

Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

FRONTEIRAS EXPLORATÓRIAS DA MICROPALAEONTOLOGIA (NANOFÓSSEIS CALCÁRIOS) NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO

Cleber Fernandes Alves¹, Maria Dolores Wanderley¹

^{1,2} Universidade Federal do Rio de Janeiro, CCMN, IGEO, Depto. de Geologia, PRH-18/ANP, ¹alvescf@yahoo.com.br; ²dolores@geologia.ufrj.br

Resumo – Nanofósseis calcários são fósseis de organismos unicelulares marinhos menores que 50µm. São muito úteis para determinação de idades para sedimentos marinhos desde o Jurássico até os dias de hoje devido sua rápida taxa de evolução, ampla distribuição geográfica e facilidade de preparo. Os primeiros e últimos aparecimentos de várias espécies de nanofósseis geralmente ocorrem de forma global, podendo datar os sedimentos com uma precisão de um milhão de anos ou menos. Este grau de precisão na datação dos depósitos sedimentares (bioestratigrafia de alta resolução) e os estudos paleoecológicos destes fósseis são de grande aplicação na exploração de petróleo, por exemplo nos estudos de bionavegação (*biosteering*). Também são usados com sucesso no auxílio do mapeamento de unidades litológicas, particularmente em locais que apresentam facies complexas, traçando a extensão geográfica de superfície e sub-superfície da região.

Palavras-Chave: micropaleontologia, nanofósseis calcários, bioestratigrafia, *biosteering*, petróleo

Abstract – Calcareous nannofossils are unicellular marine fossil organisms smaller than 50µm. They are the mostly useful for age determination of marine sediments since Jurassic till the Recent due to their fast rate of evolution, wide geographic distribution and easiness of preparation. The first appearance datums and last appearance datums for calcareous nannofossil species usually occur globally and often can date sediments to accuracies of one million years or less. Accurate dating of sedimentary deposits (high resolution biostratigraphy) and paleoecological studies of these fossils have many practical applications in petroleum exploration like biosteering. Also, they may be used successfully to help in mapping lithologic units, particularly in regions with complex facies patterns, both the surface and subsurface geographic extent.

Keywords: micropaleontology, calcareous nannofossils, biostratigraphy, biosteering, petroleum

1. Introdução

Mesmo com todos os avanços tecnológicos da indústria do petróleo, a micropaleontologia ainda é, atualmente, uma ferramenta geológica de sucesso e fundamental para a exploração, avaliação e desenvolvimento de estudos de campo e na solução de possíveis problemas de perfuração (tais como local de perfuração e profundidade final a ser atingida).

É empregada também na avaliação na distribuição do reservatório (extensão da bacia) e reconhecimento de trapas e rochas-fonte, migração e acúmulo do óleo, além do reconhecimento da arquitetura, sequência deposicional, histórico sedimentar, ambiente e fácies de uma bacia sedimentar e seu potencial petrolífero. Fornece ainda aspectos paleoecológicos importantes para a complementação de estudos exploratórios como a taxa de produtividade orgânica, oxigenação do ambiente, clima, temperatura, salinidade e profundidade.

O aspecto micropaleontológico mais importante, entretanto, é o da segurança e precisão em datar e correlacionar os estratos rochosos, o que facilita as interpretações geológicas para a exploração e produção de hidrocarbonetos.

ARMENTROUT (1999) cita o avanço atual da micropaleontologia (sobretudo a bioestratigrafia) como uma ferramenta dinâmica de interpretação, com grande contribuição para redução dos custos exploratórios e sendo uma disciplina em franco desenvolvimento científico nos seguintes campos:

- Mapeamento de biofácies: a distribuição de assembléias fossilíferas ecologicamente significantes são usadas com sucesso no reconhecimento do tipo e distribuição das rochas selantes, geradoras e reservatório.
- Correlação de Alta Resolução: correlações cada vez mais precisas (com auxílio de dados quantitativos) podem auxiliar no reconhecimento de mudanças faciológicas em curtas distâncias, especialmente em áreas pobres em imagens sísmicas.
- Caracterização de reservatórios: análises estatísticas da ocorrência de fósseis permitem prever a distribuição e correlação das rochas reservatório e selantes, otimizando a caracterização do reservatório.
- Bionavegação (Biosteering): a utilização do biozoneamento para dirigir a trajetória da perfuração resulta na otimização da penetração no horizonte reservatório, reduzindo os custos do desenvolvimento de um campo exploratório.

Este trabalho aborda parte do uso da Micropaleontologia (com o auxílio dos nanofósseis calcários) na indústria do petróleo e algumas das mais novas aplicações, com breves descrições de cada ramo onde esta ferramenta geológica está sendo empregada e, de maneira sucinta, os nanofósseis calcários, destacando a importância e aplicabilidade bioestratigráfica deste grupo fóssil na exploração de hidrocarbonetos.

2. Nanofósseis Calcários

São partículas carbonáticas com tamanho inferior a 50µm, de origem orgânica, provenientes de organismos unicelulares, fotossintetizantes e planctônicos marinhos. São encontrados em maior abundância em sedimentos de granulometria fina (como folhelhos), em ambientes de baixa energia, geralmente distante da costa.

Conforme ALVES & WANDERLEY (2003), apresentam comprovada aplicabilidade em sedimentos marinhos, com bons resultados em estudos bioestratigráficos (desde o Jurássico até o Recente), diferindo de outros grupos micropaleontológicos por apresentarem fortes fatores positivos para exploração de hidrocarbonetos conforme listados na Figura 1.

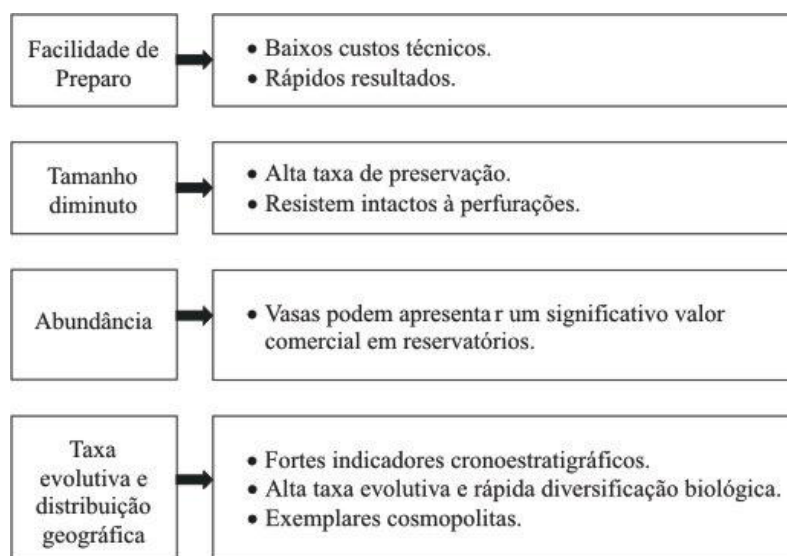


Figura 1: Principais vantagens do uso dos nanofósseis calcários na exploração do petróleo.

3. Emprego dos nanofósseis na indústria do petróleo

Aliado ao fato de apresentarem uma ampla distribuição paleogeográfica e diversas formas-guias, são facilmente recuperados da matriz sedimentar e preparados em laboratório, o que agiliza a interpretação das análises, considerando-os excelentes ferramentas para a prospecção petrolífera (JONES, 1996).

A Figura 2 resume as principais aplicações atuais dos nanofósseis calcários na pesquisa por hidrocarbonetos, segundo ALVES & WANDERLEY (2003).

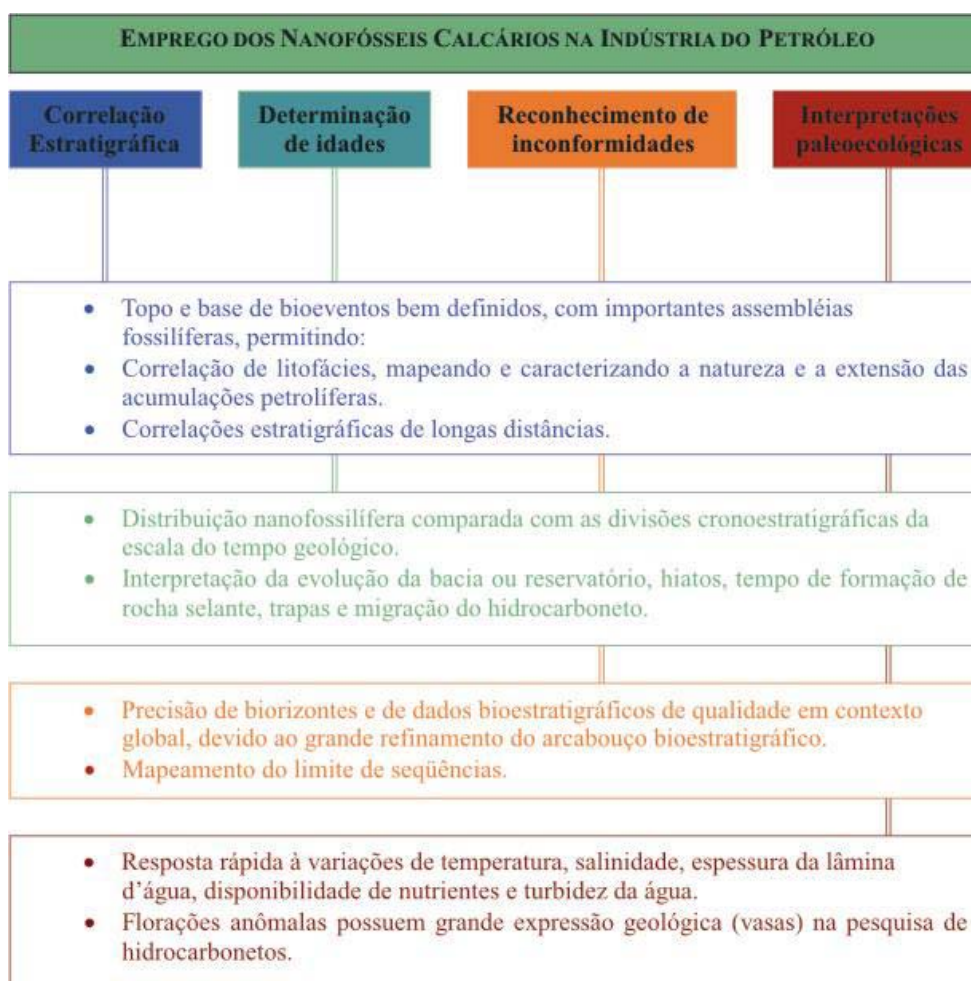


Figura 2: Emprego dos nanofósseis calcários na indústria do petróleo.

4. Novas fronteiras exploratórias

4.1. Bioestratigrafia e sua importância atual

A Bioestratigrafia atua de maneira significativa na construção de modelos geológicos para exploração de petróleo e operações de perfurações que testam estes modelos. A história da vida na Terra tem um ciclo onde os organismos surgem, desenvolvem e tornam-se extintos. Aplicando conceitos biológicos na estratigrafia, observa-se que diferentes camadas de rochas sedimentares contêm diferentes tipos de fósseis. O estudo da disposição destes fósseis nas camadas sedimentares é denominado bioestratigrafia. Deste modo, quando é perfurado um poço em busca de hidrocarbonetos, são encontrados fósseis numa sequência previsível, abaixo do ponto do tempo onde o organismo tornou-se extinto. De modo simplificado, a última ocorrência do fóssil (LAD – *Last Appearance Datum*, em inglês) em uma sequência de rochas representa o mesmo momento geológico como última ocorrência em outras sequências, sendo este considerado então como o ponto de correlação entre os poços perfurados. Outro poço perfurado nesta região penetraria, conseqüentemente, na mesma sequência, diferenciando apenas na profundidade de cada poço ou, porventura, na ocorrência de hiatos regionais.

Um evento importante a ser observado é o da primeira ocorrência do fóssil (em inglês FAD – *First Appearance Datum*), porém de difícil identificação em uma amostra de calha, pois a porção superior do poço perfurado pode entrar em contato lama de perfuração, misturando com as rochas do fundo da perfuração. Entretanto, em amostras de testemunhos ou de afloramentos estas primeiras ocorrências são importantes na identificação de eventos bioestratigráficos.

Outros eventos importantes podem ser o de fósseis que existiram no mesmo intervalo de tempo geológico, formando o que se chama de Zona de Fósseis Concorrentes, onde uma amostra de rocha de um curto intervalo de tempo pode conter diferentes fósseis depositados durante o mesmo evento e ainda a Zona de Acme, reprodução exagerada de algumas espécies num curto intervalo de tempo devido a prováveis mudanças ambientais (*blooms*) gravadas no registro geológico como vasas. Um exemplo prático desta importância recai sobre um marco estratigráfico na Bacia de Campos conhecido por *Braarudosphaera* Chalk (SHIMABUKURO, 1994), muito empregado no conhecimento estratigráfico da região e na exploração de petróleo.

Com o estudo dos fósseis em diversos poços é possível construir um modelo geológico da área, sendo comum a aplicação de arcabouços bioestratigráficos envolvendo sequências de últimas ocorrências fossilíferas, evitando assim erros de interpretações bioestratigráficas.

Outro exemplo da importância bioestratigráfica na exploração de hidrocarbonetos é o emprego da micropaleontologia no auxílio de interpretações sísmicas, onde camadas de espessuras mais finas podem ser mais bem distinguidas e caracterizadas através da correlação entre dados sísmicos e biorizontes. Podendo também colaborar na correlação entre poços em áreas de falhamento intenso, correlacionando os horizontes de cada lado das possíveis falhas.

A bioestratigrafia permite reduzir despesas de perfuração, pois através da observação de amostras trazidas à superfície em tempo real do poço perfurado pode-se conduzir precisamente a perfuração até o ponto a ser atingido, evitando, desta maneira maiores gastos com equipamentos, locações e tempo despendido.

4.2. Biosteering

Análises bioestratigráficas permitem uma interpretação estratigráfica refinada da área onde os poços estão sendo perfurados.

No início do processo exploratório as camadas estratigráficas de um poço ainda são pouco conhecidas ou mesmo desconhecidas. A bioestratigrafia, juntamente com outras ferramentas geológicas, atuará subdividindo esta seção em camadas, determinadas através de bioeventos específicos, dentro do tempo geológico, como se fosse a impressão digital daquela camada em questão, reconhecendo seu reservatório e o tornando correlacionável com outros poços da região.

O estudo de camadas e reservatório através de uma escala de exploração bioestratigráfica pode ser tão preciso quanto estudos sísmicos e em maior dimensão do que em estudos geofísicos e litológicos. Isto porque a heterogeneidade das camadas pode ser melhor interpretada permitindo uma noção mais real dos pacotes de camadas sedimentares e sua conexão, trazendo desta forma a aplicação da bioestratigrafia para escala de reservatório, com aplicações de alta resolução e mapeamento.

Biosteering (o termo “bionavegação” não é muito utilizado, por este motivo optou-se pelo seu termo já bem difundido) ou monitoramento bioestratigráfico oferece constantes dados em tempo real para determinar a posição estratigráfica relativa de cada ponto da perfuração até o reservatório, permitindo realizar mudanças na direção da perfuração a ser feita no exato momento em que ocorre a mesma. Através de uma sequência de bioeventos de alta resolução para o uso na *biosteering*, modela-se o reservatório através dos biorizontes encontrados, permitindo um monitoramento em tempo real no momento da perfuração (<http://www.aapg.org/explorer/2002/12dec/biosteering.cfm>).

Apresenta alto grau de confiabilidade estratigráfica, pois se utiliza de marcadores específicos de um determinado horizonte bioestratigráfico e o segue ao longo de toda a perfuração. O monitoramento bioestratigráfico oferece significativa redução de riscos e economia nas operações de perfuração e estudos exploratórios.

Esta técnica auxilia na maximização da penetração do reservatório, pois com o *biosteering* pode-se guiar a trajetória da perfuração até o reservatório, buscando o melhor acesso às reservas (http://www.aapg.org/slide_bank/armentrout_john/088.ppt). Uma vez localizado o reservatório, os biorizontes

encontrados auxiliam com informações importantes e podem ser aplicados em correlação a outras locações vizinhas, prevendo desta maneira a proximidade do possível reservatório procurado, reduzindo a incerteza e os custos de cada nova operação.

Como exemplos bem sucedidos de *biosteering* e bioestratigrafia de alta resolução pode-se citar: o campo de Valhall, Noruega (Cretáceo Superior), reservatório de carbonato em águas profundas (MALIVA & DICKSON, 1992) e o Campo de Cusiana, Colômbia (Cretáceo). No Brasil, um artigo de ANTUNES *et al.* (2004) descreve o uso destas técnicas no Campo de Marlim Sul, com base nos nanofósseis calcários.

4.3. Bioestratigrafia de alto impacto, de alta resolução e ecoestratigrafia

O desenvolvimento de novas tecnologias, conceitos e métodos na geologia como a estratigrafia de seqüências e a resolução tridimensional de dados sísmicos têm permitido mudanças significativas nos trabalhos bioestratigráficos. Estudos básicos, de caráter quantitativo e qualitativo, baseados em espécies marcadoras desenvolveram-se intensamente nos últimos tempos e esta associação de estudos quantitativos e marcadores taxonômicos são referidos por ARMENTROUT (1996) como Seqüência Bioestratigráfica de Alta Resolução.

Para PERSICO & VILLA (2002) os registros de alta resolução permitem uma reconstrução detalhada da bioestratigrafia e paleoecologia de nanofósseis calcários e permitem uma melhor compreensão da evolução climática registrada em sedimentos marinhos (http://einstein.uab.es/vrull/monographic/high_impact_palynol.htm).

A Bioestratigrafia de Alto Impacto é o resultado do desenvolvimento da bioestratigrafia de alta resolução com a bioestratigrafia aplicada à exploração (PAYNE *et al.*, 1999). Influenciando em aspectos exploratórios e de produção como em planejamentos regionais e estratégias, modelos estratigráficos para exploração de poços, correlação de reservatórios, redução de riscos, decisões de otimização de perfurações e investimentos, modelagem de sistemas petrolíferos, novas descobertas e recuperação secundária por injeção de fluidos entre outros fatores (RULL, 2002).

Segundo RULL (2002), a bioestratigrafia de alta resolução e a bioestratigrafia de seqüências de alta resolução envolvem uma amostragem precisa das formas encontradas e o uso de abundância de fósseis para indicar correlações de arcabouços estratigráficos em escala local e sub-regional, desenvolvendo o potencial da bioestratigrafia clássica, baseando-se na distribuição ecoestratigráfica dos fósseis.

MARTINSSON (1973) utiliza o termo Ecoestratigrafia para justificar todo o aspecto ecológico na estratigrafia. Sendo um dos fundamentos básicos a idéia de que a evolução não ocorre de modo isolado em um determinado *taxa*, mas sim de forma geral num ecossistema, e assim atingindo uma sucessão ecológica (MARGALEF, 1986) observada no decorrer do tempo geológico.

A ecoestratigrafia é relacionada com a natureza do registro fossilífero. Baseada em conceitos evolutivos, onde o desenvolvimento de um organismo é direcional e não reversível, considera-se aqui o termo usado na bioestratigrafia de marcadores estratigráficos ou fósseis guias. Assim, a primeira e última ocorrência do fóssil apresentam um alto significado cronoestratigráfico. O que se observa atualmente na bioestratigrafia clássica é a divisão de fósseis em marcadores cronológicos e marcadores ambientais, sendo estes últimos pouco utilizados na cronoestratigrafia.

Com o acesso aos estudos quantitativos, onde uma contagem representativa faz-se necessária (RULL, 1987; POUMOT, 1989), a ecoestratigrafia leva em consideração as características ecológicas das assembléias fósseis e as litofácies (BRENNER & McHARGUE, 1988).

Para RULL (2002), seguindo (BRENNER & McHARGUE, 1988), há três tipos de fenômenos de particular relação com alterações ambientais:

- 1- Eventos ecológicos causados por eustasia.
- 2- Eventos ecológicos no nível de bacia (regiões anóxicas ou orogenias, por exemplo).
- 3- Mudanças climáticas globais (GLANDEKOV, 1990; OLÓRIZ *et al.*, 1996).

Quando se conhece o domínio geográfico em que ocorreram os eventos característicos torna-se possível inferir uma interpretação estratigráfica restrita ao local estudado. Em casos excepcionais, podem-se obter dados de caráter regional e até mesmo global, como exemplo temos as observações de ciclos glaciais.

RULL (2002) ainda cita que estes eventos podem, contudo, sofrer distorções locais por fatores ambientais além da própria diagênese, como exemplo, cita-se que a última ocorrência do fóssil não indica diretamente a extinção do fóssil naquele local, mas a perda de condições locais ideais para a fossilização daquele organismo. Assim, diferenças na tolerância ambiental destes organismos podem causar distorções no registro fóssil.

MARGALEF (1986) e RULL (1990) destacam a importância de eventos evolutivos na ecoestratigrafia que, juntamente com as sucessões geológicas, demonstram a complexa história dos sistemas bióticos no decorrer do tempo geológico.

4.4. Outras perspectivas de estudo

A micropaleontologia ainda contribui de forma ativa para o sucesso da exploração e produção de hidrocarbonetos, sendo uma ferramenta de redução de riscos e custos, resolvendo ambiguidades e contradições que podem surgir com outras ferramentas geológicas.

O avanço tecnológico faz com que outras ferramentas geológicas associem-se à micropaleontologia, como a sísmica, a estratigrafia de seqüências, cicloestratigrafia, magnetoestratigrafia (RAFFI, 19996), análises estatísticas, correlação de gráficos, a geoquímica e os estudos de isótopos de oxigênio e carbono, permitindo um estudo cada vez mais integrado e preciso da região a ser explorada e, assim, melhores resultados surgirão, minimizando custos e maximizando benefícios para a indústria do petróleo.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Capacitação de Recursos Humanos em Geologia do Petróleo da UFRJ (Conv. PRH-ANP/MCT No. 18) pelo apoio financeiro.

6. Referências

- ALVES, C. F.; WANDERLEY, M. D. Utilização de nanofósseis calcários na indústria do petróleo. *II Congresso Brasileiro de P & D em Petróleo e Gás*. Rio de Janeiro. Cd-Rom., 2003.
- ANTUNES, R. L., SHIMABUKURO, OLIVEIRA, L. C. V., ROSA, A. L. Z., COSTA, S. O., CUNHA, A. A. S, LIMA, F. H. O. Em busca da estratigrafia de alta resolução – a performance do zoneamento de nanofósseis calcários da Petrobras.- Breves comunicações. *B. Geoci. Petrobras*, v. 12, n. 2, p. 421-427, maio/nov., 2004.
- ARMENTROUT, J. M High resolution sequence biostratigraphy: examples from the Gulf of Mexico Plio-Pleistocene, in J. A. Howell & J. F. Aitken, Eds. *High-resolution sequence stratigraphy: innovations and applications*: Geological Society Special Publication 104, pp. 65–86, 1996.
- ARMENTROUT, J. M. A 21st Century Challenge for Industrial Biostratigraphy. *NAMS News*, May. www.ig.utexas.edu/nams/networking .1999. Último acesso em: 17/mar/2004.
- BRENNER, R. L., T. R. McHARGUE. *Integrative stratigraphy, concepts and applications*: Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, 419 p., 1988.
- GLADENKOV, Y. B. Ecostratigraphy and the north pacific Neogene Holarctic. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 77, p. 195–97, 1990.
- JONES, R. W. *Micropalaeontology in Petroleum Exploration*. Clarendon Press, 1996.
- MALIVA, R. G., DICKSON, J. A. D. Microfacies and diagenetic controls of porosity in Cretaceous/Tertiary chalks, Eldfisk Field, Norwegian North Sea. In: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 76, n. 11 , p. 1825-38 ,1992.
- MARGALEF, R. Sucesión y evolución: su proyección biogeográfica. *Paleontología i Evolución* , v. 20, p. 7–26, 1986.
- MARTINSSON, A. Editor's column ecostratigraphy: *Lethaia*, v. 6, pp: 441-443. 1973.
- OLÓRIZ, F., J. E. CARACUEL, J. J. RUIZ-HERAS, F. J. RODRIGUEZ-TOVAR, B. MARQUES. Ecostratigraphic approaches, sequence stratigraphy proposals and block tectonics: examples from epicontinental areas in south and east Iberia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 121, p. 273–295, 1996.
- PAYNE, S. N. J., D. F. EWEN, M. J. BOWMAN. *The role and value of 'high-impact biostratigraphy' in reservoir appraisal and development*, in R. W. Jones and M. D. Simmons, eds., *Biostratigraphy in production and development geology*: Geological Society Special Publication 152, p. 5–22, 1999.
- PERSICO, D.; VILLA, G. High-resolution calcareous nannofossil biostratigraphy and palaeoecology from Eocene-Oligocene sediments, Maud Rise, Weddell Sea and Kerguelen Plateau, Antarctica.(talk). INA 9. 9-12 September. University of Parma, Italy. 2002.
- POUMOT, C. Palynological evidence for eustatic events in the tropical Neogene: *Bulletin des Centres de Recherches Exploration-Production Elf Aquitaine*, v. 13, n. 2, p. 437–453, 1989.
- RAFFI, I. *Precision and accuracy of nannofossil biostratigraphic correlation*. In: *Phil. Trans.R.Soc.Lond. A*, 357: p. 1975-1993, 1999.
- RULL, V. A note on pollen counting in palaeoecology: *Pollen et Spores*, v. 29, n. 4, p. 471–480, 1987.
- RULL, V. Quaternary palaeoecology and ecological theory: *ORSIS*, v. 5, p. 91–111, 1990.
- RULL, V. High-impact palynology in petroleum geology: Applications from Venezuela (northern South America). *AAPG Bulletin*, v. 86 n. 2, pp. 279-300, 2002.
- SHIMABUKURO, S. “*Braarudosphaera chalk*”: *investigações sobre a gênese de um marco estratigráfico*. Porto Alegre, URGs, Instituto de Geociências, Dissertação de Mestrado, 1994.
- http://einstein.uab.es/vrull/monographic/high_impact_palynol.htm - Bioestratigrafia de alto impacto. Último acesso em 02/fev/2004.
- <http://www.aapg.org/explorer/2002/12dec/biosteering.cfm> Biosteering Added to Toolkit. Último acesso em 04/mar/2005.
- http://www.aapg.org/slide_bank/armentrout_john/088.ppt. Slide show The Quest for Energy Rewarding Careers in Petroleum Exploration Biosteering North Sea - Joanne Field - Andrew Reservoir. Well Path. Andrew A1 Sand. Último acesso em 05/mar/2004.