



**Estudo Bioestratigráfico e Inferências Paleoclimáticas com Base em Nanofósseis Calcários, Eoceno-Oligoceno, Leg 39 - Site 354 (DSDP): Elevação Ceará (Atlântico Equatorial)**  
Biostratigraphic Study and Paleoclimatic Inferences Based on  
Calcareous Nannofossils from the Eocene-Oligocene, Leg 39 - Site 354 (DSDP): Ceará Rise

Flavia Azevedo Pedrosa Lemos<sup>1</sup>; André Luiz Gatto Motta<sup>2</sup>;  
Cleber Fernandes Alves<sup>3</sup>; Maria Dolores Wanderley<sup>2</sup> & Mário de Lima Filho<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Geologia, Laboratório de Geologia Sedimentar e Ambiental (LAGESE). Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, 50740-530, Cidade Universitária, Recife, PE, Brasil

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, Laboratório de Biossedimentologia e Nanofósseis Calcários,

Avenida Athos da Silveira Ramos, 274, 21910-916, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro-RJ, Brasil

<sup>3</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, Laboratório de Palinofácies e Fácies Orgânica, Av. Athos da Silveira Ramos, 274, 21910-916, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro-RJ, Brasil

E-mails: flaviapedrosa.geo@gmail.com; andregatto@geologia.ufrj.br;

alvescf@gmail.com; doloreswanderley@msn.com; mff@ufpe.br

Recebido em: 03/07/2019 Aprovado em: 18/11/2019

DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2020\\_1\\_117\\_129](http://dx.doi.org/10.11137/2020_1_117_129)

## Resumo

As amostras utilizadas para este estudo de nanofósseis calcários foram cedidas pelo *Deep Sea Drilling Project (DSDP)* e referem-se ao *Site 354, Leg 39*. O poço está situado na borda noroeste da Elevação Ceará, em uma feição topográfica distante cento e cinquenta metros do cone amazônico (Atlântico Equatorial). A partir da distribuição estratigráfica das espécies, a seção investigada foi refinada bioestratigraficamente e, posteriormente, intervalos cronoestratigráficos foram identificados. Foram descritas um total de seis biozonas, referentes ao intervalo Eoceno/Oligoceno. Dentre os nanofósseis calcários descritos e registrados destacam-se: *Isthmolithus recurvus*, *Sphenolithus pseudoradians*, *Sphenolithus ciperoensis*, *Discoaster barbadiensis*, *Discoaster saipanensis*, *Sphenolithus intercalaris*, *Clausicoccus subdistichus*, *Sphenolithus distentus*, *Sphenolithus predistentus*, *Cyclicargolithus abisectus*, *Helicosphaera recta*, *Discoaster tanii*, *Coccolithus pelagicus*, *Helicosphaera euphratis* e *Triquetrorhabdulus milowii*. Todas as principais espécies foram devidamente fotografadas e mensuradas, a fim de ilustrar o estudo e construir um biozoneamento de detalhe no intervalo em questão. A partir do comportamento da associação de nanofósseis, inferências paleoclimáticas foram sugeridas.

**Palavras-chave:** Nanofósseis calcários; Bioestratigrafia; Elevação Ceará

## Abstract

The samples used for the study of calcareous nannofossils were provided by the *Deep Sea Drilling Project (DSDP)* and are referred to the *Site 354, Leg 39*. The well is located on the Northwestern of the Ceará Rise, in a topographic feature one hundred and fifty meters from the Amazon Fan (Equatorial Atlantic). According to the stratigraphic distribution of nannofossil species, the biostratigraphy of the investigated section was refined and intervals were identified. The main calcareous nannofossils species described and recorded were *Isthmolithus recurvus*, *Sphenolithus pseudoradians*, *Sphenolithus ciperoensis*, *Discoaster barbadiensis*, *Discoaster saipanensis*, *Sphenolithus intercalaris*, *Clausicoccus subdistichus*, *Sphenolithus distentus*, *Sphenolithus predistentus*, *Cyclicargolithus abisectus*, *Helicosphaera recta*, *Discoaster tanii*, *Coccolithus pelagicus*, *Helicosphaera euphratis*, *Triquetrorhabdulus milowii*, among others. The most representative taxa were photomicrographed and measured in order to illustrate the study and construct a biozonation for this range. Through the behaviour of the nannofossil assemblages, paleoclimatic inferences were suggested. Six biozones were described in the Eocene/Oligocene interval.

**Keywords:** Calcareous nannofossils; Biostratigraphy; Ceará Rise

## 1 Introdução

Diferentemente do que ocorre na margem leste, as bacias da margem equatorial foram em grande parte marcadas pelo processo de cisalhamento decorrente da existência de um limite transformante entre as placas da América do Sul e da África, cuja evolução deu origem ao Oceano Atlântico Equatorial. A morfologia submarina acidentada da margem equatorial é notória e pode ser explicada, em parte, pela característica transformante dessa margem continental (Matos, 2000).

A Elevação Ceará está localizada no Oceano Atlântico Equatorial, sob uma coluna de água de aproximadamente 3000 metros e encontra-se limitada a Norte, Leste e Sul pela Planície Abissal Ceará, e na porção Oeste/Sudoeste, pela Bacia da Foz do Amazonas (Figura 1). Tem uma morfologia caracterizada por um alto topográfico submarino e está inserida na região de crosta oceânica (Nóbrega, 2011). Teve sua gênese no Campaniano, durante o processo de cisalhamento das Placas Sul-americana e Africana e foi submetida aos efeitos provocados por grandes mudanças ambientais no Oligoceno, como as novas dinâmicas de circulação oceânica que se moldaram através de eventos geológicos (Kumar & Embley, 1977).

A nível global, o Paleógeno é caracterizado por drásticas mudanças de temperaturas. Estas variações térmicas influenciaram diretamente na diversidade e abundância da nanoflora durante este período (Zachos *et al.* 2001).

Este trabalho tem como objetivo o estudo bioestratigráfico dos nanofósseis calcários e suas tendências paleoclimáticas referentes ao Leg 39, Site 354, no sentido de adicionar informações para o melhor entendimento da Elevação Ceará, além de aprimorar e reconstituir a bioestratigrafia e a interpretação paleoambiental, conforme o comportamento da nanoflora, utilizando ferramentas como a abundância e riqueza específica, no intuito de compreender o comportamento dos espécimes durante as adversidades encontradas durante o Eoceno-Oligoceno, no Atlântico Equatorial.

## 2 Materiais e Métodos

Devido ao tipo de amostras obtidas, provenientes de testemunhos de sondagem, o método utili-

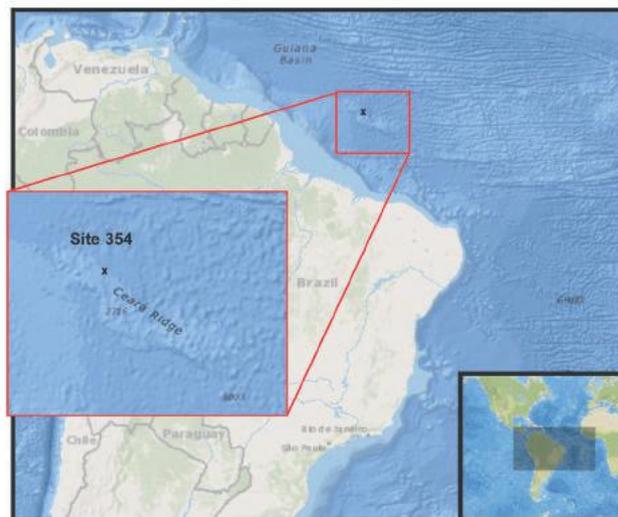


Figura 1 Localização do Site 354, no Atlântico Equatorial. Modificado de NOAA (2019)

zado para a identificação de biozonas foi baseado na primeira e última ocorrência dos táxons (NACSN, 2005). Foram confeccionadas 12 lâminas pelo método de Antunes (1997) e, durante a descrição das espécies, realizaram-se estudos quantitativos e qualitativos. As amostras selecionadas, de natureza pelítica, abrangem um intervalo de 236 metros.

Em cada lâmina analisada, observaram-se trinta campos de visão em três transversais e as espécies identificadas foram descritas, contabilizadas e, posteriormente, as amostras foram classificadas quanto à riqueza específica e abundância. As observações quantitativas referem-se à riqueza específica (RE - número de espécies registradas) enquanto que a abundância expressa o número total de exemplares de nanofósseis contados em trinta campos de visão, escolhidos aleatoriamente, ao longo das três transversais de cada lâmina.

A partir da classificação quanto à preservação dos nanofósseis calcários, pode-se interpretar o estado geral da associação: se composta principalmente por exemplares fragmentados ou inteiros, se apresentam ou não evidências de dissolução, entre outros aspectos (Figura 2). O estado de preservação dos exemplares, associados aos fatores quantitativos, também podem fornecer indicações sobre as condições ambientais durante a deposição ou sobre as condições diagenéticas atuantes, após a deposição.

AMOSTRA	EXEMPLARES (30 Campos de Visão)	SIGLA	PRESERVAÇÃO
Pobre	0 - 120	R	Ruim
Comum	121 - 600	M	Moderada
Abundante	601 - 1200	B	Boa
Muito Abundante	> 1200		

Figura 2 Caracterização das amostras conforme abundância e preservação

A identificação das espécies teve como suporte o trabalho de Bown & Young (1998) e Young *et al.* (2017), enquanto que a distribuição estratigráfica das espécies foi baseada nos esquemas de Martini (1971), Okada & Bukry (1980) e Perch-Nielsen (1985). De acordo com os marcadores e demais espécies identificadas, os zoneamentos selecionados provam ser de boa resolução e alta confiabilidade, não demonstrando qualquer limitação ao uso dos mesmos.

### 3 Resultados e Discussões

Para propósitos de discussão, o trabalho foi dividido de acordo com o biozoneamento de Martini (1971), utilizado para balizar as amostras estudadas. No entanto, o material também pode ser correlacionado com o esquema de Okada & Bukry (1980), com o objetivo de aprimorar o resultado, deixando-o mais fidedigno. Foram descritas seis biozonas, (NP20 a NP25), inseridas em um intervalo de tempo de aproximadamente 14 Ma e confeccionadas três estampas, referente às espécies observadas no intervalo Eoceno/Oligoceno (Figuras 3, 4 e 5).

As biozonas identificadas são do tipo zona de intervalo que se caracterizam por terem limites definidos por última ocorrência estratigráfica (UO) e/ou primeira ocorrência estratigráfica (PO) de entidades taxonômicas, consideradas *in situ*. Podem ser utilizadas quando se dispõe, sobretudo, de amostras de testemunho, sem contaminação, para investigações micropaleontológicas. A Figura 6 ilustra a tabela de distribuição.

#### 3.1 Bioestratigrafia do Leg 39 - Site 354

De acordo com a distribuição dos nanofósseis ao longo da seção, foram identificados os seguintes intervalos, da base para o topo:

#### A - Zona *Sphenolithus pseudoradians*

Amostras: 698,540 m; 695,110 m; 692,560 m.

Preservação: Boa.

Cronoestratigrafia: Eoceno superior.

Biozona NP20 - Caracterizada, na base, pela primeira ocorrência de *Sphenolithus pseudoradians* e no topo, pela última ocorrência *Discoaster saipanensis* e/ou *Discoaster barbadiensis*.

Riqueza específica: 41 a 47 espécies.

Abundância: 1069 a 1293 indivíduos.

Exemplares, tais como *Algirosphaera fabaceus*, *Chiasmolithus titus*, *Coccolithus cachaoi*, *Discoaster barbadiensis*, *Discoaster saipanensis*, *Helicosphaera clarissima*, *Reticulofenestra erbae*, *Reticulofenestra isabellae*, *Reticulofenestra reticulata* e *Umbilicosphaera bramlettei* foram descritos.

Observações: Equivalente à biozona CP15 de Okada & Bukry (1980).

#### B - Zona *Clausicoccus subdistichus*

Amostras: 614 m; 612,500 m; 611,540 m; 611 m.

Preservação: Boa.

Cronoestratigrafia: Eoceno superior - Oligoceno inferior.

Biozona NP21 - Caracterizada, no topo, pela última ocorrência de *Coccolithus formosus* e na base, pela última ocorrência de *Discoaster saipanensis*.

Riqueza específica: 33 a 36 espécies.

Abundância: 938 a 1300 indivíduos.

Observam-se, nesta biozona, espécies como *Coccolithus cachaoi*, *Coccolithus formosus*, *Helicosphaera reticulata*, *Markalius inversus*, *Pontosphaera formosa*, *Reticulofenestra umbilicus*, *Sphenolithus akropodus*, *Sphenolithus predistentus*, *Umbilicosphaera bramlettei* e *Umbilicosphaera protoannulus*.

Observações: Equivalente à biozona CP16a/b de Okada & Bukry (1980).

C - Zona *Helicosphaera reticulata*

Amostras: 609,500 m; 608 m.

Preservação: Boa.

Cronoestratigrafia: Oligoceno inferior.

Biozona NP22 – Caracterizada, na base, pela última ocorrência de *Coccolithus formosus* e no topo, pela última ocorrência de *Reticulofenestra umbilicus*.

Riqueza específica: 32 a 34 espécies.

Abundância: 1318 a 1435 indivíduos.

Dentre as espécies descritas, destacam-se *Reticulofenestra umbilicus*, *Ilseolithina fusa*, *Sphenolithus akropodus*, *Sphenolithus predistentus* e *Umbilicosphaera jordanii*.

Observações: Equivalente à biozona CP16c de Okada & Bukry (1980).

D - Zona *Sphenolithus predistentus*

Amostra: 606,500 m.

Preservação: Boa.

Cronoestratigrafia: Oligoceno inferior

Biozona NP23 – Caracterizada, na base, pela última ocorrência de *Reticulofenestra umbilicus* e no topo, pela primeira ocorrência de *Sphenolithus ciperoensis*.

Riqueza específica: 32 espécies.

Abundância: 1601 indivíduos.

Neste intervalo, observou-se apenas *Sphenolithus distentus* e *Sphenolithus predistentus*. Portanto, corresponde a parte superior da biozona NP23 (Martini, 1971) e segundo Okada & Bukry (1980), trata-se da biozona CP18.

Outras espécies também foram observadas como *Cyclicargolithus abisectus*, *Coccolithus pelagicus*, *Reticulofenestra daviesi*, *Reticulofenestra dictyoda* e *Reticulofenestra lockeri*. Observações: Equivalente à biozona CP18 de Okada & Bukry (1980).

E - Zona *Sphenolithus distentus*

Amostra: 523,040 m.

Preservação: Boa.

Cronoestratigrafia: Oligoceno superior.

Biozona NP24 – Caracterizado, na base, pela primeira ocorrência de *Sphenolithus ciperoensis*, e no topo, pela última ocorrência de *Sphenolithus distentus*.

Riqueza específica: 26 espécies.

Abundância: 2446 indivíduos.

A presença de *Sphenolithus ciperoensis*, *Sphenolithus distentus* e *Sphenolithus predistentus* contribuem na caracterização desta biozona. Na descrição deste intervalo, *Helicosphaera recta* e *Cyclicargolithus abisectus* também são observados.

Observações: Equivalente à biozona CP19a de Okada & Bukry (1980).

F - Zona *Sphenolithus ciperoensis*

Amostra: 462,050 m.

Preservação: Boa.

Cronoestratigrafia: Oligoceno superior.

Biozona NP25 – Caracterizada, na base, pela última ocorrência de *Sphenolithus distentus*, e no topo, pela última ocorrência, de *Sphenolithus ciperoensis*.

Riqueza específica: 25 espécies.

Abundância: 1665 indivíduos.

Esta biozona foi marcada através da ocorrência de *Sphenolithus ciperoensis* e a ausência de *Sphenolithus distentus*. Também foram identificadas outras espécies que auxiliam na identificação das biozonas, tais como: *Helicosphaera obliqua* e *Cyclicargolithus abisectus*.

Observações: Equivalente à biozona CP19b de Okada & Bukry (1980).

### 3.2 Hiato

A biozona CP17 (Okada & Bukry, 1980), correspondente à parte inferior da NP23 (Martini, 1971), é caracterizada pelo intervalo entre a última ocorrência, na base, de *Reticulofenestra umbilicus* e a primeira ocorrência, no topo, de *Sphenolithus distentus*. Neste estudo, esta associação não foi detectada. Sendo este intervalo interpretado como um possível hiato, datado do Rupeliano médio, correspondente a uma amplitude da ordem de 2,5Ma, conforme a escala de tempo geológico de Ogg *et al.* (2016).

Estudo Bioestratigráfico e Inferências Paleoclimáticas com Base em Nanofósseis  
 Calcários, Eoceno-Oligoceno, Leg 39 - Site 354 (DSDP): Elevação Ceará (Atlântico Equatorial)

Flavia Azevedo Pedrosa Lemos; André Luiz Gatto Motta; Cleber Fernandes Alves; Maria Dolores Wanderley & Mário de Lima Filho

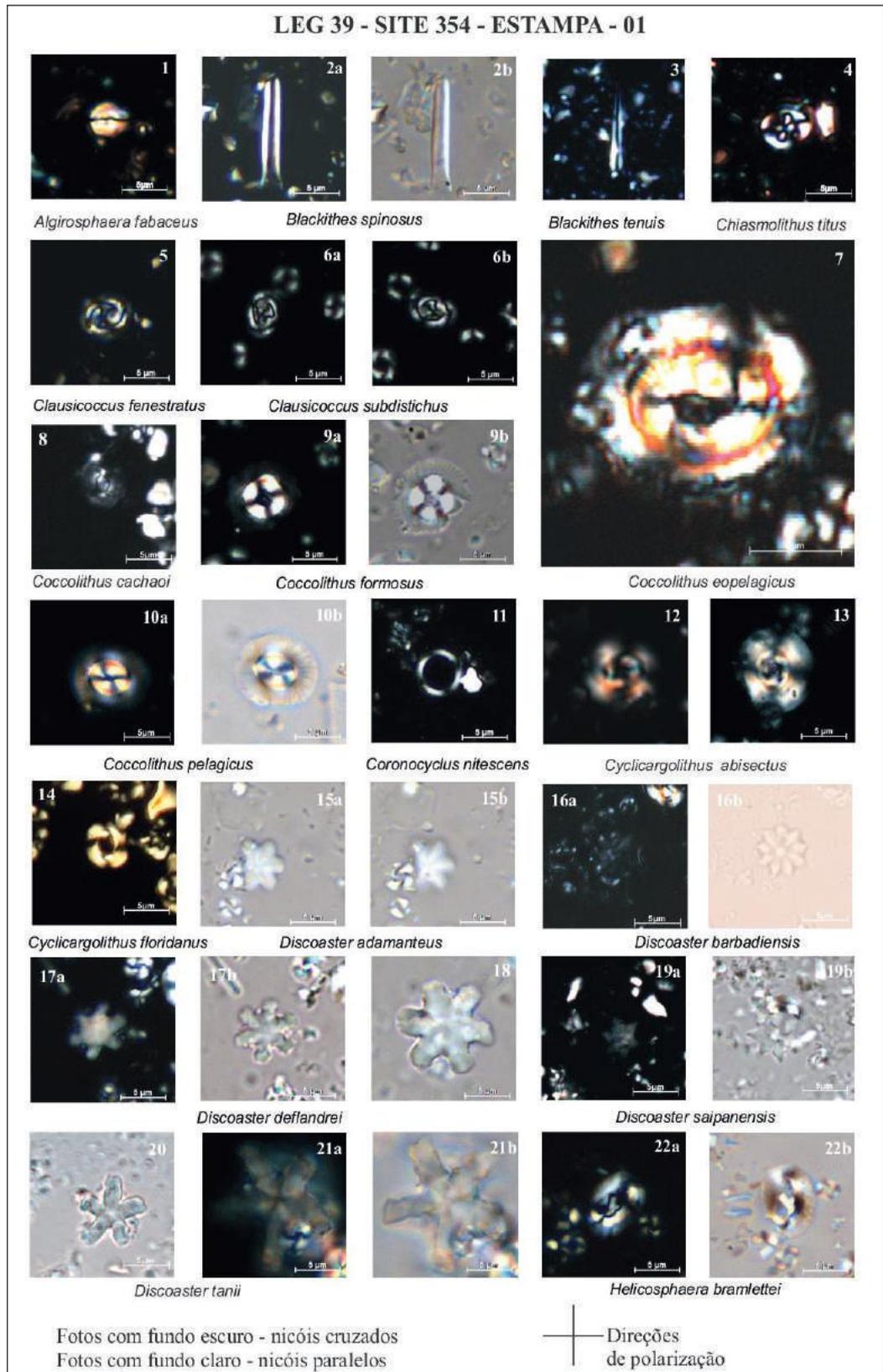


Figura 3  
 Nanofósseis  
 calcários do  
 Leg 39,  
 Site 354

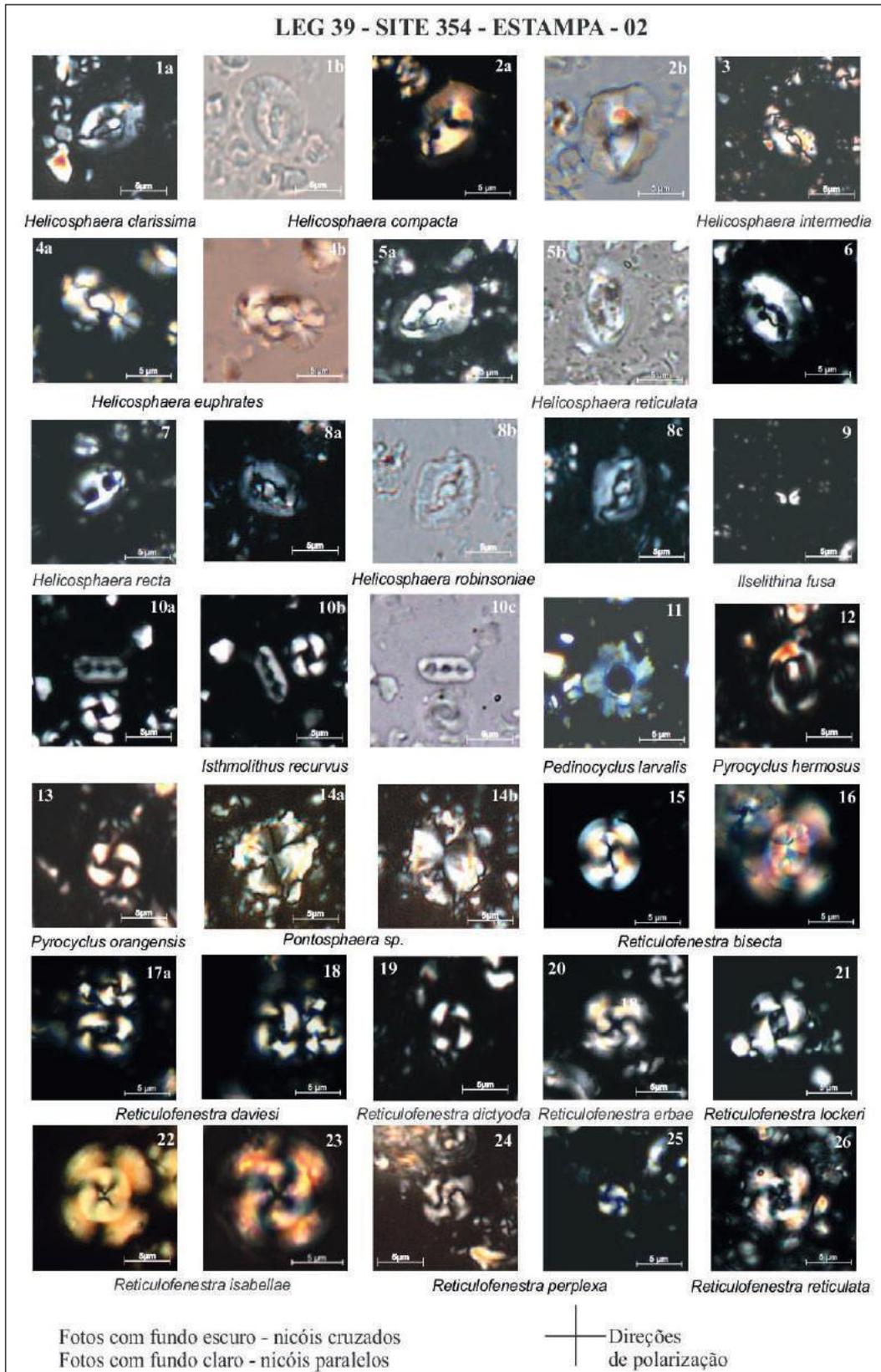


Figura 4 Nanofósseis calcários do Leg 39, Site 354

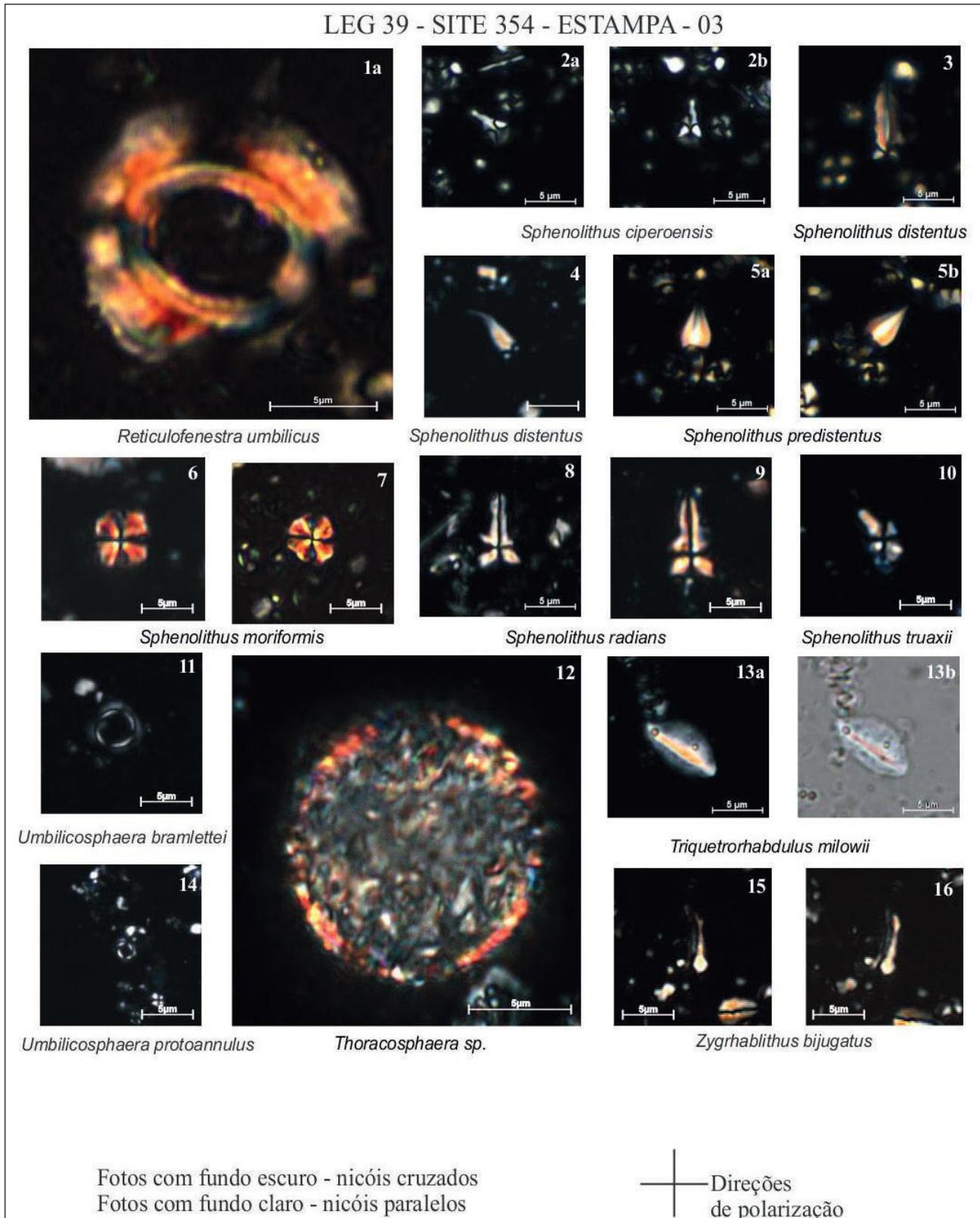


Figura 5 Nanofósseis calcários do Leg 39, Site 354



Pea (2011) selecionou amostras do *Site* 1090 (*IODP*), Atlântico Sul, para a interpretação paleoecológica de associações de nanofósseis no intervalo Eoceno-Oligoceno. Uma grande mudança na configuração dos fósseis foi observada na transição Eoceno/Oligoceno, sendo interpretada como um aumento da disponibilidade de nutrientes em águas superficiais, possivelmente associado a um resfriamento, que culminou no início do Oligoceno que é caracterizado pelo início do declínio de temperatura das águas superficiais.

Fioroni *et al.* (2012) estudaram os nanofósseis de sete *Sites* (*IODP*) e os dados bioestratigráficos do Paleógeno indicaram que, em latitudes elevadas, as espécies *C. solitus* e *C. oamaruensis* são frequentes, enquanto os *Discoasters* spp. e *C. formosus* são pouco comuns, muito provavelmente em resposta aos diferentes níveis de condições paleoclimáticas. Assim, a tendência de arrefecimento ao longo do intervalo Eoceno - Oligoceno justificaria a exclusão precoce dos taxa característicos de água quente (*Discoaster* spp. e *C. formosus*).

Sezen (2014) analisou amostras recuperadas de uma sequência sedimentar completa do Paleoceno ao Neogeno pelo *IODP*, *Site* 929A, localizado no extremo Oeste da Elevação Ceará na região equatorial do Atlântico Ocidental. Os resultados mostraram que, no Oligoceno, os espécimes variam de raros a frequentes e tem como gêneros predominantes os *Sphenolithus* e *Helicosphaera*. Enquanto no Eoceno - Oligoceno variam de comuns a abundantes e os principais gêneros são *Reticulofenestra*, *Dictyococcites* e *Cyclicargolithus*. Seguido do Eoceno, no qual variam de comuns a muito abundantes e os gêneros predominantes são *Reticulofenestra*, *Dictyococcites*, e *Discoaster*.

No presente estudo, (*Site* 354), após a descrição e contagem das espécies das amostras estudadas foram geradas duas curvas mostrando o comportamento da associação de nanofósseis em vista dos dados de abundância e riqueza (Figura 7).

A partir da interpretação das curvas de abundância e riqueza, podem-se sugerir algumas inferências paleoclimáticas reconhecidas no Eoceno-Oligoceno da Elevação Ceará. Assim, observa-se que

o Eoceno superior, (NP20 e NP21), é caracterizado por espécies típicas de baixas latitudes e águas superficiais quentes (*Discoaster* spp., *C. formosus*, *R. erbae*, *R. dictyoda* e *R. isabellae*), com a riqueza variando de 33 a 47 táxons e a abundância de 938 a 1300 indivíduos por amostra. Já a transição Eoceno - Oligoceno é caracterizada por um aumento da abundância e um declínio da riqueza de espécies (*Reticulofenestra* spp., *Dictyococcites* spp. e *Cyclicargolithus* spp.), seguido pelo Oligoceno, (NP21 a NP25), definido por espécies típicas de águas superficiais frias (*Sphenolithus* spp., *Chiasmolithus* spp., *Helicosphaera* spp. e *C. floridanus*), onde se nota uma redução da riqueza de nanofósseis, com variações entre 25 e 34 táxons e gradual aumento da abundância que varia de 1199 a 2446 indivíduos por amostra.

Neste estudo, o intervalo Eoceno-Oligoceno é marcado por um arrefecimento gradual. Valores relativamente mais altos da riqueza específica podem indicar uma possível oligotrofia e aquecimento das águas superficiais, configurando condições favoráveis para a proliferação do nanoplâncton durante o Eoceno superior; enquanto o Oligoceno é caracterizado por uma possível eutrofia e arrefecimento das águas superficiais, o que favorece a proliferação de espécies oportunistas (Zachos *et al.*, 2003; Bown *et al.*, 2004).

Fornaciari *et al.* (2010), Toffanin *et al.* (2013) e Sezen (2014) estudaram amostras de baixas a médias latitudes e também reconheceram associações similares às descritas no *Site* 354, Atlântico Equatorial, enquanto Persico & Villa (2004), Pea (2011) e Fioroni *et al.* (2012) reconheceram, em altas latitudes, associações um pouco distintas (ricas em *C. oamaruensis*). No Oligoceno existem variadas associações de nanofósseis conforme as diferentes latitudes, devido à influência direta da glaciação, originada nesta época.

#### 4 Conclusões

Neste trabalho foi realizado um estudo bioestratigráfico, com base em nanofósseis calcários, no intervalo Eoceno-Oligoceno, no Leg 39, *Site* 354, situado na Elevação Ceará, onde foram reconhecidas

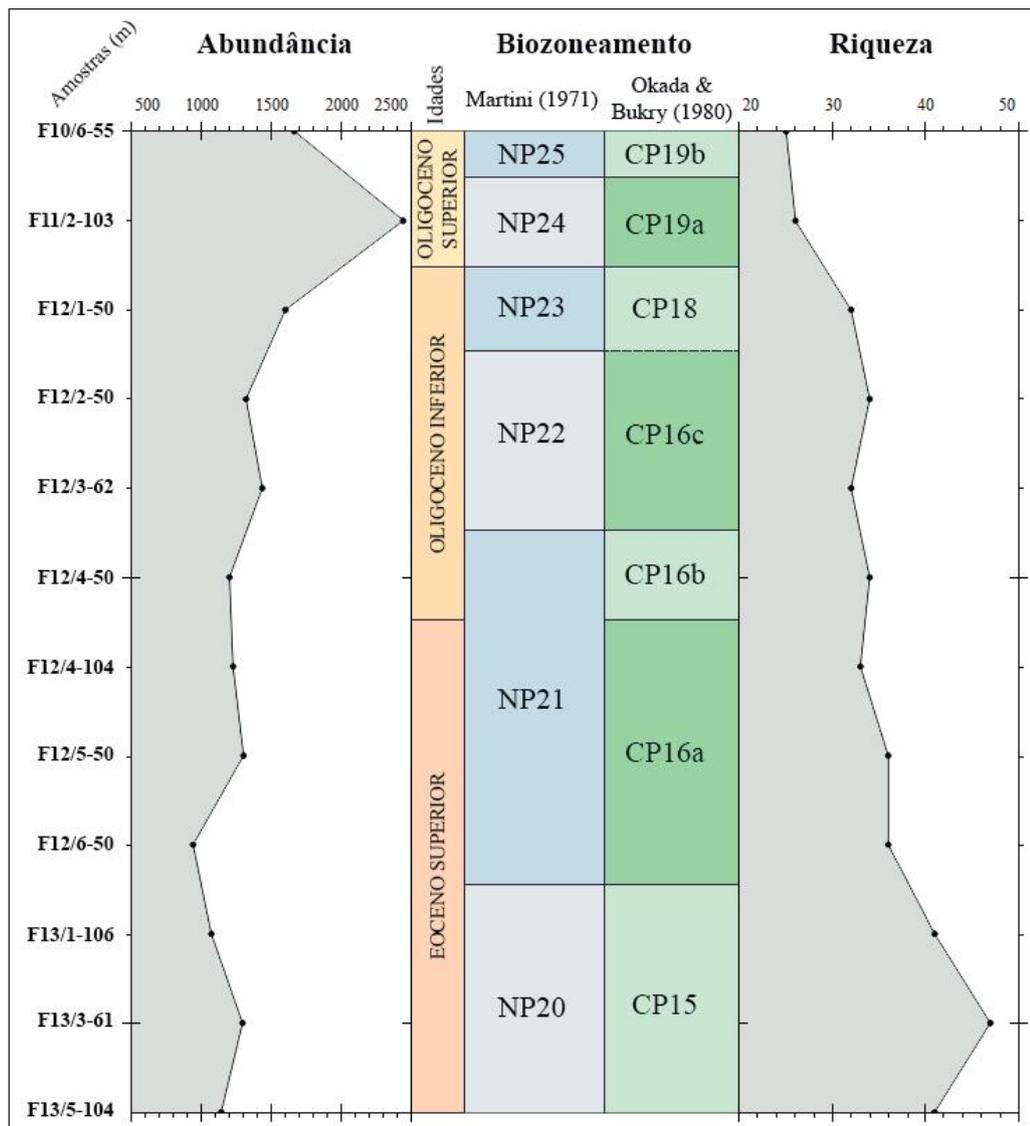


Figura 7 Curvas de Abundância e Riqueza específica. Mostrando o comportamento dos nanofósseis calcários durante o intervalo estudado (Eoceno/Oligoceno), conforme a queda das temperaturas das águas superficiais nota-se o declínio da riqueza e aumento da abundância

seis biozonas e um hiato. A investigação do conteúdo nanofossilífero das amostras resultou na descrição de sessenta e seis espécies e viabilizou a elaboração do zoneamento bioestratigráfico do poço.

A identificação das idades Eoceno superior e Oligoceno, diagnosticadas pelas biozonas NP-20, NP-21, NP-22, NP-23, NP-24 e NP-25 respectivamente, como ilustrado na Figura 6, foram reconhecidas. Um hiato, datado do Rupeliano médio, foi observado, suprimindo a porção inferior da biozona NP23.

Por meio da comparação entre as curvas de riqueza específica e abundância, foi possível obser-

var uma tendência inversamente proporcional, onde no Eoceno superior nota-se o aumento da riqueza específica e redução dos valores de abundância; enquanto no Oligoceno, os valores apresentaram comportamento oposto, sugerindo um possível arrefecimento e eutrofia das águas superficiais em relação ao Eoceno superior.

## 5 Agradecimentos

Os autores prestam seus agradecimentos ao *Deep Sea Drilling Project (DSDP)*, pela liberação das amostras e uso das mesmas para fins acadêmicos. Ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da

UFPE junto a CAPES. Ao CENPES/Petrobras pela utilização dos equipamentos para fotomicrografias. Ao LAGESED e MICRA, laboratórios do Departamento de Geologia da UFRJ, pela liberação do uso da infraestrutura, e ao geólogo Dr. Rogério Antunes pelos ensinamentos adquiridos.

## 6 Lista das Espécies Encontradas

*Algirosphaera fabaceus* (Bown *et al.*, 2006)  
Bown *et al.*, 2009.

*Blackites* sp. Hay & Towe, 1962

*Blackites tenuis* (Bramlette & Sullivan, 1961)  
Sherwood, 1974

*Chiasmolithus titus* Gartner, 1970

*Clausicoccus fenestratus* (Deflandre & Fert,  
1954) Prins, 1979

*Clausicoccus subdistichus* (Roth &  
Hay *in Hay et al.*, 1967) Prins, 1979

*Coccolithus cachaoi* Bown, 2005

*Coccolithus eopelagicus* (Bramlette & Riedel,  
1954) Bramlette & Sullivan, 1961

*Coccolithus formosus* (Kamptner, 1963)  
Wise, 1973

*Coccolithus pelagicus* (Wallich, 1877) Schil-  
ler, 1930

*Coronocyclus nitescens* (Kamptner, 1963)  
Bramlette & Wilcoxon, 1967

*Cyclicargolithus abisectus* (Muller, 1970)  
Wise, 1973

*Cyclicargolithus floridanus* (Roth &  
Hay, *in Hay et al.*, 1967) Bukry, 1971

*Discoaster adamanteus* Bramlette & Wilcox-  
on, 1967

*Discoaster barbadiensis* Tan, 1927

*Discoaster deflandrei* Bramlette & Riedel, 1954

*Discoaster saipanensis* Bramlette & Riedel, 1954

*Discoaster* sp. Tan, 1927

*Discoaster tanii* Bramlette & Riedel, 1954

*Helicosphaera bramlettei* (Müller, 1970)  
Jafar & Martini, 1975

*Helicosphaera clarissima* Bown, 2005

*Helicosphaera compacta* Bramlette & Wilcox-  
on, 1967

*Helicosphaera euphratis* Haq, 1966

*Helicosphaera intermedia* Martini, 1965

*Helicosphaera obliqua* Bramlette & Wilcox-  
on, 1967

*Helicosphaera recta* (Haq, 1966) Jafar &  
Martini, 1975

*Helicosphaera reticulata* Bramlette & Wilcox-  
on, 1967

*Helicosphaera robinsoniae* Bown & Dunkley-  
-Jones, 2012

*Helicosphaera* sp. Kamptner, 1954

*Ilselithina fusa* Roth, 1970

*Isthmolithus recurvus* Deflandre *in* Deflandre  
& Fert, 1954

*Markalius inversus* (Deflandre *in* Deflandre &  
Fert, 1954) Bramlette & Martini, 1964

*Pedinocyclus larvalis* (Bukry & Bramlette,  
1969) Loeblich & Tappan, 1973

*Pontosphaera formosa* (Bukry & Bramlette,  
1969) Romein, 1979

*Pontosphaera multipora* (Kamptner, 1948)  
Deflandre *in* Deflandre & Fert, 1954

*Pontosphaera plana* (Bramlette & Sullivan,  
1961) Haq, 1971

*Pontosphaera* sp. Lohmann, 1902

*Pyrocyclus hermosus* Roth & Hay *in* Hay *et*  
*al.*, 1967

*Pyrocyclus orangensis* Bukry, 1971

*Reticulofenestra bisecta* (Hay *et al.*, 1966)  
Roth, 1970

*Reticulofenestra daviesii* (Haq, 1968) Haq,  
1971

*Reticulofenestra dictyoda* (Deflandre & Fert,  
1954) Stradner *in* Stradner & Edwards, 1968

*Reticulofenestra erbae* (Fornaciari *et al.*,  
2010) Bown & Newsam, 2017

*Reticulofenestra hillae* Bukry & Percival, 1971

*Reticulofenestra isabellae* (Catanzariti *et al.*  
*in* Fornaciari *et al.* 2010) Bown & Newsam, 2017

*Reticulofenestra lockeri* Müller, 1970

*Reticulofenestra minuta* Roth, 1970

*Reticulofenestra perplexa* (Burns, 1975)  
Wise, 1983

*Reticulofenestra reticulata* (Gartner & Smith, 1967) Roth & Thierstein, 1972

*Reticulofenestra* sp. Mohler & Wade, 1966

*Reticulofenestra umbilicus* (Levin, 1965) Martini & Ritzkowski, 1968

*Sphenolithus akropodus* de Kaenel & Villa, 1996

*Sphenolithus ciperoensis* Bramlette & Wilcoxon, 1967

*Sphenolithus distentus* (Martini, 1965) Bramlette & Wilcoxon, 1967

*Sphenolithus moriformis* (Brönnimann & Stradner, 1960) Bramlette & Wilcoxon, 1967

*Sphenolithus predistentus* Bramlette & Wilcoxon, 1967

*Sphenolithus pseudoradians* Bramlette & Wilcoxon, 1967

*Sphenolithus radians* Deflandre in Grassé, 1952

*Sphenolithus truaxii* Bergen & De Kaenel in Bergen *et al.* 2017

*Thoracosphaera* sp. Kamptner, 1944

*Triquetrorhabdulus milowii* Bukry, 1971

*Umbilicosphaera bramlettei* (Hay & Towe, 1962) Bown *et al.*, 2007

*Umbilicosphaera detecta* (de Kaenel & Villa, 1996) Young & Bown, 2014

*Umbilicosphaera jordanii* Bown, 2005

*Umbilicosphaera protoannulus* (Gartner, 1971) Young & Bown, 2014

*Zygrhablithus bijugatus* (Deflandre in Deflandre & Fert, 1954) Deflandre, 1959

## 7 Referencias

- Antunes, R.L. 1997. *Introdução ao estudo dos nanofósseis calcários*. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 115p.
- Bown, P.R. 1998. *Calcareous nannofossil biostratigraphy*. Cambridge, British Micropalaeontological Society Publication Series, Chapman & Hall, 328p.
- Bown, P.R. & Dunkley-Jones, T. 2012. Calcareous nannofossils from the Paleogene Equatorial Pacific (IODP Expedition 320 Sites U1331–1334). *Journal of Nanoplankton*, 32(2): 3–51.
- Bown, P.R. & Young, J.R. 1998. Techniques. In: BOWN, P.R. (ed.). *Calcareous Nannofossil Biostratigraphy*. British Micropalaeontological Society Publication Series, Chapman & Hall, London, p. 16–28.
- Bown, P.R.; Lees, J.A. & Young, J.R. 2004. Calcareous nanoplankton evolution and diversity through time. In: THIERSTEIN, H. R. (eds.). *Coccolithophores – from molecular processes to global impact*. Springer-Verlag, London, p. 481–505.
- Dunkley-Jones, T.; Bown, P.R.; Pearson, P.N.; Wade, B.S.; Coxall, H.K. & Lear, C.H. 2008. Major shifts in calcareous phytoplankton assemblages through the Eocene-Oligocene transition of Tanzania and their implications for low-latitude primary production. *Paleoceanography*, 23: 1–14.
- Fioroni, C.; Villa, G.; Persico, D.; Wise, S.W. & Pea, L. 2012. Revised middle Eocene–upper Oligocene calcareous nannofossil biozonation for the Southern Ocean. *Revue de Micropaléontologie*, 55: 53–70.
- Fornaciari, E.; Agnini, C.; Catanzariti, R.; Rio, D.; Bolla, E.M. & Valvasoni, E. 2010. Mid-latitude calcareous nannofossil biostratigraphy, biochronology and evolution across the middle to late Eocene transition. *Stratigraphy*, 7: 229–264.
- Gibbs, S.J.; Bralower, T.J.; Bown, P.R.; Zachos, J.C. & Bybell, L.M. 2006. Shelf and open ocean calcareous phytoplankton assemblages across the Paleocene-Eocene thermal maximum: implications for global productivity gradients. *Geology*, 34: 233–236.
- Kalb, A.L. & Bralower, T.J. 2012. Nanoplankton origination events and environmental changes in the late Paleocene and early Eocene. *Marine Micropaleontology*, 92: 1–115.
- Kumar, N.L. & Embley, R.W. 1977. Evolution and origin of Ceará Rise: An aseismic rise in the western equatorial Atlantic. *Geological Society American Bulletin*, 88: 683–694.
- Martini, E. 1971. Standard Tertiary and Quaternary calcareous nanoplankton zonation. In: 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE PLANKTONIC MICROFOSSILS, 2, Rome, 1971. Proceedings of the second planktonic conference, Edizione Tecnoscienza, Rome, p. 739–785.
- Matos, R.M.D. 2000. Tectonic evolution of the Equatorial South Atlantic, Atlantic Rifts and Continental Margins. *American Geophysical Union*, 115: 331–354.
- NACSN (North American Commission on Stratigraphic Nomenclature). 2005. North American Stratigraphic Code. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 89(11): 1547–1591.
- NOAA. 2019. Curators of Marine and Lacustrine Geological Samples Consortium: Index to Marine and Lacustrine Geological Samples. NOAA National Centers for Environmental Information. Disponível em: <<https://maps.ngdc.noaa.gov/>>. Acesso em: 23 mai. 2019.
- Nóbrega, M. 2011. Mapeamento de estruturas do embasamento e seus limites crustais no Atlântico Equatorial, adjacente à margem brasileira. Pós Graduação em Geologia e Geofísica Marinha. Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói. Dissertação de Mestrado, 114p.
- Ogg, G.J.; Ogg, G.M. & Gradstein, F.M. 2016. *A Concise Geological Time Scale 2016*. Amsterdam, Elsevier. 234p.
- Okada, H. & Bukry, D. 1980. Supplementary modification and introduction of code numbers to the low latitude cocco-

Estudo Bioestratigráfico e Inferências Paleoclimáticas com Base em Nanofósseis  
Calcários, Eoceno-Oligoceno, Leg 39 - Site 354 (DSDP): Elevação Ceará (Atlântico Equatorial)

Flavia Azevedo Pedrosa Lemos; André Luiz Gatto Motta; Cleber Fernandes Alves; Maria Dolores Wanderley & Mário de Lima Filho

- lith biostratigraphic zonation (Bukry, 1973, 1975). *Marine Micropaleontology*, 5: 321–325.
- Okada, H. & Honjo, S. 1973. The distribution of oceanic coccolithophorids in the Pacific. *Deep-Sea Results*, 20: 355–374.
- Pälike, H.; Lyle, M.W.; Nishi, H.; Raffi, I.; Ridgwell, A.; Gamage, K.; Klaus, A.; Acton, G.; Anderson, L.; Backman, J.; Baldauf, J.; Beltran, C.; Bohaty, S.M.; Bown, P.; Busch, W.; Channell, J.E.T.; Chun, C.O.J.; Delaney, M.; Dewangan, P.; Dunkley Jones, T.; Edgar, K.M.; Evans, H.; Fitch, P.; Foster, G.L.; Gussone, N.; Hasegawa, H.; Hathorne, E.C.; Hayashi, H.; Herrle, J.O.; Holbourn, A.; Hovan, S.; Hyeong, K.; Iijima, K.; Ito, T.; Kamikuri, S.; Kimoto, K.; Kuroda, J.; Leon-Rodriguez, L.; Malinverno, A.; Moore Jr., T.C.; Murphy, B.H.; Murphy, D.P.; Nakamura, H.; Ogane, K.; Ohneiser, C.; Richter, C.; Robinson, R.; Rohling, E.J.; Romero, O.; Sawada, K.; Scher, H.; Schneider, L.; Sluijs, A.; Takata, H.; Tian, J.; Tsujimoto, A.; Wade, B.S.; Westerhold, T.; Wilkens, R.; Williams, T.; Wilson, P.A.; Yamamoto, Y.; Yamamoto, S.; Yamazaki, T. & Zeebe, R.E. 2012. A Cenozoic record of the equatorial Pacific carbonate compensation depth. *Nature*, 488: 609–615.
- Pea, L. 2011. Eocene-Oligocene paleoceanography of the subantarctic South Atlantic: Calcareous Nannofossil reconstructions of temperature, nutrient, and dissolution history. University of Parma, Italy. Ph.D. Thesis, 205p.
- Pearson, P.N.; McMillan, I.K.; Wade, B.S.; Dunkley-Jones, T.; Coxall, H.K.; Bown, P.R. & Lear, C.H. 2008. Extinction and environmental change across the Eocene-Oligocene boundary in Tanzania. *Geology*, 36: 179–182.
- Perch-Nielsen, K. 1985. Cenozoic calcareous nannofossils. In: BOLLI, H.M., SAUNDERS, J.B., PERCH-NIELSEN, K. (eds.). *Plankton Stratigraphy*. Cambridge University Press, p. 427–554.
- Persico, D. & Villa, G. 2004. Eocene-Oligocene calcareous nannofossils from Maud Rise and Kerguelen Plateau (Antarctica): paleoecological and paleoceanographic implications. *Marine Micropaleontology*, 52: 153–179.
- Pospichal, J.J. & Wise Jr, S.W. 1990. Paleocene to middle Eocene calcareous nannofossils of ODP Sites 689 and 690, Maud Rise, Weddell Sea. In: BARKER, P.F., KENNET, J.P. (eds.). *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results 113*. College Station, Texas, p. 613–638.
- Sezen, T. 2014. Oligocene-Lower Miocene Calcareous Nannofossil Biostratigraphy of ODP Leg 154 Hole 929A from the Western Equatorial Atlantic at the Ceara Rise. Florida State University, United States. Master Thesis, 78p.
- Toffanin, F.; Agnini, C.; Rio, D.; Acton, G. & Westerhold, T. 2013. Middle Eocene to early Oligocene calcareous nannofossil biostratigraphy at IODP Site U1333 (equatorial Pacific). *Micropaleontology*, 59(1): 69–82.
- Villa, G.; Fioroni, C.; Pea, L.; Bohaty, S.M. & Persico, D. 2008. Middle Eocene–late Oligocene climate variability: calcareous nannofossil response at Kerguelen Plateau, Site 748. *Marine Micropaleontology*, 69(2): 173–192.
- Villa, G.; Fioroni, C.; Persico, D.; Roberts, A.R. & Florindo, F. 2014. Middle Eocene to Late Oligocene Antarctic glaciation/deglaciation and Southern Ocean productivity. *Paleoceanography*, 29: 223–237.
- Winter, A.; Jordan, R.W. & Roth, P.H. 1994. Biogeography of living coccolithophores in ocean water. In: WINTER, A., SIESSER, W.G. (eds.). *Coccolithophores*. Cambridge University Press, p. 161–177.
- Young, J.R.; Bown P.R. & Lees J.A. 2017. Nannotax3 website. International Nannoplankton Association. Disponível em: <<http://www.mikrotax.org/Nannotax3>>. Acesso em: Mar. 2018 - Jun. 2019.
- Zachos, J.C.; Pagani, M.; Sloan, L.; Thomas, E. & Billups, K. 2001. Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. *Science*, 292: 686–693.
- Zachos J.C.; Wara, M.; Bohaty, S.; Delaney, M.; Petrizzo, M.; Brill, A.; Bralower, T. & Premoli-Silva, I. 2003. A transient rise in tropical sea surface temperature during the Paleocene–Eocene thermal maximum. *Science*, 302: 1551–1554.
- Zachos, J.C.; Dickens, G.R. & Zeebe, R.E. 2008. An early Cenozoic perspective on greenhouse warming and carbon-cycle dynamics. *Nature*, 451: 279–283.