

ANÁLISE DE FÁCIES DA FORMAÇÃO BREJO SANTO, BACIA DO ARARIPE, NORDESTE DO BRASIL: IMPLICAÇÕES PALEODEPOSICIONAIS

Gelson Luís Fambrini¹,
Virgínio Henrique M.L. Neumann¹,
Cecilia Lima de Barros²,
Sonia M. Agostinho³,
Paulo Cesar Galm⁴,
Jadson Trajano de Araujo⁵,
José Acioli B. Menezes Filho⁶

¹DGEO/UFPE - PRH-26/ANP (gelson.fambrini@ufpe.br; neumann@ufpe.br);

²PPGeoc-UFPE (cecilybarros@hotmail.com);

³DGEO/UFPE (sonia@ufpe.br)

⁴PETROBRÁS, UO-SEAL/EXP/SE, Aracaju, SE (pcgalm@petrobras.com.br)

⁵PETROBRÁS, Natal, RN (jadsongeo@hotmail.com);

⁶Graduação em Geologia-UFPE (joseacioli@gmail.com)

RESUMO

A Bacia do Araripe tem sido objeto de várias publicações nos últimos anos, tratando notadamente a respeito do rico acervo paleontológico das formações Brejo Santo, Crato e Romualdo. No entanto, são escassos os trabalhos que abordam em detalhe a Formação Brejo Santo sob ponto de vista estratigráfico. A Formação Brejo Santo, de idade mesozóica (Andar Dom João –Neojurássico), é representada por espessa sucessão (até 450 m) de depósitos predominantemente pelíticos que afloram na porção leste da bacia, especialmente no Vale do Cariri. A Formação Brejo Santo repousa discordantemente sobre a Formação Mauriti, de idade presumivelmente paleozóica, e faz contato com a sobrejacente Formação Missão Velha. Esta unidade é composta por argilitos e folhelhos calcíferos castanho-avermelhados, maciços a laminados, siltitos cinza-esbranquiçados a esverdeados e, subordinadamente, arenitos finos a muito finos argilosos laminados. Localmente ocorrem intercalações de níveis delgados de calcário argiloso e, principalmente, de arenitos calcíferos, abundantemente fossilíferos. Os folhelhos e argilitos avermelhados freqüentemente mostram-se mosqueados, com manchas e laminações de coloração verde claro a cinza esbranquiçado. Também ocorrem intercalados aos depósitos nódulos calcários. Este trabalho enfoca análise de fácies e sistemas deposicionais da Formação Brejo Santo com base na observação da sedimentologia e faciologia dos depósitos, medidas de paleocorrentes e de seu conteúdo fossilífero. As fácies foram identificadas segundo a composição, geometria dos corpos, conteúdo fossilífero, estruturas sedimentares e padrão de paleocorrentes. As principais fácies reconhecidas foram: (i) Fl – folhelhos vermelhos, marrons, laminados com intercalações decimétricas de siltitos argilosos esverdeados e camadas centimétricas de folhelhos avermelhados mosqueados com nódulos calcários e arenitos finos calcíferos; (ii) Fm- argilitos vermelho-arroxeados, maciços; (iii) Acl- camadas de arenitos calcíferos; (iv) Sh- arenitos brancos, finos, com estratificação plano paralela, com níveis decimétricos (40-80cm) de arenitos finos argilosos; (v) St- arenitos brancos, finos, com estratificação cruzada acanalada. As paleocorrentes medidas possuem padrão de dispersão consistente para SE, SW e S, coerente com a instalação de ampla bacia aberta em direção sul denominada de Depressão Afro-Brasileira. As fácies e associações de fácies descritas foram interpretadas como geradas por (i) sistemas lacustres nos quais, periodicamente, o nível dos lagos e/ou lagoas sofriam variações bruscas relacionadas às sazonalidades do nível do lago

(períodos de exposição sub-aérea e períodos de cheias) e por (ii) sistemas fluviais efêmeros que alimentavam estes lagos. A análise de organismos fósseis, tais como ostracodes não marinhos (*Darwinula oblonga* e *Bisulcocypris pricei*) e conchostráceos (*Bairdestheria mawsoni*, *mirandibensis* R.C. e *Paleolimnadiopsis barbosai* R.C.), sugere que os sedimentos da Formação Brejo Santo teriam sido depositados, possivelmente, em condições climáticas quentes e de estação seca bem definida, corroborando a interpretação deposicional. O registro de formas exclusivamente não-marinhas (tais como conchostráceos e ostracodes) sugere sedimentação continental em sistemas lacustres favoráveis à formação de camadas de *red beds*. A Formação Brejo Santo representa a primeira sedimentação em sistema lacustre da Bacia do Araripe, com aporte de sedimentos trazidos por rios efêmeros, que se acumularam em baixos ao longo da depressão Afro-Brasileira desenvolvida no Andar Dom João devido ao processo de rifteamento que afetou o interior do NE Brasileiro.

Palavras chave: Bacia do Araripe; Formação Brejo Santo; Andar Dom João; fácies; sistemas deposicionais.

ABSTRACT

The Araripe Basin has been the subject of several publications in recent years, notably regarding the rich paleontological collection of Brejo Santo, Crato and Romualdo Formations. However, papers detailing with stratigraphic aspects of Brejo Santo Formation are scarce. The formation (Mesozoic era - Dom João Stage) is represented by a predominantly pelithic succession (up to 450 m thick) outcropping in the eastern portion of the basin, especially in the Vale do Cariri region. The Brejo Santo Formation unconformably overlies the Mauriti Formation, presumably of Paleozoic age, and makes contact with the overlying Mission Velha Formation. It consists of massive to laminated reddish-brown chalks and calciferous shales with calcareous nodules, white to greenish-grey siltstones and, subordinately, fine to very fine argillaceous sandstones, sometimes of medium size. Locally intercalations of muddy limestones and highly fossiliferous calciferous sandstones occur. Reddish shales and chalks are often mottled, speckled and striped pale green to whitish grey. Calcareous nodules are also occasionally present. This work focuses on facies and depositional systems analysis of Brejo Santo Formation on the basis of observation of sedimentology and faciology of sedimentary deposits, paleocurrent measurements and its fossil content. Facies identification was made according to the composition, geometry of bodies, sedimentary structures, fossil content and paleocurrent pattern. The principle facies recorded were: (i) Fl- red shales, brown, laminated with decimetric intercalations of greenish mud siltstones and centimetric layers of reddish mottled shales with calcareous nodules and fine calciferous sandstones; (ii) Fm- purplish-red chalks, massive; (iii) Scl- layers of calciferous sandstones; (iv) Sh- white fine sandstones with horizontal stratification, subordinately decimetric layers (40-80 cm) of fine mud sandstones; (v) St- white fine sandstones with trough cross-stratification. The paleocurrent measurements have a consistent dispersion pattern for SE, SW and S, suggesting the installation of an open wide basin toward the south – the Afro-Brazilian Depression. The described facies and facies associations were interpreted as generated by (i) lake systems in which periodically the level of the lakes and/or ponds suffered sudden variations related to seasonal fluctuations in the level of the lake (periods of subaerial exposure and flood periods) and (ii) ephemeral river systems which fed these lakes. The analysis of fossil organisms, such as marine not ostracodes (*Darwinula oblonga* and *Bisulcocypris pricei*) and conchostráceos (*Bairdestheria mawsoni*, *mirandibensis* R.C. and *Paleolimnadiopsis barbosai* R.C.), suggests that the sediments

of Brejo Santo Formation have been deposited, possibly in hot climatic conditions and well-defined dry season, corroborating the depositional interpretation. The registration of exclusively non-marine fossil forms (such as conchostracheans and ostracods) advocates continental sedimentation in lake systems favorable to the formation of red beds layers. The Brejo Santo Formation represents the first lacustrine sedimentation of the Araripe basin, with supply of sediment brought by ephemeral rivers, which have accumulated in lows along the Afro-Brazilian Depression developed during the Dom João Stage due to intracontinental rifting process that affected the interior of NE of Brazil.

Keywords: Araripe Basin; Brejo Santo Formation; Dom João Stage; Facies; Depositional systems.

INTRODUÇÃO

A Bacia do Araripe tem sido objeto de várias publicações nos últimos anos, que trata principalmente do rico acervo paleontológico das formações Brejo Santo, Crato e Romualdo. No entanto, trabalhos que abordem em detalhe aspectos estratigráficos da Formação Brejo Santo são escassos (e.g. Viana & Cavalcanti, 1989; Cavalcanti & Viana, 1992), normalmente tratando da unidade em conjunto com as demais. A Formação Brejo Santo, de idade mesozóica (Andar Dom João – Neo-Jurássico), é representada por espessa sucessão (até 450 m) de depósitos com predomínio de litotipos pelíticos. Rochas dessa unidade afloram na porção leste da bacia, especialmente no Vale do Cariri (CE).

A Formação Brejo Santo repousa discordantemente sobre a Formação Mauriti, de idade presumivelmente paleozóica, e faz contato com a unidade sobrejacente, a Formação Missão Velha. Em termos litológicos é constituída por argilitos e folhelhos calcíferos castanho-avermelhados, maciços a laminados, siltitos cinza-esbranquiçados a esverdeados e, de forma subordinada, arenitos finos a muito finos argilosos laminados. Intercalados nos pelitos ocorrem níveis delgados de calcário argiloso e, principalmente, arenitos calcíferos, abundantemente fossilíferos. Os folhelhos e

argilitos avermelhados freqüentemente mostram-se mosqueados, com manchas e laminações de coloração verde claro a cinza esbranquiçado. Os folhelhos também apresentam nódulos calcários.

A Bacia do Araripe comporta quatro sequências deposicionais (Ponte, 1992; Assine, 1992, 2007), reflexo de uma evolução policíclica (Brito-Neves, 1990), a saber: (i) *sequência paleozóica*, constituída exclusivamente pela Formação Cariri; (ii) *sequência pré-rifte*, composta pelas formações Brejo Santo e parte da Formação Missão Velha (Fambrini *et al.*, 2010a, b; 2011b); (iii) *sequência rifte* composta pela porção superior da Formação Missão Velha e a Formação Abaiara toda (Fambrini *et al.*, 2010a, b; 2011b) e (iv) *sequência pós-rifte* caracterizada pela deposição das formações Barbalha, Crato, Ipubi, Romualdo, Araripina e Exu (Fig. 2). A estratigrafia aqui adotada é uma mescla entre as formuladas por Neumann (1999), Neumann & Cabrera (1999, 2000) e Assine (2007), sendo as unidades pós-rifte tomadas das classificações de Neumann (1999), Neumann & Cabrera (1999, 2000) e Fambrini *et al.* (2011b).

A Formação Brejo Santo constitui a unidade basal da sequência pré-rifte. A unidade foi definida por Gaspary & Anjos (1964) por meio do desmembramento da seção basal pelítica, denominada de

Formação Brejo Santo, sendo a denominação Formação Missão Velha limitada à parte arenosa superior da definição original de Beurlen (1962, 1963). Gasparly & Anjos (1964) situaram cronoestratigraficamente ambas as unidades no Neojurássico. Pouco depois, Braun (1966) correlacionou a Formação Brejo Santo da Bacia do Araripe à Formação Aliança do Grupo Brotas, unidade correlata nas bacias do Recôncavo, Tucano e Jatobá. Deste modo, os pelitos basais relacionados à Formação Brejo Santo por Gasparly & Anjos (1964) foram correlacionados à Formação Aliança do Grupo Brotas. Braun (1966) identificou presentes abundantemente nos pelitos, ostracodes que os tornam comumente calcíferos. Como exemplo o autor destaca as espécies guia *Bisulcocypris pricei* P & S e *Darwinula oblonga* ROEMER, formas típicas do Andar Dom João, posteriormente constatadas por Assine (1992), Coimbra *et al.* (2002), Assine (2007), Barros (2010), Barros *et al.* (2011),

inclusive na África (Colin & Depeche, 1997).

Esta proposição estratigráfica (Formação Brejo Santo de Gasparly & Anjos (1964) tem sido seguida por praticamente todos os autores subsequentes (Mabesoone & Tinoco, 1973; Lima, 1978a, b, 1979; Ghignone *et al.*, 1986; Ponte & Appi, 1990; Assine, 1990; Cavalcanti & Viana, 1992; Assine, 1992; Ponte, 1992; Martill, 1993; Berthou, 1994; Assine, 1994; Ponte, 1994; Ponte & Ponte-Filho, 1996 a, 1996 b; Neumann & Cabrera, 1999; Arai *et al.*, 2001; Valença *et al.*, 2003; Arai, 2006; Assine, 2007; Fambrini *et al.*, 2007, 2008, 2009 a, b; Fambrini *et al.*, 2010 a, b, c, 2011 a, b, c; Barros *et al.*, 2011; Küchle *et al.*, 2011; Batista *et al.*, no prelo; Fambrini *et al.*, em prep. a, b, c).

O presente trabalho, com base na análise de aspectos sedimentológicos, faciológicos e paleontológicos, traz uma interpretação sobre os paleoambientes de deposição associados à Formação Brejo Santo.

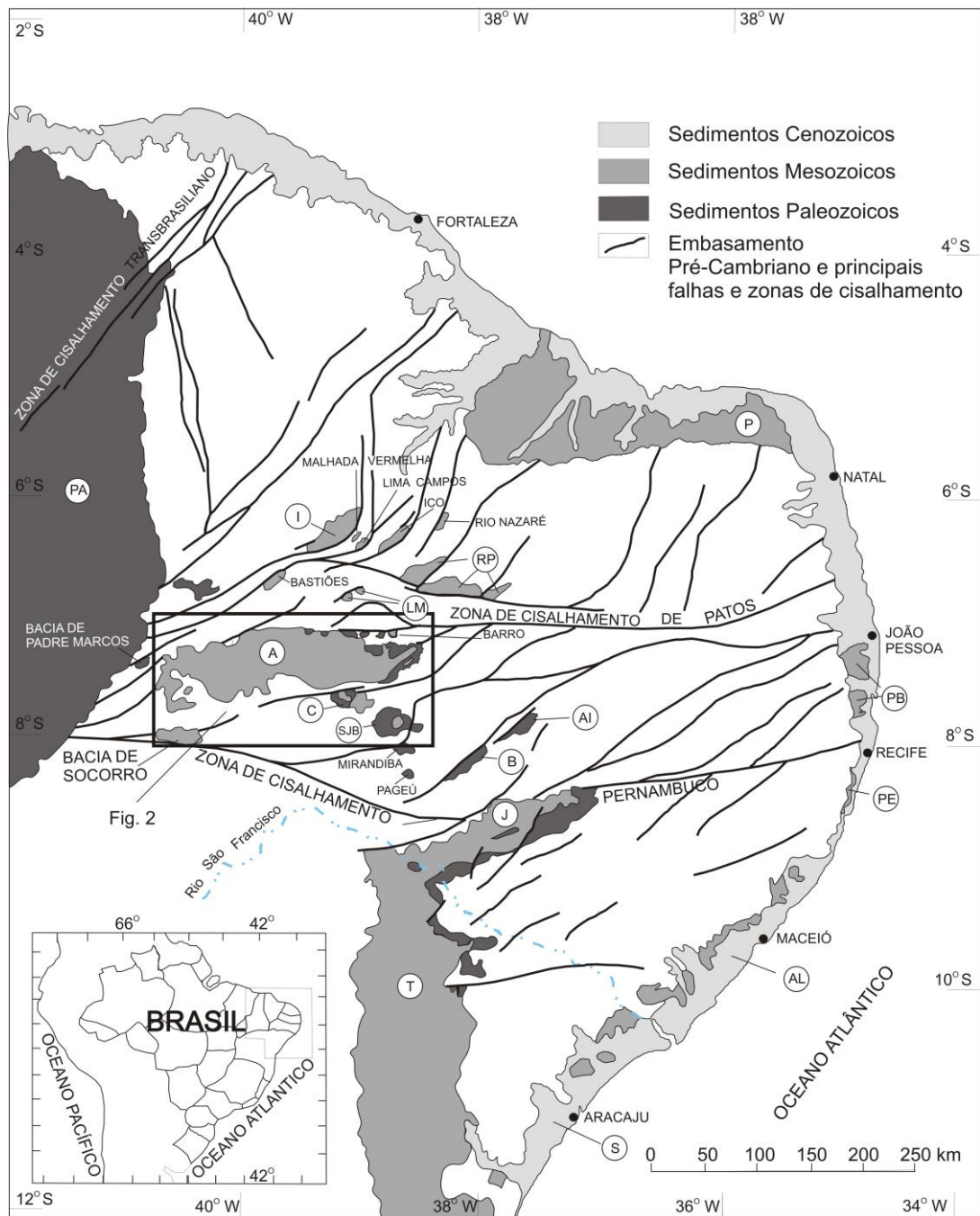


Figura 1 – Esquema das bacias fanerozoicas da região nordeste do Brasil com destaque para as bacias interiores das quais a Bacia do Araripe (no destaque) toma parte (modificada de Assine, 1992). Legenda: (A = Araripe; IG = Iguatu; J = Jatobá; P = Potiguar; PB = Parnaíba; PP = Pernambuco-Paraíba; RP = Rio do Peixe; SA = Sergipe-Alagoas; T = Tucano). Fonte: Fambrini *et al.* (2011b).

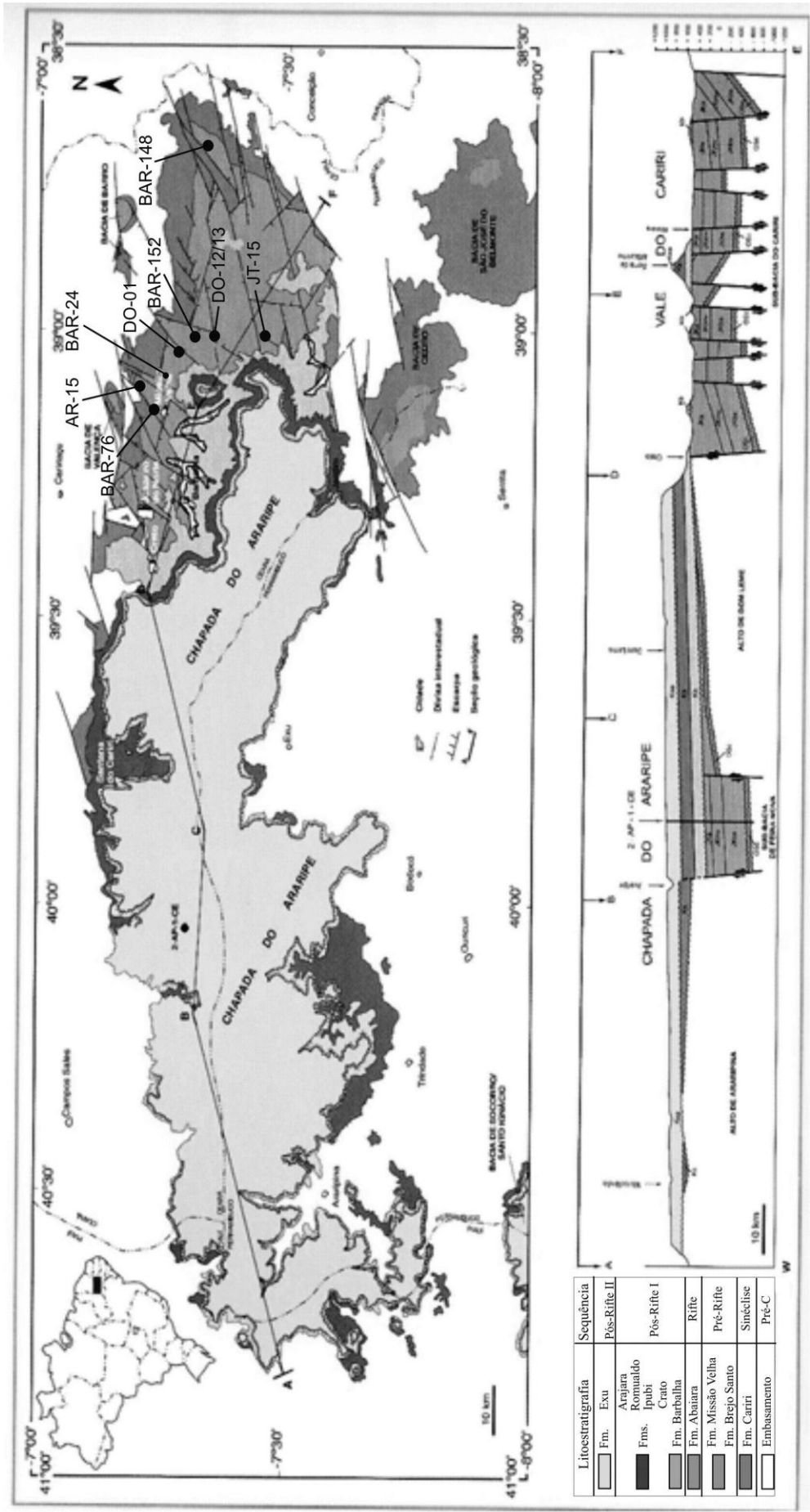


Figura 2 – Mapa Geológico da Bacia do Araripe (modificado de Assine, 2007). No mapa estão localizados os pontos de coletas de amostras que são listados na Tabela 1.

MATERIAIS E MÉTODOS

A presente análise dos depósitos aflorantes da Formação Brejo Santo teve como base o mapeamento geológico 1:50.000 na região do Vale do Cariri, fundamentada na descrição detalhada de mais de 60 afloramentos em cinco etapas de campo, além da interpretação geológica de imagens de satélite da EMBRAPA (TM-Landsat 5) e de fotografias aéreas da CPRM (escalas 1:65.000 e 1:40.000).

Os trabalhos de mapeamento geológico foram acompanhados por (i) levantamentos estratigráficos de detalhe, como aferição e confecção de seções colunares segundo método de Selley (1987, 2000); (ii) análises de fácies sedimentares, de acordo com os conceitos propostos por Walker e James (1992) e Reading (1996); (iii) estabelecimento de litofácies sedimentares segundo a proposição de Miall (1977, 1978), (iv) análises de elementos arquitetônicos conforme os conceitos de Miall (1985, 1996, 2000) e de Miall & Tyler (1991). Também foram utilizados os conceitos sobre modelos de fácies para sistemas lacustres de Anadon *et al.* (1991), Talbot & Allen (1996), Cavinato *et al.* (2002) e Saes & Cabrera (2002), e sistemas fluvio-lacustres de Malka *et al.* (1999), Bordy e Catuneanu (2001), Jones *et al.* (2001) e Scherer *et al.* (2007). Nesta etapa da pesquisa foram elaborados painéis fotográficos (fotomosaicos) de acordo com os trabalhos de Sgavetti (1991) e Wisevic (1991) para auxílio na interpretação dos elementos arquitetônicos. Foi realizada, ainda, a coleta de medidas de paleocorrentes em algumas das seções levantadas.

A análise de paleocorrentes baseou-se na medição sistemática de estruturas sedimentares indicadoras de paleofluxo, principalmente estratificações cruzadas acanaladas e tabulares, conforme métodos de Miall (1974, 1996, 2000), Potter e Pettijohn (1977) e Assine (1994). Quando necessário, os dados coletados foram corrigidos de forma a se restabelecer a

posição original de cada plano ou eixo antes da deformação e conseqüente basculamento das camadas.

A interpretação dos sistemas deposicionais foi feita com base no estudo sobre associações de fácies de Walker (1992), Schanley e McCabe (1994), Reading (1996), Selley (2000).

A partir da união de todas as informações foi possível realizar o reconhecimento dos padrões de empilhamento e a caracterização das principais unidades litoestratigráficas, o que permitiu concluir uma interpretação a respeito dos sistemas deposicionais pretéritos que contribuíram para a evolução estratigráfica e paleogeográfica Formação Brejo Santo.

O material para estudo paleontológico foi proveniente de coletas realizadas em exposições da Formação Brejo Santo (Fig. 2). Foram coletadas amostras de rochas potencialmente fossilíferas (arenitos calcíferos, calcários argilosos, siltitos calcíferos, argilitos e folhelhos) para a separação de ostracodes. A identificação dos organismos foi em nível de gênero e espécie. A metodologia adotada para o tratamento das amostras seguiu os procedimentos recomendados pelo laboratório do setor de sedimentologia e estratigrafia da Unidade de Operações de Sergipe-Alagoas (UO-SEAL/EXP/SE) PETROBRAS, no Estado de Sergipe. Para o peneiramento do material foram utilizadas três peneiras de diâmetros 250 µm, 180 µm e 75µm.

Em 15 das 17 amostras estudadas foram identificados restos de microfósseis. Desse universo, três amostras são eminentemente de puro ostracodito (1, 2 e 8).

A identificação e classificação das espécies foram realizadas por Cecília L. Barros com a co-orientação do especialista Paulo César Galm, do Setor de Sedimentologia e Estratigrafia da Unidade de Operações de Sergipe-Alagoas (UO-SEAL/EXP/SE) PETROBRAS, em Sergipe.

A sistemática supragenérica segue aquela apresentada por Whatley *et al.*

(1993), exceto para as grafias de Cytheroidea e Darwinuloidea, que seguem recomendações da ICZN – *International Commission on Zoological Nomenclature* – (2000, Artigo 29.2).

FORMAÇÃO BREJO SANTO

Aspectos sedimentológicos e litológicos

A Formação Brejo Santo apresenta exposições (Fig. 2) que se concentram nas proximidades dos municípios de Brejo Santo (área-tipo), Mauriti, Milagres e Missão Velha, no Estado do Ceará. Esta unidade apresenta poucas áreas de afloramentos naturais. De forma geral, as exposições dessa unidade ocorrem sob a forma de extensas superfícies arrasadas, resultantes de intemperismo e processos pedogenéticos, compostas por solos típicos caracterizados

por textura areno-argilosa de coloração vermelho-amarronzado (Fig. 3).

O nome da formação deriva da localidade-tipo situada nos arredores da cidade de Brejo Santo, no Estado do Ceará que, de acordo com Cavalcanti & Viana (1992), tem como seção-tipo afloramento em calha natural localizada a 6,6 km da entrada da cidade de Brejo Santo na rodovia BR-116, a cerca de 200 metros da estrada, no sentido de Milagres. Nesta localidade a formação assenta-se discordantemente sobre a Formação Cariri (siluro-devoniana ?) e é superposta, em contato concordante, pela Formação Missão Velha. O poço 2-AP-1-CE, executado nas proximidades da cidade de Araripe (CE) na chapada homônima, perfurou 429 metros desta formação, no intervalo de 1023 a 1452 metros de profundidade (Ponte & Appi, 1990).



Figura 3 – Ocorrência típica da Formação Brejo Santo em ravina da Fazenda Água Fria. Solos argilosos de cor avermelhada.

A Formação Brejo Santo apresenta uma espessura máxima de 450 m, e a sua exposição se restringe a norte e a nordeste da bacia. A unidade foi definida por Gaspary & Anjos (1964) que a caracterizaram pela presença de folhelhos e argilitos bem

estratificados de cor vermelha a marrom e de arenitos calcíferos esverdeados. Representa a base da primeira fase lacustre da Bacia do Araripe, com alguma influência fluvial (Fambrini *et al.*, 2007, 2008, 2010 a, b, 2011 b, c, em prep. a, b).

Esta unidade exibe predominantemente argilitos e folhelhos avermelhados com níveis de concreções calcárias intercalados com folhelhos verdes amarelados com lamina de calcita. Arenitos esbranquiçados, presentes nos folhelhos e argilitos, são encontrados de forma menos representativa, porém, formam corpos mais proeminentes e reagem fortemente à presença de HCl.

Em termos litológicos é constituída principalmente por rochas finas, tais como (i) argilitos e folhelhos argilosos e calcíferos castanho-avermelhados, compostos basicamente por argilominerais de baixo grau diagenético, estratos muitas vezes intensamente laminados, mas maciços também ocorrem, sendo a rocha friável e (ii) siltitos cinza-esbranquiçados a esverdeados. Subordinadamente, comparecem arenitos finos a muito finos argilosos, laminados, por vezes de grã média, esbranquiçados. Intercalados nos pelitos ocorrem níveis delgados de calcário argiloso e, principalmente, arenitos calcíferos, copiosamente fossilíferos. Dentre os fósseis são abundantes restos de ostracodes, às

vezes, formando bancos decimétricos de acúmulo de carapaças, que constituem ostracoditos (Assine, 1992, 2007, Fambrini *et al.*, em prep. a). Os próprios pelitos são frequentemente ricos em carapaças destes crustáceos, o que os torna comumente calcíferos, achando-se presentes formas típicas do Andar Dom João, como *Bisulcocypris pricei* PINTO & SANGUINETTI e *Darwinula oblonga* ROEMER (Assine, 1992, 2007; Coimbra *et al.*, 2002), anteriormente constatadas por Braun (1966).

Os folhelhos e argilitos avermelhados freqüentemente mostram-se mosqueados, com manchas e laminações de coloração verde claro a cinza esbranquiçado e apresentam nódulos calcários e níveis esbranquiçados calcíferos que reagem fortemente à presença de HCl (Fig. 4). Em outros afloramentos observou-se que os níveis calcíferos reagem fracamente e, em alguns casos, não reagem ao HCl devido aos processos diagenéticos como silicificação e dolomitização.

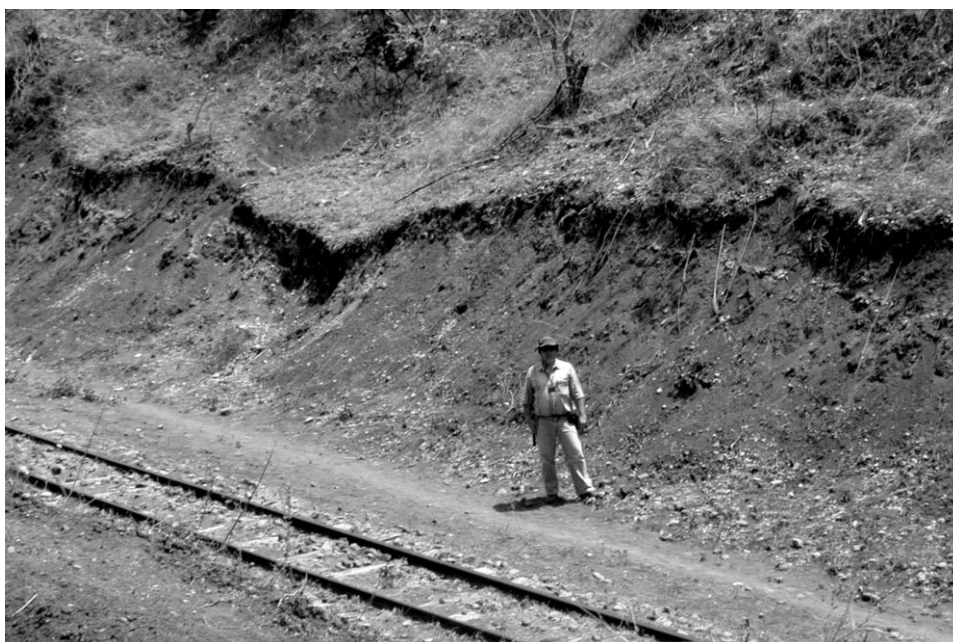


Figura 4 – Ocorrência da Formação Brejo Santo constituída por folhelhos amarronzados com intercalações de siltitos cinza claro a esverdeados. Corte de estrada de ferro Missão Velha-Crato nas proximidades da Cachoeira de Missão Velha (ponto AR-15).

Localmente a unidade mostra-se constituída por arenitos finos a médios, argilosos, com estratificação plano-paralela e, de modo subordinado, estratificação cruzada tabular, siltitos e argilitos marrons e esverdeados. O conjunto mostra-se muito friável, empastilhado e intemperizado, notadamente os folhelhos. Dentre as estruturas sedimentares presentes destacam-se, além da laminação plano-paralela nos folhelhos e arenitos finos, laminação cruzada cavalgante (*climbing-ripples*) e gretas de contração no topo das camadas dos arenitos. Por vezes os argilitos também

podem apresentar gretas de dessecação no topo das camadas. As gretas indicam períodos de exposição subaérea do substrato do(s) lago(s), mostrando a presença de estações secas e úmidas na região, que se alternavam.

Observou-se que em fraturas que afetam os folhelhos e argilitos avermelhados da unidade, há o preenchimento por material carbonático (efervesce ao contato com HCl) que, de acordo com Braun (1966), seriam de calcita, formando lâminas orientadas de acordo com a direção das fraturas (Fig. 5).



Figura 5 – Lâminas de calcita nos folhelhos da Formação Brejo Santo em corte da Ferrovia Transnordestina. Figura 6 – Visão geral das rochas da Formação Brejo Santo em corte da Ferrovia Transnordestina próximo à cidade de Brejo Santo (ponto JT-15). Notar mergulho das camadas para sul ($\sim 10^\circ$). Círculo indica escala.

Medidas das atitudes dos acamamentos dos depósitos de rochas finas exibem sentidos médios em conformidade com as falhas existentes onde, mergulhando para sul estão os folhelhos a sul do afloramento JT-33 (onde se inclui o afloramento JT 15, fig. 6) e, mergulhando para norte, estão os

ANÁLISE DE FÁCIES DA FORMAÇÃO BREJO SANTO

As principais fácies reconhecidas nos depósitos da Formação Brejo Santo, de

folhelhos a norte do afloramento JT-31, pelos quais possuem mergulhos altos quando estão próximos dos afloramentos das falhas. Tornam-se com mergulhos rasos quando está fora das zonas de influência das falhas comportamento este, comum (Fig. 6).

acordo com os fatores utilizados para sua distinção, foram:

- (i) Fl – folhelhos vermelhos, marrons, laminados com intercalações decimétricas de siltitos argilosos esverdeados com camadas centimétricas de folhelhos

- avermelhados mosqueados com “nódulos calcários” e arenitos finos calcíferos;
- (ii) Fm – argilitos vermelho-arroxeados, maciços;
 - (iii) Lc – camadas de calcários argilosos dossilíferos;
 - (iv) Acl – camadas de arenitos calcíferos;
 - (v) Ap (Sh) – arenitos brancos, finos, com estratificação plano paralela, subordinadamente ocorrem níveis decimétricos (40-80 cm) de arenitos finos argilosos;
 - (vi) Aa (St) – arenitos brancos, finos, estratificação cruzada acanalada;
 - (vii) At (Sp) – arenitos amarelo esbranquiçados, finos, estratificação cruzada tabular.

Foi possível a partir do afloramento JT 15 a construção de seção estratigráfica com o detalhamento das associações de fácies (Fig. 8). Na base da seção encontram-se folhelhos da Fácies Fsc intercalados a arenitos finos com estratificação plano paralela da Fácies Fl (Fig. 8). Este afloramento corresponde a folhelhos vermelho-arroxeados da litofácies Fl intercalados a níveis de arenitos finos esbranquiçados com estratificação cruzada planar e estratificação plano paralela das fácies At e Ap, respectivamente, que mergulham para sul (Fig. 6)

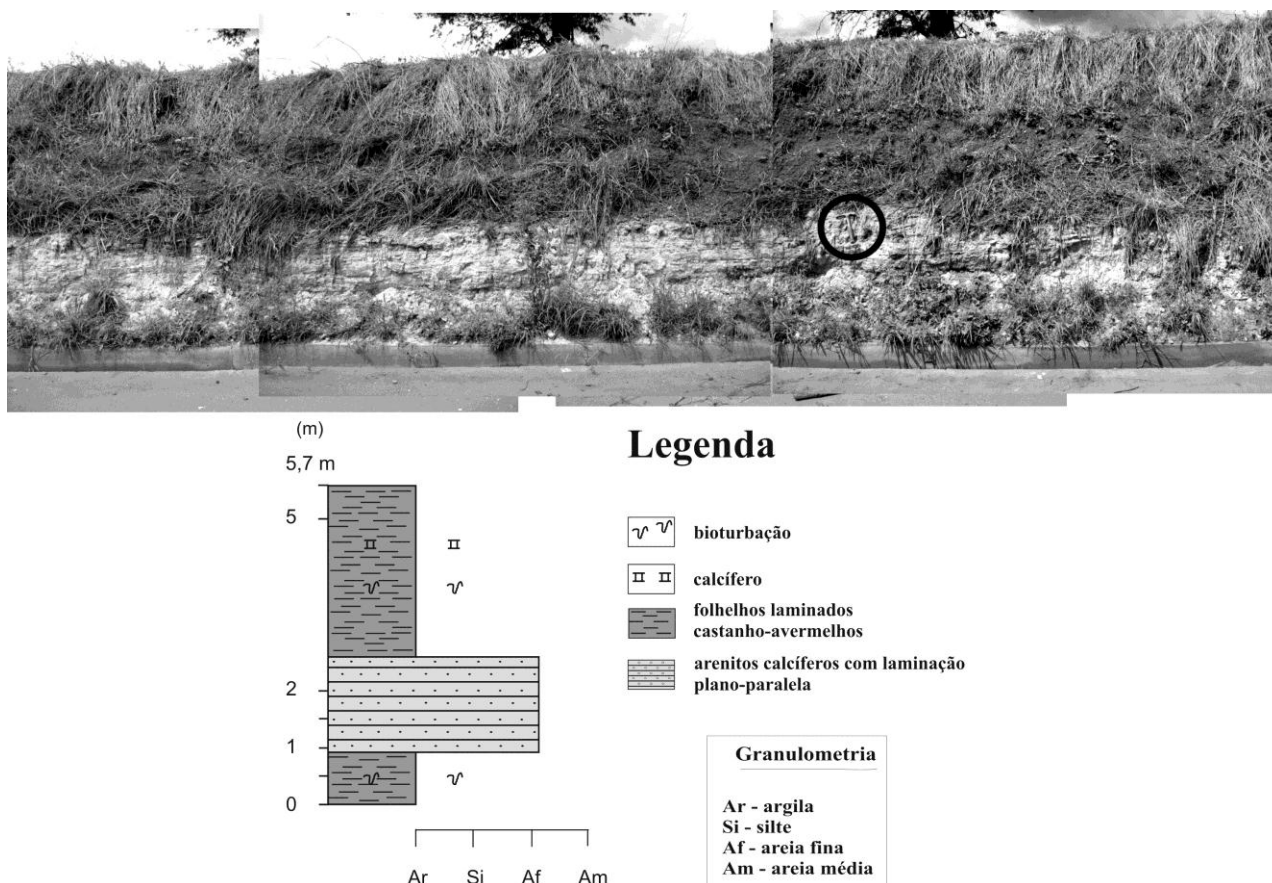


Figura 7 – Fotomontagem de parte do afloramento BAR- 152. Folhelhos avermelhados com intercalação de arenitos calcíferos ricos em ostracodes da Formação Brejo Santo. Corte da Ferrovia Transnordestina nas proximidades do Sítio Geral (ponto DO-12).

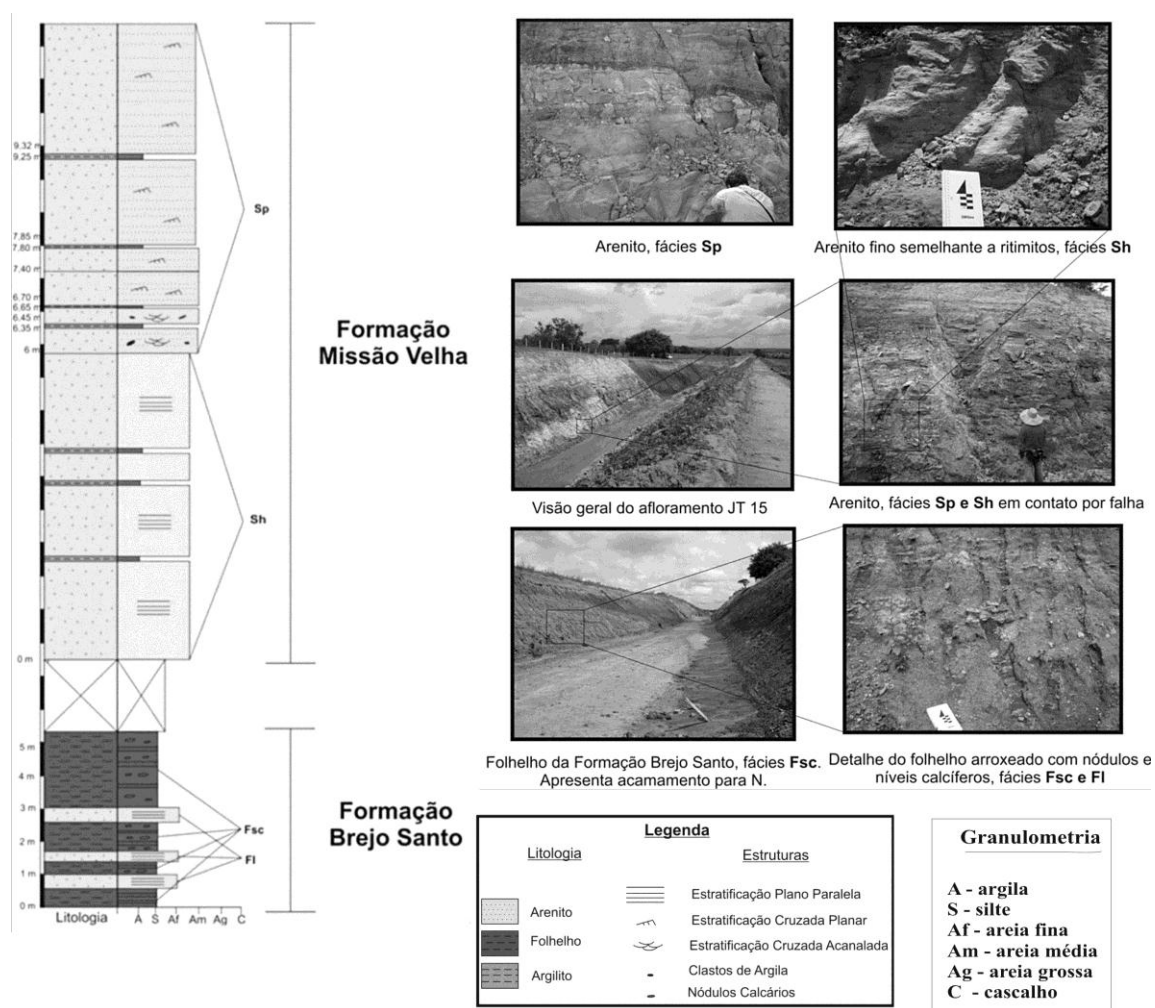


Figura 8 – Seção estratigráfica do afloramento JT 15. Folhelhos da base são pertencentes à Formação Brejo Santo. Modificada de Araujo (2009).

CONTEÚDO PALEONTOLÓGICO

A Formação Brejo Santo é conhecida por conter fósseis de vertebrados, como peixes ósseos (Assine, 1990, 1992), de peixes cartilaginosos, como dentes de tubarão, de conchostráceos, tais como *Bairdestheria mawsoni*, *mirandibensis* R.C. e *Paleolimnadiopsis barbosai* R.C. (Braun, 1966), e escassa microflora, tais como raros exemplares de *Classopolis*, *Araucariacites*, *Triletes* e *Dissacados* (Arai et al., 1989, 2001). Na porção superior da formação, intercaladas aos depósitos pelíticos, ocorrem camadas de calcário argiloso, calcarenitos e,

principalmente, arenitos calcíferos. Em algumas destas camadas ocorre acumulação de restos de ostracodes que chegam a compor níveis decimétricos de ostracoditos (Ponte & Appi, 1990; Assine, 1990, 1992) (Figs. 9 e 10).

Nos litotipos de granulometria fina da Formação Brejo Santo, o acúmulo de carapaças de ostracodes acaba influenciando na composição calcífera dessas camadas. As formas mais abundantes, típicas do andar Dom João, são *Bisulcocypris pricei* PINTO & SANGUINETTI e *Darwinula oblonga* ROEMER (Brito, 1987; Arai et al., 1989; Ponte & Appi, 1990; Assine, 1990, 1992;

Srivastava & Cavalcante, 2001; Arai *et al.*, 2001; Coimbra *et al.*, 2002; Barros,

2010, Barros *et al.*, 2011), previamente relatadas e descritas por Braun (1966).

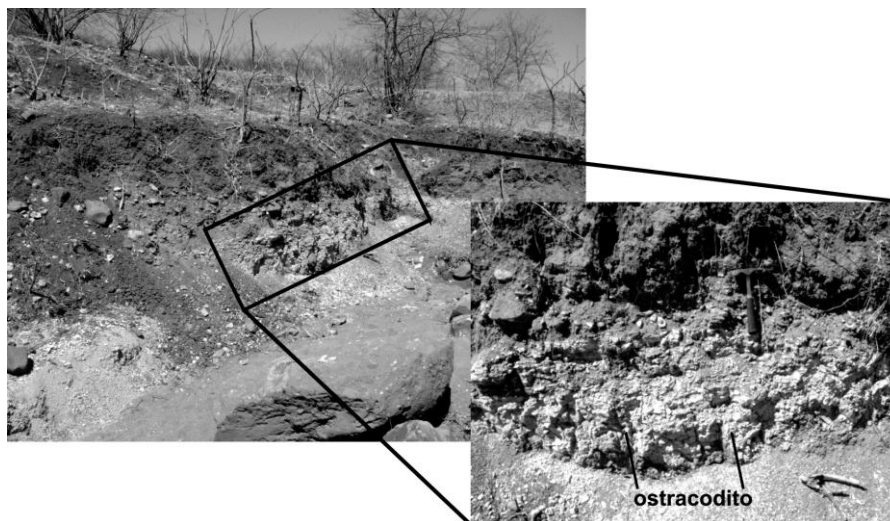


Figura 9 – Aspecto geral do afloramento BAR-24 mostrando os locais amostrados de níveis de arenitos calcíferos e calcários, ricos em ostracodes da Formação Brejo Santo (puro ostracodito). Ravina à beira da rodovia CE-293.

Sedimentos da parte superior da Formação Brejo Santo apresentam localmente (*e.g.* Fig. 10) camadas muito enriquecidas de restos esqueléticos de vertebrados – os *bone beds*, com cerca de 20 metros de espessura (Viana *et al.*, 2002). Estes autores identificaram quatro feições preservacionais (FP) dos restos esqueléticos encontrados, corroboradas neste trabalho. A variação nas feições está relacionada, segundo os autores, a intensidade do transporte envolvida: FP1 – fragmentos de ossos isolados ou ossos inteiros semiarticulados de peixes grandes (maiores que 70 cm), ainda angulosos (com extremidades intactas); FP2 – dentes de répteis e de peixes isolados de diversos tamanhos (0,05 – 1,5 cm), exibindo estrias e cristas pontiagudas, ou escamas isoladas do tipo *Lepidotes*; FP3 – placas dérmicas desarticuladas e fragmentadas apresentando efeito de abrasão nas bordas; e FP4 – fragmentos relativamente pequenos (máximo 3 cm) de ossos, arredondados, ovalados ou discóides, muito retrabalhados. Além disso, ocorrem

ainda registros de restos de invertebrados que devem ter sido transportados por corrente de baixa energia o que gerou acumulações de conchas articuladas de ostracodes e conchostráceos. Estas acumulações contêm variedade de estágios ontogenéticos (jovens e adultos), sugerindo que o fenômeno de acumulação está relacionado a períodos de mortandade em massa. Também são frequentes registros de icnofósseis, pertencentes à icnofácies lacustre *Mermia*, que representam possivelmente acumulações *in situ* (Viana *et al.*, 2002). Dessa forma, sugere-se, além da preservação *in situ*, caracterizando este ambiente lacustre, com relativa oxigenação, a existência de três outras fontes de aporte dos ossos de vertebrados que representariam incursões fluviais nesse lago: (1) aporte de material proveniente de local mais distante (FP4), representado pelos ossos muito retrabalhados; (2) aporte de material proveniente de local não muito distante (FP3 e FP2), traduzido pelos dentes de répteis e de peixes e pelas placas dérmicas

desarticuladas e (3) aporte de material proveniente de local mais próximo (FP1), envolvendo a presença de ossos inteiros semiarticulados.

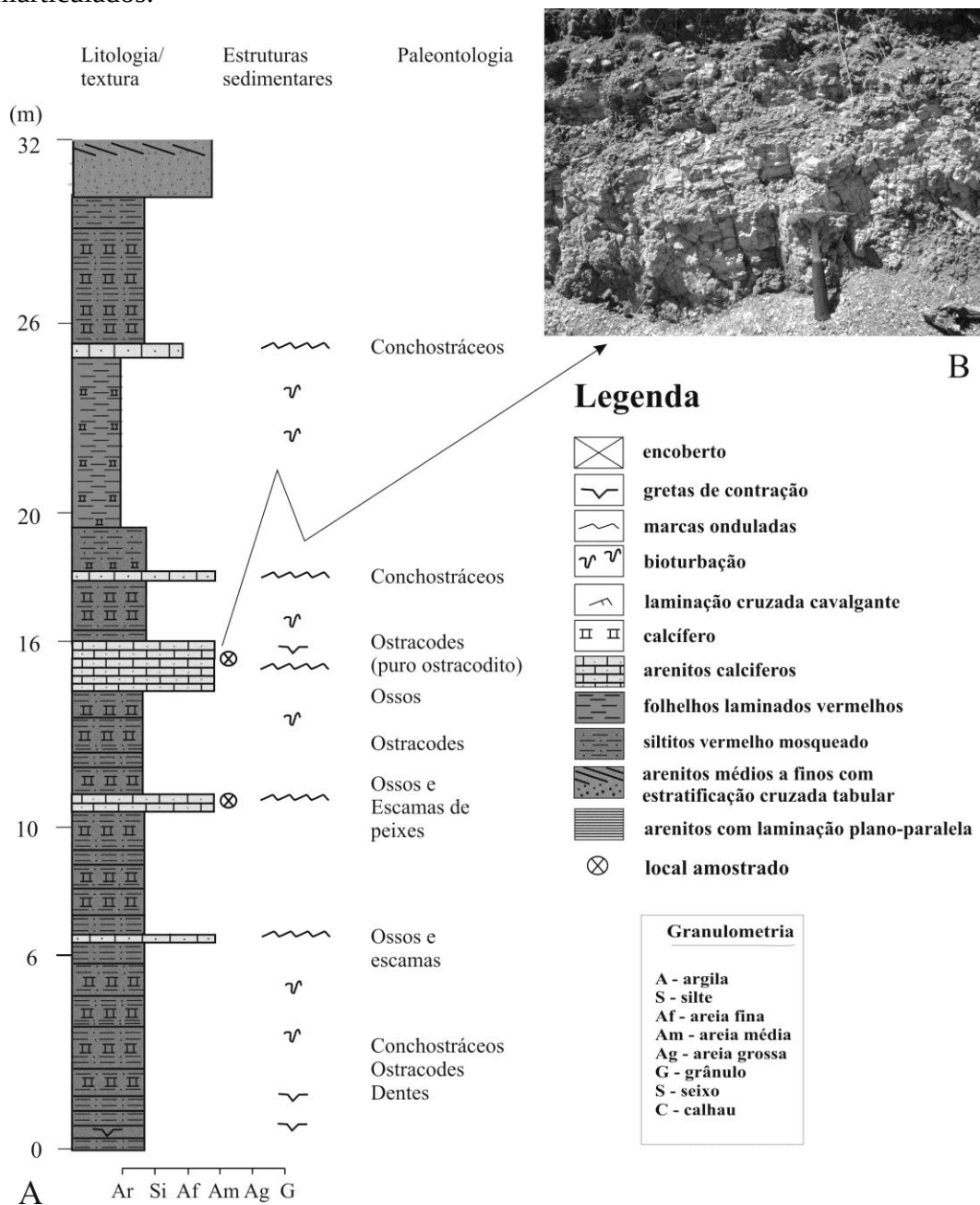


Figura 10 – Afloramento BAR-24 mostrando os locais amostrados de níveis de arenitos calcíferos ricos em ostracodes da Formação Brejo Santo na localidade de Olho D’água do Comprido, à beira da rodovia CE-293, distante cerca de 5 km a leste da cidade de Missão Velha. O conteúdo paleontológico é mostrado igualmente no nível estratigráfico correspondente. A: Seção colunar composta de detalhe, B: foto da camada de arenito calcífero e calcário argiloso com o local amostrado para micropaleontologia. Conteúdo fóssilífero extraído em parte de Viana *et al.* (2002).

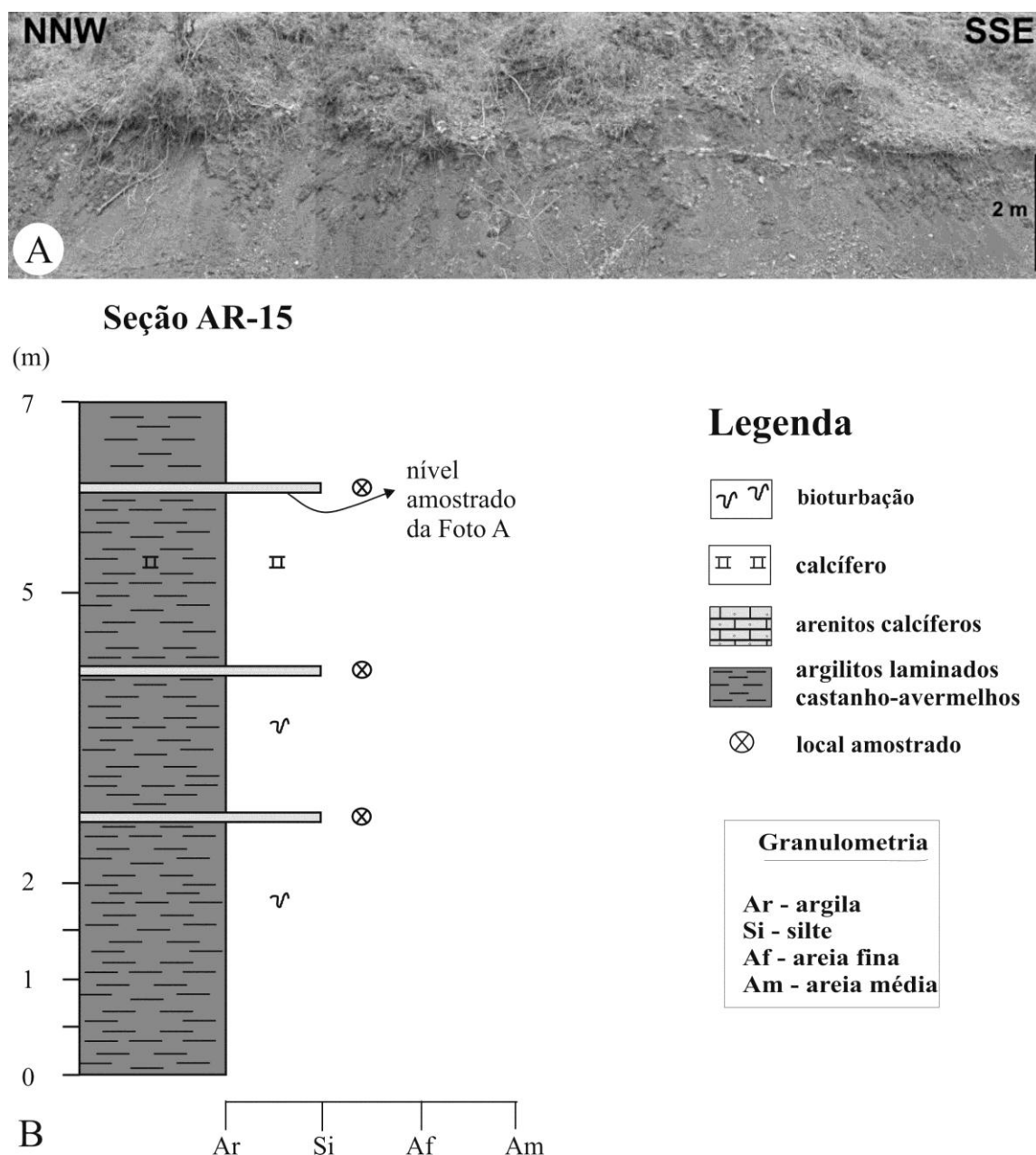


Figura 11– Aspecto geral do afloramento AR-15 onde foram amostrados níveis calcíferos da Formação Brejo Santo. Corte da ferrovia Missão Velha-Crato nas proximidades da Cachoeira de Missão Velha.

Durante as etapas de mapeamento das exposições da Formação Brejo Santo (e.g. Fig. 11), foram realizadas coletas de amostras para análise micropaleontológica. Os resultados das análises mostraram um abundante conteúdo de ostracodes não marinhos, conforme está descrito na Tabela 1. Com a coleta das amostras, foi possível

identificar a ocorrência dos ostracodes com Lupa com lente de 3.4 μ m (Tabela 1). Em 15 das 17 amostras estudadas foram identificados restos de microfósseis. Dentro das 15 amostras com conteúdo positivo para ostracodes, 3 amostras foram coletadas dos níveis de ostracoditos ricos em carapaças (amostras 1, 2 e 8, vide Tabela 1).

TABELA 1: Identificação e Classificação dos Ostracodes (Barros *et al.*, 2011).

Nº do afloramento	Nº das amostras	Identificação das amostras	Gêneros e espécies de Ostracodes presentes
01	1	BAR 148-3 Nível C7	<i>Darwinula oblonga</i>
			<i>Darwinula leguminella</i>
			<i>Bisulcocypris pricei</i>
			<i>Theriosynoecum miritiensis</i>
			<i>Theriosynoecum quadrinodosum</i>
	2	BAR 148-4 Nível C7	<i>Darwinula oblonga</i>
			<i>Darwinula leguminella</i>
			<i>Bisulcocypris pricei</i>
			<i>Theriosynoecum miritiensis</i>
			<i>Theriosynoecum quadrinodosum</i>
02	3	JT15a	SRO
	4	JT 15b	SRO
	5	JT15c	SRO
03	6	D 12	SRO
04	7	D 13	SRO
05	8	BAR 152	<i>Theriosynoecum aff. miritiensis</i>
			<i>Darwinula oblonga</i>
			<i>Darwinula leguminella</i>
			<i>Reoncavona ? incertae</i>
06	9	DO 1	SRO
07	10	BAR 24	<i>Darwinula oblonga</i>
			<i>Darwinula leguminella</i>
			<i>Reoncavona ? incertae</i>

	11	BAR 24	<i>Darwinula oblonga</i>
			<i>Darwinula leguminella</i>
			<i>Reconcavona ? incertae</i>
08	12	BAR 76-1	<i>Reconcavona ? incertae</i>
	13	BAR 76-2	<i>Darwinula sp.</i>
	14	BAR 76-3	SRO
09	15	BAR 15	<i>Theriosynoecum sp.</i>

SRO= Sem Recuperação de Ostracodes. Amostra estéril para ostracodes.

INTERPRETAÇÃO DOS SISTEMAS DEPOSICIONAIS E IDADE DA FORMAÇÃO BREJO SANTO

Os resultados da presente investigação sugerem que as rochas da Formação Brejo Santo foram depositadas em sistemas lacustres nos quais ocorriam variações bruscas no nível dos lagos e/ou lagoas. As variações de coloração encontradas nas rochas finas da unidade podem estar relacionadas às sazonalidades do nível destes lagos, representados por períodos de exposição subaérea. Os estratos de granulometria fina de coloração avermelhada possivelmente representavam depósitos de lama que se oxidaram devido às variações bruscas do nível do lago, segundo Assine (1992) originados em depressões amplas e rasas, condições propícias à formação de camadas vermelhas (*red-beds*). Isto fica comprovado pelas gretas de dessecação nos pelitos e arenitos calcíferos que demonstram a exposição do fundo lacustre e, principalmente, pela presença de fósseis de conchostráceos de água doce, como discutido por Carvalho & Arai (2001) para rochas correlatas das bacias de Sergipe e de Alagoas. Por outro lado, os níveis de rochas finas de coloração esverdeada representariam fases mais profundas do nível do(s) lago(s).

Nos argilitos, folhelhos e siltitos da Formação Brejo Santo são abundantes restos fósseis de conchostráceos cujos gêneros usualmente habitam lagos efêmeros (intermitentes) sob condições climáticas quentes e de estação seca bem definida (*vide* Carvalho & Arai, 2001). Estes organismos, em função de seu ciclo de vida, necessitam da diminuição do nível do lago, normalmente causada por intensa evapotranspiração, pois as ovas são colocadas nos períodos de estação seca. Também há a presença importante de ostracodes não marinhos que se encontram concentrados em níveis carbonáticos cinza-esverdeados que se intercalam nos horizontes avermelhados (*red beds*).

A sedimentação formada por rochas de granulação fina indicam deposição lacustre. A presença de camadas delgadas de arenitos com estratificações cruzadas sugerem influência fluvial no ambiente lacustre. Inclusive seria responsável, possivelmente, pelo aporte de ossos retrabalhados e dentes de répteis e de peixes.

O registro de organismos exclusivamente não marinhos (tais como os conchostráceos e, principalmente, ostracodes) reforça a convicção de sedimentação continental (Assine, 1992, 2007, Barros, 2010, Barros *et al.*, 2011),

gerada por sistemas lacustres favoráveis à formação de *red beds*. Assim, o sistema deposicional da Formação Brejo Santo é interpretado como continental lacustre tipo *playa-lake*, com aporte de sedimentos trazidos por rios efêmeros, formado por lagos e/ou lagoas intermitentes que evaporam por condições climáticas e tectônicas (variações do nível do lago).

Fambrini et al (2007, 2008, 2010 a,b; em prep. a) associaram os pelitos da Formação Brejo Santo à deposição lacustre sob influência fluvial, também considerando a unidade como a primeira fase lacustre da Bacia do Araripe. Rosa & Garcia (2000) e Garcia et al. (2005) também sugeriram origem continental para a unidade, embora em contexto mais amplo.

A idade da Formação Brejo Santo foi situada no Jurássico Superior (Andar Dom João) em função da presença de organismos ostracodes não marinhos, formas típicas deste andar, tais como *Bisulcocypris pricei* e *Darwinula oblonga* (Braun, 1966; Coimbra et al., 2002). Além dos fósseis de ostracodes não marinhos e conchostráceos de água doce, ocorrem restos de peixes ósseos, de formas de tubarões de água doce (*Hybodus*) e de plantas. Coimbra et al. (2002) reportaram, ainda, a ocorrência de associações palinológicas indicativas da *Zona Dicheiropollis* sp. A/*Leptolepidites* ssp. que também indicam o andar Dom João como idade para as rochas da Formação Brejo Santo (Biozona NRT-001), idade esta também sugerida pelo resultado obtido na análise por ostracodes efetuada por Barros (2010) e Barros et al. (2011).

CONCLUSÕES

A Formação Brejo Santo é composta por depósitos de sistemas lacustres, caracterizados pela presença de moluscos de água doce concentrados em níveis carbonáticos (arenitos calcíferos e calcários) cinza-esverdeados que se

intercalam em folhelhos e argilitos avermelhados (*red beds*). Corpos de arenitos com estratificações cruzadas são indicativos de influência fluvial no sistema lacustre, corroborada pela presença de restos de ossos de peixes retrabalhados.

As fácies e associações de fácies descritas foram interpretadas como geradas por (i) sistemas lacustres nos quais ocorriam variações bruscas e periódicas do nível d'água dos lagos e/ou lagoas, e dos (ii) sistemas fluviais efêmeros que alimentavam estes lagos.

As variações de coloração das camadas podem estar relacionadas às variações sazonais do nível do lago (períodos de exposição subaérea). Os estratos de granulometria fina de coloração avermelhada possivelmente representavam depósitos de lama que se oxidaram devido às variações bruscas do nível do lago. Por outro lado, os níveis de rochas finas de coloração esverdeada representariam fases mais profundas do nível do(s) lago(s). No entanto, tais hipóteses necessitam ser comprovadas por análises químicas dos sedimentos.

A ocorrência abundante de organismos fósseis, tais como ostracodes não marinhos e conchostráceos, sugere que os sedimentos da Formação Brejo Santo teriam sido depositados, possivelmente, em condições climáticas quentes e de estação seca bem definida, corroborando a interpretação deposicional. O registro de formas exclusivamente não-marinhas (tais como conchostráceos e ostracodes) sugere sedimentação continental em sistemas lacustres. A presença de níveis delgados carbonáticos com feições de dessecação podem evidenciar a ocorrência de evaporitos e, assim, serem favoráveis à formação de camadas de *red beds*.

Assim, o paleoambiente de deposição da Formação Brejo Santo era composto por sistemas lacustres, com aporte de sedimentos trazidos por rios efêmeros,

formado por lagos e/ou lagoas intermitentes que sofriam evaporação periódica. Com a redução da lamina d'água devido às condições climáticas e tectônicas relacionadas as fases de rifteamento, que atuavam na formação de uma grande bacia denominada por Ponte & Asmus (1978) de Depressão Afro-Brasileira, desenvolvida no Andar Dom João, tais lagos puderam se originar.

A Formação Brejo Santo representa o início do processo de subsidência formador da Depressão Afro-Brasileira, sendo responsável pelo registro de aproximadamente 450 m de sedimentos finos lacustres. No entendimento de Fambrini *et al.* (2007, 2008) a unidade estabelecerá o desenvolvimento do primeiro sistema lacustre completo da Bacia do Araripe resultando na deposição de até 1300 m de sedimentos pelíticos lacustres (devido à compactação de minerais de argila constituintes dos pelitos).

Agradecimentos

Agradecimentos são devidos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro (Processo Universal nº 476232/2006-6 concedido em nome de G.L. Fambrini), pela bolsa de produtividade em pesquisa de Virginio H.M.L. Neumann e pela bolsa de mestrado de C.L. Barros. Os autores agradecem à empresa PETROBRAS, em particular a James Vitor Ferreira, gerente do setor de Sedimentologia e Estratigrafia da Unidade de Operações de Sergipe-Alagoas (UO-SEAL/EXP/SE), PETROBRAS, no Estado de Sergipe, pela confiança, oportunidade e colaboração no desenvolvimento deste trabalho. Ao Laboratório de Geologia Sedimentar (LAGESE/UFPE) pela infra-estrutura disponibilizada para realização deste trabalho. Ao PRH-26/ANP/FINEP/UFPE

pelas bolsas de graduação de Jadson T. Araújo e José Acioli B. Menezes Filho e pelo auxílio nos trabalhos de campo. Ao Prof. Visitante Dr. Haydon Mort (UFPE) pela revisão do *Abstract*. Os autores externam, ainda, agradecimentos aos geólogos Prof. Dr. Wellington Ferreira da Silva Filho (DGEO-UFC), Prof. Dr. Alexandre Magno Feitosa Sales (URCA-CE), Sidney Tesser Jr. (Weatherford International Ltd.) e Diógenes Ribeiro de Lemos (Caraíba Metais) pelo auxílio nos trabalhos de campo. O editor da Revista Estudos Geológicos, Prof. Gorki Mariano, assim como os revisores anônimos, recebem nossos sinceros agradecimentos pelas valiosas sugestões e exímia revisão que muito aprimoraram o manuscrito original.

REFERÊNCIAS

- Anadon P.; Cabrera L. & Kelts, K. (eds.). 1991. *Lacustrine Facies Analysis. Spec. Publ. Int. Assoc. of Sediment.*, 13, Blackwell Scient. Publ., 319 p.
- Arai, M.; Coimbra, J.C.; Silva-Telles Júnior, A.C., 2001. Síntese Bioestratigráfica da Bacia do Araripe (Nordeste do Brasil). In: SIMPÓSIO SOBRE A BACIA DO ARARIPE E BACIAS INTERIORES DO NORDESTE, 2, 1997, Crato. *Atas...* Crato: Departamento Nacional da Produção Mineral, Universidade Regional do Cariri, Sociedade Brasileira de Paleontologia, p. 109-117; p. 122-124. (Coleção Chapada do Araripe, n. 1).
- Arai, M.; Hashimoto, A.T.; Uesugui, N. 1989. Significado cronoestratigráfico da associação microflorística do Cretáceo Inferior do Brasil. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 3(1/2):87-103.
- Arai, M., 2006. Revisão estratigráfica do Cretáceo Inferior das Bacias Interiores

- do Nordeste do Brasil. *Geociências*, São Paulo, UNESP, v. 25, n. 1, p. 7-15.
- Araujo, J.T. 2009. *Mapeamento geológico e faciológico das unidades pré-rifte e rifte da Bacia do Araripe na região de Brejo Santo – CE*. Monografia de Graduação, UFPE, Recife, 119 p.
- Assine, M.L. 1990. *Sedimentação e Tectônica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil*. Rio Claro. 124 p. (Dissertação de Mestrado, IGCE/UNESP).
- Assine, M.L. 1992. Análise estratigráfica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 22(3): 289-300.
- Assine M.L. 1994. Paleocorrentes e paleogeografia na Bacia do Araripe, nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 24(4):223-232.
- Assine, M.L. 2007. Bacia do Araripe. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 15(2): 371- 389.
- Barros, C.L. 2010. *Ostracodes da Formação Brejo Santo (Neojússico?), Sub-Bacia leste do Araripe, Nordeste do Brasil: Implicações bioestratigráficas*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, 100 p.
- Barros, C.L., Fambrini, G.L., Galm, P.C., Agostinho S. 2011. Ostracodes da Formação Brejo Santo (Neojússico?), Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil: implicações paleoambientais e sistemática paleontológica. *Estudos Geológicos UFPE*, 21(1): 105-122.
- Batista, Z.V., Valença, L.M.M., Fambrini, G.L.; Silva, S.M.A.; Neumann, V.H.M.L., Santos, C.A., Barros, C.L., no prelo. Análise de fácies da Formação Cariri, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Estudos Geológicos UFPE*, 22(1), 2012.
- Berthou, P.Y. 1994. Critical analysis of the main publications about the stratigraphical framework of the Paleozoic and Mesozoic sedimentary deposits in the Araripe Basin (Northeastern Brazil). 3o. Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, Rio Claro, 123-126.
- Beurlen, K. 1962. A geologia da Chapada do Araripe. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 34, n. 3, p. 365-370.
- Beurlen, K. 1963. Geologia e estratigrafia da Chapada do Araripe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 17., 1963. Recife, *Anais...* Recife: SBG/SUDENE, 1963. 47 p. (Suplemento).
- Bordy, E.M. & Catuneanu, O. 2001. Sedimentology of the upper Karoo fluvial strata in the Tuli Basin, South Africa. *Journal of African Earth Sciences*, 33: 605-629.
- Braun, O.P.G. 1966. Estratigrafia dos Sedimentos da Parte Inferior da Região Nordeste do Brasil (Bacias do Tucano-Jatobá, Mirandiba e Araripe). Rio de Janeiro, DNPM/DGM. 75 p. (Boletim 236).
- Brito, L.M. 1987. As unidades litoestratigráficas da passagem Jurássico-Cretáceo do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 17(2):81-85.
- Brito Neves, B.B. 1990. A Bacia do Araripe no contexto geotectônico regional. In: Simpósio sobre a Bacia do Araripe e bacias interiores do Nordeste, I, 1990, Crato. *Atas...* Grato, DNPM, p. 21-33.
- Carvalho, I.S. & Arai, M. 2001. Os fósseis da Bacia de Sergipe-Alagoas. Os Crustáceos: conchostráceos. Boletim da Fundação Paleontológica Phoenix, Aracaju, Sergipe, 29:1-2.
- Cavalcanti, V.M.M. & Viana, M.S.S. 1992. Revisão estratigráfica da Formação Missão Velha, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 6 (2): 155-168.

- Cavinato, G.P.; Carusi, C.; Dall'Asta, M.; Miccadei, E.; Piacentini, T. 2002. Sedimentary and tectonic evolution of Plio-Pleistocene alluvial and lacustrine deposits of Fucino Basin (central Italy). *Sedimentary Geology*, 148(1-2): 29-59.
- Coimbra, J.C., Arai, M. & Carreño, A.L. 2002. Lower Cretaceous microfossils from Araripe basin, Northeastern Brazil: an stratigraphical approach. *Geobios*, 35(6): 687-698.
- Colin, J.P. & Depeche, F. 1997. Faunes d'ostracodes lacustres des bassins intra-cratoniques d'âge Albo-Aptien en Afrique de l'Ouest (Cameroun, Tchad) et au Brésil: Considérations d'ordre paléoécologiques et paléobiogéographiques. *African Geoscience Review*, 4(2/3):431-450.
- Fambrini G.L., Araújo J.T., Lemos D.R., Neumann V.H.M.L., Tesser Jr. S., Souza B.Y.C., Silva Filho W.F. 2009a. A Formação Missão Velha na Área-Tipo, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil: Fácies e Sistemas Deposicionais. In: Simp. Geologia do Nordeste, XXIII, Fortaleza, CE, CD-ROM.
- Fambrini, G.L., Batista, Z.V.; Valença, L.M.M.; Neumann V.H.M.L., Araújo J.T., Agostinho, S.M., Menezes Filho, J.A.B., Barros, C.L. em preparação a. Análise de fácies e sistemas deposicionais da Formação Mauriti, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*.
- Fambrini, G. L.; Lemos, D. R.; Menezes Filho, J. A. B.; Silva-Filho, W. F.; Neumann, V. H. M. L.; Lima Filho, M.; Varela, B. B. 2011a. Análise da Tectônica Rifte na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil: Implicações para a Geração e Acumulação de Hidrocarbonetos. 6º Congresso Brasileiro Em P&D, outubro de 2011.
- Fambrini, G.L., Lemos, D.R., Tesser Jr., S., Araújo J.T., Silva Filho, W.F., Souza B.Y.C., Neumann V.H.M.L. 2011b. Estratigrafia, Arquitetura Deposicional e Faciologia da Formação Missão Velha (Neojurássico-Eocretáceo) na Área-Tipo, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil: Exemplo de Sedimentação de Estágio de Início de Rift a Clímax de Rifte. *Geologia USP: Série Científica*, 11(2): 55-87.
- Fambrini, G.L.; Neumann, V.H.M.L.; Barros, C.L.; Galm, P.C.; Agostinho, S.M.; Araújo J.T.; Menezes Filho, J.A.B. 2011c. Análise de fácies da Formação Brejo Santo, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil: implicações paleogeográficas. In: XXIV Simpósio de Geologia do Nordeste, 2011, Aracaju - SE. *Anais ...*, SBG. v. único. p. 267.
- Fambrini G.L., Neumann V.H.M.L., Lemos D.R., Araújo J.T., Lima-Filho, M.F., Tesser Jr., S. 2010a. Stratigraphy and sedimentology of Rift Initiation to Rift Climax stages of the Araripe Basin, Northeastern Brazil: new considerations. In: 18th International Sedimentological Congress, 2010, Mendoza, Argentina, *Abstracts Volume...* Mendoza: IAS/PETROBRAS, v.único, p.104.
- Fambrini, G.L.; Neumann, V.H.M.L.; Lemos, D.R.; Araújo, J.T.; Lima-Filho, M.F.; Tesser Jr., S. 2010b. Facies and architectural elements of Missão Velha Formation (Upper Jurassic-Eocretaceous), Araripe Basin, Northeastern Brazil. In: 18th International Sedimentological Congress, 2010, Mendoza, Argentina, *Abstracts Volume...* Mendoza: IAS/PETROBRAS, v.único, p. 332.
- Fambrini, G.L., Neumann, V.H.M.L., Lemos D.R., Araújo, J.T., Tesser Jr., S., Barros, C.L., Silva Filho, W.F. em preparação b. Facies and architectural elements of the Missão Velha Formation (Neojurassic-Eocretaceous), Araripe Basin, Northeastern Brazil: implications of

- tectonic rifting on fluvial sedimentation. *Sedimentology*, v. 59, (aprovado para publicação).
- Fambrini, G.L.; Neumann, V.H.M.L.; Silva-Filho, W.F.; Valença, L.M.M.; Lima-Filho, M.F.; Barbosa J.A.; Tesser Jr., S.; Souza, B.Y.C. 2007. Sistemas lacustres da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil: resposta à subsidência e tectônica de bacias rifte. In: Simp. Geologia do Nordeste, XXII, Natal, RN. *Atas*, 2007. v.único. p.101 - 101
- Fambrini, G.L., Neumann, V.H.M.L., Silva Filho, W.F., Tesser Jr., S., Valença, L.M.M., Lima-Filho, M.F., Araújo, J.T., Souza B.Y.C., Lemos D.R. 2008. Eventos de subsidência e instalação de sistemas lacustres na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 44, 2008, Curitiba, PR, *Anais*, v.único. p. 118.
- Fambrini, G.L., Tesser Jr., S., Neumann V.H.M.L., Souza B.Y.C., Silva Filho, W.F. 2009b. Fácies e Sistemas Depositionais na área-tipo da Formação Missão Velha, Bacia do Araripe, CE. *Estudos Geológicos (UFPE)*, 19(1): 163-191.
- Fambrini, G.L.; Tesser Jr., S.; Neumann V.H.M.L.; Souza B.Y.C.; Silva Filho, W.F.; Araújo J.T.; Lemos D.R. 2010c. Sedimentary facies analysis and depositional systems of Missão Velha Formation in the type-area, Araripe Basin, northeastern Brazil: reservoir implications. In: Rio Oil & Gas Expo and Conference 2010, Rio de Janeiro, RJ. *Anais*. (CD-ROM), 10 p.
- Fambrini, G.L.; Varela, B.B.; Menezes-Filho, J.A.B.; Valença, L.M.M.; Araújo, J.T.; Neumann V.H.M.L. em preparação c. Análise estratigráfica da Formação Abaiara (Neocomiano), Bacia do Araripe, NE do Brasil: implicações para a implantação da fase rifte das bacias fanerozóicas brasileiras. In: 46º. Congresso Brasileiro de Geologia, 2012, Santos - SP. *Anais...*, 2012. v. único. (aceito para publicação)
- Garcia, A.J.V.; Da Rosa, A.A.S.; Goldberg, K. 2005. Paleoenvironmental and paleoclimatic control on early diagenetic processes and fossil record in Cretaceous continental sandstones of Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 19: 243-258.
- Gaspary, J. & Anjos, N.F.R. 1964. Estudo Hidrogeológico de Juazeiro do Norte - Ceará. Recife, SUDENE. 25 p. (Série Hidrogeologia 3).
- Ghignone, J.I., Couto, E.A., Assine, M.L. 1986. Estratigrafia e estrutura das Bacias do Araripe, Iguatu e Rio do Peixe. In: Congr. Bras. Geol., 34. Goiânia, 1986. *Anais...* Goiânia, SBG. v. I, p. 271-285.
- International Commission on Zoological Nomenclature. 2000. International Code of Zoological Nomenclature. 4a ed. London, The International Trust for Zoological Nomenclature and The Natural History Museum, 306 p.
- Küchle, J.; Scherer, C.M.S.; Born, C.C.; Alvarenga, R.S.; Adegas, F.A. 2011. Contribution to Regional Stratigraphic Correlations of the Afro-Brazilian Depression – The Dom João Stage (Brotas Group and Equivalent Units – Late Jurassic) In Northeastern Brazilian Sedimentary Basins. *Journal of South American Earth Sciences*, 31: 358-371 (doi:10.1016/j.jsames.2011.02.007).
- Lima, M.R. 1978^a. *Palinologia da Formação Santana (Cretáceo do Nordeste do Brasil)*. São Paulo. 335p. (Tese de Doutorado, IG/USP).
- Lima, M.R. 1978^b. Estudo palinológico preliminar de um folhelho betuminoso da Formação Missão Velha, Chapada do Araripe. *Boletim IG-USP*, 9:136-139.
- Lima, M.R. 1979. Considerações sobre a subdivisão estratigráfica da Formação

- Santana - Cretáceo do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 9(2):116-121.
- Jones, J.; Frostick, L.E. & Aston, T.R. 2001. Braided stream and flood plain architecture: the Rio Vero Formation, Spanish Pyrenees, *Sedimentary Geology*, 139(3-4): 229-260.
- Mabesoone, J.M. & Tinoco, I.M. 1973. Paleogeology of Aptian Santana Formation (Northeastern Brazil). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 14(2):87-118.
- Martill, D. M. 1993. Fossil of the Santana and Crato formations, Brazil. Paleontological Association, Field Guide to Fossils, n. 5, 159 p.
- Malka, M., Olsen, P.E.; Christie-Blick, N. 2003. Lacustrine facies typology in the triassic-jurassic rifts of eastern north america and greenland compared to that of the eocene green river formation of Wyoming. Northeastern Section - *38th Annual Meeting* (March 27-29, 2003). The Geological Society of America (GSA), Session No. 6--Booth# 35.
- Miall, A.D. 1974. Palaeocurrent analysis of alluvial sediments: a discussion of directional variance and vector magnitude. *Journal of Sedimentary Petrology*, 44(4):1174-1185.
- Miall, A.D. 1977. A review of the braided-rivers depositional environment. *Earth Science Reviews*, 13(1):1-62.
- Miall, A.D. 1978. Lithofacies types and vertical profile models in braided-rivers deposits: a summary. In: Miall, A.D. (ed.) *Fluvial Sedimentology*. Calgary, Canadian Society of Petroleum Geologists. p. 597-604. (Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir, 5).
- Miall, A.D. 1985. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth Science Reviews*, 22:261-308.
- Miall, A.D. 1996. *The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology*. Berlin, Springer, 582 p.
- Miall, A.D. 2000. *Principles of sedimentary basin analysis*. 3rd ed., New York, Springer-Verlag, 616 p.
- Miall, A.D. & Tyler, N. 1991. The three-dimensional facies architecture of terrigenous clastic sediments and its implications for hydrocarbon discovery and recovery. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Concepts in Sedimentology and Paleontology*, Tulsa, 3, 309 p.
- Neumann, V.H.M.L. 1999. *Estratigrafía, sedimentología, geoquímica y diagénesis de los sistemas lacustres Aptienses-Albienses de la Cuenca de Araripe (Nordeste de Brasil)*. 1999. Tesis (Doctorado), Universidad de Barcelona, Barcelona 244p.
- Neumann, V. H. & Cabrera, L. 1999. Una Nueva Propuesta Estratigráfica para la Tectonosecuencia post-rifte de la Cuenca de Araripe, Nordeste de Brasil. In: Bol. 5º Simpósio Sobre o Cretáceo do Brasil e 1º Simpósio Sobre el Cretácico de América Del Sur. Serra Negra-SP. UNESP, Rio Claro. Pg. 279-285.
- Neumann, V.H.M.L. & Cabrera, L. 2000. Significance and genetic interpretation of the sequential organization of the aptian-albian lacustrine system of the Araripe basin. *An. Acad. Bras. Ciênc.*, 72(4):607-608.
- Ponte, F.C., 1992. Sistemas deposicionais na Bacia do Araripe, nordeste do Brasil. In: Simpósio sobre as Bacias Cretácicas Brasileiras, 2., Rio Claro, p. 81-84.
- Ponte, F.C. 1994. Extensão paleogeográfica da Bacia do Araripe no Mesocretáceo. In: Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, 3., Rio Claro, 1994. *Bol. Res. Exp.*, p. 131-135.

- Ponte, F.C. & Appi, C.J. 1990. Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe. In SBG, Congr. Bras. Geol., 36. Natal, 1990. *Anais...* Natal, v. 1, p. 211-226.
- Ponte, F.C. & Asmus, H.E. 1978. Geological framework of the Brazilian continental margin. *Geologische Rundschau*, 67:201-235.
- Ponte, F.C. & Ponte Filho, F.C. 1996a. Estrutura geológica e evolução tectônica da Bacia do Araripe. Recife: Departamento Nacional da Produção Mineral, 4º e 10º Distritos Regionais, Delegacias do Ministério das Minas e Energia em Pernambuco e Ceará, 68 p.
- Ponte, F.C. & Ponte Filho, F.C. 1996b. Evolução tectônica e classificação da Bacia do Araripe. In: Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, 4, 1996, Águas de São Pedro. *Boletim...* Rio Claro: UNESP, 1996, p. 123-133.
- Rosa, A.A.S. & Garcia, A.J.V., 2000. Palaeobiogeographic aspects of northeast Brazilian basins during the Berriasian before the break up of Gondwana. *Cretaceous Research*, 21: 221-239.
- Reading H.G. 1996. *Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy*. Blackwell Science, 668 p.
- Sáez, A. & Cabrera, L. 2002. Sedimentological and palaeohydrological responses to tectonics and climate in a small, closed, lacustrine system: Oligocene As Pontes Basin (Spain). *Sedimentology*, 49(5): 1073-1094.
- Selley R.C. 1987. *Ancient sedimentary environments*. Chapman e Hall, 317 p.
- Selley R.C. 2000. *Applied sedimentology environments, a brief survey*. London, Academic Press.
- Sgavetti, R. 1991. Photostratigraphy of ancient turbidite systems. In P. Weimer & M.H. Link (eds.) *Seismic facies and sedimentary process of submarine fans and turbidite systems*. Springer-Verlag, p. 107-125.
- Schanley K.W. & McCabe P.J. 1994. Perspectives on the sequence stratigraphy of continental strata. *AAPG Bull*, 78: 544-568.
- Scherer, C.M.S., Lavina, E.L.C., Dias-Filho, D.C., Oliveira, F.M., Bongioio, D.E., Aguiar, E.S. 2007. Stratigraphy and facies architecture of the fluvial–aeolian–lacustrine Sergi Formation (Upper Jurassic), Recôncavo Basin, Brazil. *Sedimentary Geology*, 194: 169-193.
- Srivastava, N.K. & Cavalcante, J.C. 2001. Bacia de Sitiá (Ceará): uma reavaliação. In: Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste, 2., *Atas...* Crato, p. 118-125.
- Talbot, M.R. & Allen, P.A. 1996. Lakes. In: Reading H.G. 1996. *Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy*. Blackwell Science, p. 83-124.
- Valença L.M.M., Neumann, V.H.M.L., Mabesoone, J.M. 2003. An overview on Callovian-Cenomanian intracratonic basins of Northeastern Brazil: onshore stratigraphic record of the opening of the southern Atlantic. *Geologica Acta*, 1(3):261-275.
- Viana, C.F.; Gama Jr., E.G.; Simões, L.A.; Moura, J.A.; Fonseca, J.R. & Alves, R.J. 1971. Revisão estratigráfica da Bacia do Recôncavo/Tucano. *Bol. Técnico da Petrobrás*, 14:157-192.
- Viana, M.S.S. & Cavalcanti, V.M.M., 1989. Faciologia das formações Missão Velha e Brejo Santo na região de Missão Velha, Ceará. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 13., Fortaleza, p. 166-169.
- Viana, M.S.S.; Ferigolo J.; Ribeiro A.M.; Goin F.; Silva M.C.; Agostinho S.M. 2002. Feições preservacionais de *bone beds* do Jurássico da Bacia do Araripe. In: PALEO 2002 – Nordeste, Aracaju (SE), 2002. *Resumos*, p. 3.

- Walker R.G. 1992. Facies, facies models and modern stratigraphic concepts. In: Walker R.G. & James N.P. (eds): *Facies Models - Response to Sea-level Change*, Geological Association of Canada Geotext 1, Waterloo, Ontario, p. 1-14.
- Walker R.G. & James N.P. 1992. *Fácies models. Response to sea level changes*. Geological Association of Canada, 212 p.
- Whatley, R.C.; Siveter, D.J. & Boomer, I.D. 1993. Arthropoda (Crustacea: Ostracoda). In: M.J. Benton (ed.) *The Fossil Record*, Chapman & Hall, p. 343-356.
- Wizevic, M.C. 1991. Photomosaics of outcrops: useful photographic techniques. In Miall, A.D. & Tyler, N. (eds) *The three-dimensional facies architecture of terrigenous clastic sediments and its implications for hydrocarbon discovery and recovery. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Concepts in Sedimentology and Paleontology*, 3:22-24.