção Antunes, Lâmina N545 9_ML_48D, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

Zygrhablithus bijugatus são holococólitos em forma de bastonetes com um pequeno disco basal e que extiguiram-se na passagem Oligoceno – Mioceno. A espécie *Zygrhablithus* aff. *bijugatus* aparentemente constitui-se de uma espécie nova uma vez que não foi reconhecida na literatura consultada.

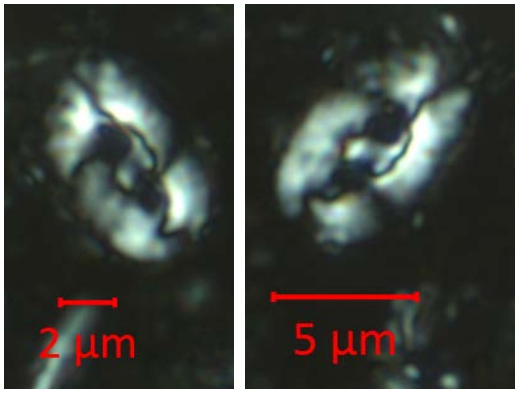
Estampa 1: Biozonas N505 a N545



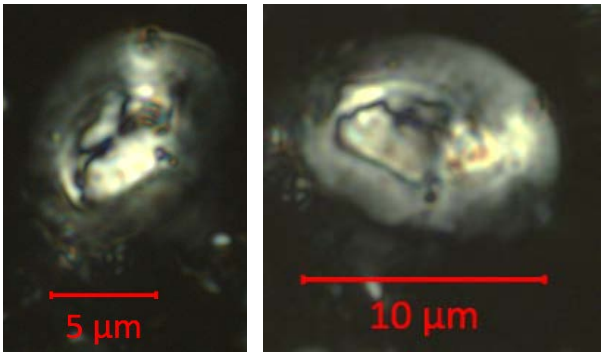
Reticulofenestra bisecta (Hay, Mohler e Wade, 1966) Roth, 1970 (Coleção Antunes, Lâmina N-470, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).



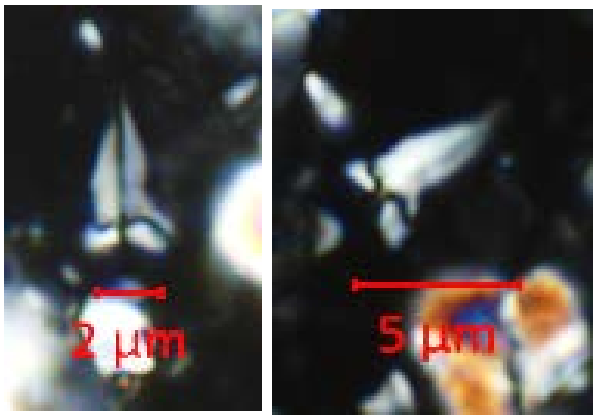
a. *Zygrhablithus bijugatus cornutus* Bown, 2005
b. *Zygrhablithus bijugatus maximus* Bown, 2010
c. *Zygrhablithus bijugatus bijugatus* (Deflandre in Deflandre e Fert, 1954) Deflandre, 1959 (Coleção Antunes, Lâmina N-470, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).
d. *Zygrhablithus* aff. *bijugatus* (Coleção Antunes, Lâmina 4-ESS-160 2160 N-540, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).



Helicosphaera bramlettei (Müller, 1970) Jafar e Martini, 1975 (Coleção Antunes, Lâmina 4-ESS-160 2160 N-540, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

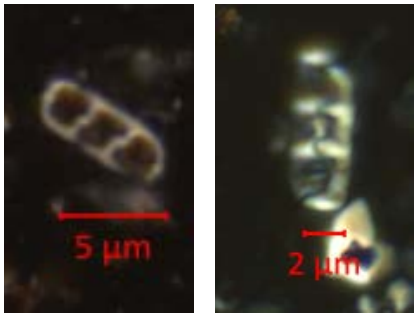


Helicosphaera compacta Bramlette e Wilcoxon, 1967 (Coleção Antunes, Lâmina N470 3 RJS 619, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

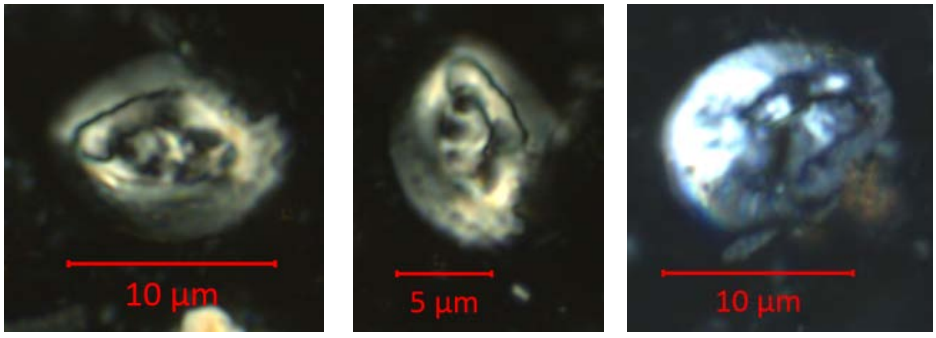


Sphenolithus distentus (Martini, 1965) Bramlette e Wilcoxon, 1967 (Coleção Antunes, Lâmina N520, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

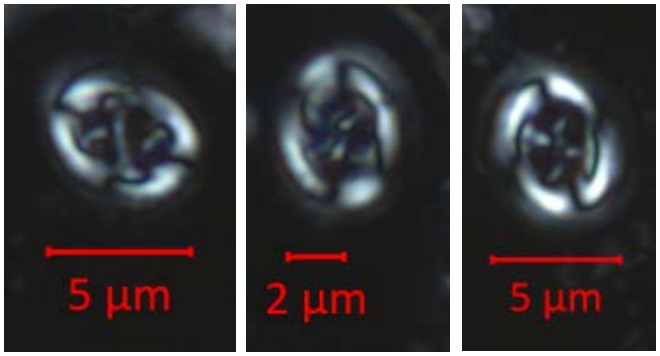
Estampa 2: Biozonas N505 a N545



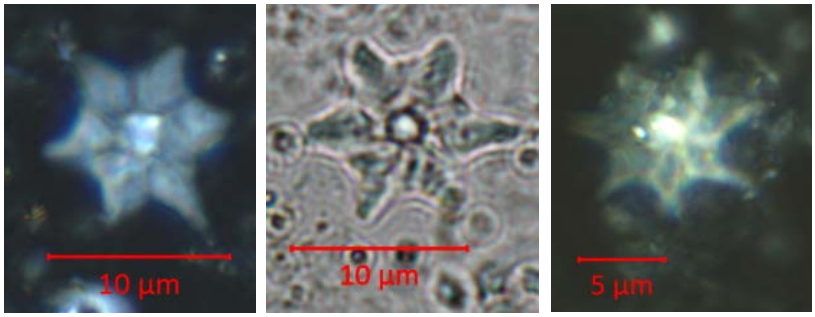
Isthmolithus recurvus Deflandre in Deflandre e Fert, 1954 (Coleção Antunes, Lâmina N470 3 RJS 619, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).



Helicosphaera reticulata Bramlette e Wilcoxon, 1967 (Coleção Antunes, Lâmina N470 3 RJS 619, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).



Chiasmolithus titus Gartner, 1970 (Coleção Antunes, Lâmina N437, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).



Discoaster saipanensis Bramlette e Riedel, 1954 (Coleção Antunes, Lâmina N-470, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

4.2. Biozonas N547 a N640

A Figura 4.9 mostra o biozoneamento baseado em nanofósseis calcários para a série Mioceno. Segundo Richter et al. (1993 apud ANTUNES, 1997) as biozonas são divididas em N547 a N640, cobrindo um intervalo de tempo de aproximadamente 17,7 Ma.

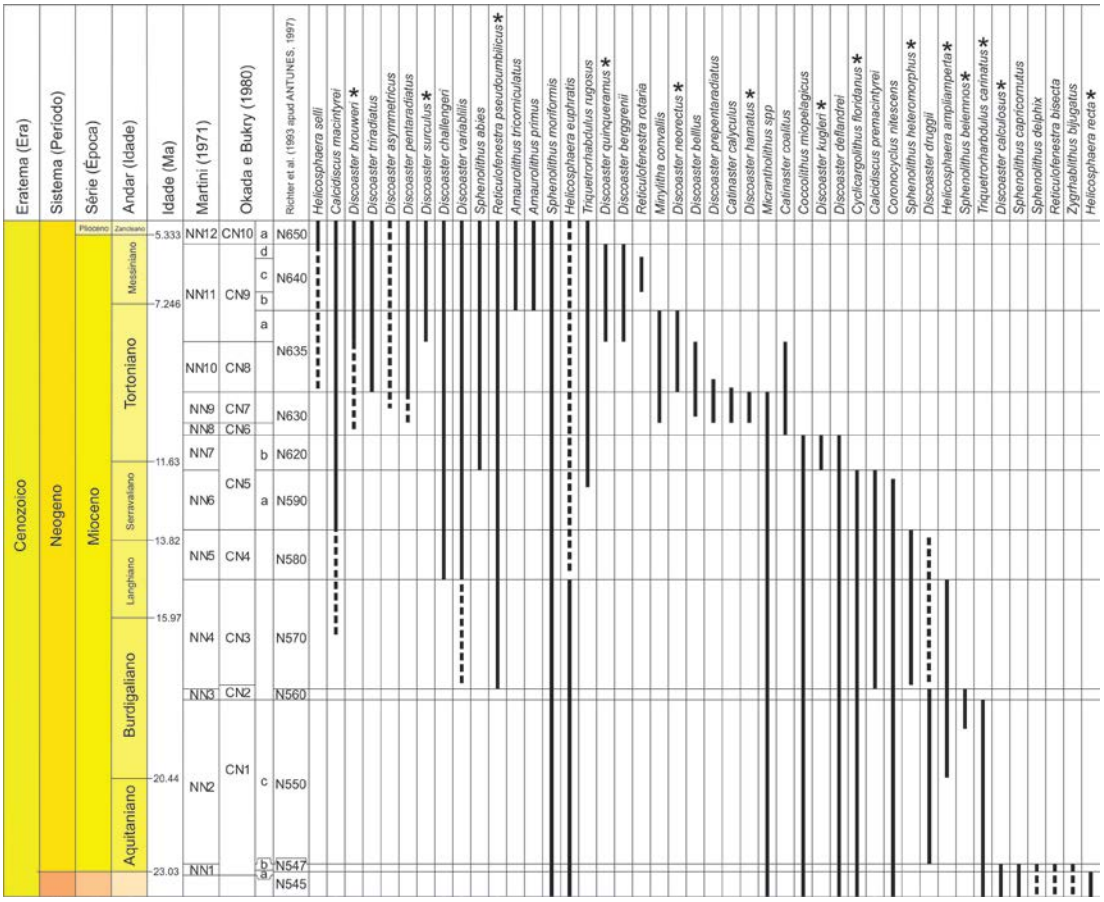


Figura 4.9: Biozoneamento de nanofósseis calcários para a margem continental brasileira para o Mioceno. Quadro elaborado a partir de Bolli; Saunders e Perch-Nielsen (1989); Richter et al. (1993 apud ANTUNES, 1997); Bown e Young (1998) e Young; Bown e Lees (2013a). As espécies com asteriscos têm seus desaparecimentos delimitando biozonas na margem continental brasileira. Escala de tempo geológico segundo a Tabela Cronoestratigráfica Internacional (COHEN et al., 2013).

As biozonas N547 a N590 estão inseridas no Mioceno Inferior e Médio. A base da biozona N547 é marcada pela última ocorrência estratigráfica de *Helicosphaera recta* e, o topo, pela última ocorrência estratigráfica de *Discoaster calculosus* (Figura 4.10).

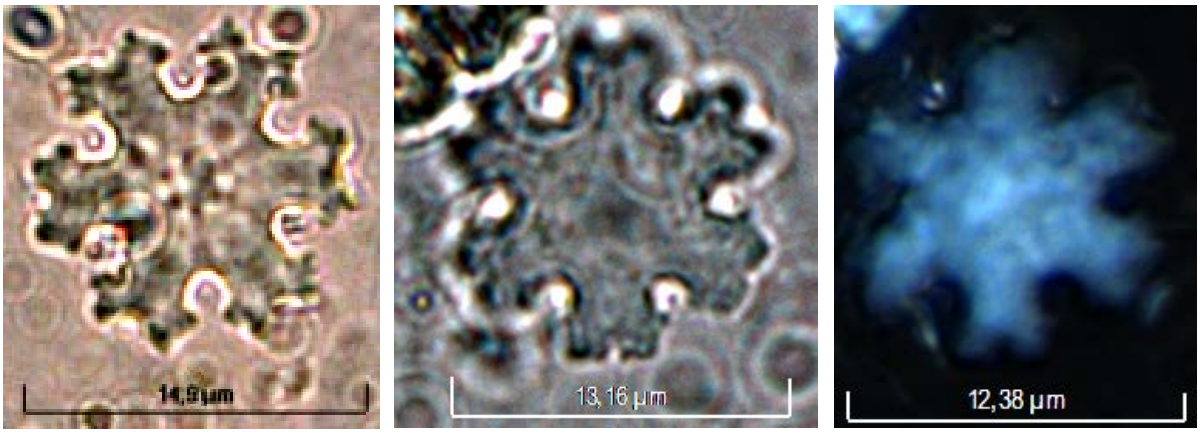


Figura 4.10: *Discoaster calculosus* Bukry (1971) (Coleção Antunes, Lâmina GL-605A 290 N.547, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

Deve ser observado que a biozona N547 tem pequena amplitude temporal, sendo um bom exemplo de biozona com baixo grau de confiança, já que a identificação de *D. calculosus* mostra-se problemática; é difícil distinguir esta espécie das espécies pertencentes ao grupo *Discoaster deflandrei*. Esta última ocorre desde o Ypresiano (Eoceno Inferior), possuindo várias espécies sinônimas e variantes, incluindo, a título de exemplo, as espécies *Discoaster moorei*, *Discoaster aulakos*, além de *Discoaster calculosus* (YOUNG, BOWN E LEES, 2013c).

Ao contrário, a biozona N550 consiste em grande parte do Mioceno Inferior, sendo o topo marcado pela última ocorrência de *Triquetrorharbdulus carinatus* (Figura 4.11).

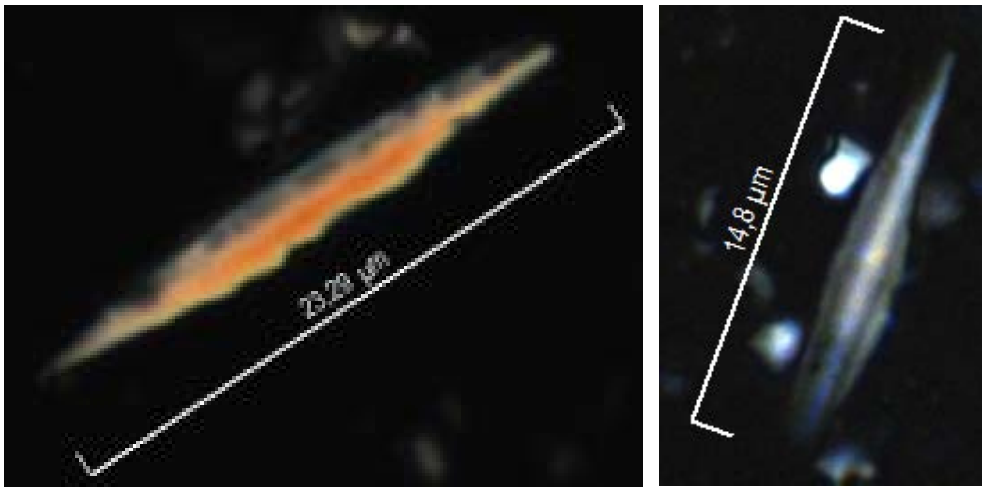


Figura 4.11: *Triquetrorhabdulus carinatus* Martini, 1965 (Coleção Antunes, Lâmina 9_MLS_48D_N545, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

Note que a biozona N560 também é estreita e pode apresentar a mesma problemática da biozona N547. Segundo Bolli; Saunders e Perch-Nielsen (1989), *D. druggii*, *S. belemnos* (Figura 4.12) e *T. carinatus* são raras em altas latitudes e, portanto, não seria conveniente dividir as biozonas NN1 a NN3 (correlacionadas às biozonas N547 a N570).

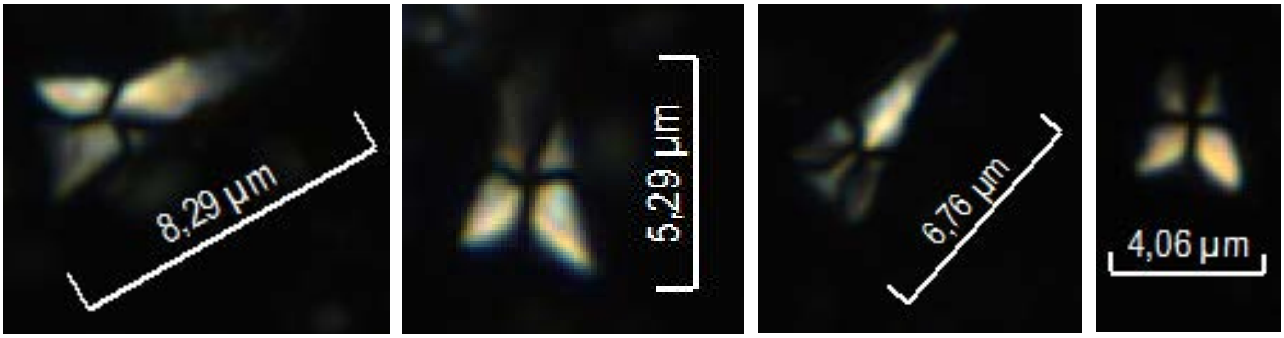


Figura 4.12: *Sphenolithus belemnos* Bramlette e Wilcoxon, 1967 (Coleção Antunes, Lâmina N560, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

A tarefa de identificar e distinguir espécies similares não dever ser encarada como um problema na bioestratigrafia de alta resolução. A determinação refinada de bioeventos relacionados a pequenas mudanças morfológicas evolutivas de determinado táxon podem ser fundamental para o aumento da resolução de uma biozona de interesse, como aqueles que contem o reservatório de um campo de petróleo. Deste modo, o fatiamento da biozona em intervalos menores está intimamente relacionado à correta identificação das espécies.

A biozona N570 é marcado pelo evento de extinção de *S. belemnos*, na base e, *Helicosphaera ampliaperta* (Figura 4.13), no topo. Note que as biozonas NN4 e CN3 não se correlacionam exatamente. Em algumas áreas do Atlântico Sul e do Pacífico, *H. ampliaperta* é muito raro ou ausente e, assim as biozonas N570 e N580 não podem ser distinguíveis.

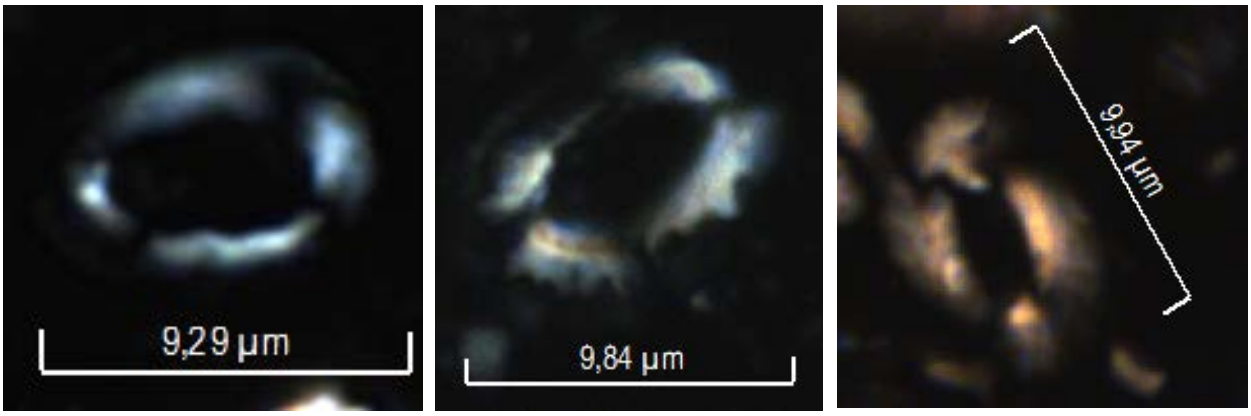


Figura 4.13: *Helicosphaera ampliaperta* Bramlette e Wilcoxon, 1967 (Coleção Antunes, Lâmina GL-605A 290 N.547, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

A biozona N590 é definida pela última ocorrência de *Sphenolithus heteromorphus* (Figura 4.14), na base e, última ocorrência de *Cyclicargolithus floridanus* (Figura 4.15), no topo. A diminuição da abundância de *Cyclicargolithus floridanus* associado ao aumento da abundância de *Reticulofenestra pseudoumbilicus* pode ser utilizado como bioeventos na determinação do topo desta biozona. *C. florianus* tem uma gama grande de tamanho (até 10 µm); caso seja maior, é denominado de *C. abisectus*.

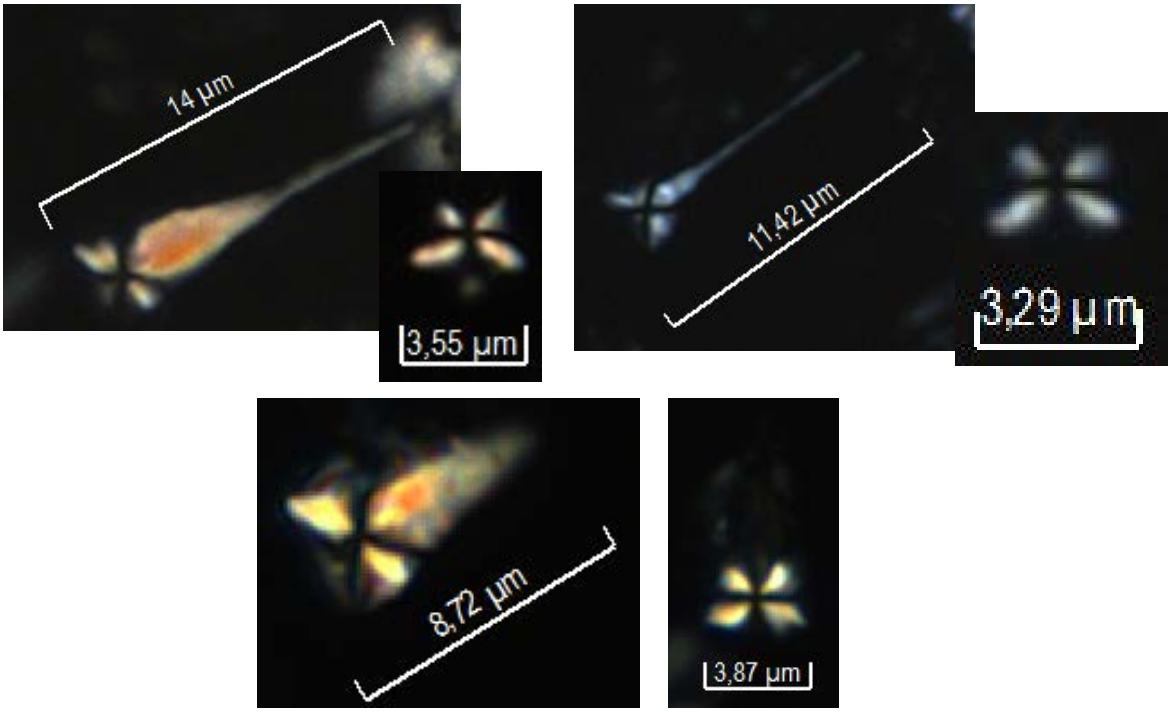


Figura 4.14: *Sphenolithus heteromorphus* Deflandre 1953 (Coleção Antunes, Lâmina GL-613D TEST 169 NN4, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

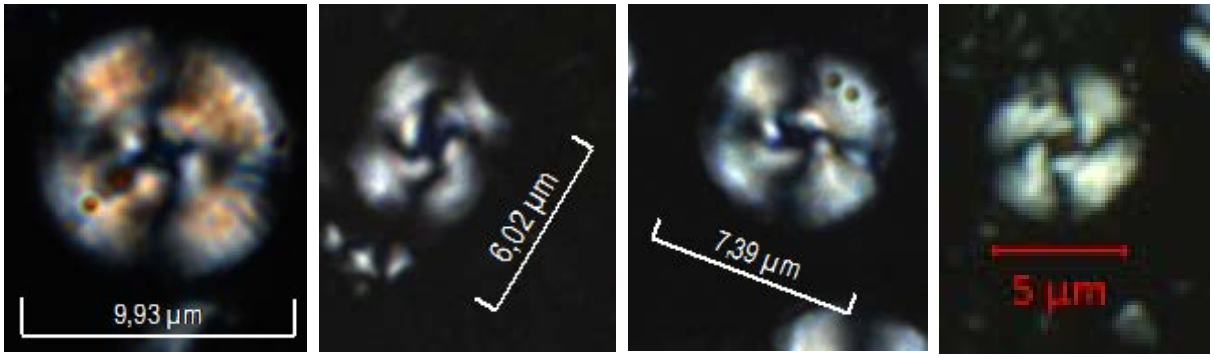


Figura 4.15: *Cyclicargolithus floridanus* (Roth e Hay, in Hay et al. 1967) Bukry, 1971 (Coleção Antunes, Lâmina GL-613D TEST 169 NN4, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

As biozonas do Mioceno superior são delimitadas principalmente por espécies de discoasteres que foram comuns em associações de mar aberto de baixa latitude. Em altas latitudes este gênero tende a ser raro, assim como nas associações de mares marginais, onde também faltam ou é rara a maioria dos outros marcadores nanofossilíferos. Além disso, ressalta-se que o biozoneamento baseado em um único gênero pode representar problemas sérios para a correta identificação das espécies e, portanto, pode afetar a confiabilidade das biozonas resultantes.

A base da biozona N620 também pode ser caracterizada pela última ocorrência de *Calcidiscus* premacintyrei, sendo o topo definido pela última ocorrência de *Discoaster klugeri* (Figura 4.16). A última ocorrência de *Coccolithus miopelagicus* também pode ser usada como marcador deste topo.

Note que o gênero *Discoaster* possui grande importância para o intervalo Mioceno – Plioceno tardio, sendo útil na definição de várias biozonas. Durante este intervalo de tempo, *discoasteres* foram abundantes e diversos porém, somente uma única espécie (*Discoaster deflandrei*) sobreviveu ao Oligoceno, sendo que todas as espécies neogênicas evoluíram a partir dela. Neste sentido, elas foram separadas em espécies típicas do Paleogeno: as com formato em roseta e que foram extintas ao término do Eoceno e as espécies típicas do Neogeno que se apresentam em forma de estrela (BUKRY, 1971; BOWN; YOUNG, 1998).

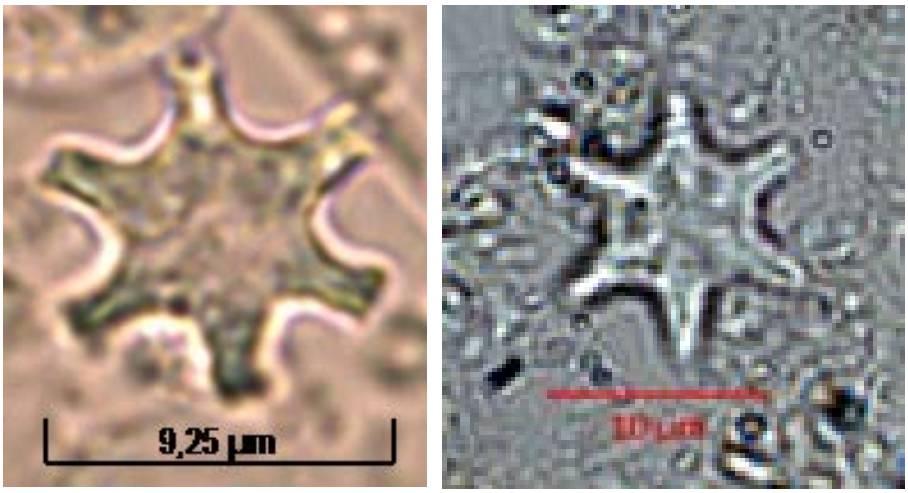


Figura 4.16: *Discoaster kugleri* Martini e Bramlette, 1963 (Coleção Antunes, Lâmina N560, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

Como dito anteriormente, *D. deflandrei* é a espécie ancestral de todos os discoasteres do Neogeno e seus exemplares mostram uma considerável variação de tamanho, dimensões da área central e grau do desenvolvimento das bifurcações na parte terminal dos raios, além de espécimes constituídas por 5 a 7 raios. Esta é, frequentemente, a única espécie presente no Oligoceno (BOWN; YOUNG, 1998).

Durante o Mioceno médio *Discoaster exilis* substitui como forma dominante a espécie *D. deflandrei*, entretanto esta persiste em menor abundância. Além disso, ocorrem outras espécies de discoasteres constituídos por seis raios e intimamente relacionadas. Entre elas, *D. exilis, D. challengeri*, *D. bolli* e *D. kugleri*, sendo que esta última possui uma abrangência confinada à biozona N620.

O topo da biozona N630 é definido pela última ocorrência de *Discoaster hamatus* (Figura 4.17) ou última ocorrência de *Micrantholithus* spp.. Este gênero é constituído por cinco segmentos que, em conjunto, apresentam contorno pentagonal, estrelar (com cinco pontas) a subcircular, no qual as suturas entre os segmentos são observadas desde o centro até o vértice do nanólito. Os nanolitos que apresentam forma pentagonal são denominados de pentalitos. *Braarudosphaera* spp. também fazem parte deste grupo. *Micrantholithus* spp. ocorre desde o Cretáceo inicial; predomina durante o Paleogeno e, tem registro esporádico das espécies mais comuns durante o Mioceno (BOWN; YOUNG, 1998).

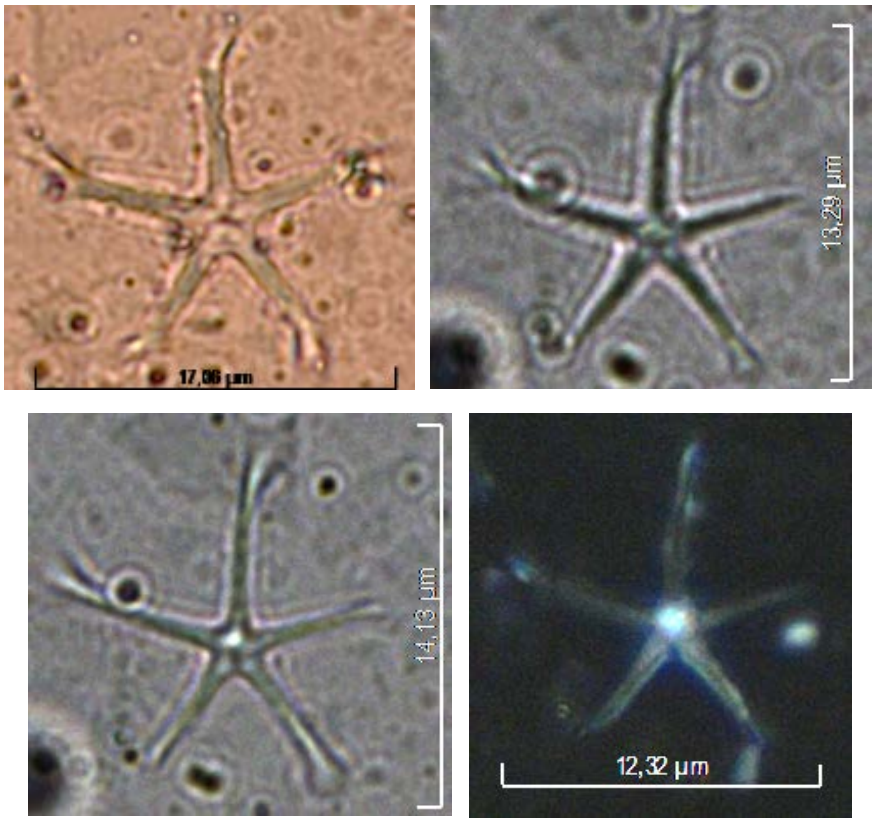


Figura 4.17: *Discoaster hamatus* Martini e Bramlette, 1963 (Coleção Antunes, Lâmina P-04 NN9, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

A biozona N635, definida pelo intervalo estratigráfico situado entre a última ocorrência de *Discoaster hamatus* (base) e a última ocorrência de *Discoaster neorectus* (topo) (Figura 4.18) possui intervalo de tempo em torno de 2,11 Ma. Dentro deste intervalo, como pode ser visto na Figura 4.9, há outros bioeventos de extinção que poderiam ser usados, caso houvesse interesse em aumentar a resolução da biozona. Deste modo, as últimas ocorrências de *Catinaster calyculus*, *Discoaster prepentaradiatus*, *Discoaster bellus* e *Catinaster coalitus* poderiam dividir a biozona N635 em intervalos cronoestratigráficos ainda menores. Por exemplo, a última ocorrência de *D. prepentaradiatus* tem idade de 8,29 Ma; consequentemente, um intervalo definido pela última ocorrência desta espécie e última ocorrência de *D. neorectus* teria resolução de aproximadamente 1,0 Ma. *C. coalitus* é a primeira espécie do gênero *Catinaster* a aparecer, sendo também a mais comum (BOWN; YOUNG, 1998).

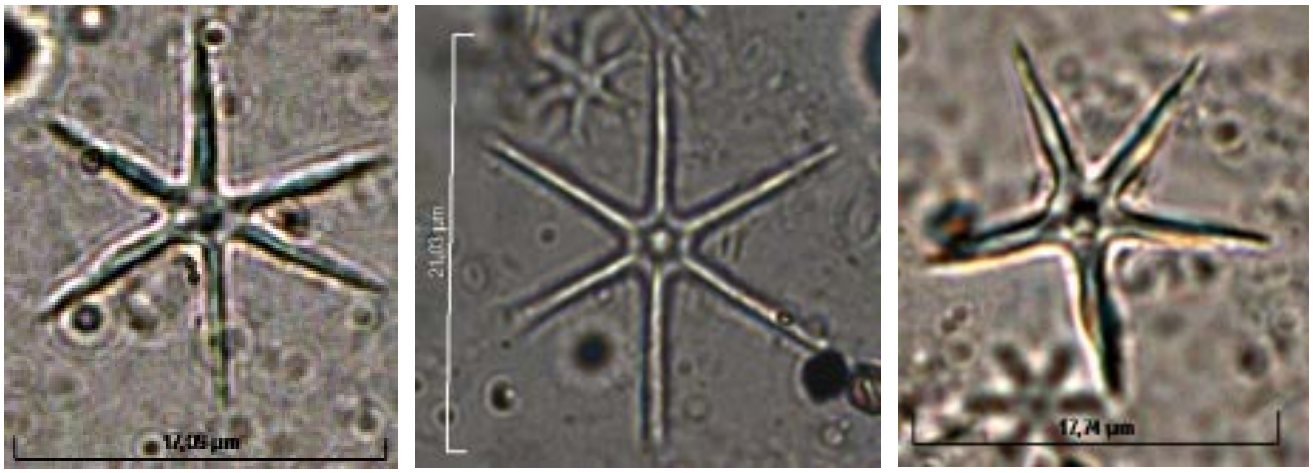


Figura 4.18: *Discoaster neorectus* Bukry, 1971 (Coleção Antunes, Lâmina GL_48 420 N635/NN10, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

A biozona N640 é definida pela última ocorrência de *Discoaster neorectus* a última ocorrência de *Discoaster quinqueramus* (Figura 4.19). As biozonas NN9 e NN11 (Martini, 1971) são exemplos de zonas de amplitude determinada pelas espécies *D. hamatus* e *D. quinqueramus*, respectivamente. *Reticulofenestra rotaria* é uma espécie confinada à subzona CN9c de Okada e Bukry (1980) de 6,91 Ma a 5,94 Ma.

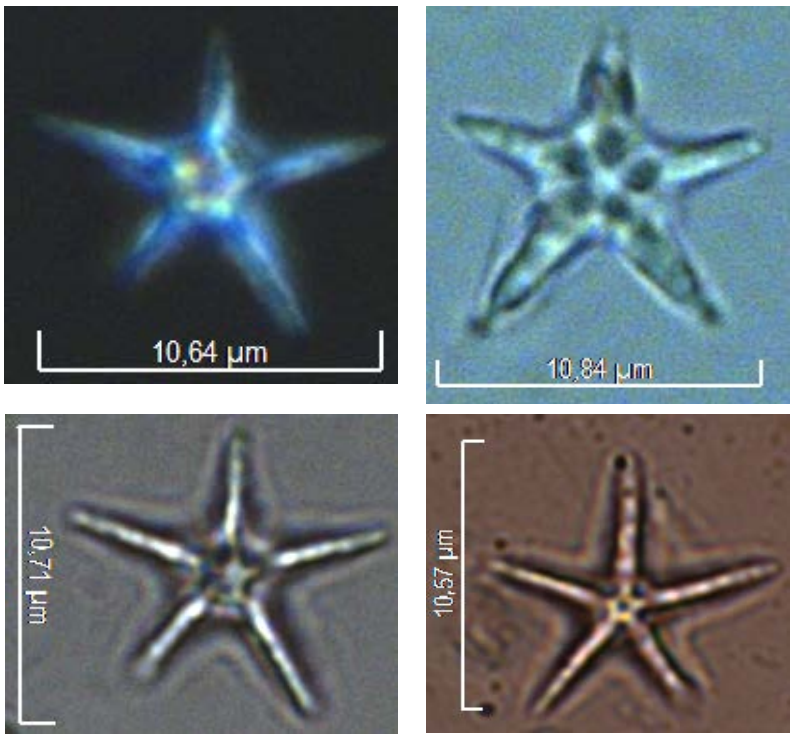
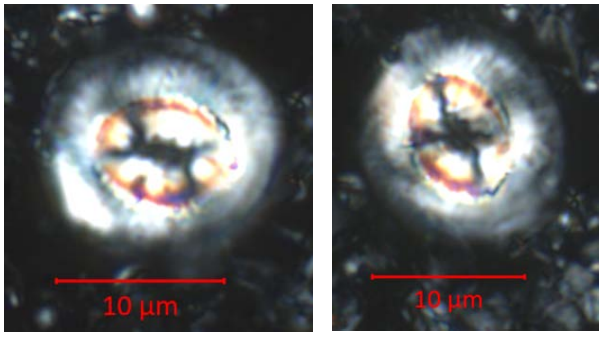


Figura 4.19: *Discoaster quinqueramus* Gartner 1969 (Coleção Antunes, Lâmina GL_48 420 N635/NN10, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

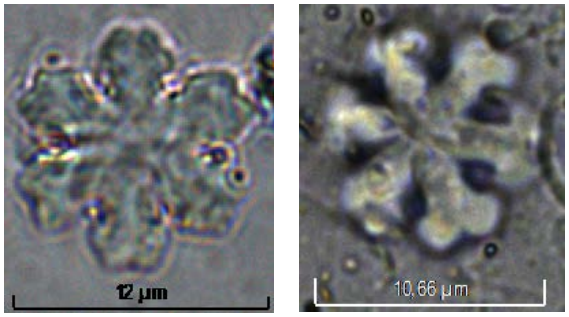
Tanto a primeira ocorrência quanto a última ocorrência de algumas das espécies, *Helicosphaera selli, C. macintyrei, D. brouweri, D. asymetricus, D. variabilis. Helicosphaera intermedia,* etc., são mostradas na forma de linhas tracejadas. Estas linhas podem indicar que uma espécie ocorre ocasionalmente desde tempos mais remotos até o seu estabelecimento em determinada idade, representado pela linha contínua. *H. selli,* por exemplo, apresenta exemplares coletados desde o Tortoniano médio.

Outras espécies podem possuir uma grande similaridade entre elas devido à ancestralidade comum. As espécies de *Helicosphaera* com uma ponte opticamente descontínua desapareceram durante o Mioceno inicial. Para a correta determinação das espécies *H. euphratis, Helicosphaera paralela, Helicosphaera intermedia e Helicosphaera rhomba* necessita-se de um detalhado estudo morfológico, que inclui tamanho e forma dos elementos estruturais, ângulo da ponte, etc., tanto no microscópio óptico quanto no microscópio eletrônico e, portanto, seria mais adequado usar o nome mais antigo (*H. intermedia*) para definir os exemplares dessa linhagem (BOLLI; SAUNDERS; PERCH-NIELSEN, 1989).

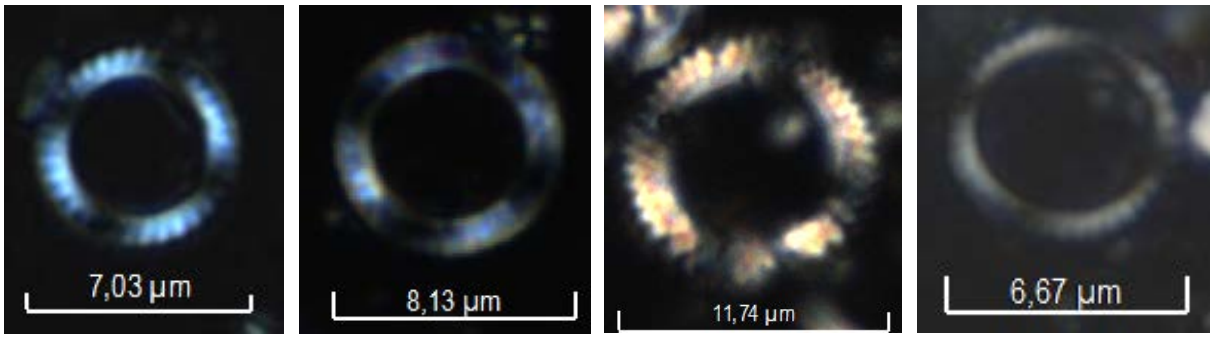
Estampa 3: Biozonas N547 a N640



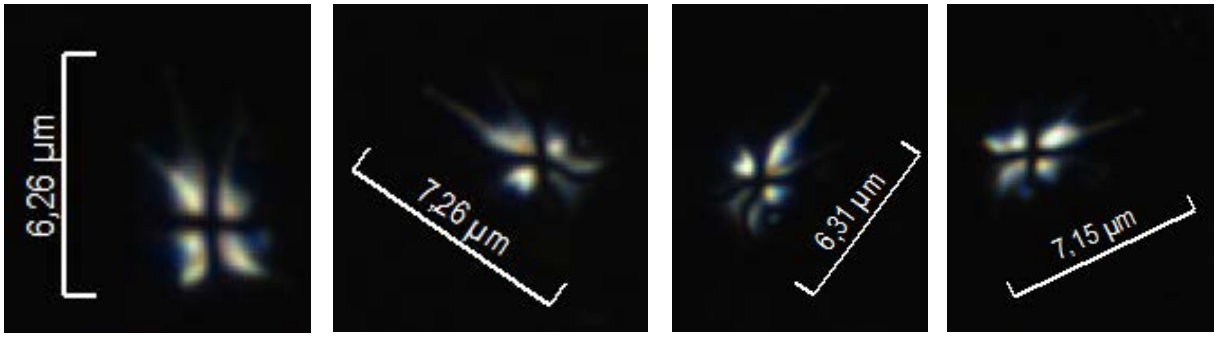
Coccolithus miopelagicus Bukry, 1971 (Coleção Antunes, Lâmina N580, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).



Discoaster deflandrei Bramlette e Riedel, 1954 (Coleção Antunes, Lâmina N560 20, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

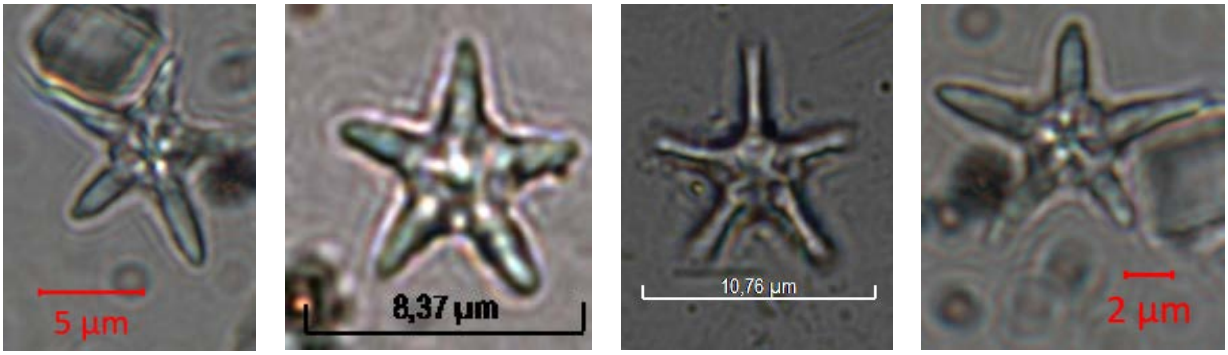


Coronocyclus nitescens (Kamptner, 1963) Bramlette e Wilcoxon, 1967 (Coleção Antunes, Lâmina GL-605A 290 N.547, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

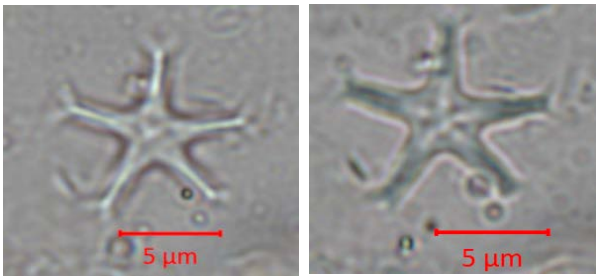


Sphenolithus capricornutus Bukry e Percival 1971 (Coleção Antunes, Lâmina N545, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

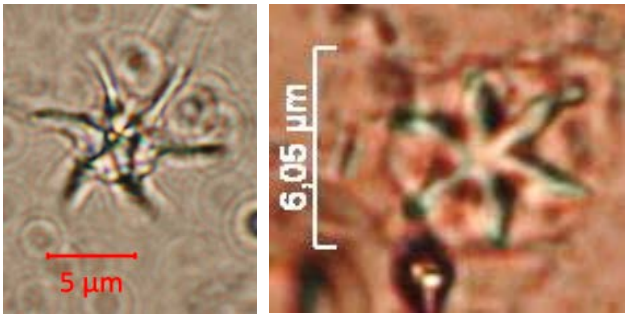
Estampa 4: Biozonas N547 a N640



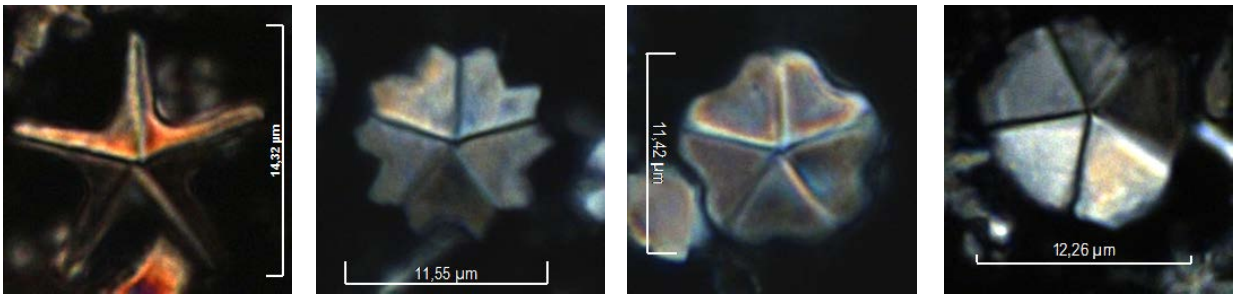
Discoaster berggrenii Bukry, 1971 (Coleção Antunes, Lâmina CMU-02-170cm, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).



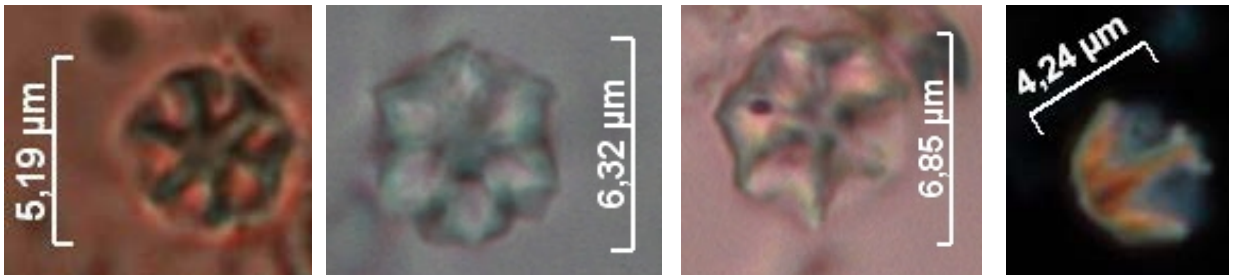
Discoaster prepentaradiatus Bukry e Percival, 1971 (Coleção Antunes, Lâmina NN10, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).



Catinaster calyculus Martini e Bramlette, 1963 (Coleção Antunes, Lâmina NN9, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).



Micrantholithus Deflandre in Deflandre e Fert 1954 (Coleção Antunes, Lâmina NN4, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).



Catinaster coalitus Martini e Bramlette 1963 (Coleção Antunes, Lâmina GL-46, 680cm, N-635, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

Visão lateral de *Catinaster coalitus*

4.3. Biozonas N650 e N660

A Figura 4.20 contém a série Plioceno e, também, o período Quaternário. Os andares Gelasiano, Calabriano, Pleistoceno Médio e Superior e a série Holoceno são apresentados nessa figura, porém não foram estudados nesse trabalho. Maiores informações sobre os biozoneamentos do Quaternário podem ser consultada em Gartner (1977) e Antunes (2007).

No Plioceno, das 21 espécies-guia selecionadas e que permitem a definição das biozonas de Martini (1971) e Okada e Bukry (1980), somente duas são usadas para delimitar as biozonas de Richter et al. (1993 apud ANTUNES, 1997).

De maneira geral, o biozoneamento do Plioceno é baseado principalmente em espécies de *Discoaster*, *Ceratolithus* e *Sphenolithus*, sendo que estas formas são raras ou ausentes em altas latitudes. Segundo Raffi et al. (2006), a última ocorrência estratigráfica de *Triquetrorhabdulus rugosus* seria um marcador regional para a base do Plioceno.

O andar Zancleano é composto em sua maior parte pela biozona N650 (*Reticulofenestra pseudoumbilicus*), que é delimitada pela última ocorrência estratigráfica de *Discoaster quinqueramus*, na base, e *Reticulofenestra pseudoumbilicus* (Figura 4.21), no topo. A última ocorrência de *Sphenolithus abies* também é um marcador do topo desta biozona; porém, na maioria das vezes, é difícil diferenciar *S. abies* de *Sphenolithus moriformis*. *S. abeis* prevalece por mais tempo do que *R. pseudoumbilicus* em seções de mares marginais (BOLLI; SAUNDERS; PERCH-NIELSEN, 1989).

Ceratolithus acutus possui amplitude limitada à subzona CN10b. Outras espécies usadas no biozoneamento da parte mais superior do Mioceno e mais inferior do Plioceno são *Sphenolithus moriformis* e *Helicosphaera euphatis*.

Em Martini (1971), o limite entre NN14 e NN15 é definido pela última ocorrência de *Amaurolithus tricorniculatus*. Segundo Rio, Raffi e Villa (1990), *D. tamalis* é raro fora do Plioceno médio, estando o limite da primeira e última ocorrência desta espécie muito próximo da amplitude do acme de *D. asymmetricus*. Segundo Bolli;

Saunders e Perch-Nielsen (1989), *D. asymmetricus* pode ser facilmente confundido com espécimes ligeiramente irregulares de *D. pentaradiatus* que perderam as bifurcações.

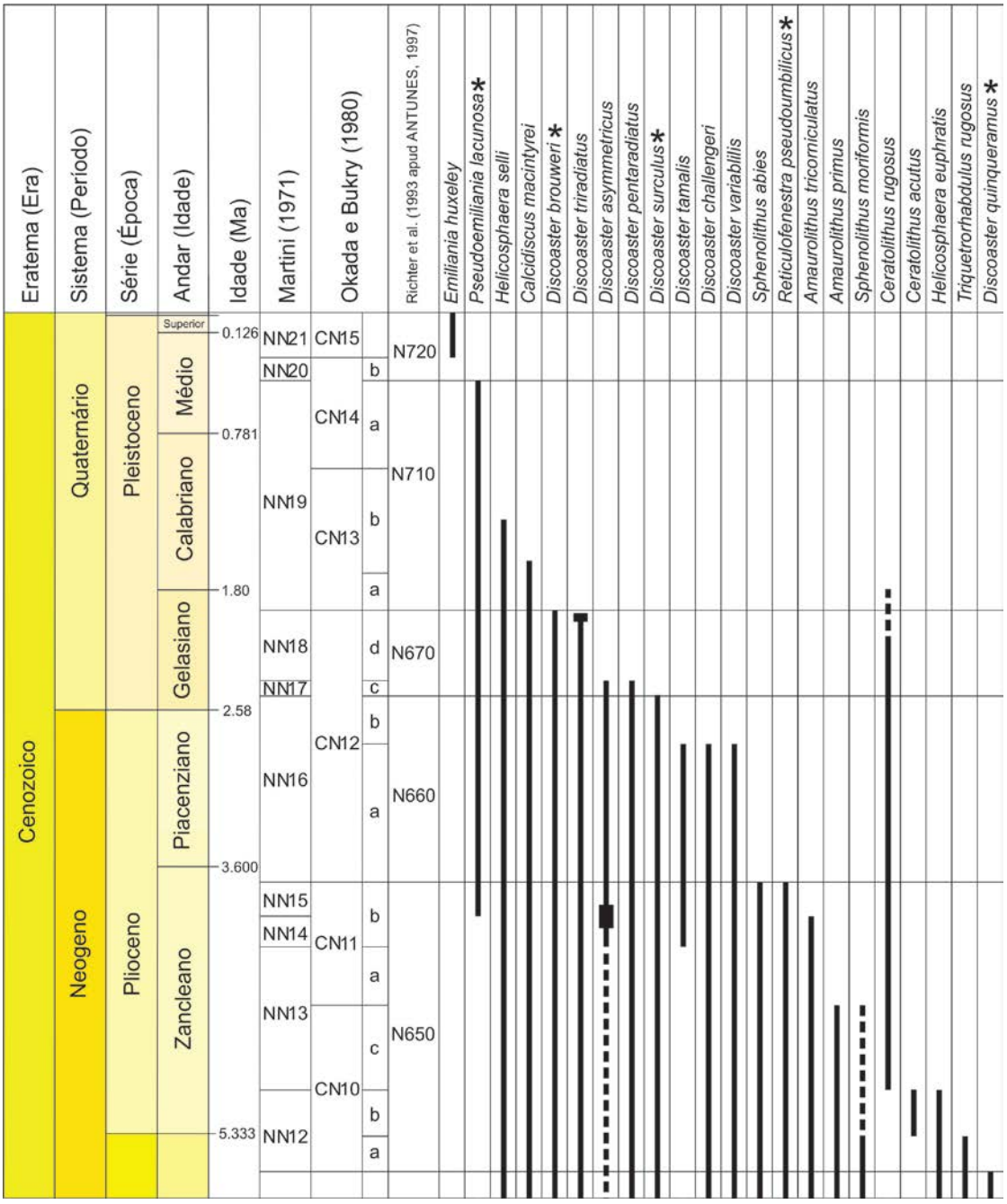


Figura 4.20: Biozoneamento de nanofósseis calcários para a margem continental brasileira para o Plioceno. Quadro elaborado a partir de Bolli; Saunders e Perch-Nielsen (1989); Richter et al. (1993 apud ANTUNES, 1997); Bown e Young (1998) e Young; Bown e Lees (2013a). As espécies com asteriscos têm seus desaparecimentos delimitando biozonas na margem continental brasileira. Escala de tempo geológico segundo a Tabela Cronoestratigráfica Internacional (COHEN et al., 2013).

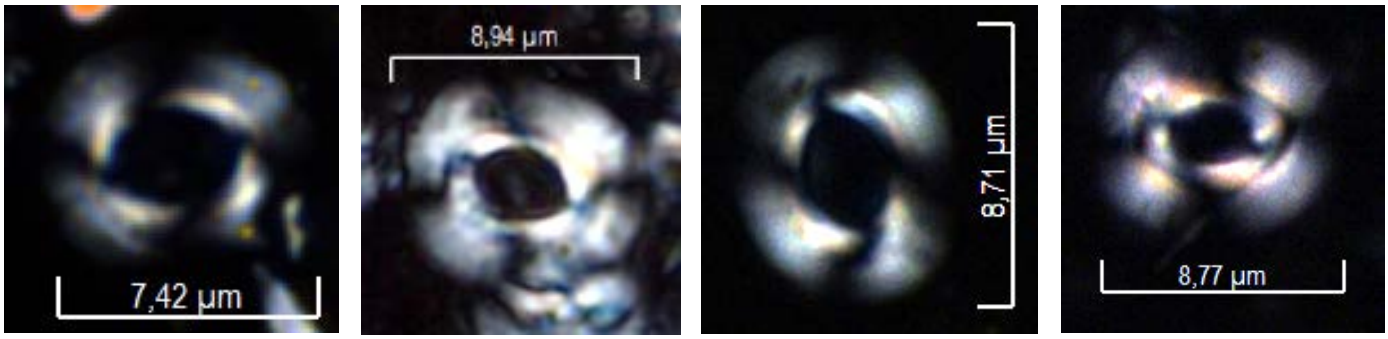


Figura 4.21: *Reticulofenestra pseudoumbilicus* (Gartner, 1967) Gartner, 1969 (Coleção Antunes, Lâmina GL_48 420 N635/NN10, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

A biozona *Discoaster surculus* (Figura 4.22), de idade predominantemente Piacenziano, consiste no intervalo estratigráfico situado entre a última ocorrência de *Reticulofenestra pseudoumbilicus* e a última ocorrência de *D. surculus*.

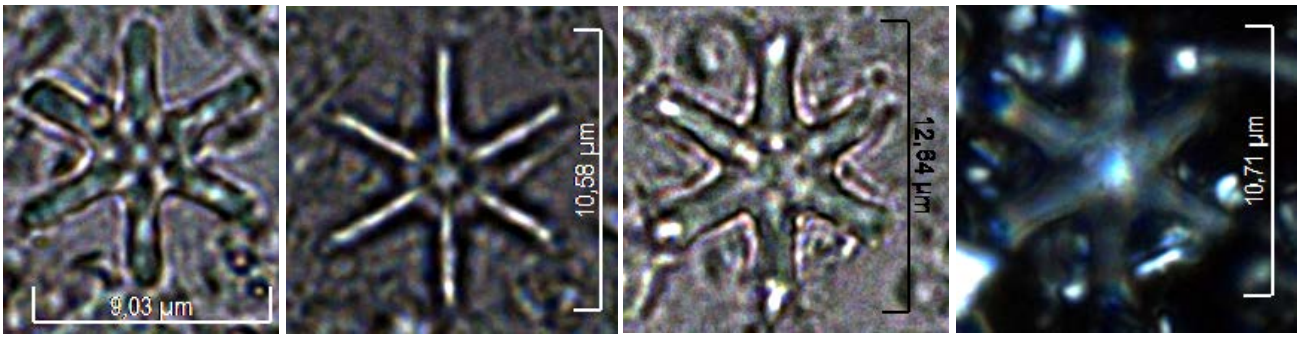


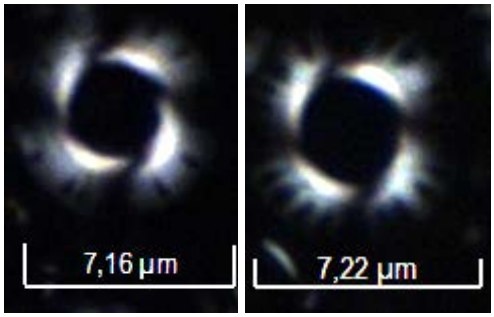
Figura 4.22: *Discoaster surculus* Martini e Bramlette, 1963 (Coleção Antunes, Lâmina GL_48 420 N635/NN10, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

A biozona N660 não pode ser facilmente reconhecida em altas latitudes uma vez que o gênero *Discoaster* desaparece antes da última ocorrência de *R. pseudoumbilicus* (BOLLI; SAUNDERS; PERCH-NIELSEN, 1989). As espécies neogênicas de *Discoaster* extinguiram-se durante o Pleistoceno inferior. As variações na abundância relativa de discoasteres mostram que esse grupo microfossilífero foi bastante reduzido em tempos de condições glaciais intensas no hemisfério norte durante o final do Plioceno. As mudanças climáticas de larga escala também alteraram as características nutricionais e de temperatura do oceano global, além disso, o aumento da competição dentro da comunidade fitoplanctônica são mecanismos que explicam a redução da população além de um limite sustentável. O desaparecimento de discoasteres parece ter

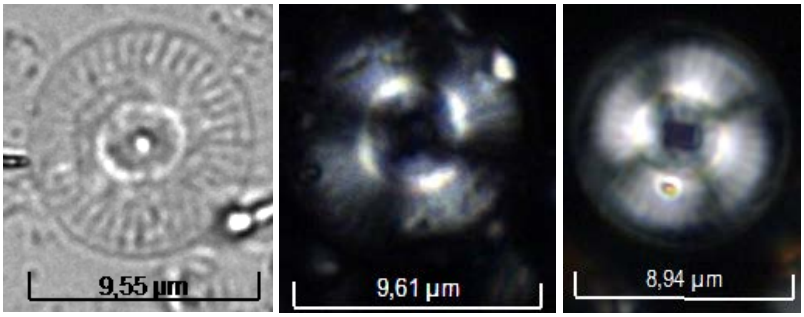
sido um verdadeiro evento sincrônico quando considerado regiões equatoriais e de médias latitudes (CHAPMAN; CHEPSTOW-LUSTY, 1997).

A espécie *D. tamalis* é usada como marcador da subzona CN12a. A ocorrência em conjunto de *D. asymmetricus* e *D. tamalis* na ausência de *R. pseudoumbilicus* e *Sphenolithus* é uma distinção prática para definir a parte inferior da N660 em associações de baixa a média latitude (BUKRY, 1973). *Pseudoemiliania lacunosa* torna-se bem estabelecida nessa zona, enquanto que *Discoaster challengeri* e *Discoaster variabilis* desaparecem.

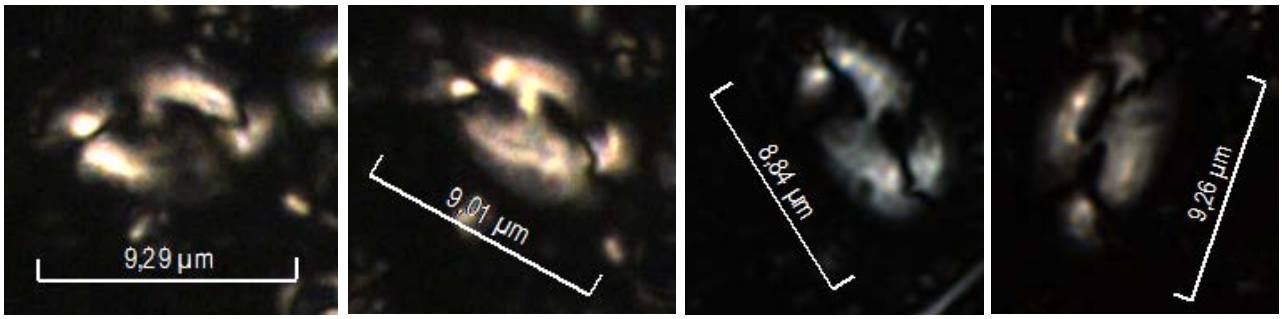
Estampa 5: Biozonas N650 e N660



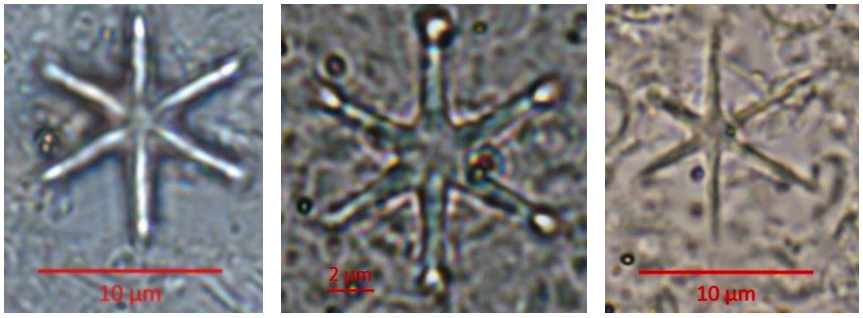
Pseudoemiliania lacunosa Kamptner, 1963 ex Gartner, 1969 (Coleção Antunes, Lâmina CN11b, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).



Calcidiscus macintyrei (Bukry e Bramlette, 1969) Loeblich e Tappan, 1978 (Coleção Antunes, Lâmina 98210288 40 cm NN18, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).



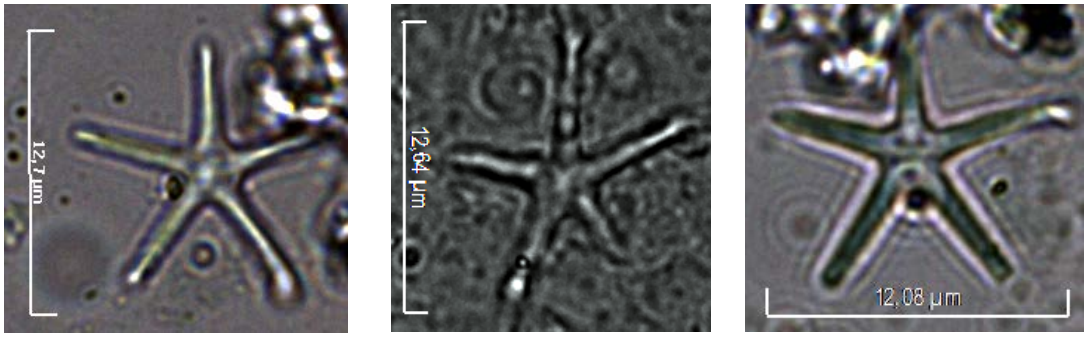
Helicosphaera sellii (Bukry e Bramlette, 1969) Jafar e Martini, 1975 (Coleção Antunes, Lâmina NN10, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).



Discoaster brouweri Tan, 1927, emend. Bramlette e Riedel, 1954 (Coleção Antunes, Lâmina 98210288 40cm NN18, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

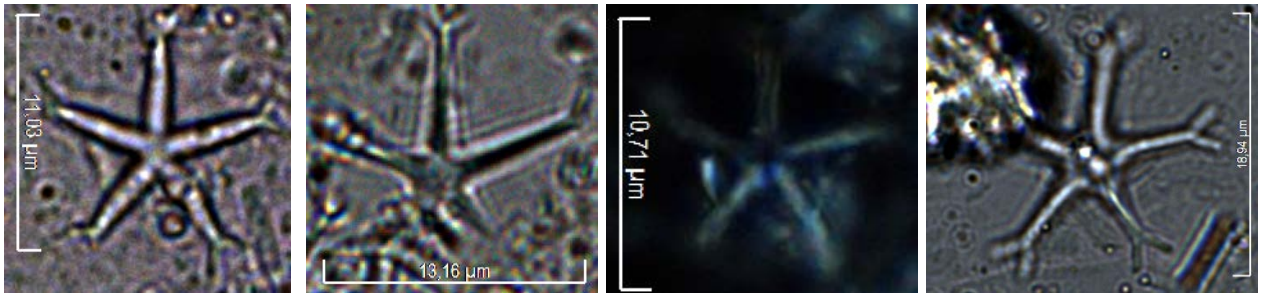


Discoaster triradiatus Tan, 1927 (Coleção Antunes, Lâmina NN10, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

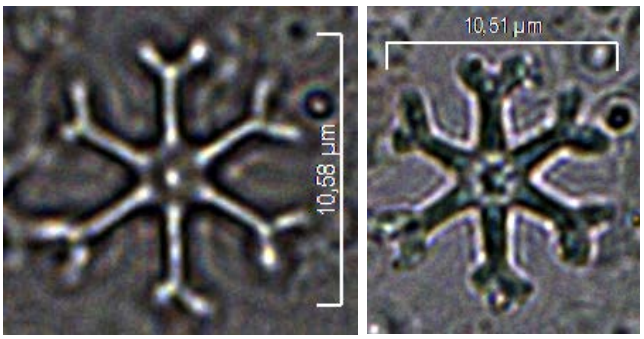


Discoaster asymmetricus Gartner, 1969 (Coleção Antunes, Lâmina NN10, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

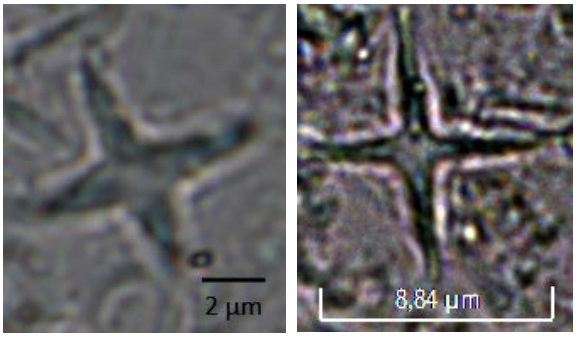
Estampa 6: Biozonas N650 e N670



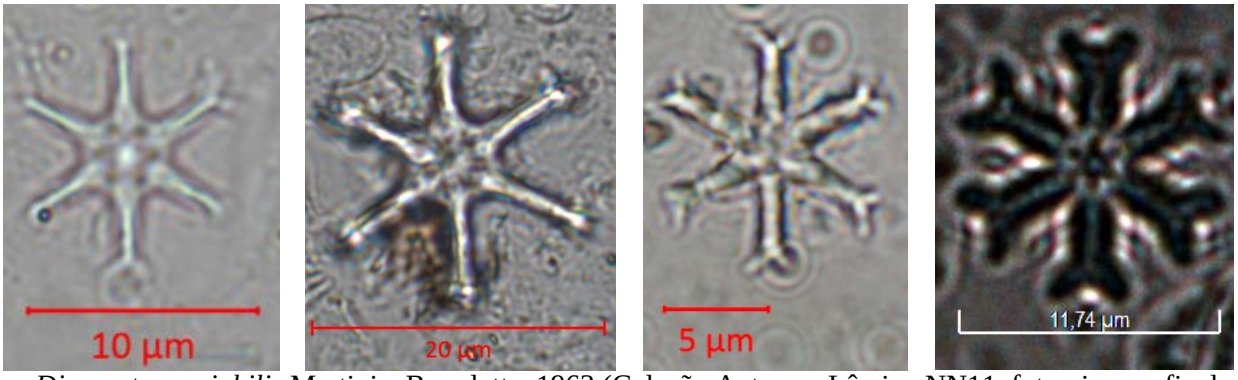
Discoaster pentaradiatus Tan, 1927 (Coleção Antunes, Lâmina NN10, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).



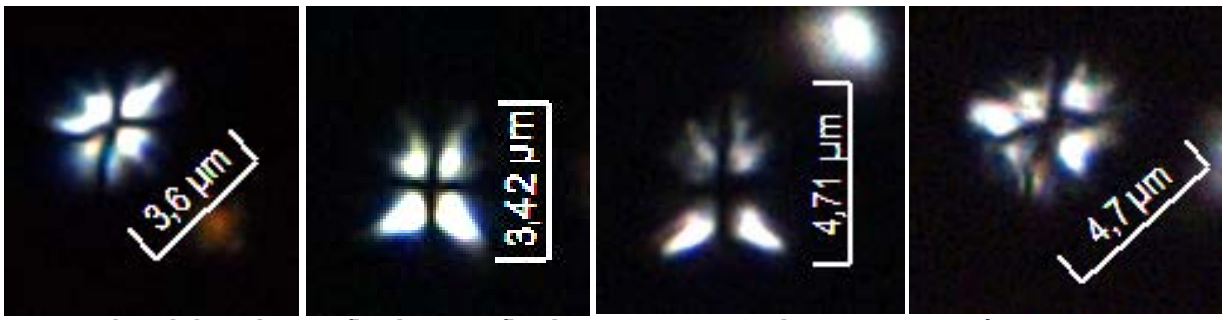
Discoaster challengeri Bramlette e Riedel, 1954 (Coleção Antunes, Lâmina NN10, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).



Discoaster tamalis Kamptner, 1967 (Coleção Antunes, Lâmina 98210223 50 cm CN12a, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

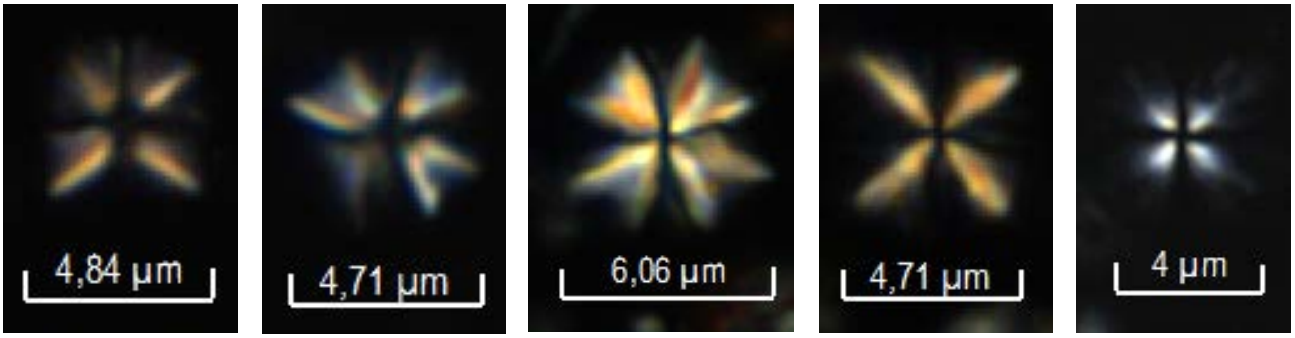


Discoaster variabilis Martini e Bramlette, 1963 (Coleção Antunes, Lâmina NN11, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

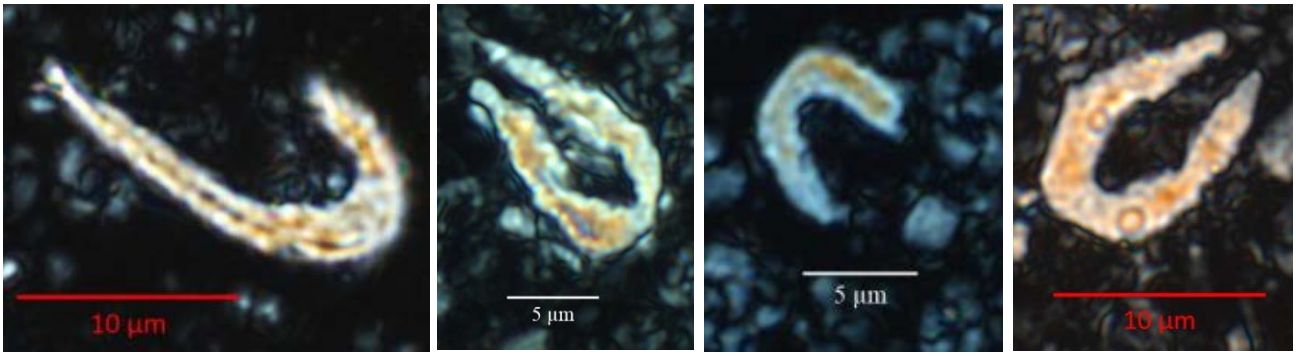


Sphenolithus abies Deflandre in Deflandre e Fert, 1954 (Coleção Antunes, Lâmina NN11, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

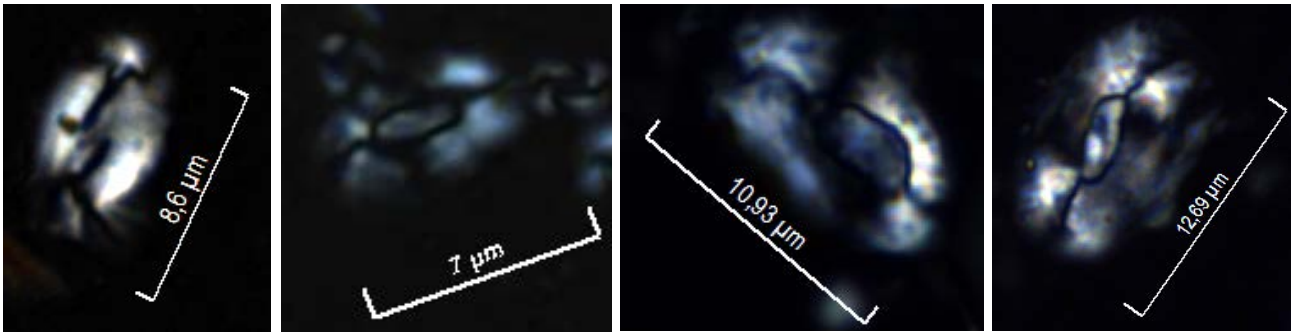
Estampa 7: Biozonas N650 e N660



Sphenolithus moriformis (Bronnimann e Stradner, 1960) Bramlette e Wilcoxon, 1967 (Coleção Antunes, Lâmina N560 20, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).



Ceratolithus rugosus Bukry e Bramlette (1968) (Coleção Antunes, Lâmina 98210223 50 cm CN12a, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).



Helicosphaera euphratis Haq, 1966 (Coleção Antunes, Lâmina N470 3 RJS 619, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).



Triquetrorhabdulus rugosus Bramlette e Wilcoxon (1967) (Coleção Antunes, Lâmina NN9, fotomicrografia de D. Batiston, este trabalho).

5. CONCLUSÕES

Com esse trabalho é oferecida uma documentação das principais espécies recuperadas de amostras de calha que ocorrem nos depósitos do Oligoceno – Plioceno marinho das bacias da margem sudeste brasileira. Longe de ser completa, tal documentação apresenta 19 gêneros e 65 espécies, das quais 52 apresentam registros fotomicrográficos. Além disso, diferentemente do zoneamento de nanofósseis apresentado por Richter et al. (1993 apud ANTUNES, 1997), os biozoneamentos aqui mostrados apresentam escala cronológica.

No geral, os biozoneamento de Richter et al. (1993 apud ANTUNES, 1997) exibem significativa correlação com os biozoneamentos de Martini (1971) e Okada e Bukry (1980).

As biozonas oligocênicas da margem continental brasileira não são integralmente correlacionáveis com as biozonas internacionais. Parte dessas diferenças pode ser devido à dificuldade de se encontrar publicações sobre nanofósseis calcários no Brasil, uma vez que esse intervalo cronoestratigráfico contem importantes campos de petróleo e, portanto, caráter confidencial.

O intervalo miocênico não apresenta diferenças significativas entre os biozoneamentos.

O Plioceno apresenta somente duas biozonas (N650 e N660). Nota-se que, em sua maior parte, não haveria problemas em subdividir tais biozonas com os eventos de última ocorrência apresentados nos biozoneamentos de Martini (1971) e Okada e Bukry (1980).

Em termos de pesquisa, ainda há muito que ser feito com referência aos depósitos da margem continental brasileira. Apenas com este trabalho foram originadas algumas dúvidas sobre taxonomia e bioestratigrafia de alguns táxons e que poderiam ser fruto de novas pesquisas, como apontado a seguir.

Na transição Eoceno – Oligoceno algumas helicosferas são difíceis de distinguir uma das outras, entre elas *H. reticulata, H. dineseni, H. heezeni, H. papillata e H. salebrosa*. Poderiam ser realizados estudos taxonômicos detalhados desse grupo.

Outra linha de pesquisa poderia ser o estudo evolutivo de *Discoaster variabilis* e suas variantes. Além disso, podem ser realizados estudos sobre evolução e diversidade de discoasteres através do tempo geológico para a margem continental brasileira.

Há certa confusão na literatura com relação a exemplares de reticulofenestras e dictyococcites, em que o conceito de espécie varia amplamente entre os autores. Estudos para a classificação desses grupos poderiam ser realizados.

Estudo específico para classificar *Zygrhablithus* aff. *bijugatus*, uma vez que não foi reconhecida na literatura consultada.

Alguns gêneros apresentam grande importância para a exploração e explotação petrolífera na margem continental brasileira, entre eles, *Sphenolithus*. Estudos taxonômicos detalhados deste gênero poderiam ser realizados, entre outros. Tais estudos colaborariam para melhor conhecimento das camadas-reservatório de campos petrolíferos, assim como foi realizado na biozona N545.

Algumas das pesquisas apontadas acima (entre outras) poderiam ser realizadas com o uso do microscópio eletrônico de varredura (MEV) abrindo uma janela totalmente nova.

As pesquisas futuras não devem ser baseadas somente em relação à taxonomia e evolução dos nanofósseis calcários. Assim, poderiam ser realizadas pesquisas com ênfase em investigações quantitativas, interligando áreas como a Estratigrafia Isotópica, Paleoceanografia e Estratigrafia de Sequências e o porquê da variação de frequência e diversidade de determinadas espécies observadas ao longo de seções testemunhadas.

Por fim, este trabalho encerra com a certeza de ter contribuído para o enriquecimento do conhecimento dos nanofósseis calcários no Brasil, além de sugerir temas para novas pesquisas. O trabalho também contribui para o treinamento do autor em taxonomia e bioestratigrafia de nanofósseis calcários, lembrando-se que a experiência do micropaleontólogo está intimamente ligada ao tempo gasto em estudos ao microscópio.

6. ENTIDADES TAXONÔMICAS CITADAS NOS BIOZONEAMENTOS E SEM FOTOMICROGRAFIAS

6.1. Biozonas N505 a N545

Discoaster tani Bramlette e Riedel (1954) *nodifer* Bramlette e Riedel (1954

Lanternithus minutus Stradner, 1962

Reticulofenestra hillae Bukry e Percival, 1971

6.2. Biozonas N547 a N640

Reticulofenestra rotaria Theodoridis, 1984

Minylitha convallis Bukry 1973

Discoaster bellus Bukry e Percival, 1971

Calcidiscus premacintyrei Theodoridis, 1984

Discoaster druggii Bramlette e Wilcoxon, 1967

Sphenolithus delphix Bukry 1973

6.3. Biozonas N650 a N670

Emiliania huxleyi (Lohmann 1902) Hay e Mohler, in Hay et al. 1967

Amaurolithus tricorniculatus (Gartner, 1967) Gartner e Bukry, 1975

Amaurolithus primus (Bukry e Percival, 1971) Gartner e Bukry, 1975

Ceratolithus acutus Gartner e Bukry (1974)

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, C. F.; WANDERLEY, M. D. Utilização de nanofósseis calcários na indústria do petróleo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PED EM PETRÓLEO E GÁS, 2., 2003, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: UFRJ, 2003. p. 1-6.

ANTUNES, Rogério Loureiro. Introdução ao estudo dos nanofósseis. Rio de Janeiro: IG/UFRJ, 1997. 124 p.

ANTUNES, R. L. Discordâncias e oscilações marinhas cenozóicas na Bacia de Santosporção centro-norte: um enfoque biocronoestratigráfico (nanofósseis calcários). Revista Brasileira de Geociências, São Paulo,v. 20, n. 1-4, p. 336, 1990.

ANTUNES, R. L. Nanofósseis Calcários e sua bioestratigrafia no Cretáceo da margem continental brasileira: bacias do Ceará e Potiguar. 1998. 2v. Tese (Doutorado em Paleontologia e Estratigrafia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1998.

ANTUNES, R. L. et al. Em busca da bioestratigrafia de alta resolução: a performance do zoneamento de nanofósseis calcários da Petrobras. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 421-427, 2004.

ANTUNES, Rogério Loureiro. Nanofósseis calcários do Quaternário da margem continental Brasileira. Rio de Janeiro: Petrobras/Cenpes, 2007. 76 p.

BEURLEN, G. et al. Bioestratigrafia das bacias mesozóicas-cenozóicas brasileiras: texto explicativo das cartas bioestratigráficas. Relatório Interno Petrobras/Cenpes/Divex/Sebipe, Rio de Janeiro, 616 p. 1992.

BOLLI, H. M.; SAUNDERS, J. B.; PERCH-NIELSEN, K. Plankton Stratigraphy: Volume 1, Planktic Foraminifera, Calcareous Nannofossils and Calpionellids. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.

BOWN, P.R.; YOUNG, J.R. 1998. Calcareous Nannofossil Biostratigraphy. Londres: Chapman and Hall, 1998. 326 p.

BOWN, P. R.; LEES, J. A.; YOUNG, J. R. Calcareous nannoplankton evolution and diversity through time. In: Thierstein, H.R.; Young, J.R., (Ed.). Coccolithophores: from molecular processes to global impact. Berlin: Springer Verlag, 2004. p. 481-508.

BRAMLETTE M.N.; RIEDEL W.R. Stratigraphic value of discoasters and some other microfossils related to Recent coccolithophores. Journal of Paleontology, La Jolla, n. 4, v. 28, p. 385-403, 1954.

BRAND, L. E. Physiological ecology of marine. Coccolithophores. In: WINTER, A.; SIESSER, W. G. (Ed.) Coccolithophorales. Cambridge: University Press, 1994. p. 39-51.

BUKRY, David. "Discoaster evolutionary trends." Micropaleontology, p. 43-52, 1971.

BUKRY, D. Low-latitude coccolith biostratigraphic zonation. In Edgar, N.T., Saunders, J.B., et al. Washington (U.S. Govt. Printing Office), Initial Report Deep Sea Drilling Project, v.15, p.685-703. 1973.

CARVALHO, Ismar de Souza. Paleontologia: microfósseis, paleoinvertebrados. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 531 p.

CARVALHO, M. D.; ANTUNES, R. L. M Calcilutitos do Oligoceno da bacia de Jequitinhonha. Similaridade com os calcilutitos do "Marco Azul" da bacia de Campos. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, v. 2, p. 291-292, 1988.

CHAPMAN, M R.; CHEPSTOW-LUSTY, A. J. "Late Pliocene climatic change and the global extinction of the discoasters: an independent assessment using oxygen isotope records." Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 134, n, p. 109-125, 1997.

COHEN, K. M. et al. The ICS international chronostratigraphic chart. Episodes, v. 36, n. 3, p. 199-204, 2013.

DEHNHARDT, B. A. Estudo sistemático dos nanofósseis calcários da Bacia do Espírito Santo. 1990, 279 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1990.

DELFINO, D. O.; WANDERLEY, M. D. Nanofósseis Calcários da Área de Ressurgência de Cabo Frio, Brasil. Anuário do Instituto de Geociências, Rio de Janeiro, v. 36, n. 1, p. 5-14, 2013.

DIAS-BRITO, D. A micropaleontologia na indústria do petróleo. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 256-259, 1989.

GARTNER, S. Calcareous nannofossil biostratigraphy and revised zonation of the Pleistocene. Marine Micropaleontology, v. 2, p. 1-25, 1977.

GOMIDE, J. Bacia de Pelotas: biocronoestratigrafia baseada em nanofósseis calcários. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOCIA, 11., 1989, Curitiba, Anais... Curitiba: SBP, 1990. p. 339-352.

GONÇALVES, H. M. Nanofósseis calcários do Neogeno e Quaternário (Pleistoceno Inferior) da área central da Bacia de Santos, 1989. 2v. Tese (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989.

GUERRA, R. D. M.; TOKUTAKE, L. R. Evolução do conhecimento biocronoestratigráfico do Cretáceo nas bacias marginais brasileiras baseado em nanofósseis calcários, Terrae Didatica, Campinas, v. 7, n.1, p. 41-48, 2011.

KULHANEK, D, K. Calcareous nannoplankton as paleoceanographic and biostratigraphic proxies: Examples from the mid-Cretaceous equatorial Atlantic (ODP leg 207) and Pleistocene of the Antarctic Peninsula (NBP0602A) and North Atlantic (IODP Exp. 306). 2009. 210 F. Tese (Doutorado em Doutor em Filosofia) – College of Arts and Sciences, Florida State University, Tallahassee, 2009.

LANA, C. C.; BEURLEN, G. Microbioestratigrafia do Mesozóico-Cenozóico brasileiro: um passeio pelo tempo. Anuário do Instituto de Geociências. São Paulo, v. 30, n. 1, p. 207-209, 2007.

LOHMANN, H. Die Gehäuse und Gallertblasen der Appendicularien und ihre Bedeutung für die Erforschung des Lebens im Meer. Verh Dtsch Zool Ges, v. 19, p. 200-

239, 1909 apud YOUNG, Jeremy R. et al. Guidelines for coccolith and calcareous nannofossil terminology. Palaeontology, v. 40, n. 4, p. 875-912, 1997.

MARTINI, E. Standard tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation. In: A. Farinacci (ed.), PROCEEDINGS II PLANKTONIC CONFERENCE, Roma, 1971, p. 739-785.

NACSN (North American Comission on Stratigraphic Nomenclature). North American stratigraphic code. AAPG Bulletin, v. 89, n. 11, p. 1547-1591, 2005.

OKADA, H.; BUKRY, D. Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude coccolith biostratigraphic zonation (Bukry, 1973; 1975). Marine Micropaleontology, Amsterdam, v.5, n.3, p.321-25. 1980.

PAYNE, S. N. J.; EWEN, D. F.; BOWMAN, M. J. The role and value of ‘high-impact biostratigraphy’in reservoir appraisal and development. Geological Society, London, Special Publications, v. 152, n. 1, p. 5-22, 1999.

RAFFI, Isabella et al. A review of calcareous nannofossil astrobiochronology encompassing the past 25 million years. Quaternary Science Reviews, v. 25, n. 23, p. 3113-3137, 2006.

REY, Jacques; GALEOTTI, Simone. Stratigraphy: terminology and practice. Paris: Editions OPHRYS, 2008. 163 p.

RICHTER, A. J. et al. Bioestratigrafia dos nanofósseis cenozoicos da margem continental brasileira. PETROBRAS / CENPES / DIVEX / SEBIPE, Rio de Janeiro 1993 apud ANTUNES, Rogério Loureiro. Introdução ao estudo dos nanofósseis. Rio de Janeiro: IG/UFRJ, 1997. 124 p.

RIO, D., I. RAFFI; G. VILLA. "32. PLIOCENE-PLEISTOCENE CALCAREOUS NANNOFOSSIL DISTRIBUTION PATTERNS IN THE WESTERN MEDITERRANEAN." In Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, v. 107, p. 513-533, 1990.

SAAVEDRA-PELLITERO, M. et al. Biogeographic distribution of living coccolithophores in the Pacific sector of the Southern Ocean. Marine Micropaleontology, Netherlands, v. 109, p. 1-20, 2014.

SALVADOR, Amos et al. (Ed.). International stratigraphic guide: a guide to stratigraphic classification, terminology, and procedure. Geological Society of America, 1994. 214 p.

SHIMABUKURO, S., RICHTER. A.J. e GOMIDE, J. - Nanofósseis calcários: bioestratigrafia do Mioceno ao Pleistoceno na plataforma continental brasileira. Coletânea de Trabalhos Paleontológicos (Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM, Série Geologia 27), Brasília, p. 491-502, 1986.

SEZEN, T. Oligocene-Lower Miocene Calcareous Nannofossil Biostratigraphy of ODP Leg 154 Hole 929A from the Western Equatorial Atlantic at the Ceara Rise. 2014. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – College of Arts and Sciences, Florida State University, Tallahassee, 2014.

SHIMABUKURO, S. Caracterização Paleobiológica do "Marco Azul". In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEOTOLOGIA, 10, Rio de janeiro, 1987, Anais... Rio de Janeiro: SBP, 1988. p. 1043-1054.

SIESSER, W. G. Sedimentation of coccolithophores. Coccolithophores. In: WINTER, A.; SIESSER, W. G. (Ed.) Coccolithophorales. Cambridge: University Press, 1994. p. 1-13.

SISSINGH, W. Biostratigraphy of Cretaceous calcareous nannoplankton. Geologie Mijinbouw, Amsterdam, v.56, n.1, p.37-65. 1977.

STEINMETZ, J. C. Sedimentation of coccolithophores. Coccolithophores. In: WINTER, A.; SIESSER, W. G. (Ed.) Coccolithophorales. Cambridge: University Press, 1994. p. 179-199.

TROELSEN, J. C.; QUADROS, L. P. Distribuição bioestratigráfica dos nanofósseis em sedimentos marinhos (Aptiano-Mioceno) do Brasil. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 43, p. 577-609, 1971.

VENTRESS, W. P. S. Paleontology and its application in South Louisiana Hydrocarbon Exploration. New Orleans Geological Society, Nova Orleans, p. 85-97, 1991.

WANDERLEY, M. D. Interpretações Paleoecológicas e Bioestratigráfícas do Testemunho MC 58 (Holoceno/Pleistoceno da Bacia de Santos) com base em Nanofósseis Calcários. Revista Brasileira de Paleontologia, Porto Alegre, n. 2, p. 21-31, 2001.

WANDERLEY, M. D.; DE AGUIAR, R. P. Calcareous nannofossil from Cretaceous/Paleogene boundary and earliest Danian of Santos Basin (São Paulo Plateau, Brazil) - ODP LEG 39-SITE 356-CORES 28/29. Geociências = Geociências, v. 25, n. 4, p. 389-401, 2006.

WINTER, A.; JORDAN, R. W.; ROTH, P. H. Biogeographic distribution of living coccolithophores in oceans waters. In: WINTER, A.; SIESSER, W. G. (Ed.) Coccolithophorales. Cambridge: University Press, 1994. p. 161-179.

YOUNG, J. R. Functions of coccoliths. Coccolithophores. In: WINTER, A.; SIESSER, W. G. (Ed.) Coccolithophorales. Cambridge: University Press, 1994. p. 63-83.

YOUNG, J. R.; BOWN, P. R.; LEES, J. A. Nannotax3. International Nannoplankton Association. 2013a. Disponível em: <http://http://ina.tmsoc.org/Nannotax3>. Acesso em: 22 jun. 2015.

YOUNG, J. R.; BOWN, P. R.; LEES, J. A. Nannotax3 – Reticulofenestra. International Nannoplankton Association. 2013b. Disponível em: < http://ina.tmsoc.org/Nannotax3/link.php?taxon=Reticulofenestra>. Acesso em: 02 nov. 2015.

YOUNG, J. R.; BOWN, P. R.; LEES, J. A. Nannotax3 – Discoaster deflandrei. International Nannoplankton Association. 2013c. Disponível em: < http://ina.tmsoc.org/Nannotax3/link.php?taxon=Discoaster_deflandrei>. Acesso em: 07 nov. 2015.