



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

Ignácio de Loiola Alvares Nogueira Neto

**BIOGEOGRAFIA HISTÓRICA DA CORALINOFAUNA E
BRIOZOOFAUNA DO MIOCENO DO PARÁ E SUA POSSÍVEL
CORRELAÇÃO COM AS ROCHAS RESERVATÓRIOS
CARBONÁTICAS DAS BACIAS COSTEIRAS DO NORTE
BRASILEIRO**

Belém-Pará
2010

IGNÁCIO DE LOIOLA ALVARES NOGUEIRA NETO

**BIOGEOGRAFIA HISTÓRICA DA CORALINOFAUNA E
BRIOZOOFAUNA DO MIOCENO DO PARÁ E SUA POSSÍVEL
CORRELAÇÃO COM AS ROCHAS RESERVATÓRIOS
CARBONÁTICAS DAS BACIAS COSTEIRAS DO NORTE
BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Geologia do Instituto de
Geociências da Universidade Federal do Pará –
UFPA, em cumprimento às exigências para
obtenção do grau de Bacharel em Geologia.
Orientador: Prof. Dr. Vladimir de Araújo
Távora.

BELÉM-PARÁ
2010

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

N778b Nogueira Neto, Ignácio de Loiola Alvares

Biogeografia histórica da coralinofauna e briozoofauna do Mioceno do Pará e sua possível correlação com as rochas reservatórios carbonáticas das bacias costeiras do Norte Brasileiro / Ignácio de Loiola Alvares Nogueira Neto; Orientador: Vladimir de Araújo Távora – 2010

89 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Faculdade de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Quarto Período de 2010.

1. Biogeografia histórica. 2. Sistemas petrolíferos. 3. Formação Pirabas. I. Távora, Vladimir de Araújo, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 20º ed.: 574.909811

IGNÁCIO DE LOIOLA ALVARES NOGUEIRA NETO

**BIOGEOGRAFIA HISTÓRICA DA CORALINOFAUNA E
BRIOZOOFAUNA DO MIOCENO DO PARÁ E SUA POSSÍVEL
CORRELAÇÃO COM AS ROCHAS RESERVATÓRIOS
CARBONÁTICAS DAS BACIAS COSTEIRAS DO NORTE
BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Geologia do Instituto de
Geociências da Universidade Federal do Pará –
UFPA, em cumprimento às exigências para
obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Data de aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

Banca examinadora:

Prof. Vladimir de Araújo Távora – Orientador
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará

Prof. José Fernando Pina Assis – Membro
Mestre em Ciências
Universidade Federal do Pará

Prof. Estanislau Luczinsky – Membro
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará

Ao meu pai Kleber (*in memorian*),
pelos ensinamentos, apoio e amizade.

À minha mãe Francisca,
pela dedicação incansável.

AGRADECIMENTOS

Expresso aqui meus sinceros agradecimentos às seguintes entidades e pessoas pelas relevantes contribuições à realização desta pesquisa:

- À Universidade Federal do Pará pela infraestrutura, condições materiais e logísticas, bem como a possibilidade de me fornecer a formação profissional básica do curso de Geologia;
- Ao Grupo do Laboratório de Paleontologia, pelos anos de convivência, apoio e amizade;
- A ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis) pela oportunidade de efetivar o treinamento em um projeto de pesquisa, desenvolvendo um trabalho de qualidade, que serviu de base para o desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso;
- Ao meu orientador e amigo, Professor Dr. Vladimir de Araújo Távora, por sua dedicação incansável, orientação, paciência, incentivo e compreensão;
- Ao professor Estanislau Luczinsky, pela orientação referente ao capítulo de Sistemas Petrolíferos;
- Aos professores da Faculdade de Geologia que foram responsáveis pela a minha formação;
- À Camila dos Santos Sá, que nestes últimos anos tem sido sinônimo de amor, companheirismo, força e alegria em minha vida;
- Aos familiares pelo apoio e incentivo em minha vida acadêmica, em especial à minha irmã Ana Karolina Feitosa Nogueira e ao meu primo Társsio Nogueira;
- Aos meus amigos Max de Jesus Santos, Antônia Railine Silva, Bruna Leal, Antônio Pantoja, Eduardo Albuquerque, André Santos e todos os amigos da Geologia, que seriam muitos para listar aqui, mas cada um sabe o peso de sua contribuição;
- Ao Carlos Alberto pela amizade, além da dedicação e cuidado que o mesmo teve nas viagens de campo feitas durante a execução do trabalho;
- À Deus, pois sem ele nada seria possível na minha vida.

“Aqueles que esperam no Senhor renovam as suas forças.
Voam alto como águias; correm e não ficam exaustos,
andam e não se cansam”.

Isaías 40.31

RESUMO

Apresenta os resultados da análise da Biogeografia Histórica dos corais e briozoários da Formação Pirabas, além da identificação dos seus eventos biológicos, correlacionados com os eventos geológicos que possam ter favorecido a acumulação de hidrocarbonetos nas bacias costeiras do norte do Brasil. A evolução geológica da área teve maior incremento com a fase de rifteamento na margem equatorial brasileira ocorrida entre o Barremiano e Aptiano, ampliou a Bacia da Foz do Amazonas e individualizou o sistema de grabens Gurupi e a Bacia do Marajó. A continuidade deste rifteamento favoreceu em tempos albianos a formação das bacias Pará-Maranhão e Barreirinhas, bem como do Oceano Atlântico. A análise integrada da geohistória dos corais escleractíneos e briozoários registrados na Formação Pirabas favorece entender a evolução filogenética, reconhecer os seus eventos biológicos mais significativos, como resposta a geodinâmica da Terra naquele momento. As rochas reservatório carbonáticas estão incluídas nas formações Ilha de Santana (Bacia Pará-Maranhão) e Amapá (bacias Foz do Amazonas e Caciporé), de idade terciária e correlacionáveis entre si, e também com a Formação Marajó (Bacia do Marajó), todas consideradas correlatas com a Formação Pirabas. Os dados levantados possibilitaram sugerir que a rápida proliferação biótica da coralinofauna e briozoofauna ocorrida durante o Cretáceo, foi impulsionada por um evento similar nas algas clorofíceas (verdes), coralináceas simbiontes (vermelhas), foraminíferos, fungos marinhos e dinoflagelados, elementos que compõem a cadeia de produtividade primária nos ambientes marinhos. O rico registro destes invertebrados na Formação Pirabas, supõe que este novo pulso dos corais e briozoários pode ser utilizado como guia para pesquisas exploratórias de hidrocarbonetos, pois existe uma coincidência temporal entre os eventos biológicos e, a deposição e conteúdo biótico das rochas de composição carbonática onde estão encerrados, atribuídas como reservatório nas bacias sedimentares Pará-Maranhão e Foz do Amazonas.

Palavras-chave: Biogeografia histórica. Sistemas petrolíferos. Formação Pirabas.

ABSTRACT

This work deals the Historical Biogeography's analysis of corals and bryozoans in the Pirabas Formation, as well as identify their biological events, correlated with geological events that may have led to the accumulation of hydrocarbons in the coastal basins of northern Brazil. The geological evolution of the area in the Barremian and Aptian times was marked by the rifting phase in the Brazilian equatorial margin, widening the mouth of the Amazon Basin and the grabens Gurupi and Marajó Basin. During the Albian the continuity of the rifting supports the formation of Pará-Maranhão and Barreirinhas basins and Atlantic Ocean. The integrated analysis of geohistory of scleractinian corals and bryozoans registered in the Pirabas Formation helps in recognize its phylogenetic, and the greatest morphoanatomic innovations as response to Earth's geodynamics. The carbonates reservoir rocks included in the Ilha de Santana (Para-Maranhão Basin) and Amapá (Foz do Amazonas and Caciporé basins) formations, tertiary deposits correlated with the Marajó (Marajó Basin), and Pirabas formations. The data collected suggest that the rapid biotic proliferation of coralinofauna and bryozoofauna occurred during the Cretaceous also did affect the chlorophyceae and, coralline algae, foraminifera, fungi and dinoflagellates. The rich record of these invertebrates in Pirabas Formation suggest that the new pulse of corals and bryozoans can be used as a guide for exploratory oil, because the age of the biological events, deposition and biotic content of carbonate rocks assigned as a reservoir in the Pará-Maranhão and Foz do Amazonas sedimentary basins, are synchronous.

Key words: Historical Biogeography. Petroleum Systems. Pirabas Formation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Mapa ilustrando as ocorrências da Formação Pirabas no nordeste do Estado do Pará onde foram coletadas as amostras de corais e briozoários.....	18
Figura 2 -	Ilustrando a separação continental muito complexa entre América do Sul e África que envolveu vários estilos estruturais para a formação das bacias de margem equatorial brasileira.....	21
Figura 3 -	Mostra que as bacias de margem continental equatorial brasileira estão relacionadas ao domínio tectônico de segmento transformante.	22
Figura 4 -	Bacias de margem continental equatorial brasileira classificadas como novas fronteiras (mar) com ênfase nas bacias Foz do Amazonas, Pará-Maranhão e Barreirinhas.....	23
Figura 5 -	Carta Estratigráfica da Bacia de Barreirinhas.....	25
Figura 6 -	Carta Estratigráfica da Bacia da Foz do Amazonas.....	29
Figura 7 -	Carta Estratigráfica da Bacia Pará-Maranhão.....	31
Figura 8 -	Coralinofauna da Formação Pirabas: a- <i>Flabellum wailesi</i> ; b- <i>Flabellum lyricum</i> ; c- <i>Dendrophyllia</i> sp.; d- <i>Balanophyllia</i> sp.; e- <i>Cladocora</i> sp.; f- <i>Discotrochus</i> sp.; g- <i>Trochoseris catadupensis</i> ; h- <i>Fungia</i> (<i>Cycloseris</i>) <i>costulata</i> ; i- <i>Plascomilia</i> sp.; j- <i>Bathycyathus</i> sp.; k- <i>Asterosmilia compressa</i>	35
Figura 9 -	Briozoofauna da Formação Pirabas: a- <i>Lunulites pileolus</i> ; b- <i>Steginoporella</i> ; c- <i>Nellia</i> ; d- <i>Crisia</i> ; e- <i>Pasythea</i> ; f- <i>Vincularia</i> ; g- <i>Vittaticella</i> ; h- <i>Metrarabdotos</i>	40
Figura 10 -	Distribuição dos sistemas petrolíferos com maiores reservas de petróleo (exclusive águas profundas e ultraprofundas) do mundo.....	45
Figura 11 -	Bacias sedimentares brasileiras indicando as principais províncias produtoras de óleo e gás no País.....	47
Figura 12 -	Áreas de relevante interesse para petróleo (óleo e gás).....	50
Figura 13 -	Poços com indícios ou descobertas de óleo e/ou gás.....	51
Figura 14 -	Bacias de novas fronteiras (mar) com ênfase nas bacias Foz do Amazonas, Pará-Maranhão e Barreirinhas.....	54
Figura 15 -	Mostra no gráfico que após a crise biótica K-T, os corais foram gradualmente readquirindo representatividade numérica (sobreviventes) principalmente por	

	retomarem a capacidade bioconstrutora, em fases sucessivas, favorecendo novamente a instalação de ecossistemas recifais.....	58
Figura 16 -	Possíveis relações filogenéticas entre os táxons de corais superiores e suas respectivas distribuições estratigráficas.....	60
Figura 17 -	Mostra que o Mioceno pode ser considerado como um dos momentos mais importantes para a biogeografia e evolução dos corais escleractíneos, pois se observa um aumento considerável do número de gêneros (representado pela largura nos espaços) inclusive de bioconstrutores.....	62
Figura 18 -	Diversidade dos gêneros (A) e espécies (B) dos recifes de corais nas regiões do Atlântico Ocidental e Caribe, a partir do Eoceno.....	64
Figura 19 -	Modelo de ontogenia relacionado a formação das estruturas tecaís, exemplificando os estágios juvenis, adultos e senis.....	66
Figura 20 a -	Ancestralidade dos corais reconstituída a partir da Teoria Medusóide.....	67
Figura 20 b -	Ancestralidade dos corais reconstituída a partir da Teoria Polipóide.....	68
Figura 21 -	Diversidade das famílias dos briozoários ciclostromados e queilostomados com distribuição estratigráfica do Cretáceo ao Holoceno.....	71
Figura 22 -	Ilustração da média aglutinada da diversidade das espécies de briozoários com distribuição estratigráfica do Cretáceo ao Holoceno.....	74
Figura 23 -	Correlação Litoestratigráfica entre as bacias costeiras do norte brasileiro, com ênfase na Foz do Amazonas, Pará-Maranhão e Barreirinhas.....	78

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 -	Distribuição Geográfica e estratigráfica dos táxons de corais da Formação Pirabas.....	37
Tabela 2 -	Distribuição Geográfica e estratigráfica dos táxons de briozoários da Formação Pirabas.....	42
Tabela 3 -	Sistemas petrolíferos brasileiros das bacias maduras e possíveis sistemas petrolíferos das bacias consideradas de novas fronteiras pela ANP.....	52

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA	16
1.2	OBJETIVOS	16
1.3	METODOLOGIA	17
2	AS BACIAS SEDIMENTARES DA MARGEM EQUATORIAL BRASILEIRA	19
2.1	BACIA DE BARREIRINHAS	24
2.2	BACIA DA FOZ DO AMAZONAS	26
2.3	BACIA PARÁ-MARANHÃO	30
3	FORMAÇÃO PIRABAS	33
3.1	GEOLOGIA	33
3.2	CORALINOFAUNA	34
3.3	BRIOZOOFAUNA	39
4	SISTEMAS PETROLÍFEROS	43
4.1	PROVÍNCIAS PETROLÍFERAS BRASILEIRAS	46
5	BIOGEOGRAFIA HISTÓRICA E FILOGENIA DOS CORAIS E BRIOZOÁRIOS	56
5.1	CORAIS	57
5.2	BRIOZOÁRIOS	69
6	CALIBRAÇÃO ENTRE EVENTOS GEOLÓGICOS E EVENTOS BIOLÓGICOS X ACUMULAÇÃO DE HIDROCARBONETOS	75
7	CONCLUSÕES	79
	REFERÊNCIAS	81
	BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR	87

1 INTRODUÇÃO

A separação entre os continentes sul americano e africano produziu uma ampla variedade de estilos estruturais, dependendo da cinemática de abertura e configuração tectônica da litosfera. A margem continental brasileira é claramente segmentada por altos do embasamento cristalino e complexos ígneos, que delimitam segmentos compostos por bacias sedimentares com história genética intimamente relacionada.

Os hidrocarbonetos estão confinados em reservatórios que variam entre rochas vulcânicas neocomianas e turbiditos miocênicos onde cerca de 80% das reservas brasileiras estão concentradas nos arenitos turbidíticos da Bacia de Campos (DAVISON, 1999). Assim, devido terem sido intensamente estudados, abrangendo também uma faixa bem mais ampla, até a bacia de Sergipe-Alagoas, os seus sistemas petrolíferos estão bem definidos.

Sabe-se que apesar das grandes possibilidades das bacias costeiras do norte do Brasil possuírem acumulações de óleo e gás, é necessária a definição dos seus sistemas petrolíferos para que sejam identificadas e mapeadas reservas significativas. A correlação entre a Formação Pirabas (Bacia de Barreirinhas, incluindo as exposições no nordeste do Pará) com as formações Amapá (bacias da Foz do Rio Amazonas e Caciporé) e Ilha de Santana (Bacia Pará-Maranhão), e a estreita relação entre os eventos geológicos e biológicos, estes últimos quando investigados sob os fundamentos da Biogeografia Histórica, contribuem para a reconstrução paleogeográfica e paleoambiental podendo subsidiar o detalhado conhecimento da evolução geológica das bacias costeiras do norte do Brasil, e por consequência para a definição de seus sistemas petrolíferos. A escolha dos corais e briozoários como ferramenta deve-se a sua sensibilidade ecológica, que pode nortear a identificação dos eventos biológicos associados aos geológicos.

A Paleobiogeografia é o ramo da Paleontologia que trata sobre a distribuição de grupos de organismos fósseis, buscando reconstruir os padrões de distribuição geográfica dos seres vivos e explicá-los segundo processos históricos subjacentes. O fato de toda espécie concentrar-se em uma área geográfica constitui um padrão biogeográfico particular. Algumas são mais restritas, adquirindo o status de relíquias biogeográficas, enquanto que outras apresentam ampla distribuição, sendo quase cosmopolitas. O ponto de partida para o estudo paleobiogeográfico é o reconhecimento de centros de endemismo, ou seja, coincidência detectada na sobreposição de áreas de distribuição de táxons não relacionados. Trata-se de um

padrão compartilhado, portanto possibilita a realização de testes e geração de hipóteses (GALLO; FIGUEIREDO, 2004).

A Biogeografia Histórica lida particularmente com a reconstrução da história de áreas de endemismo com base na congruência de informação filogenética gerada por diferentes táxons não relacionados, mas que ocorrem nessas áreas (MORRONE; CRISCI, 1995). Neste campo, estudam-se os fatores que governam a história da distribuição geográfica dos organismos e, as explanações históricas para as suas distribuições geográficas, considerando os processos evolutivos e geológicos (CECCA, 2002).

A indústria petrolífera utiliza como uma das ferramentas para exploração, o conteúdo paleobiótico, por fornecer precisas informações paleoecológicas, biocronológicas, paleobiogeográficas e bioestratigráficas.

Aos eventos geológicos envolvidos na formação das bacias da margem equatorial certamente relacionam-se eventos biológicos (inovação, radiação, distribuição geográfica e extinção), considerando que a modificação do meio físico impõe adaptações para a biota ali vivente. Foram escolhidos nesta pesquisa os corais e briozoários como elementos calibradores destes eventos biológicos, devido sua grande sensibilidade ecológica e a sua morfologia adaptativa refletir condições ambientais tanto favoráveis quanto estressantes. Assim, pretende-se correlacionar os eventos biológicos com os geológicos, efetivar-se reconstruções paleogeográficas e paleoambientais, de forma a testar a utilização dos corais e briozoários para detalhamento da evolução geológica das bacias, em particular das rochas reservatório carbonáticas, que favoreceram a acumulação de petróleo e gás, e por consequência elucidar a definição de seus sistemas petrolíferos.

A principal lição das bacias costeiras do norte é que elas têm condição de gerar e produzir óleo e gás, mas é necessária mais pesquisa para descobrir acumulações comerciais. As possibilidades dessas áreas são enormes, pois falta pesquisa mais sistemática para descobrir reservas significativas. Com a auto-suficiência de petróleo agora alcançada pelo Brasil, possivelmente a pesquisa geológica poderá ser feita também nestas áreas de fronteira exploratória.

Das supracitadas unidades geotectônicas apenas a Bacia do Marajó ofereceu poucas possibilidades de descobertas comerciais de Petróleo, pois a seção é muito arenosa e ainda não foram descobertas suas rochas geradoras.

É interessante notar que todas essas bacias produziram óleo e gás subcomerciais (CAPUTO, 2008, informação verbal)¹. A Bacia de Caciporé produziu óleo bastante viscoso e gás no topo da Formação Amapá (calcários) em um intervalo muito delgado em poço perfurado pela Petrobrás. Com o tempo, a água por ser menos viscosa, invadiu o reservatório, inviabilizando sua produção oleífera. Possivelmente, através de sondagens horizontais e com produção controlada esse campo poderá ser produtivo. Na Foz do Amazonas, o Campo de Pirapema apresenta gás metano, possivelmente de origem biogênica em arenitos intercalados na espessa seção de folhelhos da Formação Pirarucu. A estrutura é uma grande anticlinal associada a uma falha lítrica de crescimento.

Na Bacia Pará-Maranhão há um campo de óleo que produziu por cerca de um ano, mas o reservatório foi depletivo, isto é, limitado, sendo abandonado e na Bacia de Barreirinhas foram descobertos vários campos de gás e óleo que tiveram pouca produção, sendo também abandonados.

Como contribuição sócio-econômica da pesquisa, destaca-se o impacto social na área educacional referente a formação de recursos humanos, em níveis de graduação, motivando o envolvimento dos mesmos com aspectos relativos à dinâmica de desenvolvimento de bacias sedimentares, sua relação com os eventos biológicos e uma possível correlação com rochas reservatórios e, portanto, sendo capacitados para atuar em empresas vinculadas à indústria do petróleo e gás natural. Há também o impacto econômico, já que o principal resultado deste trabalho é auxiliar na descoberta de acumulações comerciais, já que os sistemas petrolíferos dessas bacias ainda não foram definidos. As possibilidades dessas áreas são enormes, pois falta pesquisa mais sistemática para descobrir reservas significativas. Com a auto-suficiência de petróleo agora alcançada pelo Brasil, possivelmente a pesquisa geológica poderá ser feita também nestas áreas de fronteira exploratória.

Este trabalho consiste uma das primeiras tentativas na pesquisa geológica brasileira em correlacionar os eventos geológicos que atuaram na gênese de bacias sedimentares com os eventos biológicos de grupos sistemáticos considerados indicadores ecológicos, e sua influência para a acumulação de hidrocarbonetos, para auxiliar na definição do seu sistema petrolífero.

¹ CAPUTO, M. V. 2008. Reunião interna do Laboratório de Paleontologia da Universidade Federal do Pará.

1.1 JUSTIFICATIVA

Os estudos aplicados à prospecção de hidrocarbonetos utilizam como ferramentas clássicas os dados geológicos, geofísicos, geoquímicos e paleontológicos, sendo que neste último estão baseados em foraminíferos e nanofósseis calcários, grupos de microfósseis com grande aplicabilidade em inferências paleoambientais e bioestratigráficas. A integração de todos estes dados tem permitido a caracterização dos sistemas petrolíferos brasileiros, principalmente das bacias da margem continental brasileira com potencial exploratório. Na história da pesquisa aplicada a este fim nunca foi utilizado no Brasil elementos da paleomacrofauna associada às rochas, por considerar-se classicamente que sua resolução calibradora não seja muito eficaz.

Esta pesquisa consiste numa tentativa de utilizar grupos sistemáticos macrofossilíferos como ferramenta para auxiliar na definição do sistema petrolífero das bacias sedimentares da margem continental equatorial brasileira, através tanto do seu potencial calibrador quanto na correlação entre os seus eventos biológicos e os fatores geológicos controladores da gênese das bacias de deposição da área selecionada. O caráter inovador deste trabalho justifica-se por si só, além de corresponder a um treinamento técnico-científico para o autor, em um tema de grande relevância social e na ciência aplicada.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho pretende investigar a Biogeografia Histórica dos corais e briozoários da Formação Pirabas incluindo área de distribuição, área de dispersão, centro de origem e rotas de dispersão e, identificação dos eventos biológicos a eles relacionados (inovação, radiação, distribuição geográfica e extinção), a fim de correlacioná-los com os eventos geológicos que favoreceram a acumulação de petróleo e gás nas bacias costeiras do norte do Brasil, e assim contribuir para a definição de seus sistemas petrolíferos. Como objetivos específicos, este trabalho de conclusão de curso incluiu a caracterização sistemática dos corais e briozoários da Formação Pirabas; levantamento bibliográfico sobre as bacias sedimentares da margem equatorial brasileira e sistemas petrolíferos; sistematização dos dados geológicos preliminares- reunir os dados sobre os dados levantados e traçar os eventos geológicos

importantes relacionados a gênese destas bacias da margem equatorial brasileira; sistematização dos dados paleobiológicos dos corais e briozoários da Formação Pirabas-identificar seus eventos biológicos (com base em CRAME; ROSEN, 2002; OWEN; CRAME, 2002) e aplicá-los na análise das bacias; e efetivar uma possível correlação entre os eventos biológicos e geológicos, e auxílio desta correlação para definição do sistema petrolífero da área.

1.3 METODOLOGIA

Pesquisa bibliográfica

Os resultados desta pesquisa foram obtidos através de uma sequência de estudos bibliográficos sobre a Biogeografia Histórica e Filogenia dos Corais e Briozoários e uma revisão bibliográfica completa sobre as bacias da margem equatorial brasileira, sendo feito uma compilação dos dados sobre os eventos geológicos que marcaram a gênese e evolução dessas bacias e a possível geração de hidrocarbonetos. Além desses eventos terem gerado eventos biológicos nos grupos macrofossilíferos supracitados. A pesquisa bibliográfica foi feita por meio de dissertações, teses e artigos.

Atividades de campo

O trabalho de campo foi realizado através das viagens da disciplina Prática de campo em Paleontologia durante o segundo período letivo de 2009 e contou com uma coleta de amostras baseada em critérios rigorosos de campo, tais como representatividade dos diferentes táxons de corais e briozoários (que auxiliaram bastante no detalhamento da sistemática dos grupos e no estudo das distribuições geográficas e estratigráficas) e estado de preservação das rochas. As atividades de campo se basearam na coleta de elementos da paleofauna de corais e briozoários da Formação Pirabas nas localidades Ilha de Fortaleza, Praia do Atalaia e Mina B-17 da Cimentos do Brasil S/A (CIBRASA) (Figura 1), e detalhamento de seu contexto geológico e biogeográfico, na tentativa de reconhecer eventos biológicos nestas exposições e extrapolá-los para as bacias da margem equatorial brasileira em estudo, associando-os com os eventos geológicos de sua gênese.

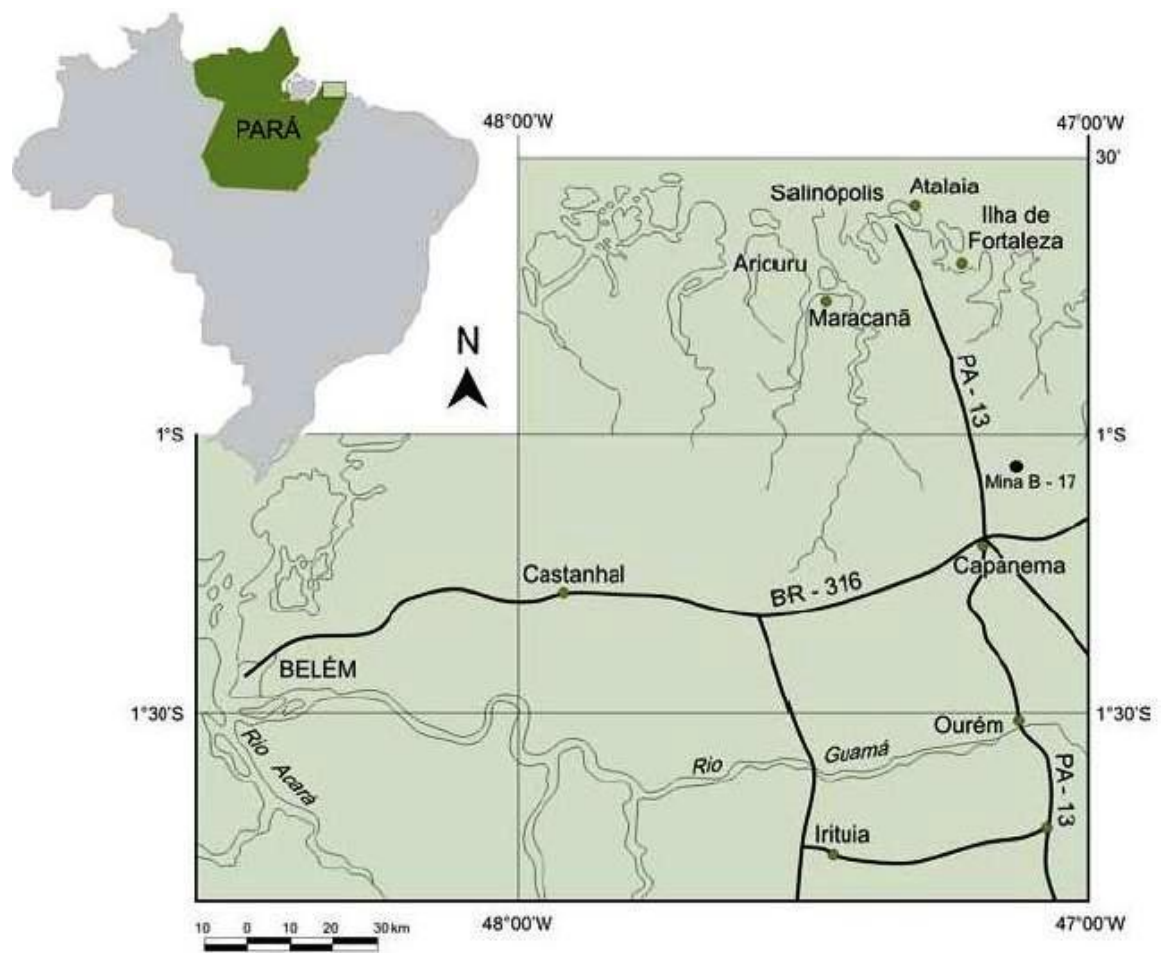


FIGURA 1 - Mapa ilustrando as ocorrências da Formação Pirabas no nordeste do Estado do Pará onde foram coletadas as amostras de corais e briozoários.
 Fonte: Modificado de Távora et al., 2007.

2 AS BACIAS SEDIMENTARES DA MARGEM EQUATORIAL BRASILEIRA

As bacias sedimentares brasileiras do Atlântico Sul possuem evolução tectono-estratigráfica iniciada no Mesozóico, desencadeada pela ruptura do Gondwana e abertura e desenvolvimento do Oceano Atlântico Central, Equatorial e Sul (Figura 2), estando caracterizada por uma sequência de eventos, que permite a proposição de modelos geodinâmicos no contexto da tectônica de placas, que pode ser útil na avaliação de seu potencial exploratório.

As bacias de margem continental equatorial brasileira estão relacionadas ao domínio tectônico de segmento transformante (Figura 3), onde são reconhecidos três episódios extensionais ou estágios principais: pré-transformante, sin-transformante e pós-transformante, que abrigam desde a fase de sedimentação pré-transtensão até a contínua subsidência e sedimentação na margem continental, como resultado do resfriamento e contração térmica da litosfera. Assim, neste domínio tectônico estão englobadas as bacias da Foz do Amazonas, Pará-Maranhão, Barreirinhas, Piauí-Camocim, Ceará-Mundaú e Potiguar (Figura 4). Cabe ressaltar que outras pequenas bacias, riftes abortados, que ocorrem na região continental e/ou estendem-se para a plataforma rasa, tais como Caciporé e Marajó (Figura 4) estão relacionadas diretamente com a Bacia da Foz do Amazonas, enquanto as bacias Bragança-Viseu e São Luís-Ilha Nova (Figura 4) possuem relação mais direta com a Bacia Pará-Maranhão. Entretanto, por estarem no mesmo domínio tectônico, a relação genética perpassa similar entre todas as unidades geotectônicas supracitadas.

A primeira manifestação de fragmentação no continente sul-americano foi o rifteamento de baixa intensidade na Bacia da Foz do Amazonas, decorrente da formação do Oceano Atlântico Central, no Triássico Superior. Foi em tempos pré-barremianos, no segundo pulso extensional, que a Bacia do Marajó evoluiu a partir de um rifte individualizado a sul. As duas bacias supracitadas tiveram a sua área ampliada a partir do Aptiano, quando também foram individualizadas as bacias de Bragança-Viseu e Ilha Nova. Foi o contínuo rifteamento que ocorreu durante o desenvolvimento do Oceano Atlântico Equatorial que deu origem às bacias de Barreirinhas e Pará-Maranhão (SOARES JUNIOR, 2007).

A partir do Albiano as bacias da Foz do Amazonas, Pará-Maranhão e Barreirinhas sofreram expansão progressiva, com o início da deriva entre a América do Sul e África, predominando os processos sedimentares marinhos (SOARES JUNIOR, op. cit.).

As bacias de Caciporé, na costa do Estado do Amapá, e Foz do Amazonas apresentam uma coluna comum, ocorrendo apenas rochas mais antigas na Bacia de Caciporé. As bacias do Pará-Maranhão e de Barreirinhas apresentam uma coluna litoestratigráfica semelhante com três grupos denominados Canárias, Caju e Humberto de Campos (BRANDÃO; FEIJÓ, 1994a).

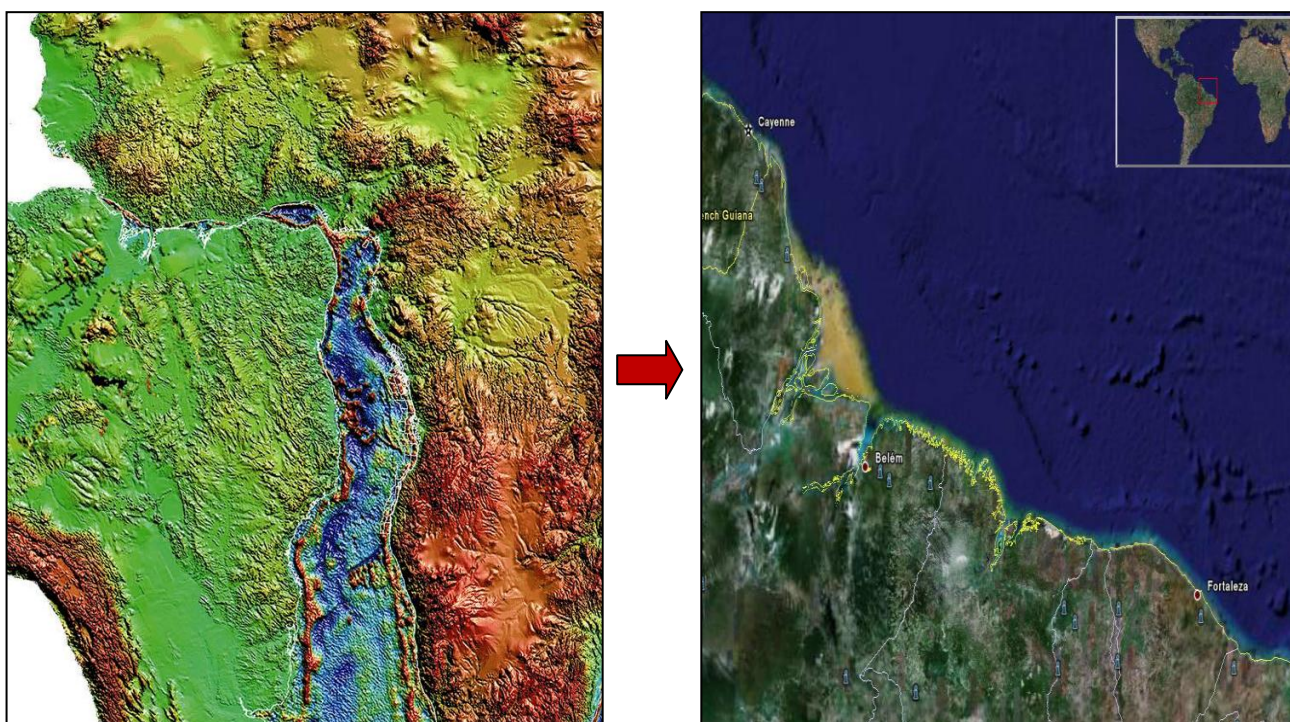


FIGURA 2 - Ilustrando a separação continental muito complexa entre América do Sul e África que envolveu vários estilos estruturais para a formação das bacias de margem equatorial brasileira.
Fonte: Modificado ANP, 2006.

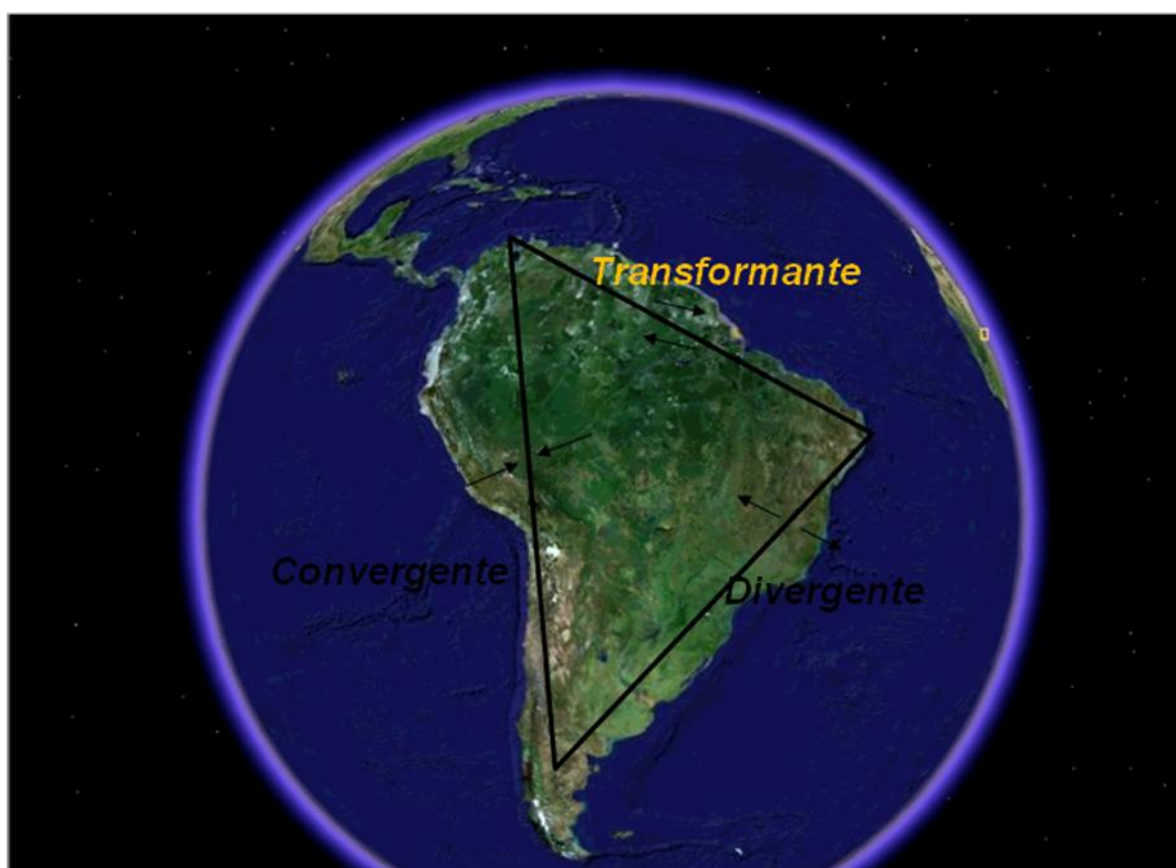


FIGURA 3 - Mostra que as bacias de margem continental equatorial brasileira estão relacionadas ao domínio tectônico de segmento transformante. A Margem Andina é ativa, caracterizada por subducção. A Margem Sul - Atlântica é passiva. A Margem Equatorial é transformante.
Fonte: Modificado ANP, 2006.

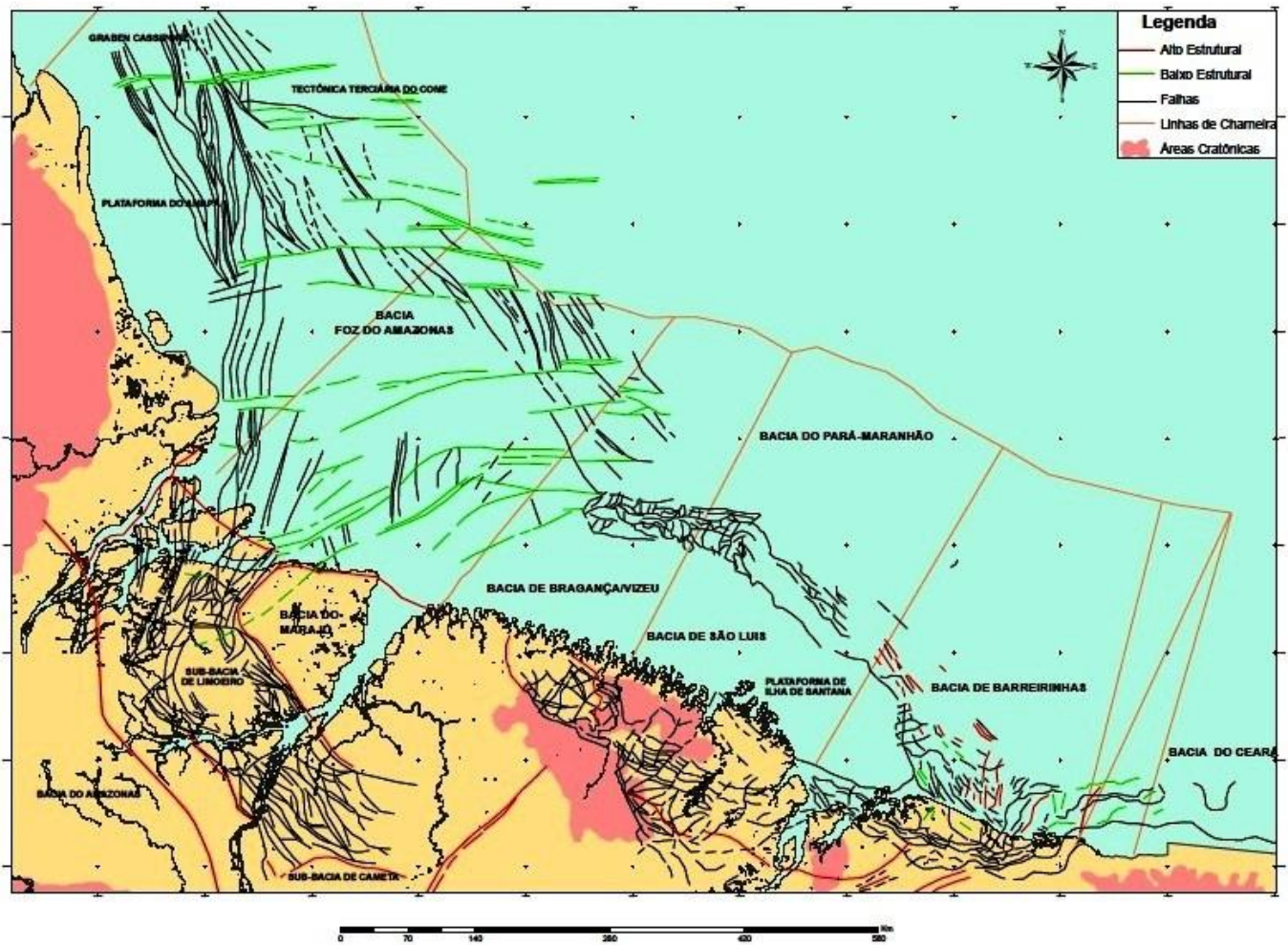


FIGURA 4 - Bacias de margem continental equatorial brasileira classificadas como novas fronteiras (mar) com ênfase nas bacias Foz do Amazonas, Pará-Maranhão e Barreirinhas.

Fonte: Modificado de Chambriard et al. (2008 in SILVA 2008).

2.1 BACIA DE BARREIRINHAS

A Bacia de Barreirinhas (Figura 5) situa-se na margem equatorial brasileira, cobrindo parte da costa do Estado do Maranhão e a plataforma continental adjacente, aproximadamente entre os meridianos 44° W e 42° W e os paralelos de 0° e 3° S, ocupando uma área de aproximadamente 46.000 km², sendo que 8.500 km² são emersos, e sua porção marítima estende-se até a profundidade de 3.000 m. Esta bacia tem como limites, o Alto de Tutóia a leste, o embasamento raso através de falhas de borda que a separam da plataforma de Sobradinho, a sul, a plataforma da Ilha de Santana a oeste. O seu limite noroeste é apenas inferido, correspondendo ao meridiano de 44° W.

Com relação ao embasamento, a Bacia de Barreirinhas desenvolveu-se sobre três grandes elementos do embasamento, de oeste para leste: Cráton de São Luís (parte arqueana), Faixa Gurupi (neoproterozóica) e Província Borborema (neoproterozóica). A Zona de Fratura Oceânica Romanche, à qual a gênese da bacia está intimamente ligada, nucleou-se no contato entre a parte arqueana do Cráton de São Luís e a Faixa Gurupi. O Alto de Tutóia, limite oriental da bacia, desenvolve-se acima do contato entre a Faixa Gurupi e a Província Borborema. A sul da Zona de Fratura Romanche, a bacia encontra-se fortemente deformada por estruturas transpressoriais de idade cenomaniana, que diminuem de intensidade à medida que se aproxima a borda falhada sul, na Plataforma de Sobradinho. A norte da Zona de Fratura Romanche, a Bacia de Barreirinhas adquire um formato típico de bacia de margem passiva, passando quase imperceptivelmente para a Bacia do Pará-Maranhão.

O Grupo Canárias corresponde a megassequência rifte, um conjunto litofaciológico que caracteriza um complexo clástico retrogradante flúvio-deltaico. A unidade Canárias está dividido em três formações: Arpoador (folhelhos cinzas esverdeados), Bom Gosto (arenitos grosseiros cinzentos e imaturos), Tutóia (folhelhos escuros) e Barro Duro (arenitos médios cinzentos e imaturos), e foi depositado em ambiente marinho por leques deltaicos, durante o intervalo Eo-Mesoalbiano, segundo estudos bioestratigráficos baseados em foraminíferos planctônicos e palinórfos.

O Grupo Caju marca o início da sedimentação marinha na bacia, já considerado como a parte basal da sequência de margem passiva. Compreende calcarenitos bioclásticos e oncolíticos (**Formação Bonfim**) e calcilulitos cremes (**Formação Preguiças**), típicos de ambiente marinho nerítico de alta e baixa energia, respectivamente, cujos palinórfos (REGALI et al., 1985) e foraminíferos planctônicos atestam idade neoalbiana. A Formação



FIGURA 5 - Carta Estratigráfica da Bacia de Barreirinhas.
Fonte: Modificado de Feijó (1994).

Periá é definida por Pamplona (1969) como Membro Periá, nomeia os clásticos sotopostos e associados aos carbonatos das Formações Bonfim e Preguiças. Esta Formação caracteriza-se por folhelho cinzento, com calcarenito creme subordinado. As poucas datações bioestratigráficas disponíveis nesta seção apontam para uma idade Neoalbian (REGALI et al., op. cit.). Admite-se para esta unidade uma deposição em ambiente marinho raso.

O Grupo Humberto de Campos representa a seção progradante nerítica a batial e abissal, que foi depositada entre o Turoniano e o Oligoceno. O Grupo Humberto de Campos está dividido em três formações que abrangem as litofácies de seu complexo sistema deposicional. Assim, os sedimentos clásticos grosseiros correspondem à Formação Areinhas, e os carbonáticos depositados sob condição de alta energia definem a Formação Ilha de Santana. Por fim, os folhelhos escuros e arenitos finos intercalados, sotopostos e também em contato lateral com a Formação Ilha de Santana, correspondem à Formação Travosas.

A fase final da sequência pós-rifte encerra-se com os carbonatos depositados em ambiente marinho de alta energia da Formação Pirabas e com os sedimentos clásticos plio-pleistocênicos da Formação Barreiras, limitados por discordâncias causadas por rebaixamentos relativos do nível do mar.

2.2 BACIA DA FOZ DO AMAZONAS

A Bacia da Foz do Amazonas (Figura 6) situa-se na porção oeste da margem continental brasileira, situando-se em frente a todo o litoral do Estado do Amapá e parte do litoral noroeste do Estado do Pará. Com área é de 350.000 km² (BRANDÃO; FEIJÓ, 1994a), sua coluna estratigráfica inclui conjuntos litológicos relacionados às megassequências pré-rifte, sinrifte e pós-rifte.

A fase pré-rifte, de idade triássica, é caracterizada por arenitos finos a médios e de coloração castanho-avermelhada intercalados com basaltos toleíticos (Formação Calçoene). Estes sedimentitos tipificam fácies flúvio-eólico-lacustres, que sugerem sistema deposicional desértico, correlacionado com a Formação Sambaíba, da Bacia do Parnaíba.

A fase sinrifte está relacionada à abertura final do Atlântico, desenvolveu-se entre o Cretáceo Inferior e o Albaptiano, e corresponde aos folhelhos cinza-escuros intercalados com arenitos finos a médios da Formação Caciporé. Estes depósitos caracterizam sistema deposicional flúvio-deltaico-lacustres, com a contribuição de turbiditos.

Por fim, a megassequência pós-rifte abrange três intervalos cronoestratigráficos a saber: a) Albiano Superior - Cenomaniano - sedimentação clástica marinha transgressiva, com seção basal argilosa e seção superior progradante composta por arenitos finos, folhelhos silticos e siltitos, que definem ambiente fluvial anastomosado, flúvio-deltaico, nerítico e batial; b) Campaniano - Mioceno - compõe um sistema de plataforma-talude-bacia, constituído por arenitos médios proximais (Formação Marajó), folhelhos pelágicos distais escuros (Formação Travosas), e rochas carbonáticas proximais (Formação Amapá), interdigitados, que formam uma espessa plataforma carbonática; c) Mioceno - Recente - representado por uma expressiva cunha sedimentar clástica progradante (Grupo Pará), composta por areias finas a grosseiras- Formação Tucunaré, arenitos finos e argilitos- Formação Pirarucu, e folhelhos, siltitos e argilitos de talude e bacia- Formação Orange. Estes sedimentos da unidade Orange correspondem à espessa seção pelítica da foz do Rio Amazonas, região do talude conhecida como Cone do Amazonas, onde se tem uma intensa tectônica gravitacional, que estrutura toda a seção cenozóica por meio de falhas extensionais na zona de plataforma e falhas de empurrão no talude.

O Grupo Pará pode ser correlacionado com a parte superior do Grupo Humberto de Campos, das bacias Pará-Maranhão e Barreirinhas.

A Bacia de Caciporé localiza-se na plataforma continental do Estado do Amapá, e ocorre no prolongamento na direção NW do sistema de riftes que ocorre desde o Pará, incluindo também os grábens da Bacia do Marajó. Correspondendo a um semi-gráben, encontram-se nela representados, sedimentitos e rochas vulcânicas das megassequências pré-rifte e rifte, onde nesta última foram reconhecidas duas fases. A megassequência pré-rifte inclui arenitos, siltitos e folhelhos da Formação Limoeiro, enquanto a primeira fase da megassequência rifte inclui arenitos da Formação Marajó. Por fim, a segunda fase rifte é caracterizada por rochas carbonáticas da Formação Amapá (correspondente à Formação Pirabas) e folhelhos da Formação Travosas. O padrão tectono estratigráfico é bastante semelhante ao que se observa na Bacia da Foz do Amazonas.

A Bacia do Marajó estende-se desde a região da Bacia do Amazonas, adentrando a região da Foz do Amazonas na Ilha do Marajó, onde se bifurca em dois ramos, o gráben de Mexiana a norte, e o gráben de Limoeiro a leste da Ilha do Marajó. Com espessura total de 11.000 m, são reconhecidas as megassequências pré-rifte, sinrifte e pós-rifte, representadas respectivamente pelas formações Calçoene, Caciporé e Marajó. Convém ressaltar que as duas últimas unidades litoestratigráficas citadas são correspondentes estratigráficas respectivas das unidades Grupo

Caju e Formação Pirabas, reconhecidas e bem definidas em todas as bacias do segmento transformante.

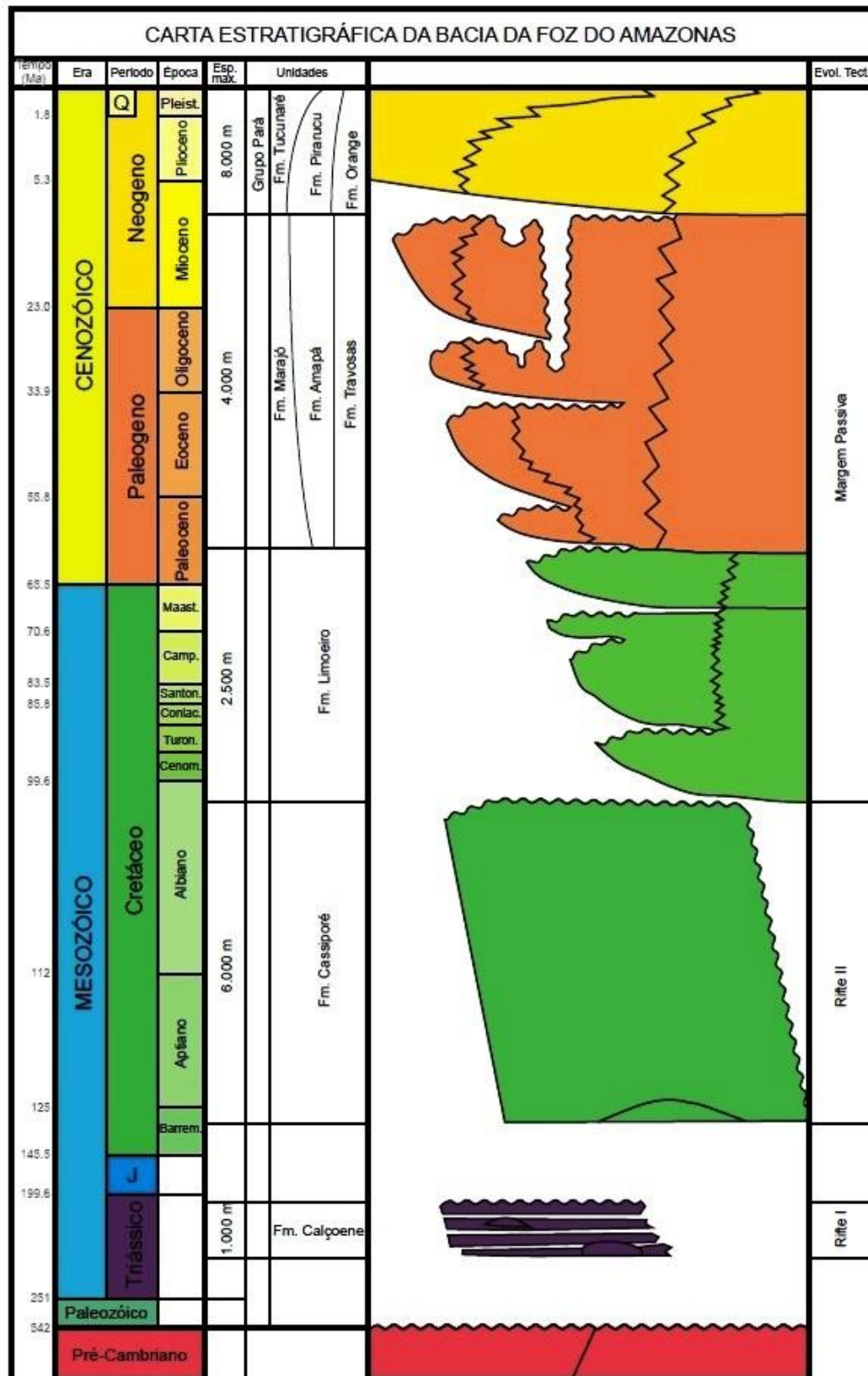


FIGURA 6 - Carta Estratigráfica da Bacia da Foz do Amazonas.
 Fonte: Modificado de Brandão e Feijó (1994a).

2.3 BACIA PARÁ-MARANHÃO

A Bacia do Pará-Maranhão (Figura 7), localizada na costa dos estados do Pará e Maranhão, é uma bacia exclusivamente marítima entre os meridianos 47° W e 44° W e os paralelos de 1° S e 1° N, ocupando uma área de aproximadamente 48.000 km². Seus limites a oeste e a sul correspondem a plataforma da Ilha de Santana, caracterizada por embasamento raso, a partir da qual a bacia se estende para as águas rasas e profundas, até à cota batimétrica de 3.000 m. Desenvolvida inteiramente sobre o Cráton de São Luís, rompido de maneira praticamente ortogonal à sua trama estrutural durante a separação África - América do Sul, na Bacia Pará-Maranhão são caracterizadas duas megassequências tectonossedimentares, depositadas em diferentes fases da evolução da bacia.

A megassequência sinrifte caracteriza-se por uma sedimentação flúvio/deltaica/lacustrina, confinada a semi-grábens, abrangendo litologicamente arenitos líticos cinza claros, finos a grossos, imaturos, siltitos cinzas a castanho avermelhados e folhelhos cinza-médios a esverdeado, depositados durante o Eo-Albiano. A megassequência de margem passiva compreende o Grupo Caju constituído por arenitos quartzosos médios a grossos, folhelhos escuros e localmente calcarenitos bioclásticos e oncolíticos, depositado em ambiente marinho entre o Albiano Superior e o Santoniano, além de um segundo intervalo estratigráfico (Campaniano - Recente) caracterizado por uma sedimentação regressiva. Neste intervalo mais jovem ocorrem uma extensa plataforma carbonática, incluindo biocalcarenitos, biocalcirruditos, calcarenitos finos e calcilutitos (Formação Ilha de Santana), folhelhos cinzentos e siltitos com eventuais intercalações de arenito quartzoso fino (Formação Travosas) e arenitos proximais quartzosos grosseiros (Formação Areinhas). As bacias de Bragança-Viseu e São Luís-Ilha Nova constituem um sistema de riftes (grábens e semi-grábens) situados nas proximidades do Estado do Pará e Maranhão, respectivamente.

Limitadas na parte sul pela plataforma de Sobradinho, Arco Ferrer e cinturão de dobramentos do Gurupi, e a norte pela plataforma da Ilha de Santana, seus arcabouços geológicos apresentam duas fases tectônicas, megassequências pré-rifte e rifte.

A fase pré-rifte está representada por sedimentitos paleozóicos a triássicos relacionados à Bacia do Parnaíba, enquanto que a fase rifte é definida por sedimentitos arenosos a conglomeráticos relacionados ao sistema Grajaú-Codó-Itapecuru da Bacia do Grajaú, bem como siliciclásticos correspondentes estratigráficos dos grupos Caju e Humberto de Campos, bem representativos das bacias Pará-Maranhão e Barreirinhas. Toda esta seção

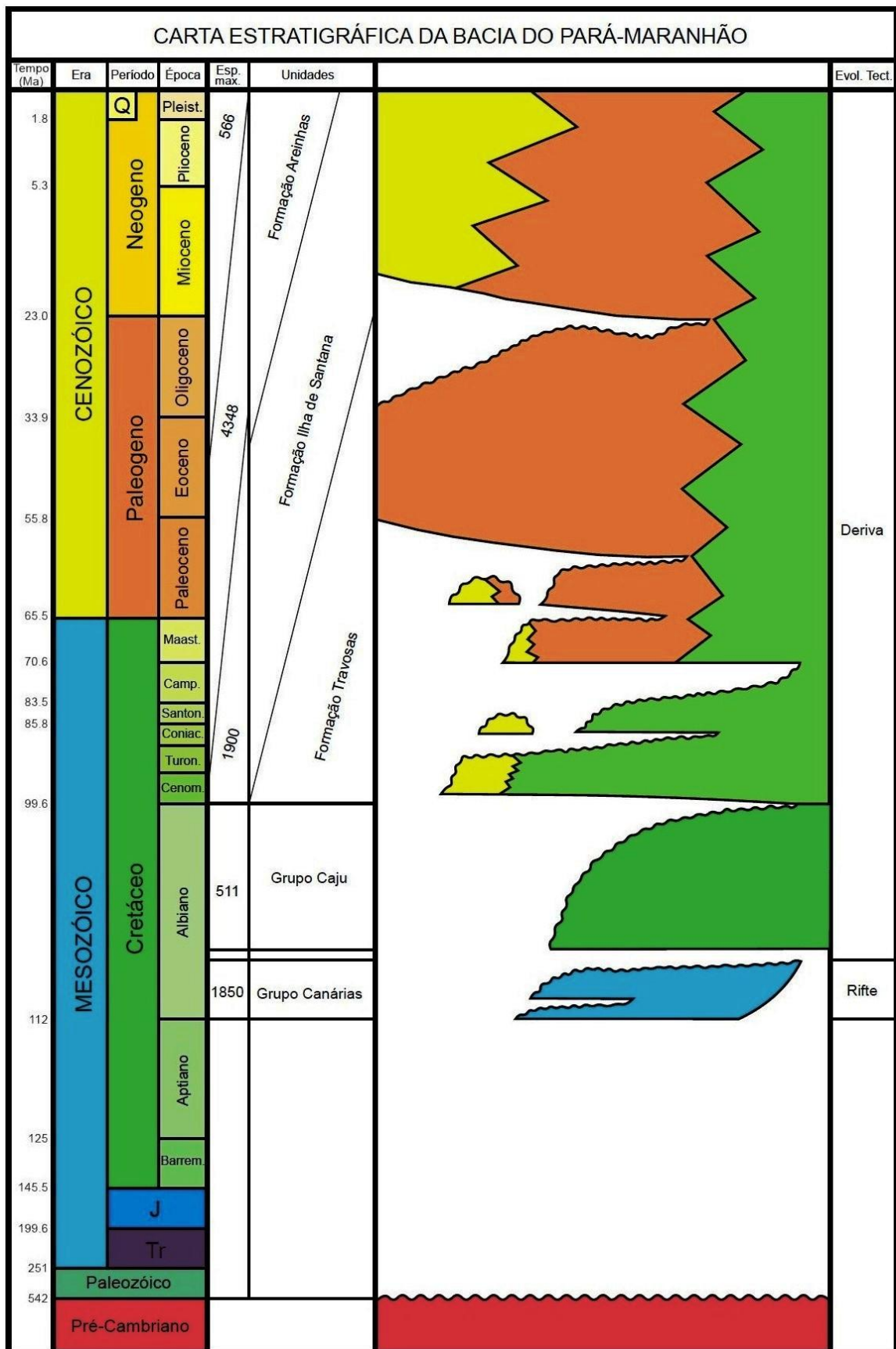


FIGURA 7 - Carta Estratigráfica da Bacia Pará-Maranhão.
 Fonte: Modificado de Brandão e Feijó (1994b).

geológica é recoberta por sedimentitos carbonáticos equivalentes à Formação Pirabas.

3 FORMAÇÃO PIRABAS

3.1 GEOLOGIA

A sucessão miocênica do estado do Pará desenvolveu-se sob condições de forte controle tectônico, com o desenvolvimento de vales incisos que se encaixam ao longo de zonas de falhas (ROSSETTI; GÓES, 2004). As estruturas que controlaram o desenvolvimento da Formação Pirabas e do Grupo Barreiras são falhas normais NW-SE e inclinadas para NE, e falhas transcorrentes NE-SW que funcionaram como zonas de transferência. Este fenômeno é entendido como decorrente do último episódio de manifestação extensional na margem equatorial brasileira, durante o evento de separação América do Sul – África (COSTA et al., 1993).

O arranjo dos depósitos da Formação Pirabas evidencia padrão geral progradacional, revelado pela superposição de fácies de plataforma aberta por fácies progressivamente mais costeiras, associadas a sistema deposicional contendo ilhas-barreiras (GÓES et al., 1990). Também foram reconhecidos vales estuarinos incisos, através da abundância de depósitos formados sob influência de processos de marés em ambientes canalizados, típicos de estuários. Estes depósitos são caracterizados por litologias típicas com gradações laterais e verticais, geneticamente relacionadas com uma variedade de outros depósitos comuns a sistemas estuarinos, destacando-se particularmente delta de maré, baía/laguna estuarina, planície de maré e mangue. O relacionamento desses depósitos com estratos atribuídos à plataforma rasa, e a associação icnológica, com representantes de ambientes marinhos estressados e com influência de água salobra, são importantes elementos na caracterização da natureza estuarina dos processos de sedimentação (ROSSETTI; GÓES, op. cit.).

As características estratigráficas sugerem deposição sedimentar em condições de nível de mar alto, durante um período de relativa estabilidade tectônica. A individualização de estratos por critérios paleoecológicos permite a caracterização de ecozonas, que refletem diretamente, em perfis geológicos, os aspectos da dinâmica dos ambientes deposicionais. As ecozonas definem condições de ambiente mais raso, que gera contração no ecoespaço e elevada relação siliciclásticos/carbonatos, produtos de pulsação tectônica. Correspondem a áreas de planícies costeiras, localizadas em áreas planas de plataforma continental ampla, e sujeitas à transgressão e criação por atividade tectônica de espaço de acomodação de

sedimentos pela subsidência. Com isso, também foram individualizados vales estuarinos incisos, em associação com discordâncias.

Considera-se que os depósitos estuarinos formaram-se durante a passagem de trato de sistema transgressivo a mar alto, sugerido pelo caráter progradante da sedimentação. A progradação ocorreu através de episódios múltiplos de variação do nível do mar de alta frequência, os quais se superimpuseram aos processos transgressivos e de mar alto, fácies proximais, intermediárias e distais dos sistemas estuarinos (ROSSETTI; GÓES, 2004).

3.2 CORALINOFAUNA

A fauna coralínea da Formação Pirabas foi inicialmente documentada por Maury (1925), que reportou os gêneros *Flabellum* e *Dendrophyllia* em amostras da localidade Fazenda, ilha de Fortaleza. Fernandes (1979, 1981) apresentou estudo complementar, com a descrição de seis táxons já registrados em outras unidades terciárias, incluindo-se *Dendrophyllia* sp., *Balanophyllia* sp., *Cladocora* sp., *Discotrochus* sp., *Stylophora* cf. *S. silicensis* e *Flabellum wailesi*, além de uma nova espécie, *F. lyricum*, registrada até o momento exclusivamente em estratos atribuídos à ecofácies Capanema. A associação coralínea (Figura 8), composta por formas típicas de águas marinhas rasas, claras e límpidas e quentes, confirma esta caracterização ambiental, que é típica da ecofácies Castelo.

A presença do gênero *Flabellum* também na ecofácies Capanema, correspondente a depósitos de plataforma restrita/laguna, sugere sua sobrevivência em condições ambientais menos agitadas e caracterizadas por abundância de terrígenos em suspensão. Recentemente, uma nova espécie do coral escleractíneo *Caryophyllia* (*Acanthocyathus*) *fernandesi* foi registrado em depósitos de plataforma aberta e de plataforma restrita/laguna, o que sugere que também este táxon não apresentava restrições ambientais quanto à movimentação das águas e salinidade (TÁVORA et al., 2002a).

Lalor e Távora (2006) apresentaram a caracterização sistemática de novos elementos da coralinoфаuna da Formação Pirabas (Figura 8), reconhecendo *Trochoseris catadupensis*, *Discotrochus* sp., *Fungia* (*Cycloseris*) *costulata*, *Plascomilia* sp., *Bathycyathus* sp., *Asterosmilia compressa*, *Balanophyllia* (*Eupsammia*) sp. e *Dendrophyllia* sp. Estas espécies são anermatípicas, guardam estreita afinidade com as faunas presentes em unidades litoestratigráficas terciárias das Américas do Sul e Central, e são comuns nas biotas marinhas

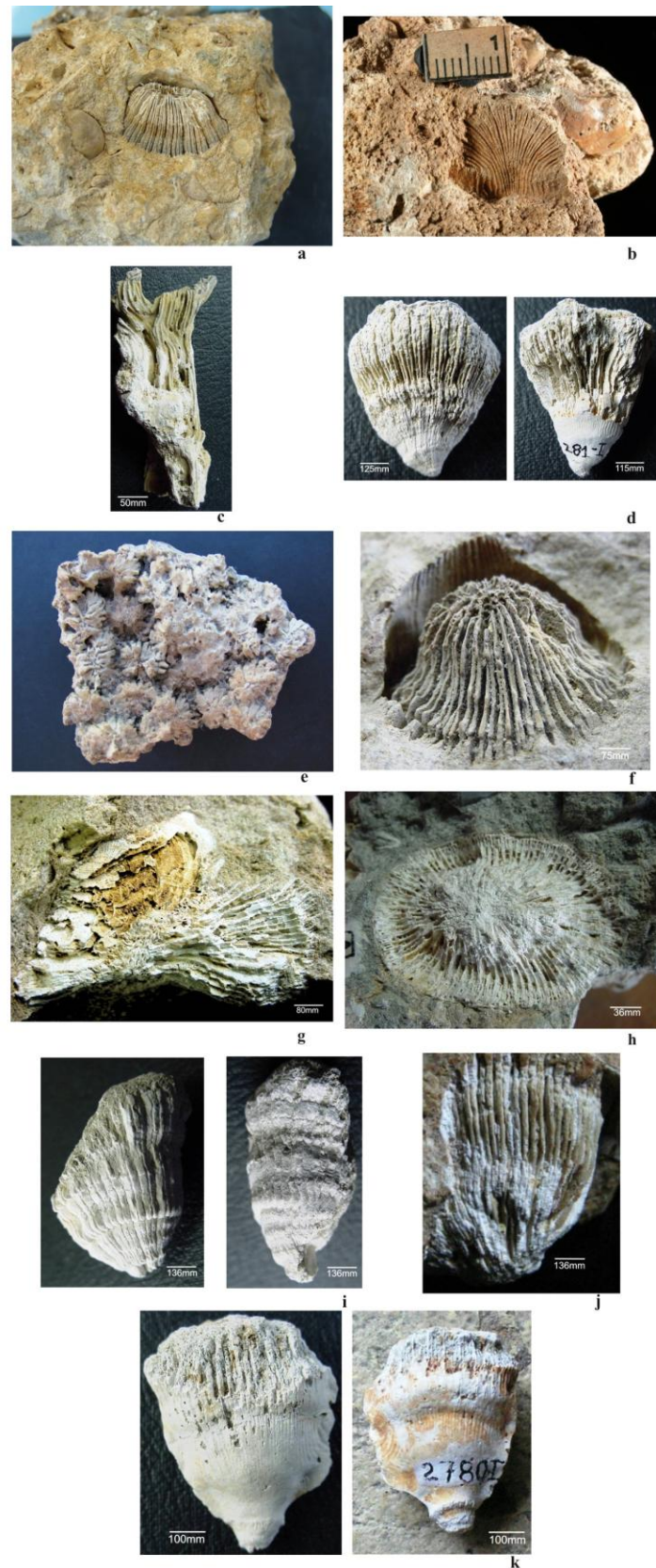


FIGURA 8 - Coralinofauna da Formação Pirabas: a- *Flabellum walesi*; b- *Flabellum lyricum*; c- *Dendrophyllia* sp.; d- *Balanophyllia* sp.; e- *Cladocora* sp.; f- *Discotrochus* sp.; g- *Trochoseris catadupensis*; h- *Fungia (Cycloseris) costulata*; i- *Plascomilia* sp.; j- *Bathycyathus* sp.; k- *Asterosmilia compressa*.

desde o Eoceno. *Asterosmilia compressa* é mais um fóssil-guia para a unidade Pirabas, pois marca o Mioceno Inferior na República Dominicana. *Fungia (Cycloseris) costulata*, registrada apenas como Recente no continente asiático, está presente na Formação Pirabas, limite sul da província biogeográfica Caribeana, como o primeiro registro no Brasil de endemismo disjunto ou bipolaridade, comum em grupos cujos eventos biológicos de rápida evolução e irradiação, que permite ocorrência de uma espécie em continentes extremos separados por grandes barreiras, ainda que em intervalos distintos de tempo geológico.

Assim, até o presente momento foram reconhecidos e/ou formalizados os táxons abaixo listados, cujas distribuições geográficas e estratigráficas estão na (Tabela 1).

TABELA 1 - Distribuição Geográfica e estratigráfica dos táxons de corais da Formação Pirabas.

TÁXONS		OCORRÊNCIAS		DISTRIBUIÇÃO ESTRATIGRÁFICA
Gêneros	Espécies	Mundial	Formação Pirabas (Pará)	
<i>Stylophora</i>	<i>Stylophora</i> cf. <i>S. silicensis</i>	Europa, América do Norte, América do Sul e Indo Pacífico	Praia do Maçarico e Atalaia (Salinópolis)	Eoceno-Recente
<i>Discotrochus</i>	<i>Discotrochus</i> sp.	E.U.A., Itália e Rússia	Fazenda, Ponta do Castelo, praias do Maçarico e Atalaia (Salinópolis), ilha de Fortaleza, baía de Pirabas e Primavera	Oligoceno-Mioceno
<i>Fungia</i>	<i>Fungia (Cycloseris) costulata</i>	Indo Pacífico e Hawaii	-	Mioceno-Recente
<i>Trochoseris</i>	<i>Trochoseris catadupensis</i>	Eurásia e Índia Oeste	-	Mesocretáceo-Oligoceno
<i>Cladocora</i>	<i>Cladocora</i> sp.	Europa, Mediterrâneo, Atlântico, Índia Oeste, América do Norte e Pacífico Leste	Caieira (Capanema)	Cretáceo Superior-Recente
<i>Placosmilia</i>	<i>Placosmilia</i> sp.	Áustria	-	Cretáceo Superior-Eoceno
<i>Flabellum</i>	<i>Flabellum wailesi</i>	Hawaii	Ilha de Fortaleza, baía de Pirabas, Primavera, Praia do Atalaia (Salinópolis), colônia Pedro Teixeira (Capanema)	Eoceno-Recente
	<i>Flabellum lyricum</i>		Jazida Arecê (CIBRASA-AS), colônia Pedro Teixeira, jazida B-9 (CIBRASA)	
<i>Caryophyllia</i>	<i>Caryophyllia (Acanthocyathus) fernandesi</i>	Transilvânia e Romênia	Jazida B-17, praia do Atalaia (Salinópolis)	Jurássico Superior-Recente
<i>Bathycyathus</i>	<i>Bathycyathus</i> sp.	Europa, América do Norte, Índia Oeste, Pacífico Sudeste	-	Cretáceo-Recente
<i>Asterosmilia</i>	<i>Asterosmilia compressa</i>	Índia Oeste	-	Oligoceno-Recente
<i>Dendrophyllia</i>	<i>Dendrophyllia</i> sp.	Filipinas	Praias do Maçarico e Atalaia (Salinópolis)	Eoceno-Recente
<i>Balanophyllia</i>	<i>Balanophyllia</i> sp.	Itália e França (Paris)	Praias do Maçarico e Atalaia (Salinópolis)	Eoceno-Recente
	<i>B. (Eupsammia) sp.</i>		-	

	<i>Incertae sedis</i>		Praias do Maçarico e Atalaia (Salinópolis)	
--	-----------------------	--	--	--

Fonte: Modificado de Wells (1956 in MOORE, 1956).

3.3 BRIOZOOFAUNA

Os primeiros registros de elementos da briozoo fauna na Formação Pirabas deram-se com as descrições da espécie nova *Lunulites pileolus*, White (1887) e do gênero *Cupuladria* (BARBOSA, 1957, 1959a, 1959b, 1967, 1971; MAURY, 1925), também procedentes de amostras coletadas na ilha de Fortaleza. Dentre os trabalhos de Barbosa, foram descritas duas espécies novas de macrocolônias, além de outras três de microcolônias já conhecidas fora do Brasil e identificadas em uma sondagem realizada pelo Conselho Nacional do Petróleo na ilha do Marajó. Destaca-se, ainda, a ocorrência de *Cupuladria canariensis* que, por ter surgido no Mioceno, foi sugerido ser o fóssil guia da Formação Pirabas (BARBOSA, 1971). Mais recentemente, *Lunulites* foi também registrado em argilitos negros atribuídos a ambientes de mangue (FERNANDES et al., 1994). Nove gêneros de microcolônias de briozoários e um gênero construtor de macrocolônias (*Flustra*) foram reportados em depósitos carbonáticos de plataforma restrita/laguna na localidade de Aricuru, município de Maracanã e jazida B-17 da Companhia Cimentos do Brasil S/A- CIBRASA, município de Capanema (TÁVORA; FERNANDES, 1994).

Os briozoários fósseis cenozóicos do Estado do Pará (Figura 9) são abundantes e diversos, sendo mais comuns as macrocolônias lunulitiformes, cupuliformes, incrustantes e respectivamente representativas dos gêneros *Lunulites*, *Cupuladria*, *Steginoporella* e *Flustra*, bem como são freqüentes microcolônias unisseriais/bisseriais eretas (*Bugula*, *Nellia*, *Crisia*, *Idmidronea*, *Pasythea*, *Vincularia*, *Vittaticella*) e multisseriais incrustantes (*Lichenopora*, *Metrarabdotos*, *Trigonopora*, *Biselenaria*), cujas dimensões das colônias e zoóides estão dentro do intervalo comum para representantes destes táxons em ambientes de baixa a média latitude, condições climáticas tropicais a subtropicais e temperadas. Observações morfométricas em colônias jovens, adultas e senis evidenciaram que estes elementos atingem o estágio adulto na maioria das vezes, com dimensões pouco acima das consideradas padrões, cujos maiores valores de alongação e espaçamento dos zoóides, estão nos unisseriais, enquanto que nos incrustantes os zoécios são mais largos e mais polimórficos devido possuírem ovicelas, aviculárias e vibráculas. Nas formas eretas também foi observado maior espessamento nas porções distais dos zoécios situados nas extremidades zoariais. Estes dados aliados ao reconhecimento de alta taxa de calcificação dos zoécios estudados supõem que a briozoo fauna é típica de regiões de águas quentes, tropicais, cuja alta disponibilidade de carbonato de cálcio representa um fator decisivo para a sua instalação eficaz e estável também

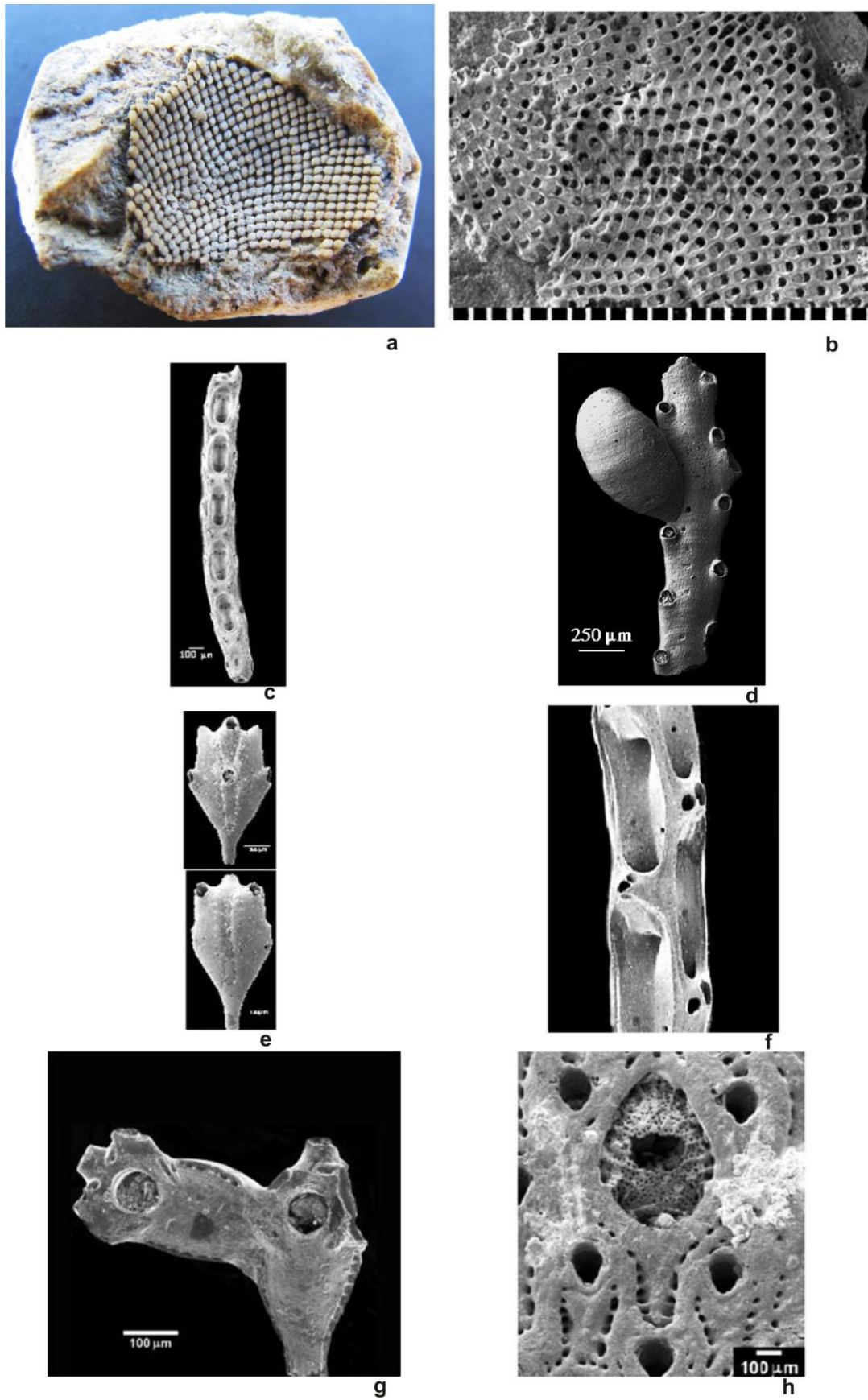


FIGURA 9 - Briochofauna da Formação Pirabas: a- *Lunulites pileolus*; b- *Steginoporella*; c- *Nellia*; d- *Crisia*; e- *Pasythea*; f- *Vincularia*; g- *Vittaticella*; h- *Metrarabdotos*.

pela grande disponibilidade nutricional, comum em ambientes marinhos rasos tropicais e, portanto, também eutróficos. A variedade zoarial e alta diversidade específica, a baixa razão EU/EM (esqueletos unisseriais/esqueletos multisseriais) e variando entre equilibrada e alta a razão I/E (incrustantes e eretas), atestam condições de batimetrias rasas, salinidade normal, nível de energia e taxa de sedimentação variando entre baixo e moderado. A abundância relativa de diferentes formas de crescimento das colônias de briozoários relacione-se também à existência de substratos com diferentes graus de estabilidade temporal no ambiente nerítico do mar de Pirabas. As formas eretas unisseriais (*Crisia*, *Nellia* e *Vitaticella*) e multisseriais (*Pasythea* e *Idmidronea*) flexíveis articuladas tipificam substrato rígido temporário (*short-term-lived*), cujas colônias fixavam-se predominantemente em superfícies vivas, enquanto as colônias multisseriais fixas por meio de filamentos similares a raízes (*Cupuladria* e *Lunulites*) habitaram preferencialmente substratos arenosos ou rígidos moderadamente estáveis (*moderate-term-lived*), tais como conchas de outros organismos já mortos, blocos rochosos centimétricos ou ainda quaisquer obstáculo físico existente no substrato. Por fim, a morfologia zoarial uniserial de *Vincularia* e multisserial de *Metrarabdotos* e *Trigonopora*, ereta rígida com ramos robustos, caracteriza a existência de substrato rígido indefinidamente estável (*very-long-term-lived*), como blocos rochosos de dimensões métricas e os recifes. Na zona caracterizada por elementos faunísticos estenobiônicos típicos de recifes de corais, os elementos reconhecidos estão associados com algas coralíneas, corais hermatípicos, espongiários e o gastrópode *Orthaulax pugnax*. Ressalta-se que *Flustra* e *Bugula* é compatível com este ambiente, por possuírem esqueleto rígido multisserial com ramos delicados, e habitarem as cavidades naturais dentro dos biohermas e blocos rochosos maciços, espaços estes denominados de refúgios espaciais.

Com relação aos briozoários estão relacionados abaixo as espécies registradas até o momento, cujas distribuições geográficas e estratigráficas encontram-se especificadas na (Tabela 2).

Os elementos representativos dos coelenterados e briozoários tiveram surgimento e/ou grande expansão no Oligoceno e Mioceno, além de outros restritos ao Eomioceno. São espécies que guardam estreitas relações de afinidade ou correlação com outras formações sincrônicas da província caribenha, que ocorrem desde o sul dos Estados Unidos e México, até a América Central e região do Caribe. Tal semelhança permite considerar que o mar de Pirabas foi, sem dúvida, o limite sul desta província nos tempos miocênicos.

TABELA 2 - Distribuição Geográfica e estratigráfica dos táxons de briozoários da Formação Pirabas.

TÁXONS		OCORRÊNCIAS		DISTRIBUIÇÃO ESTRATIGRÁFICA
Gêneros	Espécies	Mundial	Formação Pirabas (Pará)	
<i>Crisia</i>	<i>Crisia</i> sp.	Atlântico e Europa	Aricuru e Bragança	Eoceno-Recente
<i>Idmonea</i>	<i>Idmonea</i> sp.	França	Aricuru	Jurássico
<i>Lichenopora</i>	<i>Lichenopora grignonensis</i>	-	Bacia do Marajó	Cretáceo-Recente
<i>Vincularia</i>	<i>Vincularia</i> sp.	França	Aricuru e Bragança	Eoceno-Recente
<i>Cupuladria</i>	<i>Cupuladria canariensis</i>	Atlântico	-	Mioceno-Recente
<i>Flustra</i>	<i>Flustra</i> sp.	Norte Atlântico	Aricuru, Jazida B-9 e Jazida B-17	-
<i>Biselenaria</i>	<i>Biselenaria placentula</i>	Alemanha	Bacia do Marajó	Eoceno-Oligoceno
<i>Nellia</i>	<i>Nellia oculata</i>	-	Aricuru, Bragança, Jazida B-9 e Jazida B-17.	Eoceno-Recente
<i>Bugula</i>	<i>Bugula</i> sp.	Atlântico	Aricuru e Bragança	Recente
<i>Lunulites</i>	<i>Lunulites pileolus</i>	Norte caribeano e França	Jazida B-9, Jazida B-17	Cretáceo-Eoceno
	<i>Lunulites pirabicus</i>			
<i>Steginoporella</i>	<i>Steginoporella pirabensis</i>	Golfo do México	Jazida B-9, Jazida B-17	Eoceno-Recente
<i>Metrarabdotos</i>	<i>Metrarabdotos</i> sp.	Inglaterra	Aricuru, Bragança, Jazida B-9 e Jazida B-17	Eoceno-Recente
<i>Pasythea</i>	<i>Pasythea tulipifera</i>	Oeste da Índia	Aricuru, Bragança, Jazida B-9 e Jazida B-17	Recente
<i>Vittaticella</i>	<i>Vittaticella elegans</i>	Austria	Aricuru e Bragança	Terciário
<i>Trigonopora</i>	<i>Trigonopora monilifera</i>	Inglaterra e Austria	Bacia do Marajó	Eoceno-Recente

Fonte: Modificado de Bassler (1953 in MOORE, 1953).

4 SISTEMAS PETROLÍFEROS

O petróleo é uma substância viscosa, mais leve que a água, composta principalmente por hidrocarbonetos (Carbono e Hidrogênio) e quantidades bem menores de Oxigênio, Nitrogênio e Enxofre, podendo existir no seu reservatório natural no estado líquido ou gasoso. Os principais estados do petróleo são o gás natural (que não condensa em temperatura e pressão normais), condensado (gasoso em subsuperfície; condensado em superfície) e óleo bruto (parte líquida).

De acordo com a Teoria Orgânica, as principais condições para a formação (origem) do petróleo condizem com a quantidade necessária de matéria orgânica específica (fitoplâncton marinho) que deve ser depositada em bacia marinha profunda em condições de pressão e temperatura adequadas. O ambiente deve ser tectonicamente estável, pobre em O₂ e a sedimentação deve favorecer a geração do folhelho negro constituindo a rocha geradora.

Os principais contribuintes reconhecidos como matéria orgânica formadora de petróleo são restos de bactérias e algas marinhas. O peso das rochas que se formam sobre os restos de microorganismos vai proporcionar a pressão e temperatura necessárias para que o petróleo seja gerado, além do gradiente geotérmico.

Os estágios de transformação da matéria orgânica em petróleo são denominados de diagênese, catagênese e metagênese. Já a geração de petróleo pode ser classificada como imatura, matura ou supermatura (processo chamado de maturação térmica). A quantidade, a qualidade e a maturidade térmica da matéria orgânica contida nas rochas geradoras determinarão a quantidade e a qualidade do petróleo a ser gerado.

O petróleo é formado na rocha geradora a partir dos microorganismos marinhos em bacias marinhas ou continentais. A caracterização dessa rocha é uma ferramenta essencial para a avaliação dos riscos exploratórios, pois a ocorrência de sequências sedimentares em matéria orgânica pode ser um indício diagnóstico para acumulações de óleo ou gás.

Segundo Demaison e Moore (1980) as rochas geradoras (potenciais) ricas em matéria orgânica foram (e ainda são) depositadas em quatro tipos principais de ambientes anóxicos como em bacias anóxicas embarreiradas (Mar Negro- Situado entre Europa, a Anatólia e o Cáucaso; Mar Báltico- Nordeste da Europa/ **Jurássico Inferior**), leitos anóxicos em oceano aberto (Índico, Atlântico, folhelhos negros do **Neo-Jurássico** e **Meso-Cretáceo**), grandes lagos anóxicos (Lago da Tanganica- África, Formação Green River- Estados Unidos/ **Eoceno**) e leitos anóxicos produzidos por ressurgência (Costa da Califórnia, Peru, Chile, Austrália

Ocidental, Sudoeste da África/ **Terciário da Califórnia**). O estudo dessas rochas e a distribuição das fácies orgânicas associadas correspondem a uma avaliação estratégica de bacias sedimentares com potencial petrolífero. Estes hidrocarbonetos são encontrados nas bacias sedimentares em rochas reservatório, que são porosas e permeáveis. Todavia, para que o óleo flua pelas rochas, ao longo do poço perfurado, a porosidade deve ser efetiva e os poros devem estar conectados. As rochas reservatório devem estar envolvidas por outra rocha que deve ter um comportamento impermeável, chamada de selante.

As trapas são as armadilhas responsáveis para que o óleo não alcance a superfície. Elas podem ser simples como o flanco de homoclinais ou domos salinos, ou, mais comumente, como o ápice de dobras anticlinais/arcos/domos salinos, ou até situações complexas como superposição de dobras e falhas de natureza diversas. Este tipo de aprisionamento, em uma estrutura elevada, é denominado de trapeamento estrutural. Nem sempre o petróleo é aprisionado em situações estruturais. Eventualmente, a migração do petróleo pode ser detida pelo acunhamento da camada transportadora, ou bloqueio da mesma por uma barreira diagenética ou de permeabilidade, ficando então retido em posições estruturalmente não notáveis. Neste caso, teremos um trapeamento de caráter stratigráfico. O que permite a recuperação comercial do óleo é a existência da armadilha ou trapa (rocha reservatório + selante).

O fenômeno que faz com que as rochas geradoras, reservatórios, selantes, trapas e migração se originem e se desenvolvam em uma escala de tempo adequada para a formação de acumulações de petróleo é denominado de **sincronismo**. Assim sendo, uma vez iniciada a geração de hidrocarbonetos dentro de uma bacia sedimentar, após um soterramento adequado, o petróleo expulso da rocha geradora deve encontrar rotas de migração já formadas, seja por deformação estrutural anterior ou por seu próprio mecanismo de sobrepressão desenvolvido quando da geração. Da mesma maneira, a trapa já deve estar formada para atrair os fluidos migrantes, os reservatórios porosos já devem ter sido depositados, e não muito soterrados para perderem suas características permo-porosas originais, e as rochas selantes já devem estar presentes para impermeabilizar a armadilha. Se estes elementos e fenômenos não seguirem uma ordem temporal favorável, o sincronismo, de nada adiantará a existência defasada de grandes estruturas, abundantes reservatórios e rochas geradoras com elevado teor de matéria orgânica na bacia sedimentar.

O conjunto de rochas geradora, reservatório e selante, bem como o processo de migração do petróleo constituem o denominado Sistema Petrolífero (Figura 10).

A utilização e a interpretação dos resultados analíticos de geoquímica orgânica

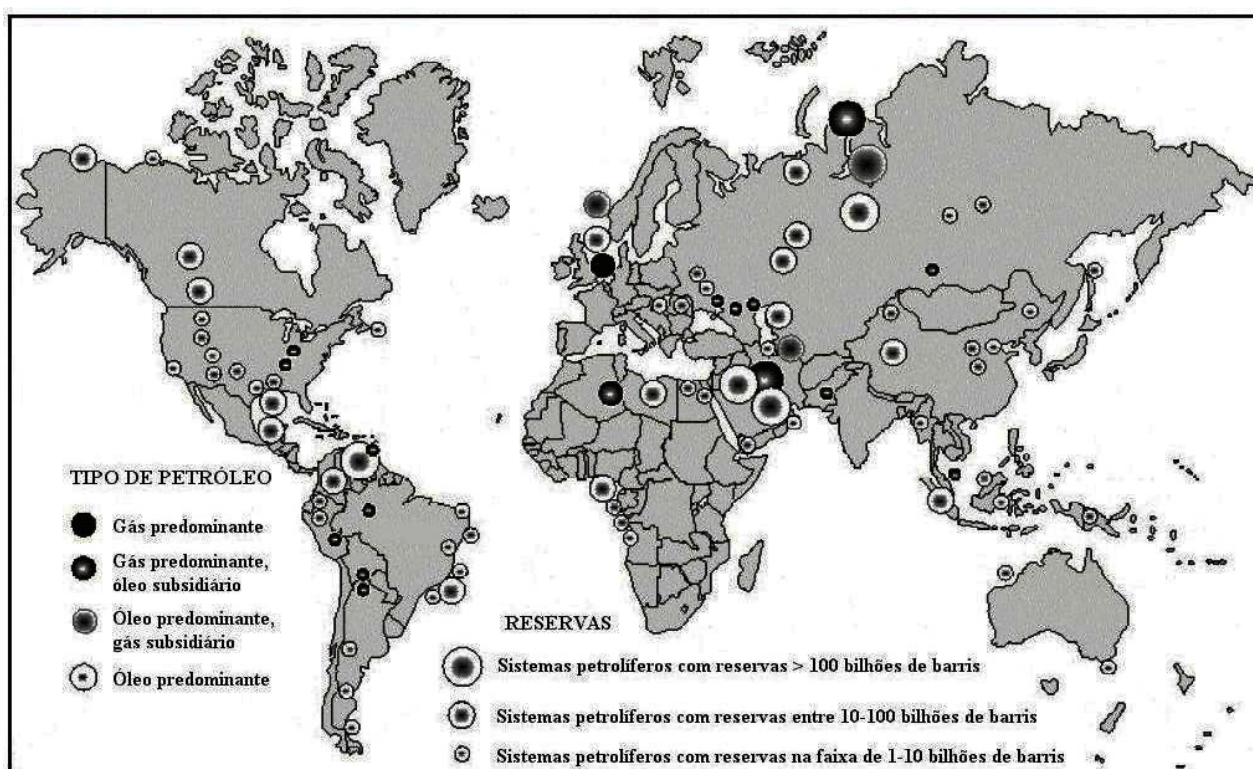


FIGURA 10 - Distribuição dos sistemas petrolíferos com maiores reservas de petróleo (exclusive águas profundas e ultraprofundas) do mundo. O tamanho do círculo é proporcional às reservas encontradas no sistema petrolífero.

Fonte: Modificado de Milani et al. (2000).

representam uma das etapas mais importantes para o sucesso da exploração petrolífera, pois permitem o posicionamento espacial e temporal da ocorrência de uma determinada fácies potencialmente geradora de hidrocarbonetos. Aliado a este mapeamento, o conhecimento de sistemas deposicionais, petrofísica, geofísica e geotectônica favorecem a modelagem dos sistemas petrolíferos bem como o comportamento de sucessões sedimentares no que diz respeito à história de soterramento, ao tempo de geração e quantidade de hidrocarbonetos gerados, composição do petróleo, cinética do tipo de querogênio, eficiência de expulsão de hidrocarbonetos e dados sobre as propriedades da fração orgânica e sua interação com a fração mineral.

4.1 PROVÍNCIAS PETROLÍFERAS BRASILEIRAS

No Brasil encontram-se caracterizadas oito províncias petrolíferas (Figura 11), incluídas nas bacias Solimões, Ceará, Potiguar, Sergipe-Alagoas, Recôncavo, Espírito Santo, Campos e Santos. A produção petrolífera também foi alcançada, em pequena escala, nas bacias terrestres de Barreirinhas (MA) e do Tucano (BA).

Volumes comerciais de petróleo em rochas paleozóicas são encontrados, até o presente momento, apenas da Bacia do Solimões. O Sistema Petrolífero constatado inclui folhelhos devonianos como rochas geradoras e arenitos neocarboníferos como rochas reservatório. A capacidade limitada em preservar hidrocarbonetos líquidos relaciona-se com a complexa história térmica a que foram submetidas estas rochas.

Nas bacias mesozóicas foram estabelecidos quatro principais sistemas geradores de petróleo, com idades e litologias próprias. O primeiro de idade neocomiana, é definido por corpos arenosos, e ocorrem nas bacias de Potiguar e Recôncavo, cujo óleo também está acumulado em rochas areníticas de mesma idade. O segundo, de idade neocomiana-barremiana, é representado por folhelhos calcíferos, nas bacias de Campos e Espírito Santo, sendo que o seu óleo acumulou-se nos leques turbidíticos do Neocretáceo e Terciário, e carbonatos albianos. A terceira seção geradora é aptiana, corresponde aos folhelhos negros associados ao pacote evaporítico, acumulados durante a fase transicional da evolução da margem continental atlântica, e registrados nas bacias do Ceará, Potiguar e Sergipe-Alagoas. Seus principais reservatórios são arenitos deltaicos de idade entre o Neo-Aptiano e o Eoceno. O quarto sistema gerador é albiano, e definido por horizontes carbonáticos ricos em matéria

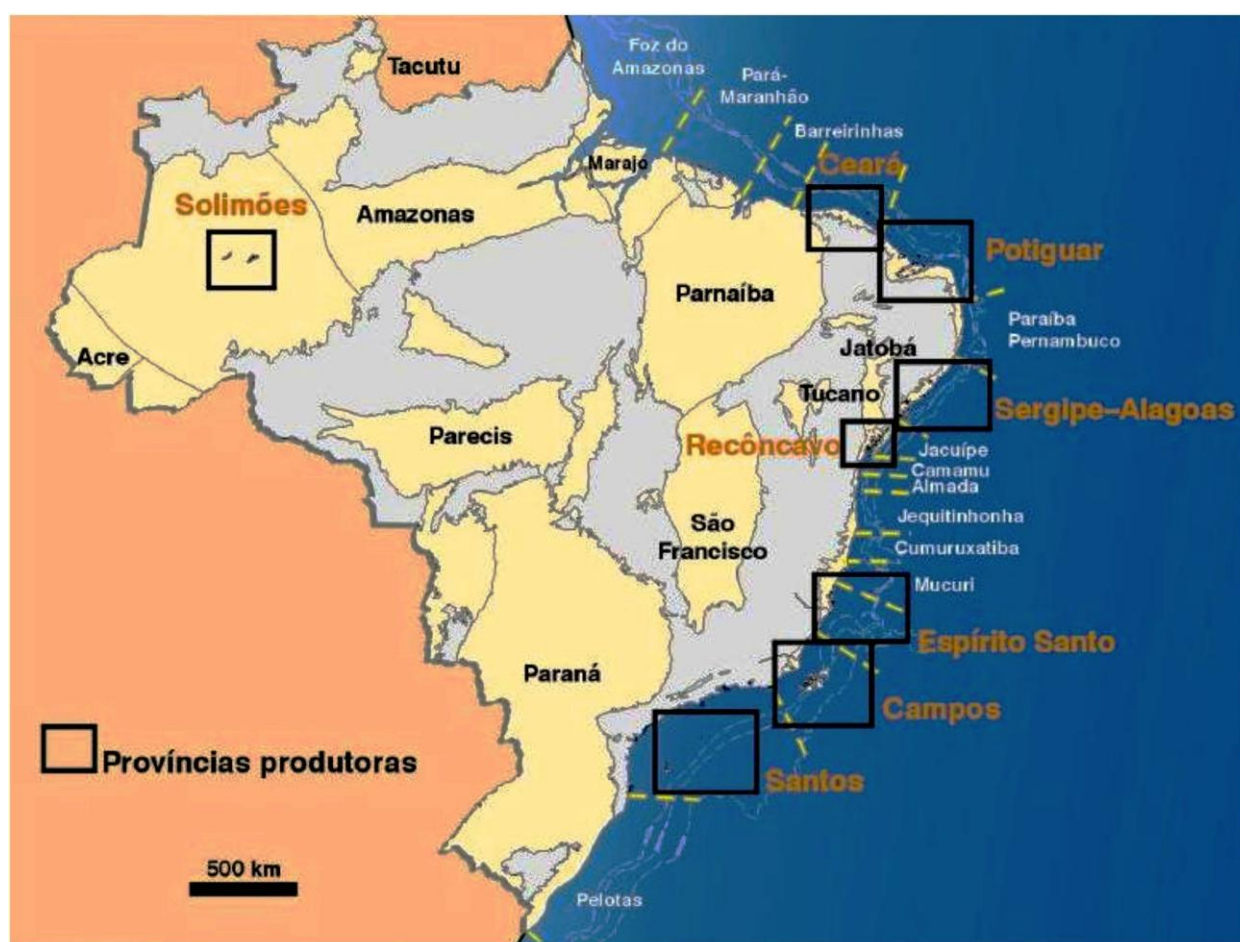


FIGURA 11 - Bacias sedimentares brasileiras indicando as principais províncias produtoras de óleo e gás no País.

Fonte: Modificado de Milani; Araújo (2003 in BIZZI et al., 2003).

orgânica, sendo reconhecido na Bacia do Espírito Santo, cujo petróleo derivado foi armazenado em fácies porosas da própria sequência carbonática albiana e em arenitos do Neocretáceo.

Também podem ser considerados como um sistema gerador, os folhelhos marinhos do intervalo Cenomaniano-Turoniano, reconhecido nas bacias de Santos e Sergipe-Alagoas, que alimentaram vários reservatórios, desde os carbonatos albianos aos turbiditos do Terciário.

Até o momento já foram descobertas 457 acumulações no país, sendo 283 terrestres e 174 marítimas que guardam reservas da ordem de 8,5 bilhões de barris de óleo (ANP, 2001) e 221 bilhões de metros cúbicos de gás natural. Foram detectadas acumulações de gás nos últimos anos nas bacias do Amazonas, Paraná e Camamu, prováveis províncias produtoras do Brasil, futuramente.

A exploração de petróleo e gás das bacias sedimentares foi iniciada ao longo do litoral e nas margens dos rios, devido a dificuldade de acesso, sendo que a primeira acumulação comercial foi descoberta em terra na cidade de Lobato, o chamado “ campo de Lobato”, na Bacia do Recôncavo.

A maior produtividade de hidrocarbonetos na plataforma continental impulsionou os investimentos exploratórios para águas profundas, a medida que se dominavam novas tecnologias. Atualmente, a produção brasileira de petróleo e gás é procedente das bacias de Santos, Campos, Espírito Santo, Recôncavo, Tucano Sul, Sergipe-Alagoas, Ceará, Potiguar e Solimões, totalizando cerca de 1,8 milhões de barris/dia de óleo e 48,4 milhões de m³/dia de gás, sendo a Bacia de Campos a responsável pela maior parte da produção de óleo, enquanto que a Bacia de Santos está em crescente contribuição na produção brasileira de gás natural e óleo leve.

Missão da ANP

A criação da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) objetiva guardar os dados sobre o petróleo e gás (no Brasil), assim como os dados referentes as bacias sedimentares (produção, volume, etc.); normas para perfuração, além de conceder licenciamento (Tudo com base na lei 9478). Também tem a responsabilidade de administrar os *royalties*. Com isso, visa diminuir o risco geológico nas áreas de fronteiras exploratórias, aumentando o conhecimento e os investimentos privados. As principais bacias sedimentares brasileiras que apresentam potencial para prospecção de hidrocarbonetos gasosos e líquidos

recobrem uma área de 7,5 milhões de km², mas a pesquisa e o conseqüente conhecimento dessas bacias se encontram em diferentes estágios, de forma que grandes extensões ainda permanecem pouco conhecidas quanto aos aspectos dos seus sistemas petrolíferos (Figuras 12 e 13), colaborando para o panorama de que apenas 5% do total das bacias sedimentares brasileiras se encontram sob concessão para a pesquisa exploratória. Na Tabela 3 estão listados os sistemas petrolíferos brasileiros definidos até o momento.

Bacias maduras, como o Recôncavo, Sergipe-Alagoas, Espírito Santo (terra) e Potiguar, apresentam produção e sistemas petrolíferos bem determinados, mas não apresentam descobertas de grande porte há mais de 10 anos. Já nas bacias de elevado potencial, tais como Campos, Santos, Espírito Santo (mar) e Sergipe (águas profundas), apresentam descobertas importantes de petróleo e gás que despertam interesse e atraem investimentos privados para a pesquisa exploratória, sendo atingidos horizontes cada vez mais profundos, em função do contínuo aprimoramento e conhecimento geológico.

O restante das bacias são classificadas como Novas Fronteiras (Figura 14) sendo que a maioria delas conta com investimentos previstos no Plano Plurianual e de Geologia e Geofísica da ANP.

As bacias da Foz do Amazonas e Barreirinhas foram recentemente alvos de levantamentos sísmicos 2D do tipo *spec survey*, onde estão sendo oferecidos para pesquisa exploratória pela ANP blocos em águas rasas. Na Bacia da Foz do Amazonas os setores totalizam 156 blocos numa área de 29936,93 km², enquanto na Bacia de Barreirinhas, em uma área total de 11917,01 km², o setor contém 62 blocos (ANP, 2003).

Os principais resultados obtidos com a perfuração de 93 poços na Bacia da Foz do Amazonas mostraram a descoberta de duas acumulações sub-comerciais de gás: Pirapema e a área do poço APS-51A. Em contrapartida, os 105 poços perfurados na Bacia de Barreirinhas atestaram a existência das acumulações sub-comerciais de São João (óleo e gás), Oeste de Canoas (gás) e Espigão (gás), situados na porção terrestre da bacia.

Até o momento, foram definidos dois sistemas petrolíferos na Bacia da Foz do Amazonas, Limoeiro-Amapá e Travosas-Pirarucu, enquanto na Bacia Pará-Maranhão está definido o Sistema Travosas-Ilha de Santana e em fase especulativa outros dois, Caju-Travosas e Canárias-Canárias. Além da confirmação destes sistemas, a continuidade da atividade exploratória poderá verificar o prolongamento destes sistemas nas bacias Marajó e Caciporé (correlatas com a Bacia da Foz do Amazonas), bem como Barreirinhas, Bragança-Viseu e São Luís-Ilha Nova (correlatas com a Bacia Pará-Maranhão).

Nas bacias Pará-Maranhão e Foz do Amazonas as rochas geradoras são folhelhos e

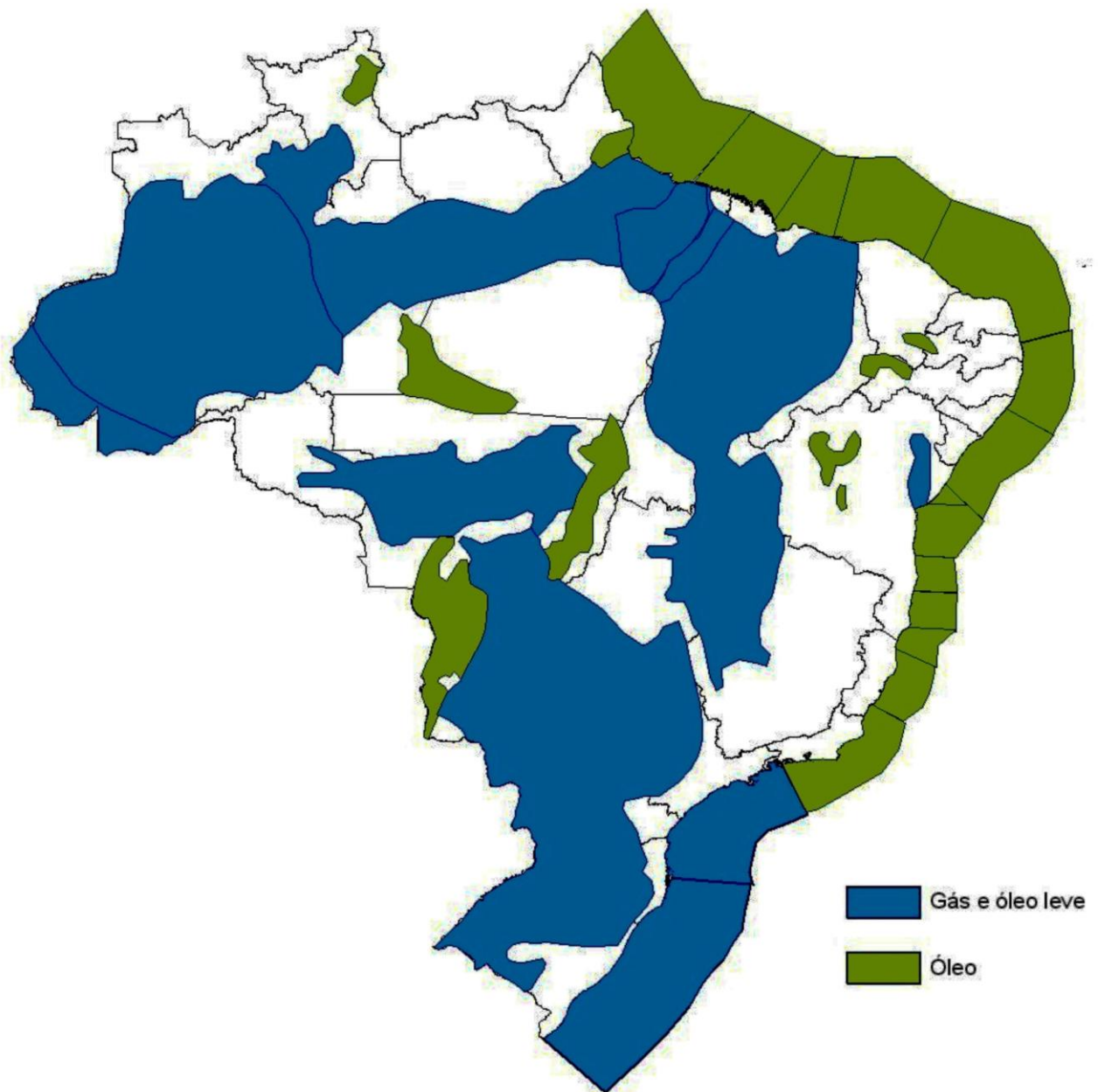


FIGURA 12 - Áreas de relevante interesse para petróleo (óleo e gás).
Fonte: Modificado de Chambriard et al. (2008 in SILVA 2008).



FIGURA 13 - Poços com indícios ou descobertas de óleo e/ou gás.
Fonte: Modificado de Chambriard et al. (2008 in SILVA 2008).

TABELA 3 - Sistemas petrolíferos brasileiros das bacias maduras e possíveis sistemas petrolíferos das bacias consideradas de novas fronteiras pela ANP.

SISTEMA PETROLÍFERO	BACIA	ROCHA GERADORA	ROCHA RESERVATÓRIO	IDADE
Jandiatuba-Juruá	Solimões	Folhelhos do Frasniano-Famenniano da Formação Jandiatuba	Arenitos da Formação Juruá	Rocha Geradora: Neodevoniano/ Rocha Reservatório: Neocarbonífero
Mandaú-Paracuru	Ceará	Folhelhos da Formação Mundaú	Arenitos flúvio-deltaicos e marinhos da Formação Paracuru	Rocha Reservatório: Aptiano
Pendência	Potiguar	Folhelhos lacustres	Arenitos flúvio-deltaicos e turbidíticos da Formação Pendência	Rocha Reservatório: Neocomiana
Alagamar-Açu	Potiguar	Folhelhos marinhos-evaporíticos da Formação Alagamar	Arenitos flúvio-eólicos da Formação Pendência	Rocha Geradora: Aptiano/ Rocha Reservatório: Albiano
Muribeca	Sergipe-Alagoas	Folhelhos pretos da Formação Muribeca	Conglomerados da Formação Muribeca e depósitos arenosos nas formações Serraria, Coqueiro, Seco e Calumbi	Rocha Geradora: Aptiano
Barra de Itiuba-Coqueiro Seco	Sergipe-Alagoas	Folhelhos	Arenitos deltaicos nas formações Barra de Itiuba e Coqueiro Seco	Rocha Geradora: Neocomiana-Barreniana
Candeias-Sergi/Ilhas	Recôncavo	Folhelhos lacustres da Formação Candeias	Arenitos eólicos e fluviais da Formação Sergi	Rocha Geradora: Neocomiana
Cricaré-Mucuri e Regência-Urucutuca	Espírito Santo	Folhelhos lacustres da Formação Cricaré	Arenitos flúvios-deltaicos da Formação Maricuru	Rocha Geradora: Neocomiana/ Rocha Reservatório: Aptiano
Lagoa Feia-Carapebus	Campos	Folhelhos calcíferos da Formação Lagoa Feia	Turbiditos arenosos da Formação Carapebus	Rocha Reservatório: Neocretáceo-Terciário
Itajaí Açu-Guarujá	Santos	Folhelhos calcíferos e margas da Formação Itajaí Açu	Calcarenitos porosos da Formação Guarujá	Rocha Geradora: Cenomaniano-Turoniano/ Rocha Reservatório: Albiano

Limoeiro-Amapá e Travosas-Pirarucu	*Foz do Amazonas	Folhelhos e margas dos grupos Canárias, Caju e Humberto de Campos e folhelhos da Formação Cacípore	Arenitos, calcários fraturados, bancos, recifes, depósitos de talus e turbiditos carbonáticos e siliciclásticos dos grupos Canárias e Humberto de Campos	Rochas Geradoras: Eoceno
Travosas-Ilha de Santana	*Pará-Maranhão	Folhelhos e margas dos grupos Canárias, Caju e Humberto de Campos	Arenitos, calcários fraturados, bancos, recifes, depósitos de talus e turbiditos carbonáticos e siliciclásticos dos grupos Canárias e Humberto de Campos	Rochas Geradoras: Paleoceno-Eoceno

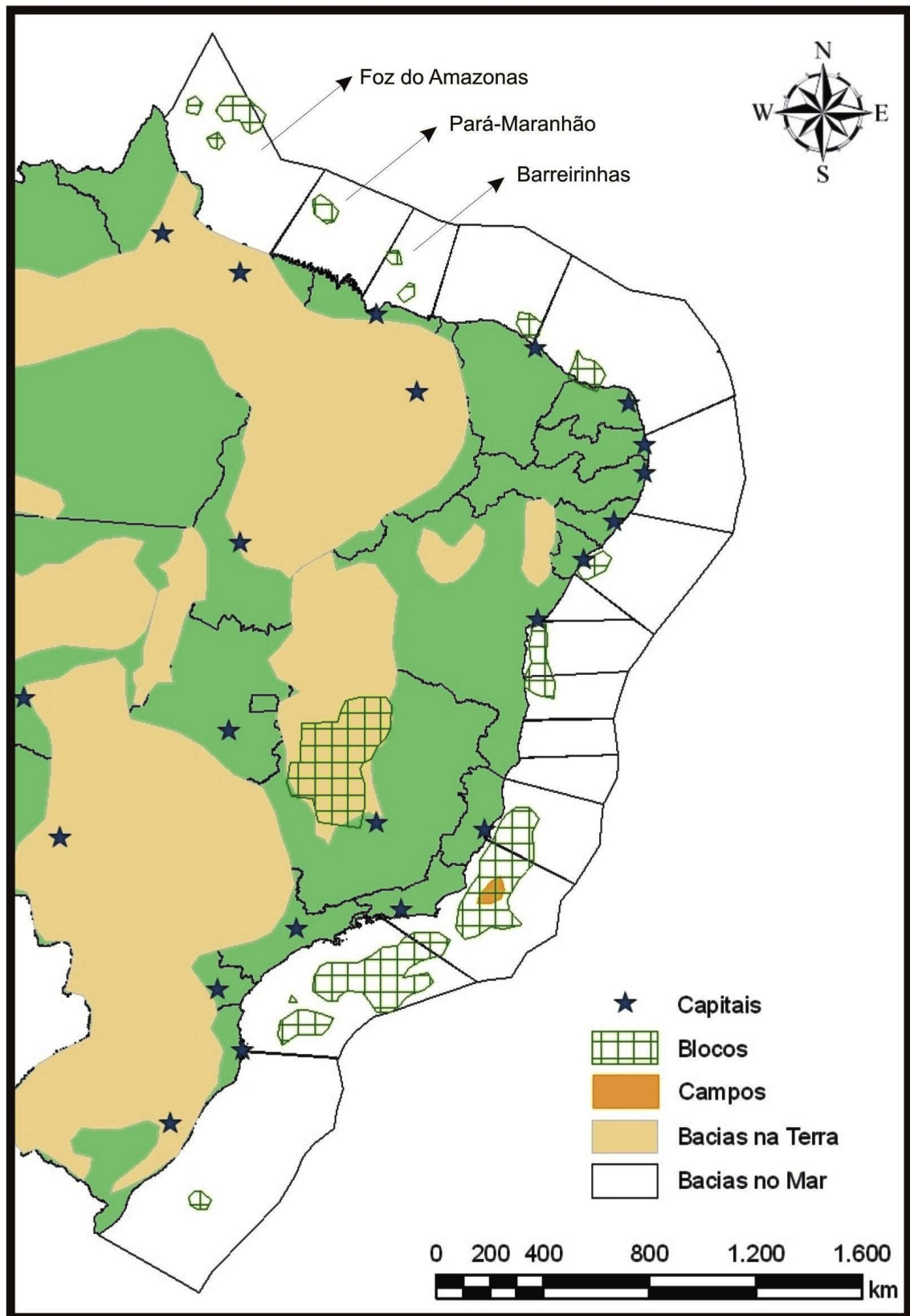


FIGURA 14 - Bacias de novas fronteiras (mar) com ênfase nas bacias Foz do Amazonas, Pará-Maranhão e Barreirinhas.

Fonte: Modificado de Chambriard et al. (2008 in SILVA 2008).

margas dos grupos Canárias, Caju e Humberto de Campos, sendo que na Bacia da Foz do Amazonas, também são geradores de hidrocarbonetos os folhelhos da Formação Caciporé. As rochas reservatório incluem arenitos, calcários fraturados, bancos, recifes, depósitos de talus e turbiditos carbonáticos e siliciclásticos dos grupos Canárias e Humberto de Campos. Completando os sistemas petrolíferos, as rochas selantes correspondem a camadas de folhelhos, margas e calcilitos intercalados nas sequências sedimentares enquanto que a migração do óleo ocorreu através de falhas lítricas e planares, relacionadas com a atividade geodinâmica durante a instalação da margem continental do meio-norte brasileiro.

5 BIOGEOGRAFIA HISTÓRICA E FILOGENIA DOS CORAIS E BRIOZOÁRIOS

Os processos tectônicos de quebra do Pangea e abertura do Atlântico Sul desencadearam mudanças nos gradientes dos parâmetros ocenográficos, clima e nível do mar, considerados eventos geológicos ou abióticos por Walliser (1986), que podem ser considerados como as causas dos bioeventos globais e regionais registrados na Formação Pirabas. A Província Biogeográfica Caribeana, onde estava inserida a comunidade do mar de Pirabas foi reduzida e passou a reliquiar nos tempos holocênicos, devido a instalação de eventos geológicos posteriores, principalmente o soerguimento do Istmo do Panamá e da Cordilheira dos Andes, a inversão no sentido da corrente para leste e a atividade neotectônica de regime transcorrente (COSTA et al., 2001), resultando na gênese da atual região do canal do Rio Amazonas. Assim, estes bioeventos globais e regionais reconhecidos no Mioceno marinho do norte e nordeste brasileiro foram causados por diferentes eventos geológicos intrinsecamente ligados, assim como particularidades ambientais produziram bioeventos locais.

Os elementos faunísticos da Província Biogeográfica Caribeana possuem ancestrais cretáceos típicos do Mar de Tethys, principal ponto de origem das faunas marinhas cenozóicas. A sua dispersão para oeste por correntes oceânicas superficiais, aliada à sua tolerância ecológica que favoreceu sua diversificação e adaptação a diversos substratos e batimetrias neríticas, possibilitou a ocupação bem sucedida, inicialmente na atual região da América Central e México, o corredor marinho centro americano. A partir dessa área ocorreram migrações para o Atlântico Norte e Sul, atingindo também o Pacífico Norte e Central via estreito do Panamá. Na região Pacífico Leste Tropical (PLT) a paleofauna parece ser um produto de múltiplas derivações dos elementos da região Atlântico Oeste Tropical (AOT), aparentemente mais antiga. O soerguimento do Istmo do Panamá ocasionou bioeventos regionais de extinção, afetando principalmente moluscos, corais e briozoários. A diversidade específica da região PLT ficou mais alta, devido a natureza dos substratos não ter sido grandemente afetada (BEU, 2001; MARKO; JACKSON, 2001).

5.1 CORAIS

Segundo Crame e Rosen (2002) o Cenozóico foi marcado por eventos de radiação na biota marinha, cuja diversificação ocorreu principalmente nas regiões de baixa latitude. Entre estes elementos estão os briozoários queilostomados e os corais escleractíneos hermatípicos, a partir do aumento na disponibilidade de biótopos em águas tropicais aliada ao regime de correntes oceânicas instalado durante e após o fechamento do Istmo do Panamá. Chiappone et al. (1996) reportaram que a coralinofauna do sudoeste do Golfo do México parece representar a transição entre as registradas na região central do Caribe e no noroeste do Golfo do México. Os conjuntos hermatípicos de Trinidad e Brasil são depauperados em relação ao *cluster* do Caribe Central, sendo que os elementos brasileiros são muito distintos e contém pelo menos cinco espécies endêmicas.

O bioevento de extinção dos corais escleractíneos que ocorreu no final do Cretáceo atingiu principalmente as formas de ambientes marinhos rasos e quentes, numa proporção média de 45% das espécies, principalmente as bioconstrutoras, de maiores restrições ecológicas. Estas extinções não se relacionam diretamente com a latitude, tal como se observa em outros grupos marinhos (p.ex. amonóides) que se extinguíram devido ao resfriamento climático global na passagem K-T (MONTAGGIONI; BRAITHWAITE, 2009).

A partir do Paleoceno, a crise biótica deu lugar a uma reocupação dos nichos marinhos, que novamente estabilizaram a sua capacidade de suporte (*carrying capacity*). Os corais foram gradualmente readquirindo representatividade numérica principalmente por retomarem a capacidade bioconstrutora, em fases sucessivas, favorecendo novamente a instalação de ecossistemas recifais, compostos em particular pelos faviídeos, grupo sobrevivente da crise biótica K-T (Figura 15). Ressalta-se que esta favorabilidade do início do Cenozóico, compreende eventos biológicos globais de inovação e espalhamento biogeográfico, mais marcados em recifes de baixas latitudes. Dentre as novidades filogenéticas destacam-se para o grupo, o aumento na capacidade de competição de ecoespaço, obtida através da adaptação a ambientes oligotróficos, mecanismos bioquímicos de defesa contra predadores, maior grau de integração colonial e crescimento epitelal mais rápido (MONTAGGIONI; BRAITHWAITE, op. cit.).

Os principais fatores que controlam a evolução das coralinofaunas são a tectônica de placas, mudanças climáticas, flutuações do nível do mar e circulação oceânica, que delimitam províncias biogeográficas e distribuição do tipo dijunta. Além disso, é preciso considerar que

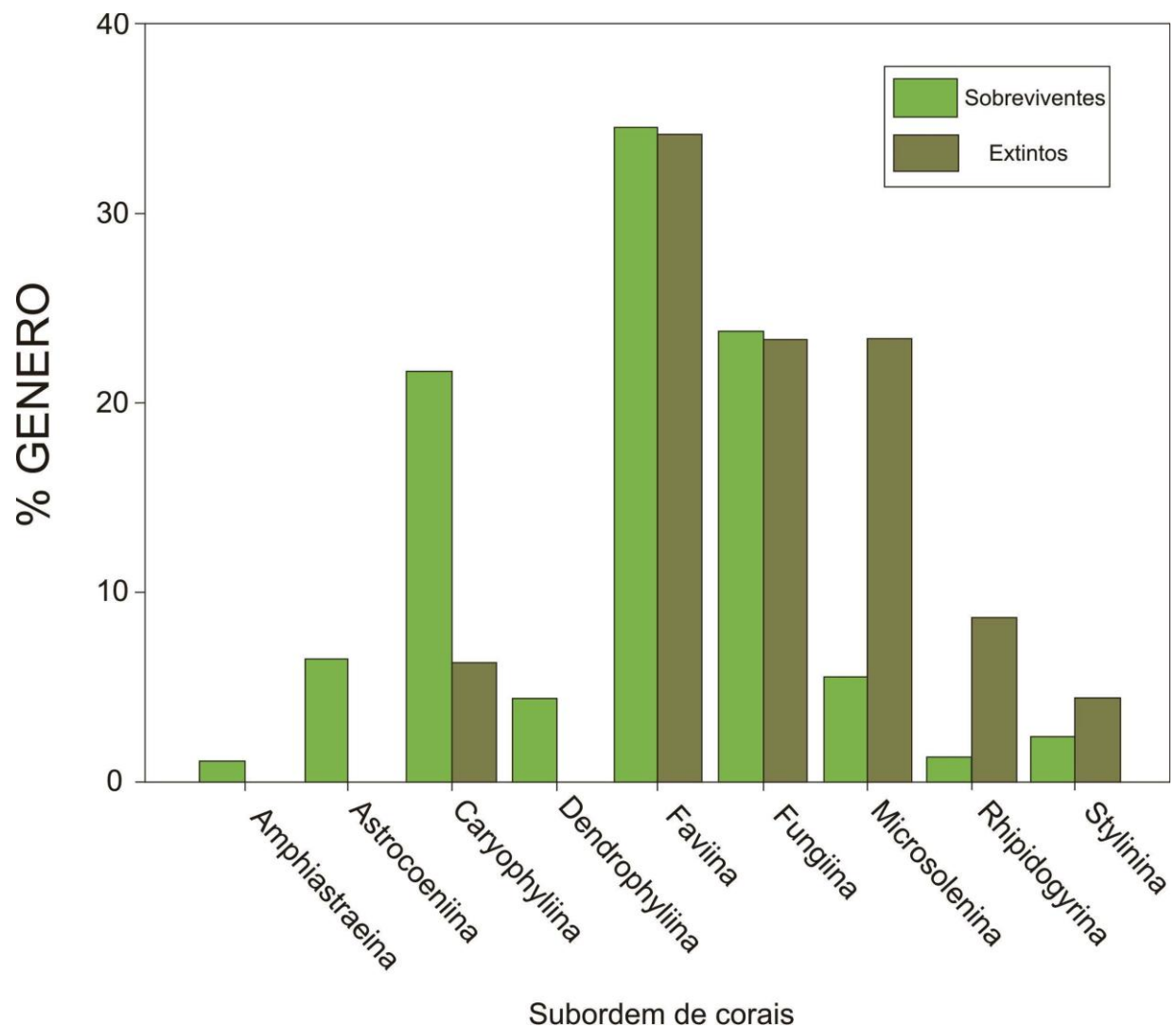


FIGURA 15 - Mostra no gráfico que após a crise biótica K-T, os corais foram gradualmente readquirindo **representatividade numérica** (sobreviventes) principalmente por retomarem a capacidade bioconstrutora, em fases sucessivas, favorecendo novamente a **instalação de ecossistemas recifais**.

Fonte: Modificado de Montaggioni e Braithwaite (2009 in CHAMLEY, 2009).

o aumento da produção de carbonatos está ligado à gradativa evolução química da água do mar. Além destes fatores, ambientais e biogeográficos, a diversificação dos corais hermatípicos foi afetada por controles de natureza biótica, pois nos ecossistemas recifais, é intensa a interação ecológica entre os escleractíneos e organismos predadores, perfuradores e fitais pastadores, que interferem na radiação do grupo (MONTAGGIONI; BRAITHWAITE, 2009).

A posição relativa entre as massas continentais, alteradas continuamente pela tectônica de placas, afetou a circulação oceânica e os padrões climáticos. A conexão entre o Pacífico leste e o Atlântico Oeste no início do Cenozóico, o isolamento parcial das porções leste e oeste do domínio tetiano no Paleoceno e Eoceno, e o fechamento parcial do Mar de Tethys no Mioceno Inferior, representam alguns dos eventos geológicos que interferiram diretamente na ampliação ou retração biogeográfica dos corais, que curiosamente alcançaram significativa diversificação em um momento de deterioração climática, quando as áreas tropicais diminuíram e as áreas temperadas ampliaram-se. Na perspectiva paleobiogeográfica, a ação combinada entre a tectônica de placas e o resfriamento global, favoreceu a diferenciação das quatro províncias recifais atuais (MONTAGGIONI; BRAITHWAITE, op. cit.).

Entre os antozoários que aumentaram o tamanho do pólipos, exploraram a relação comensal com as zooxantelas, a evolução produziu uma série de experimentos no modo de vida polipóide colonial, resultando em superorganismos. A filogenia dos escleractíneos ainda não está esclarecida, principalmente na sua relação com os Actinaria e Corallimorpharia (BRUSCA; BRUSCA 2007).

Segundo Romano e Palumbi (1996) e Stolarski e Roniewicz (2001), os corais hermatípicos guardam uma das comunidades marinhas com maior diversidade específica, e contribuem para o entendimento das mudanças climáticas globais e regionais, e das flutuações do nível do mar. Para reconstruir as relações evolutivas entre escleractíneos são utilizados seus aspectos anatômicos, fisiológicos, comportamentais e de morfologia esquelética em todas as escalas (Figura 16). A partir de análises moleculares com ênfase filogenética foi proposta a existência de dois clados principais, corais robustos e corais complexos. O primeiro é definido por esqueletos sólidos, fortemente calcificados que resultam em sólidas paredes septotecais e paratecais. As colônias são maciças, achatadas ou ainda ramificadas, que crescem por *buddins* intratentaculares. Já o segundo grupo congrega esqueletos pouco calcificados como resultado do caráter poroso dos tecidos sinapticolotecal, além da arquitetura complexa e relativamente leve das trabéculas simples. As colônias são predominantemente ramificadas, podendo também ser digitadas, colunares, lamelares e achatadas. Nos tempos meso e neotriássicos, já estavam

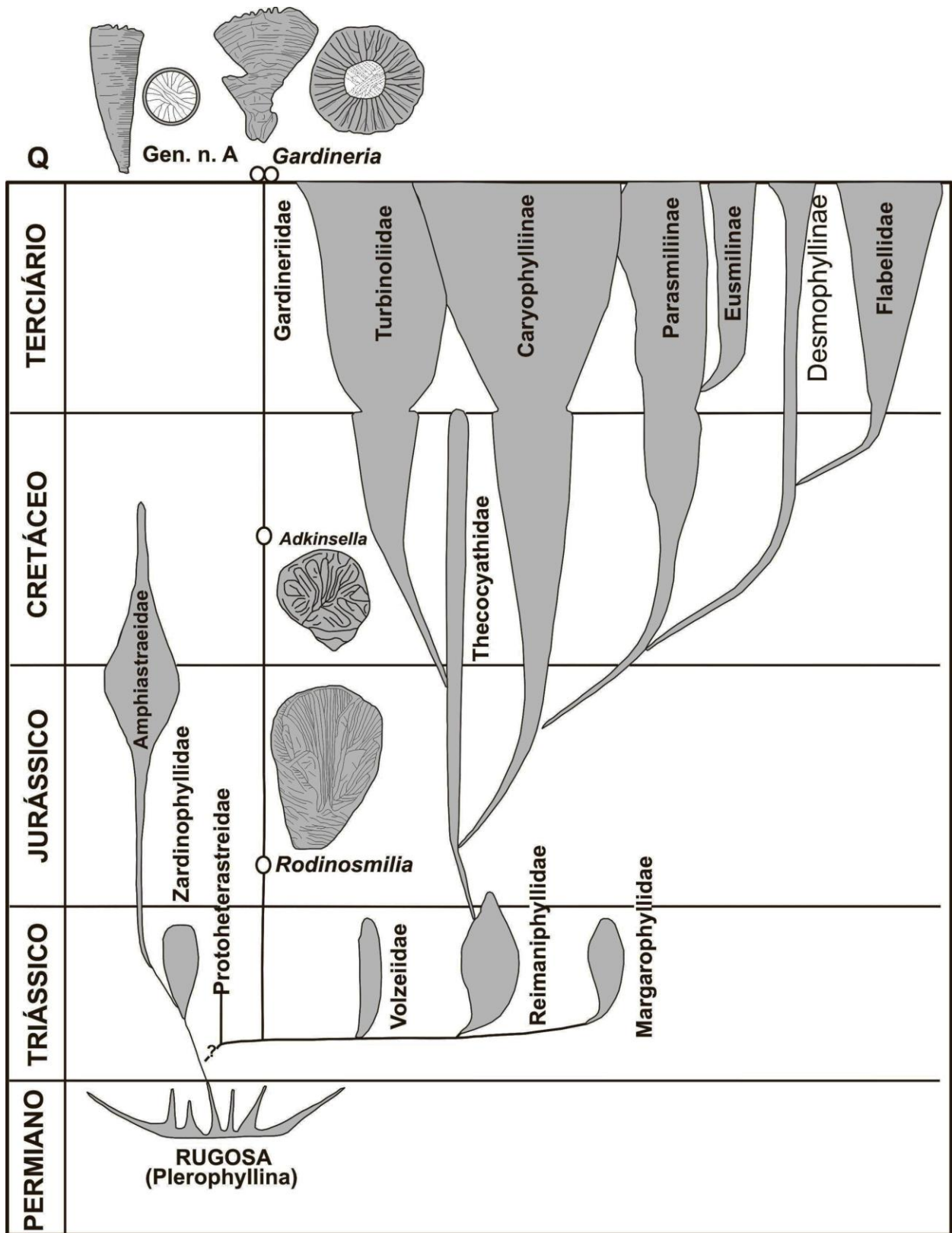


FIGURA 16 - Possíveis relações filogenéticas entre os táxons de corais superiores e suas respectivas distribuições estratigráficas.
Fonte: Modificado de Stolarski (1996).

estabelecidos quatro grupos microestruturais: minitrabecular, trabecular espesso, fascicular (origem polifilética) e paquitecal (RONIEWICZ; STOLARSKI, 2001; STOLARSKI; RONIEWICZ, 2001).

A história evolutiva dos corais bioconstrutores pode ser dividida em três momentos: Paleógeno- quando houve a proliferação dos sobreviventes mesozóicos; Mioceno- quando houve espalhamento biogeográfico e evolução dos elementos paleógenos; e Plio/Pleistoceno ao Recente- quando foi estabelecido o padrão biogeográfico atual (MONTAGGIONI; BRAITHWAITE, 2009) (Figura 17).

Ao longo da história geológica dos corais escleractíneos notam-se desaparecimentos ou sobrevivências regionais principalmente entre as formas tetianas pantropicais, além do surgimento de novas espécies em áreas restritas, caracterizando um comportamento predominantemente endêmico para o grupo (MONTAGGIONI; BRAITHWAITE, op. cit.).

O evento geológico global de resfriamento climático do final do Cretáceo trouxe inibição na deposição carbonática. Os corais que sobreviveram a esta crise foram as formas azooxanteladas, dominantes nos recifes desde o Paleógeno até a passagem Oligoceno-Mioceno, em águas rasas e profundas de baixas latitudes, localmente constituindo atóis. Entre o final do Paleoceno e o Eoceno, as coralinofaunas passaram de confinadas no cinturão tropical-subtropical a disseminadas, cujos centros de dispersão eram basicamente as regiões caribeanas e tetiana central. O espalhamento biogeográfico favoreceu o aumento do número de recifes bem como a sua diferenciação em quatro zonas. Na passagem Eoceno-Oligoceno houve um resfriamento global dos oceanos principalmente nas áreas de alta latitude, causando restrição latitudinal aos corais. Porém, a razão Mg/Ca dos oceanos favoreceu o seu amplo desenvolvimento morfofuncional, fisiológico e filogenético, abrindo espaço para uma distribuição cosmopolita, a partir do aquecimento das águas *a posteriori* (MONTAGGIONI; BRAITHWAITE, op. cit.).

Estudos realizados por Johnson et al. (2009) na Bacia de Falcón, norte da Venezuela, sugeriram que durante a transição Oligoceno/Mioceno, houveram importantes alterações ambientais e bióticas nos recifes caribeanos. O preponderante desenvolvimento de ecossistemas recifais no final do Oligoceno, compostos por elementos tipicamente tetianos, foi bruscamente interrompido no início do Mioceno, quando modificações na paleogeografia continental causaram grandes alterações oceanográficas, em particular na produção e disponibilidade de carbonatos e aumento na produção primária, devido o aporte sedimentar de água doce de baixas profundidades. Essa reorganização oceanográfica causou um bioevento

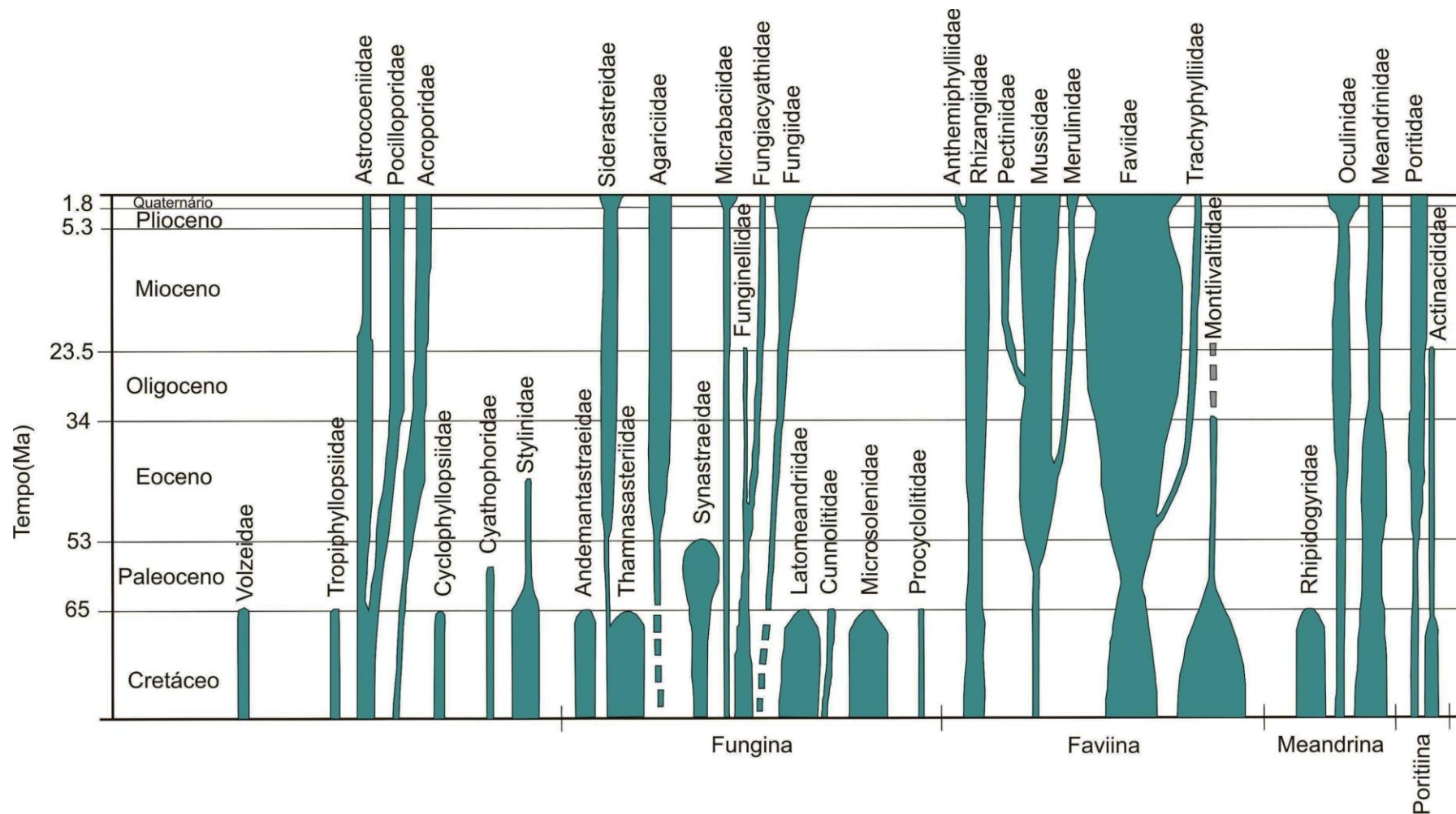


FIGURA 17 - Mostra que o **Mioceno** pode ser considerado como um dos momentos mais importantes para a biogeografia e evolução dos corais escleractíneos, pois se observa um aumento considerável do número de **gêneros** (representado pela largura nos espaços) inclusive de bioconstrutores.
 Fonte: Modificado de Montaggioni e Braithwaite (2009 in CHAMLEY, 2009).

regional de extinção que atingiu cerca de 50% das espécies viventes. A reação da coralinofauna ao contexto ambiental do início do Mioceno, só ocorreu em tempos plio-pleistocênicos quando algumas linhagens estabeleceram-se definitivamente, em parte devido a retomada da produção carbonática importantes mudanças ambientais na região.

O Mioceno pode ser considerado como um dos momentos mais importantes para a biogeografia e evolução dos corais escleractíneos, pois se observa um aumento considerável do número de gêneros e espécies inclusive bioconstrutores, zooxantelados, principalmente nas regiões Indo-Pacífica e Tethys Central (MONTAGGIONI; BRAITHWAITE, 2009). A partir do final do Mioceno as plataformas carbonáticas adquiriram aspecto moderno, e as faunas associadas acompanharam esta similaridade. Os elementos tipicamente miocênicos da coralinofauna extinguiram-se e as algas endosimbiontes zooxanteladas alcançaram notável expansão, principalmente na transição Mioceno-Plioceno. Tal panorama converge para os ecossistemas recifais atuais, cujos elementos mais característicos e abundantes são as algas coralíneas (MONTAGGIONI; BRAITHWAITE, op. cit.).

O registro cenozóico das biotas recifais e em especial dos corais, subsidia o entendimento sobre as taxas de especiação e extinção, origem e padrões de composição e distribuição das comunidades recifais modernos. Até o momento foram reconhecidos três picos na especiação dos corais e maior desenvolvimento recifal, Eoceno, Oligoceno-Mioceno Inferior e Mioceno Superior-Plioceno Superior (Figura 18). Para o Eoceno da província Atlântico Oeste- Caribeano estão reconhecidos 36 gêneros e 77 espécies, todos provavelmente descendentes da coralinofauna cosmopolita que sobreviveu à extinção do final do Cretáceo (MONTAGGIONI; BRAITHWAITE, op. cit.).

O acme da diversidade genérica dos corais na Província Caribeano ocorreu no intervalo Oligoceno Superior-Mioceno Inferior, ocorrendo grande diversificação e reestruturação das comunidades marinhas, mais tolerantes a mudanças ambientais. A coralinofauna do Mioceno Inferior composta por 33 gêneros e 80 espécies tipicamente caribeanos, parece ter sido transicional entre a do Oligoceno Superior (cosmopolita) e Mioceno Superior (endêmica). Os corais do intervalo Mioceno Superior-Plioceno Superior podem ser considerados como os elementos finais da diversidade genérica do grupo durante o Cenozóico, quando surgiram no total 79 gêneros e 248 espécies (MONTAGGIONI; BRAITHWAITE, op. cit.) (Figura 17).

O primeiro bioevento de extinção que afetou espécies de corais escleractíneos ocorreu entre o Oligoceno Superior e o Mioceno Médio, e foi caracterizado pela diferenciação de uma associação cosmopolita em algumas províncias. Cerca de 50% dos gêneros desapareceram no

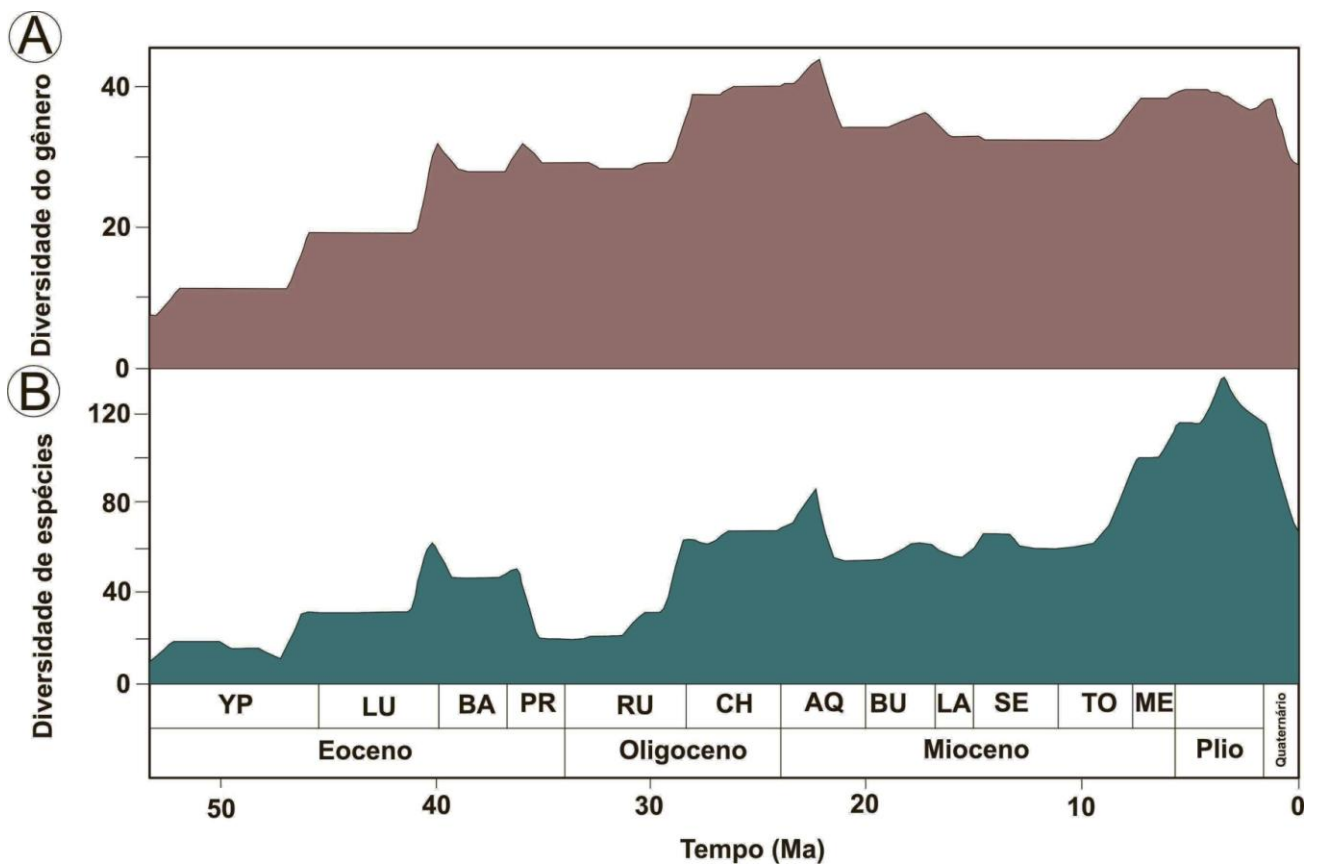


FIGURA 18 - Diversidade dos gêneros (A) e espécies (B) dos recifes de corais nas regiões do Atlântico Ocidental e Caribe, a partir do Eoceno.

Fonte: Modificado de Montaggioni e Braithwaite (2009 in CHAMLEY, 2009).

Plio-Pleistoceno, e os sobreviventes, com maior tolerância ambiental, confinaram-se a áreas geográficas restritas, sugerindo que o grupo foi afetado muito mais por restrição ecológica-geográfica do que por extinção propriamente dita. A distribuição dos corais foi influenciada diretamente pela deterioração climática (aumento da temperatura) conduzindo a eutroficação do grupo e por mudanças oceanográficas advindas do soerguimento do Istmo do Panamá, que modificou a produção primária e restringiu a sua capacidade de dispersão (MONTAGGIONI; BRAITHWAITE, 2009).

Os escleractíneos têm desenvolvimento septal cíclico e mineralogia esquelética tipicamente aragonítica. Em cariofilídeos as paredes são espessadas centrifugamente, cujos centros de calcificação septal estão sujeitos a alteração diagenética (Figura 19). O desaparecimento dos anfiastreídeos, na passagem Cretáceo/Terciário se deu por uma combinação de fatores geológicos e biológicos, tais como o desaparecimento das plataformas carbonáticas e aumento da bioerosão (STOLARSKI; RUSSO, 2001).

Existem duas grandes teorias sobre a natureza do cnidário ancestral. Segundo a **teoria medusóide** (Figura 20 a) a forma ancestral foi um planulóide flagelado ou ciliado nadador ou rastejante, cujo desenvolvimento dos tentáculos produziu um animal semelhante a uma larva actínula. Esta transição é observada no ciclo de vida de alguns hidrozoários modernos quando plânula e actínula são estágios intermediários das medusas. Assim, por brotulação a larva actínula bentônica, pode ter levado ao estabelecimento de um estágio polipóide distinto, e com isso o póipo poderia ser considerado com uma larva de vida prolongada, de reprodução assexuada e de hábito bentônico. Uma vez estabelecida a forma polipóide, alguns cnidários começaram a reduzir a fase medusóide nos seus ciclos de vida, resultando em indivíduos sem estágio ontogenético de medusa, como os antozoários. A ausência de sinapomorfias exclusiva aos hidrozoários sugere que o cnidário ancestral era o que hoje é classificado como um membro do grupo Hydrozoa. Após o surgimento do primeiro cnidário medusóide evoluiu uma fase de póipo, fazendo com que a forma ancestral passou a alternar os dois estágios de história de vida. A partir desta linhagem ancestral individualizou-se um grupo de cnidários com amplas especializações do mesênquima, gastroderme e sistemas gastrovascular e nervoso. Tais processos evolutivos resultaram no ancestral direto das duas grandes linhagens atualmente reconhecidas, Anthozoa e Scyphozoa/Cubozoa, devido principalmente à semelhança entre o cifístoma e póipo (BRUSCA; BRUSCA, 2007).

A ancestralidade dos corais também pode ser reconstituída pela **teoria polipóide** (Figura 20 b), onde o póipo seria a forma corporal original, e a medusa corresponderia a um estágio de dispersão derivado que evoluiu independentemente nos hidrozoários cifozoários.

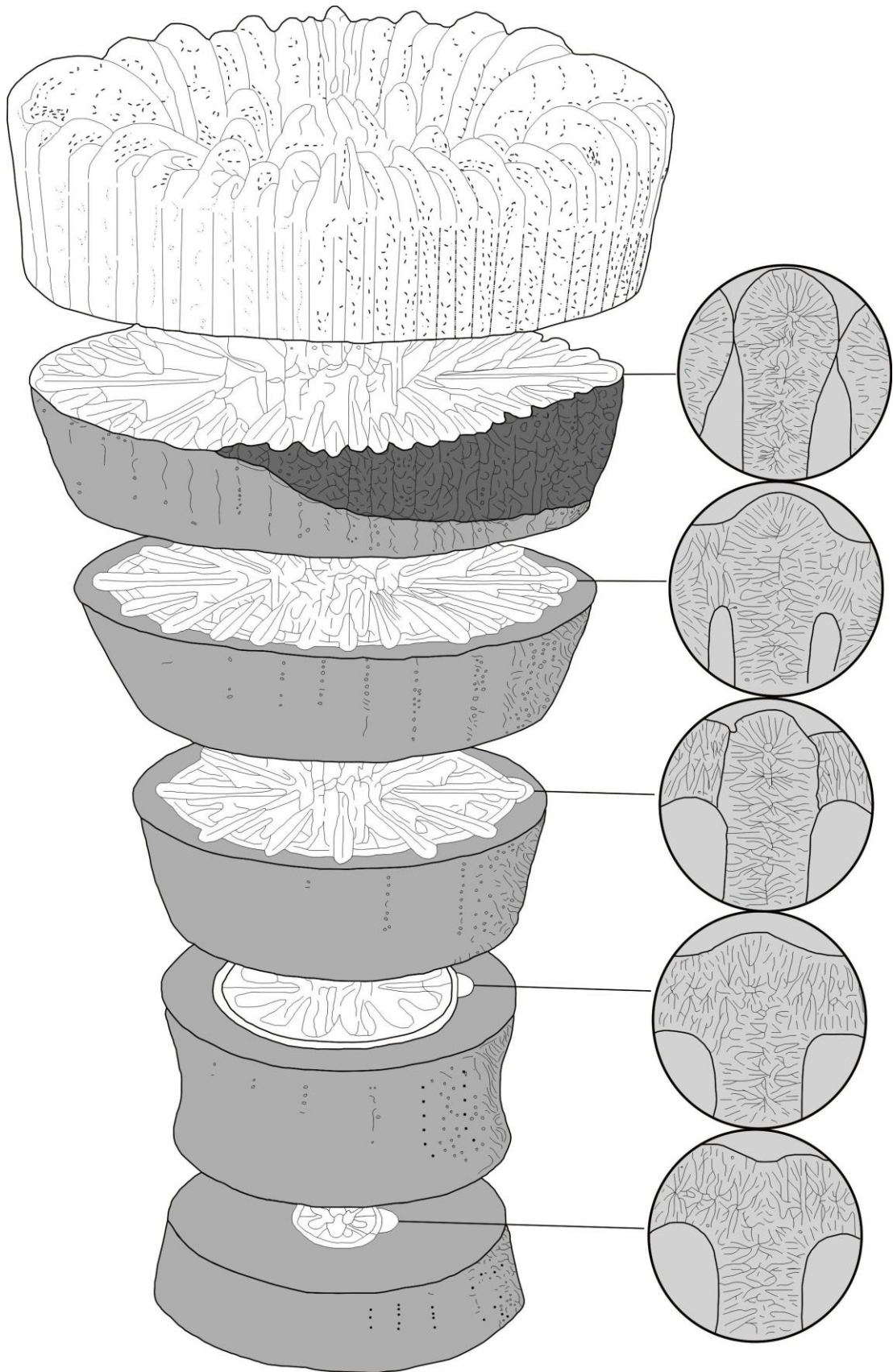


FIGURA 19 - Modelo de ontogenia relacionado a formação das estruturas tecais, exemplificando os estágios juvenis, adultos e senis.

Fonte: Modificado de Stolarski (1996).

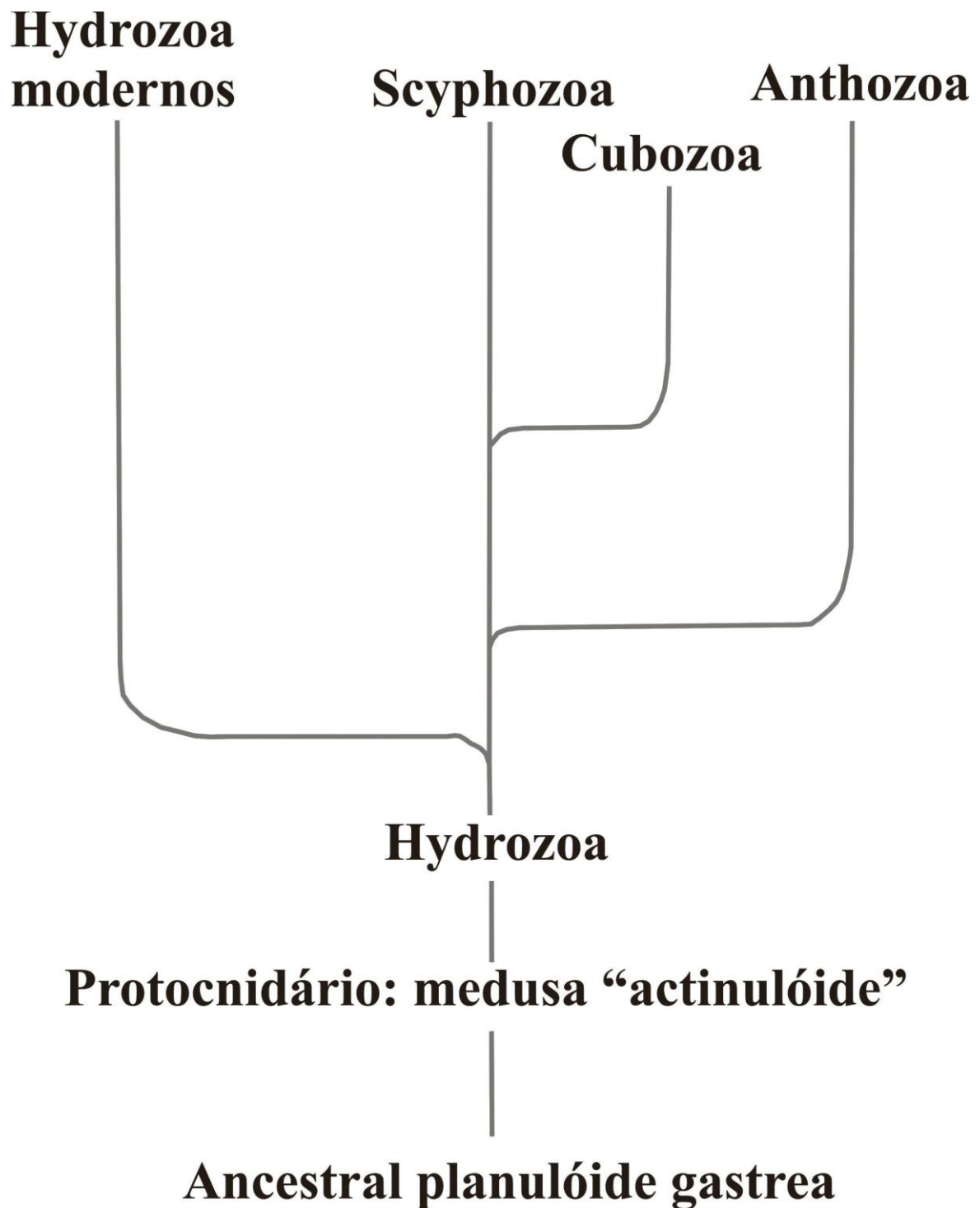


FIGURA 20 a - Ancestralidade dos corais reconstituída a partir da **Teoria Medusóide**. A forma ancestral foi um planulóide (flagelado, ciliado nadador ou rastejante), cujo desenvolvimento dos tentáculos produziu um animal semelhante a uma larva actínula.
 Fonte: Modificado de Brusca e Brusca (2007 in SILVEIRA 2007).

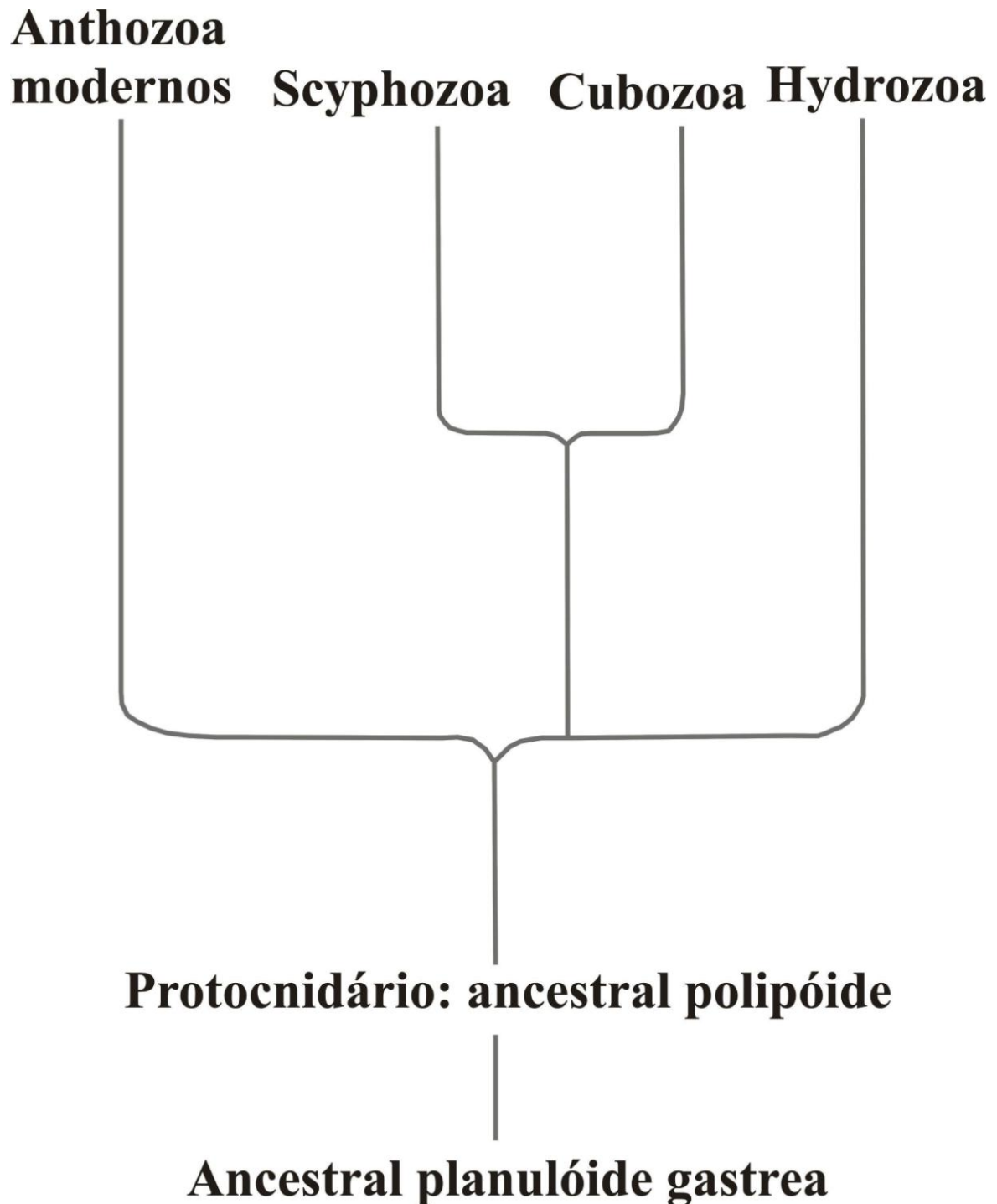


FIGURA 20 b - Ancestralidade dos corais reconstituída a partir da **Teoria Polipóide**. O pólipó corresponde a forma corporal original e a medusa corresponde a um estágio de dispersão derivado que evoluiu independentemente nos hidrozoários cifozoários.

Fonte: Modificado de Brusca e Brusca (2007 in SILVEIRA 2007).

Esta teoria é reforçada por dados moleculares, onde apenas os antozoários (grupo parafilético) possuem DNA mitocondrial circular, caráter compartilhado com os outros metazoários ao contrário dos Cubozoa, Scyphozoa e Hydrozoa (grupos monofiléticos), dotados de DNA mitocondrial linear, considerado um aspecto derivado entre os cnidários (BRUSCA; BRUSCA, 2007).

O centro de origem e diversidade dos corais escleractíneos cenozóicos é a região caribean, com ancestrais diretos da Europa (CAIRNS, 1979). Durante o Oligoceno ocorreram bioeventos de radiação e expansão biogeográfica de formas hermatípticas, trazendo um importante pulso de desenvolvimento de recifes, enquanto que no Mioceno Inferior a coralinofauna tornou-se reduzida e tendendo a endêmica (CRAME; ROSEN, 2002; OWEN; CRAME, 2002). Observa-se uma marcada diminuição na composição genérica do grupo do Neógeno em direção ao Recente, onde os corais atuais do Pacífico leste e Brasil podem ser considerados como elementos reliquiais da associação neogênica da região caribean (BUDD et al., 2004). O alto grau de endemismo da coralinofauna caribean moderna relaciona-se com a modificação no padrão das correntes oceânicas, que impediu dispersão a partir do Mediterrâneo durante o Mioceno Superior, e a partir da região indopacífica desde o Plioceno, impondo isolamento biogeográfico (BUDD et al., op. cit.).

Na Formação Pirabas os escleractíneos são freqüentes os elementos da família Flabelliidae, e pouco frequentes a raros, representantes das famílias Agariciidae, Caryophylliidae, Dendrophylliidae, Faviidae, Fungiidae, Montlivaltiidae e Pocilloporidae. Estas abundância e diversidade moderadas são pertinentes com a redução dos corais já identificadas em unidades sincrônicas da Província Biogeográfica Caribean durante o Mioceno Inferior, sendo também possível reconhecer através destes registros, os bioeventos regionais de expansão biogeográfica das supracitadas famílias.

5.2 BRIOZOÁRIOS

Os briozoários são animais coloniais que secretam esqueletos calcários, e elementos das biotas marinhas desde o Ordoviciano Inferior. Os principais fatores que controlam sua distribuição são: a presença de um substrato duro ou firme para a fixação de suas larvas e disponibilidade de nutrientes fitoplânctônicos. Ao contrário, a alta taxa de sedimentação e/ou

nível de energia, bem como ambientes estagnados, são condições desfavoráveis à sua sobrevivência.

Os briozoários ciclostomados e queilostomados co-existem no mesmo ecoespaço, experimentam interações competitivas e, mostram respostas similares às mudanças ambientais. Nestes dois clados foram abundantes e em taxas similares, bioeventos globais de radiação durante o Cretáceo Superior, tendo como principal ponto de origem, a região norte da Europa. Entretanto, na passagem K/T e no Daniano, ambos sofreram bioeventos de extinção, sendo que entre os ciclostomados, este drástico declínio fez com que o grupo voltasse aos níveis de abundância e diversidade que tiveram ao longo de sua história, antes da marcada radiação cretácea (MCKINNEY; TAYLOR, 2001; SEPKOSKI JR et al., 2000). Na Formação Pirabas os ciclostomados são pouco freqüentes, estando representados pelas famílias Crisidae, Tubuliporidae e Lichenoporidae, enquanto os queilostomados possuem elementos das famílias Adeonidae, Bugulidae, Catenicellidae, Cupuladriidae (um dos mais abundantes táxons no Neógeno dos mares tropicais e subtropicais), Farciminariidae, Flustridae, Membraniporidae, Metrarabdotosidae, Pasytheidae e Steginoporellidae. Estas ocorrências caracterizam bioeventos regionais de radiação e expansão biogeográfica destes ectoproctos no Mioceno marinho do Estado do Pará.

O registro fóssil sugere que os ciclostomados foram subordinados à outras ordens de estenolaemados até o Jurássico, quando a extinção destes favoreceu uma significativa radiação evolutiva crescente até o Cretáceo, quando deram origem aos queilostomados, grupo mais evoluído de briozoários. A geohistória dos queilostomados mostra que seus eventos biológicos de inovação, radiação e espalhamento biogeográfico tem sido contínuo desde a passagem Albiano-Cenomaniano, salvo uma pequena queda no final do Paleógeno (Figura 21) (TAYLOR, 2000).

Os dois principais clados de briozoários calcários dos tempos pós-paleozóicos, ciclostomados e queilostomados, possuem altas diversidade específica e representatividade numérica, principalmente no Cretáceo e Cenozóico. As espécies destes clados coexistem e competem entre si, pois habitam ecoespaços similares, constituindo um dos mais representativos exemplos de interação competitiva entre grupos biológicos (JACKSON; CHEETHAM, 1990).

Durante o Cretáceo Superior os ciclostomados aumentaram grandemente a sua diversidade no Maastrichtiano, declinando deste momento até o Thanetiano, quando adquiriu o equilíbrio taxonômico que permanece até hoje. Os queilostomados tiveram o mesmo desempenho até o Thanetiano, quando a partir deste momento tiveram um importante

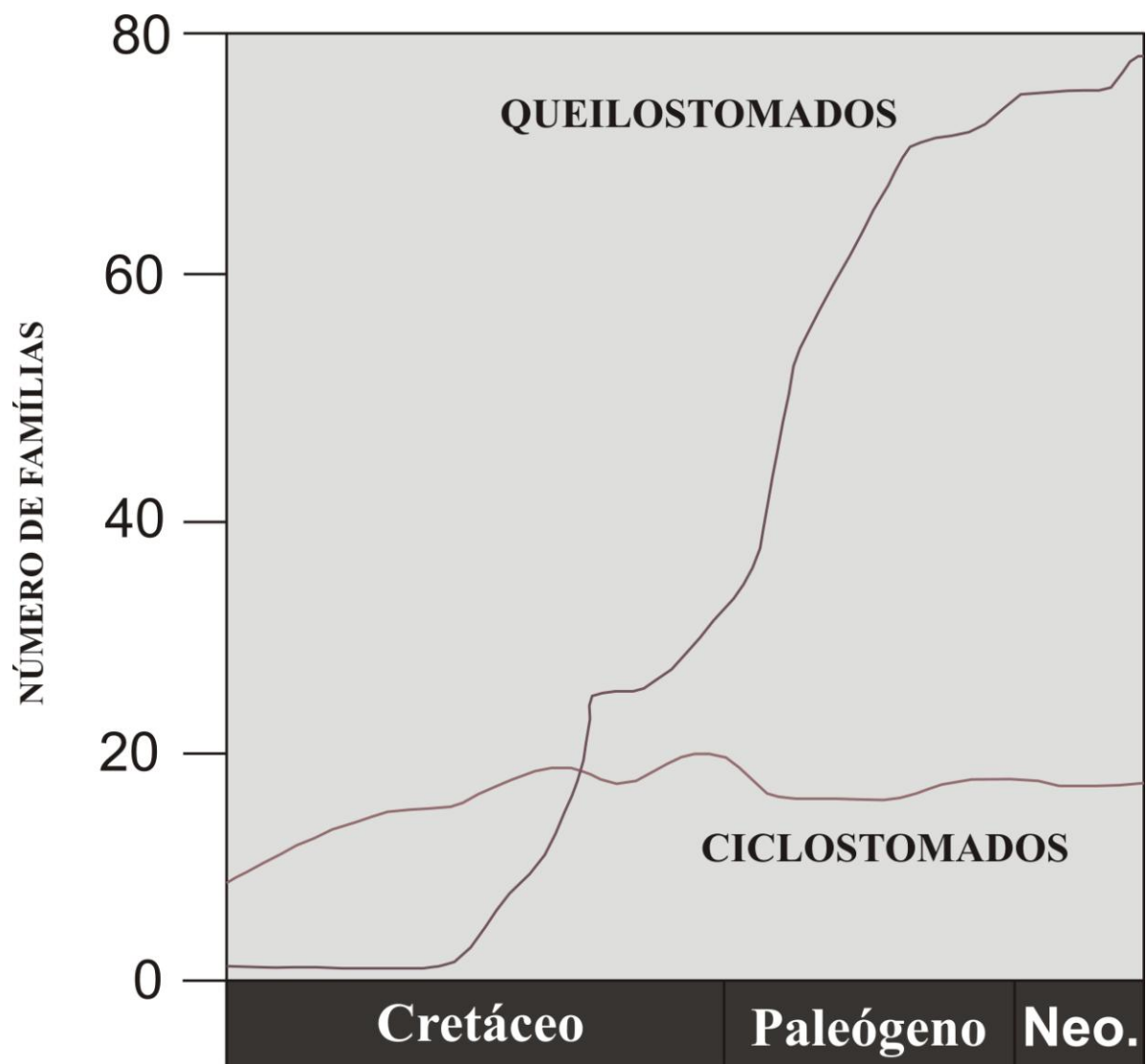


FIGURA 21 - Diversidade das famílias dos briozoários ciclostomados e queilostomados com distribuição estratigráfica do Cretáceo ao Holoceno. Ciclostomados e queilostomados possuem **altas diversidade específica e representatividade numérica**, principalmente no Cretáceo e Cenozóico. Coexistem e competem entre si, pois habitam **ecoespaços similares**, constituindo um dos mais representativos exemplos de interação competitiva entre grupos biológicos.

Fonte: Modificado de Taylor (2000 in CULVER; RAWSON 2000).

bioevento de radiação e expansão biogeográfica durante todo o Neógeno, com apenas uma pequenas discontinuidades no Oligoceno e Mioceno Superior, quando tiveram um evento biológico regional de extinção (MCKINNEY; TAYLOR, 2001; TAYLOR, 2000) (Figura 22). A crescente radiação dos queilostomados provavelmente ocorreu devido ao novo modelo de origem e maturidade das larvas, que usando de mecanismos mais eficazes para sua sobrevivência, fez aumentar a expansão biogeográfica de suas famílias e gêneros (TAYLOR, op. cit.).

O número absoluto de extinções para estes briozoários foram mais altos no Maastrichtiano e Daniano, sendo de maior impacto para os ciclostromados, diminuindo a interação competitiva, que favoreceu o aumento na diversidade dos queilostomados durante o Daniano. Os bioeventos de extinção dos celomados coincidem com bioeventos similares registrados nos corais e moluscos, e podem ter sido causados pelo fechamento de plataformas carbonáticas no norte da Europa, ou ainda diminuição do nível do mar, que fechou a circulação oceânica, ou pela a instalação de um novo sistema de circulação oceânica durante a abertura do Oceano Atlântico Sul. Análises em associações briozoológicas específicas sugerem que as extinções possam estar associadas com mudanças de condições *greenhouse* para *icehouse* (Eoceno Superior), flutuações na salinidade (Mioceno Superior), ou o fechamento do Istmo do Panamá e secundariamente glaciações (Mioceno e Plioceno). Quando as extinções são analisadas sob o ponto de vista morfo-adaptativo e ecológico, observa-se que as formas eretas foram mais atingidas do que as formas incrustantes, principalmente entre os ciclostromados, ao ponto de que no Priaboniano apenas gêneros eretos desapareceram. A supremacia dos queilostomados deveu-se ao seu alto grau de especialização ecológica, quando passaram a ocupar os mais variados nichos marinhos (MCKINNEY; TAYLOR, op. cit.).

Com relação aos bioeventos de inovação e radiação para ambos os clados, foi durante o Maastrichtiano (para estes clados), Cenomaniano (queilostomados) e Lutetiano (ciclostromados), que foram mais significativos. Do Cretáceo ao Cenozóico observa-se um declínio no surgimento de novos gêneros, devido talvez ao progressivo aumento do surgimento de novos gêneros, relacionado talvez ao progressivo aumento do número de espécies em relação aos clados mais altos na hierarquia taxonômica, seguindo a tendência de todos os organismos marinhos. É possível também que este quando seja um reflexo da proximidade do ponto de saturação dos ecossistemas, ou seja, a capacidade de suporte (*carrying capacity*) esteja perto do desequilíbrio (MCKINNEY; TAYLOR, op. cit.).

Ainda que os bioeventos nos briozoários pareçam ter controle muito mais intrínseco (inovações evolutivas e mecanismos que assegurem aumento rápido de sua representatividade numérica) do que extrínseco (fatores abióticos ou bióticos extra-celomados), as rápidas radiações dos briozoários após os bioeventos de extinção, reforçam a existência de refúgios espaciais onde os elementos bióticos ficaram protegidos das instabilidades ecológicas em seus nichos principais.

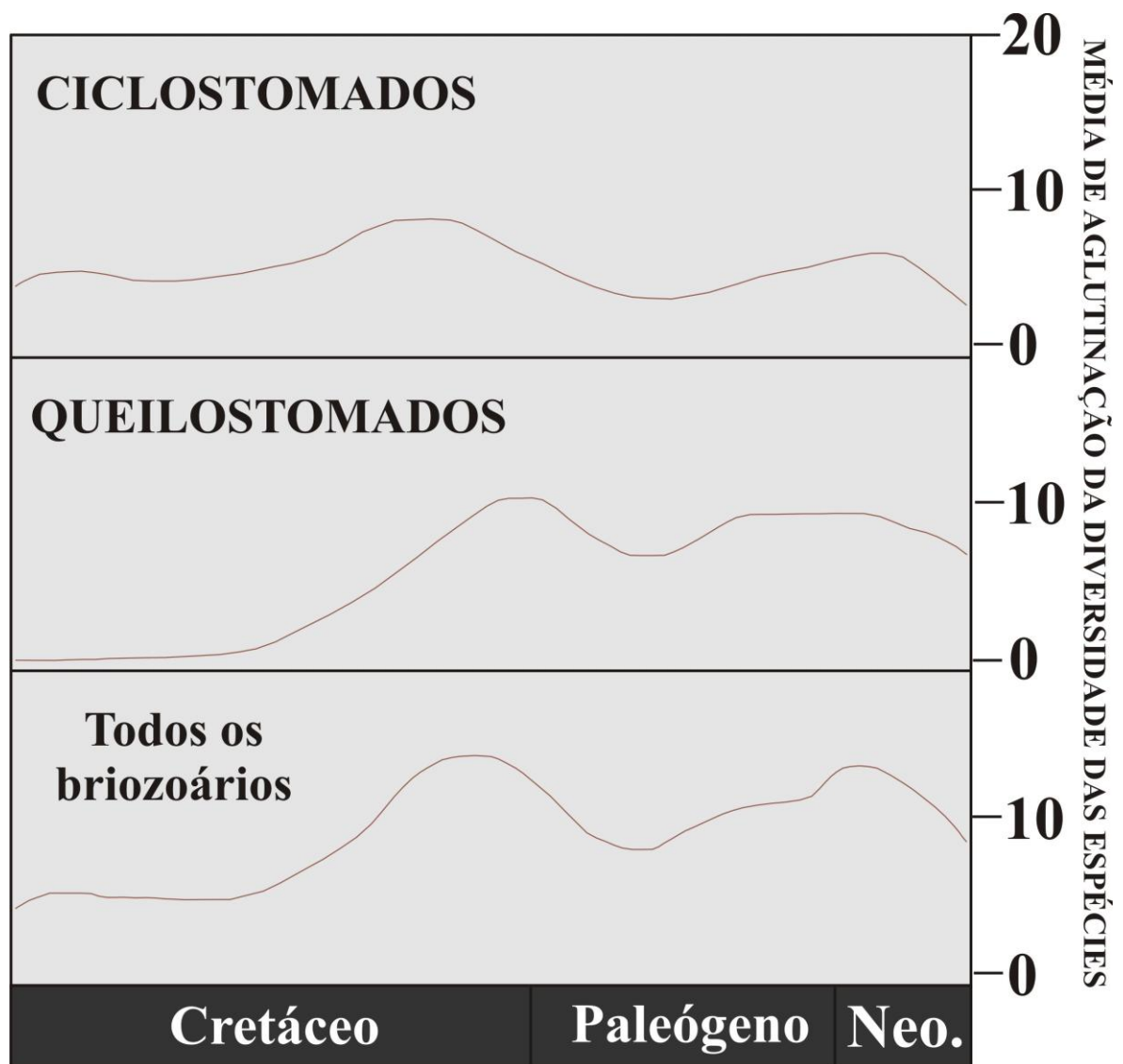


FIGURA 22 - Ilustração da média aglutinada da diversidade das espécies de briozoários com distribuição estratigráfica do Cretáceo ao Holoceno.
 Fonte: Modificado de Taylor (2000 in CULVER; RAWSON 2000).

6 CALIBRAÇÃO ENTRE EVENTOS GEOLÓGICOS E EVENTOS BIOLÓGICOS X ACUMULAÇÃO DE HIDROCARBONETOS

A partir do Mesozóico, o megacontinente Gondwana começou a ser atingido por esforços extensionais que provocaram soerguimentos regionais, formação de junções tríplices e rifteamento, tanto no interior quanto na borda da placa sulamericana. Durante o Triássico e Jurássico o segmento do Atlântico Central na América do Sul evoluiu para os estágios iniciais de rifteamento nas bacias da Foz do Amazonas, em seguida perdendo intensidade, migrando para a região do Caribe, culminando com a separação entre as Américas do Norte e Sul (SOARES JUNIOR, 2007).

Entre o Barremiano e Aptiano foi implantada na região meio-norte do Brasil, uma nova fase de rifteamento, sem vínculo com o Atlântico Central, individualizando o sistema de grábens Gurupi (bacias Bragança-Viseu, São Luís e Ilha Nova) e a Bacia do Marajó, e ampliando a Bacia da Foz do Amazonas. Este evento de ampliação da última unidade geotectônica mencionada continuou até o Albiano, quando seu avanço para SE evoluiu para a formação das bacias Pará-Maranhão e Barreirinhas, quando também foi iniciada a formação do Oceano Atlântico (SOARES JUNIOR, op. cit.).

No final do Cretáceo Inferior houve diminuição na movimentação na Bacia do Marajó, formação de crosta oceânica e margem passiva nas bacias da Foz do Amazonas, Pará-Maranhão e Barreirinhas (SOARES JUNIOR, op. cit.).

A análise da história geológica dos corais escleractíneos e briozoários registrados na Formação Pirabas deve estar integrada a este panorama geológico, para que possam ser acompanhadas a evolução filogenética de suas linhagens, e identificados os seus eventos biológicos mais significativos.

Considerando que a partir do Cretáceo Superior, as margens leste da América do Sul e oeste da África assumiram a sua configuração atual, observa-se que os ancestrais de todos os elementos da coralino e briozoofauna viveram no mar de Tethys, considerado o centro de origem do conjunto faunístico da Província Biogeográfica Caribean. Esta rápida proliferação biótica foi facilitada pelo regime das correntes oceânicas, que dispersou larvas, e também pelas condições climáticas favoráveis. Na passagem K-T esta favorabilidade ambiental foi quebrada pelo resfriamento climático global, que inibiu a deposição carbonática e dizimou muitas entidades taxonômicas, principalmente de corais hermatípicos. Pelo exposto, é

possível caracterizar inicialmente dois importantes bioeventos regionais, um de inovação e radiação, e um outro também regional, de extinção.

Após essa crise biótica, já no intervalo Paleoceno-Oligoceno, os corais sobreviventes, anermatípicos, nos mesmos centros de origem acima citados, experimentaram novamente bioeventos de inovação e radiação, que perduraram continuamente até a passagem Oligoceno/Mioceno, quando também é reconhecido um dos mais importantes bioeventos de espalhamento biogeográfico dos cnidários, principalmente os táxons bioconstrutores recifais. A este fato, acrescenta-se ainda que o conjunto apresentou modificações biogeográficas, provavelmente devido especializações ambientais, pois passou de pandêmico no Oligoceno Superior a endêmico no Mioceno Superior, tendo apresentado caráter misto, híbrido ou transicional entre o Mioceno Inferior e Mioceno Médio.

A história geológica dos briozoários e os seus padrões de distribuição biogeográfica e ecológica e, por consequência os bioeventos regionais encontram uma estreita relação com estes aspectos bem definidos entre os corais escleractíneos a partir do Cretáceo.

Os bioeventos de inovação e radiação nos corais foram concentrados principalmente nas formas hermatípicas, ampliando o número de construções recifais por toda a região entre o sudeste dos Estados Unidos e a região Caribeana, nas formas anermatípicas os aspectos inovadores concentram-se na morfologia e anatomia dos tentáculos, crescimento mais rápido das epitecas e também na ocupação dos nichos recifais, passando a ser um elemento freqüente também nestes ecossistemas.

Nos briozoários a favorabilidade ecológica permitiu inovações relacionadas com a origem e maturação mais rápida das larvas, dos queilostomados, através do aumento no número de táxons eretos, com estruturas morfoadaptativas que lhes possibilitam ocupar ambientes de alta energia, e alta taxa de sedimentação. Estas características abriram caminhos para bioeventos contínuos de radiação e expansão biogeográfica do grupo, fazendo com que os briozoários assumissem relevante papel nas biotas marinhas.

A partir do final do Mioceno, principalmente entre o Plioceno e Pleistoceno, foi estabelecido o padrão biogeográfico atual, onde o conjunto hermatípico do Brasil é bem distinto do vivente na região do Caribe Central, guardando uma relativa afinidade com os elementos de Trinidad. O aspecto endêmico dos escleractíneos brasileiros deve-se ao isolamento geográfico advindo da zona da foz do rio Amazonas, a barreira química natural que desencadeou vicariâncias. Este padrão biogeográfico foi também seguido pelos briozoários, elementos zoológicos com particularidades ambientais semelhantes, pelo menos entre a maioria dos táxons.

As rochas reservatório carbonáticas das bacias da margem equatorial brasileira estão incluídas nas formações Ilha de Santana (Bacia Pará-Maranhão) e Amapá (bacias Foz do Amazonas e Caciporé), de idade terciária e correlacionáveis entre si e também com a Formação Marajó (Bacia do Marajó), todas consideradas correlatas com a Formação Pirabas (Figura 23), unidade litoestratigráfica onde foram desenvolvidos os estudos de Biogeografia Histórica, aqui contidos.

Os dados levantados neste trabalho possibilitaram sugerir que a rápida proliferação biótica da coralinofauna e briozoofauna ocorrida durante o Cretáceo, foi impulsionada por um evento similar nas algas clorofíceas (verdes), coralináceas simbiontes, foraminíferos, fungos marinhos e dinoflagelados, elementos que compõem a cadeia de produtividade primária nos ambientes marinhos, inclusive nos recifes, instalados nos altos topográficos das plataformas internas.

A elevada produção de matéria orgânica foi interrompida por um evento anóxico que ocorreu no final do Cretáceo, quando um resfriamento climático inibiu a deposição carbonática e modificou também outros parâmetros físicos incluindo o $\delta^{13}\text{C}$. Com isso, a matéria orgânica foi acumulada em fundos argilosos, constituindo assim os elementos essenciais para a geração dos hidrocarbonetos nas bacias de meio norte.

Com o restabelecimento das condições ambientais e climáticas favoráveis, os corais e briozoários experimentaram novos bioeventos de radiação e espalhamento biogeográfico, tornando-se novamente elementos freqüentes nas biotas marinhas.

O rico registro destes invertebrados na Formação Pirabas, cuja correlação com as unidades litoestratigráficas sincrônicas foi supracitada, supõe que este novo pulso dos corais e briozoários pode ser utilizado como guia para pesquisas exploratórias de hidrocarbonetos, pois existe uma coincidência temporal entre os eventos biológicos, a deposição e conteúdo biótico das rochas de composição carbonática onde estão encerrados, atribuídas como reservatório de hidrocarbonetos nas bacias sedimentares Pará-Maranhão e Foz do Amazonas.

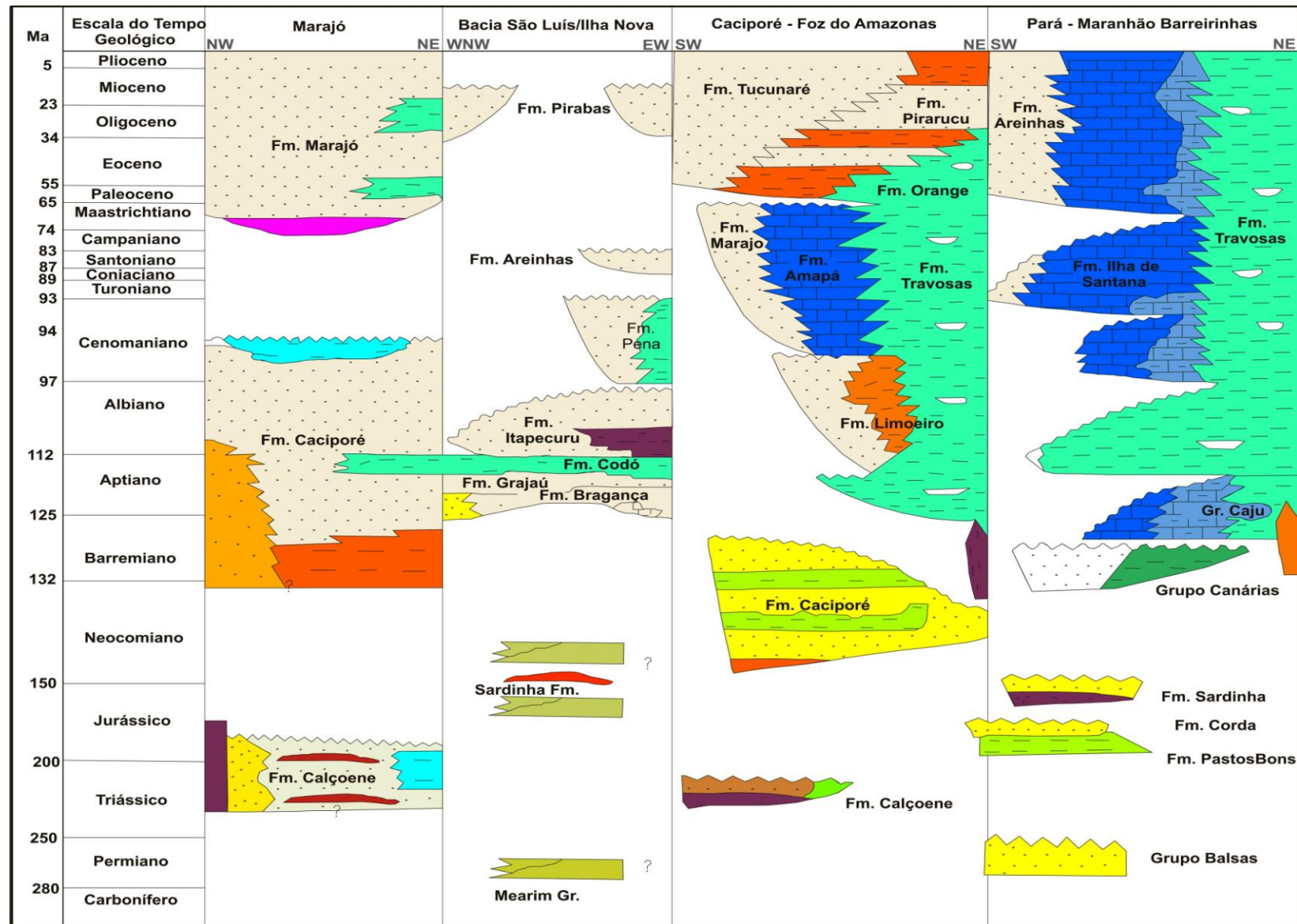


FIGURA 23 - Correlação Litoestratigráfica entre as bacias costeiras do norte brasileiro, com ênfase na Foz do Amazonas, Pará-Maranhão e Barreirinhas. As formações Ilha de Santana, Amapá, e Marajó são consideradas correlatas entre si e com a Formação Pirabas, que é a unidade litoestratigráfica onde foram desenvolvidos os estudos de Biogeografia Histórica contidos no trabalho.

7 CONCLUSÕES

O estudo biogeográfico e filogenético dos corais e briozoários do Mioceno do Pará permitiu as seguintes conclusões:

1. O Mesozóico foi marcado por eventos geológicos como a ruptura do Gondwana, abertura e desenvolvimento do Oceano Atlântico Central, Equatorial e Sul propiciando uma seqüência de eventos, que permitiram a proposição de modelos geodinâmicos no contexto da tectônica de placas envolvendo a gênese e evolução tectono-estratigráfica das bacias sedimentares da margem continental equatorial brasileira.
2. A evolução geológica das bacias costeiras do norte brasileiro teve maior incremento com a fase de rifteamento na margem equatorial brasileira ocorrida entre o Barremiano e Aptiano, que ampliou a Bacia da Foz do Amazonas e individualizou o sistema de grabens Gurupi e a Bacia do Marajó. A continuidade deste rifteamento favoreceu em tempos albianos a formação das bacias Pará-Maranhão e Barreirinhas, bem como do Oceano Atlântico.
3. A análise integrada da geohistória dos corais escleractíneos e briozoários registrados na Formação Pirabas favoreceu o entendimento da evolução filogenética, reconhecimento dos seus eventos biológicos mais significativos, decorrentes dos eventos geológicos ocorridos a partir do Mesozóico. Estes paleoinvertebrados, devido a sua sensibilidade ecológica, permitiram a identificação e associação entre os eventos biológicos e geológicos, cuja morfologia adaptativa refletiu condições ambientais tanto favoráveis quanto estressantes, ao longo da evolução deste segmento crustal.
4. Apesar das bacias costeiras do norte serem consideradas como novas fronteiras nas pesquisas exploratórias pela Agência Nacional do Petróleo (ANP), as bacias da Foz do Amazonas e Barreirinhas foram recentemente alvos de levantamentos sísmicos 2D do tipo *spec survey*, onde foram oferecidos para pesquisa exploratória pela ANP blocos em águas rasas. Os principais resultados obtidos com a perfuração de 93 poços na Bacia da Foz do Amazonas mostraram a descoberta de duas acumulações sub-comerciais de gás: Pirapema e a área do poço APS-51A. Em contrapartida, os 105 poços perfurados na Bacia de Barreirinhas atestaram a existência das acumulações sub-comerciais de São João (óleo e gás), Oeste de Canoas (gás) e Espigão (gás), situados na porção terrestre da bacia. Até o momento, foram definidos dois sistemas petrolíferos na Bacia da Foz do Amazonas, Limoeiro-Amapá e Travosas-Pirarucu, enquanto na Bacia Pará-Maranhão está definido o Sistema Travosas-Ilha de Santana e em fase especulativa outros dois, Caju-Travosas e Canárias-Canárias. Além da

confirmação destes sistemas, a continuidade da atividade exploratória poderá verificar o prolongamento destes sistemas nas bacias Marajó e Caciporé (correlatas com a Bacia da Foz do Amazonas), bem como Barreirinhas, Bragança-Viseu e São Luís-Ilha Nova (correlatas com a Bacia Pará-Maranhão).

5. As rochas reservatório carbonáticas das bacias da margem equatorial brasileira estão incluídas nas formações Ilha de Santana (Bacia Pará-Maranhão) e Amapá (bacias Foz do Amazonas e Caciporé), de idade terciária e correlacionáveis entre si e também com a Formação Marajó (Bacia do Marajó), todas consideradas correlatas com a Formação Pirabas, unidade litoestratigráfica onde foram desenvolvidos os estudos de Biogeografia Histórica. Os dados levantados neste trabalho possibilitaram sugerir que a rápida proliferação biótica da coralinofauna e briozoofauna ocorrida durante o Cretáceo, foi impulsionada por um evento similar nas algas clorofíceas (verdes), coralináceas simbiontes, foraminíferos, fungos marinhos e dinoflagelados, elementos que compõem a cadeia de produtividade primária nos ambientes marinhos. A elevada produção de matéria orgânica foi interrompida por um evento anóxico que ocorreu no final do Cretáceo, quando um resfriamento climático inibiu a deposição carbonática e modificou também outros parâmetros físicos incluindo o $\delta^{13}\text{C}$, constituindo assim os elementos essenciais para a geração dos hidrocarbonetos nas bacias do meio norte.

6. Com o restabelecimento das condições ambientais e climáticas favoráveis, os corais e briozoários experimentaram novos bioeventos de radiação e espalhamento biogeográfico, tornando-se novamente elementos freqüentes nas biotas marinhas e o rico registro destes invertebrados na Formação Pirabas, cuja correlação com as unidades litoestratigráficas sincrônicas, supõe que este novo pulso dos corais e briozoários pode ser utilizado como guia para pesquisas exploratórias de hidrocarbonetos, pois existe uma coincidência temporal entre os eventos biológicos, a deposição e conteúdo biótico das rochas de composição carbonática onde estão encerrados, atribuídas como reservatório de hidrocarbonetos nas bacias sedimentares Pará-Maranhão e Foz do Amazonas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. (ANP). *Petróleo*. 2001. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/>>. Acessado em 09/09/2008.

_____. *Brasil Round 5*. 2003. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/brnd/round5/round5/foz.asp>>. Acessado em 10/09/2010.

_____. *A Exploração na Margem Equatorial Brasileira e Bacias Interiores*. 2006. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/>>. Acessado em 10/08/2010.

BARBOSA, M. M. Redescrição do exemplar tipo de *Lunulites pileolus* White, 1887. *Boletim do Museu Nacional*, Rio de Janeiro, v. 24, p. 1-6, 1957.

_____. *Steginoporella pirabensis* n. sp. de briozoário da Formação Pirabas, Estado do Pará, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 31, n. 1, p. 109-111, 1959a.

_____. Descrição de um novo briozoário da Formação Pirabas. *Boletim do Museu Nacional*, Rio de Janeiro, v. 29, p. 1-7, 1959b.

_____. Briozoários fósseis da Bacia Amazônica. In: SIMPÓSIO SOBRE A BIOTA AMAZÔNICA, 1., Belém. *Atas*. Belém. 1967. v. 1, p. 75-82.

_____. *Cupuladria canariensis* (Busk) no Brasil. *Boletim do Museu Nacional*, Rio de Janeiro, v. 35, p. 1-6, 1971.

BASSLER, R. S. Bryozoa. In: MOORE, R. C. (ed.). *Treatise on invertebrate paleontology, part G*, New York: University of Kansas Press and Geological Society of América, 1953. 253p.

BEU A. G. Gradual Miocene to Pleistocene uplift of the Central American isthmus: evidence from tropical American tonnoidean gastropods. *Journal of Paleontology*, v. 75, n. 3, p. 706-720, 2001.

BRANDÃO, J. A. S. L.; FEIJÓ, F. J. Bacia da Foz do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 91-99, 1994a.

_____. Bacia do Pará-Maranhão. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 101-102, 1994b.

BRUSCA, R. C.; BRUSCA, G. J. Filo cnidaria. In: SILVEIRA, F. L. (coord.), *Invertebrados*. 1. ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S. A, 2007. p. 227-278.

BUDD, A. F.; STEMANN, T. A.; JOHNSON, K. G. Stratigraphic distributions of genera and species of Neogene to Recent caribbean reef corals. *Journal of Paleontology*, v. 68, n. 5, p. 951-977, 2004.

CAIRNS, S. D. The deep-water scleractinia of the caribbean sea and adjacent waters. *Studies on the fauna of Curaçao and other Caribbean Islands*, v. 57, p. 1-341, 1979.

CALDEIRA, J. L.; COUTINHO, L. F. C.; MORAES, M. F. B. Aspectos estruturais e sismoestratigráficos da seção Neo-Cretácea e Terciária da Bacia de Barreirinhas - Águas profundas. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 2, 1991, Salvador. *Anais*, Salvador: SBGf, 1991. p. 667-672.

CECCA, F. *Paleobiogeography of marine fossil invertebrates- concepts and methods*. London: Taylor & Francis, 2002. 273p.

CHAMBRIARD, M. M. R.; DUARTE, K. S.; MARINS, G. M. S.; COUTINHO, C. I; PEDROSA, L. F.; VARGAS, M. V. M. Petróleo e gás - Riquezas minerais. In: SILVA, C. R. (ed.), *Geodiversidade do Brasil*. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro, 1 ed., 2008. p. 110-114.

CHIAPPONE, M.; SULLIVAN, K. M.; LOTT, C. Hermatypic scleractinian corals of the Southeaster Bahamas: a comparison to Western Atlantic Reef Systems. *Caribbean Journal of Science*, v. 32, n. 1, p. 1-13, 1996.

COSTA, J. B. S.; BERMEGUY, R. L.; HASUI, Y.; BORGES, M. S. Tectonics and paleogeography along the Amazonas river. *Journal of South American Earth Sciences*, n. 14, p. 335-347, 2001.

COSTA J. B. S.; BORGES, M. S.; BEMERGUY, R. L.; FERNANDES, J. M. G.; COSTA JÚNIOR, P. S.; COSTA, M. L. Evolução cenozóica da região de Salinópolis, Nordeste do Estado do Pará. *Geociências*, v. 12, n. 2, p. 373-396, 1993.

CRAME, J. A.; ROSEN, B. R. Cenozoic palaeogeography and the rise of modern biodiversity Patterns. In: CRAME, J. A.; OWEN, A. W. (eds.). *Palaeobiogeography and biodiversity*

change: the Ordovician and Mesozoic-Cenozoic radiations., London: Geological Society, 2002. p. 153-168. (Special Publications, 194).

DAVISON, I. Tectonics and hydrocarbon distribution along the Brazilian South Atlantic margin. In: CAMERON, N. R., BATE, R. H.; CLURE, V. S. (eds). *The oil and gas habitats of the South Atlantic*. London: Geological Society, 1999. p.133-151. (Special Publications, 153).

DEMAISON, G. J.; MOORE, G. T. Anoxic environments and oil source bed genesis. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 64 , n. 8, p. 1179-1209, 1980.

FEIJÓ, F. J. Bacia de Barreirinhas. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 103-105, jan./mar. 1994.

FERNANDES, A. C. S. Contribuição à paleontologia do Estado do Pará. Scleractinia da Formação Pirabas (Mioceno Inferior) e suas implicações paleoecológicas (Coelenterata-Anthozoa). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi: Nova Série. Geologia*, Belém, v. 22, p. 1-33, 1979.

_____. Contribuição à Paleontologia do Estado do Pará. Um novo *Flabelum* (Anthozoa-Scleractinia) na Formação Pirabas. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi: Nova Série. Geologia*, Belém, v. 24, p. 1-7, 1981.

FERNANDES, A. C. S.; FERREIRA, C. S.; TÁVORA, V. A. O gênero *Lunulites* (Bryozoa) na fácies Baunilha Grande- Formação Pirabas no litoral paraense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, 1994, Camboriú. *Boletim de resumos expandidos*. Camboriú: SBG, 1994. v. 3, p. 216-217.

GALLO, V. G.; FIGUEIREDO, F. Paleobiogeografia. In: CARVALHO, I. S. (ed.), *Paleontologia*. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. v.1, p. 247-266.

GÓES, A. M.; ROSSETTI D. F.; NOGUEIRA, A. C. R.; TOLEDO, P. M. Modelo deposicional preliminar da Formação Pirabas no nordeste do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi: Série Ciências da Terra, Geologia*, Belém, v.2, p. 3-15, 1990.

JACKSON, J. B. C.; CHEETHAM, A. H. Evolutionary significance of morphospecies: a test with cheilostome Bryozoa. *Science*, v. 248, p. 579-583, 1990.

JOHNSON, K. G.; SÁNCHEZ-VILLAGRA, M. R.; AGUILERA, O. A. The Oligocene-Miocene transition on coral reefs in the Fálcon Basin (NW Venezuela). In: PALAIOS.

Emphasizing the impact of life on Earth's history. Society for Sedimentary Geology, 2009. v. 24, p. 59-69.

LALOR, A. M. C.; TÁVORA, V. A. Novos elementos da carolinofauna da Formação Pirabas (Mioceno Inferior), Estado do Pará. *Geociências*, v. 25, n. 2, p. 175-186, 2006.

MARKO, P. B.; JACKSON, J. B. C. Patterns of morphological diversity among and within arcid bivalve species pairs separated by the Isthmus of Panama. *Journal of Paleontology*, v. 75, n. 3, p. 590-606, 2001.

MAURY, C. J. *Fósseis terciários do Brasil com descrição de novas formas cretáceas*. Monografia do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, Rio de Janeiro, v. 4, p. 665, 1925.

McKINNEY, F. K.; TAYLOR, P. D. Bryozoan generic extinctions and origination during the last one hundred million years. *Palaeontologia Electronica*, v. 4, n. 1, p. 1-26, 2001.

MILANI, E. J.; ARAÚJO, L. M. Recursos minerais energéticos: Petróleo. In: BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; GONÇALVES, J. H.; BEARS, F. J.; DELGADO, I. M.; ABRAM, M. B.; LEÃO NETO, R.; MATOS, G. M. M.; SANTOS, J. O. S. (Coords.), 2003. *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Sistema de Informações Geográficas*. Escala 1:2.500.000. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Brasília, 2003. v. 10, p. 541-552.

MILANI, E. J.; BRANDÃO, J. A. S. L.; ZALÁN, P. V.; GAMBOA, L. A. P. Petróleo na margem continental brasileira: Geologia, exploração, resultados e perspectivas. *Revista Brasileira de Geofísica*, v 18, n. 3, 2000.

MONTAGGIONI, L. F.; BRAITHWAITE, C. J. R. Palaeobiogeography: Evaluation of the Inheritance from the Tertiary. In: CHAMLEY, H. (ed.), *Quaternary Coral Reef Systems*, 2009. v.5, p. 23-65 (Developments in Marine Geology).

MORRONE, J. J.; CRISCI, J. V. *Historical biogeography*: introduction to methods. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 26, p. 373-401, 1995.

OWEN, A. W.; CRAME, J. A. Paleobiogeography and the Ordovician and Mesozoic-Cenozoic biotic radiations. In: *Palaeobiogeography and biodiversity change: The Ordovician and Mesozoic-Cenozoic radiations*. Geological Society, London, Special Publications, 2002. v.194, p. 1-11.

PAMPLONA, H. R. P. Litoestratigrafia da Bacia Cretácea de Barreirinhas. Rio de Janeiro, *Boletim Técnico PETROBRÁS*, v. 12, n. 3, p. 261-290, 1969.

REGALI, M. S. P.; UESUGUI, N.; LIMA, E. C. Palinoestratigrafia e paleoambiente da Bacia de Barreirinhas, Maranhão, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 8. Rio de Janeiro, DNPM. Geol. 27, *Paleont. Estrat.* 2, 1985. p. 461-470.

ROMANO, S. L.; PALUMBI, S. R. Evolution of scleractinian corals inferred from molecular systematics. *Science*. v. 271, p. 640-642, 1996.

RONIEWICZ, E.; STOLARSKI, J. Triassic roots of the Amphipora-like scleractinian corals. *Journal of Paleontology*, v. 75, n. 1, p. 34-45, 2001.

ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M. Geologia. In: ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M. (Eds.), *O Neógeno da Amazônia Oriental*. Editora do Museu Paraense Emílio Goeldi, Coleção Friederich Katzer, Belém, 2004. p.13-52.

SEPKOSKI JR, J. J.; MCKINNEY, F. K.; LIDGARD, S. Competitive displacement among post-Paleozoic cyclostome and cheilostome bryozoans. *Paleobiology*, v. 26, n. 1, p. 7-18. 2000.

SOARES JUNIOR, A.V. *A fragmentação do Gondwana na região meio-norte do Brasil durante o Mesozóico*. Belém, 2007. 193f. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Pará.

STOLARSKI, J. Gardineria - a scleractinian living fossil. *Acta Paleontologica Polonica*, v. 41, n. 4, p. 339-367. 1996.

STOLARSKI, J.; RONIEWICZ, E. Towards a new synthesis of evolutionary relationships and classification of Scleractinia. *Journal of Paleontology*, v.75, n. 6, p. 1090-1108. 2001.

STOLARSKI, J.; RUSSO, A. Evolution of the post- Triassic pachythecline corals. *Bulletin of the Biological Society of Washington*, v.10, p. 242-256. 2001.

TÁVORA, V. A.; FERNANDES, J. M. G. Uma fauna de briozoários da Formação Pirabas (Mioceno Inferior), Estado do Pará. *Acta Geológica Leopoldensia*, , São Leopoldo, v. 17, p. 145-156. 1994.

TÁVORA, V. A.; GONÇALVES, D. F.; ARAÚJO, T. C. C. Ocorrência de uma nova espécie de escleractíneo (Coelenterata) na Formação Pirabas (Eomioceno), Estado do Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, Sociedade Brasileira de Geologia, v. 32, n. 2, p. 231-234., 2002a.

TÁVORA, V. A.; SILVEIRA, E. S. F.; MILHOMEM NETO J. M. Mina B-17, Capanema, PA - Expressivo Registro de uma Paleolaguna do Cenozóico Brasileiro. In: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; BERBERT-BORN, M.; QUEIROZ, E. T.; CAMPOS, D. A.; SOUZA, C. R. G.; A. FERNANDES, C. S. (Eds.): *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. 2007. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio121/sitio121.pdf>>. Acessado em: 10 de agosto 2010.

TAYLOR, P. D. Origin of the modern bryozoan fauna. In: CULVER, S. J.; RAWSON, P. F. 2000. *Biotic Response to Global Change. The last 145 Million Years*. The Natural History Museum, London, 2000. p. 195-205.

WALLISER, O. H. Towards a more critical approach to Bioevents. In: WALLISER, O. H. (ed.) *Global Bio-Events, a Critical approach*, Notes in Earth Science, 1986. n. 8, p. 5-16.

WHITE, C. A. *Contribuição à paleontologia do Brasil*. Arquivos do Museu Nacional, Rio de Janeiro, v. 7, p. 1-273. 1887.

WELLS, J. W. Scleractinia. In: MOORE, R. C. (ed.). *Treatise on Invertebrate Paleontology*, Part F Coelenterata Lawrence: The University of Kansas Press, 1956. p. F328 – F444.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

BARON-SZABO, R. C. A new coral fauna from the Campanian of Northern Spain (Torallola Village, Prov. Lleida). *Geologisch-paläontologische Mitteilungen*, Innsbruck, v. 23, p. 127-191, 1998.

_____. Late Campanian-Maastrichtian corals from the United Arab Emirates - Oman border region. *Bulletin of the Natural History Museum*, Geology Series, v. 56, p. 91-131, 2000.

BRANDÃO, J. A. S. L. *Revisão e atualização estratigráfica das bacias da Foz do Amazonas e Pará-Maranhão*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. 1990. (Relatório interno).

BUDD, A. F. Neogene paleontology in the Northern Dominican Republic. 11. The family Faviidae (Anthozoa:Scleractinia). Pt. I. The genera *Montastraea* and *Solenastrea*. *Bulletin of America Paleontology*, n. 101, p. 1-83, 1991.

CAINELLI, C.; FALKENHEIM, F. U. H.; FERNANDES, G. J. F. (coord.). *Análise da Bacia do Pará-Maranhão*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. 1986. (Relatório interno)

CAIRNS, S. D. Antarctic and Subantarctic scleractinia. *Antartic Research Series*, v. 34 , p. 1-74, 1982.

_____. New records of ahermatypic corals (Scleractinia) from the Hawaiian and Line Islands. *Ocasional Papers of Bernice Pauahi Bishop Museum*, Honolulu, v. 25, p. 1-30. 1984.

_____. New records of azooxanthellate atony corals (Cnidaria: Scleractinia and Stylasteridae) from the Neogene of Panama and Costa Rica. In: BIOLOGICAL SOCIETY OF THE WASHINGTON, 1995, Washington. *Proceedings*. Washington: [s.n.], 1995. v.108, p. 533-550.

_____. Azooxanthellate Scleractinia (Cnidaria:Anthozoa) of Western Australia. *Records of the Western Australian Museum*, v. 18, p. 361-417, 1998.

_____. Cnidaria Anthozoa: deep-water azooxanthellate Scleractinia from Vanuatu, and Wallis and Futuna Islands. In: CROSNIER, A. (ed.). *Résultats des campagnes MUSORSTOM*. v. 20, n. 180, p. 31-167. 1999. (Mémoires du Muséum national d'Histoire naturelle).

FIGUEIREDO, A. M. F.; TEIXEIRA, L.; AMORIM, J.; CARMINATTI, M. *Projeto Barreirinhas: reavaliação da bacia cretácea, áreas terrestre e marítima*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS, 1982. (Relatório interno).

MOHRIAK, W. U. Bacias sedimentares da margem Continental Brasileira. In: BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (eds.). *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil*. 1. ed. Brasília, DF: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2003. p. 87-165.

REGALI, M. S. P.; UESUGUI, N. *Estudo palinológico integrado da Plataforma Continental Norte Brasileira*. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 1970. (Relatório interno).

RODARTE, J. B. M.; BRANDÃO, J. A. L. S. *Arcabouço estrutural, estratigrafia e Perspectivas exploratórias da área de Caciporé, porção noroeste da Bacia da Foz do Amazonas*. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 1988. (Relatório interno).

SCHALLER, H.; VASCONCELOS, D. N.; CASTRO, J. Estratigrafia preliminar da bacia sedimentar da foz do rio Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., 1971, São Paulo, *Anais*, São Paulo: SBG, 1971. v.3, p. 189-202.

SILVA, S. R. P.; RODARTE, J. B. M. *Bacias da Foz do Amazonas e Pará-Maranhão (águas profundas): uma análise sismoestratigráfica, tectono-sedimentar e térmica*. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 1989. (Relatório interno).