



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
Centro de Ciências
Departamento de Geologia
Curso Geologia

Dissertação de Mestrado

***GEOQUÍMICA ISOTÓPICA (Sm/Nd em Rocha Total) DAS
FORMAÇÕES DA FASE PRÉ-RIFTE DA BACIA DO ARARIPE(CE):
ANÁLISE DE PROVENIÊNCIA***

DÉBORA PINHO CAVALCANTE

Orientador: Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto

Co-orientador: Prof^ª Dra. Maria Helena Ribeiro Hessel

Fortaleza (CE)

Junho - 2010

C365g Cavalcante, Débora Pinho

Geoquímica isotópica SM/Nd em Rocha Total) das formações da fase pré-rifte da Bacia do Araripe (Ce): análise da proveniência /, Débora Pinho Cavalcante, 2010.

110 f. ; il. color. enc.

Orientador: Prof. PhD José de Araújo Nogueira Neto

Co-orientador: Dra. Maria Helena Ribeiro Hessel

Área de concentração: Geologia regional

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências. Depto. de Geologia, Fortaleza, 2010.

1. Bacia do Araripe 2. Rochas sedimentares 3. Tectônica I. Nogueira Neto, José de Araújo (orienta.). II. Hessel, Maria Helena Ribeiro (Co-orienta.) III. Universidade Federal do Ceará – Programa de Pós-Graduação em Geologia IV. Título.

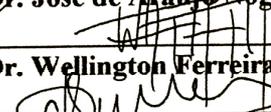


ATA DA REUNIÃO DO COMITÊ DE DISSE RTAÇÃO PARA JULGAMENTO DO TRABALHO DA GEÓLOGA DÉBORA PINHO CAVALCANTE, CONFORME PORTARIA N.º 15/2010 DE 24 DE JUNHO DE 2010.

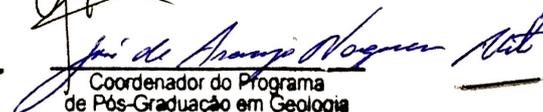
Ao vigésimo quarto dia do mês de junho de dois mil e dez, às quatorze horas e trinta minutos, no Auditório do Departamento de Geologia do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, reuniu-se o comitê de Dissertação, constituído pelos Professores Drs(a). JOSÉ DE ARAUJO NOGUEIRA NETO, WELLINGTON FERREIRA DA SILVA FILHO e CÉSAR ALEJANDRO AGUILAR GOSO para sob a responsabilidade do primeiro (Presidente) julgarem o trabalho de Dissertação da Geóloga Débora Pinho Cavalcante, concludente do Programa de Pós-Graduação em Geologia, visando a obtenção do Título de Mestre em Geologia. A reunião foi presidida pelo Professor José de Araujo Nogueira Neto e estando presentes os Professores: Itabaraci Nazareno Cavalcante (Chefe do Departamento de Geologia), Sônia Maria Silva Vasconcelos (Coordenadora do Programa de Pós-Graduação e Doutorado em Geologia), outros Professores do Departamento e demais convidados. O Professor José de Araujo Nogueira Neto solicitou permissão para efetuar a leitura dos Artigos referentes à Defesa de Dissertação constantes das normas de Cursos de Mestrado. Dando continuidade aos trabalhos o Presidente da Comissão fez a leitura da Portaria N° 15/2010 de 24 de Junho de 2010 que designa os Componentes do Comitê de Dissertação. Feito esta leitura, o Senhor Presidente apresentou a Geóloga Débora Pinho Cavalcante do qual foi orientador na elaboração do seu trabalho, conclamando-a a iniciar a exposição de sua Dissertação intitulada "GEOQUÍMICA ISOTÓPICA (SM/Nd em Rocha Total) DAS FORMAÇÕES DA FASE PRÉ-RIFTE DA BACIA DO ARARIPE(CE): ANÁLISE DE PROVENIÊNCIA" a seguir a Geóloga Débora Pinho Cavalcante, realizou a exposição do seu trabalho. Concluída a exposição do trabalho, a concludente foi arguida pelos Componentes do Comitê de Dissertação usando a palavra seguidamente os Professores: César Alejandro Aguilar Goso, Wellington Ferreira da Silva Filho e por ultimo o Professor José de Araujo Nogueira Neto, os quais fizeram indagações sobre alguns aspectos do trabalho e sugeriram algumas correções no trabalho. Os membros do Comitê parabenizaram a candidata pela boa apresentação da Dissertação e pelas adequadas respostas às questões formuladas. A Banca Examinadora após reunião considerou o trabalho apresentado com nível APROVADO. Finalizando o senhor Presidente agradeceu o comparecimento dos presentes e como nada mais havia para ser tratado, foi lavrado a presente ata que vai assinada por mim, Secretário do Programa de Pós-Graduação em Geologia, sendo depois lida e aprovada pelos Componentes do Comitê de Dissertação, após o que o senhor Presidente declarou encerrada a Seção. Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Geologia em Fortaleza, 24 de Junho de 2010.


João Benício Cavalcanti Júnior - (Secretário do Curso)


Prof. Dr. José de Araujo Nogueira Neto - (Presidente)


Prof. Dr. Wellington Ferreira da Silva Filho (Membro)


Prof. Dr. César Alejandro Aguilar Goso - (Membro Externo)


Coordenador do Programa
de Pós-Graduação em Geologia
Prof.º Dr. José de Araujo Nogueira Neto
nogueira@ufc.br
(85) 3366-9183

***GEOQUÍMICA ISOTÓPICA (Sm/Nd em Rocha Total) DAS FORMAÇÕES
DA FASE PRÉ-RIFTE DA BACIA DO ARARIPE(CE): ANÁLISE DA
PROVENIÊNCIA***

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Geologia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Geociências.

Área de Concentração: Geologia Regional.

Orientador: Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto

Co-orientador: Prof^a Dra. Maria Helena Ribeiro Hessel

Dedico este trabalho aos meus pais, Luiz e Tereza, por terem proporcionado minha formação pessoal, moral e educacional. A minha irmã Bárbara por sempre me apoiar.

Ao meu namorado, Roberto, pelo carinho, companheirismo e força durante a busca dos meus e nossos objetivos.

AGRADECIMENTOS

Durante todo meu histórico acadêmico, graduação e pós-graduação, obtive ajuda de muitas pessoas, profissionais e órgãos, dentre estes gostaria de agradecer:

Primeiramente aos meus pais por me proporcionarem todo o aparato para meu desenvolvimento profissional. Ao meu namorado, Roberto, pela paciência, apoio e dedicação a mim, durante todo o período, desde campo a finalização da dissertação.

Aos amigos da geologia, em especial a minha turma de graduação turma 2003.1, pela força e companheirismo.

A todos os professores, de graduação e pós-graduação, que formaram todos os meus conhecimentos geológicos e em especial ao meu orientador e amigo, Dr. José de Araújo Nogueira Neto, pelo apoio e empenho prestados do início ao fim da dissertação, e ao Prof. Dr. Wellington Ferreira pela ajuda na elaboração do trabalho e fornecimento de alguns dados.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará pela oportunidade de execução deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa - CNPq, pela concessão da Bolsa de Mestrado e financiamento parcial do projeto executado.

A CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela base financeira de parte da minha pesquisa e oportunidade de perpetrar um mestrado sanduíche, vínculo entre as universidades UFC (Universidade Federal do Ceará) e UNESP (Universidade Estadual Paulista), que me forneceram um grande crescimento profissional.

A Universidade Estadual Paulista – UNESP por me fornecer todos os aparatos necessários a preparação de minhas amostras, e aos professores Artur e Tamar pela contribuição.

A Universidade de Brasília – UnB pelo fornecimento dos aparelhos para preparação das amostras e posteriores análises no equipamento espectrômetro de massa, e ao Prof. Dr. Elton Dantas pelo auxílio na interpretação dos dados geocronológicos.

Aos técnicos que me ajudaram a tratar as amostras durante a pesquisa, como Adilson (UNESP), Carla Tinoco (UnB) e Geane (UnB).

"O segredo da felicidade consiste não em fazer o que se gosta, mas em gostar do que se faz."

James M. Barrie

RESUMO

A Bacia do Araripe encontra-se inserida nos estados do Ceará, Pernambuco e Piauí, com maiores, abrangência e litologias distintas, no Estado do Ceará. Originada durante o evento de abertura do Oceano Atlântico, compõem-se por formações separadas entre as etapas tectônicas pré, sin e pós-rifte. Composta basicamente por rochas sedimentares dividem-se em: I - Grupo Vale do Cariri: Formações Brejo Santo, Missão Velha e Abaiara e II – Grupo Araripe: Formações Rio da Batateira, Santana (Membros Crato, Ipubi e Romualdo), Arajara e Exu. O Grupo Vale do Cariri compõe as fases de evolução tectônica pré e sin rifte e o Grupo Araripe representa a fase pós-rifte da Bacia do Araripe. O projeto de pesquisa assinala estudos a cerca da proveniência das formações originadas durante o desenvolvimento da fase pré-rifte da Bacia do Araripe e da Formação Mauriti, unidade sotoposta a Formação Brejo Santo, originada anteriormente a bacia, a partir do resultado de dados analíticos isotópicos de *Sm/Nd* em Rocha Total. As amostras selecionadas foram analisadas na Universidade de Brasília (UnB), e preparadas na Universidade Estadual Paulista (UNESP). Os dados de *Sm/Nd* foram gerados na UnB pelo equipamento espectrômetro de massa, totalizando análises de 6 amostras. Os resultados adquiridos a partir das amostras selecionadas mostraram que as formações da fase pré-rifte e da Formação Mauriti são rochas sedimentares formadas da proveniência de rochas do embasamento pré-cambriano, com idades T_{DM} variando, de acordo com a unidade, em 1,47 e 2,51 Ga, oscilando idades entre paleoproterozóico a mesoproterozóico.

Palavras-chave: Bacia do Araripe; isotópicos; proveniência.

ABSTRACT

The Araripe Basin is inserted in the states of Ceará, Pernambuco and Piauí, with larger scope and distinct lithologies in the state of Ceara. Originated during the opening event of the Atlantic Ocean, are composed of separate formations between tectonic stages pre, syn-and post-rift. Basically composed of sedimentary rocks are divided into: I - Valley Group Cariri: Formations Swamp Ghost, Old Mission and Abaiara and II - Group Araripe: Formations of Rio Potatoes, Santana (Members Crato and Romualdo Ipubi), Araj and Exu. The Group consists Valley Cariri stages of tectonic evolution of pre-rift and syn Araripe Group and represents the post-rift basin Araripe. The research project studies the notes about the provenance of the formations originated during the development of pre-rift basin Araripe Mauriti and Training, the Training Unit sotoposta Swamp Ghost, originated before the watershed, from the output data analytical isotopic Sm / Nd whole rock. The selected samples were analyzed at the University of Brasilia (UNB), and prepared at the Universidade Estadual Paulista (UNESP). The data for Sm / Nd were generated by equipment at UnB mass spectrometer analysis totaling six samples. The results obtained from selected samples showed that the formations of the pre-rift and Training Mauriti sedimentary rocks are formed of the provenance of basement rocks of Precambrian, with ages ranging TDM, according to the unit at 1.47 and 2.51 Ga, oscillating between the ages of Paleoproterozoic to Mesoproterozoic.

Keywords: Araripe Basin; isotopic; provenance.

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 – Mapa de localização e acesso da área pesquisada/Imagem SRTM da Bacia do Araripe.....	18
Fig. 2 – Evolução isotópica de samário-neodímio para os minerais A,B e C e a rocha total de uma rocha ígnea que cristalizou em T_x . O $T=0$ é o tempo presente e RI corresponde a razão $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ inicial.....	24
Fig. 3 – Curva de evolução condrítica, e dois materiais derivados em T_1 por fusão parcial em termos de ϵ_{Nd}	25
Fig. 4 – Bacias fanerozóicas da Região Nordeste do Brasil, com destaque para a Bacia do Araripe, entre os lineamentos de Pernambuco e Paraíba (A = Araripe; IG = Iguatu; J = Jatobá; P= Potiguar; PB = Paraíba; PP = Pernambuco-Paraíba; RP = Rio do Peixe; SA = Sergipe-Alagoas; T = Tucano) (Fonte: Assine, 1994).....	37
Fig. 5 – Principais domínios da província Borborema, com feições litoestruturais e geocronológicas características (Fonte: Brito Neves <i>et al.</i> , 2000)	38
Fig. 6 – Coluna estratigráfica da Bacia do Araripe (e = espessura em metros; C = concreções carbonáticas fossilíferas ; \perp = gipsita) (Fonte: Assine 1994, mod. de Assine 1992).....	39
Fig. 7 – Modelo proposto por Matos (1992) para a origem e evolução das bacias interiores do nordeste brasileiro: A - extensão NW-SE em zonas de cisalhamento sigmoidais pré-existentes; B - cenário tectônico pré-rifteamento; C - cenário tectônico com a distribuição dos riftes formados (Fonte Matos, 1992).....	40
Fig. 8 – Evolução tectono-sedimentar da Bacia do Araripe reconstituída a partir da análise do poço AP-1-CE (Fonte: Ponte Filho, 1992).....	44
Fig. 9 – Mapa geológico da Bacia do Araripe. Na seção A-D pode ser observado o padrão estrutural em horstes e grabens das seqüências inferior e juro-neocomiana, afetadas pelo tectonismo do estágio rifte, e a atitude subhorizontal das seqüências pós-rifte (Fonte: Assine, 1994, mod. de Assine, 1992)	45
Fig. 10 – Principais elementos estruturais da Bacia do Araripe e de áreas adjacentes (Fonte: Ponte & Ponte Filho, 1996)	47
Fig. 11 – Quadro comparativo resumido das principais subdivisões estratigráficas propostas para a Bacia do Araripe (Fonte: Neumann, 1999)- adaptado.....	49
Fig. 12 – Coluna estratigráfica da Bacia do Araripe (Fonte: Chagas, 2006; Mod. de Ponte, 1992 b).....	51
Fig. 13 – Poço 2AP-1-CE Perfil estratigráfico do poço 2-AP-1-CE (GDA=granodecrescência ascendente; GCA= granocrescência ascendente) (Assine, 2007).....	59

Fig. 14 – Seção colunar levantada no pontal de Santa Cruz, no Município de Santana do Cariri, por Chagas (2006), como apenas Formação Exu, mas levando em consideração a dissertação esta coluna esta disseminada em duas formações, Arajara (Exu inferior) e Exu (Exu superior).....79

Fig. 15 – Domínios tectônicos e principais estruturas da Província Borborema. Zonas de Cizalhamento: Sobral–Pedro II (SO), Senador Pompeu (SP), Orós–Aiuaba (OR), Porto Alegre (PO), São Vicente (SV), Piauí–João Câmara (JC), Malta (MA), Serra do Caboclo (SC), Congo–Cruzeiro do Nordeste (CC), Serra da Jabitaca (SJ), Jatobá–Itaíba (JI), Macururé–Riacho Seco (MR), Belo Monte–Jeremoabo (BJ), São Miguel do Aleixo (SA) e Itaporanga (IA); Lineamentos: Patos (PA) e Pernambuco (PE); *Nappes* da Faixa Riacho do Pontal (RP) (BIZZI *et al*, 2003).....90

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1 – Britador de Mandíbula (tipo Furlan BM 2010/nº 95047/RPM 360) do Laboratório da Universidade Estadual Paulista (DPM-IGCE/UNESP). Tritura amostras à dimensões de 1x1cm.....	28
Foto 2 – Britador de Mandíbula (tipo Fritsch, série 01.705/2372, 1998/voltagem (V) 230/corrente (A) 9/Frequência (Hz) 50-60/3~/Poder (W) 2800) do Laboratório da Universidade Estadual Paulista (DPM-IGCE/UNESP), tritura amostras à fração de areia. (A) Frente; (B) Lateral.....	29
Foto 3 – Moinho Oscilante de tungstênio (tipo EUCHNER/TP2-528A024PG), do Laboratório da Universidade Estadual Paulista (DPM-IGCE/UNESP).....	29
Foto 4 – Balança Analítica (Sartorius), do Laboratório de geocronologia e geologia de isótopos da Universidade de Brasília (UnB)	30
Foto 5 – Chapa quente, do Laboratório de Geocronologia e Geologia de Isótopos da Universidade de Brasília (UnB)	31
Foto 6 – <i>Clean Box</i> , do Laboratório de Geocronologia e Geologia de Isótopos da Universidade de Brasília (UnB)	31
Foto 7 – (A) Separação dos ETRs (Coluna Primária); (B) Separação do <i>Sm/Nd</i> (Coluna Secundária), do Laboratório de Geocronologia e Geologia de Isótopos da Universidade de Brasília (UnB).....	33
Foto 8 – (A) equipamento termo-iônico (TIMS), multi-coletor, espectrômetro de massa (tipo Finnigan-MAT 262) e (B) Filamento de Re, para processo de ionização	34
Foto 9 – Argilito vermelho da Formação Brejo Santo, início do túnel da ferrovia transnordestina, localizada entre os municípios de Missão Velha e Abaiara. (A): Visão Geral e (B): Visão do local amostrado. Ponto M-21	60
Foto 10 – Folhelhos e calcários laminados do Membro Crato da Formação Santana. Ponto M-02	71
Foto 11 – Arenito da Formação Arajara, no parque Arajara. Ponto M-5.....	77

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 –Coordenadas UTM das amostras coletadas na área estudada (<i>Datum</i> SAD 69) e análises do método <i>Sm/Nd</i>	21
Quadro 2 – Principais nuclídeos utilizados na geocronologia. O ^{144}Nd é um nuclídeo radioativo de meia vida de $2,4 \times 10^{15}$ e, portanto, considera-se nuclídeo praticamente estável.....	22
Quadro 3 – Resultados de determinações isotópicas do método <i>Sm-Nd</i> da área estudada	89

ÍNDICE DE PRANCHAS

- Prancha 01 – A: Formação Mauriti (cachoeira de Missão Velha) com estratificações intercaladas cruzadas planares, cruzadas acanaladas e plano-paralelas, de pequeno a médio porte. Ponto M-06; B: Seção Colunar referente à Formação Mauriti levantada na localidade da cachoeira de Missão Velha. Ponto M-06; C: Paleocorrentes da Formação Mauriti indicando fluxo de corrente para NNW. Fonte: Assine (1994) e Chagas (2006), adaptado..... 57
- Prancha 02 – A: Arenito com estratificação cruzada planar (Sp), estratificação cruzada acanalada (St) e alguns *sets* com estratificação horizontal da Formação Missão Velha, na localidade Grotta Funda. Ponto M-07; B: Seção-colunar referente à Formação Missão Velha, levantada na Grotta Funda (Chagas, 2006). Seção semelhante ao Ponto M-07; C: Medidas de paleocorrente com fluxo para SSE, da Formação Missão Velha. Fonte: Freitas (2008), Assine (1994) e Chagas (2006), adaptado. 62
- Prancha 03 – A: Seção Colunar da Formação Abaiara, no município de Abaiara. Ponto ZC-05.; B: Seção Colunar da Formação Abaiara, no túnel da ferrovia transnordestina, entre os municípios de Missão Velha e Abaiara. Ponto ZC-01 e 02; C: Medidas de Paleocorrente da Formação Abaiara. Fonte: Assine (1994) e Chagas (2006), adaptado. 65
- Prancha 04 – A: Seção Colunar da Formação Rio da Batateira, no Rio da Batateira. Ponto ZC-07; B: Paleocorrente da Formação Rio da Batateira com fluxo para SE. Fonte: Assine (1994) e Chagas (2006), adaptado; C/D: Formação Rio da Batateira, entrada do Município de Barbalha., com presença de estratificação cruzada planar. (C) Ponto M-19 e (D) M-20..... 69
- Prancha 05 – A: Seção Colunar do topo do Membro Crato da Formação Santana. Ponto ZC-03; B: Visão da Mina Pedra Branca, pertencente a empresa Gesso Chaves. Ponto M-17; C: Folhelho do Membro Romualdo da Formação Santana, localizado na Mina Pedra Branca. Ponto M-12; D: Seção Colunar dos Membros Romualdo (topo) e Ipubi (base) na Mina de Pedra Branca no Município de Nova Olinda, da Formação Santana. Ponto ZC 08; E: Medidas de paleocorrente com fluxo para SW de Chagas (2006)..... 75
- Prancha 06 – A: Diagrama de evolução isotópica de Nd das rochas sedimentares da fase pré-rifte da Bacia do Araripe; B: Diagrama de evolução isotópica de Nd da Formação Mauriti; C: Diagrama de evolução isotópica de Nd da Formação Brejo Santo; D: Diagrama de evolução isotópica de Nd da Formação Missão Velha88

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Considerações Iniciais e Motivação	15
1.2 Objetivos gerais e específicos.....	16
1.2.1 Objetivos Gerais	16
1.2.2 Objetivos Específicos	17
1.3 Localização da área de Pesquisa e Vias de Acesso	17
2 MATERIAIS E MÉTODOS DE TRABALHO	20
2.1 Método <i>Sm/Nd</i>	21
2.1.1 Fundamentação teórica	22
2.1.1.1 Idades Modelos	25
2.1.1.2 Aplicação geocronológica do método <i>Sm/Nd</i> em rochas sedimentares	27
2.1.2 Preparação de amostras	27
3 GEOLOGIA REGIONAL	36
3.1 Considerações Iniciais	36
3.2 Síntese da evolução tectono-sedimentar da Bacia do Araripe.....	41
3.3 Síntese das estruturas da Bacia do Araripe.....	46
3.4 Síntese do Conhecimento da estratigrafia de seqüências	48
4 LITOESTRATIGRÁFICA DA BACIA DO ARARIPE	53
4.1 Embasamento Cristalino	54
4.2 Formação Mauriti (Cariri)	54
4.3 Grupo Vale do Cariri	58
4.3.1 Formação Brejo Santo	58
4.3.2 Formação Missão Velha.....	60
4.3.3 Formação Abaiara	63
4.4 Grupo Araripe.....	66
4.4.1 Formação Rio da Batateira (Barbalha).....	66
4.4.2 Formação Santana	70
4.4.3 Formação Arajara	76
4.4.4 Formação Exu.....	77
5 PROVENIÊNCIA DAS FORMAÇÕES MAURITI, BREJO SANTO E MISSÃO VELHA.....	81
5.1 Resultados obtidos e discussões	82
5.1.1 Formação Mauriti	82
5.1.2 Formação Brejo Santo	82
5.1.3 Formação Missão Velha	83
6 CONCLUSÃO.....	92
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
ANEXOS	102

1 INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais e Motivação

As bacias interiores do Nordeste do Brasil constituem inúmeras pequenas bacias, originadas e desenvolvidas durante os eventos tectônicos do Eo-cretáceo, iniciado no rifteamento do Gondwana, dando origem ao oceano Atlântico Sul (GHIGNONE *et. al.*, 1986; BRITO NEVES, 1990). A Bacia do Araripe, localizada ao sul do Estado do Ceará, é considerada a mais extensa e complexa das bacias interiores do Nordeste, engloba a Chapada do Araripe e o Vale do Cariri, totalizando uma área de aproximadamente 9.000 Km². Em torno da bacia observam-se as estruturas do embasamento de idade Pré-cambriana/Eo-paleozóica, pertencentes à Província Borborema.

Estudada desde 1913, tendo como primeira pesquisa a elaboração da coluna estratigráfica da área, realizada por Small, que a dividiu em quatro unidades: conglomerado basal, arenito inferior, calcário Santana e arenito superior. Desde então várias foram às reestruturações e detalhamentos, acerca das camadas sedimentares, referentes à sequência estratigráfica da Bacia do Araripe. Cita-se trabalhos como de Rand & Manso (1984), onde utilizaram dados gravimétricos para medir as espessuras das camadas sedimentares totais, e o mapeamento geológico da bacia, na escala de 1:100.000, desenvolvido por Ghignone *et al.* (1986). Ponte & Appi (1990) sugeriram uma nova sequência litoestratigrafia para a Chapada do Araripe, nomearam o Grupo Vale do Cariri para as Formações Brejo Santo, Missão Velha e Abaiara, e o Grupo Araripe para as Formações Rio da Batateira, Santana, Arajara e Exu.

A bacia ainda é desprovida de dados concisos em relação à evolução geológica e dados isotópicos, que determinem a proveniência do material que os originou. Sabendo da inexistência destes dados que remetam a possíveis avaliações sobre as fontes geradoras das sequências sedimentares da Bacia do Araripe, vislumbrou-se este estudo baseado em análises geocronológicas em *Sm/Nd* (T_{DM}). A associação e interpretação desses estudos geocronológicos com as características existentes sobre a litoestratigrafia da bacia podem auxiliar no preenchimento de algumas lacunas e na proposição de modelos evolutivos mais consistentes.

A composição dos dados isotópicos para *Sm/Nd* de sedimentos não depende apenas do decaimento de ¹⁴⁷Sm a partir da deposição, como também das idades das partículas que os compunham (FAURE, 1986). Estudos em sedimentos demonstraram que as razões de

Sm/Nd são muito constantes e similares às das rochas das quais foram derivadas (MACCULLOCH & WASSERBURG, 1978). Sendo assim, durante os processos de intemperismo, transporte, deposição e diagênese, os sedimentos não sofrem alterações significativas nas razões *Sm/Nd*. Desta forma, as idades modelo *Sm/Nd* de rochas sedimentares refletem as idades das rochas das quais elas foram derivadas, úteis na identificação de sua proveniência.

A presente dissertação apresenta de forma objetiva e sintética as propriedades das diferentes unidades estratigráficas, levando em consideração dados bibliográficos e alguns dados novos acerca de cada formação, individualmente acrescidos de informações que remetam melhor a caracterização da proveniência do material gerador das unidades da fase pré-rifte da bacia.

O documento está estruturado em seis seções: I – Descrita acima, etapa introdutória, definindo o contexto geral que trata a dissertação e especificando as fases seguintes realizadas, além da determinação dos objetivos gerais e específicos e apresentação da localização da área e vias de acesso; II – Estudo metodológico, englobando as principais características e desenvolvimento das etapas das análises isotópicas e materiais utilizados; III – Descrição do arcabouço geológico geral, elaborado baseado em pesquisas realizadas por diversos autores, através de levantamento bibliográfico, além de envolver dados, acerca da evolução tectono-sedimentar, estrutura e estratigrafia de sequências da Bacia do Araripe; IV – Exposição completa da sequência litoestratigráfica da bacia, englobando dados de outros autores, dados adquiridos em campo e dados fornecidos por outros autores; V – Resultados dos dados geocronológicos de *Sm/Nd* em rocha total, das unidades estratigráficas da fase pré-rifte da bacia, envolvendo suas discussões; VI – Conclusão, integração de todas as informações, finalizando o documento.

1.2 Objetivos gerais e específicos

1.2.1 Objetivos Gerais

O objetivo principal desta pesquisa é estabelecer as prováveis proveniências das rochas constituintes das sequências sedimentares da fase pré-rifte da bacia e reconhecer, pelo menos em parte, a evolução paleogeográfica, as relações de sedimentação e tectônica, relacionando, baseada nos resultados das idades modelos T_{DM} , as formações da Bacia do Araripe com as rochas fontes.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Descrever as sequências estratigráficas da Bacia do Araripe;
- Elaborar seções colunares das seguintes formações: Mauriti, Brejo Santo, Missão Velha, Abaiara, Rio da Batateira, Santana, Arajara e Exú;
- Realizar as análises geoquímicas isotópicas em *Sm-Nd* em rocha total;
- Estabelecer padrões de idade das fontes dos sedimentos estudados;
- Identificar e estabelecer as proveniências e respectivos períodos (intervalos) de sedimentação, que possibilitem fornecer elementos para o entendimento das relações entre unidades da sequência pré-rifte da bacia.

1.3 Localização da área de pesquisa e Vias de Acesso

A Bacia do Araripe está inserida nos Estados do Ceará, Piauí e Pernambuco, com a maior porção concentrada no Estado do Ceará. O Ceará abrange, além da maior parte da bacia, também as melhores diversidades litológicas aflorantes. A área do presente estudo localiza-se na região do extremo sul do Estado do Ceará, fixada na porção leste da Bacia do Araripe, perfazendo aproximadamente 3.000 Km². Englobam os principais municípios da região, como, Santana do Cariri, Nova Olinda, Crato, Juazeiro do Norte, Missão Velha, Barbalha e Abaiara.

A delimitação da área foi determinada baseada nos melhores afloramentos de cada unidade litológica apresentada na sequência estratigráfica da Bacia do Araripe. Como o trabalho necessita de coletas litológicas pontuais específicas, foi necessária a escolha de uma área extensa.

O acesso à área pode ser feito através da Rodovia Federal BR-116, partindo de Fortaleza (CE), sentido sudeste do Estado do Ceará, passando por municípios importantes, como, Russas, Jaguaribe, Icó, Lavras da Mangabeira, Caririaçu e Juazeiro do Norte. Quando a rodovia atravessa a cidade de Icó, passa a ser Estadual, CE-282, e nas proximidades de Lavras da Mangabeira retorna a BR-116. Após cruzar Lavras da Mangabeira, a rodovia volta a ser Estadual, CE-213, até Juazeiro do Norte, chegando à micro-região geográfica do Vale do Cariri, sentido nordeste da região, até Município de Crato. A área estudada inclui os arredores dos municípios de Crato, Santana do Cariri, Nova Olinda, Juazeiro do Norte, Missão Velha, Barbalha e Abaiara (Fig. 01).

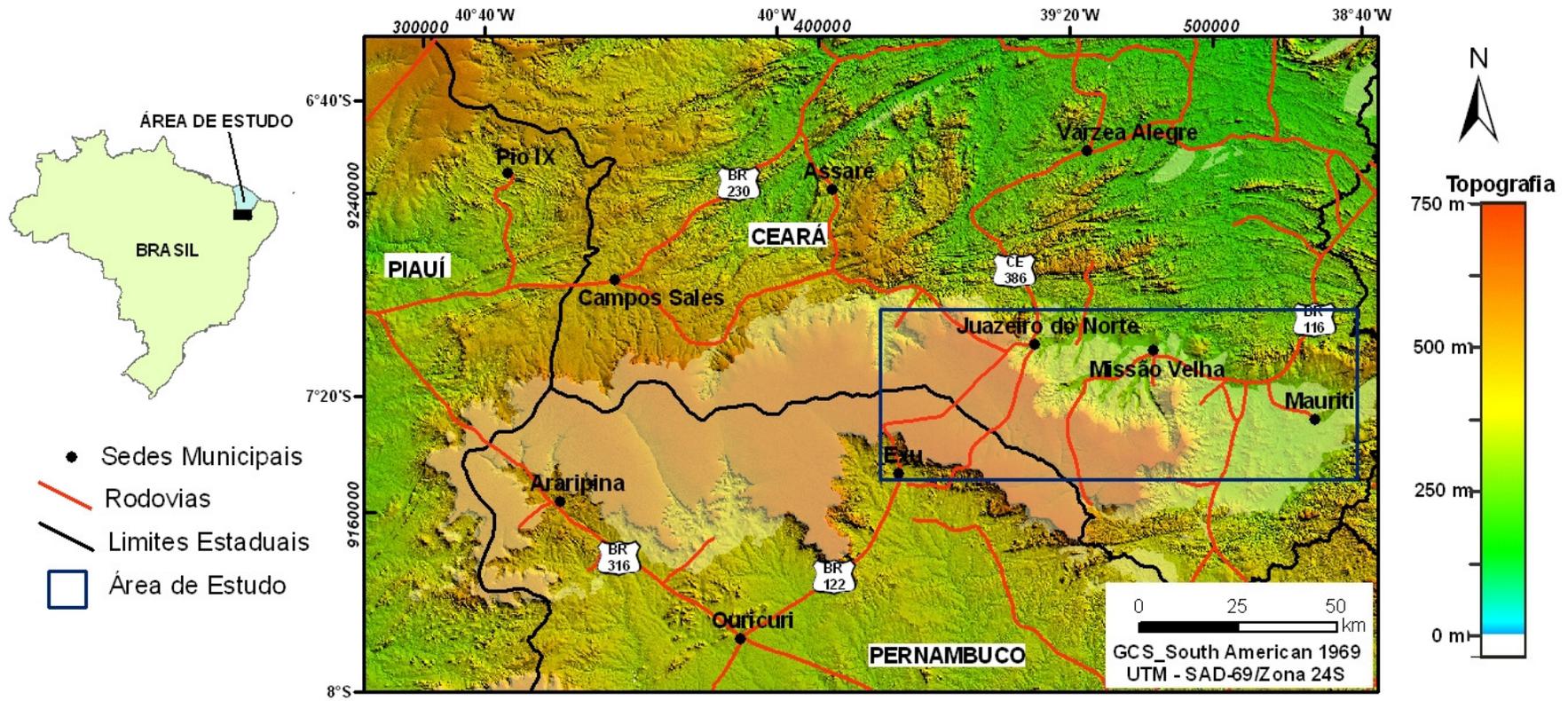


Fig. 1 - Mapa de localização e acesso da área pesquisada / Imagem SRTM da Bacia do Araripe.

2 MATERIAIS E MÉTODOS DE TRABALHO

2 MATERIAIS E MÉTODOS DE TRABALHO

Inicialmente foi efetivada uma pesquisa bibliográfica de trabalhos realizados anteriormente referentes à área de estudo e aos métodos empregados, com o intuito de montar uma fundamentação teórica. Mapas topográficos da região foram utilizados para confecção de um mapa base e geológico, para ajudar em campo. A base cartográfica utilizada para confeccionar os mapas foram *shapefiles* empregando o *software* ArGis. A base de dados foi criada pela CPRM e disponibilizada via CD-ROM. Além de obtenção de imagens de satélites do tipo SRTM.

O trabalho tratado neste contexto apresenta uma seleção pontual de coletas de amostras de cada formação representada na Coluna Estratigráfica da Bacia do Araripe referente à fase pré-rifte, destinadas a análises químicas isotópicas em *Sm/Nd* para rocha total (T_{DM}), levando em consideração sua tipologia mineral, descrição litológica, e textura geral das amostras.

O campo foi concretizado em duas etapas, a primeira em 10 dias, com a finalidade de reconhecimento das litologias e estruturas existentes na região e análise dos melhores afloramentos a serem amostrados; a outra fase, realizada também em 10 dias, representa a amostragem das rochas necessárias às análises químicas isotópicas, com as devidas descrições litológicas, texturais, estruturais e tectônicas. O levantamento das secções colunares e a identificação de fácies na etapa de campo foram baseados nas determinações de litofácies realizada por Miall (1996).

A fase laboratorial, relacionada às análises do método *Sm/Nd* para rocha total, consiste nas etapas de separação, preparação, abertura e análise das amostras. A descrição desta etapa está no subitem 2.1.

As amostras separadas para análise foram averiguadas baseadas em um conjunto de três fatores, procedimento de preparação, processo de abertura e equipamento. Durante a coleta de amostras deve-se obter o máximo de cuidado para não ocorrer contaminações, como mistura de amostras ou derramamento de líquido, a cada retirada de amostra é necessário a limpeza profunda do material utilizado. Para análise isotópica no espectrômetro de massa, as 6 amostras estão distribuídas da seguinte forma: 2 (duas) Missão Velha, 3 (três) Brejo Santo e 1 (uma) da Formação Mauriti, localizada na porção inferior da bacia (Quadro 1 - maiores detalhes em tabela anexo).

Finalmente, com a junção dos resultados, integrados com a interpretação e tratamento dos dados deste trabalho e adição de dados existentes de outros autores foi

consolidada a dissertação de mestrado, obtendo, além do documento com as informações geológicas, estruturais e proveniência das rochas da região, mapas de pontos (em anexo) e mapa de paleocorrente.

AM.	X	Y	Z	WU	LITOESTRAT.	OBS
M-07	490980	9196962	393	8	Fm. Missão Velha	Grota Funda (M-07).
M-09	490980	9196962	393	8	Fm. Missão Velha	Grota Funda (M-09).
M-18	423786	9213246	576	9	Fm. Brejo Santo	Entrada de Nova Olinda.
M-21A	497007	9192070	371	9	Fm. Brejo Santo	Início da Transnordestina.
M-21B	497007	9192070	371	9	Fm. Brejo Santo	Início da Transnordestina.
M-01	428413	9213300	530	10	Fm. Mauriti	Entrada Nova Olinda.

WU - N° da Sequência estratigráfica

Quadro 1 - Coordenadas UTM das amostras coletadas na área estudada (*Datum SAD 69*) para análises do método *Sm/Nd*.

2.1 Método *Sm/Nd*

O método de geologia isotópica em *Sm/Nd* é muito utilizado para especificar a idade de proveniência dos minerais constituintes das rochas, tanto na sua formação quanto no desencadear de eventos tectônicos decorrentes num determinado espaço e tempo.

O tipo de litologia mais estudado no âmbito destes métodos são as rochas ígneas e metamórficas. Em rochas ígneas, a idade é a da cristalização magmática e em rochas metamórficas, se a paragênese mineral analisada for da gerada durante o evento metamórfico, a datação obtida, será relativa a este evento. Já as idades de deposição das rochas sedimentares são um pouco mais complicadas para datá-las. Normalmente usa-se conteúdo fossilífero ou correlação estratigráfica com alguma unidade que apresente dados de datação concretos, mas quando as litologias são ditas afossilíferas ou as correlações possuem resultados pouco concisos, a melhor forma de obter relações com idades de formação ou proveniência de uma rocha sedimentar são os métodos radiométricos.

O tópico Método *Sm/Nd* detalha as bases conceituais e procedimentos realizados na elaboração dos dados geocronológicos.

2.1.1 Fundamentação teórica

O método *Sm/Nd* foi desenvolvido primeiramente por Notsu *et al.* (1973), quando analisou um eclogito e o meteorito Juvinas. Sendo consolidada a técnica por Lugmair *et al.* (1975). Este método começou a ser utilizado no Brasil em 1946, pelo Centro de Pesquisas Geocronológicas do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (CPGeo), através de vínculos de vários pesquisadores estrangeiros e brasileiros, do Programa BID-USP e da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo, devido ao grande interesse da comunidade científica, tanto para uso geocronológico como geoquímica isotópica.

De acordo com Vergara *et al.* (1998), a distribuição do *Sm* e *Nd* entre a fase fundida e a cristalina dependerá da composição de cada um deles e das fases cristalinas e proporções, constituídos principalmente em minerais de rochas ígneas e metamórficas como, clinopiroxênio, apatita, anfibólio e granada. No entanto, rochas sedimentares são constituídas de minerais e partículas, derivadas da desagregação por intemperismo de rochas ígneas, metamórficas ou sedimentares mais antigas. Os elementos de *Sm/Nd* são muito constantes, dificilmente se desintegram e são parecidos com as das rochas geradoras (MACCULLOCH & WASSERBURG, 1978), não sofrendo alterações significativas na razão de *Sm/Nd* quando ocorre o processo de sedimentação.

De acordo com Sato (1998), os isótopos radioativos naturais de interesse geocronológico apresentam uma meia vida compatível com o tempo geológico e precisam existir em abundância suficientemente mensurável em diversos tipos de rochas. Os principais núclídeos radioativos, radiogênicos e estáveis utilizados estão contidos no quadro 2.

Radioativos	¹⁴⁷ Sm	⁸⁷ Rb	²³⁸ U	²³⁵ U	²³² Th	¹⁸⁷ Re	¹⁷⁶ Lu	⁴⁰ K
Radiogênicos	¹⁴³ Nd	⁸⁷ Sr	²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb	²⁰⁸ Pb	¹⁸⁷ Os	¹⁷⁶ Hf	⁴⁰ Ar
Nucl. Estáveis	¹⁴⁴ Nd	⁸⁶ Sr	²⁰⁴ Pb	²⁰⁴ Pb	²⁰⁴ Pb	¹⁸⁶ Os	¹⁷⁷ Hf	³⁶ Ar

Quadro 2 - Principais núclídeos utilizados na geocronologia. O ¹⁴⁴Nd é um núclídeo radioativo de meia vida de $2,4 \times 10^{15}$ e, portanto, considera-se núclídeo praticamente estável.

O Samário e neodímio são representados no grupo Elementos Terras Raras (ETR) ou Lantanídeos, possuem raios iônicos bem próximos (0,96 e 1,0 Å), apresentam forte densidade de carga (+3) e número atômico elevado (57 a 71). A sua grande resistência e elevada estabilidade química faz com que estes elementos caracterizem-se como um dos melhores pares geocronométricos, o neodímio, em especial, é considerado o melhor isótopo traçador. Estes elementos, em sua maioria, encontram-se em estado sólido, devido à baixa

mobilidade destes elementos em rocha total, já em minerais ocorre uma redistribuição entre as fases minerais neo-formadas, num processo de recristalização metamórfica (SATO, 1998).

Os elementos citados definem sete isótopos naturais com as seguintes massas: *Sm*: 144 (3,1%), 147 (15,0%), 148 (11,3%), 149 (13,8%), 150 (7,4%), 152 (26,7%) e 154 (22,7%); *Nd*: 142 (27,13%), 143 (12,18%), 144 (23,80%), 145 (8,3%), 146 (17,19%), 148 (5,76%) e 150 (5,64%) (LUGMAIR, 1974), onde o ^{143}Nd é radiogênico e o isótopo ^{147}Sm é radioativo. As pequenas variações no *Sm/Nd*, juntamente com a meia-vida longa (1.06×10^{11} anos), são razões para as desvantagens do método, devido aos limites decorrentes da precisão analítica, normalmente apenas rochas de idade mais velhas que 50 Ma podem ser datados com precisão suficiente.

Faure (1986) elaborou uma planilha (em anexo) com os teores médios das principais rochas e minerais terrestres de samário e neodímio e observou que as concentrações apresentam-se bastante variáveis, mas a variação da razão *Sm/Nd* é muito pequena, dificultando a utilização deste método.

Gioia & Pimentel (2000) afirmam que a espectrometria de massa de ionização térmica (TIMS) é a técnica mais utilizada para a determinação das razões isotópicas e também para a determinação das concentrações ETRs por diluição isotópica. O equipamento de espectrometria de massa para as análises deste trabalho foi normalizado à razão $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$; $\sigma=0.512356 (\pm 12)$, onde ± 12 é o erro individual de cada amostra em relação ao σ .

De todos os isótopos de *Sm* existentes o único utilizado no método *Sm/Nd* é o ^{147}Sm , devido ser o mais abundante, com 15%. Este método baseia-se no decaimento do ^{147}Sm para ^{143}Nd , a partir da emissão da partícula α com uma constante de desintegração λ *Sm* ($^{147}\text{Sm} \rightarrow ^{143}\text{Nd} + \alpha + Q\alpha$ ($\lambda = 6,54 \times 10^{-12}$ anos $^{-1}$)) (equação 1). A equação 2 (dois), descrita abaixo expõem a evolução isotópica *Sm/Nd* para qualquer sistema geológico, levando em consideração o isótopo de referência ^{144}Nd :

$$(2) \quad \frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} = \left[\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right]_i + \left[\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}} \right] \left[e^{\lambda t} - 1 \right]$$

Onde, *i*: inicial; *e*: logaritmo natural ($\approx 2,71$); λ : constante de desintegração; *t*: tempo.

Em estudos foi constatado que numa determinada rocha pode ser obtido várias razões *Sm/Nd*, pois em cada mineral obtêm-se isócronas distintas. Devido a isso, foi elaborado um gráfico entre as razões $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ e $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ relacionando três amostras de mesma origem (Fig. 2), para melhor definir a proporcionalidade da idade de uma determinada composição isotópica homogênea (R_0).

Estudos geoquímicos (RINGWOOD, 1975) e dados de fluxo térmico terrestre (BIRCH, 1958) evidenciaram que a Terra pode ser equiparada a um reservatório condrítico uniforme (CHUR). Deste modo a evolução isotópica do *Nd* na Terra é dita como igual a dos meteoritos terrestres. Jacobsen & Wasserburg (1984) definiram através de análises em cinco condritos diversos e um meteorito acondrítico médias para as razões $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ e $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ de 0,1967 e 0,511847, respectivamente, podendo ocorrer modificações de acordo com as razões de normalização utilizadas. No entanto, a maioria dos cientistas utilizam para as datações a razão de normalização de $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,7219$.

A evolução isotópica para a Terra é definida baseada em início a uma razão de 0,506609 e atualmente com valor presumido de 0,512638. O gráfico gerado para deliberar esta evolução apresenta ainda duas retas de evolução independentes, diferidas devido a uma hipotética diferenciação em tempo T_1 a partir de dois materiais: manto primitivo ou primordial.

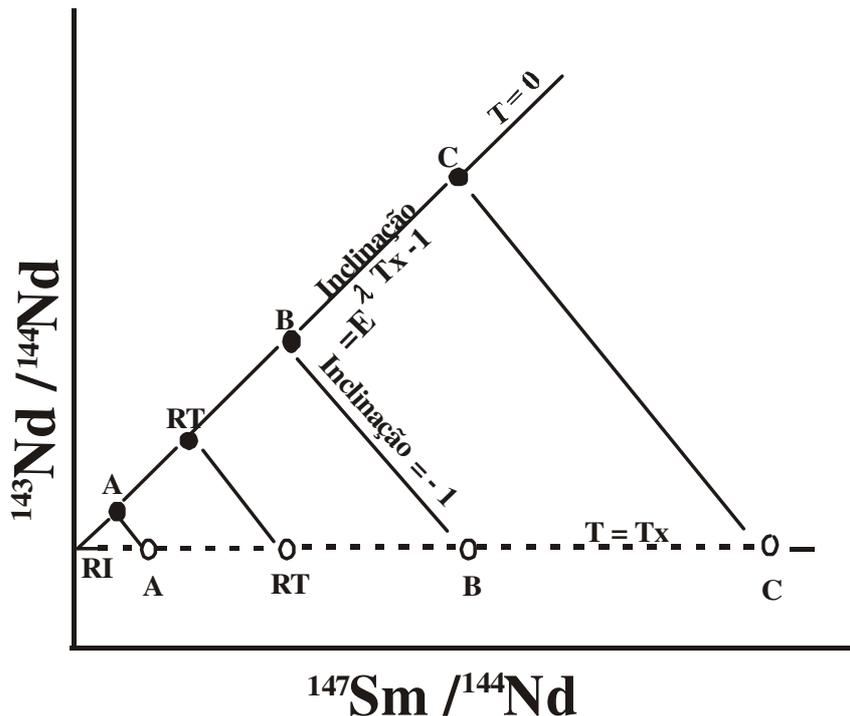


Fig. 2 - Evolução isotópica de samário-neodímio para os minerais A,B e C e a rocha total de uma rocha ígnea que cristalizou em T_x . O $T=0$ é o tempo presente e RI corresponde a razão $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ inicial.

2.1.1.1 Idades Modelos

De Paolo (1981a) efetuou um estudo sistemático para diferir o tipo de material, crosta-manto, segundo um fator de fracionamento relativo aos meteoritos condríticos. Para diferenciação manto-crosta, o manto crustal é mais enriquecido em *Nd* do que em *Sm*, ou seja, o fator de fracionamento será um valor negativo, enquanto o magma mantélico sempre será positivo.

O ϵ_{Nd} é outro parâmetro estudado e utilizado nas idades modelos, tendo como vantagem a normalização de todos os dados em relação ao CHUR, remove os efeitos de diferentes correções na razão de fracionamento que se tem aplicado para análises de *Nd* (equação 3). A notação Épsilon *Nd* é voltada à comparação entre a razão $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ e o CHUR. Os resultados gerados mostram que a função varia em relação ao tempo conforme a figura 3.

$$(3) \quad \epsilon_{Nd(t)} = \left(\frac{(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{am}(t)} - (^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}(t)} \times 10^3}{(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}(t)}} \right)$$

Para razão $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ mais elevada que o condrito, mostra que o ϵ_{Nd} tem valor positivo e que a fonte também apresenta razão *Sm/Nd* maior que o condrito, determinando material proveniente do manto superior. Sendo valores contrários o magma é de origem crustal.

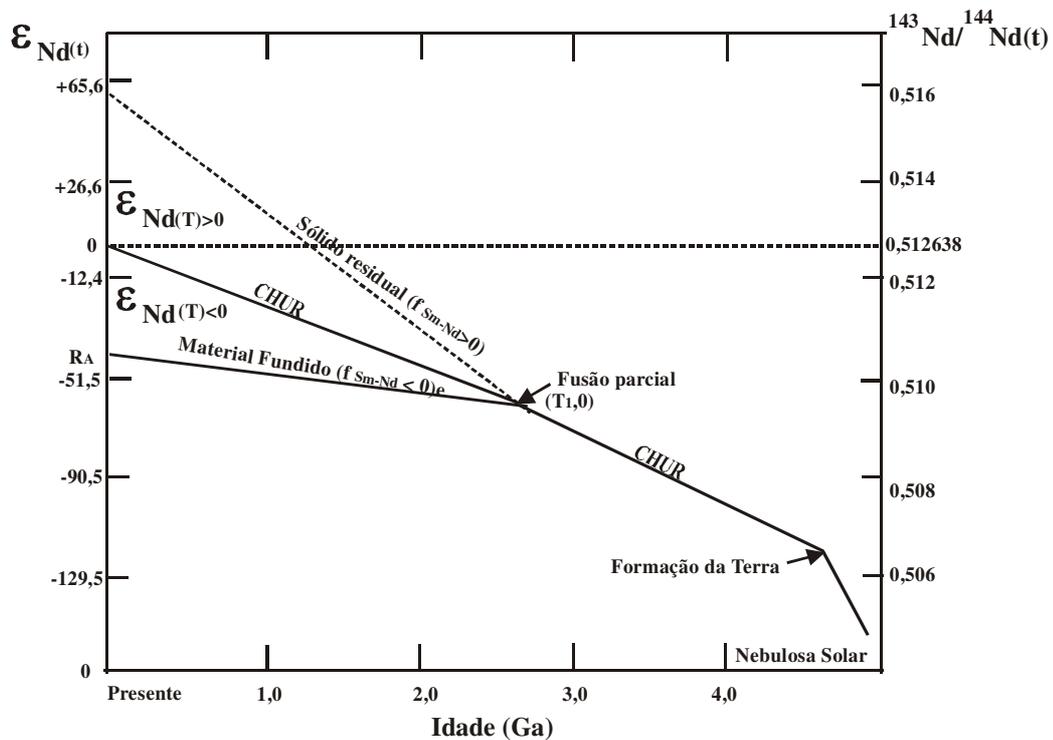


Fig. 3 - Curva de evolução condrítica, e dois materiais derivados em T_1 por fusão parcial em termos de ϵ_{Nd} .

As idades definidas no método *Sm/Nd* são referentes às datas da época em que o material se diferenciou do manto (DEPAOLO, 1981; HOFMANN *et al*, 1986), podendo ser de um manto primitivo (CHUR) ou empobrecido em elementos litófilos leves (DM), sendo denominadas de idade modelo T_{CHUR} e T_{DM} , respectivamente. O’Nions *et al* (1983) referiu-se a uma terceira idade modelo, T_{CR} , referente a sedimentos clásticos de residência crustal, derivados do manto.

Idade Modelo T_{CHUR}

DePaolo & Wasserburg (1976) propuseram a idade modelo T_{CHUR} , afirmando que a rocha é derivada do manto homogêneo, onde a razão *Sm/Nd* é da ordem de 0,31, indicando o momento exato que $\epsilon_{Nd}(t)$ seria igual a zero, ou seja a razão $^{143}Nd/^{144}Nd$ da rocha era igual à média dos condritos ou CHUR. Pode-se fazer a interceptação de retas da evolução da amostra analisada com o ϵ_{Nd} devido à semelhança existente com o CHUR (reservatório condrítico).

Idade Modelo T_{DM}

A idade modelo T_{DM} é representada por rochas da crosta continental, que são definidas por serem pobres em elementos leves (LIL) e elementos terras raras (ETR), originadas de material mantélico empobrecido (depleted mantle – DM).

Ben Othman *et al* (1984) elaboraram uma curva onde determina a evolução da razão isotópica quadrática, pois quando se aplicava o conceito de idades modelos T_{CHUR} em dados provenientes do manto empobrecido (DM), estes não forneciam idade real de formação da crosta.

Idade de Residência Crustal (T_{CR})

O’Nions *et al* (1983), sugeriram a idade modelo de residência crustal de amostras de crosta continental, em especial a rochas de origem sedimentar, assim como idades modelos T_{DM} , diferenciando-se desta por admitir idade de residência crustal, ou seja, a origem média dos componentes envolvidos na formação da crosta (ROLLINSON, 1993).

Para datar rochas ígneas e meta-ígneas as idades modelos T_{CHUR} apresentariam maior coerência, já para rochas sedimentares idades modelos T_{DM} dariam resultados melhores, vistos que os fracionamentos na razão *Sm/Nd* por processos de intemperismo, erosão e transporte seriam mínimos, e as idades modelo T_{CR} , calculadas em sedimentos, são meras estimativas.

Vergara *et al* (1998) admitem que, de uma forma geral, as idades do sistema *Sm/Nd* apresentam a seguinte prioridade: $T_{CR} \geq T_{DM} > T_{CHUR} > T_{convencional}$.

A idade modelo de Duplo-Estágio é utilizada quando, calculada a idade a partir de CHUR, o ϵ_{Nd} resulta em negativo, pois deduz-se que ocorreu um estágio anterior de

cristalização. Esta idade modelo não será definida neste contexto, por ser de complexo entendimento e por ser pouco utilizada.

O método *Sm/Nd* apresenta algumas aplicações geocronológicas como: cosmoquímica, materiais terrestres, em rochas sedimentares e em composição isotópica do *Nd* na água do mar. No entanto, de acordo com a dissertação a ser tratada aqui, a aplicação utilizada é especificamente em rochas sedimentares e, no caso, as existentes na Bacia do Araripe do Estado do Ceará.

2.1.1.2 Aplicação geocronológica do método *Sm/Nd* em rochas sedimentares

Análises de *Sm/Nd* em rochas sedimentares apresentam dados necessários para definir a sua proveniência, capaz de reconstruir parâmetros tectônicos, geográficos e climáticos de uma dada bacia sedimentar, devido serem muito constantes e similares às das rochas das quais foram derivadas. Os litotipos mais utilizados para definir a origem da sua formação são clastos, conglomerados, arenito (detríticos) (SILVA *et al*, 2006).

De acordo com Nelson e DePaolo (1988) e McLennan *et al* (1990) análises isotópicas pelo método *Sm/Nd* em rochas sedimentares são facilmente detectadas, principalmente se estas forem originadas sob condições de clima seco, onde erosão e transporte são dominados por instabilização física e efêmera, de curta duração e de rios de alta energia.

Os elementos terras raras (ETRs) apresentam valores estáveis em um processo de metamorfismo em rochas sedimentares (TAYLOR *et al*, 1986 *apud* VERGARA, 1998), apesar de eventuais pequenas modificações durante o ciclo sedimentar (ZHAO *et al*, 1992 *apud* VERGARA, 1998).

As idades modelo utilizadas em rochas sedimentares são T_{CR} e T_{DM} , pois determinam a idade média do material fonte e permitem inferir a respeito do crescimento da crosta continental com o tempo (VERGARA *et al*, 1998).

2.1.2 Preparação de Amostras

A preparação das amostras para o método *Sm/Nd* foi dividida em duas etapas. A primeira etapa, realizada no Laboratório de Zircão (Instituto de Geociências e Ciências Exatas), da Universidade Estadual Paulista (DPM-IGCE/UNESP) em Rio Claro (SP), e a segunda, na Universidade de Brasília (UnB), Laboratório de Estudos Geocronológicos,

Geodinâmicos e Ambientais (Instituto de Geociências). Na UNESP, foram efetuados os procedimentos de trituração e pulverização e na UnB, foram realizados métodos de preparação química em meio ácido das amostras coletadas e análises químicas através do aparelho de medição espectrômetro de massa, seguindo as etapas abaixo:

1ª etapa:

As amostras coletadas em campo possuem peso de, aproximadamente, 2 a 5 Kg. Primeiramente, efetivou-se a fase de britagem, passou pelo procedimento de secagem e trituração, com auxílio de marreta, atingindo tamanhos máximos de 6x6 cm. Após, foram colocadas em britador de mandíbula (Foto 1), reduzindo os fragmentos em tamanhos 1x1 cm. O material foi rebitado em outro britador de mandíbula (tipo Fritsch) (Foto 2 A/B), fazendo com que as frações adquirissem granulometria de areia.

Por conseguinte, as amostras foram pulverizadas através de um moinho oscilante em panela de ágata (tipo Kioeckner-Humboldt Deutz do Brasil Ltda), para adquirir uma fração granulométrica de 250 mesh. Ao final, foram devidamente reservadas em tubos plásticos. A amostra M-08 foi preparada pelo moinho oscilante de tungstênio (tipo EUCHNER/TP2-528A024PG) (Foto 3).



Foto 1 – Britador de Mandíbula (tipo Furlan BM 2010/nº 95047/RPM 360) do Laboratório da Universidade Estadual Paulista (DPM-IGCE/UNESP). Tritura amostras à dimensão de 1x1 cm.

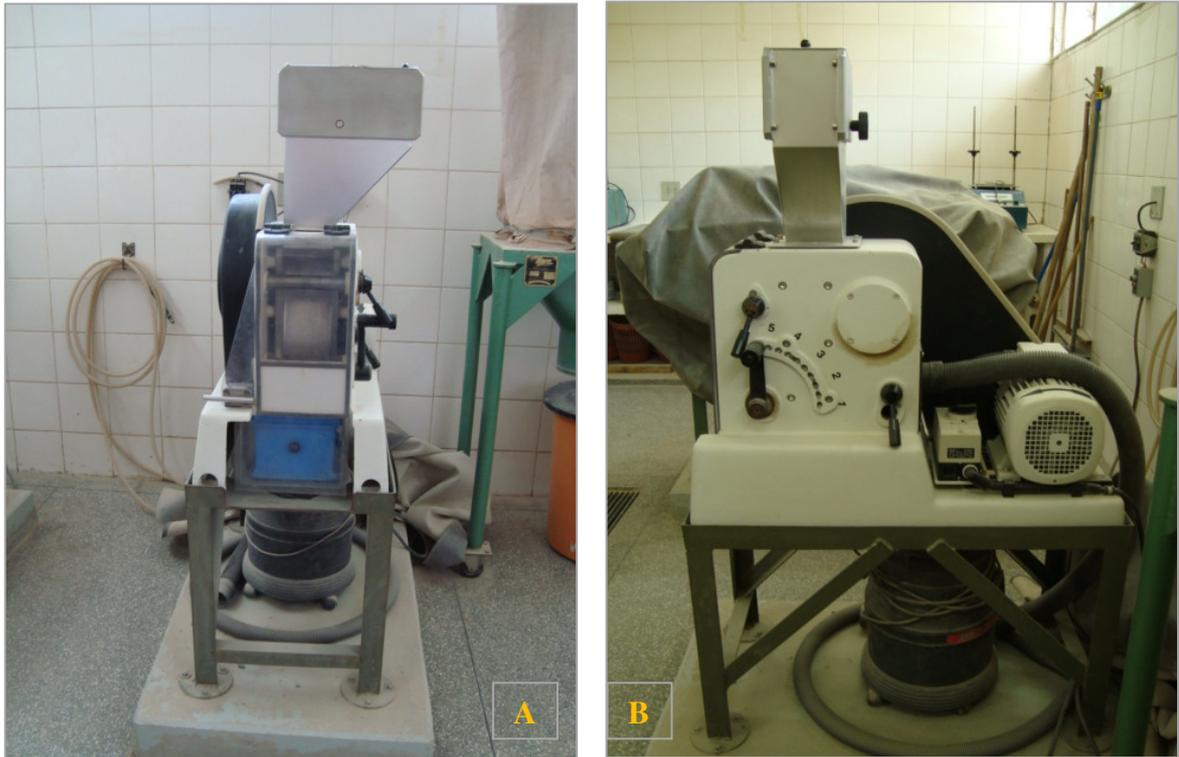


Foto 2- Britador de Mandíbula (tipo Fritsch, série 01.705/2372, 1998/voltagem (V) 230/corrente (A) 9/Frequência (Hz) 50-60/3~/Poder (W) 2800) do Laboratório da Universidade Estadual Paulista (DPM-IGCE/UNESP), tritura amostras à fração de areia. (A) Frente; (B) Lateral.



Foto 3 - Moinho Oscilante de tungstênio (tipo EUCHNER/TP2-528A024PG), do Laboratório da Universidade Estadual Paulista (DPM-IGCE/UNESP).

2ª etapa:

A segunda fase refere-se à digestão (abertura) das amostras para os elementos que serão analisados no espectrômetro de massa. Primeiramente foi pesada 120 mg da amostra, repassada para tubo *savilex* e acrescida aproximadamente 30 mg do líquido traçador *Spike* (produto preparado a base de *Sm/Nd*, para liberar isótopos menos abundantes), dissolvendo a amostra (Foto 4), em seguida, foi acrescentado ao *savilex* 250 µl de $\text{HNO}_3_{\text{Conc.}}$ (destilado) e 3 ml de HF (destilado) e colocado em chapa quente por 24 horas (Foto 5), deixando evaporar o ácido totalmente numa estufa, o *Clean Box*. Depois de secado, adicionou-se novamente 250 µl de $\text{HNO}_3_{\text{Conc.}}$ e 3 ml de $\text{HF}_{\text{Conc.}}$ e foi deixado em chapa quente de 3 a 4 dias até dissolver o máximo possível da amostra em meio ácido, logo após, evaporado no *Clean Box* por cerca de 2 horas. Posteriormente, adicionou-se 1 ml de HNO_3 e evaporado novamente, em seguida foi juntado 4 ml de HCl 6N (destilado) ao *savilex* e levado a chapa quente por mais 24 horas. Por fim, com a amostra completamente digerida, foi levado ao *Clean Box* (Foto 6) até evaporação total do líquido. Duração do procedimento 5 a 6 dias.

Para a etapa das colunas primárias e secundárias foi utilizado um equipamento formado por bulbo, tubo de ensaio, *savilex* e resina artesanal.



Foto 4 – Balança Analítica (Sartorius), do Laboratório de Geocronologia e Geologia de Isótopos da Universidade de Brasília (UnB).

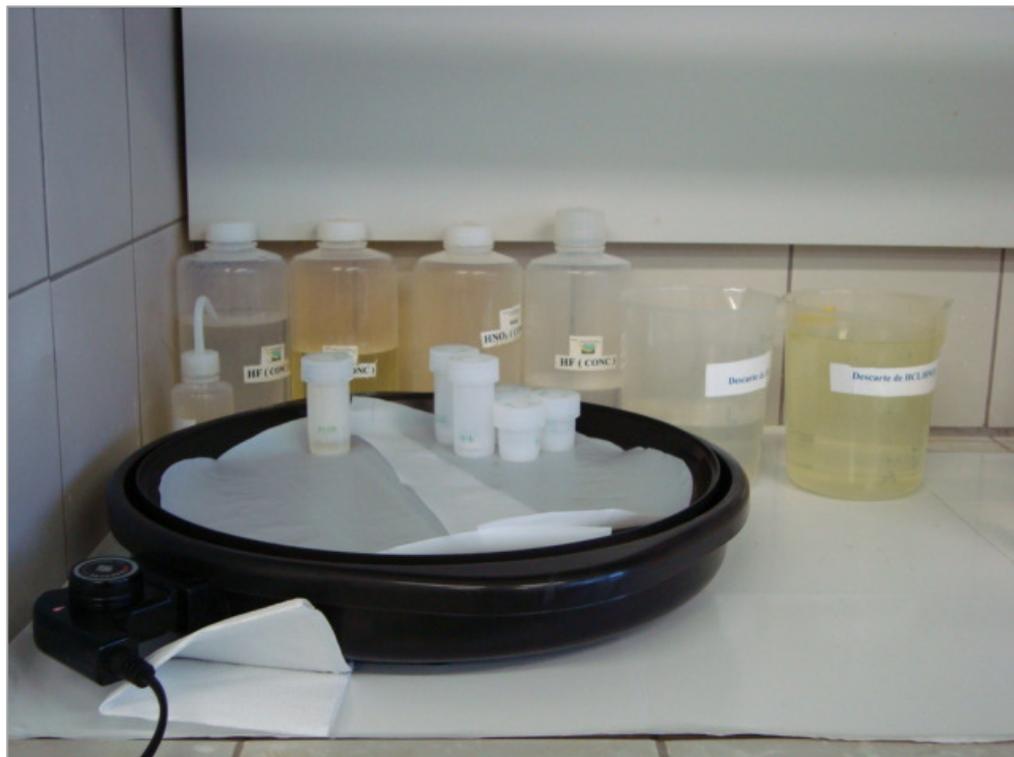


Foto 5 – Chapa quente do Laboratório de Geocronologia e Geologia de Isótopos da Universidade de Brasília (UnB).



Foto 6 – Clean Box do Laboratório de Geocronologia e Geologia de Isótopos da Universidade de Brasília (UnB).

Finalizada a etapa de digestão por ácidos iniciais, segue a fase de separação dos ETRs (Coluna Primária) (Foto 7A). Inicialmente coloca-se no *savilex* 1 ml de HCl 2,5N e deixa em repouso por aproximadamente 40 min, após o procedimento, e com o material totalmente homogêneo, adiciona o conteúdo a um micro tubo e centrifuga-o durante 10 a 15 min. Para adicionar o conteúdo preparado no micro-tubo à coluna primária, precisa, primeiramente, equilibrá-la com 10 ml de HCl 2,5N no bulbo, em seguida adiciona 0,2 ml da solução amostra ao bulbo e lava-se o bulbo com 0,25 ml de HCl 2,5N, por duas vezes consecutivas até o líquido descer completamente pelos tubos de ensaios. Depois de escorrer toda a solução descarta-o, acrescentando ao bulbo, 7 ml de HCl 2,5N, em seguida, coleta no *savilex* os ETRs adicionando 5 ml de HCl 6N. Por fim, lava-se o bulbo com 10 ml de HCl 6N.

Seguindo o procedimento de abertura das amostras, estas são transferidas para a coluna secundária com o intuito de efetivar a separação dos elementos de interesse principal, *Sm* e *Nd*. Antes da execução da coluna secundária (Foto 7B), o concentrado de ETRs, separado anteriormente, passa pelo processo de secagem. Inicia-se o desagrupamento, lavando o bulbo da coluna com água destilada e equilibrando-a com a adição de 3 ml de HCl 0,18N, em seguida adiciona-se 0,2 ml de HCl 0,18N à amostra, friccionando o concentrado até tornar a solução homogênea, e, depois, coloca-a na coluna através do bulbo. Após, lava o bulbo de *savilex* acrescentando 0,2 ml de HCl 0,18N por 3 vezes consecutivas, sendo, cada vez, aguardado o término de processo de passagem do concentrado pela coluna. Terminado o procedimento, descarta-se o material adicionando 10 ml de HCl 0,18N ao bulbo e coleta o *Nd* no *savilex* com 4 ml de HCl 0,3N. Logo em seguida, descarta-se o concentrado com a adição de 2 ml de HCl 0,3N ao bulbo e coleta o *Sm* em *savilex* com 3 ml de HCl 0,4N. Para finalizar lava-se a coluna com bulbo cheio de HCl 0,6N.

Após procedimento de coleta todos os *savilex* foram levados ao *Clean Box* para secagem total do concentrado líquido.

Finalizado o procedimento de abertura das amostras, segue-se o método para análise no espectrômetro de massa. As análises foram realizadas com o equipamento termo-iônico (TIMS), multi-coletor, espectrômetro de massa (tipo Finnigan-MAT 262) (Foto 8A). Este é dotado de sete coletores tipo copo Faraday móveis, e uma multiplicadora de elétrons na posição central, usado rotineiramente para a análise isotópica de Sr, *Nd* e Pb. O equipamento possui ainda capacidade para análise de íons negativos (Re-Os). Sua utilização mais intensa tem sido para análises U-Pb “single grain”, *Sm-Nd*, e de isótopos de Sr em carbonatos para estudos de quimoestratigrafia.

As amostras, antes da passagem pelo espectrômetro de massa, foram preparadas acrescentando ao *savilex* 1µl de HNO₃ 5% (destilado), friccionando o concentrado até sua dissolução. O líquido foi depositado ao filamento de Re e evaporado lentamente num processo de ionização a uma corrente de 0,5A (amper) e em seguida a uma corrente de 1A até aderir o líquido ao filamento (Foto 8B). Finalizando, foram adaptados os filamentos ao aparelho do espectrômetro de massa, normalizado à razão $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$; $\sigma=0.512356 (\pm 12)$.



Foto 7 – (A) Separação dos ETRs (Coluna Primária); (B) Separação do *Sm/Nd* (Coluna Secundária), do Laboratório de Geocronologia e Geologia de Isótopos da Universidade de Brasília (UnB).

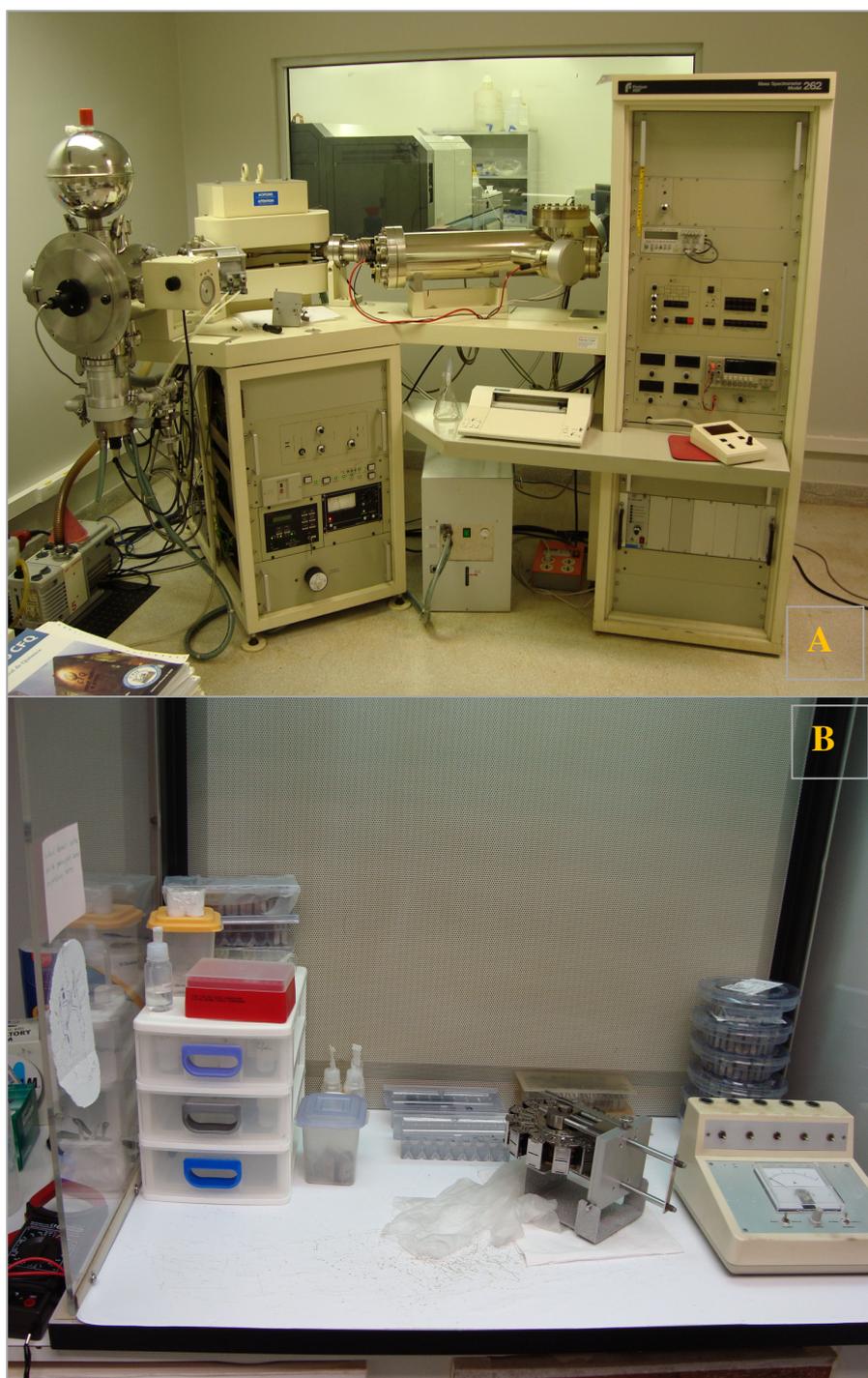


Foto 8 – (A) equipamento termo-iônico (TIMS), multi-coletor, espectrômetro de massa (tipo Finnigan-MAT 262) e (B) Filamento de Re, para processo de ionização.

3 GEOLOGIA REGIONAL

3 GEOLOGIA REGIONAL

3.1 Considerações Iniciais

As bacias sedimentares interiores do nordeste brasileiro apresentam aspectos importantes para o entendimento da sedimentação e paleogeografia do nordeste oriental brasileiro durante o Mesozóico. As principais feições e estruturas geradas no decorrer dos processos tectônicos e deformacionais ocorridos até os dias atuais são também relevantes em adição as peculiaridades referentes à paleontologia da região, justificada pelo grande contexto fossilífero observado, em especial, na Bacia do Araripe.

O conjunto das pequenas bacias fanerozóicas localiza-se entre as bacias de Tucano-Jatobá, Parnaíba e Potiguar (Fig. 4). O embasamento destas bacias foi dividido por Brito Neves *et al* (2000), em cinco domínios tectônicos, com feições litoestruturais e geocronológicas características: Médio Coreauá, Ceará Central, Rio Grande do Norte, Zona Transversal, Sul e Cráton São Francisco. O embasamento da Bacia do Araripe situa-se na porção oeste da Zona Transversal, num terreno denominado Piancó-Alto Brígida (Fig.5), que se caracteriza por camadas de ritmitos psamíticos e pelíticos com baixo grau de metamorfismo e dobramentos neoproterozóicos.

Dentre essas, a Bacia do Araripe, correspondente ao relevo da Chapada do Araripe, é a mais importante e mais extensa, estendendo-se até o Vale do Cariri, perfazendo um total de área de aproximadamente 9000 Km². Sua complexidade está intimamente relacionada a uma evolução poli-histórica (ASSINE, 1990; BRITO NEVES, 1990; HESSEL, 2009), compondo a estratigrafia em quatro sequências (Fig. 6).

De acordo com Matos (1992), as bacias intracontinentais Eocretáceas do nordeste brasileiro apresentam uma geometria controlada por uma complexa rede de zonas de cisalhamento proterozóicas de direção NE-SW, produzidas durante a orogenia do ciclo Brasiliano/Pan-Africano. O autor descreve a zona de cisalhamento ou lineamento Patos terminado a oeste por uma série de falhas recurvadas formando uma geometria sigmoidal, e que, durante o início do Cretáceo, uma distensão geral de direção NW-SE transformou as falhas originalmente transpressionais para falhas normais, o que reativou pequenos segmentos da zona de cisalhamento Patos (Fig. 7), originando as pequenas bacias interiores do Nordeste brasileiro.

De acordo com Oliveira (2006), foi constatada duas etapas de geração de depósitos lacustres nas grandes bacias interiores do Nordeste. A primeira, descrita por Arai *et*

al (1989 apud NEUMANN, 1999), formada entre o Titoniano e Barremiano inferior, representados pelos andares Dom João e Aratu do Recôncavo-Tucano. Constitui-se de sedimentos siliciclásticos de finos a grossos, centralizados na base e extinguindo-se em direção ao topo. Exemplos de bacias lacustres formadas nesta primeira fase são: Potiguar (RN); Iguatu, Icó e Araripe (CE) e Rio do Peixe (PB). Já na segunda fase, nota-se apenas na Bacia do Araripe, durante o Aptiano e Albiano, dominado por sedimentos carbonáticos e alguns evaporíticos e siliciclásticos.

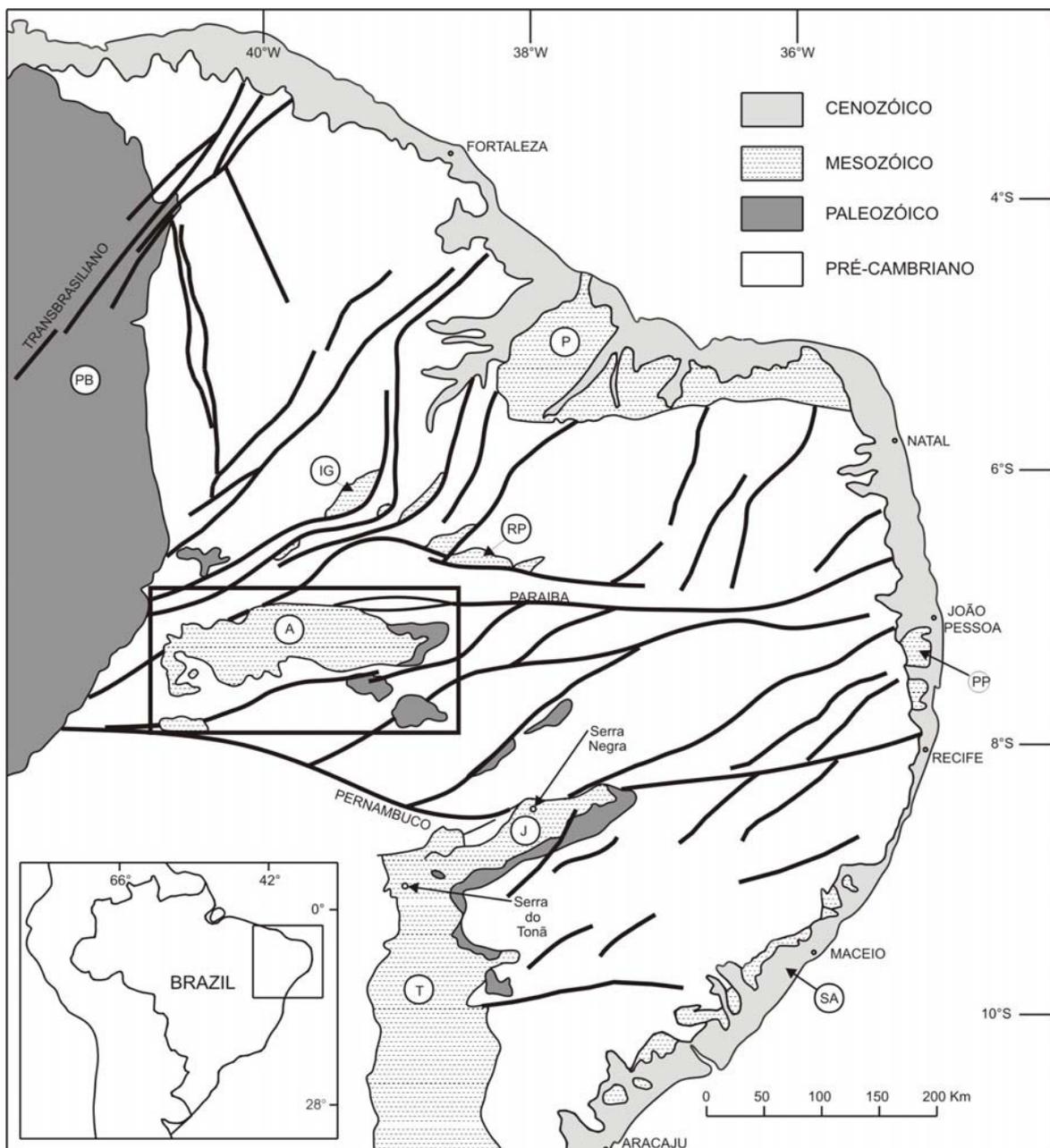


Fig. 4 - Bacias fanerozóicas da Região Nordeste do Brasil, com destaque para a Bacia do Araripe, entre os lineamentos de Pernambuco e Paraíba (A = Araripe; IG = Iguatu; J = Jatobá; P= Potiguar; PB = Parnaíba; PP = Pernambuco-Paraíba; RP = Rio do Peixe; SA = Sergipe-Alagoas; T = Tucano) (Fonte: Assine, 1994).

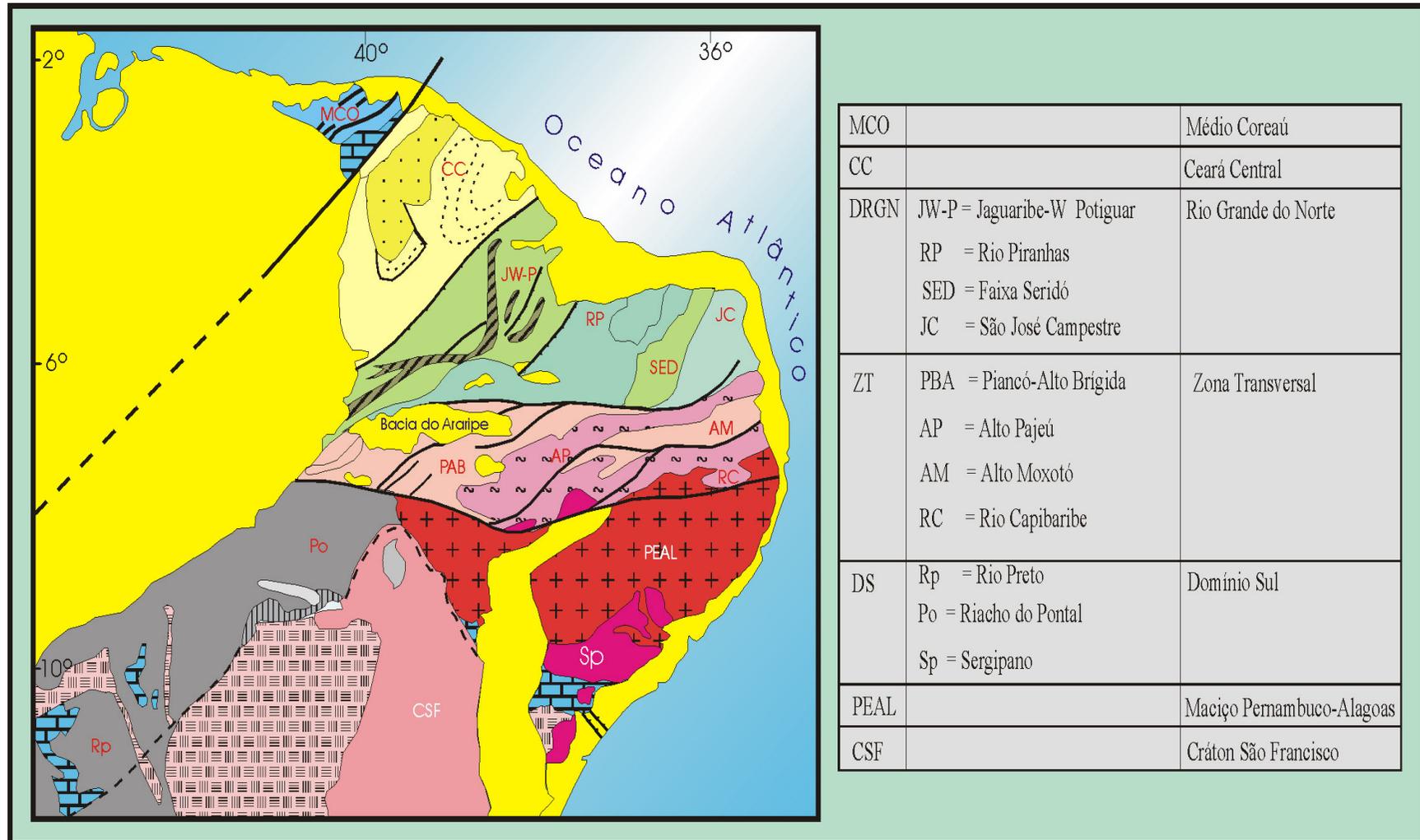


Fig. 5 - Principais domínios da província Borborema, com feições litoe estruturais e geocronológicas características (Fonte: Brito Neves *et al.*, 2000).

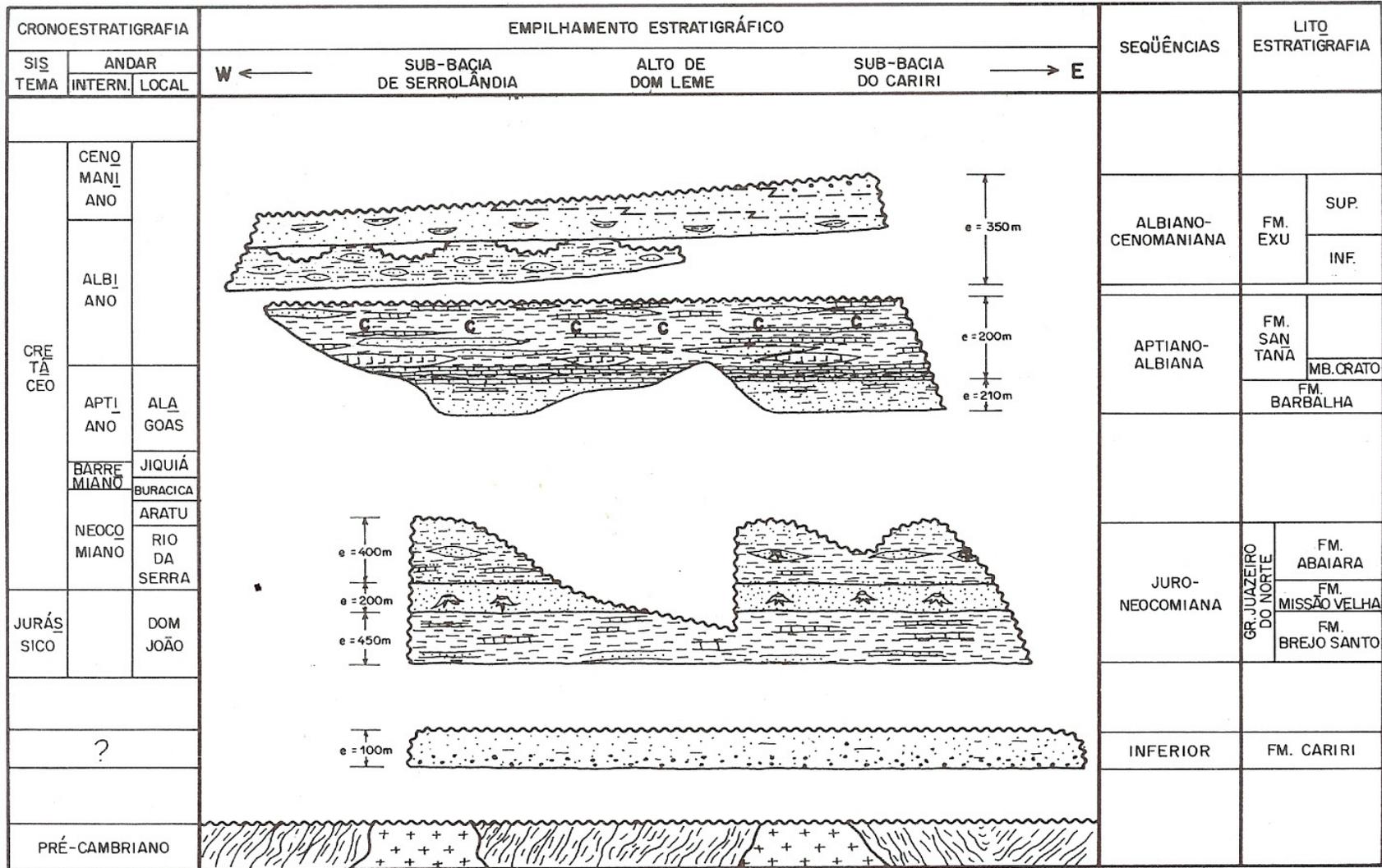


Fig. 6 - Coluna estratigráfica da Bacia do Araripe (e = espessura em metros; C = concreções carbonáticas fossilíferas; J = gipsita) (Fonte: Assine 1994, mod. de Assine 1992).

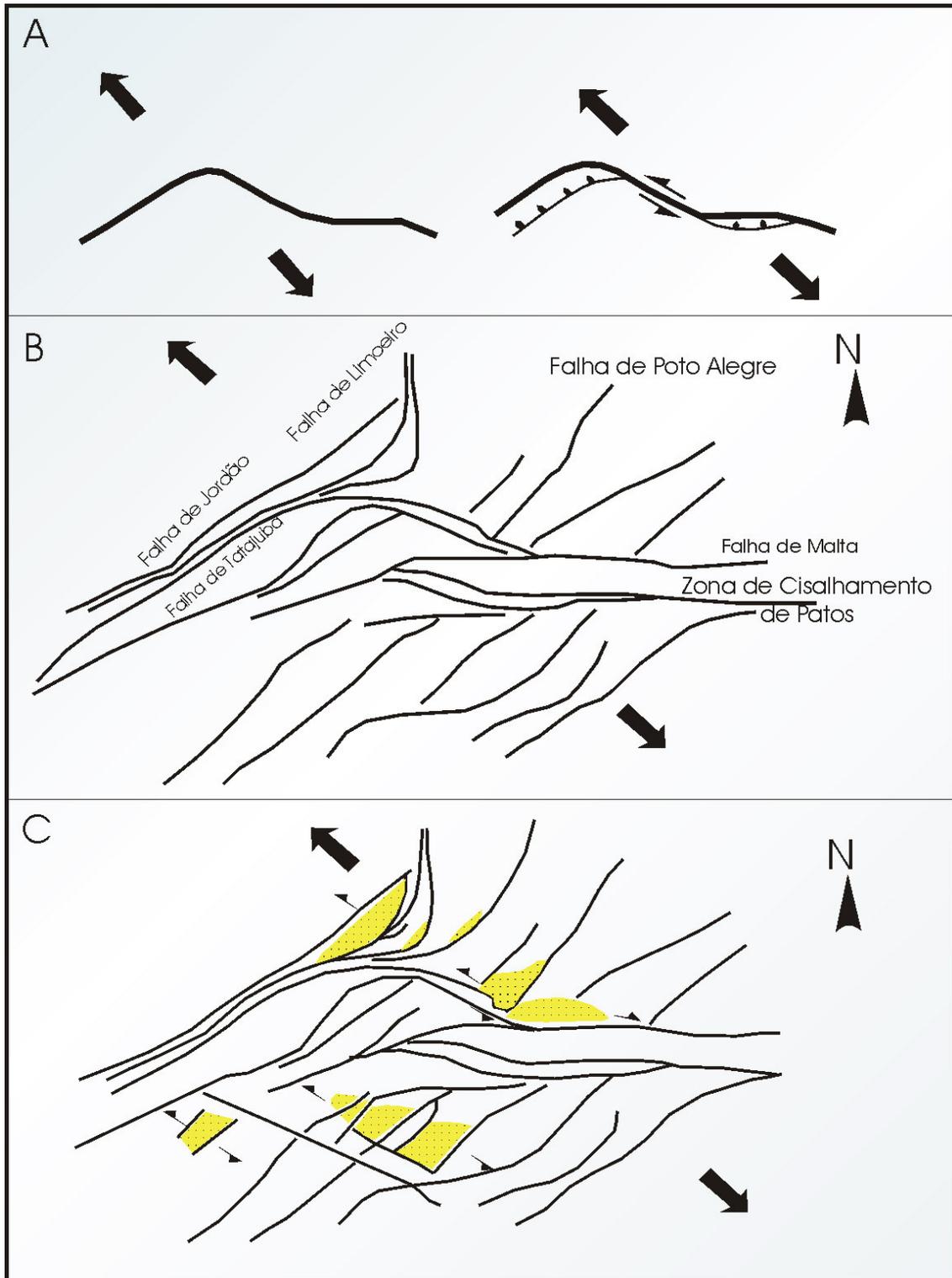


Fig. 7 - Modelo proposto por Matos (1992) para a origem e evolução das bacias interiores do nordeste brasileiro: A - extensão NW-SE em zonas de cisalhamento sigmoidais pré-existentis; B - cenário tectônico pré-rifteamento; C - cenário tectônico com a distribuição dos riftes formados (Fonte: Matos, 1992).

3.2 Síntese da Evolução Tectono-sedimentar da Bacia do Araripe

A Bacia do Araripe está inserida num conjunto de pequenas bacias interiores do Nordeste Brasileiro, localizada ao sul do Estado do Ceará, envolvendo pequenas porções nos Estados do Pernambuco e Piauí. Está delimitada, precisamente, pelas coordenadas geográficas: 38°30'00 a 40°55'00 de longitude oeste de Greenwich e 7°10'00 a 7°50'00 de latitude sul. Sua estrutura é representada tipicamente por riftes juvenis, preenchidos por sedimentos terrígenos de idade Eo-jurássica e Neocretácea, sobre o embasamento da Província Borborema.

A origem da Bacia do Araripe relaciona-se a um sistema de riftes abortados, durante a separação da América do Sul e da África, procedendo à abertura do Oceano Atlântico Sul, no qual afetou toda a borda leste da Plataforma Sul-Americana. Este evento foi chamado de Revolução Wealdeniana, por Almeida (1967), responsável pela fragmentação do paleo-continente Gondwana e pela formação dos riftes Mesozóicos do nordeste. O processo tafrogênico intenso, sofrido por toda a Plataforma Sul-Americana, criou grandes depressões locais, que permitiu depositar as sequências meso-cenozóicas. As estruturas resultantes do rifteamento da Chapada do Araripe são evidenciadas por meio-grábens, separadas por altos do embasamento, falhas de transferências e/ou zonas de acomodação.

As bacias interiores Mesozóicas do nordeste são representadas pelas bacias do Araripe, Rio do peixe, Iguatu, Malhada Vermelha, Lima Campos, Icó, dentre outras de menor porte, distribuídas entre os estados do Ceará, Pernambuco e Paraíba.

Durante muitos anos a Bacia do Araripe foi alvo de pesquisas com o intuito de identificar e caracterizar a coluna estratigráfica, assim como, sua geocronologia e evolução geológica, mas, mesmo com tantos estudos, ainda existe a carência de representar a evolução da bacia. Um interessante esquema que envolve as sucessões de eventos da bacia foi apresentado por Ponte & Ponte-Filho (1996) e encontra-se reproduzido na figura 8.

A estrutura estratigráfica montada por Assine (1992) e Ponte (1992) representam a maior base conceitual referente à subdivisão da estratigrafia da bacia. Apresentam muitas semelhanças, como a subdivisão do empinhamento estratigráfico em quatro sequências, mas com importantes diferenças. Assine (1992), incorporou os sedimentos pré-rifte e rifte, numa única sequência, juro-neocomiana. No entanto, Ponte (1992) englobou as unidades pós-rifte em uma sequência exclusiva, e Assine (1992) a desmembrou em duas sequências distintas: aptiano-albiana e albiano-cenomaniana.

A sequência Paleozóica, que não está relacionada à Bacia do Araripe propriamente dita, define os contornos do Vale do Cariri e encontra-se associada a uma fase que antecedeu à sua formação. A sedimentação engloba uma área regional e é definida pela Formação Cariri (ASSINE, 1992), ou Formação Mauriti (PONTE & APPI, 1990). É composta basicamente por arenitos conglomeráticos silicificados com níveis descontínuos de siltitos e níveis de conglomerados, comuns na base das camadas. Sob domínio de um sistema deposicional fluvial entrelaçado, podem ser observadas com frequência estratificações cruzadas acanaladas e tabulares.

A segunda fase, relacionada ao rifteamento da sequência da Bacia do Araripe, é denominada de fase pré-rifte, de idade Juro-neocomiana. Registram os depósitos alojados na bacia da Depressão Afro-Brasileira, limitadas nas sub-bacias do Cariri e de Serrolândia, abrangendo uma área entre o sul da Bahia até acima do Lineamento de Patos, no Estado da Paraíba, envolvendo também bacias africanas homólogas (ASSINE, 1994) (Fig. 9). Fácies eólica, lacustre e fluvial progradaram e preencheram parcialmente a bacia durante a fase inicial da fragmentação do Gondwana (DA ROSA & GARCIA, 2000). O pacote sedimentar correspondente a esta sequência na Bacia do Araripe são às Formações Brejo Santo e Missão Velha.

Ponte & Appi (1990) afirmam que a terceira sequência é representada pelo estágio *sin-rifte*, de idade Neocomiana, constituído da Formação Abaiara. A unidade está representada por arenitos médios conglomeráticos e intercalações de pelitos, posicionado com base em dados de ostracodes (COIMBRA *et al*, 2002). De acordo com Assine (1992), a Formação Abaiara caracteriza-se por folhelhos sílticos e siltitos vermelhos e verde-claros na base. Os sistemas deposicionais predominantes são os sistemas lacustres rasos e planícies aluviais. Ghignone *et al* (1986) afirmam que a unidade é de origem flúvio-deltáica relacionada à fase *rift* posterior.

De acordo com Assine (1992), a terceira e quarta sequências são representadas respectivamente por Aptiano-Albiana e Albiano-Cenomaniana. As formações Barbalha e Santana estão inseridas na sequência Aptiano-Albiana e ocorre em quase toda a Chapada do Araripe, descontínua em relação ao Vale do Cariri e discordante ao estrato sotoposto. A Formação Barbalha é representada por fácies arenosa com intercalações de lamitos avermelhados e amarelados chamada, por Ponte & Appi (1990), de Formação Rio da Batateira. Já a Formação Santana é composta predominantemente por calcários micríticos laminados ricos em registros fossilíferos, ostracódes, conchostráceos, além de pequenos peixes. A sequência Albiano-Cenomaniana, cuja unidade litoestratigráfica é constituída da

Formação Exu, inferior e superior, caracteriza-se por fácies heterolíticas e fácies psamíticas consecutivamente.

A quarta sequência sedimentar, estudada por Ponte & Appi (1990), representa a deposição regional constituída pelo Grupo Araripe, que abrange as Formações Rio da Batateira, Santana, Arajara e Exu, de idade Meso-cretáceo. É a sequência mais estudada, pois, além de se destacar na topografia regional, sustentando a Chapada do Araripe, apresenta abundantes afloramentos em suas escarpas e depressões periféricas.

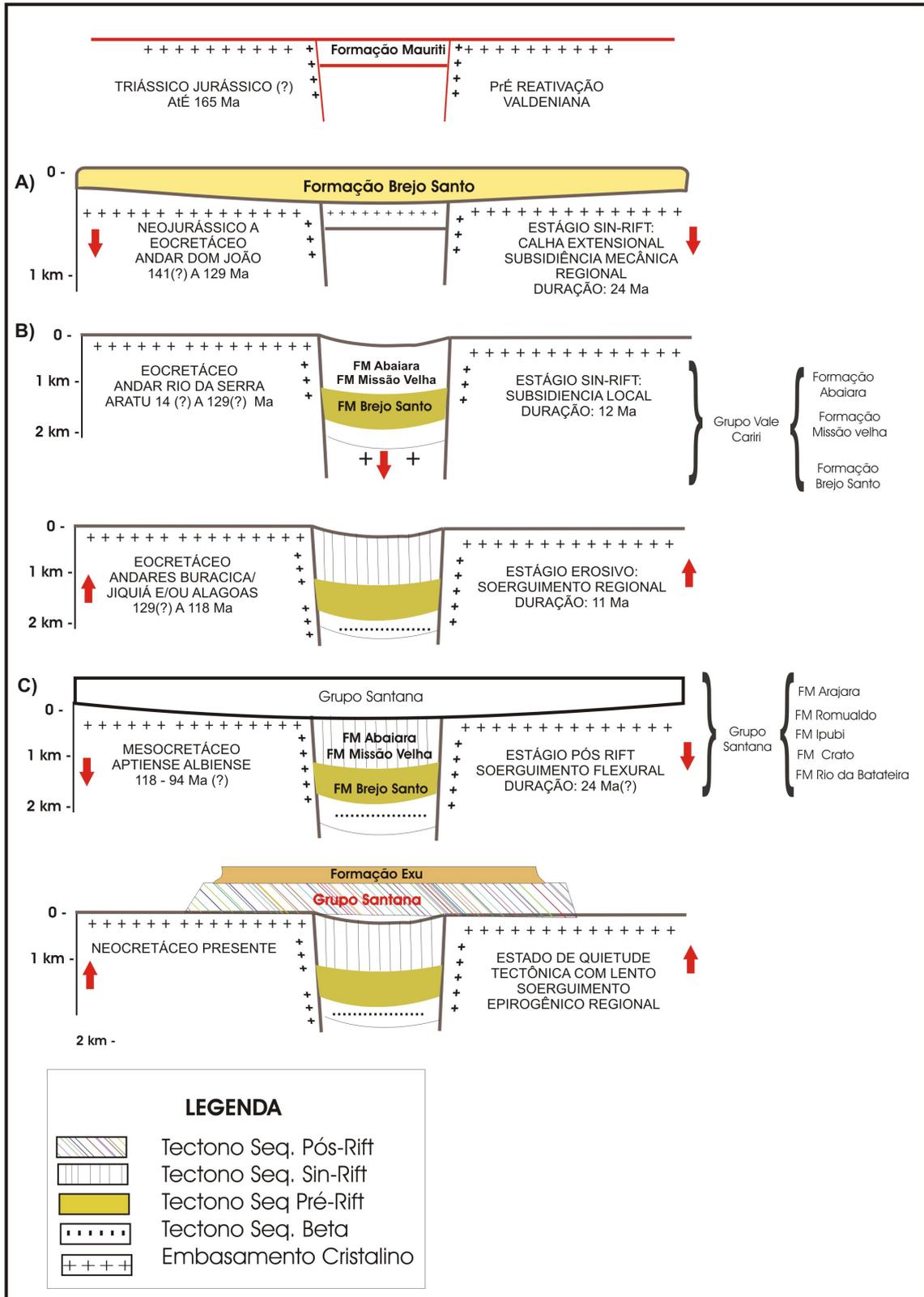


Fig. 8 – Evolução tectono-sedimentar da Bacia do Araripe reconstituída a partir da análise do poço AP-1-CE (Fonte: Ponte Filho, 1992).

3.3 Síntese das Estruturas da Bacia do Araripe

As estruturas da Bacia do Araripe caracterizam-se a partir da Sequência Juro-Neocomiana, representada pela fase sin-rifte e a Sequência Aptiano-Cenomaniano, marcada pela fase pós-rifte da bacia. A primeira sequência é consequência sedimentar à subsidência mecânica, decorrente dos processos de rifteamento do Gondwana; encontra-se confinada nas sub-bacias do Cariri e Serrolândia (CASTRO & CASTELO BRANCO, 1999), fortemente estruturadas por falhas NE e E-W, enquanto a sequência pós-rifte apresenta camadas sub-horizontais com leve caimento para oeste; recobrem em discordância angular as unidades inferiores ou repousam diretamente sobre o embasamento cristalino pré-cambriano / eo-paleozóico, o que é comum na porção oeste da bacia.

O alto estrutural de Dom Leme, de orientação NE-SW, separa as sub-bacias do Cariri e Serrolândia. Além destas feições estruturais, a Bacia do Araripe é limitada ao norte pelo lineamento da Paraíba, a noroeste pela falha de Farias Brito, ao sul pela falha de Sítio dos Moreiras, e a leste pela falha de Conceição (Fig. 10).

Na Formação Mauriti, quase isenta de estruturas, representam restos de uma bacia mais ampla, preservados da erosão por estarem alojados em grábens ou depressões do embasamento, ou ainda devido à intensa silicificação (ASSINE, 1994).

A principal fase tectônica ocorreu do Neocomiano Superior ao Barremiano, dispondo os sedimentos em horstes e grábens. Conhecido como Andar Dom João, caracterizou-se por ter sido um período de estiramento litosférico visco elástico com simples tectonismo rúptil, que tem sido referido como fase pré-rifte, capaz de formar a Depressão Afro-Brasileira. O Andar Dom João está representado pelas Formações Brejo Santo e Missão Velha. No Neocomiano, início da fase rifte, onde ocorreu o primeiro pulso tectônico tafrogênico, denominam-se os Andares Rio da Serra e Aratu. A Formação Abaiara está correlacionada ao Andar Rio da Serra; nela não foram verificadas evidências de tectonismo sin-sedimentar, tais como deformações contemporâneas à sedimentação e cunhas elásticas nos blocos baixos de falha. Segundo Assine (1994), sua estruturação em horstes e grábens é aparentemente produto de tectônica deformadora relacionada ao segundo pulso tectônico da fase rifte ao final do Neocomiano.

A sequência Aptiano-Albiana assenta-se sobre as duas inferiores em discordância angular, constituindo-se em um ciclo transgressivo-regressivo quase completo. A transgressão marinha foi de curta duração. O brusco retorno às condições continentais prevalecentes durante a sedimentação da Sequência Albiano-Cenomaniana, destaca um soerguimento

3.4 Síntese do Conhecimento da Estratigrafia de Sequência

A Bacia do Araripe ainda é uma região que necessita de grandes estudos em relação à evolução estratigráfica e geocronologia das sequências litológicas da região. Desde a década de sessenta, as pesquisas geológicas se intensificaram na bacia, patrocinados, principalmente, por órgãos e entidades federais (UFPE, SUDENE, DNPM e PETROBRÁS). Contudo, muitas suposições foram escritas e publicadas, havendo algumas divergências entre autores, como nomenclatura, idade, divisão e relações de contato. Contudo, a coluna estratigráfica adotada, neste trabalho, é a de Ponte & Appi (1990, modificada por Assine (1990) (Fig. 11).

Small (1913) foi o primeiro autor a descrever uma idéia da coluna estratigráfica do Araripe, dividindo-a em quatro unidades: conglomerado basal, arenito inferior, calcário Santana e arenito superior. Na década de cinquenta, esse trabalho foi um dos poucos desenvolvidos sobre a Chapada do Araripe, mas muitos outros, de cunho paleontológicos, foram originados.

Publicações, através de estudos desenvolvidos pelo professor Beurlen (1962, 1963) e alunos da Universidade de Pernambuco, redefiniram as unidades evidenciadas por Small, denominando-as de Formação Cariri, Missão Velha, Santana e Exu, com uma espessura sedimentar estimada de aproximadamente 850m.

Braun (1966) realizou estudos paleontológicos sobre a paleofauna de ostracódes da biozona *Bissulcoypris pricei*, e com isso definiu a Formação Brejo Santo no Andar Dom João, de idade Neojurássico.

Beurlen (1971) subdividiu a Formação Santana em três membros: Membro Crato (inferior), constituído por calcários laminadosossilíferos e siltitos laminados; Membro Ipubi (intermediário), formado por minerais evaporíticos (gipsita e anidrita); e Membro Romualdo (superior) compreendendo folhelhos, margas calcíferas e siltitos.

Mabesoone & Tinoco (1973), apresentaram uma revisão estratigráfica e paleontológica da Formação Santana, concluindo que os membros Crato, Ipubi e Romualdo foram formados sob condições paleoambientais distintas, como ambiente marinho e lagunar.

Rand & Manso (1984) utilizaram dados gravimétricos para medir as espessuras das camadas sedimentares totais, chegando a 2.400 m. Com interesse em petróleo, foram levantados 250 Km através de linhas sísmicas de reflexão na Bacia do Araripe realizados por Miranda & Assine (1986), além de mapeamento geológico na escala de 1:100.000 (GHIGNONE *et al*, 1986), divulgando espessuras de 1.700 m (ASSINE, 1990) (Fig. 9).

Ponte & Appi (1990) realizaram uma revisão da litoestratigrafia da Bacia do Araripe introduzindo novas unidades. Definiram os seguintes Grupos: a) Grupo Vale do Cariri, incluindo o conjunto das Unidades Brejo Santo, Missão Velha e Abaiara e b) Grupo Araripe, abrangendo as Formações Rio da Batateira (nova proposta), Santana, Arajara (nova proposta) e Exu (Fig. 12).

Assine (1992), a partir de análises estratigráficas, centrados na identificação dos eventos geológicos maiores, evidenciou o registro fragmentário de quatro bacias históricas e geneticamente distintas: 1 – Sequência paleozóica (Formação Cariri); 2 – Sequência Juro-Neocomiana (Formações Brejo Santo, Missão Velha e Abaiara); 3 – Sequência Aptiano-Albiana (Formações Barbalha e Santana); 4 – Sequência Albiano-Cenomaniana (Formação Exu).

A proposta de Neumann & Cabrera (1999) reconhece cinco sequências tectono-sedimentares na Bacia do Araripe, de acordo com o proposto por Ponte & Appi (1990): sequência Beta (Siluro-Devoniana?); sequência Pré-rifte (Neojurássica); sequência Sin-rifte (Berriasiana a Valanginiana); sequência Pós-rifte (Aptiana a Albiana) e sequência Zeta (Cenozóica).

Os depósitos cenozóicos são sedimentos recentes, localizados próximos à encosta da Chapada do Araripe, representados por arenitos semelhantes aos da Formação Exu, mas são imaturos e não consolidados, de coloração laranja, amarelo e por vezes vermelho. Chagas (2006) define sistema deposicional do tipo leques aluviais proximais de clima semi-árido (Terciário?) para esses depósitos, devido ao fluxo de detritos oriundos das porções superiores da chapada, em sistema de transporte e deposição com pouca água envolvida.

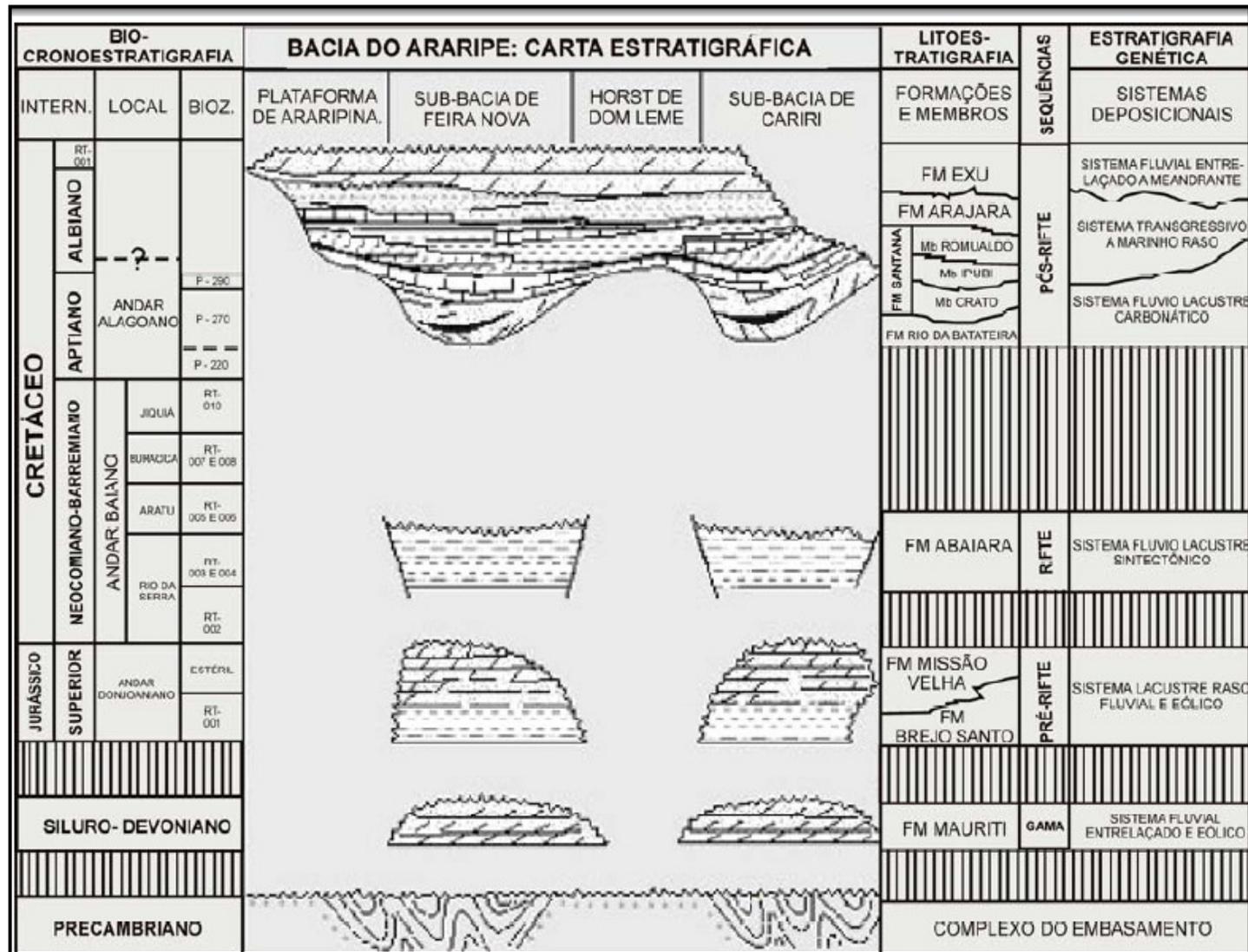


Fig. 12 - Coluna estratigráfica da Bacia do Araripe (Fonte: Chagas, 2006; Mod. de Ponte, 1992 b).

4 LITOESTRATIGRÁFICA DA BACIA DO ARARIPE

4 LITOESTRATIGRÁFICA DA BACIA DO ARARIPE

A Bacia do Araripe, como dito anteriormente, é a mais extensa bacia interior do nordeste brasileiro. Compõe um grande acervo fossilífero e feições estratigráficas complexas. O trabalho em si trata de identificar idades modelos de sedimentação, fornecendo elementos que auxiliem no entendimento das relações com as unidades vizinhas, baseada em dados de *Sm/Nd*, relacionando às principais informações a respeito de cada formação, representada na seção colunar litoestratigráfica da Bacia do Araripe.

As Formações representadas na Bacia do Araripe são divididas, de acordo com Ponte (1992), da seguinte forma: Grupo Vale do Cariri – Formações Brejo Santo; Missão Velha e Abaiara e Grupo Araripe – Formações Rio da Batateira; Santana, esta decomposta em Membro Crato, Ipubi e Romualdo; Arajara e Exu.

Assine (1994) representa a estratigrafia da Bacia do Araripe distintamente da exposta por Ponte & Appi (1990). O primeiro autor considera que a Formação Exu é desmembrada em inferior e superior, denomina a unidade inferior a bacia de Formação Cariri e define a primeira sequência da fase pós-rifte de Barbalha. No entanto, Ponte & Appi (1990) divide a Formação Exu em Exu e Arajara, e a formação logo abaixo da sequência da bacia como Mauriti e a Formação Barbalha, denomina de Rio da Batateira.

Devido às divergências observadas entre esses dois autores, esta dissertação seguirá a coluna estratigráfica representada por Ponte & Appi (1990), com acréscimo de observações relevante realizadas por Assine (1992), além de ressaltar trabalhos referenciados por outros autores de trabalhos, considerados de importância no âmbito da Bacia do Araripe.

A síntese das características das formações da Bacia do Araripe é apresentada nos tópicos a seguir, podendo ser visualizadas através de fotografias e confecção de colunares estratigráficas, expostas no âmbito do trabalho. As feições estruturais, texturas e descrição litológica das rochas têm por base os trabalhos anteriores, uma vez que os estudos faciológicos realizados neste trabalho têm caráter de checagem, e os resultados obtidos, ainda que para um número reduzido de amostras, não destoam daqueles definidos anteriormente.

Os dados das seções colunares e paleocorrentes incrementadas neste contexto são de Chagas (2006), Freitas (2008), Assine (1992) e da autora do trabalho (planilha em anexo), como também foram fornecidos dados pelo professor doutor Wellington Ferreira Filho, da Universidade Federal do Ceará.

4.1 Embasamento Cristalino

De acordo com Sales & Leal Neto (1996), o embasamento cristalino, de idade mesoproterozóica, é formado por gnaisses, migmatitos e filitos de granulação média a grossa, frequentemente com porfiroblastos, cujos melhores afloramentos encontram-se à borda norte, região de Nova Olinda e Altaneira. Estruturalmente apresenta um *trend* estrutural NE-SW.

O embasamento desenvolve-se tanto no Domínio Cearense (Maciço de Santa Quitéria e Maciço do Rio Piranhas), quanto no Domínio Transnordestino (sub-domínio Seridó, Piancó – Alto Brígida e Riacho do Pontal) (BRITO NEVES (1990). Cordani *et. al* (1984) esquematizaram os principais traços de falhas, tendo ao norte da Bacia do Araripe o ramo principal do Lineamento de Patos (Patos – Aurora) e a Falha Farias Brito, como elemento estrutural de destaque. Brito Neves *et al* (1990) posicionam esta unidade, do ponto de vista geotectônico, como pertencente às faixas de dobramentos Jaguaribana e Piancó – Alto Brígida.

4.2 Formação Mauriti (Cariri)

A Formação Mauriti definida primeiramente por Small (1913) como arenito conglomerático e logo após Formação Cariri por Beurlen (1962), assim denominada por Ponte (1992), descreve os arenitos basais abaixo da sequência da Bacia do Araripe. Apresenta idade Siluro-Devoniana (?) limitada na base por discordância pré-siluriana e no topo pela discordância pré-mesózoica, de acordo com a correlação com o Grupo Serra Grande da Bacia do Parnaíba e com a Formação Tacaratu da Bacia do Jatobá. Aflora no entorno da bacia, desde o Município de Nova Olinda a oeste, passando por Milagres e Mauriti a leste, contornando o Vale do Cariri e aflorando na borda sul nos municípios de Cedro e São José do Belmonte, estes últimos localizados no Estado do Pernambuco.

Duas discussões principais afetam esta formação: a idade e o nome propriamente dito. Apesar das divergências de datação, a quase totalidade dos autores atribui idade Devoniana Inferior aos sedimentos da Formação Mauriti. Assine (1992) admite que os sedimentos da Formação Cariri tenham sido depositados anteriormente ao ciclo de glaciação responsável pelos diamictitos da Formação Ipu da Bacia do Parnaíba, de acordo com Caputo & Lima (1984), isto baseado na presença da paligorskita, que sugere um clima quente e seco no período de deposição. É uma unidade afossilífera, com registros apenas de icnofósseis na cachoeira de Missão Velha, não ajudando muito no fornecimento de dados

cronoestratigráficos. Em relação à nomenclatura dada à Formação Mauriti, Ponte & Appi (1990), adotaram esta designação, em detrimento das demais, pelas seguintes razões: (1) O nome deriva de uma localidade-tipo bem definida, onde ocorrem as mais vastas e típicas áreas de afloramentos da formação; (2) O nome Formação Cariri, embora tenha prioridade, decorrente à data de publicação, é uma designação indevida, pois se refere a uma extensa região, onde afloram outras formações, e não a uma localidade-tipo (BRAUN, 1966).

A sequência paleozóica é representada predominantemente por arenitos quartzosos e/ou arcoseanos com níveis de arenitos conglomeráticos, separando os *sets* deposicionais. Intercalados aos arenitos, observa-se níveis de siltitos brancos variando sua coloração de roxo a esverdeado (CHAGAS, 2006). Os grãos oferecem dimensões de média a grossa, com grãos sub-angulares, mal selecionados. A unidade não possui muita variação, em algumas exposições desta unidade ocorre uma gradação granulométrica decrescente em direção ao topo, com presença de bioturbações que se inicia na base com níveis conglomeráticos. Apresentam coloração variando de bege claro a marrom acinzentado, passando por tonalidades esverdeadas, devido à presença do argilo-mineral *paligorskita* (FEITOSA, 1987).

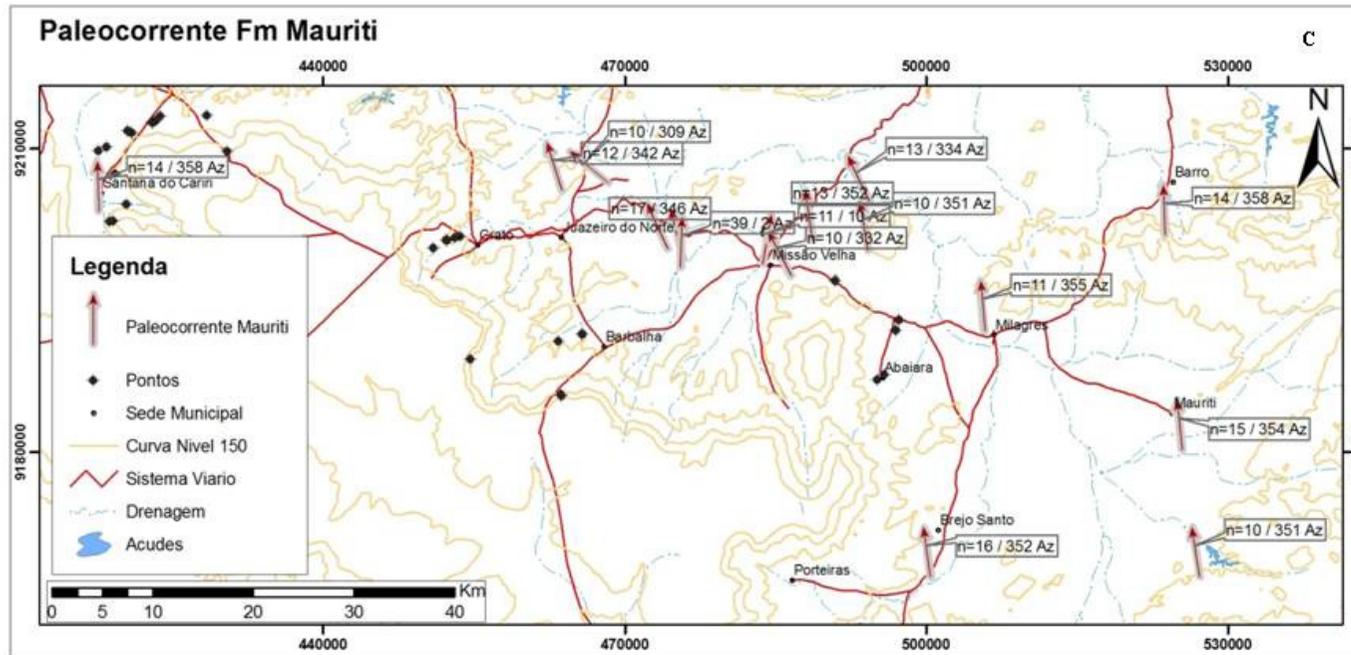
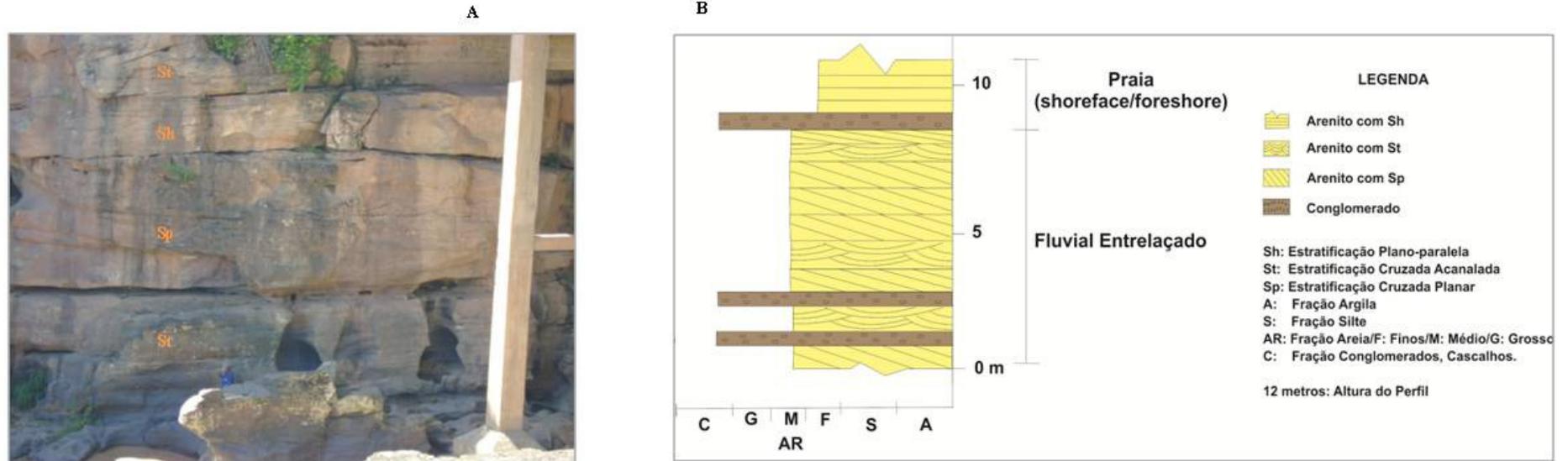
Ponte & Appi (1990) consideram a formação como fácies tipicamente eólica devido à estratificação cruzada de grande porte, mas esta descrição não foi observada em campo. De acordo com Chagas (2006), o sistema que originou a unidade é de um sistema fluvial entrelaçado, por serem comuns em regiões semi-áridas e rios entrelaçados apresentam maior declividade e maior capacidade de transporte de sedimentos grossos. A espessura da unidade é dita por Neumann (1999) que alcança 100 m, já Ponte & Appi (1990), afirmam que no poço 2-AR-1-CE a espessura é de 46 m.

Especificamente no local de coleta de amostra para análise geocronológica, na cachoeira de Missão Velha, foi registrada um arenito com intercalação de estratificações cruzadas planares, cruzadas acanaladas e estratificações plano-paralelas, formada por sets de pequeno a médio porte (Prancha 1A/B). Características como cor bege claro a acinzentado, granulometria média a grossa e composição básica de quartzo e feldspato, foram observadas em afloramento.

Assine (1994) apresentou em sua pesquisa dados de 139 medidas de paleocorrentes nos quais resultou em paleocorrentes unimodais e rumo geral de fluxo para NNW (N352°), observando mergulhos deposicionais, definindo fácies fluviais entrelaçados com presença de silicificação e cimentação na Cachoeira de Missão Velha. Os dados de

Chagas (2006) de paleocorrentes se assemelham aos de Assine (1994), também constatando fluxo de SSE para NNW, em direção a Bacia do Parnaíba (Prancha 1C).

Sales & Leal Neto (1996) afirmam que os arenitos conglomeráticos encontram-se numa zona de reativação estrutural, fortemente influenciada pelas feições estruturais pré-cambrianas, onde ocorrem planos de falha exibindo clastos de quartzo seccionados, ressaltos e estrias, como também famílias de fraturas.



Prancha 01 – A: Formação Mauriti (cachoeira de Missão Velha) com estratificações intercaladas cruzadas planares, cruzadas acanaladas e plano-paralelas, de pequeno a médio porte. Ponto M-06 (Coordenadas UTM: 483916,9201700); B: Seção Colunar referente à Formação Mauriti levantada na localidade da cachoeira de Missão Velha. Ponto M-06; C: Paleocorrentes da Formação Mauriti indicando fluxo de corrente para NNW. Fonte: Assine (1994) e Chagas (2006), adaptado.

4.3 Grupo Vale do Cariri

Relacionado também com a sequência Juro-Neocomiana, compreende-se das Formações Brejo Santo, Missão Velha e Abaiara. Este grupo corresponde ao começo da quebra do supercontinente do Gondwana, quando ocorrem as fases pré-sin riftes, marcadas por uma sedimentação continental durante o Neojurássico e início do Eo-cretáceo (Ponte & Appi, 1990).

Esta sequência foi depositada em resposta à subsidência mecânica no interior da região nordeste do Brasil, devido aos esforços extensionais decorrentes dos processos de rifteamento da abertura do oceano atlântico.

Apesar de existirem bons afloramentos dos litótipos do Grupo Vale do Cariri, o poço 2-AP-1-CE é utilizado como seção tipo para caracterizar as sequências deste grupo (Fig. 13).

4.3.1 Formação Brejo Santo

Esta formação é a primeira unidade descrita para a fase pré-rifte da Bacia do Araripe. Marca o início da subsidência mecânica decorrente do processo de rifteamento, abertura do Oceano Atlântico, da reativação Wealdeniana. Aflorante na porção leste da bacia ao entorno da Formação Mauriti. O contato com a Formação Mauriti é discordante e com a Formação Missão Velha é gradacional (PONTE, 1992a e b; OLIVEIRA, 2006).

Gasparly & Anjos (1964) foram os primeiros a definir a nomenclatura da Formação Brejo Santo, englobando em sua descrição os argilitos, folhelhos, siltitos e arenitos finos, litologias estas retiradas da base da Formação Missão Velha. Em 1966, Braun adotou o nome de Formação Aliança, correlacionando-a às bacias do Recôncavo, Tucano e Jatobá, devido às semelhanças referentes às litologias destas com as da Bacia do Araripe. Contudo, mesmo com as duas definições em relação à nomenclatura, o trabalho em si tratado utiliza a Formação Brejo Santo por ser relacionada à Bacia do Araripe.

A idade desta unidade é definida a partir de dados de ostracodes, típicos do Andar Dom João, como *Bisulcocypris pricei* P & S e *Darwinula oblonga* ROEMER (BRAUN, 1996), relacionando-a com o Neojurássico.

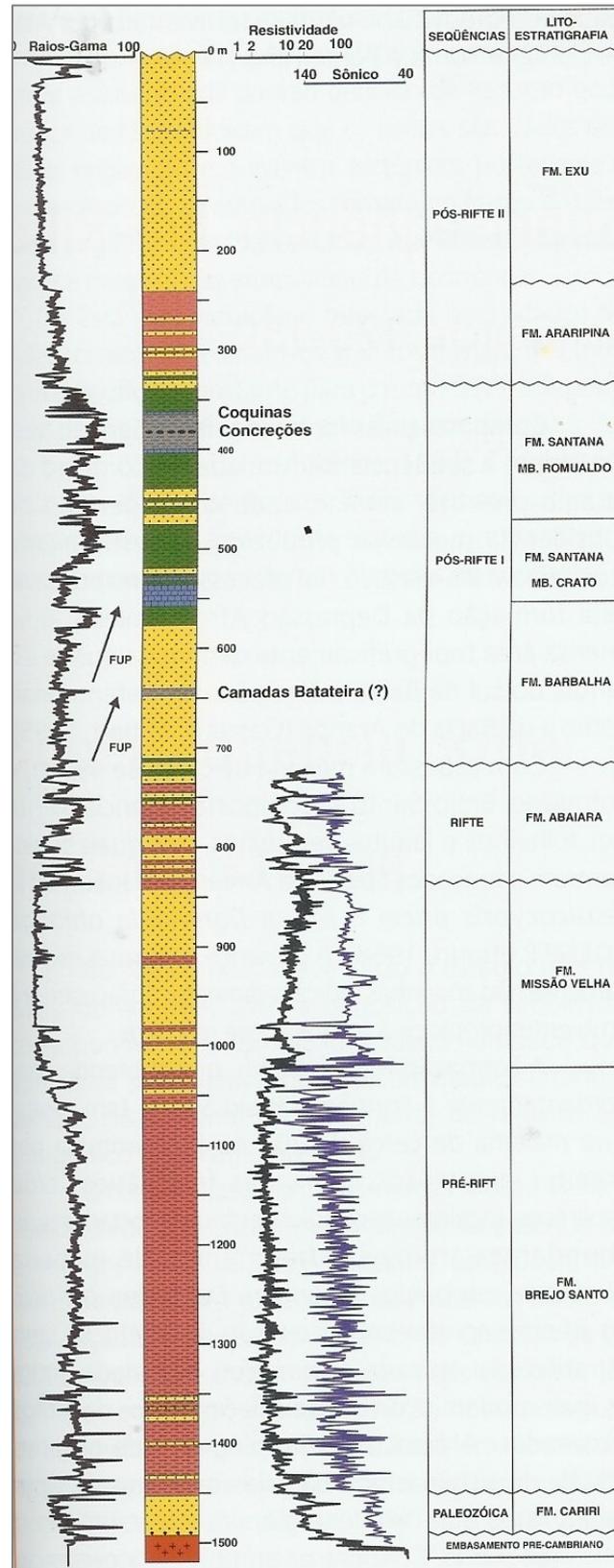


Fig. 13 – Poço 2AP-1-CE Perfil estratigráfico do poço 2-AP-1-CE (GDA=granodecrescência ascendente; GCA= granocrescência ascendente) (Assine, 2007).

A Formação Brejo Santo é composta quase exclusivamente por folhelhos e argilitos de coloração vermelho a amarronzado, com finas camadas intercaladas de argilitos esverdeados, arenitos finos e siltitos, apresentando espessura máxima de cerca de 450 m. Os folhelhos contêm fósseis de ostracodes característicos de ambiente lacustre e propício à formação de *red beds* (ASSINE, 1994), característicos de águas calmas e rasas, assinalando clima árido a semi-árido durante a sedimentação do Andar Dom João (CHAGAS, 2006). No topo, ocorrem argilitos e folhelhos bem estratificados e, ocasionalmente, leitos de folhelhos escuros esverdeados, com restos de peixes.

Em campo não foram observadas as estratificações desta formação, devido ao alto grau de erosão e lixiviação do material situado nos afloramentos visitados (Foto 9 A/B).

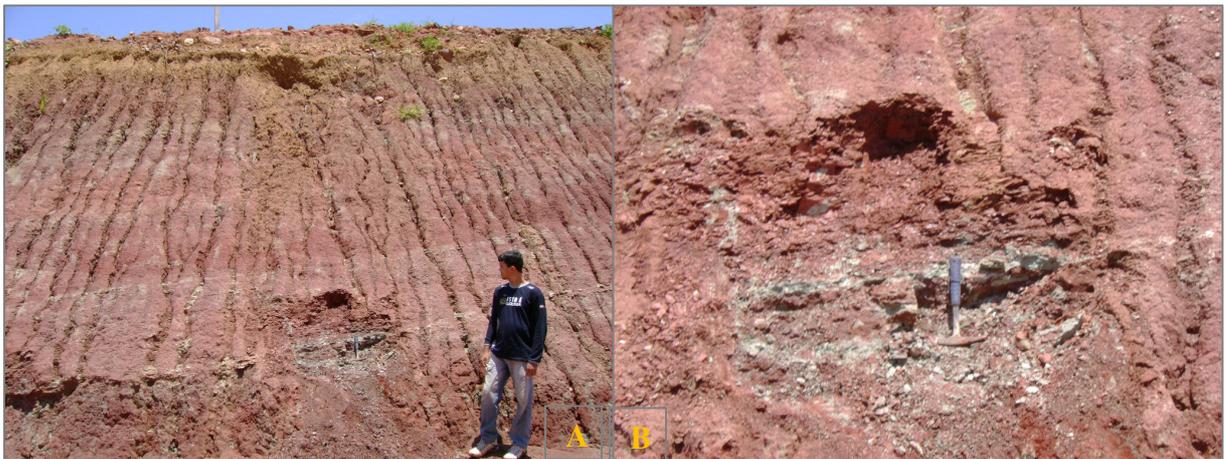


Foto 9 – Argilito vermelho da Formação Brejo Santo, início do túnel da ferrovia transnordestina, localizada entre os municípios de Missão Velha e Abaiara. (A): Visão Geral e (B): Visão do local amostrado. Ponto M-21.

4.3.2 Formação Missão Velha

A Formação Missão Velha encontra-se sobreposta concordantemente à Formação Brejo Santo, finalizando a primeira fase lacustre da Bacia do Araripe. Localiza-se na porção leste da bacia, onde os principais afloramentos encontram-se nos municípios de Missão Velha, Brejo Santo, Abaiara e Mauriti. Freitas (2008) realizou estudos aprofundados a respeito desta unidade em sua dissertação de mestrado, relacionando tais informações com este item da dissertação.

Esta unidade foi descrita primeiramente por Buerlen (1962), como todo pacote arenítico sobreposto à Formação Mauriti, com espessura máxima de 200 m, localizado no Vale do Cariri, não diferenciando a Formação Brejo Santo desta. No entanto, Gaspary & Anjos (1964), dividiram as formações, retirando as rochas pelíticas da base da Formação

Missão Velha, denominando-as de Formação Brejo Santo. Logo após, Braun (1966) deu a denominação de Formação Sergi aos arenitos desta unidade, correlacionando estes com os análogos das bacias Recôncavo/Tucano/Jatobá. Contudo, a denominação que será adotada neste trabalho será a de Gasparry & Anjos (1964).

A idade definida nesta formação está relacionada aos inúmeros troncos e fragmentos de madeira silicificados, atribuídos a coníferas *Dadoxylon benderi*, através de correlações com a Formação Sergi da Bacia do Recôncavo-Tucano (BRAUN, 1966) e com a Formação Serraria da Bacia Sergipe-Alagoas (ASSINE, 1992). Desta forma, a Formação Missão Velha, cuja característica principal dessas é a presença de madeiras fossilíferas similares, atribui-se idade Neojurássica (Andar Dom João).

De acordo com dados levantados em campo e análises bibliográficas, a Formação Missão Velha apresenta em seu contexto geral arenitos de granulometria média a grossa, de coloração esbranquiçada, gradando também para cores roxa a avermelhada, intercalados a níveis centimétricos conglomeráticos, variando para arenitos mais finos e esbranquiçados, e intercalações de níveis argilosos de coloração roxo amarronzado, podendo também encontrar cor vermelho, cinza e esverdeado (Prancha 2A). Apresentam estratificação cruzada planar (Sp), estratificação cruzada acanalada (St) e alguns *sets* com estratificação horizontal (Sh) (Prancha 2B).

Freitas (2008) assinala a ocorrência de restos de madeira fóssil nos arenitos, com tamanho variando entre 5 e 25 cm, alguns seguindo a estratificação dos *sets*, podendo ser observados troncos de até 220 cm de comprimento, nos sítios Ribeirão, Pau Branco e Várzea Grande.

O ambiente de sedimentação da Formação Missão Velha marca o final da deposição lacustre e gradação para sedimentação de sistema fluvial entrelaçado, caracterizado por canais rasos de alta energia, indicados pelas ocorrências de estratificações cruzadas planares e acanaladas (CHAGAS, 2006). Já Freitas (2008) interpreta como um sistema de rios entrelaçados e leques aluviais em planície de sedimentação continental, com algumas áreas paludais.

As medidas de paleocorrente evidenciadas por Freitas (2008) nesta sequência sedimentar indicam fluxo para SSE, relacionando a área de proveniência sedimentar e dos restos de madeira fóssil a uma região de elevada altitude situada a norte, provavelmente no lineamento Paraíba (Prancha 2C).

4.3.3 Formação Abaiara

A Formação Abaiara pertence à fase tectônica sin-rifte, está inserida no Vale do Cariri e alcança espessura da ordem de 124 m. Estratigraficamente uma mudança sedimentar baseada no aumento da atividade tectônica, definiu a parte superior da primeira fase lacustre da Bacia do Araripe. O contato com a Formação Missão Velha é discordante paralela (PONTE, 1996), e no topo apresenta discordância pré-aptiana, sobre a qual assenta a Formação Rio da Batateira ou a Formação Santana, ambas do Grupo Araripe.

A unidade foi definida primeiramente por Ponte & Appi (1990), separando a unidade das demais devido à existência da variação faciológica lateral e vertical, e por possuir características litológicas e um conteúdo paleontológico próprio e distinto das ocorrências sotopostas.

Esta formação apresenta um acervo de fósseis que a evidencia e caracteriza. Os fósseis estão presentes nas camadas de folhelhos papiráceos, estes portadores de escamas de peixe e ostracodes. Silva-Telles Jr. *et al* (1991) identificaram *Cypridea (Morininoïdes) candeiensis* Krommelbein, *Cypridea sellata* VIANA, *Cypridea (Morininoïdes) grekoff* Krommelbein, *Cypridea tucanoensis* Krommelbein, *Tucanocypris camposi* Krommelbein e *Theriosynoecum laciniatum* Krommelbein. Silva-Telles Jr. *et al* (1991) identificaram também palinomorfos do gênero *Classopollis* e da espécie *Dicheiropolis etruscus*.

De acordo com os dados paleontológicos citados acima pode posicionar a unidade no Andar Rio da Serra, por estes serem indicadores da biozona RT-002, RT-003 e NRT-004, estendendo-se ao Andar Aratu da biozona NRT-005. Os andares mencionados são de idade Neocomiana, correlacionáveis com os Grupos Rio do Peixe e Iguatu, além das Formações Pendência (Bacia Potiguar), Barra de Itiúba (Bacias de Sergipe e de Alagoas) e Candeias (Bacias do Recôncavo, Tucano e Jatobá) (PONTE FILHO & PONTE, 1992).

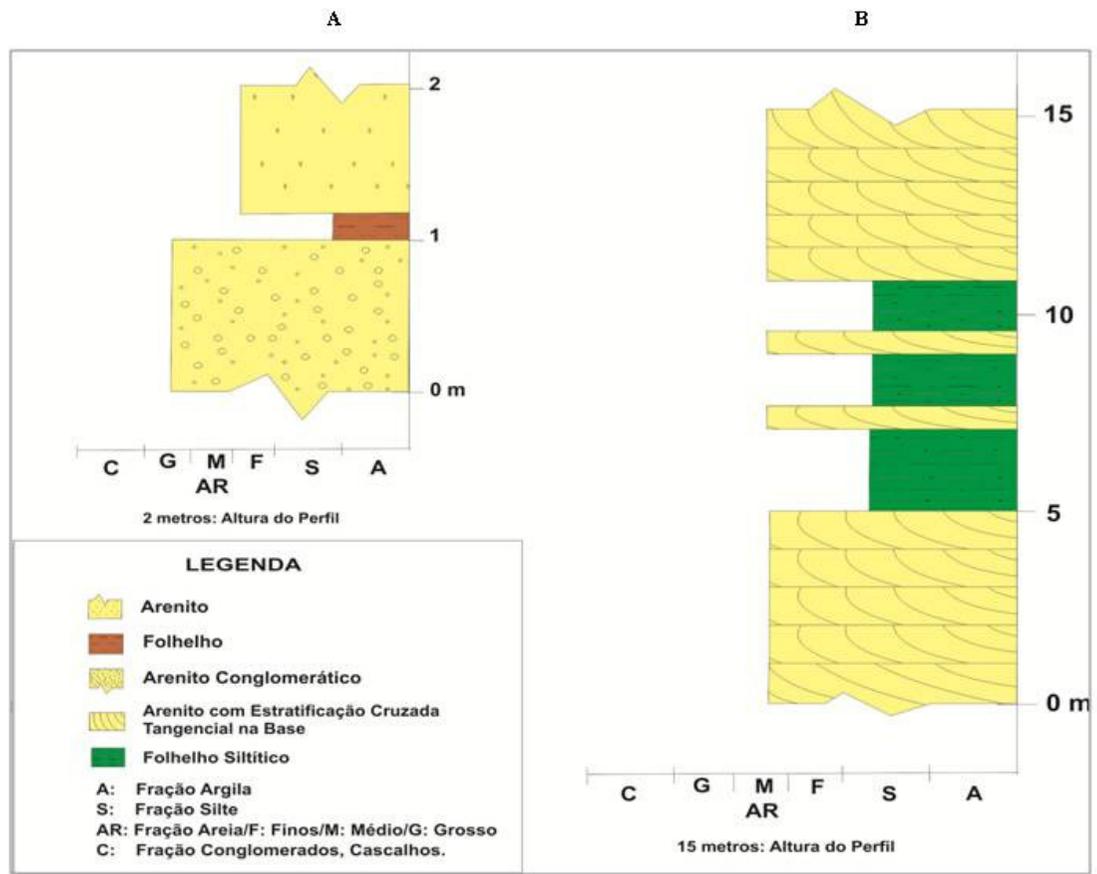
A sequência sedimentar é constituída por arenitos parcialmente argilosos, micáceos, finos e friáveis, bem selecionados, intercalados a siltitos e folhelhos bem estratificados, de coloração avermelhados a cinza-esverdeados, por vezes esbranquiçados.

Chagas (2006) levantou uma seção colunar da Formação Abaiara, confirmada em parte, através, também, de seção colunar, exposta nesta dissertação. Sucintamente é descrita na base por conglomerado, com ausência de estruturas sedimentares aparentes, onde observa-se bolas pelíticas e níveis milimétricos de siltito. Logo após possui um empilhamento sedimentar de arenitos de granulometria média a grossa, mal selecionados, com estratificação cruzada planar (Sp) e estratificação horizontal (Sh) em *sets* de espessura decimétricas, estes

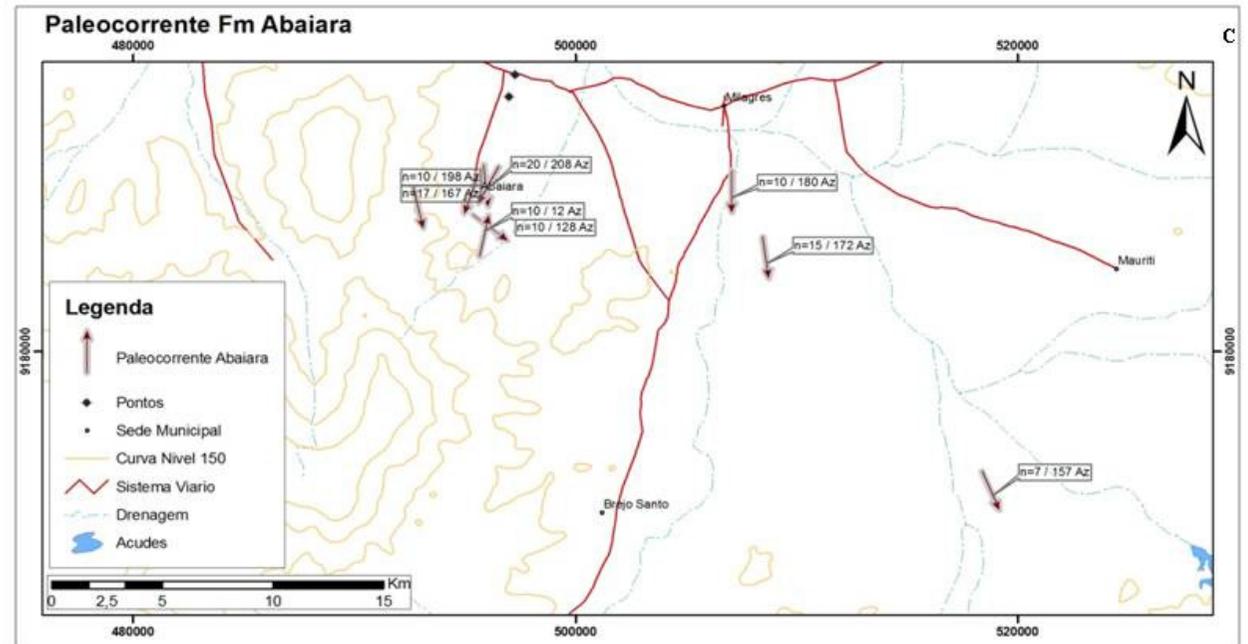
de granulometria fina. Ocorrem também estratificações cruzadas acanaladas (St) de pequeno porte e estratificações cruzadas planares tangenciais na base (Sp) em *sets* de espessuras que variam de decimétricas a métricas (Prancha 3A/B).

Estudos faciológicos revelam ambiente de sedimentação na base de lagos rasos e planícies aluviais, evidenciados pelos sedimentos finos como folhelhos e siltitos e a presença de conteúdo paleontológico, rico em bioesparitos (ostracódes) em meio às camadas de folhelhos (ASSINE, 1992), gradando para sistemas de sedimentação fluvial, registrados na intercalação de sedimentos pelíticos e psamíticos.

De acordo com dados coletados em campo (20 medidas), o azimute médio foi de Az 198°, paleofluxo no sentido SSW. No entanto, Assine (1994), apresentou 49 medidas indicando média de Az 169° e Chagas (2006) com 66 dados de atitudes de paleocorrentes alcançou média de Az 172°, caracterizando sentido SSE, não diferenciando de dados existentes da Formação Missão Velha (Prancha 3C).



Prancha 03 – A: Seção Colunar da Formação Abaiara, no município de Abaiara. Ponto ZC-05 (Coordenada UTM 495160, 9187192); B: Seção Colunar da Formação Abaiara, no túnel da ferrovia transnordestina, entre os municípios de Missão Velha e Abaiara. Ponto ZC-01 e 02 (Coordenada UTM 497285, 9193104); C: Medidas de Paleocorrente da Formação Abaiara. Fonte: Assine (1994) e Chagas (2006), adaptado.



4.4 Grupo Araripe

O grupo descrito compreende uma sequência de sedimentos depositada durante a fase pós-rifte da evolução tectono-sedimentar da Bacia do Araripe, resultado de subsidência flexural térmica. De acordo com Assine (1994), esta fase pós-tectônica é dividida em Sequência Aptiano-Albiana e Sequência Albiano-Cenomaniana, representando as Formações Barbalha e Santana e Formação Exu (superior/inferior), respectivamente. As proposições de Ponte & Appi (1990) discordam do autor acima em dois pontos principais, o primeiro determina a idade meso-cretácea e o segundo, e mais importante, define as formações em Rio da Batateira, Santana, Arajara e Exu. Neste trabalho serão levadas em considerações as teorias de Ponte & Appi (1990).

4.4.1 Formação Rio da Batateira (Barbalha)

É a primeira unidade da sequência Aptiano-Albiana, e encontra-se em discordância angular com a Formação Abaiara (Grupo Vale do Cariri). No topo, com o Membro Crato, o contato é gradativo, formando interdigitação com camadas carbonáticas (OLIVEIRA, 2006). De acordo com o perfil do poço 2-AP-1-CE, a sequência alcança espessura da ordem de 242 metros. Localiza-se em torno do sopé das escarpas da Bacia do Araripe no Vale do Cariri. Assine (2007) afirma que o perfil estratigráfico vertical apresenta dois ciclos fluviais granodecrescentes ascendentes.

Assine (1990,1992) foi o primeiro a descrever a formação, denominando de Barbalha, os arenitos intercalados aos lamitos de coloração avermelhada a amarelada, representados na porção basal desta sequência. Ponte & Appi (1990) definiram a Formação Rio da Batateira, devido à seção tipo da unidade ocorrer no Rio da Batateira, localizado no município de Crato, onde ocorrem os melhores afloramentos.

Lima e Perinotto (1994) apresentaram dados palinológicos da Formação Rio da Batateira, dos folhelhos betuminosos de coloração preta ricos em fragmentos de peixes (*Dastilbe elongatus*), conchostráceos, ostracodes, fragmentos de vegetais carbonizados e polens (*Inaperturopollenites turbatus*, *Reyrea polimorphus* e *Sergipea varriverrucata*). Estes polens ratificam que os estratos analisados fazem parte do Andar Alagoas (superior) de idade Neo-aptiana.

O empinhamento de fácies sedimentares será descrito baseado em dados de Chagas (2006), que apresentou cinco seções colunares em sua dissertação, levando em consideração

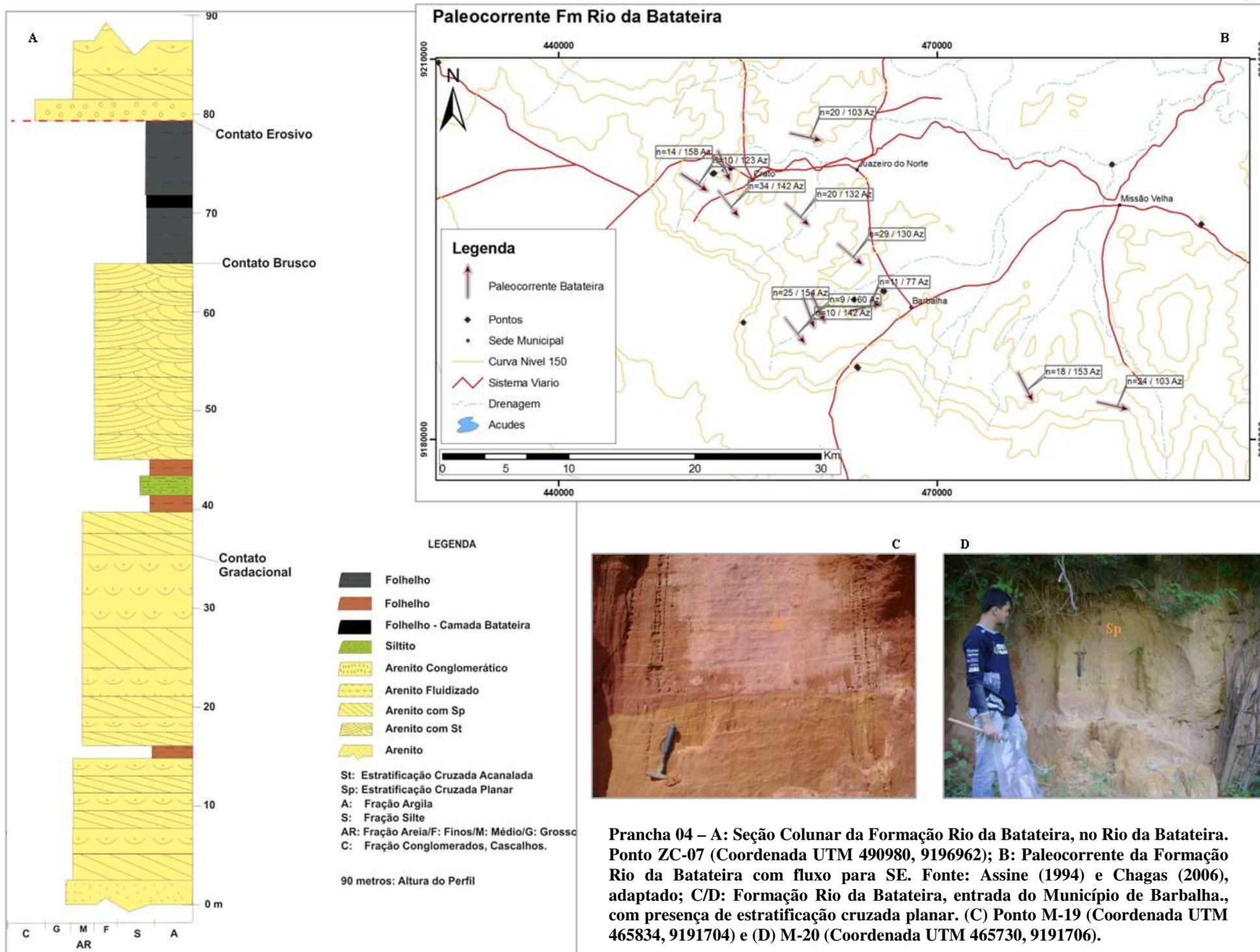
sua estratificação, sedimentação e evolução. A partir disso, sabe-se que na base da sequência ocorre a presença de arenitos médios a grossos, com coloração laranja-avermelhada, arrançados em *sets* decimétricos a métricos, intercalados ou não a estes, incidindo níveis de folhelho siltoso de cor cinza esbranquiçada. A camada acima faz parte do primeiro ciclo granodecrescente ascendente da formação. Observando os *sets* em direção ao topo, os sedimentos apresentam granulometria de média a fina, definido também por arenitos até serem recobertos pelos siltitos, folhelhos e argilitos, de coloração variando de roxa a vermelho amarronzado. Marcando o fim deste ciclo, aparecem os folhelhos pirobetuminosos intercalados às camadas de calcário. Esta passagem é marcada por um ambiente de sedimentação confinado, de redução de energia dos rios e baixa oxigenação das águas, assinalada por evidências em precipitações de sulfetos nos calcários brechóides. Marcando o início do segundo ciclo granodecrescente ascendente, sobrepostos aos folhelhos pirobetuminosos, ocorrem novamente os arenitos finos a grossos, com camadas de arenitos conglomeráticos a conglomerado, predominando no topo os arenitos de granulometria média a fina, definidos pelas mesmas características dos sedimentos basais desta formação. No fim do segundo ciclo, aparecem os folhelhos calcíferos de coloração verde, intercalados com os arenitos, sendo cada vez menos frequentes no topo, até aparecer o contato com os calcários laminados do membro Crato, da Formação Santana (Prancha 4C/D). Em campo, foi constatado os arenitos médios a grossos referente ao primeiro ciclo granodecrescente ascendente da formação de cor variando do amarelo ao laranja-avermelhado (Prancha 4A).

As estratificações originadas durante o primeiro e segundo ciclos são bem semelhantes, nos arenitos grossos são representados por estratificação cruzada acanalada (St) e cruzada planar (Sp); nos arenitos de granulometria média a presença de estruturas cruzadas planares (Sp), cruzadas acanaladas de médio porte (St) e horizontais (Sh). Acima destes, os arenitos médio a grosso apresentam estruturas sedimentares cruzadas planares (Sp), cruzadas acanaladas (St) e horizontais (Sh).

As estratificações citadas acima descrevem um ambiente de sedimentação normalmente do tipo fluvial, apresentando sistema de planície de inundação quando os rios se encontravam mais fortes. Os sedimentos pelíticos definem depósitos de sedimentação do tipo lacustre, podendo ser de origem raso ou profundo. Os folhelhos pretos pirobetuminosos representam sistema de ambiente continental, em lagos anóxicos, confirmados devido à presença de coprólitos, restos de peixes de ambiente fluvio-lacustre (*Dastilbe elongatus*), fragmentos de vegetais carbonizados e palinomorfos. Lima & Perinotto (1984), baseado em fosseis de indicadores climáticos como, *Cheirolepidiaceae*, *Ephedraceae*, *Cycadaseae*,

Schizeaceae e *Araucariaceae*, concluíram que o clima durante o processo de deposição era quente e seco (semi-árido).

As paleocorrentes da Formação Rio da Batateira, de acordo com Chagas (2006) e Assine (1994), apresentam fluxos de corrente em direção a sudeste (Az 125-143°) (Prancha 4B).



Prancha 04 – A: Seção Colunar da Formação Rio da Batateira, no Rio da Batateira. Ponto ZC-07 (Coordenada UTM 490980, 9196962); B: Paleocorrente da Formação Rio da Batateira com fluxo para SE. Fonte: Assine (1994) e Chagas (2006), adaptado; C/D: Formação Rio da Batateira, entrada do Município de Barbalha., com presença de estratificação cruzada planar. (C) Ponto M-19 (Coordenada UTM 465834, 9191704) e (D) M-20 (Coordenada UTM 465730, 9191706).

4.4.2 Formação Santana

A Formação Santana encontra-se sobreposta à Formação Rio da Batateira. De acordo com Ponte & Ponte Filho (1996) a sequência pertence também ao estágio pós-rifte do Grupo Araripe. Em sua totalidade, apresenta grande riqueza fóssilífera, tanto em quantidade como em diversidade. Como mostram Maisey (1991) e Martill *et al* (2007), a excepcional preservação tridimensional possibilita a reconstituição da morfologia original dos organismos. Esta sequência está posicionada no Andar Alagoas (Neoaptiano/Eoalbiano).

Os litotipos desta sequência ocorrem, em sua maioria, na porção norte da Chapada do Araripe no Estado do Ceará. Esta unidade ainda é muito estudada por diversos autores, devido à complexidade de suas fácies sedimentares. Contudo, a formação se subdivide em três membros distintos: Crato, Ipubi e Romualdo.

Small (1913) foi o primeiro autor a distinguir os sedimentos existentes acima dos arenitos da Formação Rio da Batateira (definido de Arenito Superior pelo autor), denominando-o de Calcário Santana. Em 1962, Beurlen, determinou a unidade de Formação Santana e em 1971 desmembrou a sequência em três membros (Crato, Ipubi e Romualdo), sendo descrita as suas características abaixo, no trabalho tratado. Moraes *et. al* (1976) dividiu a Formação Santana em Fácies Carbonatadas e Fácies Lutítica-argilosa Evaporítica. Lima (1978) definiu apenas o Membro Crato para esta sequência, devido à difícil distinção dos contatos dos sedimentos. Em 1983, Silva denominou os calcários do Membro Crato de Formação Araripina e, Formação Santana, para os sedimentos dos membros Ipubi e Romualdo, englobando as duas formações no Grupo Araripe. Ponte & Appi (1990), em análise bibliográfica, consolidou a proposta estratigráfica descrita anteriormente por Beurlen diferindo-se apenas por enquadrar o Grupo Araripe na sequência pós-rifte e denominando de Grupo Vale do Cariri as unidades pré e sin-rifte da Bacia do Araripe. Em 1999, Neumann e Neumann & Cambra referiram-se ao Grupo Araripe de Grupo Santana e adicionou a Unidade Terrígena na mesma ordem cronoestratigráfica da Formação Ipubi.

a) Membro Crato:

O Membro Crato compõe-se basicamente de calcários micríticos e laminados (estratificação horizontal), com interestratificação de folhelhos papiráceos calcíferos, alcançando espessuras da ordem de 50 m, podendo atingir 80 m. Corresponde a um dos sítios paleontológicos mais importantes do país. Estudos voltados aos fósseis definiram registros de fauna e flora como, invertebrados (ostracodes, conchostráceos, insetos, aracnídeos, bivalves e

gastrópodes), vertebrados (actinoptérígios, celacantos, pterossauros, quelônios, crocodilianos, répteis, aves e anuros), insetos (com mais de 200 espécies descritas), vegetais (algas, gimnospermas e angiospermas), além de icnofósseis (coprólitos e pistas de invertebrados), estromatólitos e palinomorfos, todos bem preservados, determinando idade Neoaptiano (PONTE & APPI, 1990).

Em campo, observou que a unidade caracteriza-se por apresentar bancos, finamente estratificados e horizontais de calcários, de coloração variando do bege (creme) ao marrom, e do cinza claro ao cinza azulado, alternando-se aos folhelhos e arenitos finos (Foto 11) (Prancha 5A). Os níveis de argila-carbonato ocorrem sempre na base do pacote carbonático, recobertos pelos calcários laminados, e nestes, por vezes, aparecem pseudomorfos de sal (halita) (VIANA & NEUMANN, 2002). Apresentam contato inferior gradual com os folhelhos interestratificados da Formação Rio da Batateira e no topo com os evaporitos do Membro Ipubi (gipsita) e lentes arenosas carbonáticas.

Segundo Martill (1993), o ambiente de deposição do Membro Crato é lacustre, sendo a segunda fase lacustre na Bacia, confirmada pela presença de *Botryococcus* e de *Estheria*, por Pons *et. al* (1990). Viana & Cavalcanti (1991) definem sedimentação lacustre dominante e influência marinha na parte inferior da unidade.



Foto 10 – Folhelhos e calcários laminados do Membro Crato da Formação Santana. Ponto M-02.

b) Membro Ipubi:

O Membro Ipubi encontra-se depositado logo acima dos calcários laminados do Membro Crato. De acordo com estudos de campo, constatou-se que a unidade é formada predominantemente por rochas evaporíticas, como gipsita e anidrita, de cor esbranquiçada ou preta, camadas de folhelhos pirobetuminosos de coloração negra, contendo alto teor de matéria orgânica e minerais de pirita, portadores de fósseis do tipo conchostráceos e ostracodes de origem não marinhos, fragmentos de vegetais e peixes (*Dastilbe Elongatus*) carbonizados e quelônios (CHAGAS, 2006). Esta unidade pode atingir até 30 metros de espessura, mas observado nas depressões da Sub-Bacia de Feitoria, a espessura é de aproximadamente 80 m (PONTE FILHO, 1992). De acordo com Oliveira (2006), esta sequência sedimentar apresenta os sulfatos hidratados e anidros em forma lenticular de variadas dimensões.

Em campo, foi realizado um levantamento da seção colunar da Mina Pedra Branca, localizada no município de Nova Olinda, caracterizando-se por uma camada de evaporitos em forma lenticular com cerca de 8 m de espessura. O mineral de destaque é a gipsita laminada primária na base, no topo da seção se faz referência à Formação Romualdo, descrita no subitem a seguir (Prancha 5B).

Berthou *et al* (1990) atribuíram idade Albiano Inferior a Médio para o Membro Ipubi. O contato deste, com o Membro Crato, apresenta-se de forma normal e gradacional, e sob o Membro Romualdo, o contato é gradual ou erosivo, recoberto por conglomerados da Mina Pedra Branca, sugerindo provável discordância erosiva (SILVA TELES & VIANA, 1990).

O ambiente de sedimentação desta unidade representa o fim da fase lacustre iniciada anteriormente. É marcada por deposição em bacias lagunares restritas (evaporítica), com altas concentrações de sais, devido à entrada de águas marinhas, dominada por intensa evaporação. De acordo com Castro *et al* (2006) a origem dos evaporitos estão interligadas a um ciclo de concentração e diluição de sais, não podendo ser referência de mar baixo pois sua origem é do tipo climática (aridez). Os folhelhos pirobetuminosos alcançam teores de carbono orgânico total de 22 a 25%, devido a altas quantidades de matéria orgânica, comprovando um ambiente de deposição anóxica (CHAGAS, 2006). A partir da interpretação de dinoflagelados por Ponte (1992), postula-se a influência de águas marinhas em sua deposição.

c) Membro Romualdo:

Acima da sequência evaporítica do Membro Ipubi ocorre uma unidade formada

basicamente por intercalações de folhelhos e margas calcíferas, de coloração cinza esverdeado, marcado também por arenitos grossos conglomeráticos imaturos, de cor cinza, com ausência de estratificações sedimentares e presença de seixos angulosos de quartzo (Prancha 5C/D). Estes arenitos conglomeráticos marcam, no Albiano, um pulso transgressivo e como consequência interrompeu a sequência evaporítica do Membro Ipubi.

De acordo com dados do poço 2-AP-1-CE, a espessura do membro é de aproximadamente 60 m. As litologias localizam-se principalmente no sopé da Chapada do Araripe a nordeste, com melhores afloramentos na porção Central do Cariri. O Membro Romualdo junto com o Membro Crato formam um dos sítios paleontológicos mais importantes do país.

Chagas (2006) estudou e interpretou o Membro Romualdo, criando uma seção colunar em afloramento localizado no Sítio Romualdo, no Município do Crato. Descrevendo a seção tipo, da base ao topo encontra-se a camada de arenitos conglomeráticos, com espessura de 1 a 2 m, sobreposta ocorrem os folhelhos verdes e, em seguida, a camada de calcários laminados de 2,5 m de espessura, este apresenta coloração creme esbranquiçada, intercalados a níveis centimétricos de folhelhos. Após os calcários, acompanha os folhelhos pirobetuminosos de 3 m de espessura e logo, em sequência, os arenitos, de coloração branca e espessura da ordem de 2,5 m, apresentando granulometria média a grossa e estratificação cruzada acanalada (St) em *sets* deposicionais, com a existência de folhelhos nos *foresets*. Em direção ao topo os níveis de folhelhos verdes intercalam-se com os arenitos brancos, destacando as estratificações cruzadas planares (Sp) e cruzadas cuneiformes acanaladas (St).

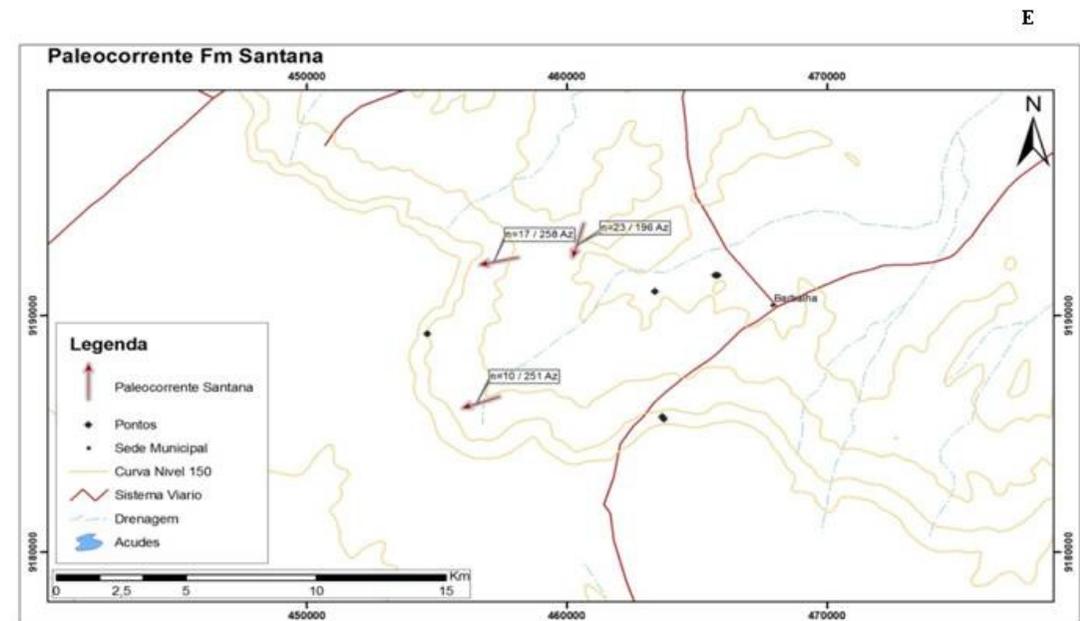
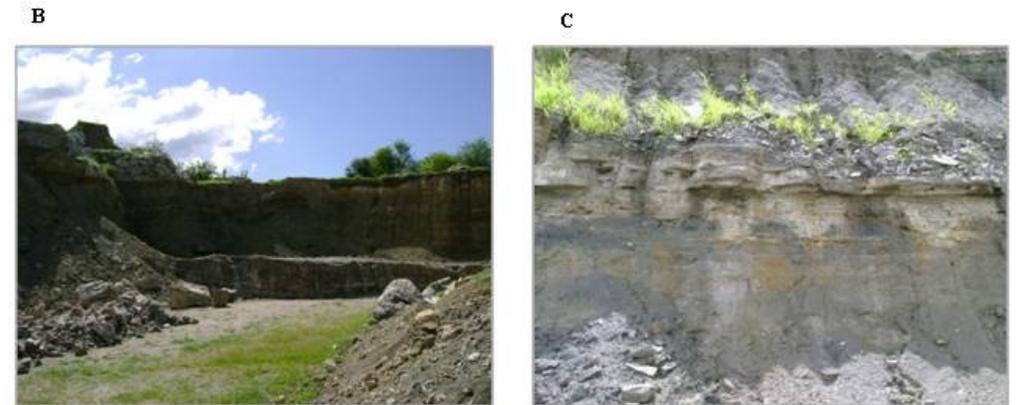
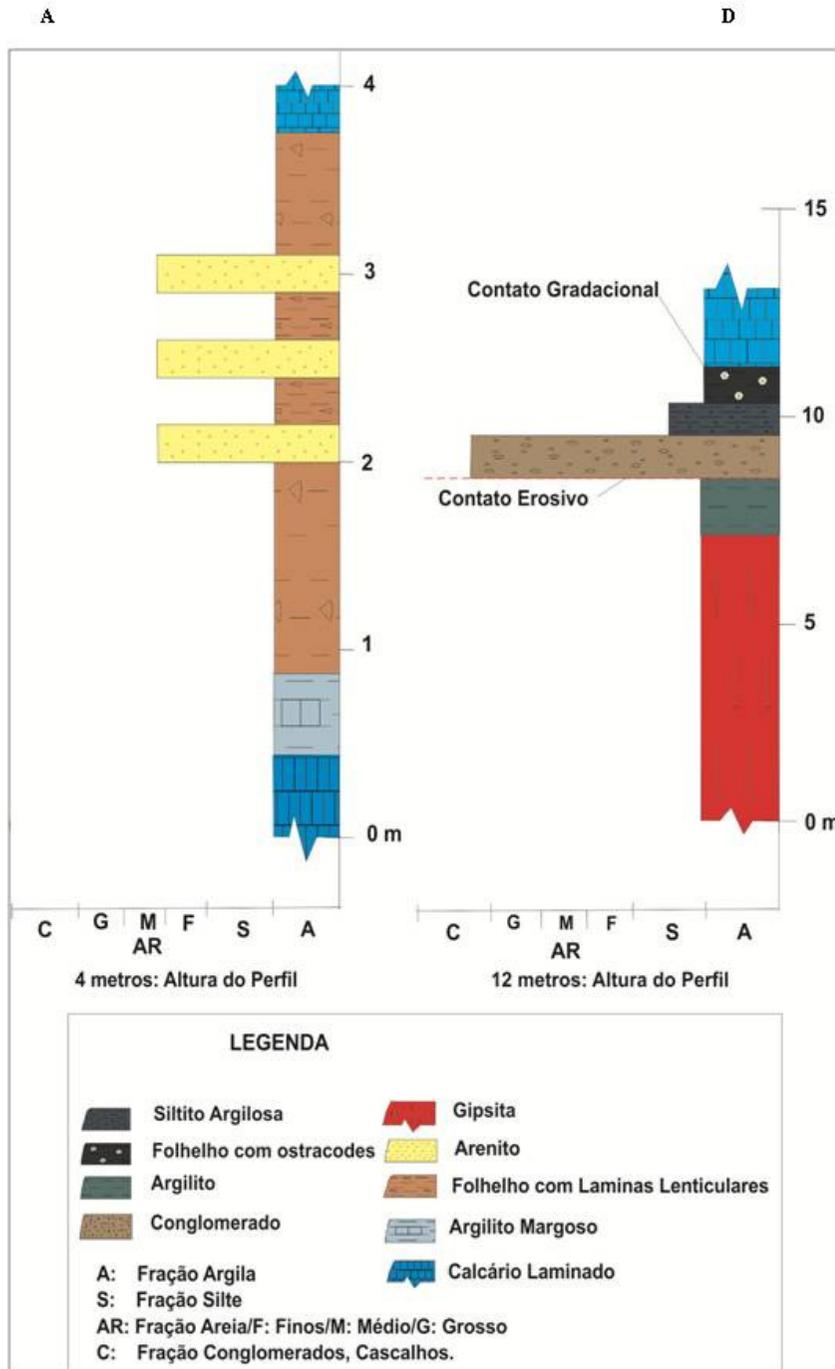
Os fósseis desta unidade localizam-se principalmente na porção superior da unidade, caracterizados por concreções carbonáticas dispostas em meio aos folhelhos existentes no topo desta unidade descrita. Dentro das concreções ocorre a presença de fósseis, desde peixes (cerca de 20 espécies, com escamas e barbatanas articuladas) a ostracodes articulados, dinoflagelados e foraminíferos, além de níveis de equinodermos e moluscos, em coquinas.

A idade do Membro Romualdo é definido por Pons *et al* (1990) de Albiano Médio a Superior, devido a estudos palinológicos. O contato com o Membro Ipubi é brusco e apresenta uma discordância erosiva regional, evidenciada por uma camada de microconglomerado (BERTHOU *et al*, 1990 e SILVA TELES & VIANA, 1990).

As associações carbonato e rochas pelíticas evidenciam ambiente de deposição do tipo lagunar transitando para ambientes marinhos rasos e calmos, devido aos peixes existentes nas concreções carbonáticas. Os outros fósseis, não marinhos, indicam que os corpos de água

salgados localizavam-se próximos à costa. Santos (1982) elaborou a reconstrução paleoambiental da Formação Santana, distinguindo os ambientes de lagunas, baixios intermaré, canais de maré e planícies de supramaré. Assine (1992) afirma, em análise faciológica e de sequências, que o regime de deposição dos sedimentos da Formação Santana ocorreu de forma contínua, sem intervalos ou hiatos deposicionais, evidenciando um ciclo transgressivo-regressivo com infiltração marinha de curta duração. Castro *et al.* (2006) analisaram as fácies sedimentares baseando-se nas litologias descritas na Formação Santana e englobou-as em ciclos.

Medidas de paleocorrentes de Chagas (2006) nas estratificações cruzadas dos arenitos brancos no Membro Romualdo determinaram direção sul (Az 198°), apontando o fluxo a Bacia de Tucano (Prancha 5E).



Prancha 05 – A: Seção Colunar do topo do Membro Crato da Formação Santana. Ponto ZC-03 (Coordenada UTM 423001, 9212588); B: Visão da Mina Pedra Branca, pertencente a empresa Gesso Chaves. Ponto M-17 (Coordenada UTM 420422, 9204554); C: Folhelho do Membro Romualdo da Formação Santana, localizado na Mina Pedra Branca. Ponto M-12; D (Coordenada UTM 420907, 9211616): Seção Colunar dos Membros Romualdo (topo) e Ipubi (base) na Mina de Pedra Branca no Município de Nova Olinda, da Formação Santana. Ponto ZC-08 (Coordenada UTM 420899, 9211624); E: Medidas de paleocorrente com fluxo para SW de Chagas (2006), adaptado.

4.4.3 Formação Arajara

A Formação Arajara é bastante discutida em relação a sua independência com a Formação Exu e, principalmente, sua denominação. O primeiro autor a definir esta formação foi Ponte & Appi (1990), desmembrando a Formação Exu, até então assim descrita por diversos autores, em duas seqüências, formações Arajara e Exu. A Formação Arajara engloba os litotipos argilitos, siltitos e arenitos finos, presentes logo acima do Membro Romualdo. Beurlen (1971) foi o primeiro autor a distinguir dois pacotes distintos existentes na Formação Exu, chamando-os de Formação Exu Inferior (porção inferior) e Exu Superior (porção superior), designação realizada também por Assine (1992). Gasparly & Anjos (1964) contestaram todos os autores e denominaram de Formação Feira Nova toda a seqüência do topo da bacia. Assine (2007) determinou de Formação Araripina esta unidade, devido aos melhores afloramentos estarem expostos nos arredores de Araripina. Contudo, na presente dissertação, será levada em consideração a determinação imposta por Ponte & Appi (1990), para caracterizar esta formação.

A seqüência está localizada restritamente na porção oeste da Bacia do Araripe. Pertencente a fase pós-rifte da Sequência Albiano-Cenominiano é a penúltima formação da Chapada do Araripe, por vezes observadas em topo. De acordo com dados palinológicos de Lima (1978), em condições climáticas quentes e áridas, a idade imposta é Albiano Médio Superior (?). O contato desta com o Membro Romualdo é discordante e em relação à Formação Exu, representa-se em discordância erosiva, evidenciada nos conglomerados basais. A espessura observada nos poços 2-AR-1-CE e 2-AP-1-CE é da ordem de 100 metros.

A Formação Arajara é constituída por arenitos finos, siltitos argilosos e argilitos, bem estratificados, com marcas onduladas e laminações cruzadas, de coloração vermelha a amarelada (PONTE & APPI, 1990), com abundantes estruturas sedimentares relacionadas a escape de fluidos e escorregamentos. Em campo, observou-se os arenitos silte-argilosos, que apresentam coloração de esbranquiçada a bege, granulometria variando de fina a muito fina e presença de bolas de argila com cerca de 2 a 5 cm de diâmetros (Foto 12). A unidade marca a passagem entre o final da seqüência sedimentar do Membro Romualdo da Formação Santana e os arenitos fluviais e conglomerados da Formação Exu (HERZOG *et al*, 2008).

A principal fácies da unidade é argilo-siltosa, de coloração avermelhada, arroxeadada e amarelada, com laminação plano-paralela, em associação heterolítica. Ocorrem, por vezes, arenitos finos dispostos em forma lenticular e ondulados, de tamanhos variando de decímetros

a metros, ou intercalados em níveis centimétricos a decimétricos de arenitos argilosos finos a muito finos, com laminação cruzada cavalgante (ASSINE, 1992).

Fernandes *et al* (1998) observou presença de icnofósseis na porção basal a média desta unidade, como do tipo *Skolithos* e *Taenidium*, sugerindo ambiente de deposição nas margens de um ambiente lacustre raso e fase final de deposição flúvio-lacustre.



Foto 11 – Arenito da Formação Arajara, no parque Arajara. Ponto M-5.

4.4.4 Formação Exu

A Formação Exu recobre a Bacia do Araripe em uma associação litológica monótona, representada pela cobertura final da Bacia do Araripe. De acordo com Oliveira (2006) a espessura é estimada entre 150 e 200 m a leste da Chapada e reduzindo-se a 100 m a oeste. O registro micropaleontológico é praticamente nulo e, por isto, sua idade é ainda uma incógnita, ainda que se admita como Cenomaniana, a exemplo de outros arenitos capeadores cretáceos como, por exemplo, a Formação Itapecuru na Bacia do Parnaíba, e a Formação Urucuia na Bacia Sanfranciscana (PONTE & APPI, 1990).

Small (1913) foi o primeiro autor a definir esta unidade de Arenito Superior. Mais tarde, Beurlen (1962) chamou de Formação Exu, assim como outros autores, dentre eles estão Braun (1966), Beurlen (1971), Mabesoone & Tinoco (1973), Silva (1976), Moraes *et al* (1976), Lima (1978), Silva (1983,1986), Ghignone *et al* (1986) e Martill (1993). Em 1964, Gaspary & Anjos, consideraram incorreta a denominação feita por estes autores citados anteriormente, pois não está mencionada à localidade, tipo adequado para a sequência,

chamando-a, assim, de Formação Feira Nova. Assine (1992), desmembrou-a em Formação Exu Inferior (porção inferior) e Formação Exu Superior (porção superior).

Observou-se, em campo, que a Formação Exu apresenta uma associação de fácies sedimentares composta essencialmente por arenitos de coloração vermelha alaranjada, de granulometria média à grossa. Os arenitos são normalmente de alta dureza, por vezes contendo clastos angulosos, dispostos aleatoriamente ou compondo níveis posicionados nos limites dos *sets* deposicionais, em meio aos estratos sedimentares. Apresenta estratificação cruzada acanalada e tabular, em estratos com cerca de 1 m de espessura. Na base da unidade ocorrem os níveis conglomeráticos, que marcam a discordância erosiva entre a Formação Arajara e Exu, exibem estratificações cruzadas planares e estratificações horizontais; gradando para o topo verificam-se camadas de arenitos sem estruturas sedimentares evidentes; na porção intermediária da unidade apresenta estratificações cruzadas planares, cruzadas acanaladas e estratos horizontais. Chagas (2006) levantou uma seção estratigráfica vertical, no Pontal de Santa Cruz, no município de Santana do Cariri, descrita na figura 14.

O sistema deposicional que marca a Formação Exu é o ambiente fluvial entrelaçado, identificados nas estratificações cruzadas planares, cruzadas acanaladas e estratos horizontais. Os sedimentos fluviais desta sequência, depositados ainda em condições eustáticas positivas, evidenciam um soerguimento epirogênico da região desde o Albiano Médio/Superior. Este soerguimento causou um rearranjo da paleodrenagem continental, passando a fluir para oeste, em direção à Bacia do Parnaíba. As paleocorrentes indicam direção WSW (ASSINE, 1994).

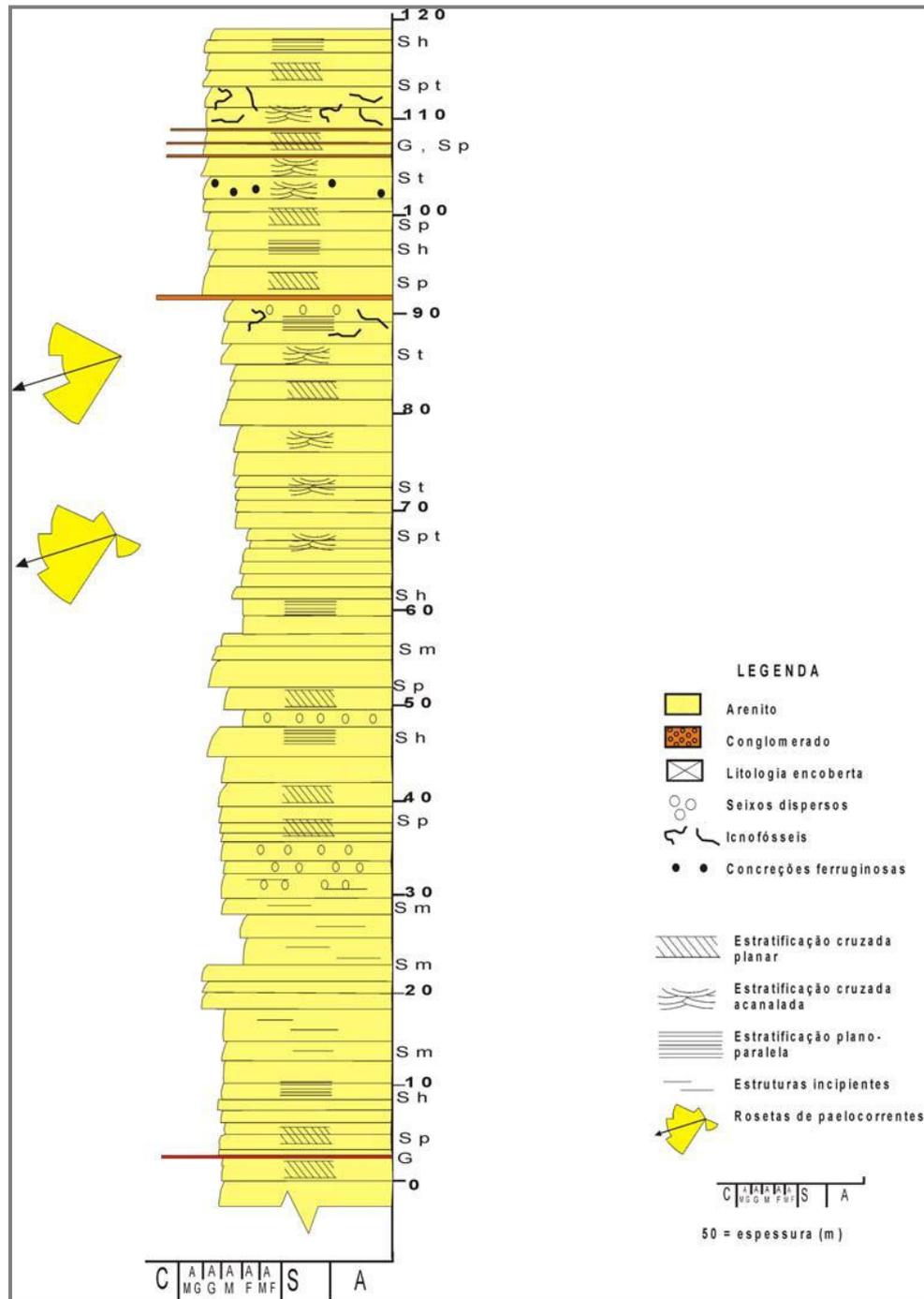


Fig. 14 – Seção colunar levantada no pontal de Santa Cruz, no Município de Santana do Cariri, por Chagas (2006), como apenas Formação Exu, mas levando em consideração a dissertação esta coluna esta disseminada em duas formações, Arajara (Exu inferior) e Exu (Exu superior).

5 PROVENIÊNCIA DAS FORMAÇÕES MAURITI, BREJO SANTO E MISSÃO VELHA

5 PROVENIÊNCIA DAS FORMAÇÕES MAURITI, BREJO SANTO E MISSÃO VELHA

As amostras coletadas envolvem análises geoquímicas isotópicas em Sm/Nd em rocha total (T_{DM}) de rochas sedimentares da Bacia do Araripe, representadas pela Formação Mauriti e fase pré-rifte da bacia, constituída pelas formações Brejo Santo e Missão Velha. A utilização de técnicas analíticas com o objetivo de estabelecer relações temporais é importante para o estabelecimento da proveniência das rochas.

A despeito de todos os estudos realizados na região em relação à datação e geocronologia por diversos autores, ainda existem dúvidas no que diz respeito à origem e formação das rochas sedimentares, bem como a inferência numa determinada coluna estratigráfica, que permitam uma melhor interpretação dos resultados obtidos.

O sistema Sm/Nd é resistente a eventos termais e deformacionais, sendo de grande valia para determinar idades primárias de cristalização e evolução crustal de rochas. De Paolo (1981), diferenciou o tipo de material, crosta-manto, segundo um fator de fracionamento relativo aos meteoritos condríticos. O manto crustal é mais enriquecido em Nd , ou seja, o fator de fracionamento é um valor negativo, enquanto o magma mantélico sempre será positivo. As idades modelo utilizadas em rochas sedimentares são T_{CR} e T_{DM} , pois determinam à idade média do material fonte e permite inferir a respeito do crescimento da crosta continental com o tempo (VERGARA, 1998).

O método Sm/Nd apresenta várias aplicações geocronológicas, no entanto, aqui é tratada especificamente em rochas sedimentares. Conforme ressaltado anteriormente, as análises isotópicas por Sm/Nd em rochas sedimentares são facilmente detectadas, principalmente se as mesmas forem originadas sob condições de clima seco, onde erosão e transporte são dominados por instabilização física e efêmera, de curta duração e de rios de alta energia (NELSON e DePAOLO, 1988 e McLENNAN *et al*, 1990).

As amostras coletadas foram preparadas na Universidade Estadual Paulista – UNESP e analisadas na Universidade de Brasília, respectivamente no Laboratório de Zircão (Instituto de Geociências e Ciências Exatas) e Laboratório de Estudos Geocronológicos, Geodinâmicos e Ambientais (Instituto de Geociências), num total de 6 amostras, rodadas para medição das concentrações dos elementos de Sm/Nd no equipamento espectrômetro de massa. Resultados de amostras, pelo método Sm/Nd , de Freitas (2006), também foram utilizadas para incrementar as discussões, num total de 4 (quatro) amostras da Formação Mauriti e 3 (três) da Formação Missão Velha.

5.1 Resultados Obtidos e Discussões

O equipamento espectrômetro de massa foi normalizado para analisar as amostras à razão de $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ e $\sigma=0.512356 (\pm 12)$, onde ± 12 é o erro individual de cada amostra em relação ao σ . Ressaltando que os resultados através do método Sm/Nd em rocha total fornecem elementos para análise de proveniência e permite inferir o tempo de residência crustal a partir do parâmetro de ϵ_{Nd} .

As amostras analisadas estão distribuídas da seguinte forma: 1 (um) da Formação Mauriti, 2 (duas) da Formação Missão Velha e 3 (três) da Formação Brejo Santo. Os resultados encontram-se no quadro 3 e o Diagrama de Evolução Isotópica de Nd na prancha 6A.

Abaixo segue a descrição das amostras coletadas, organizando-se, da base para o topo das sequências, relacionando os dados das análises isotópicas com possíveis interpretações.

5.1.1 Formação Mauriti

Na Formação Mauriti, Freitas (2006) coletou apenas uma (1) amostra e adicionado quatro (4) resultados das análises isotópicas (Quadro 3). Essa única resultante foi coletada na entrada do Município de Nova Olinda. A rocha é caracterizada por um arenito, de granulometria média a grossa, coloração creme a marrom acinzentado, com presença de estratificações cruzada planar, cruzada acanalada e horizontal.

Os dados de idade modelo em T_{DM} da Formação Mauriti seguem: 1,85 Ga, 1,87 Ga, 1,98 Ga, 2,22 Ga e 2,51 Ga; com valores negativos de ϵ_{Nd} , respectivamente, de -20,99, -19,21; -19,78, -18,24 e -22,88, sendo o primeiro resultado da amostra coletada nessa dissertação (Prancha 6B).

5.1.2 Formação Brejo Santo

Foram coletadas três amostras da Formação Brejo Santo, duas retiradas do afloramento encontrado no início do túnel da ferrovia transnordestina, entre os municípios de Missão Velha e Abaiara e a outra, na entrada do Município de Nova Olinda. Caracterizam-se por argilitos de coloração entre vermelho amarronzado e verde pistache, intercalando em níveis de 10 a 15 cm. Não se observou estratificações.

Os dados de idade modelo em T_{DM} da Formação Brejo Santo obtidos foram 1,85 Ga, 2,20 Ga e 2,36 Ga; com valores negativos de ϵ_{Nd} , respectivamente, de -14,23; -17,81 e -22,03 (Prancha 6C).

5.1.3 Formação Missão Velha

Na Formação Missão Velha foram coletadas 2 (duas) amostras. Ambas localizam-se na Grota Funda, Município de Missão Velha. A litologia dos materiais amostrados correspondem a um arenito de granulometria fina a média, coloração bege claro a alaranjado, com estratificação cruzada planar e um siltito, observado na base do perfil, de cor roxa escura, sem a presença de estratificações.

Para formular uma interpretação mais concisa foram aproveitados dados de três amostras de Freitas (2008), constantes do quadro 3. Os dados de idade modelo em T_{DM} obtidos foram: 1,47 Ga, 1,71 Ga, 1,91 Ga, 1,85 Ga e 1,98 Ga e os valores negativos de ϵ_{Nd} , respectivamente, foram: -13,01; -16,58, -22,67, -16,95 e -17,39 (Prancha 6D).

Os resultados de todas as amostras apresentaram ϵ_{Nd} negativo. Baseado em Patchett (1992), tal comportamento indica que a rocha fonte provê de material da crosta continental retrabalhado, provavelmente afetada por processos como fusão parcial de crosta basáltica ou félsica, adição de componentes crustais subductados derivados de arco magmático e contaminação de fundidos mantélicos durante a ascensão de crosta preexistente. Quanto mais negativo for o ϵ_{Nd} maior é a contribuição crustal no processo de formação das rochas.

Conforme resultados da idade modelo em T_{DM} , valores médios de paleocorrente, e as relações dos distintos domínios tectônicos e de estruturas regionais, pode-se sugerir as rochas provenientes das litologias das formações estudadas.

O arcabouço tectônico da Província Borborema (Fig. 15) divide-se em três segmentos tectônicos, limitados por zonas de cisalhamento brasilianas, são eles: Subprovíncia Setentrional, Subprovíncia da Zona Transversal ou Central e Subprovíncia Externa ou Meridional. Os Subdomínios também apresentam divisões, em domínios, terrenos ou faixas, baseado nas características litoestratigráficas, feições estruturais, dados geocronológicos e assinaturas geofísicas (JARDIM DE SÁ, 1994; VAN SCHMUS *et al.* 1995A; BRITO NEVES *et al.* 2000; SANTOS *et al.* 2000 *apud* BIZZI *et al.* 2003). Aqui serão tratadas apenas as unidades que interessam para sugerir as proveniências das rochas analisadas.

A Subprovíncia Setentrional situa-se a norte do Lineamento Patos, subdividida, de oeste para leste, nos domínios Médio Coreaú, Ceará Central e Rio Grande do Norte. O Domínio Rio Grande do Norte compõe-se das faixas Orós–Jaguaribe e Seridó, e dos terrenos Rio Piranhas, São José do Campestre e Granjeiro. Encontra-se entre a zona de cisalhamento Orós Oeste/Aiuaba, a oeste, e Zona de Cisalhamento (lineamento) Patos, a sul. O domínio está coberto por rochas sedimentares, da Província Costeira, a leste, e da Bacia do Apodi, a norte.

A Faixa Jaguaribean, predominantemente, é composta por rochas do embasamento gnáissico-migmatítico (Complexo Jaguaretama), representada por ortognaisses de composição tonalítica a granodiorítica associados a rochas paraderivadas. Fetter (1999) efetivou estudos geocronológicos determinando para as rochas metaplutônicas idade de cristalização entre 2,21 e 1,98 Ga e idades-modelo T_{DM} entre 2,77 e 2,50 Ga, assinalando indícios de crosta retrabalhada. Durante a tafrogênese Estateriana originou-se um sistema de bacias rifte ensiálicas, constituintes da Faixa Jaguaribean, sobreposta ao embasamento, composta por sequências metavulcanossedimentares (Grupo Orós–Jaguaribe), com registros geocronológicos entre 1,6 e 1,8 Ga (SÁ, 1991; CAVALCANTE, 1999 – *apud* BIZZI *et al.*, 2003).

A Faixa Seridó é composta pelo Grupo Seridó, subdividido nas formações Jucurutu (base), Equador e Seridó (topo). A Formação Jucurutu contém paragnaisses, com intercalações de mármore, quartzito, mica xisto, rocha calcissilicática e metavulcânica. Baseado em datação U-Pb SHRIMP em zircões detríticos de Brito Neves *et al.* (2000) admite-se idade de 650 Ma. A Formação Equador é formada por quartzito, metaconglomerado e paragnaisse e a Formação Seridó é composta por mica xisto, além de metagrauvaca, mármore e rocha metavulcânica, apresentando resultados isotópicos, U-Pb SHRIMP em zircões detríticos, com idades até 647 Ma (BRITO NEVES *et al.* 2000).

O Terreno Granjeiro subdivide-se em duas litoestratigráficas distintas. A mais antiga é uma sequência supracrustal vulcanossedimentar, de ambiente de crosta oceânica. O complexo está intrudido e localmente assimilado por ortognaisses (tonalítica a granodiorítica), de idade 2,54 Ga U-Pb SHRIMP (SILVA *et al.* 1997). De acordo com dados em idades-modelo T_{DM} entre 2,55 e 2,65 Ga adquiridos das metaplutônicas, Fetter (1999), sugeriu tratar-se de um terreno juvenil remanescente de provável sistema arco magmático – bacia oceânica.

O Terreno Rio Piranhas representa o embasamento paleoproterozóico da Faixa Seridó. Subdividido pelos complexos São Vicente e Caicó e pela Suíte Poço da Cruz. O Complexo São Vicente é composto por ortognaisses TTG e migmatitos. Idades-modelo T_{DM}

de metagabros estão em torno de 2,65 Ga (DANTAS, 1992 *apud* BIZZI *et al*, 2003), possivelmente, provenientes de rochas do arqueano, já que datações de U-Pb indicam idade de cristalização das rochas do complexo em torno de 2,16 Ga. O Complexo Caicó é formado por ortognaisses bandados félsicos-máficos, ortognaisses maciços e migmatitos, com intercalações de máficas e supracrustais. Idade U-Pb de 2,24 Ga (LEGRAND *et al*. 1991 *apud* BIZZI *et al*, 2003) mostra que as rochas do Complexo São Vicente são mais jovens.

A Subprovíncia da Zona Transversal possui direção E–W e está limitado a norte e a oeste pelo Lineamento Patos, a sul pelo Lineamento Pernambuco e a leste pelas bacias costeiras (Fig. 16). Está representada pela Faixa Cachoeirinha e pelos terrenos Alto Pajeú, Alto Moxotó e Rio Capibaribe. BIZZI *et al* (2003) redefiniu a Faixa Piancó–Alto Brígida em Faixa Cachoeirinha, a noroeste da Zona de Cisalhamento Serra do Caboclo (Grupo Cachoeirinha) e as unidades do Complexo Salgueiro–Riacho Gravatá foram acrescidas ao Terreno Alto Pajeú.

A Faixa Cachoeirinha (Faixa Piancó–Alto Brígida) está representada pelo Grupo Cachoeirinha. Campos Neto *et al* (1994) afirmam que o Grupo Cachoeirinha está representado por um sistema deposicional único (turbidítico) sendo a fácies proximal formada por metaconglomerado polimítico e metarritmitos pelítico e psamítico da segunda unidade e a fácies distal seria a Formação Santana dos Garrotes (metarritmitos pelítico e psamítico, metagrauvaca, formação ferrífera e rocha metavulcânica). Segundo Medeiros *et al* (2001 *apud* BIZZI *et al*, 2003) esta formação representa uma sedimentação sintectônica, associada ao evento deformacional mais jovem, do Ciclo Brasileiro. Análises geocronológicas de U-Pb SHRIMP em zircão detrítico indicam idade máxima no intervalo 630–620 Ma para este grupo (BRITO NEVES *et al*, 2000). Esta faixa limita-se ainda com os fragmentos paleoproterozóicos Icaçara e Itazinho. O Fragmento Icaçara caracteriza-se por uma unidade gnáissico-migmatítica (Complexo Parnamirim) e uma sequência supracrustal psamito-pelito-carbonática (Complexo Barro). Os augengnaisses apresentam idade 1,96 Ga (Pb-Pb, em monozircão (MEDEIROS *et al*, 1993 *apud* BIZZI *et al*, 2003).

O Terreno Alto Moxotó predomina os litótipos metassedimentares, paleoproterozóicos, do Complexo Sertânia e os complexos metaplutônicos Floresta e Cabaceiras, podendo este incluir algum remanescente arqueano. O Complexo Sertânia é uma sequência metapelítica, com fácies migmatíticas, além da presença de rochas vulcânica e vulcanoclástica, com idade U-Pb, em zircão, de 2,12 Ga (NUTMAN *et al* 2001). O Complexo Floresta e o Cabaceiras são ortognaisses TTGs. Apresentam idades entre 2,11 e 2,23 Ga (U-Pb, em zircão; (SANTOS, 1995 e BRITO NEVES *et al*. 2001 *apud* BIZZI *et al*, 2003).

O Terreno Rio Capibaribe é composto pelos complexos Pão de Açúcar e Salgadinho, de origem metaplutônicas, representados, respectivamente, por idade de 1,97 Ga (SÁ *et al.*, 1997) e provável idade paleoproterozóica, e pela sequência metavulcanossedimentar do Complexo Vertentes (xisto, metaturbidito com intercalações de metabasalto, metavulcânica intermediária e metavulcanoclástica), formada possivelmente durante a Orogênese Cariris–Velhos.

A Subprovíncia Externa ou Meridional localiza-se ao sul do Lineamento Pernambuco, composta pelos terrenos mesoproterozóicos Pernambuco–Alagoas, Paulistana–Monte Orebe e Canindé–Marancó, e as faixas neoproterozóicas Riacho do Pontal e Sergipana.

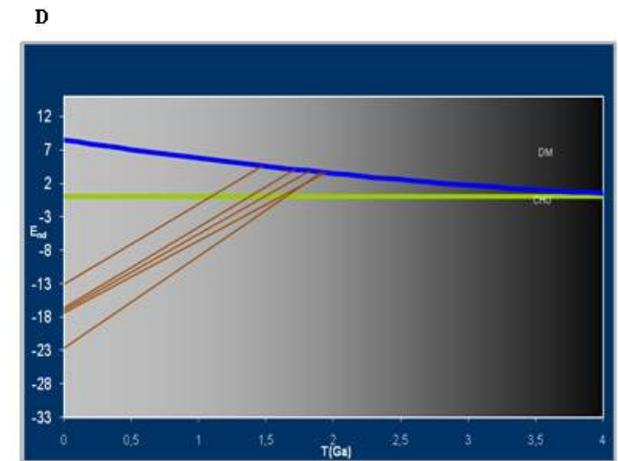
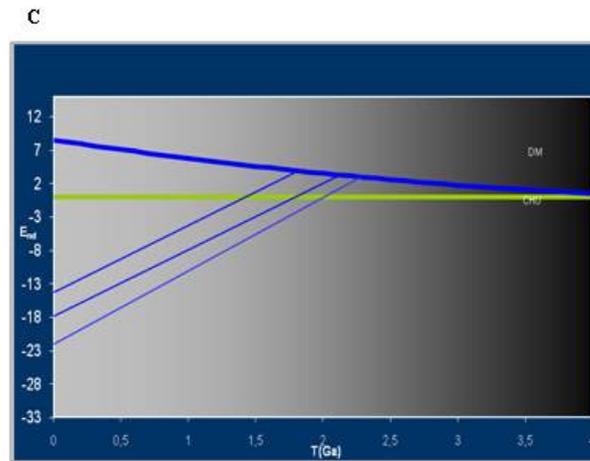
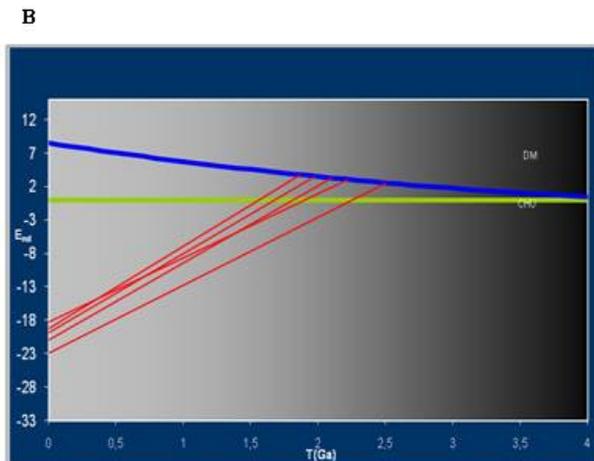
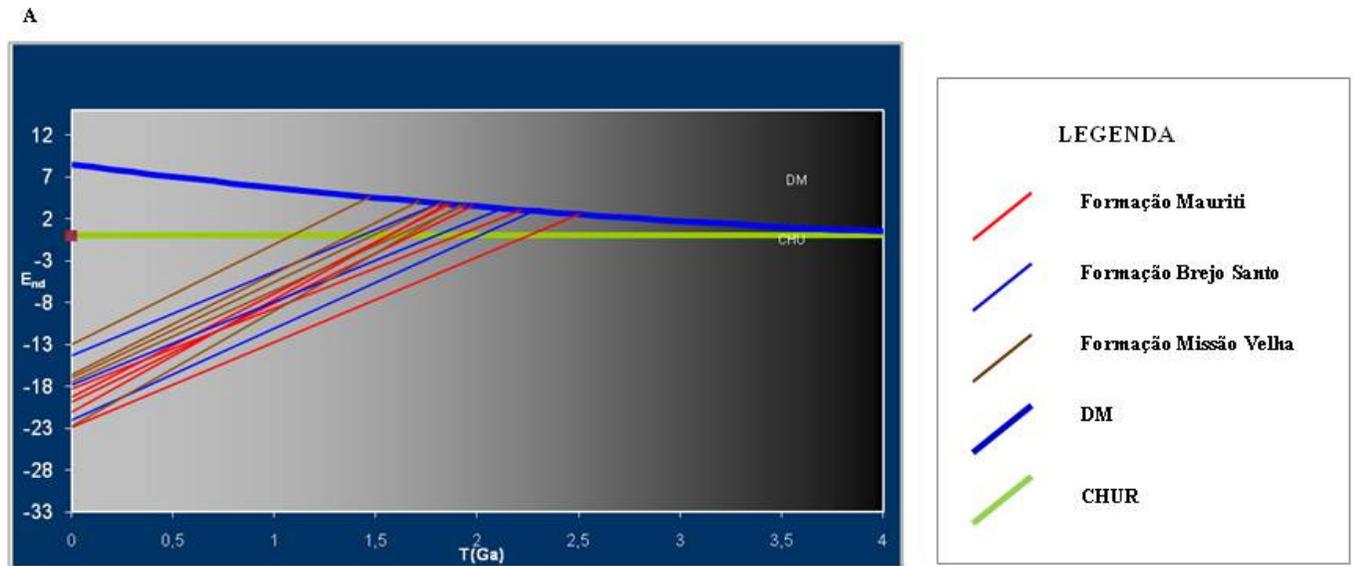
A Faixa Riacho do Pontal é uma bacia de margem passiva, constituída pelo Grupo Casa Nova, este subdividido nas formações Mandacaru e Barra Bonita. A Formação Mandacaru representa uma sequência metaturbidítica e metagrauváquica. A Formação Barra Bonita consiste de granada mica xisto, com níveis de mármore e quartzito na porção inferior. As rochas metassedimentares do Grupo Casa Nova passaram por processo de metamorfismo, na fácies anfíbolito, localmente retrometamorfisadas na fácies xisto verde. A Faixa Riacho do Pontal é afetada por expressivo plutonismo granítico sinorogênica, de provável idade isocrônica Rb-Sr de 668 Ma, sin a tardiorogênica de 555 Ma (Rb-Sr).

As idades modelos em T_{DM} da Formação Mauriti variam de 1,85 a 2,51 Ga e o fluxo geral de paleocorrente é para NNW, ou seja, o material de origem adveio de SSE, sugerindo rocha fonte da Subprovíncia da Zona Transversal. Dentre os subdomínios citam-se o augengnaisse de idade 1,96 Ga, do Complexo Parnamirim (Fragmento Icaçara), limitado em torno da Faixa Cachoeirinha, as rochas vulcânicas e vulcanoclásticas, do Complexo Sertânia e os ortognaisses TTGs, dos Complexos Floresta e Cabeceiras, cujas litologias pertencem ao Terreno Alto Moxotó, apresentam, respectivamente, idades de 2,12 Ga e 2,11-2,23 Ga e por fim as rochas metaplutônicas, do Complexo Pão de Açúcar (Terreno Rio Capibaribe) de idade 1,97 Ga.

A Formação Brejo Santo ainda não possui dados de paleocorrente, no entanto, apresenta resultados de idade modelo em T_{DM} entre 1,85 e 2,36 Ga, sendo capaz de sugerir que as rochas fontes, originárias dessa formação, estão relacionadas, possivelmente, às unidades do embasamento cristalino da Bacia do Araripe e as litologias que a limitam. Sabendo-se que o embasamento cristalino é constituído por rochas juvenis, do Riacho do Pontal, em torno de 555 e 668 Ma, resta sugerir rocha fonte do Terreno Granjeiro (Domínio Rio Grande do Norte), envolvido pelos sedimentos a NW da Bacia do Araripe, indicando os ortognaisses de idade 2,54 Ga.

Baseado nos dados de análise isotópica obtidas pelo método *Sm/Nd* em rocha total e sabendo que o fluxo geral de paleocorrente existente é de NNE para SSW, faz-se correlação entre a Formação Missão Velha e as rochas da Faixa Jaguaribeana, por apresentarem valores de registros geocronológicos aproximados. As 4 (quatro) amostras analisadas da Formação Missão Velha obtiveram resultados entre 1,71 e 1,98 Ga. Contudo, correlacionando os valores da Formação Missão Velha e do Grupo Orós–Jaguaribe afirma-se que, possivelmente, as rochas analisadas são provenientes das rochas da sequência metavulcanossedimentar. As demais litologias das faixas e terrenos da Subprovíncia Setentrional possuem idades muito elevadas ou juvenis, respectivamente, entre 1,98 e 2,77 Ga e 647 e 650 Ma, levando a considerar duas hipóteses, primeiramente que as rochas não seriam provenientes da unidade em questão e a segunda idéia, que as mesmas representariam uma mistura de rochas antigas com rochas mais jovens.

Prancha 06 – A: Diagrama de evolução isotópica de Nd das rochas sedimentares da fase pré-rifte da Bacia do Araripe; B: Diagrama de evolução isotópica de Nd da Formação Mauriti; C: Diagrama de evolução isotópica de Nd da Formação Brejo Santo; D: Diagrama de evolução isotópica de Nd da Formação Missão Velha.



AM	Sm(ppm)	Nd(ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\epsilon_{\text{Nd}}(0)$	T_{DM}	FORMAÇÃO
				($\pm 2\text{SE}$)		(Ga)	
M07	4,241	22,332	0,1148	0,511746+/-15	-17,39	1,98	MISSAO VELHA
M09	2,728	15,026	0,1097	0,511769+/-21	-16,95	1,85	MISSAO VELHA
M45A	4,51	26,21	0,1041	0,511788+/-11	-16,57	1,73	MISSAO VELHA
M45B	1,99	13,15	0,0919	0,511476+/-8	-22,66	1,95	MISSAO VELHA
M50	1,26	7,336	0,1039	0,511971+/-17	-13	1,48	MISSAO VELHA
M18	7,4966	39,394	0,115	0,511508+/-16	-22,03	2,36	BREJO SANTO
M21A	5,363	26,396	0,1228	0,511725+/-20	-17,81	2,20	BREJO SANTO
M21B	4,901	24,454	0,1211	0,511908+/-13	-14,23	1,85	BREJO SANTO
M01	1,22	7,827	0,0942	0,511562+/-16	-20,99	1,88	MAURITI
M52	0,656	3,845	0,1031	0,511653+/-10	-19,22	1,9	MAURITI
M67	1,15	5,55	0,1254	0,511703+/-12	-18,24	2,3	MAURITI
M57	0,8	4,526	0,1074	0,511624+/-19	-19,79	2,02	MAURITI
M162	0,301	1,488	0,1222	0,511465+/-17	-22,89	2,63	MAURITI

Amostras 45A; 45B; 50; 52; 67; 57; 162 são resultados fornecidos por Freitas (2008).

Quadro 3 - Resultados de determinações isotópicas do método Sm/Nd da área estudada.

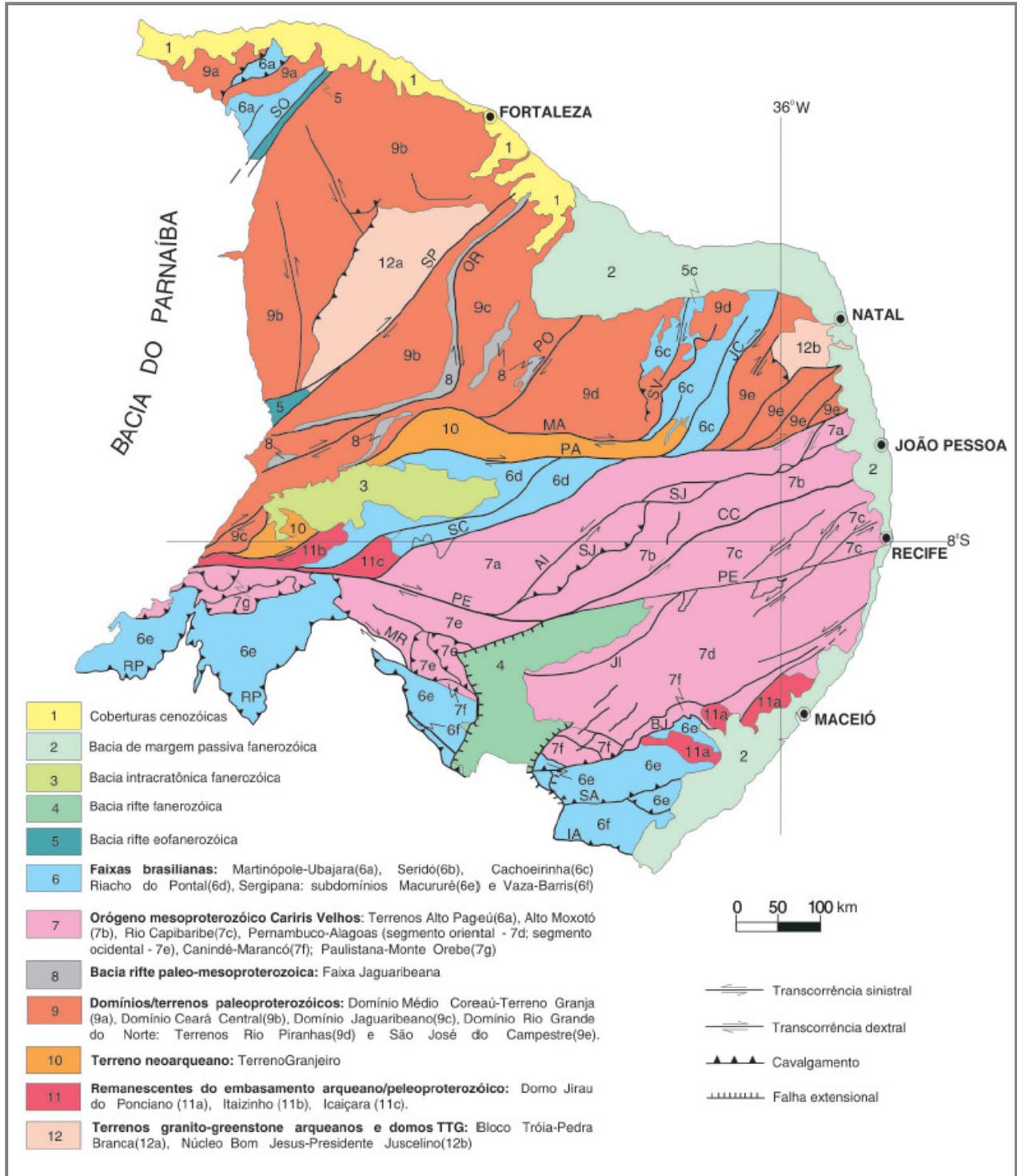


Figura 15 – Domínios tectônicos e principais estruturas da Província Borborema. Zonas de Cizalhamento: Sobral–Pedro II (SO), Senador Pompeu (SP), Orós–Aiuaba (OR), Porto Alegre (PO), São Vicente (SV), Piauí–João Câmara (JC), Malta (MA), Serra do Caboclo (SC), Congo–Cruzeiro do Nordeste (CC), Serra da Jabitaca (SJ), Jatobá–Itaíba (JI), Macururé–Riacho Seco (MR), Belo Monte–Jeremoabo (BJ), São Miguel do Aleixo (SA) e Itaporanga (IA); Lineamentos: Patos (PA) e Pernambuco (PE); *Nappes* da Faixa Riacho do Pontal (RP) (BIZZI *et al*, 2003).

6 CONCLUSÃO

6 CONCLUSÃO

A Bacia do Araripe caracteriza-se por ser uma bacia interior bastante complexa, com uma grande variedade fossilífera, representada por rochas sedimentares que, por vezes, ocorrem estratificações. Foram realizadas análises isotópicas pelo método Sm/Nd (T_{DM}), com o intuito de identificar as rochas fontes da fase pré-rifte.

De acordo com a descrição das litologias, confecção de seções colunares dos perfis amostrados e os resultados de idade modelo por Sm/Nd da sequência estratigráfica da Bacia do Araripe, conclui-se que as amostras analisadas pelo método, apresentam as seguintes características:

- Formação Mauriti: arenitos, com granulometria média a grossa, coloração creme a marrom acinzentado, presença de estratificações cruzada planar, cruzada acanalada e horizontal. As idades modelos em T_{DM} variam de 1,85 a 2,51 Ga. Dentre os subdomínios sugeridos como rocha proveniente desta unidade tem-se: augengnaisses de idade 1,96 Ga, do Complexo Parnamirim (Fragmento Icaíçara), rochas vulcânicas e vulcanoclásticas (2,12 Ga), do Complexo Sertânia e os ortognaisses TTGs (2,11-2,23 Ga), dos Complexos Floresta e Cabeceiras e por fim as rochas metaplutônicas, do Complexo Pão de açúcar de idade 1,97 Ga;
- Formação Brejo Santo: argilitos de coloração intercalando entre vermelho amarronzado e verde pistache. Apresentam resultados de idade modelo em T_{DM} entre 1,85 e 2,36 Ga, valores semelhantes aos da Formação Mauriti, sugerindo rochas fontes originárias, possivelmente do Terreno Granjeiro, envolvido pelos sedimentos à NW da Bacia do Araripe, indicando os ortognaisses de idade 2,54 Ga;
- Formação Missão Velha: arenito de granulometria fina a média, de coloração bege claro a alaranjado, com estratificação cruzada planar, madeira fossilífera, característica marcante da formação, e siltito, apresentando cor roxa escura. Baseado nos dados de análise isotópica, entre 1,71 e 1,98 Ga, faz-se sugestão das rochas fontes para esta unidade às rochas metavulcanossedimentares do Grupo Orós–Jaguaribe (1,6 e 1,8 Ga) da Faixa Jaguaribeana. O Domínio Rio Grande do Norte exhibe outras litologias, como os da Faixa Seridó (647 e 650 Ma), Terreno Granjeiro (2,54 Ga) e Rio Piranhas (2,16 Ga), podendo sugerir que as rochas da formação Missão Velha representariam uma mistura de rochas antigas e juvenis.

Na fase sin-rifte, a Formação Abaiara caracteriza-se por arenitos de granulometria média a fina e coloração branca a creme e folhelhos siltíticos. Nos arenitos ocorrem estratificações cruzadas acanaladas, cruzadas planares e tangenciais.

A fase pós-rifte é formada pelas formações Rio da Batateira, Santana, Arajara e Exu. A primeira sequência pós-rifte observada em campo caracteriza-se por arenitos, com grãos de dimensões finas a médias, por vezes bem grossas a quase cascalhosas, coloração variando de vermelha amarelada a amarelada, com estratificações cruzadas planares e acanaladas. A Formação Santana é distribuída pelos membros Crato, Ipubi e Romualdo. A base da formação estudada é representada pelos calcários laminados e argilitos de coloração creme, marrom a cinza e siltito, de cor bege alaranjado. O Membro Ipubi, analisado principalmente na Mina Pedra Branca, é definido pelas gipsitas e intercalações de folhelhos pirobetuminosos, de cor cinza escuro a preto. No topo da sequência, a litologia do Membro Romualdo estudado foram os folhelhos de coloração cinza escuro esverdeado, com nível conglomerático de coloração cinza a amarronzada e presença de seixos angulosos de quartzos.

Ainda na fase pós-rifte observa-se as formações Arajara e Exu. A Formação Arajara observada, caracteriza-se pelos arenitos de granulometria bem fina, coloração gradando do branco acinzentado ao bege, estratificações cruzadas acanaladas, tangenciais e cruzadas planares. Na Formação Exu estudou-se os arenitos de granulometria média a grossa, por vezes finos, coloração vermelha alaranjada a amarronzada e elevada resistência, marcada por estratificação cruzada acanalada, cruzada planar e estratos horizontais.

Os resultados de todas as amostras analisadas obtiveram ϵ_{Nd} negativo, ou seja, a proveniência das rochas da fase pré-rifte da bacia são de material da crosta continental retrabalhado, e quanto mais negativo o ϵ_{Nd} , maior é a contribuição crustal no processo de formação das rochas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M. **Origem e Evolução da plataforma brasileira**. Rio de Janeiro, DNPM, 36 p. (Boletim 241), 1967.
- ANJOS N. F. R. **Mise en Valeur du Bassin du Jaguaribe**. Ver. Conv. ASMIC/SUDENE, 180p, 1964.
- ARAI, M. **Revisão Estratigráfica do Cretáceo Inferior das Bacias Interiores do Nordeste do Brasil**. São Paulo, Unesp, Geociências, v. 25, n. 1, p. 7-15, 2006.
- ASSINE, M. L. **Sedimentação e tectônica da Bacia do Araripe** (nordeste do Brasil). Rio Claro. Universidade Estadual de São Paulo. Dissertação de Mestrado. 124p, 1990.
- ASSINE, M. L. Análise estratigráfica da Bacia do Araripe, nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**. São Paulo. 22(3): 289-300, 1992.
- ASSINE, M. L. Paleocorrentes e paleogeografia na Bacia do Araripe, nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**. São Paulo. 24(4): 223-232, 1994.
- ASSINE, M. L. **Bacia do Araripe**. Boletim de Geociências da Petrobrás, v. 15, p. 371-389, 2007.
- BEN OTHMAN, D.; POLVÉ, M.; ALLÈGRE, C. **Nd-Sr isotopic composition of granulites and constraints on the evolution of the lower continental crust**. Nature, 307:510-515, 1984.
- BERTHOU P-Y., VIANA M. S. S., CAMPOS. D. de A. **Coupe de la formation Santana Dans le secteur de “Pedra Branca” (Santana do Cariri) (Bassin d’Araripe, NE du Brésil). Contribution a l’étude de la sédimentologie et des paleoenvironnements**. In: Seminário Sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste, 1. Crato, 1990. Atas. Crato, DNPM. p 225-239, 1990.
- BEURLLEN, K. **A geologia da chapada do Araripe**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro. 34(3): 365-370, 1962.
- BEURLLEN, K. **Geologia e estratigrafia da chapada do Araripe**. 17º Congresso Nacional de Geologia. Recife. Anais, SBG: 1-47, 1963.
- BEURLLEN K. **A Paleontologia na Geologia do Cretáceo no Nordeste do Brasil**. Anais da Academia Brasileira de Ciências. 43. DNPM, RJ. p. 89- 101, 1971.
- BEURLLEN, K. **As condições ecológicas e faciológicas da Formação Santana na chapada do Araripe** (nordeste do Brasil). Anais da Academia Brasileira de Ciências. Rio de Janeiro. 43(Suplemento): 411-415, 1971.
- BIRCH, F. **Differentiation of the mantle**. Bull. Geol. Soc. Am., 69: 483-486, 1958.
- BIZZI, L. A, SCHOBENHAUS, C., VIDOTTI R. M., GONÇALVES, J. H.. **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG**. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 692p, 2003.

BRAUN, O. P. G. **Estratigrafia dos sedimentos da parte interior da região nordeste do Brasil.** Boletim da DGM. Rio de Janeiro. 236: 1-76, 1966.

BRITO I. M. **Breve Histórico Sobre a Estratigrafia da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil.** In: 1º Simpósio Sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste. Crato. Atas. DNPM/PICG/CPGA/SBP-NF, p. 01 – 18, 1990.

BRITO NEVES, B. B. **A Bacia do Araripe no contexto geotectônico regional. Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste.** 1. Crato. Anais DNPM/URCA/SBP: 43-51 e Atas DNPM/PICG/CPGA/SBP-NF, p. 21 – 33, 1990.

BRITO NEVES, B. B., SANTOS, E. J. & VAN SCHMUS, W. R. Tectonic history of the Borborema Province, northeastern Brazil. In: U. G. CORDANI, E. J. MILANI, A. THOMAZ F^o & CAMPOS, D. A. (eds). **Tectonic evolution of South America.** Rio de Janeiro. SBG: 151-182, 2000.

CALDASSO A. L. S. **Geologia da Quadrícula 094 - E - Folha de Crato.** Recife. SUDENE. (Série Geologia Regional nº 4). 35p, 1967.

CAMPOS NETO, M. C., BRITO NEVES, B. B., BITTAR, S. M. B. **Domínio tectônico Rio Pajeú: orogênese no ciclo Brasileiro Panafricano.** São Paulo, FAPESP, 62 p. (Relatório Científico – Geociências 92/ 2079-5), 1994.

CAPUTO M. V. & LIMA E. C. **Estratigrafia, idade e correlação do Grupo Serra Grande - Bacia do Parnaíba.** In: Congresso Brasileiro de Geologia. 33. Rio de Janeiro. SBG. v. 2. p. 740-753, 1984.

CASTRO, D. L. & CASTELO BRANCO, R. M. G. Caracterização da arquitetura interna das bacias do vale do Cariri (NE do Brasil) com base em modelagem gravimétrica 3D. **Brazilian Journal of Geophysics.** Rio de Janeiro. 17(2-3): 129-144, 1999.

CASTRO, J. C. DE, VALENÇA, L. M. M., NEUMANN, V. H. **Ciclos e Sequências Depositionais das Formações Rio da Batateira e Santana (Andar Alagoas), Bacia do Araripe, Brasil.** São Paulo, UNESP, Geociências, v. 25, n. 3, p. 289-296, 2006.

CHAGAS, D. B. **Litoestratigrafia da bacia do Araripe: Reavaliação e proposta para revisão.** Rio Claro. 112 p. (Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro/SP), 2006.

COIMBRA J. C., ARAI M., CORREÑO A. L. **Biostratigraphy of lower cretaceous microfossils from the Araripe Basin, northeastern Brazil.** Geobios 35, p. 687-698, 2002.

CORDANI U. G., BRITO-NEVES B. B., FUCK R. A., PORTO, R.; THOMAZ FILHO A., CUNHA F. M. B. **Estudo Preliminar da Integração do Pré-cambriano com os Eventos Tectônicos das Bacias Sedimentares Brasileiras.** Rio de Janeiro. Petrobrás/Cenpes (Série Ciência-Técnica-Petróleo, Serv. Explor. Petróleo nº 15). 70 p, 1984.

DA ROSA, A. A. S. & GARCIA, A. J. V. **Palaeobiogeographic aspects of northeast Brazilian basins during the Berriasian, before the break up of Gondwana.** Cretaceous Research, London, 21(2-3): 221-239, 2000.

DEPAOLO D. J. **Neodymium isotopes in the Colorado front range and crust-mantle evolution in the Proterozoic.** Nature 291: 193-196. Faure, G. 1986. Principles of isotope geology. New York, John Wiley & Sons, 587 p, 1981.

DEPAOLO, D. J. **Nd isotopic studies: Some new perspectives on earth structure and evolution.** EOS, 62: 137-140, 1981.

DEPAOLO D. J. **Neodymium Isotope Geochemistry: An introduction.** Springer Verlag, Berlin, 178p, 1988.

DEPAOLO D. J. & WASSERBURG, G. J. **Nd isotopic variations and petrogenetic models.** Geophys Res. Letters, 3:249-252, 1976.

FEITOSA M. C. **Fácies sedimentares e modelo deposicional dos arenitos inferiores do vale do Cariri.** Dissertação de mestrado. UFPE, 73 p, 1987.

FERNANDES, A. C. S., CARVALHO, I. S., SRIVASTAVA, N. K., HENRIQUES, M. H. P. & REIS, R. P. B. P. **Ícnofósseis da Bacia do Araripe** (Formação Arajara, Cretáceo), Brasil. Comunicações do Serviço Geológico de Portugal. Lisboa, 84: 197-200, 1998.

FETTER A. H. **U-Pb and Sm-Nd geochronological constraints on the crustal framework and geologic history of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the assembly of Gondwana.** (Doctoral Dissertation, Department of Geology, The University of Kansas, Lawrence, Kansas, USA), 164 p, 1999.

FREITAS, F. I. DE F. **Contexto geológico da distribuição de madeiras fósseis da Formação Missão Velha, Bacia do Araripe, Ceará.** Fortaleza. 105 p. (Dissertação de mestrado. Departamento de Geologia da UFC), 2008.

GASPARY J. & ANJOS N. da F. R. dos. **Estudo hidrológico de Juazeiro do Norte, Ceará.** Recife, SUDENE/DRN. (Série hidrogeologia 3). 25p. GHIGNONE J. I., COUTO E. ASSINE M. L. 1986. Estratigrafia, 1964.

GHIGNONE J. I, COUTO E. A, ASSINE M. L. **Estratigrafia e estrutura das bacias do Araripe, Iguatu e Rio do Peixe.** In. Congresso Brasileiro de Geologia, 34, Goiânia, Anais... Goiânia. SBG. v. 1. p. 271-285, 1986.

GIOIA S. M. C. L. & PIMENTEL M. M. **The Sm-Nd isotopic method in the Geochronology Laboratory of the University of Brasília.** Anais da Academia Brasileira de Ciências, 72:219-245, 2000.

HERZOG, A., SALES, A., HILMER, G. **The UNESCO Araripe Geopark: a short history of evolution of life, rocks and continents.** Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora. 71 p, 2008.

HESSEL, M. H., FREITAS, F. I. **A polibacia do Araripe.** In: 23. Simpósio de Geologia do Nordeste, 2009, Fortaleza. Resumos. Fortaleza: SBG, p. 1-1, 2009.

HOFMANN, A. W.; JOCKUM, K. P.; SEUFERT, M.; WHITE, W. M. **Nd and Pb in oceanic basalts: new constraints on mantle evolution.** Earth Planet. Sci Letter, 79:33-45, 1986.

IMAGENS LANDSAT, INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Ministério da Ciência e Tecnologia. Imagens mantida pelo INPE. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR>>. Acesso em: 28 de abr. de 2010 e 7 jun. 2010.

JACOBSEN, S. B. & WASSERBURG, G. L. Sm-Nd isotopic evolution of chondrite. **Earth Planet. Sci. Lett.**, 66: 191-213, 1984.

LIMA, M. R. **Estudo palinológico preliminar de um folhelho betuminoso da Formação Missão Velha, Chapada do Araripe**. Boletim do Instituto de Geociências [USP]. São Paulo. 9: 136-139, 1978.

LIMA M. R. de & PERINOTTO, J. A. J. **Palinologia de sedimentos da parte superior da Formação Missão Velha, Bacia do Araripe**. Geociências. São Paulo. 3. p 67-76, 1984.

LUGMAIR, G. W. **Sm-Nd ages: a new dating method**. Meteoritics, 9: 369, 1974.

LUGMAIR G. W. & MARTI K. **Lunar inicial $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$: Differential evolution of the lunar crust and mantle**. Earth Plan Sci Lett 39: 349-357, 1978.

LUGMAIR, G. W., SCHEININ, N. B., MARTI, K. **Sm-Nd age and history of Apollo 17 basalt 75075: evidence of early differentiation of the lunar exterior**. Proc. Lunar Sci. Conf. 6 th vol 2. Geochim cosmochim Acta Suppl., 6: 1419-1429, 1975.

MABESOONE, J. M. & TINOCO, I. M. **Palaeoecology of the Aptian Santana Formation (northeastern Brazil)**. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, Amsterdam, 14(2): 97-118, 1973.

MAISEY, J. G. (ed.) **Santana fossils: An illustrated atlas**. Neptune City Tropical Fish Hobbyist, 459p, 1991.

MARTILL, D. M. **Fossils of the Santana and Crato Formations, Brazil**. The Palaeontological Association Field Guides to Fossils. London, 5: 1-159, 1993

MARTILL, D.M., BECHLY, G. & LOVERIDGE, R.F. **The Crato fossil beds of Brazil: Window into an ancient world**. Cambridge University, Cambridge, 625p, 2007.

MATOS, R. M. D. **The northeast Brazilian rift system**. Tectonics, 11(4): 766-791, 1992.

MCCULLOCH, M. T. & WASSERBURG, G. J. **Sm-Nd and Rb-Sr chronology of the continental crust formation**. Science, London, 200: 1003-1011, 1978.

MCLENNAN, S. M., TAYLOR, S. R., MCCULLOCH, M. T., MAYNARD, J. B. **Geochemical and Sm-Nd isotopic composition of deep-sea turbidites: crustal evolution and plate tectonic associations**. Geochimica et Cosmochimica Acta, 54(7), p. 2015-2050, 1990.

MIALL, A. D., **The Geology of Fluvial Deposits: sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology**. New York: Springer, 582p, 1996.

MIRANDA L. S., ASSINE M. L. **Prospecção sísmica de reconhecimento – Bacia do Araripe**. Belo Horizonte. Andrade Gutierrez Energia (rel. inédito). 23 p, 1986.

NELSON, B.K. & DEPAOLO, D.J. **Comparison of isotopic and petrographic provenance indicators in sediments from Tertiary continental basins of New Mexico.** *Journal of Sedimentary Petrology*, 58 (2): 348-357, 1988.

NEUMANN V. H. de M. L. **Estratigrafia, Sedimentologia, Geoquímica y Diagénesis de los Sistemas Lacustres Aptienses-Albienses de lá Cuenca de Araripe** (Nororeste do Brasil), Barcelona, 1999. (Tese de Doctorado) – Facultat de Geologia – Universitat de Barcelona. 225 p, 1999.

NEUMANN, V. H. de M. L. **Sistemas lacustres aptiense-albienses de la Cuenca de Araripe**, NE, Brasil. Barcelona. Universidad de Barcelona. Tese de Doutorado, 250p, 1999.

NEUMANN, V. H. de M. L. & CABRERA, L. **Una nueva propuesta estratigráfica para la tectonosecuencia post-rifte de la Cuenca de Araripe, noreste de Brasil.** Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil. 5. Serra Negra. Boletim UNESP: 279-285, 1999.

NOTSU, K., MABUCHI, H., YOSHIOKA, O., MATSUDA, J., OZIMA, M. Evidence of the extinct nuclide ^{146}Sm in “Juvinas” achondrite. **Earth Planet. Sci. Lett.** 19: 29-36, 1973.

NUTMAN, A. P., BRITO NEVES, B. B., SANTOS, E. J. **U-Pb SHRIMP ages of the Sertânia Complex: evidences for a basement terrane in the zona transversal subprovince.** In: SBG Núcleo Nordeste, Simpósio de Geologia do Nordeste, 19, Natal. Resumos, 288-289. (Boletim, 17), 2001.

O'NIONS, R. K.; HAMILTON, P. J.; HOOKER, P. J. A. Nd Isotope Investigation Of Sediment Related To Crustal Development In The British Isles. **Earth Planet. Sci. Lett.**, 63: 229-240, 1983.

OLIVEIRA, A. A. DE. **Impactos antrópicos nos carbonatos da região de Nova Olinda e Santana do Cariri – CE.** Recife. 222 p. (Tese de Doutorado. Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco da UFPE, 2006.

PATTCHEP, P. J. **Isotopic studies of Proterozoic crustal growth and evolution.** In K.C. **Condie (ed.) Proterozoic crustal evolution.** Elsevier, Amsterdam: 481-508, 1992.

PONS D, BERTHOU P-Y, CAMPOS D. A. **Qualques observations sur la palynologie de l'A Supérieur et de l'A du bassin d'Araripe** (NE du Brésil). In: Seminário Sobre A Bacia do Araripe E Bacias Interiores Do Nordeste, 1. Crato, 1990. Atas...Crato, DNPM.. p 241 – 252, 1990.

PONTE, F. C. **Sistemas Depositionais da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil.** In: 2º Simpósio Sobre as Bacias Cretácicas Brasileiras. Rio Claro, 1992. Resumos Expandidos... Rio Claro. UNESP/IGCE, p 81-84. 111, 1992a.

PONTE, F. C. **Origem e Evolução das Pequenas Bacias Cretácicas do Interior do Nordeste do Brasil.** In: 2º Simpósio Sobre as Bacias Cretácicas Brasileiras. Rio Claro, 1992. Resumos Expandidos... Rio Claro. UNESP/IGCE, p 55-58, 1992b.

PONTE, F. C: **Arcabouço estrutural da Bacia do Araripe.** Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil. 4. São Pedro. Boletim, UNESP: 169-177, 1996.

PONTE, F. C. & APPI, C. J. **Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe.** Congresso Brasileiro de Geologia. 36. Natal. Anais. SBG: 211-226, 1990.

PONTE, F. C. & PONTE FILHO, F. C. **Evolução tectônica e classificação da Bacia do Araripe.** Simp. sobre o Cretáceo do Brasil. 4. São Pedro. Boletim UNESP: 123-133, 1996.

PONTE FILHO, F. C. **Análise geohistórica do poço 2-AP-1-CE, Bacia do Araripe.** Simpósio sobre as Bacias Cretácicas Brasileiras. 2. Rio Claro. Resumos Expandidos UNESP: 85-89, 1992.

PONTE FILHO, F. C. & PONTE F. C. **Caracterização Estratigráfica da Formação Abaiara, Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe.** In: 2º Simpósio Sobre as Bacias Cretácicas Brasileiras. Rio Claro, Resumos Expandidos... Rio Claro. UNESP/IGCE, 1992. p 61 – 64, 1992.

RAND, H. M. & MANSO, V. A. V. **Levantamento gravimétrico e magnetométrico da Bacia do Araripe.** 33º Congresso Brasileiro de Geologia. Rio de Janeiro. Anais, SBG: 2011-2016, 1984.

RINGWOOD. **Composition and Petrology of the Earth's Mantle.** McGraw-Hill, New York. 618 p, 1975.

ROLLINSON H. **Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation.** Longman Group Ltd., England, 352 p, 1993.

SÁ, J. M., BERTRAND, J. M., LETERRIER, J. **U-Pb e geoquímica de ortogneisses paleo e mesoproterozóicos da região de Taquaritinga-PE.** In: SBG Núcleo Nordeste, Simpósio de Geologia Nordeste, 17, Fortaleza. Resumos expandidos, 15:108-112, 1997.

SALES A. M. F. & LEAL NETO A. **Mapeamento Geológico da Porção Centro Norte da Bacia do Araripe e Embasamento Cristalino Adjacente (Área 01).** Relatório de Graduação. UFC, CC, DEGEO, 155p, 1996.

SANTOS M. E. M. **Ambiente Depositional da Formação Santana, Chapada do Araripe (PE/PI/CE).** In: Congresso Brasileiro Geologia, 32, Salvador. Anais. SBG, v.4, p. 1412-1426, 1982.

SATO K. **Evolução crustal da plataforma sul americana, com base na geoquímica isotópica Sm-Nd.** São Paulo. 297p. (Tese de Doutorado. Instituto de Geociências da USP), 1998.

SILVA, C. R. O. **Geodiversidade: instrumento para planejamento, gestão e ordenamento territorial.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 44., 26-31 out. 2008, Curitiba, PR. Anais... Curitiba, PR: SBG, 2008.

SILVA, D. R. A., MIZUSAKI, A. M. P., ANJOS, S. M. C., KOESTER, E., BORBA, A. W. (artigo submetido). **Depositional age and provenance of fine-grained sedimentary rocks derived from Rb-Sr and Sm-Nd analyses: the example of the Santa Maria Formation (Triassic, Paraná Basin, southern Brazil).** Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis, 2006.

SILVA, L. C., MCNAUGHTON, N. J., VASCONCELOS, A. M., GOMES, J. R. C., FLETCHER, I. R. **U/Pb SHRIMP ages in Southern state of Ceará, Borborema Province, NE Brazil: Archean TTG Accretion and Proterozoic Crustal Reworking.** In: CBPM, International Symposium on Granites and Associated Mineralizations – ISGAM, 2, Salvador, Extended Abstract and Program, 280–281, 1997.

SILVA, M. A. M. Lower Cretaceous unconformity truncating evaporite-carbonate sequence, Araripe Basin, northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, 16(3): 306-310, 1986.

SILVA, M. D. **Ostracodes não-marinhas da Formação Santana** (Cretáceo Inferior) do Grupo Araripe, nordeste do Brasil. Recife, Universidade Federal de Pernambuco, Tese de Livre Docência, 326p, 1976.

SILVA, M. G. **A seqüência vulcanossedimentar do médio Rio Itapicuru, Bahia: caracterização petrográfica, considerações petrogenéticas preliminares e zoneografia metamórficas.** (Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador), 146 p, 1983.

SILVA TELLES JR. A. C. DA; ARAI M. & COIMBRA J. C. **Biocronoestratigrafia e paleoecologia da Bacia do Araripe.** In: F.C. Ponte et alii (cords.). Geologia das Bacias Sedimentares Mesozóicas do Interior do Nordeste do Brasil. Rio de Janeiro. Petrobrás/CENPES/SUPE/DIVEX/SEBIPE. (Inédito), 1991.

SILVA-TELLES JR., A. C. DA & VIANA, M, S. S. **Paleoecologia dos Ostracodes da Formação Santana (Bacia do Araripe): Um estudo ontogenético de populações.** In: Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste, 1. Crato, Ce. Atas... Crato DNPM/PICG/CPCA/SBP/SBG-NF. p. 309-327, 1990.

SMALL A. L. **Geologia e suprimento de água subterrânea no Ceará e parte do Piauí.** Insp. Obras Contra Secas (Publicação n°25). 80p, 1913.

VEIGA P. M. **Geologia da Quadricula de Juazeiro do Norte (E-082) Folha Crato - CE.** (Série Geologia Regional n°1). Recife. SUDENE, 57p, 1966.

VERGARA, M. D., TORQUATO, J. R., KAWASHITA, K. **Método Samário – Neodímio, Geocronologia Nuclear.** **Revista de Geologia.** v. 11:53-85, 1998.

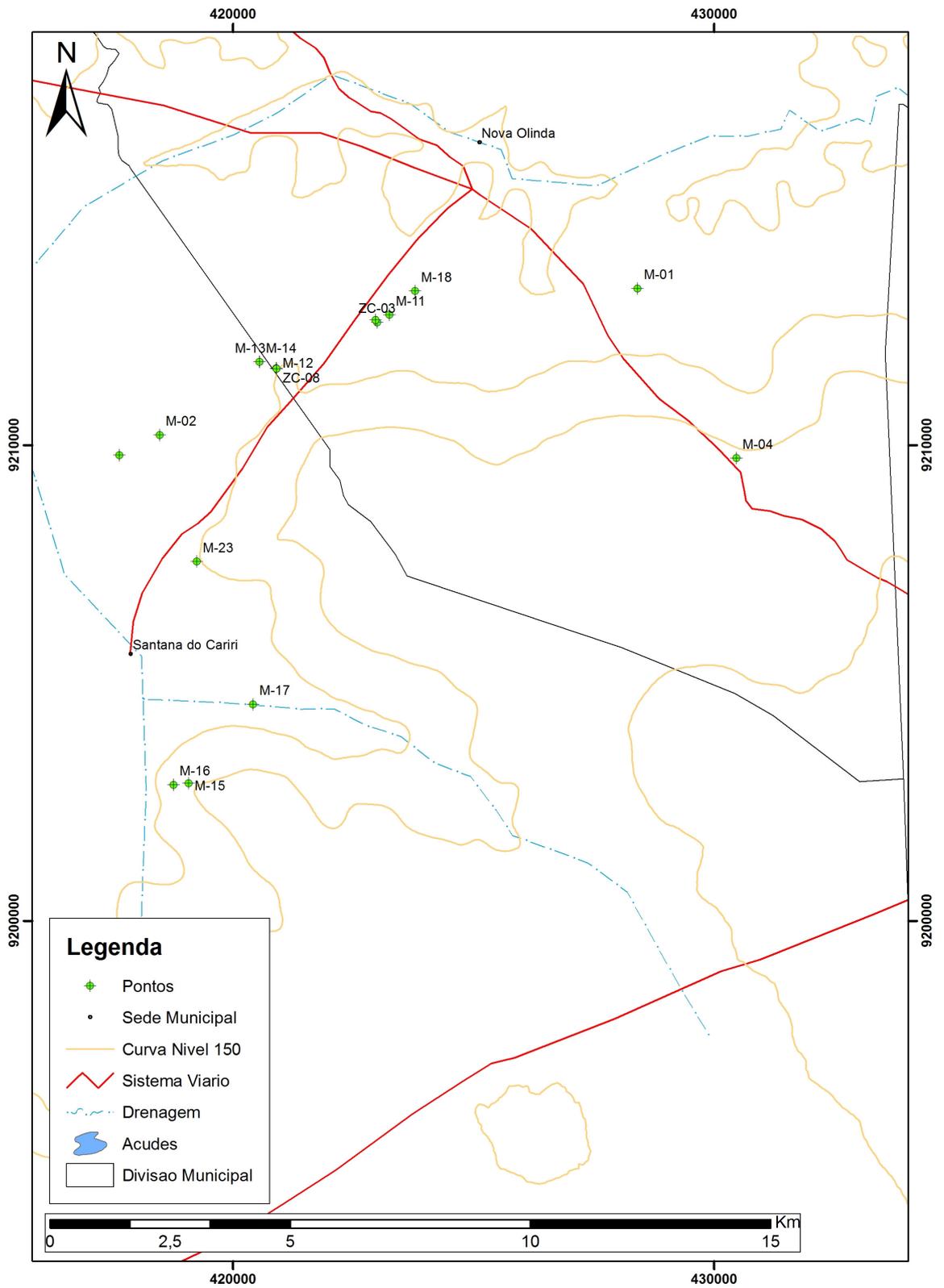
VIANA, M. S. S. & CAVALCANTI, V. M. M. Distribuição estratigráfica dos fósseis da Formação Missão Velha, Bacia do Araripe. **Revista de Geologia**, Fortaleza, 4: 81-87, 1991.

ANEXOS

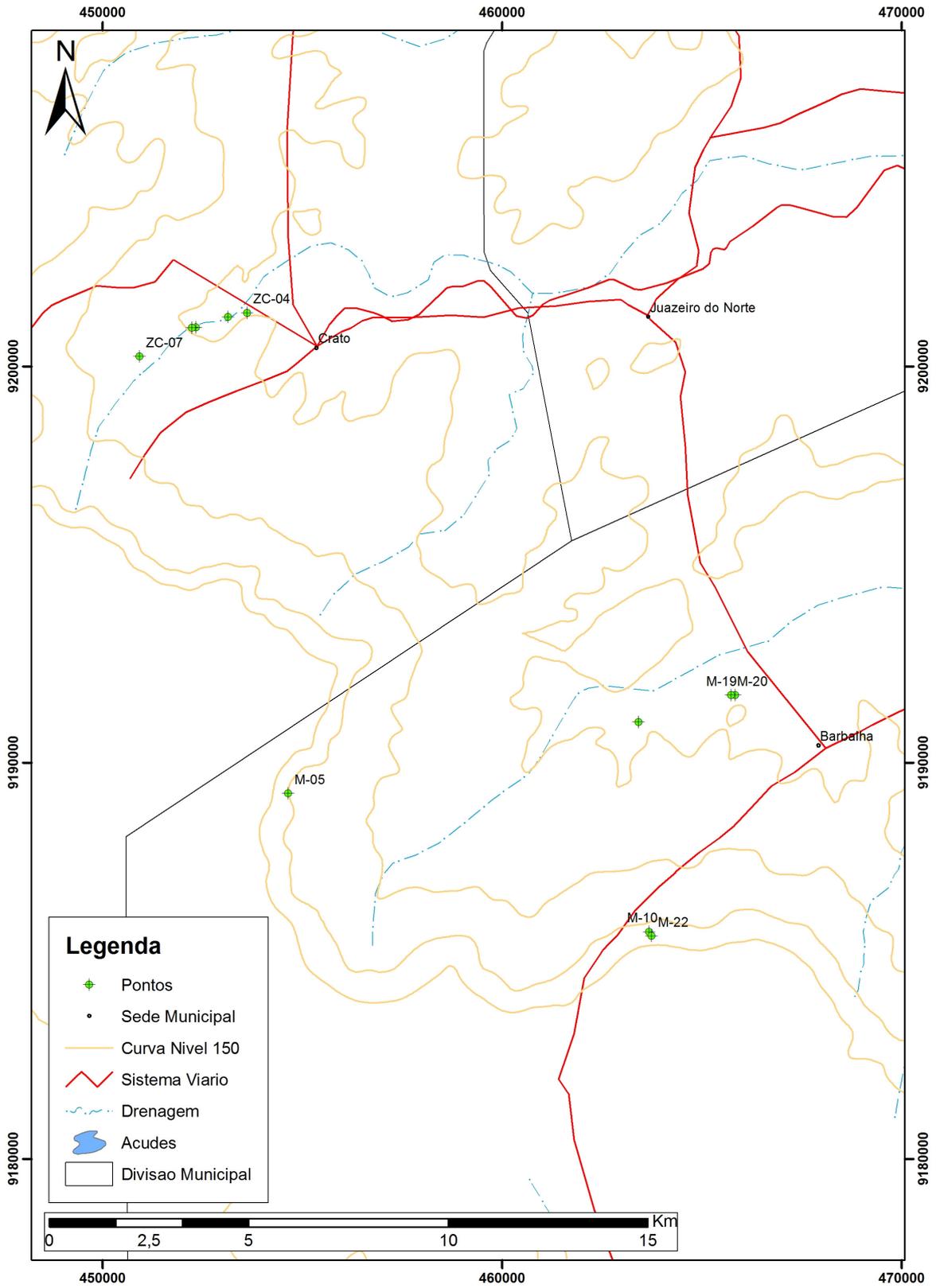
Planilha de Pontos

X	Y	Z	AM.	FOTO	WU	LITOESTRAT.	OBS
430467	9209730	779	M-04	M-04.1	1	Fm. Exu	Estrada Nova Olinda-Crato.
463684	9185738	760	M-10	*	1	Fm. Exu	Geotopo Arajara.
419080	9202892	591	M-15	*	1	Fm. Exu	Pontal.
454649	9189228	755	M-05	M-05.1, M-05.2, M-05.3, M-05.4, M-05.5, M-05.6, M-05.7, M-05.8	2	Fm. Arajara	Parque Arajara.
418768	9202862	770	M-16	M-16.1 e M-16.2	2	Fm. Arajara	Descida do Pontal.
463744	9185634	406	M-22	M-22.1, M-22.2 e M-22.3	2	Fm. Exu / Arajara	Geotopo Arajara.
419249	9207554	603	M-23	M-23.1	3	Mb. Romualdo	Início do Geotopo Ipubi.
420899	9211624	580	ZC-08	ZC-08.1 e ZC-08.2	3	Mb. Romualdo	Mina Gesso Chaves.
420907	9211616	582	M-12	M-12.1 e M-12.2	4	Mb. Romualdo	Mina Pedra Branca.
420558	9211756	576	M-13	M-13.1, M-13.2 e M-13.3	4	Mb. Romualdo	Mina Pedra Branca.
420558	9211756	576	M-14	M-14.1, M-14.2 e M-14.3	4	Mb. Romualdo	Mina Pedra Branca.
420422	9204554	696	M-17	M-17.1, M-17.2, M-17.3, M-17.4, M-17.5 e M-17.6	4	Mb. Ipubi	Mina Gesso Chaves.
418478	9210218	509	M-02	M-02.1, M-02.2 e M-02.3	5	Mb. Crato	Mina calcário, pouca quantidade de amostra coletada.
423258	9212746	527	M-11	M-11.1, M-11.2 e M-11.3	5	Mb. Crato	Geotopo Nova Olinda.
423001	9212588	*	ZC-03	*	5	Mb. Crato	Arenito intercalado em folhelhos. Mina de Pedra Cariri. Sítio Barro Alto.
417641	9209792	-	M-03	-	-	Mb. Crato	Mina calcário.
465834	9191704	423	M-19	M-19.1, M-19.2 e M-19.3	6	Fm. Rio da Batateira	Entrada de Barbalha.
465730	9191706	415	M-20	M-20.1 e M-20.2	6	Fm. Rio da Batateira	Entrada de Barbalha.
453618	9201352	*	ZC-04	*	6	Fm. Rio da Batateira	Arenito grosso. Base 1º ciclo. Depósito ao lado da ponte do Rio Batateira.
450930	9200250	453	ZC-07	*	6	Fm. Rio da Batateira	Rio da Batateira, arenito muito grosso, conglomerático, base do 2º ciclo.
497285	9193104	396	ZC-01	*	7	Fm. Abaiara	Pelito. Túnel Transnordestina.
497285	9193104	396	ZC-02	*	7	Fm. Abaiara	Lente arenítica. Túnel Transnordestina.
495160	9187192	*	ZC-05	ZC-05.1 e ZC-05.2	7	Fm. Abaiara	Arenito grosso conglomerático. Ao lado da Churrascaria Marcondes, Abaiara.
495875	9187732	*	ZC-06	*	7	Missão Velha	Arenito muito grosso conglomerático. Morro do Cruzeiro.
490980	9196962	393	M-07	M-07.1, M-07.2, M-07.3, M-07.4, M-07.5, M-07.6	8	Fm. Missão Velha	Grota Funda (M-07: arenito).
490980	9196962	393	M-08	*	8	Fm. Missão Velha	Grota Funda (M-08: madeira fossilizada).
490980	9196962	393	M-09	*	8	Fm. Missão Velha	Grota Funda (M-09: siltito arroxeadado).
423786	9213246	576	M-18	M-18.1	9	Fm. Brejo Santo	Entrada de Nova Olinda.
497007	9192070	371	M-21A	M-21.1, M-21.2	9	Fm. Brejo Santo	Início da Transnordestina.
497007	9192070	371	M-21B	M-21.1, M-21.2	9	Fm. Brejo Santo	Início da Transnordestina.
428413	9213300	530	M-01	M-01.1 e M-01.2	10	Fm. Mauriti	Entrada Nova Olinda, pouca quantidade de amostra coletada.
483916	9201700	730	M-06	M-06.1, M-06.2, M-06.3, M-06.4, M-06.5, M-06.6, M-06.7	10	Fm. Mauriti	Cachoeira de Missão Velha.

MAPA DE PONTOS 01

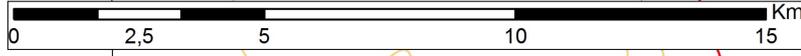


MAPA DE PONTOS 02

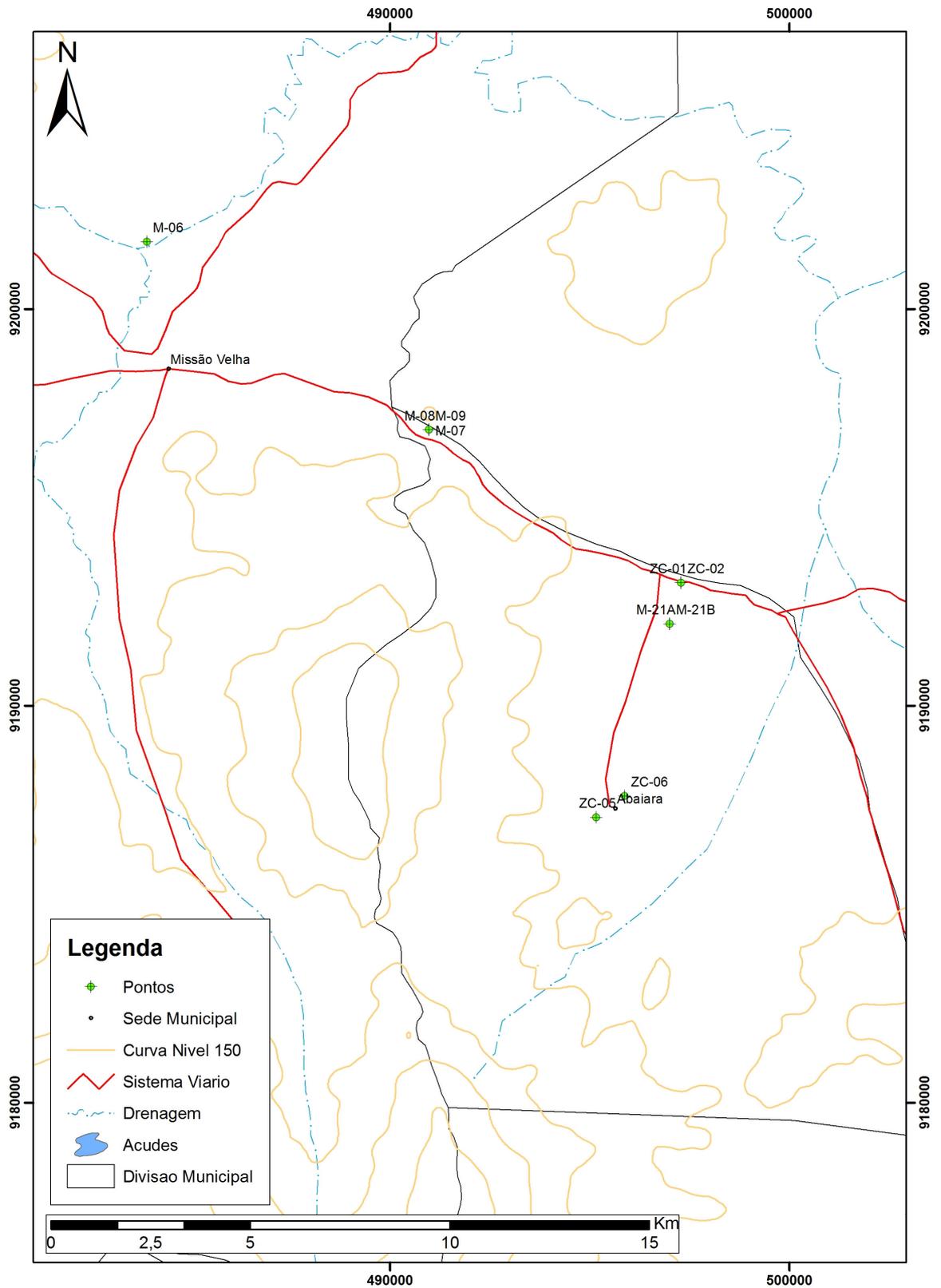


Legenda

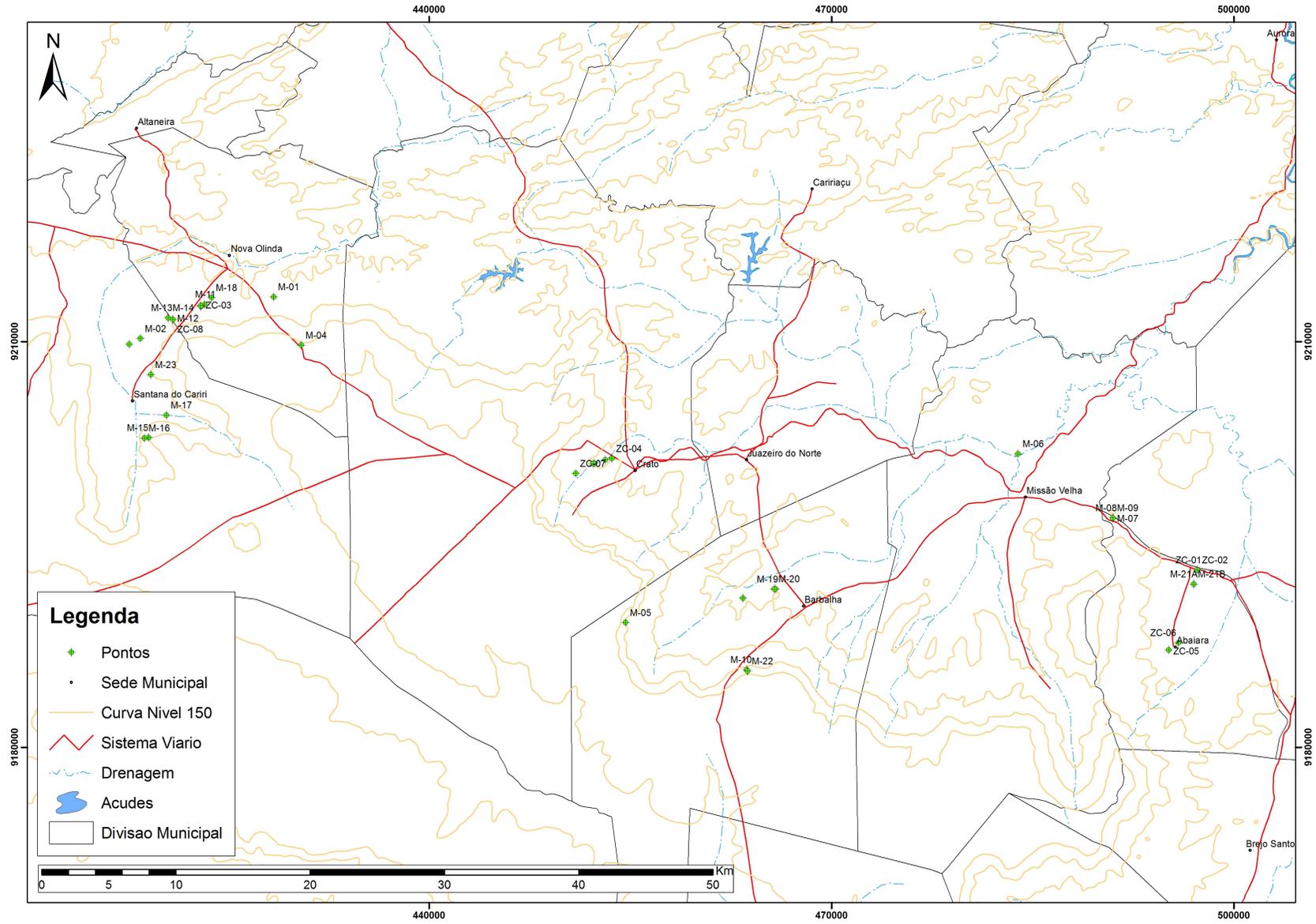
- ◆ Pontos
- Sede Municipal
- Curva Nivel 150
- Sistema Viario
- - - Drenagem
- Acudes
- Divisao Municipal



MAPA DE PONTOS 03



MAPA DE PONTOS GERAL



Planilha de teores médios das principais rochas e minerais terrestres de samário e neodímio (Faure, 1986)

Rochas e/ou minerais	Sm (ppm)	Nd (ppm)	Sm/Nd
<i>Rochas plutônicas</i>			
Gabro	1,780	7,530	0,236
Eclogito	2,610	8,640	0,302
Tonalito	4,010	16,800	0,238
Granodiorito	6,480	29,900	0,216
Granito	8,220	43,500	0,188
Granulito	4,960	31,800	0,156
Carbonatito	38,700	178,800	0,216
Piroxenito	0,003	0,009	0,290
Lherzolito, Peridotito	0,582	2,280	0,255
Sienito	9,500	86,000	0,110
<i>Rochas Vulcânicas</i>			
Komatiito, Picrito	1,140	3,590	0,317
Toleíto (arqueano)	1,960	6,670	0,293
Toleíto (MORB)	3,300	10,300	0,320
Toleíto continentais	5,320	24,200	0,220
Basalto calcioalcalino	6,070	32,600	0,186
Basalto alcalino	8,070	41,500	0,194
Traquito	14,100	73,200	0,192
Leucita basáltica	15,100	81,400	0,185
Andesito	3,900	20,600	0,189
Dacito, Riodacito	5,050	24,900	0,202
Riolito	4,650	21,600	0,215
<i>Rochas sedimentares</i>			
Folhelho	10,400	49,800	0,209
Grauvaca	5,030	25,500	0,197
Arenito	8,930	39,400	0,227
Calcário	2,030	8,750	0,232
Fosfato	341,000	1228,000	0,266
Carvão mineral	1,600	4,700	0,340
<i>Minerais</i>			
Olivina	0,070	0,360	0,190
Clinopiroxênio	3,340	9,090	0,367
Anfibolito	6,030	17,300	0,470
Biotita	37,000	171,500	0,215
Plagioclásio	0,541	1,850	0,292
Feldspato potássico	3,770	26,000	0,140
Granada	1,170	2,170	0,529
Apatita	223,000	718,000	0,311
Monazita	15000,000	88000,000	0,170
<i>Rochas e Minerais extraterrestres</i>			
Basalto lunar	8,270	24,000	0,344
Acondrito cálcico	1,370	4,410	0,310
Condrito	0,199	0,620	0,320
Piroxênio (acondrito)	0,691	1,910	0,360
Plagioclásio (acondrito)	0,507	1,920	0,263
Tektito terrestre	4,810	26,600	0,180

SEÇÃO ESTRATIGRÁFICA/PALEOCORRENTE

PONTO	COORDENADAS			UNIDADE	LITOLOGIA AMOSTRADA	ESTRATIFICAÇÃO	PALC	OBS
	X	Y	Z					
M-01	428413	9213300	530	Fm. Mauriti	Arenito médio a grosso beje			Entrada Nova Olinda.
M-02	418478	9210218	509	Mb. Crato	Argilito			Mina calcário.
M-04	430467	9209730	779	Fm. Exu	Arenito médio a grosso avermelhado			Estrada Nova Olinda-Crato.
M-05	454649	9189228	755	Fm. Arajara	Arenito silte-argiloso fino	Cruzada, truncada e acanalada		Parque Arajara.
M-06	483916	9201700	730	Fm. Mauriti	Arenito médio a grosso	Cruzada planar		Cachoeira de Missão Velha.
M-07	490980	9196962	393	Fm. Missão Velha	Silte-arenito fino a médio beje claro a alaranjado	Cruzada planar		Grota Funda.
M-08	490980	9196962	393	Fm. Missão Velha	Madeira fossilizada			Grota Funda.
M-09	490980	9196962	393	Fm. Missão Velha	siltito arroxeadado			Grota Funda.
M-10	463684	9185738	760	Fm. Exu	?			Geotopo Arajara.
M-11	423258	9212746	527	Mb. Crato	Silte-argila acima do calcário laminado			Geotopo Nova Olinda.
M-12	420907	9211616	582	Mb. Romualdo	Nível conglomerático			Mina Pedra Branca.
M-13	420558	9211756	576	Mb. Romualdo	Folhelho			Mina Pedra Branca.
M-14	420558	9211756	576	Mb. Romualdo	?			Mina Pedra Branca.
M-15	419080	9202892	591	Fm. Exu	arenito			Pontal.
M-16	418768	9202862	770	Fm. Arajara	arenito esbranquiçado			Descida do Pontal.
M-17	420422	9204554	696	Mb. Ipubi	acima 1,5m da camada do gesso inferior-Folhelho escuro			Mina Gesso Chaves.
M-18	423786	9213246	576	Fm. Brejo Santo	Argilito			Entrada de Nova Olinda.
M-19	465834	9191704	423	Fm. Rio da Batateira	Arenito fino a médio vermelho-amarelado	Cruzada planar		Entrada de Barbalha.
M-20	465730	9191706	415	Fm. Rio da Batateira	Arenito fino a médio amarelado	Cruzada planar		Entrada de Barbalha.
M-21A	497007	9192070	371	Fm. Brejo Santo	Argilito vermelho			Início da Transnordestina.
M-21B	497007	9192070	371	Fm. Brejo Santo	Argilito vermelho			Início da Transnordestina.
M-22	463744	9185634	406	Fm. Exu / Arajara (?)	Arenito fino a médio			Geotopo Arajara.
M-23	419249	9207554	603	Mb. Romualdo	Argilito preto			Início do Geotopo Ipubi.
ZC-01	497285	9193104	396	Fm. Abaiara	Folhelho siltito			Pelito. Túnel Transnordestina.
ZC-02	497285	9193104	396	Fm. Abaiara	Arenito médio e fino			Lente arenítica. Túnel Transnordestina.
ZC-03	423001	9212588	*	Mb. Crato	Margoso/argilito			Mina de Pedra Cariri. Sítio Barro Alto.
ZC-04	453618	9201352	*	Fm. Rio da Batateira	Arenito médio-Base	Cruzada planar e acanalada		Depósito ao lado da ponte do Rio Batateira.
ZC-05	495160	9187192	*	Fm. Abaiara	Arenito fino-Base			Churrascaria Marcondes, Abaiara.
ZC-06	495875	9187732	*	Fm. Missão Velha	Arenito grosso conglomerático-Topo			Morro do Cruzeiro.
ZC-07	450930	9200250	453	Fm. Rio da Batateira	Arenito muito grosso a grosso cascalhoso-Topo	Cruzada planar		Rio da Batateira
ZC-08	420899	9211624	580	Mb. Romualdo	Conglomerado			Mina Gesso Chaves.