



ANÁLISE DE FÁCIES DA FORMAÇÃO ANTENOR NAVARRO NA SEÇÃO-TIPO: CONTRIBUIÇÕES À HISTÓRIA DEPOSICIONAL DA BACIA SEDIMENTAR DO RIO DO PEIXE (PARAÍBA/CEARÁ – BRASIL)

Facies analysis of the Antenor Navarro Formation at the stratotype: contributions to the depositional history of the Rio do Peixe Sedimentary Basin (Paraíba and Ceará states - Brazil)

Lawrence Barreto SÁ¹, Francisco Dallyson Gomes RIBEIRO²,
Daniel Rodrigues do NASCIMENTO Jr.³, Francisco César Costa NOGUEIRA⁴

RESUMO: A Bacia Sedimentar do Rio do Peixe (Cretáceo Inferior) faz parte do conjunto de bacias interiores do nordeste brasileiro, sendo destacada tanto pelo seu conteúdo (icno)fossilífero singular como pela sua complexidade estrutural e estratigráfica. Nela, a Formação Antenor Navarro (FAN) é a principal unidade portadora de rochas reservatórios para sistemas petrolíferos e hídricos, mas, a despeito disso, há poucos estudos publicados sobre seus sistemas deposicionais e algumas controvérsias persistem. Tendo em vista sua intensa deformação associada a zonas de falhas, torna-se importante uma análise da formação em suas porções indeformadas. Com essas premissas, o presente trabalho visa melhorar a compreensão dos sistemas deposicionais da FAN na sua seção-tipo localizada no afloramento Sítio Saco. Uma seção de 790 m no sentido WNW-ESE foi levantada neste trabalho, com uma espessura total coberta de 10,48 m e abrangendo uma significativa variação lateral de fácies deposicionais. A formação consiste numa sucessão dominada por arenitos, tendo folhelhos e siltitos subordinados, onde 11 fácies foram reconhecidas. Medidas de paleocorrentes resultaram num sentido de fluxo médio para SSE com intensidade de mergulho média de 21,3°, corroborando com um caráter subaquoso do fluxo e coincidindo, aproximadamente, com dados de rumo de fluxo médio mais frequentemente obtidos em unidades fluviais eocretáceas das demais bacias interiores, como no caso da Bacia do Araripe. As estruturas sedimentares mais comuns nos arenitos são estratificações cruzadas retas, tangenciais, festonadas e plano-paralelas, portando extraclastos de rochas ígneas e metamórficas e intraclastos de lamito e siltito. Foram descritos e interpretados elementos arquiteturais de preenchimento de canal, acreção frontal, lateral, barras e corte e preenchimento. Estruturas nas rochas finas incluíram gretas de ressecamento de lama, recobrimentos de lama (*drapes*) e laminações plano-paralelas eventualmente cimentadas por calcita. Essa cimentação carbonática sugere um contexto de hipersalinidade e saturação sob clima árido. A ocorrência de estrutura heterolítica *wavy* e feixes de maré com sentido de paleocorrente coincidente com aquele dos canais fluviais principais sugere que o sistema deposicional era sujeito a alguma influência de marés. Este estudo culminou com a interpretação de um sistema fluvial entrelaçado do tipo flúvio-estuarino ou flúvio-lagunar para a FAN, tendo a interdigidada Formação Sousa como bacia central receptora.

¹ Programa de Pós-graduação em Geologia – Universidade Federal do Ceará – UFC

² Graduação em Geologia – Universidade Federal do Ceará – UFC

³ Departamento de Geologia – Universidade Federal do Ceará – UFC

⁴ Centro de Ciências e Tecnologia – Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

Autor para correspondência: Lawrence Barreto Sá

Departamento de Geologia – UFC – Campus do Pici, Bloco 912. Fortaleza/CE.

E-mail: lawrence_sa@hotmail.com



Palavras-Chave: Análise de Fácies, Bacia Sedimentar do Rio do Peixe, Formação Antenor Navarro, Sistema Fluvial Entrelaçado, Planície de Marés.

Abstract: *The Rio do Peixe Sedimentary Basin (Early Cretaceous) is part of the interior basins of the Northeast Brazil, being highlighted both due its peculiar (ichno)fossiliferous content and as its structural and stratigraphic complexity. There, the Antenor Navarro Formation (ANF) is the main unit with reservoir rocks for hydrocarbon and hydric systems but, despite this, there are few published studies dealing with its depositional systems and some controversies persist. Considering the strong deformational imprint associated to the fault zones, it becomes important an analysis of the formation in its undeformed portions. Based on this premises, the present work aims to improve the understanding of the ANF depositional systems at the stratotype located in the Sítio Saco outcrop. A 790 m section was performed in this work, WNW-ESE oriented, with a total thickness of 10.48 m and encompassing a significant lateral variety of depositional facies. The formation consists of a succession dominated by sandstones, having subordinated shales and siltstones, where 11 facies were recognised. Palaeocurrent measurements attested an SSE flow direction with an average dip of 21.3°, reinforcing a subaqueous behaviour and coinciding, approximately, with the most frequent flow direction data obtained in all Eocretaceous fluvial units of the interior basins elsewhere, as in the case of Araripe Basin. The most common sedimentary structures found in the sandstones are plane and tangent cross bedding, trough and plane-parallel strata, in addition to igneous and metamorphic extraclasts, and mudrock and siltstone intraclasts. The architectural elements described in the sandstones were channel fill, downstream accretion, lateral accretion, bars, and cut-and-fill. Structures in the fine-grained rocks include mudcracks, mud drapes, and plane-parallel lamination eventually calcite-cemented. The presence of carbonate cementing suggests a hypersaline environment in a dry arid climate. The occurrence of wavy heterolithic structure and tidal bundles with palaeoflow direction coinciding with the main river channels suggest that the depositional system was influenced by some tidal activity. The present study culminated with the interpretation of a braided, either fluvial-estuarine or fluvial-lagoonal system for the ANF, having the interfingered Sousa Formation as the receiver central basin.*

Keywords: *Facies Analysis, Antenor Navarro Formation, Rio do Peixe Sedimentary Basin, Braided Fluvial System, Tidal Plain.*

1. INTRODUÇÃO

No Nordeste brasileiro, a Bacia Sedimentar do Rio do Peixe (BSRP) se insere no modelo tectônico das bacias interiores da Província Borborema atribuído ao chamado *Trend* Cariri-Potiguar de sedimentação (CASTRO *et al.*, 2007). Sua formação é concomitante e relacionada aos mesmos esforços tectônicos responsáveis pela Abertura do Oceano Atlântico Sul na margem leste brasileira durante o Cretáceo

Inferior, historicamente correlacionada a sua contraparte africana da Bacia de Benue (BRAUN, 1969) e, mais recentemente, com a Bacia do Gabão (SOUSA *et al.*, 2019). A BSRP é reconhecida pelo seu conteúdo fossilífero e, especialmente, icnofossilífero singular, principalmente na Formação Sousa, característico dos andares Rio da Serra (Berriasiano-Hauteriviano) e Aratu (Barremiano Inferior), 145 – 130 Ma (SOUSA *et al.*,



2019). Índícios relevantes de exsudações de óleo ocorrem na Formação Sousa na sub-bacia de mesmo nome (CARVALHO *et al.*, 2013; VASCONCELOS *et al.*, 2020), onde dados geoquímicos indicam similaridade com hidrocarbonetos encontrados na Bacia Potiguar (Formação Pendência) e nas bacias do Recôncavo e Sergipe-Alagoas (ANP, 2021). Recentemente, essas ocorrências aumentaram significativamente o interesse econômico na BSRP, levando a estudos de avaliação do potencial gerador de óleo e gás para a Formação Sousa (ANP, 2007). Devido ao caráter interdigitado das formações da bacia, autores como Córdoba *et al.* (2008) assumem que as unidades de sua seção cretácea são ao menos parcialmente contemporâneas, ao contrário do empilhamento vertical historicamente atribuído à BSRP (por exemplo: SRIVASTAVA; CARVALHO, 2004).

Por sua vez, a Formação Antenor Navarro (FAN) também tem recebido crescente atenção por suas camadas de arenitos apropriadas ao contexto de rochas reservatórios tanto de sistemas petrolíferos como hidrológicos. Dada a intensa deformação ocasionada pelas zonas de falhas do embasamento na formação da BSRP, que afetou todas as unidades da bacia, suas heterogeneidades estratigráficas originais somadas às estruturas rúpteis adquiridas geram um complexo mecanismo para a compreensão do armazenamento e da migração de hidrocarbonetos (ARAÚJO, 2018; ARAÚJO *et al.*, 2018). Por esse motivo,

estudos descritivos detalhados da formação são úteis para a integração de dados que repercutem no conhecimento dos processos de migração e acumulação de fluidos, além do entendimento da própria evolução da bacia em seus diferentes estágios. Porém, ainda são escassos na literatura estudos detalhados abordando a gênese sindeposicional das rochas que compõem a FAN (CÓRDOBA *et al.*, 2008; SILVA, 2009; SILVA *et al.*, 2014).

O presente estudo tem por objetivo interpretar os processos que originaram a Formação Antenor Navarro na localidade de Sítio Saco, em Triunfo (PB), considerada neste trabalho como seção-tipo da Fm. Antenor Navarro. Uma vez que neste local a formação encontra-se menos deformada por efeitos tectônicos durante e/ou após a sedimentação, considera-se que essa situação propicia melhor identificação das estruturas primárias de deposição através do método da análise de fácies, com potencial para melhor interpretação de seu desenvolvimento e suas relações estratigráficas com as demais unidades da bacia.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A BSRP assenta-se sobre a Província Borborema, mais especificamente sobre o Domínio Rio Grande do Norte, sendo limitada ao sul pelo Lineamento Patos e ao oeste pelo Lineamento Senador Pompeu. A bacia abrange em sua totalidade uma área aproximada de 1424 km². Diversos autores como Almeida (1977), Albuquerque (1971), Brito Neves *et al.* (2000), Santos (2002), Silva *et al.* (2003)



e Assine (2007) ressaltam a importância das estruturas antigas do embasamento pré-cambriano e sua reativação no processo de condicionamento da forma, localização e estruturação das bacias interiores do Nordeste do Brasil. No caso específico da BSRP, este condicionamento influenciou também na formação de quatro semi-grábens ou sub-bacias, sendo eles, de oeste para leste: Icozinho, Brejo das Freiras, Sousa e Pombal (Figuras 1 e 2). As sub-bacias apresentam-se alongadas segundo a orientação estrutural dominante no embasamento adjacente e, principalmente, subjacente. Na sub-bacia Sousa, a orientação E-W acompanha o Lineamento Patos, enquanto em Icozinho e Brejo das Freiras a direção NE acompanha lineamentos da Faixa Orós-Jaguaribe. Em Pombal, com orientação ENE, a conformação se dá com o Lineamento Portalegre (SILVA, 2009).

Foi Braun (1969) o primeiro a interpretar as idades, hoje majoritariamente aceitas para origem das rochas da BSRP, tendo apontado um intervalo geral Neocomiano. Esse intervalo foi considerado o principal no processo de estiramento crustal da margem do Atlântico Sul. Mais especificamente, durante o Barremiano tardio, a deformação distensiva se deslocou para norte, no Atlântico Equatorial, momento da separação definitiva entre a América do Sul e a África (CASTRO *et al.*, 2007).

O preenchimento da BSRP é composto principalmente por depósitos siliciclásticos, especialmente arenitos, seguidos por lamitos e conglomerados e, subordinadamente, margas e

vulcanoclastos (RAPOZO *et al.*, 2021). Sua fase pré-rifte abrange o recentemente descrito Grupo Santa Helena (Devoniano: formações Pilões e Triunfo), enquanto a fase sin-rifte abrange o tradicional Grupo Rio do Peixe (Eocretáceo: formações Antenor Navarro, Sousa e Rio Piranhas). Por ter sido reconhecido apenas recentemente, com base em dados de subsuperfície e poucos afloramentos (SILVA *et al.*, 2014), as informações sobre o Gr. Santa Helena ainda são escassas se comparadas ao Gr. Rio do Peixe, cujas unidades são detalhadas abaixo.

A literatura descreve a Formação Antenor Navarro como composta por conglomerados e arenitos grossos arcósios, associados a arenitos médios a finos, intercalados com siltitos e argilitos, de coloração geral avermelhada (LIMA FILHO, 1991). Suas principais exposições ocorrem nos semi-grábens Brejo das Freiras e Sousa, embora também ocorram em sucessões espessas nos semi-grábens de Pombal e Icozinho (SILVA, 2014). Já a Formação Sousa é predominantemente pelítica, formada por folhelhos e siltitos avermelhados, com arenitos finos e margas subordinados. Seu sistema deposicional é dubiamente interpretado como planície de inundação fluvial pantanosa e/ou lago pouco profundo (LIMA; COELHO, 1987; CARVALHO, 2000).

Por sua vez, a Formação Rio Piranhas consiste de arenitos finos, na base, aumentando sua granulação até conglomerados, no topo (LIMA FILHO, 1991). Esta é interpretada por Córdoba *et al.* (2008) como um sistema deposicional de leques aluviais. Esta



formação é tida como restrita às margens falhadas dos semi-grábens da bacia (SILVA, 2009), especialmente na extremidade sudeste, embora não tenha sido descrita até o momento para a Sub-Bacia Icozinho.

Matos (1999) atribui a orientação geral ou “trend” Cariri-Potiguar à chamada fase sin-rifte II das bacias interiores do nordeste brasileiro. Esta fase do rifteamento teria sido responsável por vários estágios evolutivos nas bacias do Araripe (Formação Abaiara), Icó, Iguatu, Malhada Vermelha, Lima Campos e Rio do Peixe, além do gráben principal da porção emersa da Bacia Potiguar (MATOS, 1992).

A BSRP é controlada por três lineamentos principais, já com caráter rúptil de falhas durante a evolução da bacia: Malta, Portalegre e Rio Piranhas (CASTRO *et al.*, 2007) (Figura 2). As falhas Icozinho, Portalegre, Malta e Rio Piranhas correspondem todas a reativações rúpteis das zonas de cisalhamento pré-cambrianas de Rafael Fernandes, Portalegre, Malta e Rio Piranhas, respectivamente. Em seus limites sul e sudeste, essas falhas delimitam as sub-bacias Icozinho, Brejo das Freiras, Sousa e Pombal, enquanto uma margem flexural a noroeste e norte ocorre em todas elas (NOGUEIRA *et al.*, 2015).

Importantes contribuições ao conhecimento de propriedades petrofísicas de zonas de falhas na BSRP foram publicadas muito recentemente nos trabalhos de Pontes *et al.* (2019), Nogueira *et al.* (2021), Torabi *et al.* (2021), Oliveira *et al.* (2022), Silva *et al.* (2022) e Souza *et al.*

(2022). Os autores concluíram a existência de bandas de deformação rúptil influenciando diretamente na compartimentação, comportamento geomecânico e nas propriedades hidráulicas das unidades sedimentares afetadas por elas. Nelas, independentemente de se tratar de um núcleo da falha ou da sua zona de dano, quanto maior a taxa de deformação, menores são os valores de porosidade e maiores são a quantidade e a espessura das bandas. Tais heterogeneidades petrofísicas influiriam diretamente no comportamento do sistema petrolífero (PONTES *et al.*, 2019).

A atuação das zonas de falhas e suas estruturas secundárias, como as próprias bandas de deformação, geraram alterações nas feições primárias de deposição em arenitos da BSRP, como por exemplo a cominuição seletiva de grãos de feldspato sob grãos de quartzo. Outra consequência foi o alinhamento preferencial de grãos em cataclases e fluxo cataclásticos (NICCHIO *et al.*, 2018). Essas feições estruturais podem, em alguns casos, dificultar a interpretação e identificação das estruturas primárias de deposição, ratificando vez por outra a necessidade de escolha adequada de afloramentos com maior distância das zonas de falhas.

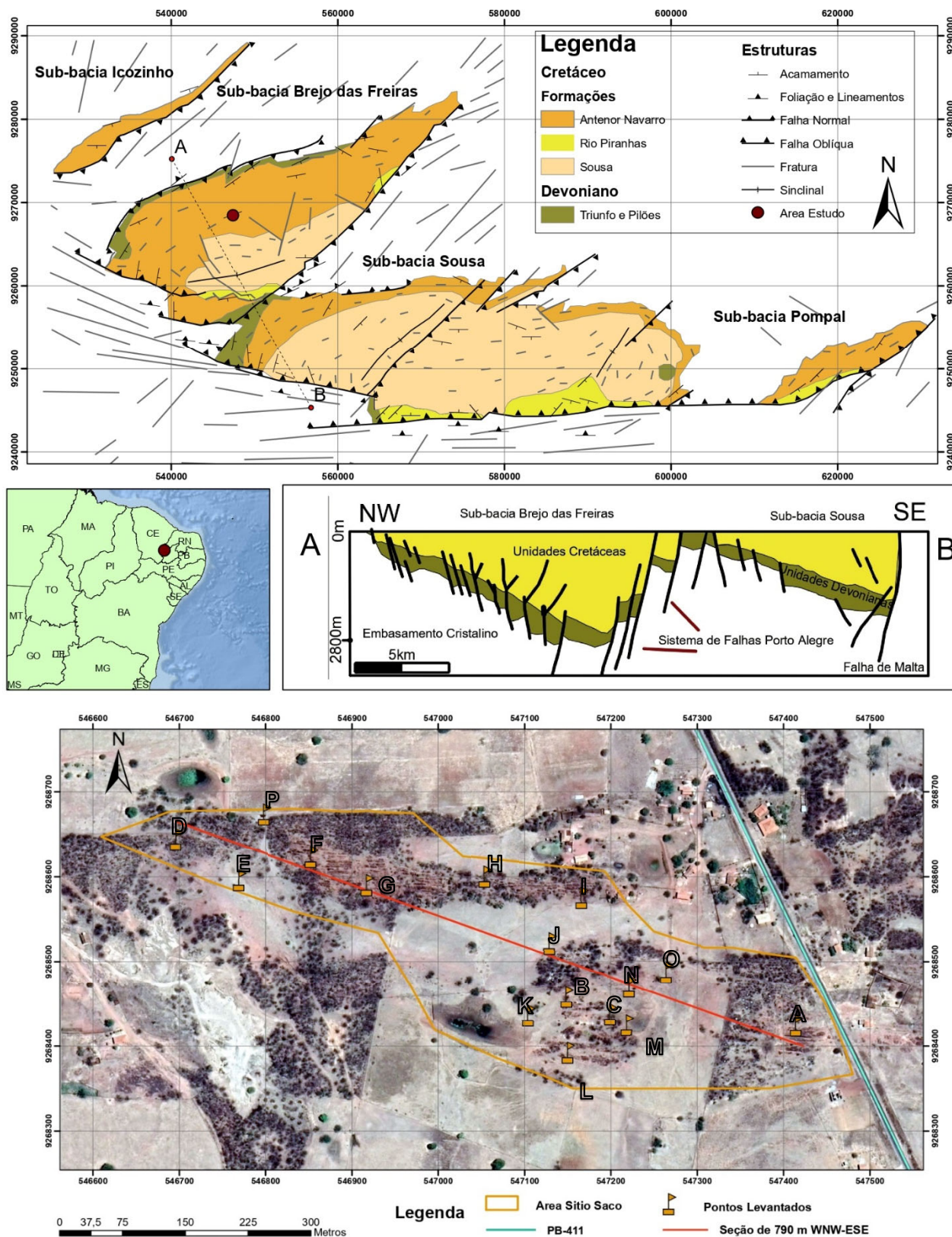


Figura 1: Localização e Mapa Geológico da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe, incluindo a localização das seções geológicas e dos pontos estudados no afloramento Sítio Saco. Adaptado de Rapozo (2020) e Torabi et al. (2021).

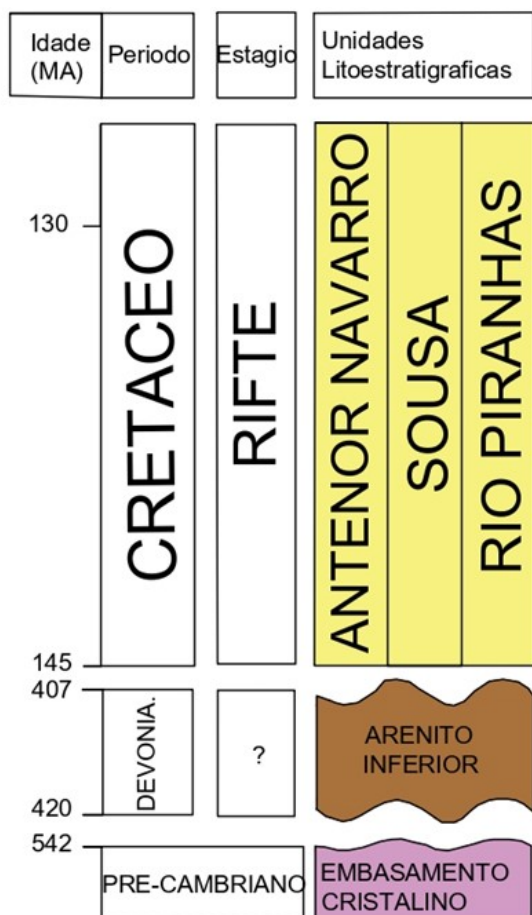


Figura 2: Carta cronoestratigráfica da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe. Adaptada de Rapozo (2020) e Vasconcelos et al. (2020).

Os sistemas petrolíferos da BSRP têm como rocha geradora principal a formação Sousa, com pelitos e eventualmente calcários dessa formação compondo também os selos litológicos (ANP, 2021). Constituem, por sua vez, reservatórios os arenitos ocasionais da Formação Sousa e, majoritariamente, os arenitos da Formação Antenor Navarro. As principais armadilhas de hidrocarbonetos são estruturais, estratigráficas e paleogeomórficas, e os principais meios de migração de fluidos seriam através de falhas verticais/subverticais, contatos diretos e *carrier beds* (ANP, 2021).

3. MATERIAS E MÉTODOS

A área de estudo está inserida no contexto da Sub-Bacia de Brejo das Freiras, centro-oeste da BSRP, localizada no município de Triunfo (PB) a cerca de 5 km ao sul da sede, ao lado da rodovia PB-411. No afloramento denominado Sitio Saco ($6^{\circ}37'6''$ S/ $38^{\circ}34'15''$ W), aqui considerado seção-tipo menos deformada das rochas siliciclásticas da FAN, os depósitos foram estudados em campo pela análise de fácies deposicionais. A fácies deposicional é definida como uma “massa de rocha sedimentar caracterizada e distinta das demais pela litologia, geometria estratal, estruturas sedimentares, petrotrama, cores, fósseis e por atributos direcionais” (WALKER, 1979). Para revisar, analisar e interpretar o sistema deposicional atribuído à FAN, foram utilizados os conceitos acerca da geologia de sistemas fluviais, abordados por Miall (2006), e de sistemas de marés, em Boyd et al. (2006). As fácies reconhecidas e interpretadas para a FAN foram sumarizadas em uma tabela apropriada.

Os dados foram obtidos em 16 pontos ao longo de afloramentos presentes na área de estudo, em uma seção de 790 m no sentido ESE-WNW (Figura 1). Apesar da distância e das frequentes irregularidades do terreno, a espessura total coberta foi de apenas 10,48 m. Apesar dessa espessura limitada, a seção permitiu verificar uma importante variação lateral das fácies, tanto em termos litológicos como em estruturas sedimentares. As espessuras das fácies levantadas foram convertidas



para porcentagens do seu valor inteiro mais próximo, sem casas decimais.

Dados de paleocorrentes foram levantados a partir de medidas de atitude das camadas frontais (*foresets*) de estratificações cruzadas em arenitos por meio de bússola. Seus dados foram analisados estatisticamente e graficamente no programa Oriana 4.02 (Kovach). No mais, amostras foram coletadas para futuros estudos laboratoriais.

4. RESULTADOS

Análise de fácies

A análise de fácies resultou no reconhecimento de 11 fácies deposicionais lateralmente correlacionáveis (Figuras 10 e 11). Nelas, há predomínio de arenitos marcados por estruturas trativas unidirecionais, de granulação variável e intensamente impregnados de óxi-hidróxidos de ferro. Segue abaixo a descrição detalhada das fácies e sua tentativa de interpretação.

Arenito com estratificação cruzada reta (Acr)

Os arenitos da fácies Acr se distinguem por apresentar granulação média a grossa, ocasionalmente fina, organizada em estratificações cruzadas retas. Cores avermelhadas, resultantes de cimentação em óxi-hidróxidos de ferro, também são uma marca. Níveis de grânulos e pequenos seixos nas séries (*sets*) e limites de séries são comuns. Ocasionalmente, ocorrem intraclastos de lamito anguloso e alongado nas séries e alguns seixos de rochas graníticas. Seus contatos variam de

gradativos e regulares no topo a abruptos e muito irregulares na base. Sua geometria é principalmente cuneiforme, com espessura métrica e extensão decamétrica, sendo interpretados como elemento arquitetural de canal, mais provavelmente de acreção frontal (acreção lateral subordinada) (Figura 3).

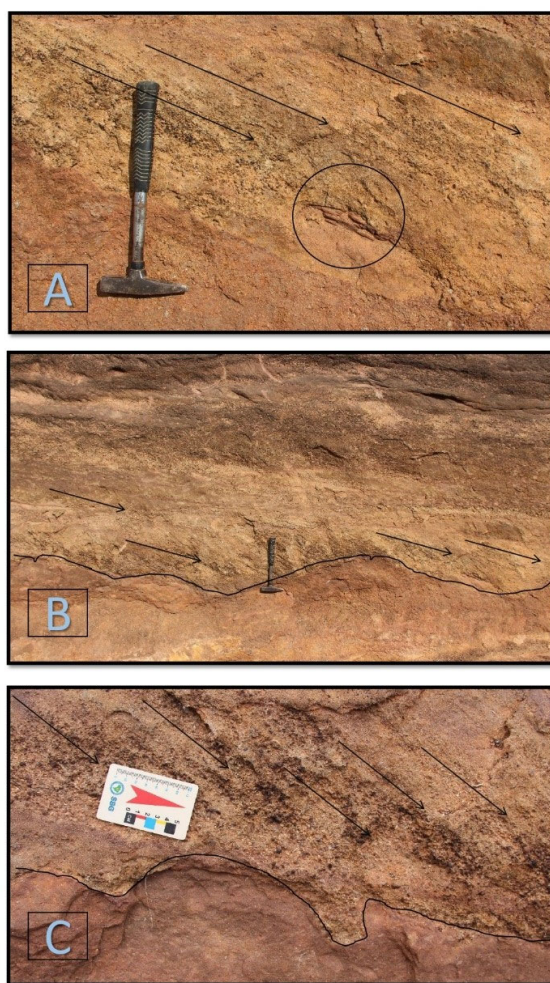


Figura 3: A: Clasto de siltito circulado no set cruzado. Facies Acr com cordões de grânulos sotoposto com arenito mais grosso. B: Natureza abrupta deste mesmo limite de camada. C: Recorrência Facies Acr com contatos irregulares na base.

Segundo Miall (2006), arenitos com estratificações cruzadas retas se formam pela migração subaquosa de



dunas 2D, onde a areia é transportada pelo flanco da forma do leito por tração e suspensão intermitente e depositada na crista, onde a tensão de cisalhamento cai. Ângulos de mergulho entre 15-25° na frente da forma de leito (*foreset*) são típicos de sistemas fluviais. A presença da fácies Acr é recorrente em muitos locais ao longo da seção estudada, indicando relativa abundância de canais e elementos de acresção no sistema deposicional da FAN.

Arenito com acamamento cruzado tangencial (Act)

A fácies Act é composta majoritariamente por arenitos médios a grossos estratificados, porém ocorre também como arenitos finos laminados em camadas lenticulares a cuneiformes. O acamamento cruzado tangencial é característico da fácies. Ocorrem concentrações locais de óxido-hidróxido de ferro por vezes separando as séries da estratificação, e a presença de grânulos e pequenos seixos nas séries é ocasional. Contatos da base da camada são sempre abruptos, porém, contatos de topo variam de abruptos a gradativos. Esta fácies também é recorrente ao longo da extensão do afloramento e bem representada tanto verticalmente como lateralmente, com espessuras métricas e extensões decamétricas.

As estratificações tangenciais são desenvolvidas pela migração de dunas 3D em areia de granulação fina a muito grossa (MIALL, 2006). Como visto, a interpretação arquitetural para a fácies Acr sugere um elemento de provável acresção frontal ou lateral, sendo a principal diferença desta em

relação a fácies Act o aumento progressivo na intensidade do fluxo desta última, que geraria fluxos reversos localizados (redemoinhos) moldando o contato tangencial na base da série.

Arenito com deformação convoluta (Adc)

Esta fácies ocorre na forma de lentes decimétricas de extensão no máximo métrica de arenito muito fino com deformação convoluta marcada por bandas irregulares de óxi-hidróxidos de ferro, e com contatos abruptos na base e no topo. Ocasionalmente, ocorrem deformações convolutas no contato com as fácies adjacentes (Acr, Act), e algumas camadas menos deformadas apresentam um mosqueamento aparente. Internamente, a fácies Adc apresenta-se ligeiramente mais maciça que as demais fácies adjacentes.

Convolução e mosqueamento podem ter tido uma origem sequencial, com uma fase inicial penecontemporânea, onde sedimento inconsolidado e úmido teria sido fisicamente perturbado. Posteriormente, uma fase telodiagenética envolveria o intemperismo químico tardio da rocha. A dúvida fica por conta do mecanismo na fase inicial, cuja deformação pode envolver sismos relacionados com as zonas de falhas e bandas de deformação (FOSSEN, 2010), ou a bioturbação por organismos oportunistas (SEILACHER, 2007). Em favor da segunda hipótese, camadas mosqueadas são uma estrutura classicamente atribuída a organismos. As estruturas convolutas são uma deformação plástica de sedimento parcialmente liquefeito, logo após sua

deposição, formadas ocasionalmente em planícies de inundação de rios e planícies de maré (COLLINSON *et al.*, 2006).

Arenito com estratificação festonada (Af)

A fácies Af tem como estrutura sedimentar característica as estratificações festonadas em arenito. Apresenta grânulos nas séries e, raramente, pequenos seixos de extraclastos do embasamento. Sua granulação é ampla, tendo grãos finos e médios como os mais comuns, porém ocorrem sucessão mais grossas onde, por vezes, a estratificação apresenta-se mal definida, talvez obliterada por uma intensa deformação. A geometria da fácies pode ser lenticular, tabular ou cuneiforme. Seus contatos na base e topo são abruptos, ocasionalmente em truncamento regular com a fácies Acr (Figura 4). A fácies Af é interpretada como elemento arquitetural de canais principais.

Arenito siltoso a siltito maciço (Asm)

Esta fácies é caracterizada por arenitos muito finos e siltosos a siltitos grossos maciços, apresentando base côncava, espessura decimétrica e ausência de estruturas internas. Ocorre ainda sobreposta a elementos de acresção lateral (Acr) (Figura 5).

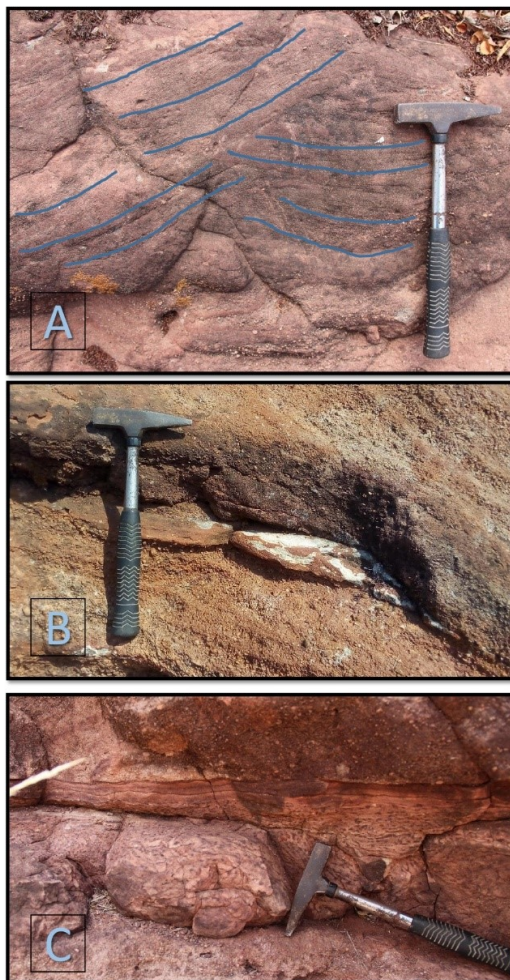


Figura 4: A: Estratificações festonadas da fácies Af truncadas internamente. B: Extraclasto de quartzo na série. C: Truncamento regular com a fácies Acr (centro).

Para Miall (2006), as características desta fácies são indicativas de deposição rápida de carga grossa (?) mal selecionada, onde ele a atribui a um elemento de preenchimento basal de canais ou cavidades incisivas, a depender da interpretação do conjunto de fácies. Ressalta-se que mesmo tipo de depósito também pode ocorrer na base das macroformas. A fácies Asm seria assim sempre associada à Acr, esta última apresentando geometrias frequentemente abruptas e irregulares

que favorecem depósitos de corte e preenchimento (*cut and fill*) da fácies Asm, com atuação de um fluxo concentrado (pseudo-viscoso) escavando base do canal e ao mesmo tempo depositando sedimentos mais finos.

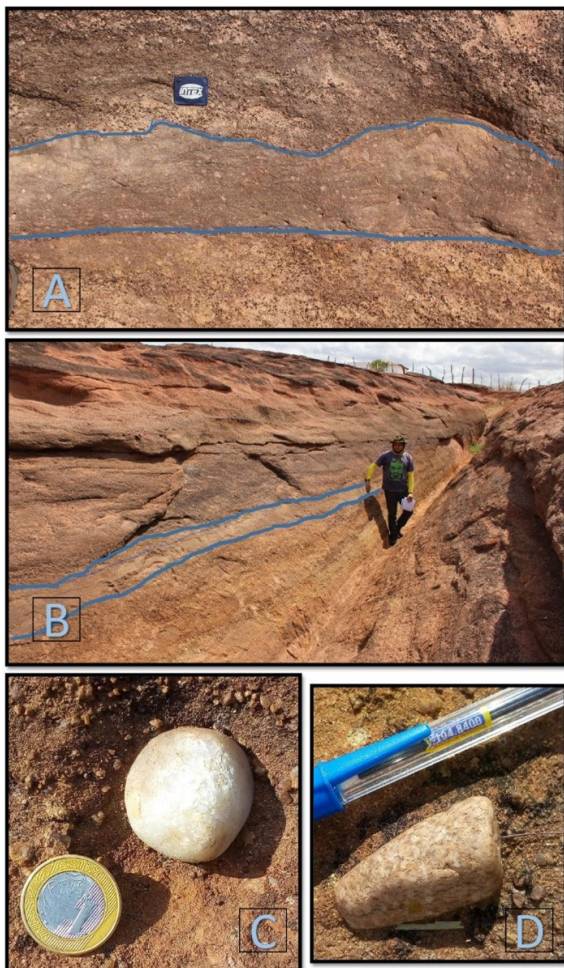


Figura 5: A e B: Camada tabular de arenito muito fino a siltito (fácies Asm), confinada entre arenitos mais grossos e menos maciços (fácies Acr). Notar contato irregular e continuidade lateral. C: Extraclasto de quartzo. D: Extraclasto de sienogranito.

Arenito com acamamento plano-paralelo (Ap)

Constituída de arenitos finos, geralmente avermelhados, a fácies Ap apresenta estratificação e/ou laminação tridimensionalmente plano-paralela. Ocorre limitada principalmente pelas

fácies Act e Af, com contatos da base abruptos e irregulares, enquanto no topo apresenta contatos desde gradativos até abruptos, irregulares. Por vezes a laminação aparece pouco nítida. No entanto, em ao menos uma situação, a fácies Ap ocorre diretamente sobre a fácies F (folhelho), onde o contato, apesar de abrupto, é regular e a laminação, é nítida. Nessa única situação, o cimento é ao menos parcialmente calcítico, reagindo ao HCl, e a cor da fácies é bege clara (Figura 6A e B).

Para Miall (2006), essa fácies ocorre em duas condições principais: leito em regime de fluxo superior, ou em qualquer posição do substrato relacionada a um fluxo de transição. A primeira possibilidade, de fluxo superior, é mais estável em arenitos de grãos muito finos a médios e com velocidades de cerca de 1 m/s e profundidades de água de 0,25 a 0,5 m. Já no fluxo de transição de Froude, há menor energia envolvida no processo, mas esta pode ser devido a uma lâmina de água mais profunda.

Para a fácies Ap, interpretam-se pequenos canais vivazes, formados em meio aos canais principais em épocas de estiagem (Act ou Af na base), ou mesmo em canais de maré secundários (*tidal creeks*) permanentes com energia de fluxo acima do normal (F na base). Neles, o fluxo confinado atinge rapidamente os níveis superiores de energia, porém também cessa rapidamente e permanece sob água estagnada em um clima árido por tempo suficiente para que a concentração e precipitação de carbonatos possa ocorrer. Essa cimentação carbonática é

favorecida especialmente se houver alimentação ao menos eventual por águas basinais.

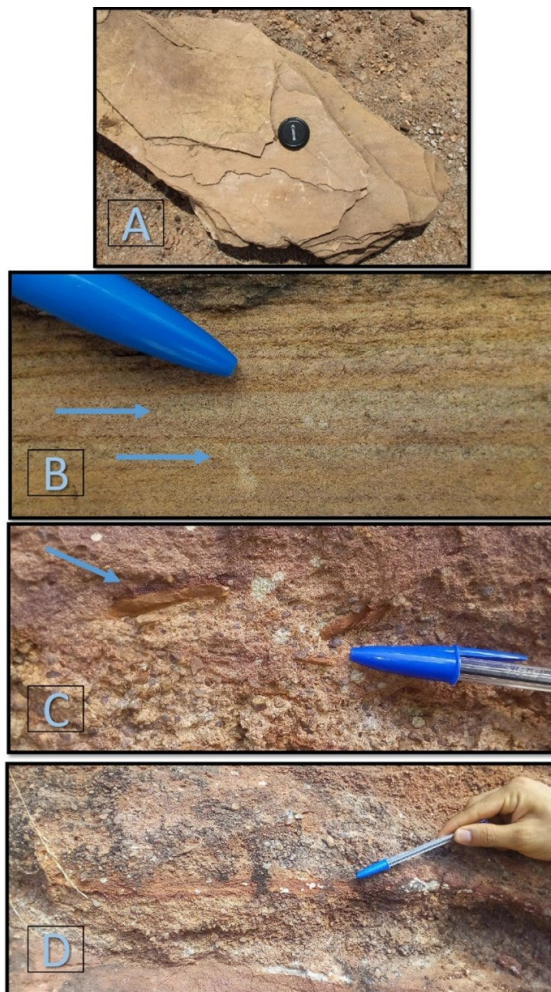


Figura 6: A: Placa de arenito fino com laminação plano paralela e cimentado em calcita, fácies Ap. B: Laminações plano paralelas da fácies Ap. C: Intraclastos de siltito revirados e em meio à laminação cruzada do arenito, fácies Awf. D: Laminação heterolítica do tipo wavy, fácies Awf.

Arenito com vulcões de areia (Av)

Esta fácies ocorre em um arenito muito grosso com grânulos e pequenos seixos na base, e que grada para um arenito grosso sem cascalho rumo ao topo. Nesta última porção, aparecem núcleos de pequenos diques clásticos associados a vulcões de areia em superfície, cuja granulação varia de

arenito muito fino a siltito grosso (Figura 7A e B). No arenito muito grosso, os grânulos e pequenos seixos são principalmente extraclastos de sienogranito (Figura 8A), mais raramente intraclastos de siltito (Figura 8B). Já na transição para o arenito grosso do topo, aparecem aglomerações centimétricas arredondadas de arenito muito fino, que se destacam num corte planar do afloramento em meio ao arenito grosso.



Figura 7: A, B: Arenito grosso da fácies Av em secção planar. As aglomerações localizadas de arenito muito fino em secções circulares são cortes transversais de diques clásticos, condutos alimentadores de vulcões de areia.

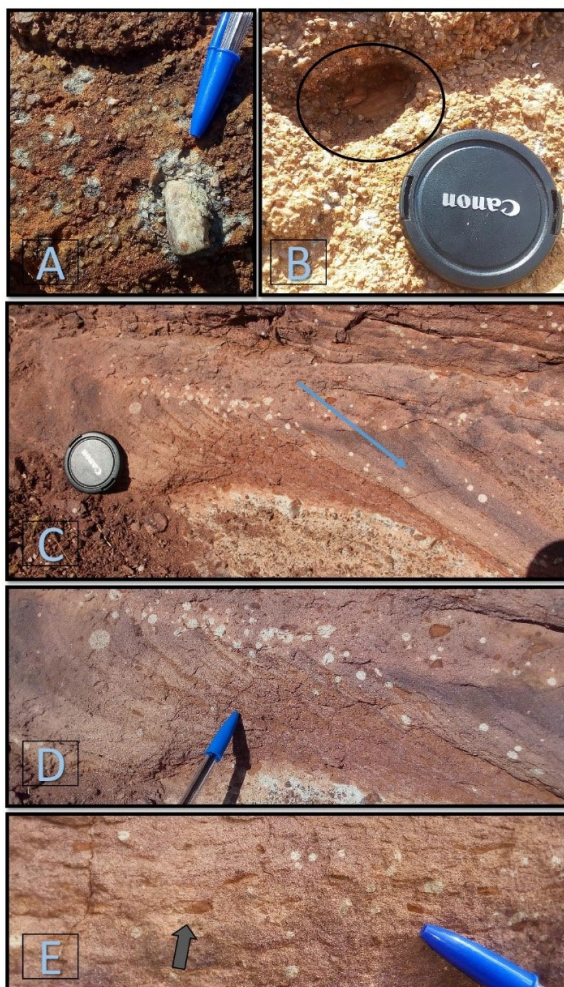


Figura 8: A: Extraclasto em matriz grossa lixiviada ao redor (coloração cinza clara, fácies Av). B: Intraclasto de siltito (fácies Av). C e D: Laminações tangenciais com recobrimentos de lama e intraclastos revirados nas séries (fácies Awf). E: Intraclastos de siltito retrabalhados (fácies Awf).

Essas aglomerações de arenito muito fino não são interpretadas intraclastos pois ocorrem isoladas e sem composição lamosa que ajudaria na coesão para formar clastos arredondados. Ao invés, interpreta-se que os aglomerados são parte da estrutura verticalizada dos condutos de diques clásticos associados aos vulcões de areia que ocorrem logo acima, porém vistos em uma secção transversal. Sendo estruturas de origem liquefeita, com reologia fluida, a injeção forçada ascendente de sedimento fluidificado

tende a ter granulação mais fina que a matriz ao redor, e com provável origem sísmica eodiagenética. Na BSRP, recentemente, foram descritos diques clásticos em zonas de falhas (RAMOS et al., 2022).

Siltito grosso a arenito muito fino com gretas e recobrimentos de lama (Sgr)

Ocorre em camada tabular de siltito grosso granocrescente até arenito muito fino no topo, de espessura decimétrica. A camada possui laminação paralela na base, com presença de lama marrom entre as lâminas (Figura 9C) e algumas gretas de ressecamento. No topo, ocorre laminação tangencial (Figura 9D) com intraclastos angulosos de lama marrom e recobrimentos de lama nas séries. No topo da fácies aparecem gretas poligonais de dimensão centimétrica a milimétrica (Figura 9A). Toda a sucessão é ligeiramente carbonática.

A litologia é interpretada como indicativa de exposição subaérea à época da deposição, graças as gretas de ressecamento em lama. Por sua vez, o intervalo de transição granocrescente demonstra aumento gradativo na energia do fluxo, podendo ser resultado de uma planície de inundação fluvial entre canais, ou de maré (supramaré) com exposição mais recorrente. Os recobrimentos de lama nas séries das laminações tangenciais são interpretados aqui como uma possível superfície de reativação por efeito de crevassa ou de saída da estufa (*slack water*) da maré. A deposição de carbonato presente nos folhelhos é favorecida pelo provável clima árido (CARVALHO, 2000) da região no

Cretáceo, mas também pesa a favor da possibilidade da presença de águas bacinais alimentadas por marés.

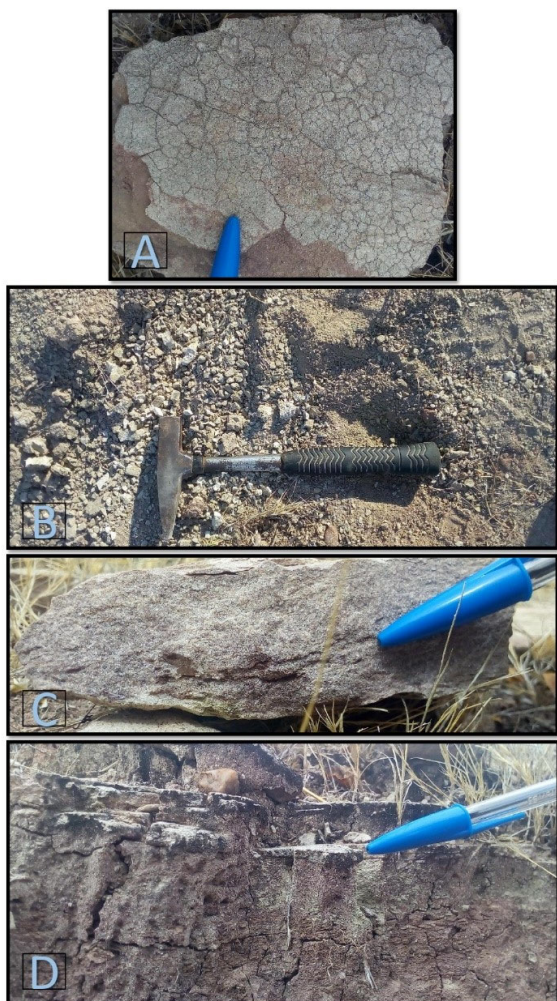


Figura 9: A: Gretas de ressecamento da fácies Sgr. B: Aspecto da fácies F desintegrada na forma de solo local. C: Recobrimentos de lama em meio à laminação tangencial da fácies Sgr. D: Ligeira laminação dos siltitos/arenitos muito finos da fácies Sgr.

Arenito com heterolíticas wavy e feixe de marés (Awf)

Ocorre como arenitos finos a siltitos lamosos finamente intercalados, de espessura centimétrica a milimétrica (Figura 6D) (a fácies inteira possui espessura decimétrica). Alguns recobrimentos de lama (*drapes*) aparecem com ligeiro contorno

ondulado no topo, de dimensão milimétrica a centimétrica.

A relativa continuidade lateral dos recobrimentos, com mais de uma ondulação de topo conectada, leva à interpretação de fluxo relativamente contínuo com paulatina perda de energia em estruturas heterolítica do tipo *wavy* (Figura 6D). Verticalmente, a ciclicidade de cada sucessão não é clara, tornando dúbia sua interpretação para um subsistema de planície de inundação fluvial ou de marés.

Para o topo, o arenito se torna muito fino e apresenta laminações tangenciais cíclicas na mesma série, abruptamente truncadas no topo, e com recobrimentos de lama intercalados. Tanto o alcance vertical dos recobrimentos de lama como a espessura lateral dos estratos são variáveis (Figura 8C e D). Parte dos recobrimentos parece deslocada na forma de clastos angulosos de lama logo acima dos estratos (Figura 6C). Esse conjunto de características sugere que a laminação tangencial corresponde a um feixe de marés (*tidal bundle*). Desse modo a estrutura seria gerada a partir de ciclos de deposição de areia fina, e recobrimento subsequente por lama a partir de momentos de menor energia fluxo e subsequente decantação dos finos. Eventuais fluxos de alta energia no sentido reverso da maré removeriam os recobrimentos na forma de intraclastos de lama, lançando-os contra as formas de leito já formadas do próprio feixe (*rip-up clasts*) (Figura 8E).

O elemento feixe de marés é atribuído mais provavelmente à zona intermarés, devido ao caráter alternado



do fluxo e corroborado pelo rumo coincidente com o das estratificações maiores dos arenitos (em crevassas de sistemas fluviais, o rumo seria perpendicular ao dos canais). Desse modo, como o feixe de marés associa-se às heterolítica *wavy*, estas também seriam geradas no contexto de marés. Combinados, heterolíticas *wavy* e feixe de marés sugerem sua formação em uma zona intermarés média (*mixed flat*) a inferior (*sand flat*) (DALRYMPLE, 1992).

Siltito (S)

Esta fácies apresenta-se em forma lenticular ou tabular de silte grosso, encerrada entre arenitos mais grossos, com contatos abruptos tanto na base, como no topo. Apresenta ligeira laminação plano-paralela em algumas porções, e níveis muito mosqueados e convolutos na maioria das vezes. Para esta fácies interpretam-se depósitos de planície de inundação um pouco mais distantes em relação às fontes clásticas de canais fluviais próximos. É interpretado como oriunda de uma decantação de carga suspensa, sem correntes, em prováveis momentos de restrição de fluxo ou estiagem. Seu mosqueamento pode ser devido à ação de organismos bioturbadores oportunistas, e suas convoluções podem ser pela sobrecarga de sedimento mais grosso após a ampliação de canais e/ou o efeito de sismos.

Folhelho (F)

Esta fácies ocorre bastante alterada pelo desenvolvimento de local de solos (Figura 9B), sendo constituída

por um folhelho bem friável, porém quase maciço, com laminação interna incipiente e raramente alguma fissilidade. Sua coloração é verde clara, sendo também levemente margoso (calcífero). Sua espessura é pelo menos decimétrica e sua geometria é indefinida nos afloramentos visitados, embora provavelmente tabular.

Sua associação com a fácies Sgr, à qual é localmente sotoposta, sugere um contexto de supramaré, onde a água estagnada favoreceria a decantação de lama e a precipitação de carbonatos. No entanto, na falta de mais elementos internos e/ou relações de contatos verticais e horizontais com as demais fácies, uma possibilidade adicional de que a decantação tenha ocorrido em uma bacia central (*central basin*; BOYD et al., 2006) relativamente mais profunda não pode ser descartada.

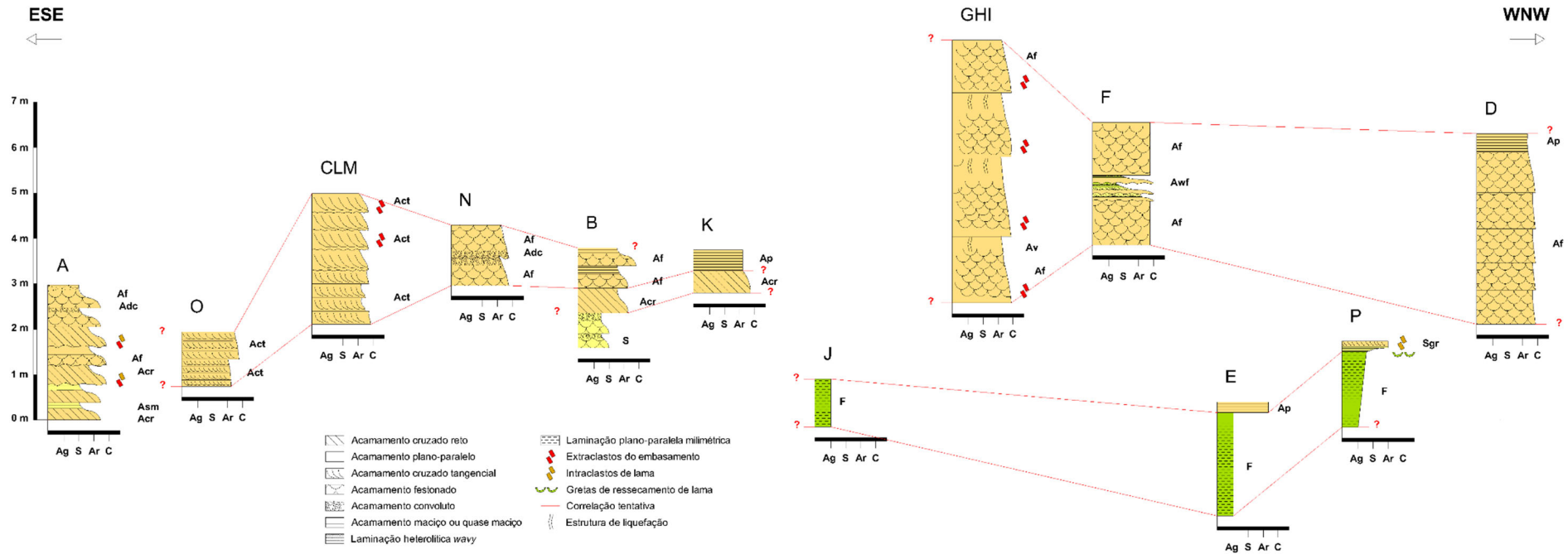


Figura 10: Colunas estratigráficas com sua distribuição de fácies e correlação tentativa na seção do Sítio Saco. A elevação vertical (cota) em metros se encontra indicada. A distribuição horizontal não se encontra em escala, mas segue a ordem de aparição ao longo de 790 m. Vide o texto para detalhes das fácies deposicionais e a Figura 1 para a localização das colunas.



Código das fácies	Descrição	Interpretação	%
Acr	Arenito fino a médio com estratificação cruzada reta, granodécrescente, presença de grãos grossos nos limites de série.	Migração de barra de acreção frontal (acreção lateral subordinada).	15
Act	Arenito fino a grosso com estratificação cruzada tangencial, presença de grânulos e cimentação em óxi-hidróxido de ferro nos limites de série.	Migração de barra de acreção frontal (acreção lateral subordinada).	20
Adc	Arenito fino com deformação convoluta, mosqueamento e cimentação em óxi-hidróxidos de ferro na laminação.	Bioturbação sobre barras em níveis rasos e/ou emersos.	5
Af	Arenito fino a grosso com estratificação festonada e presença de grânulos nos limites de série.	Migração de macroformas de crista sinuosa nos canais principais.	20
Asm	Arenito siltoso a siltito maciço.	Corte e preenchimento de canais.	5
Ap	Arenito fino com laminação plano-paralela, ocasionalmente cimentado em calcita.	Fluxo superior ou de transição de Froude em canais secundários durante a estiagem ou em superfície desconfiada na planície intermarés.	10
Av	Arenito muito grosso (eventualmente grânulo) com núcleo de arenito fino (eventualmente silte) em condutos de diques clásticos e vulcões de areia.	Liquidificação de areias com escape de fluidos nas planícies fluviais emersas devido a sismos.	3
Awf	Arenito fino com clastos de lama, estruturas heterolíticas wavy e feixe de marés.	Tração e suspensão alternadas em planície de marés com reativação do fluxo (intermarés média a inferior).	2
Sgr	Siltito grosso a arenito muito fino com laminação plano-paralela e tangencial, gretas de ressecamento e recobrimentos de lama, ligeiramente cimentados em calcita.	Tração e suspensão alternadas com estagnação e reativação de fluxo (planície supramaré).	2
S	Siltito com laminação plano-paralela e presença de níveis mosqueados e convolutos.	Decantação na planície de inundação, com bioturbação e sobrecarga (deposição rápida ou sismos).	3
F	Folhelho verde claro com laminação incipiente e ligeiramente cimentado em calcita.	Decantação da carga suspensa em planície de supramaré e/ou bacia central.	15

Figura 11: Sumário para as fácies deposicionais da seção estudada da Formação Antenor Navarro.

5. DISCUSSÕES

5.1 Paleocorrentes

Na seção estudada da Formação Antenor Navarro, foram obtidas 42 medidas de paleocorrentes dos arenitos, apresentando um ângulo de mergulho médio geral em $21,3^\circ$, com desvio-padrão de $6,2^\circ$ a um intervalo de confiança de 95% (Figura 11). Neste caso, como os ângulos de repouso médios para um plano inclinado da forma de leito para grãos sob transporte subaquoso se situam entre 15 e 25° (MIALL, 2006), esses valores reforçam a ideia de que o transporte tenha sido subaquoso.

A partir das paleocorrentes obtidas, um sentido médio de transporte para SSE foi indicado, com valor de

rumo médio geral em $150,9^\circ$, com desvio-padrão de $40,2^\circ$ a um intervalo de confiança de 95%. O resultado é ainda unimodal, o que reforça a interpretação de um sistema fluvial entrelaçado dominado por barras longitudinais, e não sistemas meandantes, intercalando barras transversais (barras em pontal com desvios de 90° em relação ao sentido principal dos canais) e longitudinais, onde o caráter do rumo de transporte seria polimodal (MIALL, 2006).

Em linhas gerais, o resultado é coincidente com aquele obtido por Costa (2010) em termos de rumo de paleocorrentes da FAN voltados para sudeste. A tendência de rumo de transporte SSE aqui obtida é ainda semelhante àquela mais frequentemente obtida para todas as unidades fluviais eocretáceas da Bacia do Araripe



mais a SW, exceto na chamada fase Pós-Rifte II (Formações Araripina e Exu) (ASSINE, 1994; ASSINE, 2007). Isso poderia significar uma tendência regional de orientação das drenagens nas bacias interiores vizinhas, embora não necessariamente uma conexão pretérita das mesmas com a BSRP. Já dentro da BSRP, outro ponto interessante é que a tendência de longitude para leste das paleocorrentes coincide com o rumo de passagem da FAN para a justaposta Formação Sousa, corroborando não apenas com a ideia relativamente recente de sua contemporaneidade com a FAN como também de uma possível interação entre seus sistemas deposicionais.

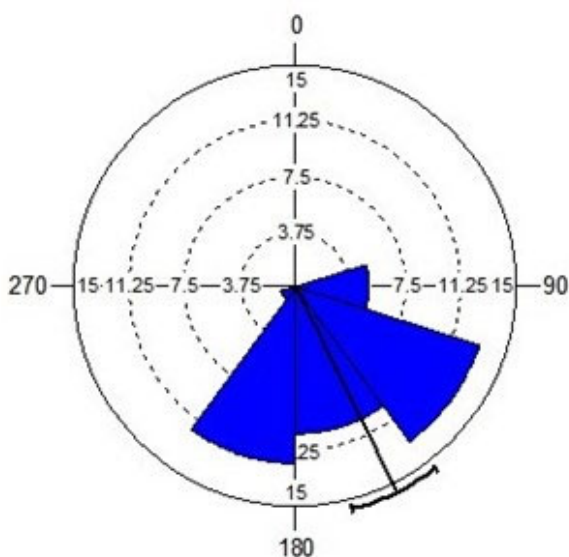


Figura 12: Histograma circular de frequência de rumos de paleocorrentes obtidas da seção do Sítio Saco. Número de amostras (n)= 42; vetor médio (μ)= 150,9°; desvio-padrão (σ -circular)= 40,2°.

As fácies sedimentares identificadas na seção estudada da FAN, dominada por arenitos ocasionalmente intercalados com folhelhos e siltitos, implicam sedimentação em um sistema fluvial influenciado por uma planície de marés adjacente. Os elementos arquiteturais dominantes são de acreção frontal (canais e barras longitudinais decamétricos), enquanto elementos de acreção lateral (barras em pontal) e de planície de inundação (p.ex., leques de crevassa) são raros ou inexistentes. Além disso, são frequentes as superfícies erosivas marcadas por extraclastos e intraclastos (Figura 10). Esse conjunto de características atesta para o caráter entrelaçado (*braided*) do sistema fluvial dominante (MIALL, 2014). Esse resultado é concordante, em linhas gerais, com o obtido por Costa (2010) e Costa *et al.* (2010) para a FAN.

Os sistemas anastomosados, que são em muitos trabalhos considerados um subtipo dentro dos sistemas entrelaçados (por exemplo BRIDGE, 2006), têm barras mais amplas, de centenas de metros, e mais estáveis, com vegetação, solos e planícies de inundação mais bem desenvolvidos. Frequentemente, sistemas anastomosados também são favorecidos por subsidência tectônica à montante, o que não parece ser o caso na seção-tipo do Sítio Saco.

Contra a ideia de leques aluviais, por vezes atribuída à FAN na literatura (por exemplo, CARVALHO, 2000), também pesa a maturidade textural

5.2 Interpretação paleogeográfica



relativamente alta dos depósitos, que possuem pouco cascalho. O cascalho ocorre concentrado apenas em camadas localmente conglomeráticas, sem formar fácies típicas de conglomerados, e ainda assim são sustentados pela matriz arenosa e ocorrem mais abundantemente na forma de grânulos. Uma matriz lamosa seria esperada em combinação com cascalho na formação de depósitos típicos de fluxos de detritos, com sucessões conglomeráticas entrecortadas, gradação normal e inversa, imbricação etc. (COLLINSON *et al.*, 2006), nenhum dos quais detectado nas fácies analisadas.

No entanto, a FAN também apresentou particularidades na seção-tipo. Estruturas heterolíticas e laminações cruzadas tangenciais recobertas por filmes de lama (*drapes*), tanto intactos como revirados, ocorrem mais de uma vez, em alguns casos sucedidos por depósitos lamosos com gretas de ressecamento. Nelas, embora o presente estudo não tenha detectado *foresets* adequados para medidas diretas de paleocorrentes com bússola, seus planos se encontravam sempre claramente inclinados para os quadrantes meridionais, seguindo o mesmo sentido geral das estratificações cruzadas fluviais; em depósitos de rompimento de diques sobre a planície de inundação, geralmente as paleocorrentes são transversais, e apresentam laminações cavalgantes (*climbing ripples*) (MIALL, 2014), o que não foi detectado. Por isso, o conjunto de ocorrências nas fácies descritas sugere que, ao invés de planície de inundação fluvial típica, os elementos de

acresção frontal desembocariam em uma planície de marés (*tidal plain*) (DALRYMPLE, 1992; BOYD *et al.*, 2006).

Vale acrescentar que depósitos margosos ocorrem em ao menos dois locais: 1. Em um folhelho intercalado por um único arenito isolado fino e tabular, com laminação plano-paralela e cimentado em calcita (Ponto E, Figuras 1 e 10), e; 2. Em um folhelho associado a estruturas heterolíticas e níveis com gretas de ressecamento (Ponto P, Figuras 1, 9B e 10). Fácies carbonáticas como essas são favorecidas por hipersalinidade e saturação sob clima árido, o que corrobora com sistemas fluviais entrelaçados, onde a aridez implica pouca vegetação e solos mal desenvolvidos, reduzindo a estabilidade das margens (*banks*) e evitando o fluxo sinuoso dos meandros (MIALL, 2006); neles, as margas podem se desenvolver justamente nas planícies de inundação ao permanecerem com água estagnada por longos períodos. No entanto, o mesmo argumento vale para planícies de marés, especialmente nas zonas de supramaré, onde o alcance das águas de marés de quadratura é limitado e seu quimismo pode ser incrementado não apenas pela evaporação como ainda pela própria salinidade natural das águas bacinais. Ademais, fácies margosas também têm sido descritas entre os lamitos e folhelhos da Formação Sousa (LIMA; COELHO, 1987), reforçando a ideia de passagem transicional lateral entre ela e a FAN. O arenito cimentado em calcita registra um provável regime de fluxo de transição de Froude, uma condição improvável em meio aos depósitos grossos dos



elementos fluviais de acreção frontal, mas que é comum em sedimentos mais finos associados a corpos de água mais perenes sujeitos a eventos tempestuosos, como lagunas e estuários.

As fácies e estruturas de interpretação mais difícil são as camadas convolutas e diques clásticos associados a possíveis pequenos vulcões de areia. Há níveis aparentemente mosqueados em meio às camadas convolutas, o que poderia, em tese, ser devido à bioturbação por animais ou plantas em solos rasos (GOLDBERG, 1992). No entanto, nenhuma estrutura diagnóstica mais clara (marcas de raízes, *pedis* etc.) foi encontrada. Já no caso dos diques clásticos, certamente produzidos por liquefação, seu processo seria relacionado a choques cíclicos causados por sismos atingindo camadas moles e encharcadas à época da deposição. Logo, sua formação talvez esteja associada à das bandas de deformação (BD) descritas recentemente e que ainda se encontram sob estudo na BSRP (ARAÚJO *et al.*, 2018; NICCHIO *et al.*, 2018). Também, vale ressaltar que os mesmos sismos têm a capacidade de deformar e gerar camadas convolutas.

Em seus trabalhos, Miall (2006) disserta sobre a ocorrência comum de fácies diversas associadas a sistemas fluviais de sedimentação e suas fácies diagnósticas; destacadamente, o autor cita exemplos como lagos, desertos eólicos, depósitos glaciais, estuários e sedimentação vulcânica. Sistemas estuarinos podem conter depósitos fluviais e de maré em associação

próxima, onde a Influência de marés pode ser indicada pela presença de estruturas sedimentares típicas, como ritmitos, acamamento *flaser* e acamamento heterolítico inclinado (THOMAS *et al.*, 1987; SHANLEY *et al.*, 1992). A relação entre rios e marés é comum onde a linha de costa é submetida a repetidas mudanças no nível de base (MIALL, 2006).

Com base nos argumentos apresentados, a sucessão descrita para a FAN na seção-tipo do Sítio Saco durante o Eocretáceo é interpretada como um sistema entrelaçado do tipo flúvio-estuarino ou flúvio-lagunar, tendo a Formação Sousa como bacia receptora (ou bacia central) inundada (Figura 13). A geometria da FAN nesse contexto seria semelhante à da atual foz do Rio Mobile na baía de mesmo nome, costa do Alabama, Estados Unidos (YÁÑEZ-ARANCIBIA, 1986).

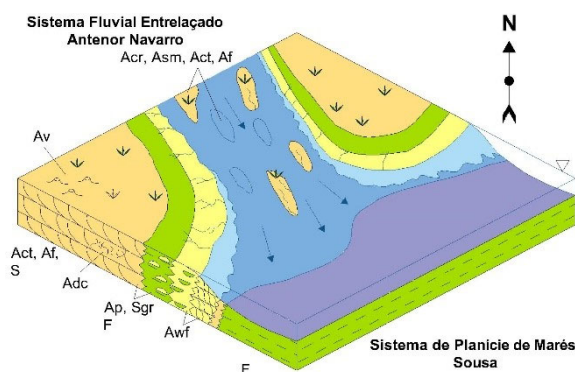


Figura 13: Modelo paleogeográfico confeccionado para a seção estudada. Vide tabela da Figura 11 para os símbolos das fácies deposicionais.



CONCLUSÕES

Na seção analisada em Triunfo (PB), a Formação Antenor Navarro registra deposição arenítica com ampla variedade de estruturas sedimentares, compondo as fácies Acr, Act, Adc, Af, Asm, Ap e Av, em um sistema deposicional interpretado como flúvio-estuarino ou flúvio-lagunar entrelaçado de baixa sinuosidade.

A FAN é constituída principalmente por sucessões areníticas de barras longitudinais, ocasionalmente transversais, marcada por estratificações cruzadas retas (Acr, Act) e tangenciais (Af) de canais principais. A sobreposição das fácies demonstra a dinamicidade do sistema fluvial Antenor Navarro, com barras longitudinais sucessivamente sobrepostas em ciclos de sedimentação distintos, separados por frequentes superfícies erosivas.

Localmente, esse sistema estaria condicionado a variações de nível da maré na bacia receptora próxima, com recobrimentos de lama entre marcas onduladas de areia e feixes de maré, representados pela fácies Awf. A presença ocasional de fácies de granulação mais fina com ao menos ligeira cimentação carbonática (Ap, Sgr, F) indica um contexto de hipersalinidade e saturação sob clima árido, o que corrobora com sistemas fluviais entrelaçados, onde a aridez implica pouca vegetação e solos mal desenvolvidos, reduzindo a estabilidade das margens (*banks*). Porém a própria natureza química das águas bacinais poderia favorecer a disponibilidade de carbonato para sua deposição em planícies de inundação ou de maré.

Exposição subaérea dessas planícies próximas aos canais ativos ou abandonados favoreceria a formação de gretas de ressecamento em siltes e lamias (F, Sgr).

A orientação SSE das paleocorrentes, rumo à margem falhada da Sub-Bacia de Brejo das Freiras, e a justaposição da FAN com a Fm. Sousa indicariam uma origem contemporânea para as duas formações, onde esta última atuaria como bacia receptora do fluxo hídrico fluvial advindo da FAN.

Apesar da indubitável influência de marés na FAN, atestada principalmente nos feixes de maré com indícios de reativação e sentido de fluxo paralelo ao dos canais principais, a distinção entre estuário ou laguna para sua bacia receptora demanda maiores estudos futuros com foco na Formação Sousa mais a leste.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem especialmente aos professores Daniel Bezerra das Chagas (UFG) e Narelle Maia de Almeida (UFC) pelos comentários que contribuíram com o desenvolvimento deste trabalho. Os autores agradecem ainda a um revisor anônimo, ao corpo editorial da revista e ao incentivo de todos para a publicação. Este trabalho teve apoio financeiro do projeto "Bandas de deformação Rio do Peixe (DEBRIP): análise multiescalar e geração de banco de dados geofísico, geológico, modelagem e simulação numérica" – PETROBRAS-EPE, termo de cooperação número 5850.0109438.18.9.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP), 2007. Rodada 9 de Licitações: Bacia do Rio do Peixe. Sítio eletrônico: <https://www.gov.br/anp/pt-br>
- AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP), 2021. Superintendência de Dados Técnicos: Banco de Dados de Exploração e Produção (BDEP). Sítio eletrônico: <https://www.gov.br/anp/pt-br>
- ALBUQUERQUE, J.P.T., 1971. Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste: Folha nº 15 – Jaguaribe – Ceará. SUDENE, Recife, Ser. Hidrogeologia 32: 187p.
- ALMEIDA, F.F.M. *et al.*, 1977. Províncias Estruturais Brasileiras. In: VIII Simpósio de Geologia do Nordeste, Campina Grande, Atas, Boletim 6, p. 363-391.
- ARAÚJO, R.E.B., 2018. O papel das falhas na evolução de bandas de deformação na bacia do Rio do Peixe. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Dissertação de Mestrado (inéd.), 77 p., anexos.
- ARAÚJO, R.E.B. *et al.*, 2018. Basement control on fault formation and deformation band damage zone evolution in the Rio do Peixe Basin, Brazil. *Tectonophysics*, v.745, p.117-131.
- ASSINE, M.L., 1994. Paleocorrentes e paleogeografia na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 24, n. 4, p. 1- 10.
- ASSINE, M.L., 2007. Bacia do Araripe. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, v.15, n.2, p. 371-389.
- BOYD, R. *et al.*, 2006. Estuarine and incised-valley facies models. In: POSAMENTIER, H.W. & WALKER, R.G. *Facies models revisited*, p.171-235.
- BRAUN, O.P.G., 1969. Geologia da Bacia do Rio do Peixe, Nordeste do Brasil. Recife, DNPM/NGM. 23p. (Relatório Interno).
- BRIDGE, J.S., 2006. Fluvial facies models: recent developments. In: POSAMENTIER, H.W.; WALKER, R.G. *Facies models revisited*. SEPM, Tulsa (EUA), 532p.
- BRITO NEVES, B.B. *et al.*, 2000. Tectonic history of the Borborema Province. In: CORDANI, U.G. *et al.* (eds.). *Tectonic evolution of the South America*. 31st International Geological Congress, p.151-182.
- CARVALHO, I.S., 2000. Geological environments of dinosaur footprints in the intracratonic basins of northeast Brazil during the Early Cretaceous opening of the South Atlantic. *Cretaceous Research*, v.21, p. 255-267.
- CARVALHO, I.S. *et al.*, 2013. The role of fracturing and mineralogical alteration of basement gneiss in the oil exsudation in the Sousa Basin (Lower Cretaceous), Northeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 47, 47-54.
- CASTRO, D.L. *et al.*, 2007. On the tectonics of the Neocomian Rio do Peixe Rift Basin, NE Brazil: Lessons from gravity, magnetic and radiometric data. *Journal of South American Earth Sciences*, 24, 184–202.
- COLLINSON, J.D. *et al.*, 2006. *Sedimentary structures* (3rd ed.). Terra Publishing, 359p.
- CÓRDOBA, V.C. *et al.*, 2008. Análise estratigráfica e estrutural da Bacia do Rio do Peixe Nordeste do Brasil: integração de dados a partir do levantamento sísmico pioneiro 0295 rio_do_peixe_2d. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v.16, n.1, p.53-68.
- COSTA, A.B.S., 2010. Geological environments of dinosaur footprints in the intracratonic basins of northeast Brazil during the Early Cretaceous opening of the South Atlantic. *Dissertação de Mestrado* (inéd.),



- Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 195p.
- DALRYMPLE, R.W. 1992. Tidal depositional systems. In: WALKER, R.G.; JAMES, N.P. Facies models: response to sea level change. Geological Association of Canada, 407 p.
- FOSSEN, H. 2010. Deformation bands formed during soft-sediment deformation: Observations from SE Utah. *Marine and Petroleum Geology*, v.27, p.215-222.
- GOLDBERG, P., 1992. Micromorphology, soils and archaeological sites. In: Holliday, V.T. (Ed.), *Soils in archaeology, landscape evolution and human occupation*. Smithsonian Institution Press, Washington DC. 272 p.
- LIMA FILHO, M.L., 1991. Evolução tectono-sedimentar da Bacia do Rio do Peixe - PB. Dissertação de Mestrado. UFPE. Recife.
- LIMA, M.R. & COELHO, M.P.C.A., 1987. Estudo palinológico da sondagem estratigráfica de Lagoa do Forno, Bacia do Rio do Peixe, Cretáceo do nordeste do Brasil. *Boletim do IG-USP (Série Científica)*, v. 18, p.67-83.
- MATOS, R.M.D., 1992. The Northeast Brazilian Rift System. *Tectonics*, v.11, n.4, p.766-791.
- MATOS, R.M.D., 1999. History of the Northeast Brazilian rift system: kinematic implications for the break-up between Brazil and West Africa. In: Cameron, N. R.; Bate, R. H.; Clure, V. S. (eds.), *The Oil and Gas Habitats of the South Atlantic*. Geol. Soc., London, Spec. Publ., 153: 55-73.
- MIALL, A.D., 2006. *The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Analysis and Petroleum Geology*. Springer-Verlag, New York, 582p.
- MIALL, A.D., 2014. *Fluvial depositional systems*. Springer, 316p.
- NICCHIO, M.A. *et al.*, 2018. Development of cataclastic foliation in deformation bands in feldspar-rich conglomerates of the Rio do Peixe Basin, NE Brazil. *Journal of Structural Geology*, v.107, p.132-141.
- NOGUEIRA, F.C.C. *et al.*, 2015. Cretaceous intracontinental rifting and post-rift inversion in NE Brazil: Insights from the Rio do Peixe Basin. *Tectonophysics*, v.644-645, p.92-107.
- NOGUEIRA, F.C.C. *et al.*, 2021. The influence of the cataclastic matrix on the petrophysical properties of deformation bands in arkosic sandstones. *Marine and Petroleum Geology*, v.124, p.104825.
- OLIVEIRA, L.S.B. *et al.*, 2022. Mechanical stratigraphy influences deformation band pattern in arkosic sandstones, Rio do Peixe Basin, Brazil. *Journal of Structural Geology*, v.155, p.104510.
- PONTES, C.C.C. *et al.* 2019. Petrophysical properties of deformation bands in high porous sandstones across fault zones in the Rio do Peixe Basin, Brazil. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, v.114, p.153-163.
- RAPOZO, B.F., 2020. Evolução tectono-estratigráfica da porção central da Bacia do Rio do Peixe, NE do Brasil. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Dissertação de Mestrado, 106p.
- RAPOZO, B.F. *et al.*, 2021. Tectono-stratigraphic evolution of a cretaceous intracontinental rift: example from Rio do Peixe Basin, north-eastern Brazil. *Marine and Petroleum Geology*, v.126, p.104899.
- SANTOS, E.J., 2002. Contexto Tectônico Regional. In: MEDEIROS, V.C. (ed.). *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil*. Aracaju NE, Folha SC.24-X. Escala 1:500.000. Brasília: CPRM. 2, CD-ROM.
- SEILACHER, A., 2007. *Trace fóssil analysis*. Springer (Berlim, Heidelberg, New York), 238p.
- SELLEY, R.C., 1970. *Ancient Sedimentary Environments*. Chapman & Hall, London. 237 p.



- SHANLEY, K.W. *et al.*, 1992. Significance of tidal influence in fluvial deposits for interpreting sequence stratigraphy. *Sedimentology*, v.39, p.905-930.
- SILVA, A.N., 2009. Arquitetura, Litofácies e Evolução Tectono-Estratigráfica da Bacia do Rio do Peixe, Nordeste do Brasil. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Dissertação de Mestrado (inéd.), 128p.
- SILVA, A.J.P. *et al.*, 2003. Bacias sedimentares paleozóicas e meso-cenozóicas interiores. In: BIZZI *et al.* (Eds.). *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. Serviço Geológico do Brasil, 643p.
- SILVA, I.T., 2014. Evolução diagenética e caracterização da seção Devoniana na Bacia do Rio do Peixe - Nordeste do Brasil. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- SILVA, J.G.F. *et al.*, 2014. Proposta de novas unidades litoestratigráficas para o Devoniano da Bacia do Rio do Peixe, Nordeste do Brasil. *Brazilian Journal of Geology*, v.44, n.4, p.561-578.
- SILVA, M.E. *et al.*, 2022. Permeability modeling of a basin-bounding fault damage zone in the Rio do Peixe Basin, Brazil. *Marine and Petroleum Geology*, v.135, p.105409.
- SOUSA, A.J. *et al.*, 2019. Non-marine ostracod biostratigraphy of cretaceous rift lake deposits (Sousa Basin, Brazil): Paleogeographical implications and correlation with Gondwanic basins, *Journal of South American Earth Sciences*, v.96, p.1-12.
- SOUZA, F.M. *et al.*, 2022. 2D modeling and simulation of deformation bands' effect on fluid flow: Implications for hydraulic properties in siliciclastic reservoirs. *Journal of Structural Geology*, v.158, p.104581.
- SRIVASTAVA, N.K. & CARVALHO, I.S., 2004. Bacias do Rio do Peixe. Fundação Paleontológica Phoenix, Aracaju (SE), Informativo 71, p.4.
- TORABI, A. *et al.*, 2021. Variation of thickness, internal structure and petrophysical properties in a deformation band fault zone in siliciclastic rocks. *Marine and Petroleum Geology*, v.133, p.105297.
- THOMAS, R.G. *et al.*, 1987. Inclined heterolithic stratification - terminology, description, interpretation and significance. *Sedimentary Geology*, v.53, p.123-179.
- VASCONCELOS, D.L. *et al.*, 2020. Tectonic inversion assessed by integration of geological and geophysical data: The intracontinental Rio do Peixe Basin, NE Brazil. *Basin Research*, 33, p.705-728.
- WALKER, R.G., 1979. *Facies Models*. Geosci. Canada Reprint Series, 1 (first edition), 305 p. 1979.
- YÁÑEZ-ARANCIBIA, A., 1986. *Ecología de La Zona Costera*. AGT editor S.A., México, 1ª. Ed., 189 p.