



UFRJ

Leonardo Borges Caixeta

**ANÁLISE DE PETROFÁCIES DO INTERVALO ALAGOAS NA
BACIA DO ARARIPE**

**Trabalho de Conclusão de Curso
(Bacharelado em Geologia)**

**Rio de Janeiro
2006**

Leonardo Borges Caixeta

ANÁLISE DE PETROFÁCIES DO INTERVALO ALAGOAS NA
BACIA DO ARARIPE

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador:

Leonardo Borghi

UFRJ
Rio de Janeiro
Dezembro de 2006

CAIXETA, Leonardo Borges

Análise de petrofácies do intervalo Alagoas na Bacia do Araripe.

Leonardo Borges Caixeta - - Rio de Janeiro: UFRJ / Igeo, 2006.

ix, 17p. : il.; 30 cm (Instituto de Geociências – UFRJ, B.Sc., Curso de Graduação em Geologia, 2006)

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências.

Responsável: Leonardo Borghi

1. Bacia do Araripe. 2. Cretáceo. 3. Andar Alagoas. 4. Formação Santana. 5. Formação Rio da Batateira. 5. Petrofácies. Borghi, Leonardo. II. IGEO/UFRJ

Leonardo Borges Caixeta

ANÁLISE DE PETROFÁCIES DO INTERVALO ALAGOAS NA
BACIA DO ARARIPE

Trabalho de Conclusão de Curso
de Graduação em Geologia,
Instituto de Geociências, da
Universidade Federal do Rio de
Janeiro – UFRJ, como requisito
necessário para obtenção do grau
de Bacharel em Geologia.

Orientador :
Leonardo Borghi

Aprovada em 18 dez. 2006

Por:

Prof. Leonardo Borghi (UFRJ)

Prof. Ismar de Souza Carvalho (UFRJ)

Prof. Carlos Jorge de Abreu (UFRJ)

UFRJ
Rio de Janeiro
2006

"Tentar e falhar é, pelo menos, aprender.
Não chegar a tentar é sofrer a inestimável
perda do que poderia ter sido"
– Geraldo Eustáquio

Agradecimentos

Agradeço ao 4º Distrito do DNPM, Recife/PE pela cessão das amostras dos testemunhos de sondagem de onde foram retiradas as amostras usadas neste trabalho, ao Banco de Dados da Indústria do Petróleo (BDEP-ANP) pela concessão da seção sísmica utilizada; ao CNPq pelo apoio através da cessão da bolsa de iniciação científica PIBIC-CNPq, e, ao geólogo Max Vasconcellos pela cessão dos perfis estratigráficos.

Agradeço a todos que estiveram envolvidos na realização deste trabalho, cuja ajuda foi indispensável.

Resumo

CAIXETA, Leonardo Borges. **Análise de petrofácies do intervalo Alagoas na Bacia do Araripe**. Rio de Janeiro, 2006. ix, 17p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Este estudo objetiva a análise de petrofácies dos arenitos das formações Rio da Batateira e Santana, através da descrição petrográfica de 11 lâminas delgadas de amostras de rochas de testemunhos de sondagem (1PS-7-CE, 1PS-11-CE e 1PS-12-CE), com a finalidade de contribuir para o conhecimento da evolução tectonossedimentar do intervalo Alagoas da bacia. A partir da análise discriminante de dados composicionais foi possível definir 4 petrofácies, organizadas em 3 petrossequências. Os resultados apontam para a existência de superfícies de discordância intra-Santana, definidas em função da mudança no caráter tectônico das petrossequências, e, variações composicionais da área-fonte das petrofácies. A existência destas superfícies sugere movimentações tectônicas durante o intervalo Alagoas na bacia do Araripe, que vai de encontro ao modelo atual de evolução da mesma, que classifica este intervalo como parte da tectonossequência Pós-rifte. Desta forma, abre-se espaço para novas hipóteses de evolução tectônica do intervalo tratado, bem como questionamentos sobre o seu arcabouço estratigráfico, o que pode modificar o panorama geológico das bacias interiores do Nordeste.

Palavras-chave: Bacia do Araripe; Cretáceo; andar Alagoas; Formação Santana; Formação Rio da Batateira; petrossequências; petrofácies

Abstract

CAIXETA, Leonardo Borges. ***Petrofacies analysis of the Alagoas interval in the Araripe Basin***. Rio de Janeiro, 2006. ix, 17p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The study involves a petrofacies analysis of the Rio da Batateira and Santana formations sandstones, by the petrographic description of 11 thin sections obtained from samples of three well corings (1PS-7-CE, 1PS-11-CE e 1PS-12-CE). It aims the discussion of the tectono-sedimentary evolution of the local Alagoas Stage (Lower Cretaceous), known as a quiescent sag period of the basin, usually correlated to the “Transitional Phase” interval of the eastern continental margin basins of Brazil. The compositional discriminant analysis of petrographic data allowed the characterization of 4 petrofacies, organized in 3 petrosequences. Results suggest the recognition of intraformational unconformities in the Santana Formation due to distinct provenance contexts here proposed, possibly related to tectonic activity changes in the basin. This reinforces the necessity of both tectonic and stratigraphic revisions of the basin, what could imply in a distinct geological panorama for the interior basins from the Northeastern Brazil.

Key- Words: Araripe Basin; Lower Cretaceous; Santana Formation; Rio da Batateira Formation; petrosequences; petrofacies

Lista de figuras

Figura 1 - Mapa de localização da seção sísmica e poços utilizados neste trabalho	3
Figura 2 - Conjunto de grábens romboedrais que formam as duas sub-bacias que compõem a do Araripe (Ponte & Ponte Filho, 1996).	6
Figura 3 - Digrama estratigráfico da Bacia do Araripe (Arai <i>et al.</i> , 2004).	8
Figura 4 - Dendogramas ilustrando os resultados da análise de discriminantes, onde foram separadas as 4 petrofácies (A) e 3 áreas-fontes (B).	11
Figura 5 - Diagrama ternário de mostrando a correlação das petrossequências com as petrofácies de Dickinson <i>et al.</i> (1983). Note que existe uma mudança no contexto tectônico das duas petrossequências	17

Sumário

Resumo	vi
Lista de figura	viii
1 INTRODUÇÃO	1
2 MATERIAL E MÉTODO	2
3 CONTEXTO GEOLÓGICO	5
3.1 A Bacia do Araripe	5
3.2 O Andar Alagoas	7
4 ANÁLISE DOS DADOS	10
4.1 Petrofácies	11
4.1.1 Petrofácies A	12
4.1.2 Petrofácies B	13
4.1.3 Petrofácies Bg	14
4.1.4 Petrofácies C	15
4.2 Petrossequências	15
5 CONCLUSÕES	19
Referências bibliográficas	20
Apêndice A – Aspectos diagenéticos	
Apêndice B – Relação das amostras estudadas, sua caracterização composicional, textural e faciológica	
Apêndice C – Estampas das fotomicrografias	
Apêndice D – Distribuição das petrofácies nos perfis de sondagem	
Anexo A – Análise de agrupamento	
Anexo B – Artigo de Moura & Borghi (2005)	
Anexo C – Seção sísmica 141-RL-01	

1 INTRODUÇÃO

A bacia do Araripe, localizada no interior do Nordeste brasileiro, guarda uma estreita relação genética com os sistemas de riftes que deram origem às bacias da margem continental Leste e Equatorial (*e.g.*, Recôncavo, Potiguar e Sergipe-Alagoas). A origem desses sistemas de riftes da margem teve início no Neocomiano (Eocretáceo), em resposta aos esforços distensivos responsáveis pela abertura do Oceano Atlântico Sul. No caso do Araripe, a formação de grábens que deram origem à bacia esteve relacionada à reativação de estruturas transcorrentes do seu embasamento, presentes na Província Borborema, o que lhe aponta uma classificação como do tipo *pull apart* (*cf.* Silva, 1983).

Embora o Araripe seja foco de estudos geocientíficos desde o início do século XIX, a maioria desses estudos foi realizada sobre seu rico e mundialmente conhecido acervoossilífero, resultando numa deficiência de informação a respeito de aspectos geológicos estruturais e sedimentares sobre a bacia, o que não permitiu que se criasse um modelo próprio de evolução tectonossedimentar para ela. Assim, sua geistória é escrita apenas através de comparações com as bacias da margem continental, principalmente via correlações bioestratigráficas.

Um exemplo claro de tais comparações verifica-se na correlação do intervalo Alagoas da Bacia do Araripe, representado pelas formações Rio da Batateira e Santana, com o de outras bacias da margem Leste. Em função dessas correlações, o intervalo Alagoas no Araripe é considerado como pertencente à Fase Transicional de abertura do Atlântico Sul (transição entre as fases Rife e Pós-rife), marcado pela sedimentação evaporítica resultante das supostas primeiras incursões marinhas, que dominariam o paleoambiente de sedimentação a partir desta idade.

Todavia, tal panorama geistórico pode não estar retratando adequadamente peculiaridades tectonossedimentares locais, o que implicaria na necessidade de uma revisão da concepção estratigráfica do intervalo Alagoas na bacia.

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo a análise de petrofácies de arenitos das formações Rio da Batateira e Santana com a finalidade de contribuir para o conhecimento da evolução tectonossedimentar do intervalo Alagoas da bacia, e, desta forma, para a evolução geológica das bacias interiores do Nordeste.

2 MATERIAL E MÉTODO

A análise de petrofácies proposta foi desenvolvida pelo estudo petrográfico de arenitos através do uso de microscópio de luz fotônica transmitida polarizada (microscópio Zeiss AXIOSKOP 40).

Em apoio à análise petrográfica, para a contextualização estratigráfica e estrutural, foram utilizadas linhas sísmicas e perfis estratigráficos de poços de onde as amostras de arenitos foram obtidas. Paralelamente à análise proposta, o estudo petrográfico também envolveu aspectos diagenéticos (Apêndice A).

Utilizaram-se 11 lâminas delgadas no estudo, confeccionadas a partir de amostras de arenitos coletados em testemunhos de sondagem descritos dos poços 1PS-07-CE (intervalo de 54 m), 1PS-11-CE (intervalo de 91,8 m) e 1PS-12-CE (intervalo de 42,3 m), relativos ao Projeto Santana (DNPM/CPRM, q.v. Scheid *et al.*, 1978) (Figura 1, Apêndice B), tendo os dois últimos sido descritos por M.V. Moura e L. Borghi em 2005. A escolha das amostras observou uma distribuição estratigráfica que cobrisse da melhor forma os intervalos de estudo.

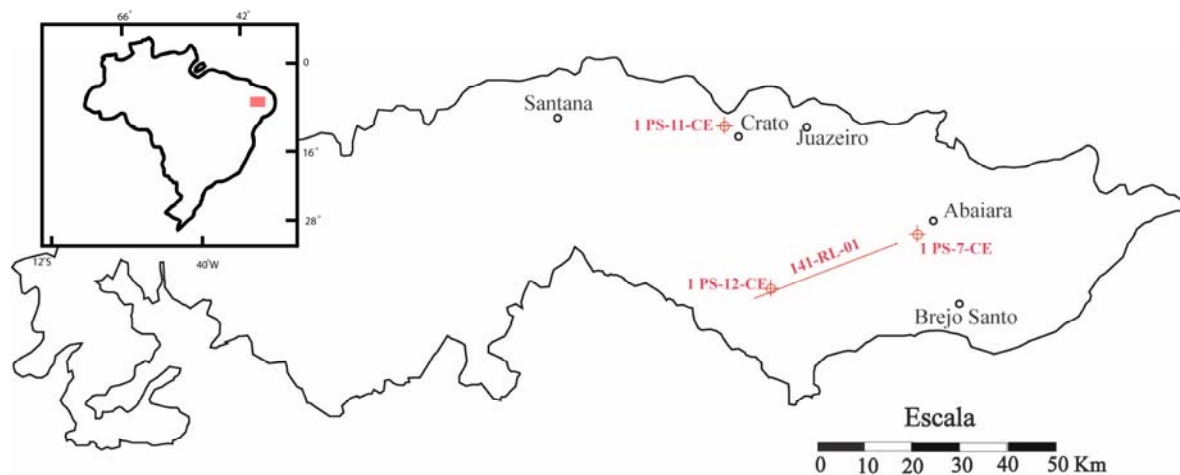


Figura 1 – Mapa de localização da seção sísmica e poços utilizados neste trabalho.

Em cada lâmina delgada foi realizada uma contagem de 300 pontos, a fim de se obterem informações composicionais e granulométricas das amostras. Outras feições como porosidade, cimentação e tipo de contato entre grãos foram avaliados visualmente para discussões sobre a diagênese.

O estudo composicional (mineralógico) buscou a caracterização de petrofácies. Dentro do conceito de fácies sedimentar¹, compreende-se como petrofácies *uma massa de sedimento ou rocha sedimentar terrígena caracterizada e distinguida das demais por aspectos composicionais (mineralógicos) dos componentes macroclásticos*. Sua interpretação dá-se quanto aos aspectos de proveniência (fonte sedimentar), levando em consideração as modificações diagenéticas a que o sedimento ou rocha submeteram-se. As petrofácies foram definidas através da análise de agrupamento dos dados composicionais (mineralógicos) de cada amostra (Anexo A), realizada com programa SAS.

¹ Segundo Borghi (2000), fácies sedimentar trata de “*uma massa de sedimentos ou rochas sedimentares caracterizada e distinguida das demais pela litologia geometria estratal, estruturas sedimentares, petrotrama, cores, fósseis e por atributos direcionais*”.

Dickinson *et al.* (1983), em um clássico estudo de proveniência sedimentar, baseou suas petrofácies em gráficos ternários dos tipos QmFL e QtFL, aplicando-lhes uma interpretação geotectônica para a área-fonte. Aqui também procurou-se interpretar as petrofácies caracterizadas segundo esse estudo.

Para melhor contextualização geológica estrutural e estratigráfica dos dados de petrofácies, a análise pretendida apoiou-se na análise de litofácies dos poços 1PS-11-CE e 1PS-12-CE, realizada por Moura & Borghi (2005) (Anexo B) e na interpretação da linha sísmica 141-RL-01, próxima aos poços, por Caixeta (2005) (Anexo C).

3 CONTEXTO GEOLÓGICO

3.1 A bacia do Araripe

A Bacia do Araripe está localizada na extremidade ocidental da Zona Transversal da Província Borborema, limitada ao sul pelo lineamento Pernambuco e ao norte pelo lineamento Paraíba. Dentro dos limites da Zona Transversal, são encontrados falhamentos obedecendo uma orientação predominantemente NE-SW e N-S. Esta trama estrutural do embasamento controla os diversos grábens e *horsts* que compõem os sistemas de riftes da bacia. A análise de levantamentos gravimétricos e magnetométricos na região, realizada por Oliveira (1983 *apud* Ponte & Ponte Filho, 1996), evidenciou a estrutura de duas sub-bacias, denominadas de sub-bacia Leste, ou do Cariri – onde se inserem os poços aqui estudados – e sub-bacia Oeste, ou de Feitoria, separadas pelo *horst* (alto) de Dom Leme (Figura 2). De modo geral, a arquitetura destas sub-bacias pode ser descrita com grábens romboedrais com orientação do eixo principal NE-SW.

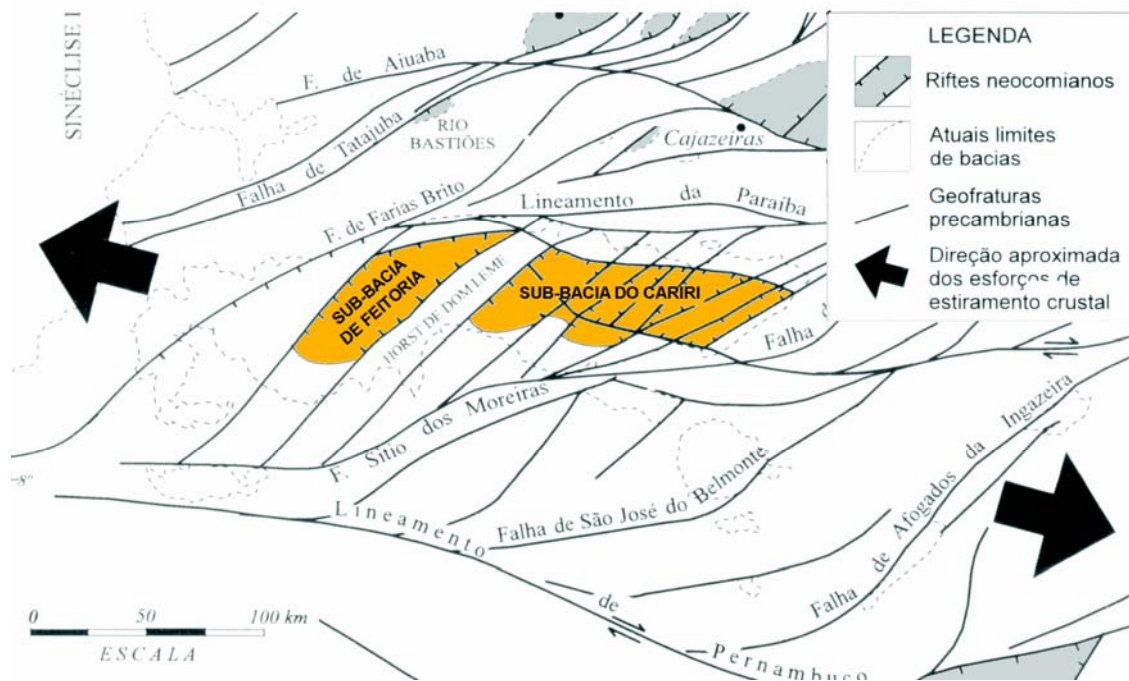


Figura 2 - Conjunto de grábens romboedrais que formam as duas sub-bacias que compõem a do Araripe (Ponte & Ponte Filho, 1996). Os poços, cujos testemunhos foram estudados, pertencem à parte oriental da sub-bacia do Cariri.

Através da análise de dados gravimétricos, Rand & Manso (1984, *apud* Ponte & Ponte Filho, 1996), calcularam espessuras máximas da ordem de 2.400 m. O posterior mapeamento da bacia, a aquisição de seções sísmicas de reflexão e a perfuração de um poço até o embasamento (2-AP-1-CE), permitiram uma nova avaliação da espessura da bacia, que ficou em aproximadamente em 1.700 m.

De acordo com o modelo vigente, a evolução tectônica da Microplaca do Nordeste foi dividida, segundo Ponte & Ponte Filho (1996), em quatro períodos principais. O primeiro de idade neoproterozóica, é caracterizado por reativações tafrogênicas de estruturas mais antigas e vulcanismos sin-sedimentares que originaram bacias molássicas. O segundo período é caracterizado pela subsidência térmica, que teria resultado na sedimentação neo-ordoviciana–oossiluriana representada na Bacia do Araripe pela Formação Cariri/(Mauriti). O terceiro estágio é representado pelo rifteamento do Gondwana (Evento Sul-atlantiano). Como resultado, formaram-se localmente um conjunto de grábens assimétricos através de

falhamentos, onde se implantaram e preservaram pequenas bacias sedimentares, tais como a bacia do Araripe (Figura 2). O quarto e último período da evolução tectônica da região é caracterizado pela subsidência termal, sem falhamentos pronunciados.

Segundo Assine (1992), a bacia do Araripe é constituída por quatro seqüências estratigráficas limitadas por discordâncias. A primeira delas é a Seqüência Paleozóica, composta unicamente pela Formação Mauriti, de idade siluro-ordoviciana; muito embora seja considerada jurássica por outros autores, baseados em registros de uma icnofauna dinossauriana (Carvalho *et al.*, 1995, *apud* Arai *et al.*, 2004). Segundo o modelo atual de evolução da bacia, esta seqüência representa a tectonosseqüência Pré-rifte da bacia (*sensu* Ponte & Ponte Filho, 1996). A segunda seqüência, Juro-Neocomiana, constituída pelas formações Brejo Santo, Missão Velha e Abaiara, representa a tectonosseqüência Rifte da bacia. A terceira seqüência, Aptiano–Albiano, contém as formações Barbalha(/Rio da Batateira) e Santana, correspondendo à parte inferior da tectonosseqüência Pós-rifte. Por fim, a Seqüência Albiano–Cenomaniano, representada pela Formação Exu, que inclui a Formação Arajara de Ponte & Appi (1990), a qual corresponde à parte superior da tectonosseqüência Pós-rifte.

3.2 O Andar Alagoas

O Andar Alagoas corresponde aproximadamente ao intervalo de andares internacionais Aptiano e parte inferior–média do Albiano. No Brasil, corresponde à Fase Transicional das bacias da margem continental Leste (transição Rifte/Pós-rifte), e que caracteristicamente incluem uma sedimentação evaporítica, considerada de origem marinha.

Na Bacia do Araripe, o Andar Alagoas é representado pelas formações Rio da Batateira e Santana (*sensu* Ponte & Appi, 1990). A Formação Rio da Batateira é constituída

predominantemente por arenitos finos a médios, com intercalações de lamitos avermelhados e amarelados, e níveis delgados de conglomerados contendo fósseis continentais, possuindo uma espessura máxima de aproximadamente 200 metros. Esta unidade recobre discordantemente a Formação Abaiara, que é datada do Aptiano superior por palinomorfos (Arai *et al.*, 2004), conforme observa-se na coluna estratigráfica (Figura 3). Sua gênese está associada a sistemas flúvio-lacustres, com paleocorrentes para sudoeste (q.v. Assine, 1992).

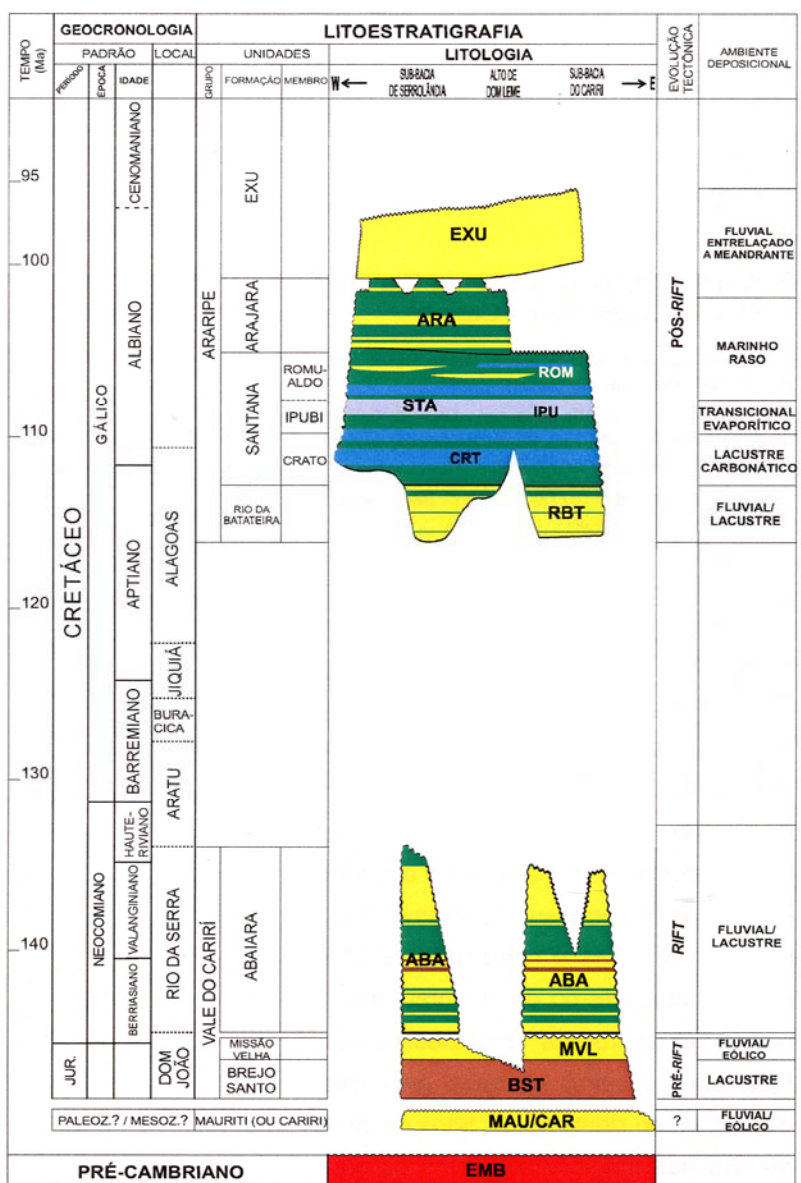


Figura 3 - Diagrama estratigráfico da bacia do Araripe segundo Arai *et al.* (2004).

Acima da Formação Rio da Batateira encontra-se a Formação Santana, dividida tradicionalmente em três membros. O Membro Crato, inferior, é caracterizado por calcários, folhelhos cinza-escuros a pretos e ritmitos de folhelho e calcário, com abundante acervo fossilífero, produto de um sistema lacustre (q.v. Neumann, 1999). Logo acima encontram-se concordantemente os evaporitos do Membro Ipubi, em camadas de gesso com aproximadamente 30 metros de espessura, sendo interpretados como produtos de um sistema costeiro subaquoso (Silva, 1983). Por fim, sobrepondo-se concordantemente ao Membro Ipubi, o Membro Romualdo compõe-se por uma sucessão de arenitos intercalados com siltitos e argilitos na base e folhelhos calcíferos esverdeados com concreções carbonáticas para o topo. Geneticamente, o Membro Romualdo está relacionado com uma ingressão marinha, como pode ser relatado pelos estudos paleontológicos realizados por Beurlen (1971). Neumann (1999) propõe a mudança para Grupo Santana, formado pelas formações Crato, Ipubi e Romualdo.

Não obstante, Silva (1983) e Moura & Borghi (2005) (Anexo B) apontam discordâncias intra-Santana. A primeira autora apresenta a idéia baseada na observação de superfícies de carstificação no topo das camadas de gipsita, assim limitando discordantemente os membros Ipubi e Romualdo; enquanto que os outros autores mostram uma relação de fácies mais complexa entre as litologias dos membros Crato e Ipubi, posicionando uma discordância sobre calcários, gipsita e rochas siliciclásticas, que marca a base do Membro Romualdo.

4 ANÁLISE DOS DADOS

Das 11 lâminas estudadas (Apêndice B), 5 foram obtidas do poço 1PS-11-CE, todas elas pertencendo à Formação Santana (*cf.* Moura, 2005; Moura & Borghi, 2005) (Anexo B); outras 4 foram obtidas do poço 1PS-07-CE, uma delas pertencente à Formação Santana (*cf.* Moura, em prep.); enquanto que as demais, à Formação Rio da Batateira(?); as restantes foram obtidas do poço 1PS-12-CE, pertencendo à Formação Santana (*cf.* Moura, 2005; Moura & Borghi, 2005) (Anexo B).

Do ponto de vista textural, em geral são arenitos de granulometria variando entre muito fina e média superior; apresentam-se moderadamente bem selecionados (em apenas uma das amostras apresenta-se mal selecionada); e cujos grãos são subangulosos a subarredondados, subprismoidais a subesféricos.

Composicionalmente tratam-se de arenitos feldspáticos ($Q_{60}F_{35}L_5$) que contêm ortoclásio (21%), microclina (12%) e, em menor quantidade, plagioclásio (2%) (Figura A, Estampa II, Apêndice C). O quartzo apresenta-se predominantemente monocristalino ($Q_m \sim 46\%$), com extinção reta ($Q_{m_r} \sim 20\%$) e ondulante ($Q_{m_o} \sim 26\%$), que indicaria certa deformação nas rochas-fonte. Além do quartzo monocristalino, encontra-se o policristalino com 2 a 3 subgrãos ($Q_{p_{2-3}} \sim 9\%$), que pode indicar fontes ígneas ou metamórficas com baixa deformação, ou mais de 3 subgrãos ($Q_{p_{>3}} \sim 6\%$), que, juntamente com grãos de *chert*, denotam fontes altamente deformadas, provavelmente metamórficas.

Os demais minerais ou litoclastos encontrados na rocha são acessórios, sendo os mais importantes (1) litoclastos ígneos ($L_i \sim 1,3\%$), compostos por uma associação de Q_m , $Q_{p_{2-3}}$ e micas (biotita ou muscovita) ou feldspatos; (2) litoclastos sedimentares ($L_s \sim 0,4\%$), representado por grãos de quartzo com sobrecrescimento, clastos de argila e clastos de rochas

carbonáticas; e (3) litoclastos metamórficos ($L_m \sim 3,3\%$), compostos pela associação de $Qp_{>3}$ com micas (muscovita e/ou biotita). Os grãos de *chert* foram computados como L_m .

Com menor frequência (1,5%), pode-se citar zircão, apatita, turmalina, sillimanita e glauconita (Figura B, Estampa I, Apêndice C); este um mineral muito interessante por permitir uma interpretação paleoambiental, já que sua gênese é comumente associada à paleoambientes marinhos.

4.1 Petrofácies

Foram caracterizadas 4 petrofácies sedimentares através da análise discriminante (Figura 4A), tendo por componentes diagnósticos Qm, Qp_{2-3} , $Qp_{>3}$, microclina, ortoclásio, plagioclásio, litoclastos (sedimentares, ígneos e metamórficos), zircão, sillimanita muscovita, biotita e turmalina (Apêndice D).

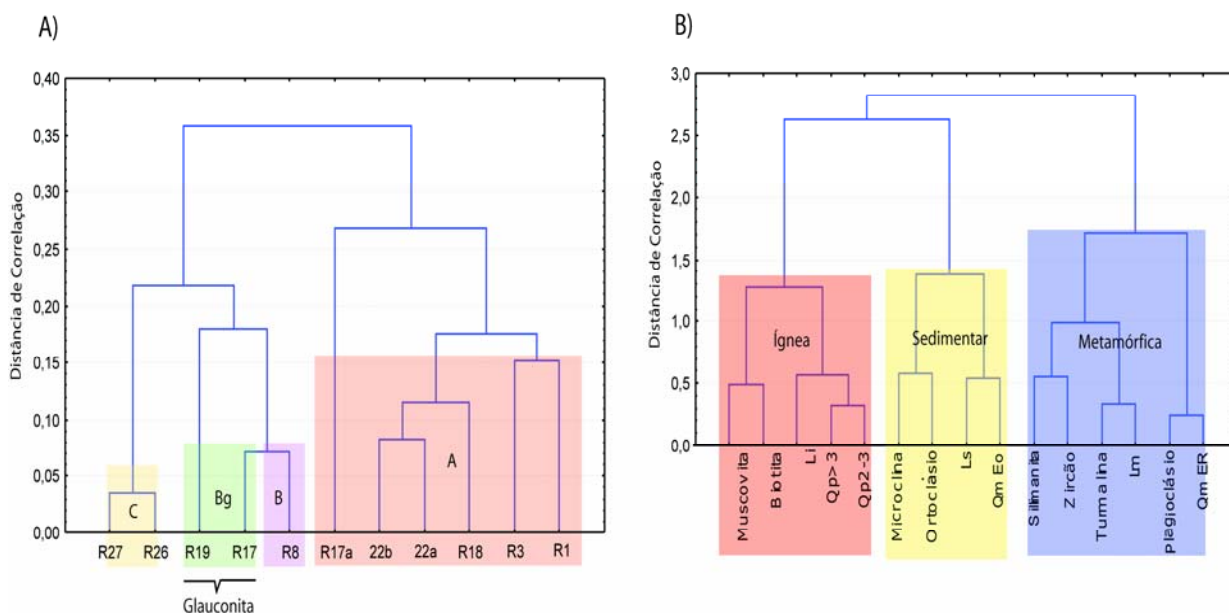


Figura 4 – Dendogramas ilustrando os resultados da análise de discriminantes, onde foram separadas as 4 petrofácies (A) e 3 áreas-fontes (B).

As petrofácies definidas derivam de 3 áreas fontes, individualizadas pela associação mineralógica que as compõem (Figura 4B), sendo interpretadas como de origem sedimentar, ígnea / metamórfica de alto grau e metamórfica.

Outro fator importante a ser analisado no estudo de proveniência é a questão das paleocorrentes. Segundo Assine (1994), no intervalo Aptiano/Albiano da bacia do Araripe as paleocorrentes indicam transporte sedimentar para sudeste, em direção à bacia do Recôncavo.

4.1.1 Petrofácies A

Diagnose. – Distingue-se das demais por conter altos teores de litoclasto ígneo (0,6-3,7%), associados a altas concentrações de Qp₂₋₃ (3,7-6%), Qp_{>3} (1,7-4%) e litoclastos metamórficos (0,7-3,7%).

Interpretação. – Área-fonte ígnea / metamórfica de alto grau.

Discussão. – A petrofácies foi definida nos intervalos de profundidade 27-106 m do poço 1PS-11-CE, correspondendo às amostras R1, R3, R17a, R18 e R22a, todas pertencentes à Formação Santana (*cf.* Moura, em prep.). Também é encontrada no 1PS-7-CE, correspondendo à amostra R22b, localizada a 119,3 m de profundidade e pertencente à Formação Rio da Batateira.

Texturalmente tratam-se de arenitos finos, moderadamente selecionados, classificados como arcóseos segundo McBride (1963). A amostra R1 corresponde à litofácies A₄ (Arenito maciço) de Moura & Borghi (2005) (Anexo B), interpretada como depositadas em um paleoambiente fluvial. A amostra R3 equivale à litofácies A₃ (“arenito com estratificação plano-paralela”) desses autores, sendo interpretada como depositada em um paleoambiente deltáico-lacustre/marinho.

Esta petrofácies está associada a uma área-fonte sugerida como ígena / metamórfica de alto grau caracterizada pela presença de muscovita, biotita, Qp_{2-3} , $Qp_{>3}$, litoclastos ígneo e litoclastos metamórficos.

Segundo Dickinson *et al.* (1983), corresponde à petrofácies “Embasmto Soerguido”.

Como pode ser observada no dendograma da análise de agrupamento referente à distribuição das petrofácies (Figura 4a), a amostra R17a possui características composicionais que a torna única, podendo ser separada em uma petrofácies distinta. Apesar disto, foi agrupada na petrofácies A por estar inserida entre dois intervalos dessa petrofácies, sendo interpretada como produto de uma mudança no caráter mineralógico da área fonte.

4.1.2 Petrofácies B

Diagnose. – Distingue-se da demais por apresentar teores significativos, apesar de baixos, de litoclasto sedimentares (0,6–0,8%), associados com altos teores de litoclastos metamórficos (~3%).

Interpretação. – Área-fonte predominantemente sedimentar e, subordinadamente, metamórfica (metassedimentar? de alto grau)

Discussão. – Esta petrofácies foi definida no poço 1PS-7-CE, correspondendo à amostra R8, localizada numa profundidade de 31,10 m. Trata-se de um arenito médio superior moderadamente selecionado, classificado como um subarcóseo, segundo McBride (1963).

Esta petrofácies é caracterizada por apresentar, além de litoclastos sedimentares, teores mais elevados de Qm que a petrofácies A, sendo classificada como petrofácies “Transicional Continental” de Dickinson *et al.* (1983).

4.1.3 Petrofácies Bg

Diagnose. – Embora seja mineralogicamente semelhante à petrofácies B (Figura 5a), esta distingue-se por conter glauconita.

Interpretação. – Área-fonte sedimentar, marinha?

Discussão. – Esta petrofácies foi definida no intervalo 58–66 m do poço 1PS-7-CE, representada pelas amostras R17 e R19, ambas pertencentes a Formação Rio da Batateira. Trata-se de um arenito de granulometria que varia entre a fina inferior e a média, classificadas como arcóseo (R19) e subarcóseo (R17) segundo McBride (1963). Segundo Dickinson *et al.* (1983), a petrofácies Bg equivale a petrofácies “Transicional Continental”.

A glauconita faz parte de um grupo de minerais (grãos glauconíticos) de cor verde e composição química complexa, que chegam a apresentar 15% de óxido de ferro (Fe_2O_3) em sua composição (Van Houten & Purucker, 1984, *apud* Boggs, 1992). A ocorrência desse mineral vem sendo relatada em rochas sedimentares siliciclásticas de idade que variam desde o Proterozóico ao Holoceno, sendo mais amplamente encontradas em rochas do Mesozóico. Embora o processo de formação desses grãos ainda seja especulativo, a maioria dos geólogos acredita que a glauconita seja um mineral autigênico formado primariamente em ambiente marinho através da substituição de pelotas de argila por álcalis e óxido de ferro.

A presença da glauconita nestas rochas sugere que estas sejam produtos do retrabalhamento de sedimentos de origem marinha, fato corroborado pela fonte possuir caráter sedimentar.

A existência de incursões marinhas na Formação Rio da Batateira vem de encontro ao modelo atual de evolução da bacia, que sugere que as primeiras incursões no Araripe ocorreram apenas no Membro Romualdo da Formação Santana.

4.1.4 Petrofácies C

Diagnose. – Distingue-se das demais por possuir sillimanita (0,8–0,9%) associada à presença de litoclastos metamórficos (1,5–1,6%) e sedimentares (0,3–0,5%).

Interpretação. – Área-fonte predominantemente metamórfica (metassedimentar? de alto grau) e, subordinadamente, sedimentar, produto do retrabalhamento de rochas carbonáticas.

Discussão. – Esta petrofácies foi definida no poço intervalo 176,3–218,6 m do poço 1PS-12-CE, sendo representada pelas amostras R26 e R27 ambas pertencentes à Formação Santana, representando, respectivamente, as litofácies A₂ (“arenito com estratificação cruzada de pequeno porte”) e A₄ (“arenito maciço”) de Moura & Borghi (2005) (Anexo B). Outra característica composicional marcante destes arenitos é a presença de clastos de calcita (Figura A, Estampa II, Apêndice C), indicando que esta rocha é o produto do retrabalhamento de rochas carbonáticas subjacentes. Texturalmente são arenitos mal selecionados de aspecto brechado, possuindo grãos angulosos, e sendo classificados como arcóseos segundo McBride (1963).

Por possuir concentrações de Qm semelhantes às aquelas encontradas na petrofácies B, estas amostras também são classificadas como pertencentes à petrofácies “Transicional Continental” de Dickinson *et al.* (1983).

4.2 Petrosseqüências

Foram definidas 3 petrosseqüências distintas, definidas a partir da análise da distribuição das petrofácies juntamente com a interpretação estratigráfica dos poços (Apêndice D). Define-se assim como petrosseqüência um intervalo estratigráfico individualizado e correlacionado com base em petrofácies.

A petrossequência 1 é representada unicamente pela petrofácies Bg, portanto restrita ao intervalo de 58–66 m do poço 1PS-7-CE, representada pela Formação Rio da Batateira. É interpretado como sendo produto da reelaboração de sedimentos de origem marinha, num contexto tectônico “Transicional Continental” segundo a classificação de petrofácies de Dickinson *et al.* (1983) (Figura 5).

A petrossequência 2 é composta pelas petrofácies B e C, ocorrendo nos poços 1PS-7-CE e 1PS-12-CE, englobando intervalos pertencentes à Formação Santana. As petrofácies B e C foram reunidas em uma mesma petrossequência por possuírem uma afinidade composicional, demonstrada pela análise de discriminantes (Figura 4b). Esta petrossequência é caracterizada pela influência de áreas-fontes de caráter sedimentar e metamórfico (metassedimentar), sendo constituída por amostras que, segundo Dickinson *et al.* (1983), pertencem à petrofácies “Transicional Continental” (Figura 5).

A petrossequência 3 é composta pela petrofácies A, ocorrendo no intervalo 27–106 m do poço 1PS-11-CE (Formação Santana) e na profundidade de 119,3 m do poço 1PS-7-CE (Formação Rio da Batateira). Denota uma área-fonte com maior contribuição de rochas ígneas, sendo representada por amostras que, segundo Dickinson *et al.* (1983), pertencem a petrofácies “Embasamento Soerguido”.

Observado o diagrama ternário das petrofácies de Dickinson *et al.* (1983) (Figura 5) pode-se notar uma mudança no contexto tectônico das petrossequências, que num momento inicial concentram-se na petrofácies “Transicional Continental” (petrossequências 1 e 2) passando depois a se concentrar na petrofácies “Embasamento Soerguido” (petrossequência 3). Esta evolução faciológica sugere que tenha havido reativações tectônicas entre os momentos de deposição dos arenitos estudados, dentro do Andar Alagoas da bacia.

Sugere-se então a existência de uma superfície de discordância entre as petrosseqüências 2 e 3, baseada na mudança do contexto tectônico dessas petrosseqüências, como foi demonstrado pela análise das petrofácies de Dickinson *et al.* (1983).

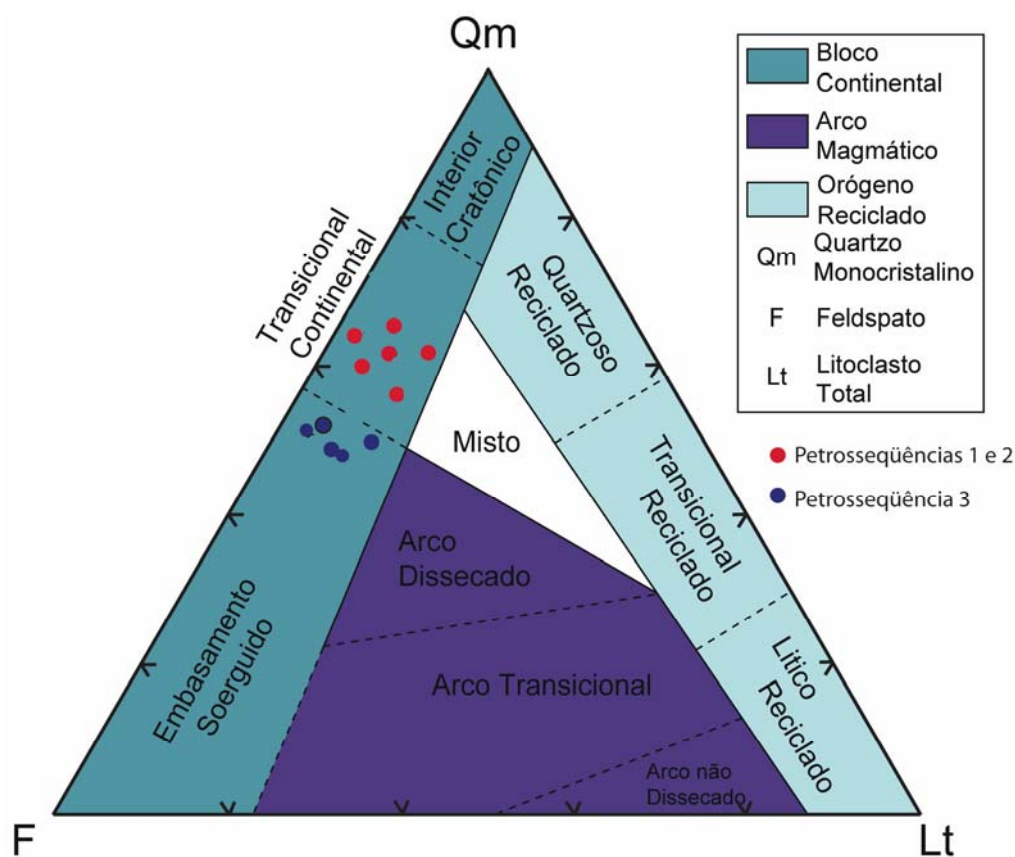


Figura 5 – Diagrama ternário de mostrando a correlação das petrosseqüências com as petrofácies de Dickinson *et al.* (1983). Note que existe uma mudança no contexto tectônico das duas petrosseqüências.

Esta reativação tectônica de idade Alagoas também pode ser reconhecida ao confrontarmos os dados petrológicos com dados sísmicos da bacia. A seção sísmica utilizada no trabalho (141-RL-01) possui a orientação NE-SW, localizando-se a noroeste da cidade de Jardim, no Ceará (Figura 1). O poço usado para a correlação com a interpretação sísmica foi o 1PS-12-CE, que se situa em um dos pontos de tiro da seção. Na porção nordeste este levantamento geofísico cobre grande parte da sub-bacia do Cariri, tendo a sudoeste o *horst* de Don Leme e o “acunhamento” das sucessões sedimentares em função deste alto estrutural.

Através do reconhecimento das diferentes sismofácies e terminação de sismo-horizontes contidas na seção Caixeta (2005) (Anexo C) identificou três tectonosseqüências, sendo elas: a tectonosseqüência Pré-rifte, caracterizada pelo padrão de refletores paralelos ao embasamento; a tectonosseqüência Sin-rifte caracterizada pelos refletores com terminação em *onlap* sobre o *horst* de Don Leme; e a terceira, a tectonosseqüência Pós-rifte, assim classificada pelo modelo atual de evolução da bacia (Anexo A).

Foi possível observar também extensos falhamentos que seguem desde o embasamento até o topo da seção, mostrando a afetar as tectonosseqüências subseqüentes à Pré-rifte. Estas falhas apresentam um padrão de “flor negativa”, típico de bacias do tipo *pull apart*. Isto é uma evidência de tectonismo que envolve o embasamento até a sedimentação aptiana da Formação Santana.

Ainda, dentro da tectonosseqüência Pós-rifte foi demarcada uma superfície erosiva, representada por um refletor irregular que trunca as demais sismofácies.

Uma análise da seção sísmica 141-RL-01 permite sugerir a correlação desta superfície erosiva ao horizonte discordante da base da petrosseqüência 2.

5 CONCLUSÕES

O estabelecimento de petrosseqüências, baseadas nos estudos de petrofácies assoma-se como método promissor na análise estratigráfica do intervalo Alagoas na bacia do Araripe.

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho observa-se que as petrofácies estabelecidas, quando comparadas com as petrofácies de Dickinson *et al.* (1983), apresentam um *trend* de evolução que indica possível reativação tectônica de idade Alagoas na Bacia do Araripe, fato corroborado pela interpretação da seção sísmica 141-RL-01, onde se pode reconhecer uma superfície erosiva intra-Santana. Este resultado vem de encontro ao modelo atual de evolução da bacia, que posiciona o intervalo Alagoas da bacia na tectonosseqüência Pós-rifte.

Referências bibliográficas

- Arai, M.; Carvalho, I.S. & Cassab, R.C.T. 2004. Bacias sedimentares brasileiras. Bacia do Araripe. *Phoenix*, 72:6p.
- Assine, M.L. 1992. Análise Estratigráfica do Araripe, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 22:289-300.
- Assine, M.L. 1994. Paleocorrentes e paleogeografia na bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 24:223-232.
- Beurlen, K. 1971. As condições ecológicas e faciológicas da Formação Santana na Chapada do Araripe (Nordeste do Brasil). *Anais da Academia Brasileira Ciências*, 43 (Suplemento):411-415
- Boggs, S. 1992. *Petrology of sedimentary rocks*. New York, Macmillan Publ. Co., 703p.
- Borghi, L. 2000. *Visão geral da análise do ponto de vista da arquitetura deposicional*. Rio de Janeiro, Boletim do Museu Nacional, 26p. (Nova Série, Geologia, n.53)
- Caixeta, L.B. 2005. Panorama geológico-estrutural da bacia do Araripe: problemas e perspectivas. In: JORNADA GIULIO MASSARANI DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRJ, 27, Rio de Janeiro. *Resumos*, Rio de Janeiro, UFRJ. CD ROM, 1p.
- Dickinson, W.R., Beard, L.S., Brakenridge, J.L. *et al.* 1983. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Geological Society of American Bulletin*, 94: 222-235.
- McBride, E.F. 1963. A Classification of common sandstones. *Journal of Sedimentary Petrology*, 33:664-669.
- Moura, M.V. 2005. *Análise das fácies siliciclásticas do intervalo superior da formação Santana (Bacia do Araripe): caracterização de potenciais rochas reservatório*. 2005. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia), Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 49p.
- Moura, M.V. (em prep.). Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado.
- Moura, M.V. & Borghi, L. 2005. *Análise das fácies siliciclásticas da parte superior da Formação Santana (Bacia do Araripe): caracterização de potenciais rochas-reservatório*. 2005. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 3, Salvador, 2004. *Anais*, Salvador, IBP. CD-ROM, 6p.
- Neumann, V.H.L. 1999. *Estratigrafía, sedimentología y diagénesis de los sistemas lacustres Aptiense-Albiense de la Cuenca de Araripe (Nordeste de Brasil)*. Facultad de Geologia, Universitat de Barcelona, Tese de Doctorado, 250p.

- Ponte, F.C. & Appi, C.J. 1990. Proposta de revisão da coluna estratigráfica da Bacia do Araripe. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, Natal, 1990. *Anais*, Natal, SBG, v.1, p.211-226.
- Ponte, F.C. & Ponte Filho, F.C. 1996. *Estrutura geológica e evolução tectônica da Bacia do Araripe*. Recife, DNPM/DNPM, 68p.
- Scheid, C., Munis, M.B., Paulino, J. 1978. Projeto Santana. Relatório Final da Etapa II. Recife, DNPM/CPRM. 136p. (Relatório de projeto, inédito.)
- Silva, M.A.M. 1983. *The Araripe Basin, Northeastern Brazil: regional geology and facies analysis of Lower Cretaceous evaporitic depositional complex*. Graduate School of Arts and Sciences, Columbia University, Doctoral Thesis. 290 p.

Apêndice A – Aspectos diagenéticos

Eodiagênese

Caracterizada principalmente pela infiltração mecânica de argila, que formam cutículas ou *coatings* no entorno dos grãos (Figura F, Estampa I, Apêndice C). Estas argilas são introduzidas pelas águas de enchentes fluviais episódicas, uma vez que, após longos períodos de estiagem, com o lençol freático rebaixado, enxurradas carregadas de carga em suspensão passam sobre os sedimentos eólicos e grandes volumes de água infiltram-se nesses depósitos, indo abastecer o lençol freático. Neste processo, como a argila em suspensão é bem menor do que as “gargantas” dos poros, e a vazão de infiltração, gravitacionalmente impelida através da zona vadosa, é de início bastante alta. As lamelas de argila são carregadas até que a diminuição da vazão promova sua decantação na superfície dos grãos, onde aderem.

Outras características importantes originadas na eo-diagênese surgem em função da compactação dos grãos seja, por processos físicos, como esmagamento de grãos e curvamento de grãos de micas; ou químicos, como dissolução de grãos em decorrência do aumento crescente de pressão. Nas rochas estudadas, a textura geral destes arenitos é grão-sustentada, podendo-se observar uma predominância de contatos pontuais entre os mesmos, seguidos por contatos planares. Embora se observe o curvamento de dos grãos de micas, pode-se concluir que a compactação não foi um processo muito intenso na diagênese destas rochas, sendo escassas as alterações químicas decorrentes da compactação, como por exemplo a dissolução de alguns grãos, principalmente os de feldspatos.

Mesodiagênese

Nesta etapa a temperatura e pressão do sistema chegam ao ápice, fazendo com que a interação química entre os minerais aumente, favorecendo o processo de substituição de grãos como os de calcita e feldspatos (principalmente o plagioclásio) por argilo-minerais (Figura C, Estampa I). Os grãos começam a ser substituídos pela sua parte mais externa, de modo que se o grão possuir alguma fratura ou embainhamento causado por dissolução prévia, ele começa a sofrer um processo de substituição generalizada. Processos como o sobrecrecimento de cristais de quartzo e feldspato que costumam a ocorrer nesta etapa não são observados nestas rochas, em decorrência da presença das cutículas de argila no entorno dos minerais.

Outra etapa importante neste processo mesodiagenético é a precipitação do cimento de calcita espática existente na maioria das amostras (Figura F, Estampa I, Apêndice C). A forma com a qual esta cimentação ocorre indica que o regime subaquoso freático. Uma interpretação para a fonte do carbonato de cálcio que causa esta cimentação são as camadas de calcário do Mb. Ipubí, que também teriam servido de área fonte para os sedimentos terrígenos que encontram-se intercalados como as camadas carbonáticas, o que teria enriquecido o sedimento de CaCO_3 . Não é comum se observar substituição dos grãos do arcaboço por calcita, também em função da presença do *coating* de argila no entorno destes grãos.

Telodiagênese

Visto que os arenitos da Formação Santana estudados neste trabalho encontram-se soterrados a uma profundidade relativamente pequena, os processos telodiagenéticos ou intempéricos atuaram intensamente, alterando bastante as características da rocha, sendo o resultado, principalmente, da interação destas rochas com água meteórica. Sob as condições

atuais, clima quente e úmido, o cimento de calcita mesodiagenético é lixiviado e os minerais instáveis como os feldspatos e clastos de calcita, sofrem maiores alterações (Figura B, Estampa II, Apêndice C).

Grãos de feldspatos, pouco e muito alterados, ocorrem sempre juntos na mesma amostra, de forma que poderiam ser ao mesmo tempo frescos e intemperizados já à época da deposição da unidade. A exposição desses minerais aos processos mesogenéticos e ao intemperismo atual intensificou sua alteração, produzindo feldspatos parcial ou totalmente caulinizados. Caulinitas remobilizadas por águas meteóricas são raras, sendo encontradas nos espaços porosos ou aderidas à superfície de grãos dos arenitos estudados, reduzindo assim a porosidade.

Outra característica marcante da rocha que pode ser atribuída aos processos de telodiagênese é a percolação de óxi-hidróxido de ferro, que torna as argilas que encontram-se no entorno do grãos avermelhadas, e por vezes ocorrendo a precipitação de óxido-hidróxido de ferro (Figura D, Estampa I, Apêndice C).

A relevância da caracterização dos estágios diagenéticos no presente trabalho deve-se ao fato de, somente assim, podermos diferenciar, por exemplo, o cimento carbonático mesodiagenético presente nas amostras e os clastos de material carbonático, usados para definir fácies arenosa que representam processos erosivos sofridos pelos pacotes de evaporitos e carbonáticos da base da Formação Santana. Os clastos de carbonatos, diferente da cimentação, estão limitados por uma cutícula de argila eodiagenética.

Apêndice B – Relação das amostras estudadas, sua caracterização composicional, textural e faciológica

	IPS-11-CE					IPS-7-CE				IPS-12-CE	
	Am R1	Am R3	Am R17a	Am R18	Am R22a	Am R22b	Am R8	Am R17	Am R19	Am R26	Am R27
Profundidade (m)	27,50	50,80	82,30	99,40	119,3	119,30	31,10	60,30	65,30	176,30	218,60
Formação Geológica	Santana	Santana	Santana	Santana	Santana	R da Batateira	Santana	R da Batateira	R da Batateira	Santana	Santana
Contagem Modal											
QmR	6,2%	3,3%	5,2%	3,1%	3,2%	6,2%	17,4%	23,1%	14,1%	15,7%	16,9%
QmO	17,7%	19,0%	11,3%	11,6%	11,3%	15,3%	10,3%	9,3%	10,0%	19,7%	18,7%
Qp2-3	5,4%	5,3%	3,7%	6,0%	5,3%	5,3%	3,3%	5,7%	5,7%	3,2%	3,7%
Qp>3	3,3%	2,3%	1,7%	4,3%	4,0%	4,0%	3,3%	2,7%	4,0%	1,6%	2,3%
Lm	1,7%	-	0,7%	3,7%	1,3%	1,3%	3,1%	3,0%	3,0%	1,6%	1,5%
Ls	0,3%	-	-	-	0,3%	0,3%	0,6%	0,7%	0,8%	0,3%	0,5%
Li	1,2%	0,6%	0,6%	0,4%	3,7%	1,2%	0,4%	1,1%	1,1%	0,3%	0,4%
Plagioclásio	0,6%	-	0,7%	0,3%	0,3%	0,3%	2,0%	1,3%	1,3%	0,8%	0,6%
Ortoclásio	11,9%	16,3%	7,9%	9,8%	9,0%	10,2%	7,8%	10,1%	16,1%	10,8%	11,3%
Microclina	14,7%	8,3%	1,3%	7,2%	6,7%	6,7%	2,7%	3,7%	10,3%	4,8%	5,0%
Biotita	1,7%	4,7%	9,0%	4,3%	7,3%	8,7%	2,3%	4,0%	3,0%	-	0,2%
Glauconita	-	-	-	-	-	-	-	1,0%	0,3%	-	-
Grão calcita	-	-	-	-	0,7%	0,7%	-	0,3%	-	2,1%	4,0%
Opacos	0,7%	5,0%	2,6%	1,7%	1,3%	1,3%	5,0%	6,7%	5,7%	15,1%	13,6%
Min. alterado (argila)	14,7%	12,7%	16,0%	17,7%	16,3%	16,3%	5,7%	10,7%	5,3%	3,7%	2,8%
Matriz	1,7%	0,3%	1,5%	0,3%	2,3%	2,3%	-	-	-	0,5%	-
Poros	8,0%	11,0%	0,2%	2,3%	2,4%	5,0%	2,0%	10,7%	6,0%	8,7%	8,3%
Cimento/calcita	-	3,9%	27,0%	12,3%	13,3%	0,3%	30,0%	2,0%	1,3%	-	-
Argila	8,7%	3,0%	7,7%	9,0%	8,3%	12,7%	-	-	9,0%	8,2%	6,2%
Zircão	-	-	0,3%	1,3%	0,7%	0,7%	0,7%	1,7%	1,6%	2,3%	1,3%
Turmalina	1,3%	-	-	2,0%	0,3%	0,3%	0,7%	-	0,3%	-	-
Muscovita	0,3%	3,7%	2,7%	1,3%	0,7%	0,7%	2,3%	2,3%	1,0%	-	-
Sillimanita	-	-	-	1,3%	1,1%	-	-	-	-	0,8%	0,9%
QFL	Q ₅₂ F ₄₃ L ₅	Q ₅₄ F ₄₄ L ₂	Q ₆₆ F ₃₀ L ₄	Q ₅₄ F ₃₇ L ₉	Q ₅₃ F ₃₅ L ₁₀	Q ₆₀ F ₃₄ L ₆	Q ₆₉ F ₂₅ L ₆	Q ₆₇ F ₂₅ L ₈	Q ₅₂ F ₄₂ L ₆	Q ₆₈ F ₂₈ L ₄	Q ₆₈ F ₂₈ L ₄
QmFL	Qm ₃₈ F ₄₃ L ₁₉	Qm ₄₀ F ₄₄ L ₁₆	Qm ₅₀ F ₃₀ L ₂₀	Qm ₃₂ F ₃₇ L ₃₁	Qm ₃₂ F ₃₅ L ₃₂	Qm ₄₂ F ₃₄ L ₂₄	Qm ₅₆ F ₂₅ L ₁₉	Qm ₅₃ F ₂₅ L ₂₂	Qm ₃₇ F ₄₂ L ₂₁	Qm ₆₀ F ₂₈ L ₁₂	Qm ₅₈ F ₂₈ L ₁₄
Petrofácies	A	A	A	A	A	A	B	Bg	Bg	C	C
McBrade (1963)	Arcóseo	Arcóseo	Arcóseo	Arcóseo	Arcóseo Lit.	Arcóseo	Subarcóseo	Subarcóseo	Arcóseo	Arcóseo	Arcóseo
Petrof. Dickinson	Emb. Soerg.	Emb. Soerg.	Emb. Soerg.	Emb. Soerg.	Emb. Soerg.	Emb. Soerg.	Trans. Cont.	Trans. Cont.	Trans. Cont.	Trans. Cont.	Trans. Cont.
Média (Mz)	2,22	3,61	3,54	2,67	3,25	3,6	3,74	3,88	2,7	2,43	1,49
Desvio Padrão (s)	0,86	0,89	0,65	0,8	0,59	0,7	0,81	0,59	0,66	0,68	1,1

Apêndice C – Estampas das fotomicrografias

Estampa I

- Figura A - Fotomicrografia (nicol cruzado) da amostra R3 do poço 1PS-11-CE, profundidade de 50,8 m. Observe o caráter feldspático da rocha, que contém microclina, plagioclásio e ortoclásio, além de quartzo mono e policristalino e micas.
- Figura B - Fotomicrografia (nicóis paralelos) da amostra R17 do poço 1PS-2-CE à profundidade de 60,3 m. Observe a presença de um grão de glauconita de aspectos “esponjoso” e cor verde marcante.
- Figura C - Fotomicrografia (nicóis cruzados) da amostra R18 do poço 1PS-11-CE à profundidade de 99,4 m. Observe o espaço intergranular, oriundo da dissolução de grãos do arcoaboço, preenchido por caulinita.
- Figura D - Fotomicrografia (nicóis paralelos) da amostra R26 do poço 1PS-12-CE à profundidade de 176,3 m. Observe a precipitação de hematita que preenche os espaços intergranulares. O óxido de ferro também confere uma coloração avermelhada aos *coatings* de argila localizadas no entorno dos grãos.
- Figura E - Fotomicrografia (nicóis cruzados) da amostra R22a do poço 1PS-11-CE à profundidade de 119,3 m. Observe a substituição de um grão, provavelmente feldspático, por calcita. Note também que as bordas deste grão já encontram-se substituídas por argilominerais, mostrando a sobreposição entre os dois processos.
- Figura F - Fotomicrografia (nicóis cruzados) da amostra R8 do poço 1PS-7-CE à profundidade de 31,1 m. Note a intensa cimentação por calcita sofrida pela rocha, e como esta cimentação realça os *coatings* de argila, que existiam antes da cimentação.

Estampa II

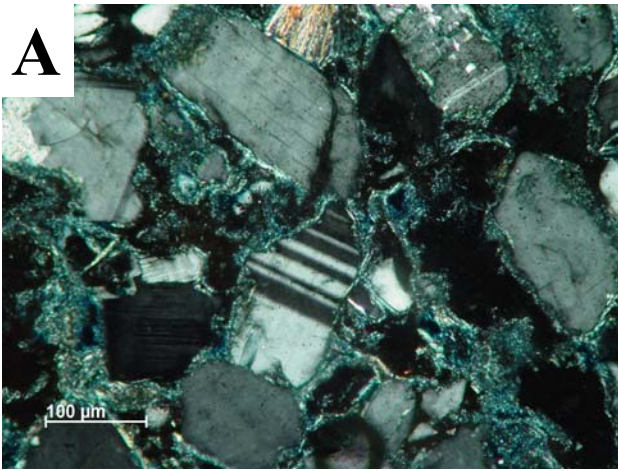
- Figura A - Fotomicrografia (nicóis cruzados) da amostra R27 do poço 1PS-12-CE. Observe que a amostra possui um caráter mal selecionado, apresentando grãos angulosos e clastos de rocha carbonática retrabalhada.
- Figura B - Fotomicrografia (nicóis paralelos) da amostra R22b do poço 1PS-7-CE à profundidade de 119,3 m. Note no grão de ortoclásio lixiviado, e como a kaolinita resultante de sua decomposição fica encerrada pelo *coating* de argilomineral que rodeava o grão.

ESTAMPA I

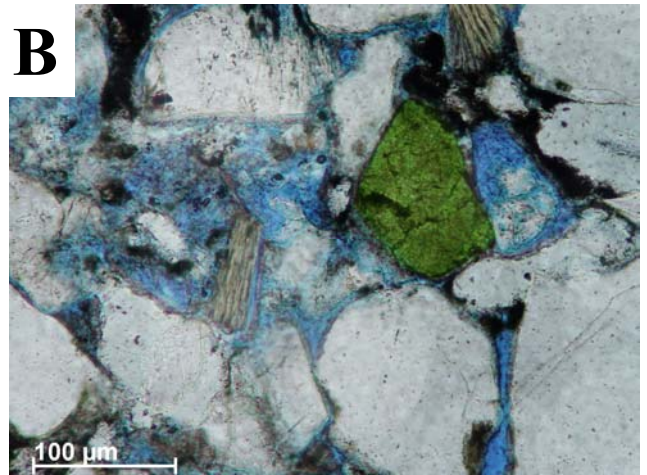
- Figura A** – Fotomicrografia (nicóis cruzado) da amostra R3 do poço 1PS-11-CE à de profundidade de 50,8 m. Observe o caráter feldspático da rocha, que contém microclina, plagioclásio e ortoclásio.
- Figura B** – Fotomicrografia (nicóis paralelos) da amostra R17 do poço 1PS-2-CE à profundidade de 60,3 m. Observe a presença de um grão de glauconita distinguido pelo sua textura “esponjosa” e cor verde marcante.
- Figura C** – Fotomicrografia (nicóis cruzados) da amostra R18 do poço 1PS-11-CE à profundidade de 99,4 m. Observe o poro intergranular, oriundo da dissolução de grãos do arcaboço, preenchido por kaolinita.
- Figura D** – Fotomicrografia (nicóis paralelos) da amostra R26 do poço 1PS-12-CE à profundidade de 176,3 m. Observar a precipitação de hematita que preenche os espaços intergranulares. O óxido de ferro também confere uma coloração avermelhada aos *coatings* de argila localizadas no entorno dos grãos.
- Figura E** – Fotomicrografia (nicóis cruzados) da amostra R22a do poço 1PS-11-CE à profundidade de 119,3 m. Observar a substituição de um grão, provavelmente feldspático, por calcita. Note também que as bordas deste grão já encontram-se substituídas por argilominerais, mostrando a sobreposição entre os dois processos.
- Figura F** – Fotomicrografia (nicóis cruzados) da amostra R8 do poço 1PS-7-CE à profundidade de 31,1 m. Note a intensa cimentação por calcita sofrida pela rocha, e como esta cimentação realça os *coatings* de argila, que existiam antes da cimentação.

ESTAMPA I

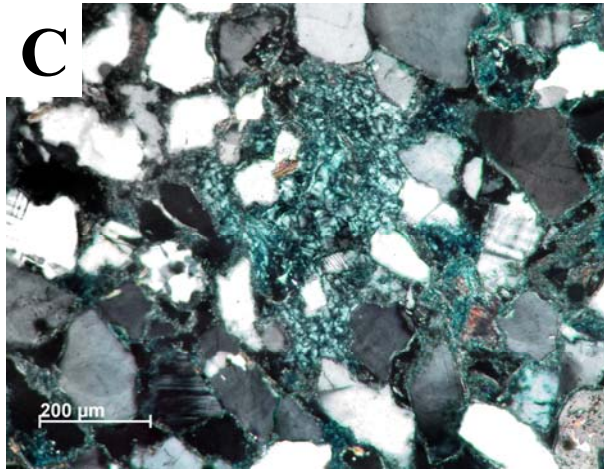
A



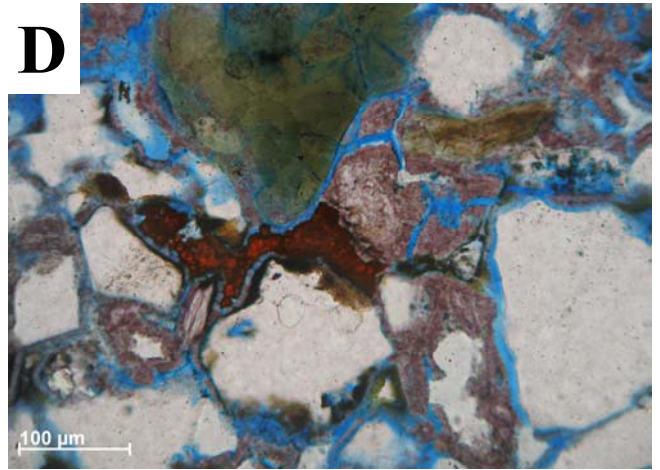
B



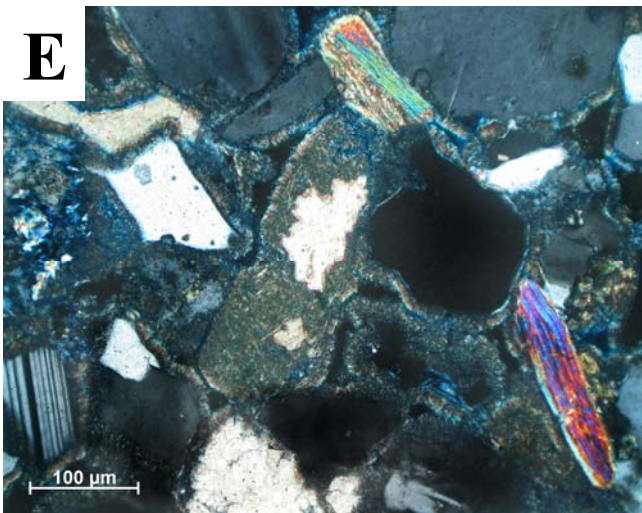
C



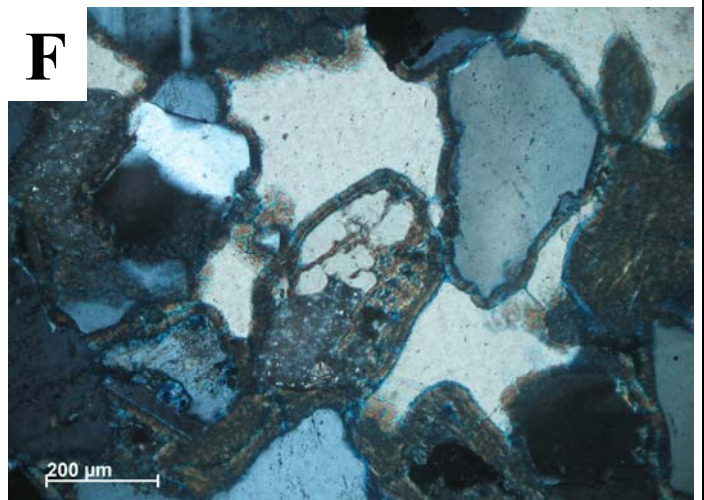
D



E



F

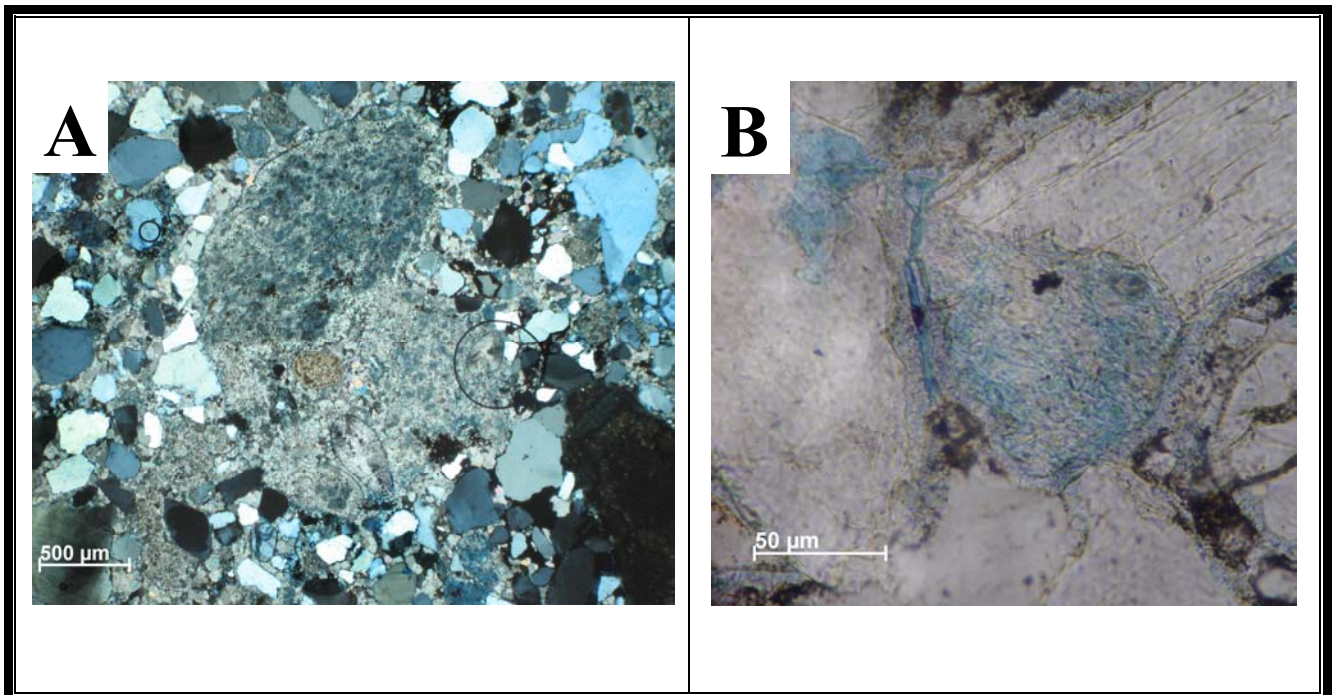


ESTAMPA II

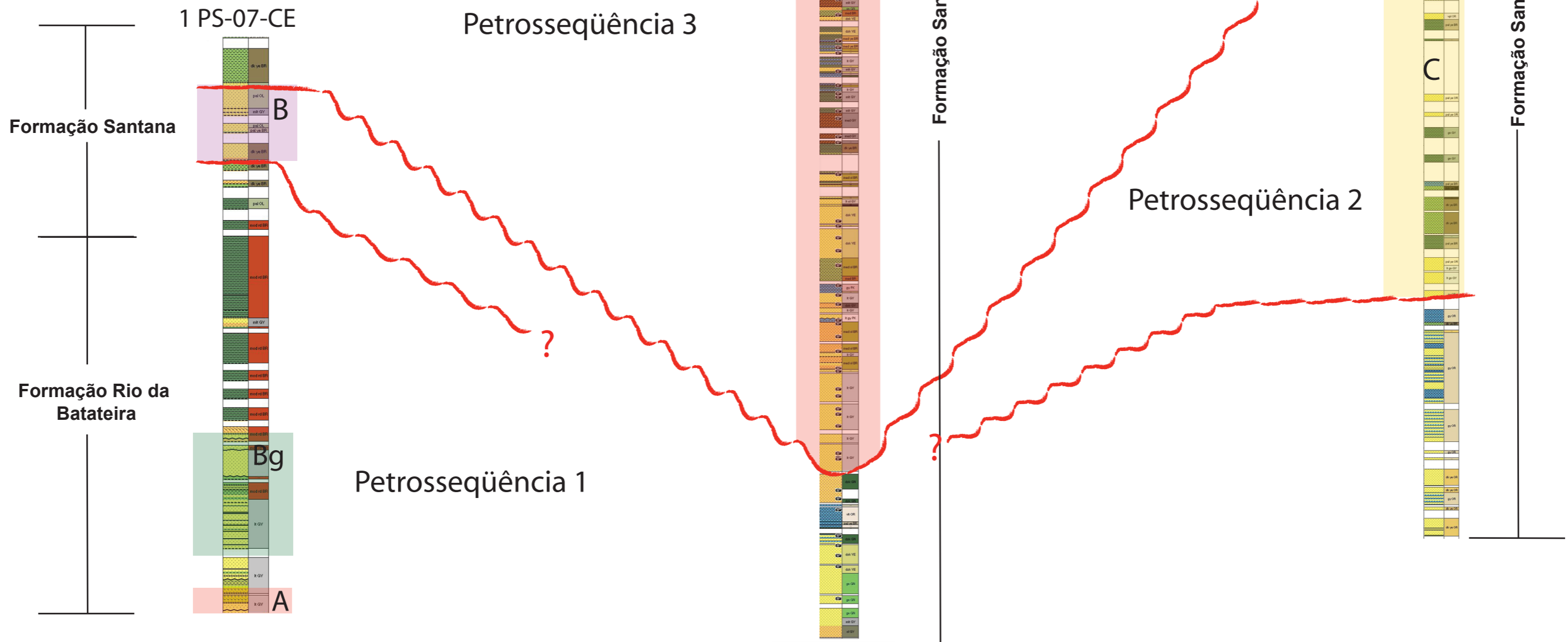
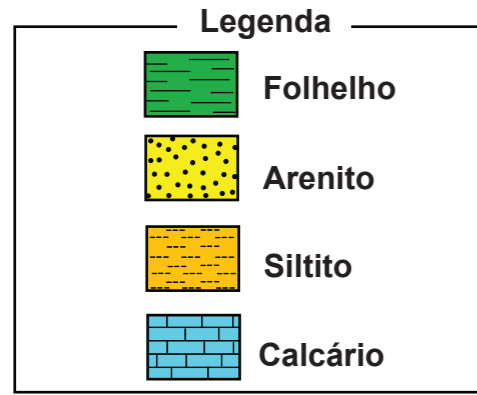
Figura A – Fotomicrografia (nicóis cruzados) da amostra R27 do poço 1PS-12-CE. Observe que a amostra possui um caráter mal selecionado, apresentando grãos angulosos e clastos de rocha carbonática retrabalhada.

Figura B – Fotomicrografia (nicóis paralelos) da amostra R22b do poço 1PS-7-CE à profundidade de 119,3 m. Note no grão de ortoclásio lixiviado, e como a kaolinita resultante de sua decomposição fica encerrada pelo *coating* de argilomineral que envolve o grão.

ESTAMPA II



Apêndice D - Distribuição das petrofácies nos poços e correlação entre as petrosseqüências



Anexo A – Análise de agrupamento

A análise de agrupamento é empregada para reconhecer o grau de similaridade entre os grupos e subgrupos de quaisquer componentes podendo assim reuni-los em conjuntos com maior similaridade.

Para tanto, são realizadas análises de agrupamento *modo Q* para observar as similaridades entre as amostras e o *modo R* para verificar as similaridades entre os componentes particulados. Essas duas análises de agrupamento são baseadas em uma matriz de medidas de um coeficiente de associação pré-determinado: agrupamento *modo Q* realizado com os dados de distância Euclideana e o agrupamento *modo R* feito com os resultados do coeficiente de similaridade (*r-pearson*).

A distância Euclideana é uma medida de distância entre dois pontos no espaço n , onde n é o número de dimensões, que estão relacionados ao número de atributos de uma determinada amostra.

O *r*-Pearson é um coeficiente de correlação linear utilizado para determinar a matrix de correlação e identificar a relação entre parâmetros. Este coeficiente é adimensional e expressa exclusivamente a intensidade linear entre os atributos. E varia em valor absoluto de 0 (nenhuma relação linear) a 1 (relação linear perfeita, seja direta para $r = +1$, seja inversa para $r = -1$).

Os resultados das análises de agrupamento são representados por dendrogramas, que são definidos como um diagrama ramificado que contém entidades reunidas por algum critério.

Anexo B – Artigo de Moura & Borghi (2005)

Moura, M.V. & Borghi, L. 2005. Análise das Fácies Siliciclásticas da Parte Superior da Formação Santana (Bacia do Araripe): Caracterização de Potenciais Rochas-Reservatório. 2005. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 3, Salvador, 2005. *Anais*, IBP. CD-ROM, 6p.

Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

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

ANÁLISE DAS FÁCIES SILICICLÁSTICAS DA PARTE SUPERIOR DA FORMAÇÃO SANTANA (BACIA DO ARARIPE): CARACTERIZAÇÃO DE POTENCIAIS ROCHAS-RESERVATÓRIO

Max Vasconcellos de MOURA¹ & Leonardo BORGHI²

^{1,2} Departamento de Geologia, IGeo, CCMN, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
21949-900 Rio de Janeiro, RJ (well@urbi.com.br, lborghi@ufrj.br)

Resumo – A bacia do Araripe apresenta poucos dados estratigráficos, particularmente do seu intervalo Aptiano–Albiano, muito importante no contexto da evolução da margem continental brasileira ao final da fase Rife. Nesta bacia, tal intervalo é representado, em parte, pela Formação Santana. Nesse contexto, a análise faciológica de detalhe do intervalo superior dessa formação, o qual apresenta expressivas camadas de arenito intercaladas com folhelhos, permite sua análise estratigráfica além da avaliação do ponto de vista de potenciais reservatórios. Utilizam-se testemunhos de sondagem de dois poços perfurados na bacia. Assim, foi possível caracterizar nove litofácies (duas lutáceas, uma heterolítica, quatro arenáceas, uma rudácea e uma carbonática), as quais foram relacionadas em três sucessões. Tais sucessões de fácies foram interpretadas como o registro de sistemas deltaico-lacustre, lacustre e fluvial. Em termos estratigráficos, foram reconhecidos cinco tipos de superfícies (discordante, regressão forçada, transgressiva, inundação e inundação máxima). O intervalo possui rochas reservatório potenciais representadas pelas fácies arenáceas das sucessões de fácies deltáico-lacustre e fluvial, as quais apresentam permeabilidades variadas causadas por *coatings* de óxidos e clorita e cimentação carbonática dos arenitos. Os potenciais reservatórios são selados por fácies lutáceas da sucessão lacustre, que também se mostram como barreiras de fluxo para o reservatório.

Palavras-Chave: análise de fácies; Formação Santana; bacia do Araripe; cretáceo; reservatório.

Abstract – The Araripe Basin is an onshore cretaceous rift basin located in the interior of the Northeast Region of Brazil. Very few stratigraphic data, particularly in its Aptian–Albian interval, makes the study an important contribution to the understanding of the evolution of the Brazilian's continental margin during the Rift to Drift phase transition. This study focus on the facies analysis of the upper part of that interval, represented by the upper Santana Formation, which also led to stratigraphic and reservoir discussions. Well data (cores and geophysical logs) from two wells were analyzed in detail. Results point to nine lithofacies (two lutaceous, one heterolithic, four arenaceous, one rudaceous and one carbonatic), related in three facies successions, interpreted as part of deltaic-lacustrine, lacustrine and fluvial depositional systems. Five stratigraphic surfaces were identified (unconformity, forced regression, transgressive, marine flooding, and maximum flooding). The studied interval presents potential reservoir-rocks represented by the sandstone facies associated to the deltaic-lacustrine and fluvial, whose permeability is affected by chlorite and oxide coatings and by carbonatic cementing. The potential reservoirs are sealed by the lutaceous facies of the lacustrine succession, which also reveal as flow barriers to the reservoir.

Keywords: facies analysis; Santana Formation; Araripe Basin; cretaceous; reservoir.

1. Introdução

A bacia do Araripe, localizada entre os estados do Ceará, Piauí e Pernambuco (Figura 1), representa a mais extensa das bacias interiores do Nordeste do Brasil, com aproximadamente 9.000 km² de área e 1.700 m de espessura. Sua evolução está relacionada à fragmentação do paleocontinente do Gondvana e abertura do oceano Atlântico Sul.

Apesar de bastante investigada do ponto de vista paleontológico, em virtude de seus afamados fósseis, estudos estratigráficos, quando não focados pela litoestratigrafia, são poucos.

Por não ser sequer considerada uma bacia de “fronteira exploratória”, a mesma possui poucos dados exploratórios, representados por apenas dois poços estratigráficos (2AP-1-CE e 4BO-1-PE), dez linhas sísmicas e mapa gravimétrico. Assim mesmo, apesar de a bacia não apresentar nenhum indicio de óleo ou gás – até o presente – seu estudo contribui para analogia com outras bacias, petrolíferas (e.g., bacia Potiguar); além de contribuir diretamente para a pesquisa hidrogeológica de aquíferos no semiárido nordestino. Vale lembrar ainda que há uma recente menção de ocorrência de hidrocarbonetos na bacia do Rio do Peixe, uma bacia próxima, mais restrita geograficamente, mas inserida no mesmo contexto geotectônico e com preenchimento estratigráfico análogo ao da bacia do Araripe.

Nesse contexto, a bacia carece de estudos estratigráficos para melhor compreensão de sua evolução tectonossedimentar e para correlação com bacias adjacentes; carece ainda de análises faciológicas para melhor caracterização de seus sistemas deposicionais (em apoio à análise estratigráfica), bem como de possíveis rochas reservatórios, selantes e geradoras.

Nesta bacia, a Formação Santana representa sua fase pós-rifte, durante o Aptiano–Albiano (Eocretáceo). Sua parte superior, siliciclástica, denominada de Membro Romualdo (Beurlen, 1971), trata de um intervalo de arenitos intercalados com siltitos e argilitos, na base, e folhelhos calcíferos esverdeados com concreções carbonáticas, no topo. Tal intervalo possui interpretações paleoambientais divergentes (lacustre vs. marinho), em parte pela carência dos estudos de detalhe de fácies e, em parte, pela diversidade fossilífera que conduz a incertezas de interpretações paleoecológicas e paleogeográficas.

Assim, o presente trabalho objetiva contribuir para análise faciológica do intervalo superior da Formação Santana para compreender seus sistemas deposicionais, tendo por fim a caracterização de possíveis rochas-reservatório (cf. MOURA, 2005).

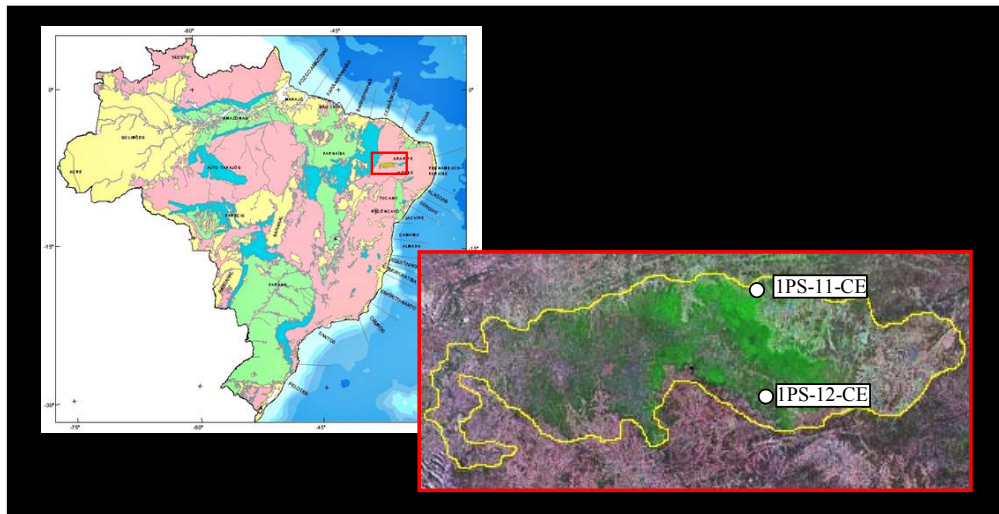


Figura 1. Localização da bacia do Araripe (Imagem de satélite, fonte: Miranda & Coutinho, 2005) e dos poços 1PS-11-CE e 1PS-12-CE.

2. Material e Método

Foram descritos faciologicamente em detalhe (1:40), fotografados e amostrados dois testemunhos de sondagem dos poços 1PS-11-CE e 1PS-12-CE, depositados no 4º Distrito do DNPM (Recife, PE). Os poços fazem parte do Projeto Santana II (q.v. Scheid *et al.*, 1978), durante o qual foram realizados quatorze furos de sondagem, com o objetivo de estudar um nível de “marga betuminosa” situada abaixo da Formação Santana. Assim, muitos dos poços foram realizados na região do vale do Cariri (borda leste da bacia), onde não se encontram muitos registros da formação. Os testemunhos descritos possuem alguns intervalos com má recuperação e/ou preservação, fazendo com que os perfis geofísicos de raios-gama, disponíveis, fossem também utilizados na análise do intervalo.

Dentre as amostras de rochas coletadas, quatro foram selecionadas para caracterização petrográfica e ensaios de permeabilidade, estes realizados em permeâmetro de bancada.

Na análise faciológica, utilizou-se a conceituação de Borghi (2000); enquanto que o reconhecimento de superfícies estratigráficas foi feito à luz da prática da moderna Estratigrafia de Sequências (Posamentier & Vail, 1988).

3. Análise Faciológica

3.1. Litofácies

A descrição faciológica permitiu a caracterização de nove litofácies sedimentares (Tabela 1), as quais serão aqui tratadas apenas como “fácies”. Destas, duas são microclásticas, representadas pela letra “F” (finos); uma heterolítica, pela letra “H”; quatro areníticas, pela letra “A”; uma rudítica, pela letra “R”; e uma carbonática, representada pela letra “C”. (Estampa I, figuras 1 a 10)

Tabela 1. Síntese das fácies descritas para a parte superior da Formação Santana (Membro Romualdo).

Código	Diagnose	Interpretação
F1	Folhelho cinza a verde ou marrom	Decantação; paleoambiente redutor
F2	Siltito e argilito cinza a verde ou marrom	Decantação ou tração de baixa energia; paleoambiente redutor
H	Arenito e siltito em acamamentos <i>wavy, flaser e linsen</i>	Alternância de tração e decantação
A1	Arenito com laminação cruzada cavalgante	Tração em regime de fluxo inferior associado com decantação (desaceleração); ondulações
A2	Arenito com estratificação cruzada de porte pequeno	Tração em regime de fluxo inferior; ondulações
A3	Arenito com estratificação plano-paralela	Tração em regime de fluxo superior; leito plano.
A4	Arenito maciço	Fluxo de detritos
R	Paraconglomerado maciço	Fluxo de detritos (coesivo)
C	Calculitito ou calcarenito bioclástico	Decantação de sedimentos carbonáticos finos ou bioclastos

3.2. Sucessões de fácies

Com as fácies caracterizadas e interpretadas, foram identificadas três sucessões de fácies (Tabela 2), que ocorrem em ambos os poços (Figura 2). Destas, uma é interpretada como deltaico-lacustre/marinha (SF1), onde a sucessão de fácies F1–F2–A1 representa depósitos de prodelta, a sucessão A1–A2 representa os depósitos de inundaçãode frente deltaica, enquanto que a sucessão A2–A3, os depósitos de frente deltaica mais canais fluviais distributários. Outra sucessão foi considerada “lacustre/marinha” (SF2) uma vez que os dados de litofácies não permitiram definição entre tais paleoambientes. (Análises geoquímicas e de palinofácies estão em andamento.) Uma última, fluvial (SF3), foi observada com características ora mais rudáceas ora arenáceas. Nas arenáceas, os canais podem ser interpretados como pertencentes a um modelo fluvial de inundaçãorelâmpago, em lençol (*sheetflood*), ilustrado pelo modelo Bijou Creek (Miall, 1977).

Nos intervalos com má recuperação e/ou preservação, o perfil geofísico de raios-gama permitiu reconhecer a SF3 através do padrão em “caixote” em ambos os poços, enquanto que outro, em “sino”, permitiu reconhecer a SF1 (Figura 2).

Tabela 2. Síntese das sucessões de fácies descritas para a parte superior da Formação Santana.

Código	Diagnose	Interpretação (Sistema Depositional)
SF1	Sucessão de fácies F1–F2–A1–A2–A3	Deltaico–Lacustre/Marinho
SF2	Sucessão de fácies A2–H– F1	Lacustre/Marinho
SF3	Sucessão de fácies R–A4 e A2/A3	Fluvial

4. Superfícies Estratigráficas

Nos dois poços estudados foi possível a identificação de cinco superfícies estratigráficas com base na análise de fácies, apoiada na interpretação de perfis geofísicos, as quais foram reconhecidas como discordante (SD), de regressão forçada (SRF), transgressiva (ST), de inundaçã (SI) e de inundaçã máxima (SIM) (Figura 2).

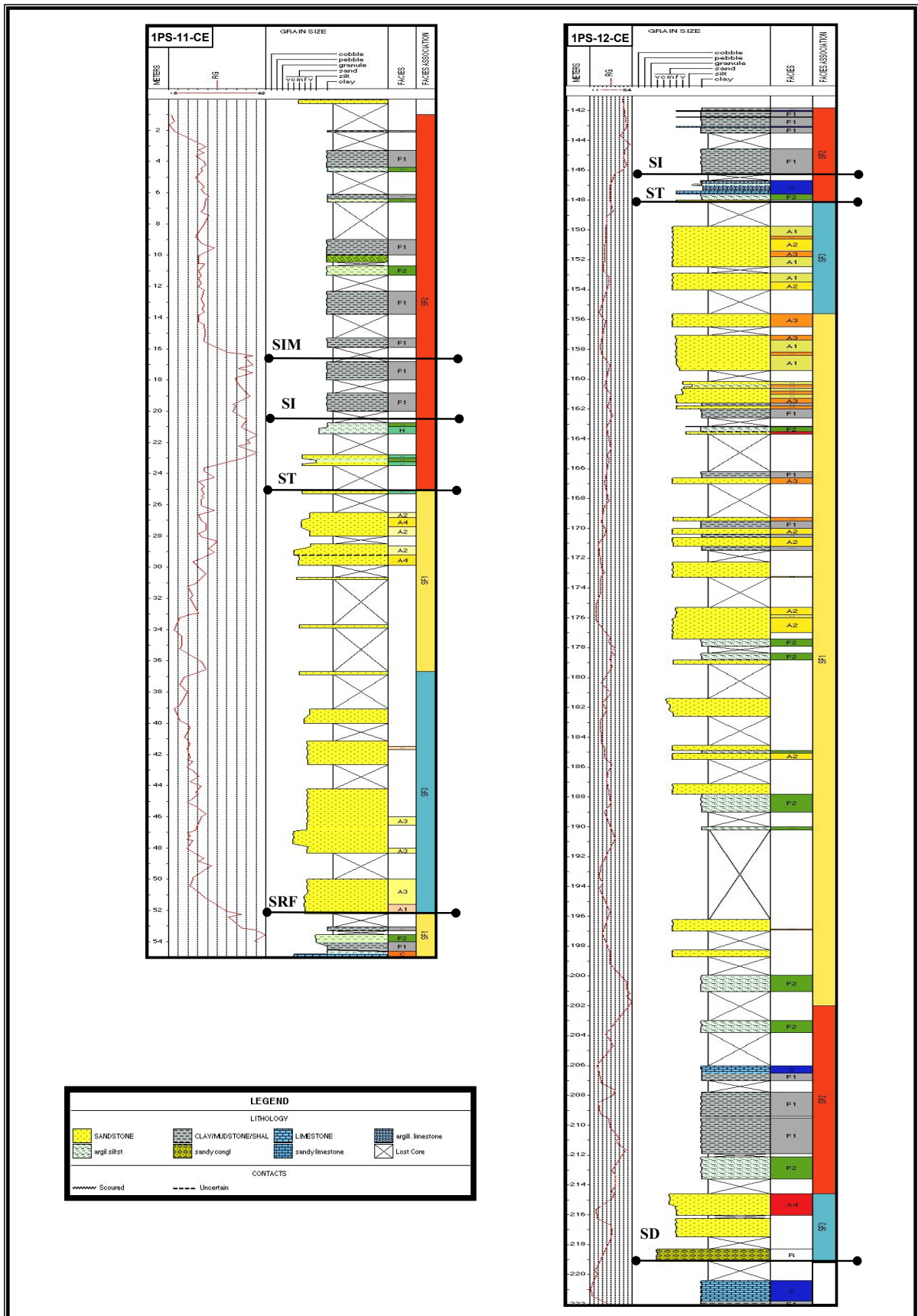


Figura 2. Perfis compostos dos poços 1PS-11-CE e 1PS-12-CE com indicações das superfícies estratigráficas (SD, discordante; SRF, regressão forçada; ST, transgressiva; SI, inundação; e SIM de inundação máxima).

A superfície SD é caracterizada por uma brusca mudança no paleoambiente sedimentar, registrado pela passagem de uma sucessão de fácies lacustre carbonática, típica do Membro Crato da formação (cf. Neumann, 1999), para a sucessão de fácies fluvial (SF3), rudácea (Figura 2). Esta superfície pode ser correlata à de carstificação de Silva (1986).

A superfície SRF registra uma brusca mudança no regime sedimentar, representado pela passagem da sucessão de fácies lacustre/marinha (SF2) para a deltaico-lacustre/marinha (SF1) (Figura 2), representada, em sua maior parte, por fácies atribuíveis à planície deltaica, fluvial (fácies A3). A pouca ou nenhuma expressão de fácies representativas do prodelta/frente deltaica (fácies A1) seria indício da situação.

A superfície ST registra uma mudança no regime sedimentar representado pela passagem da sucessão SF1 para SF2 (Figura 2). Esta última inicia-se por arenitos que se sucedem por folhelhos, em um ciclo de afinamento granulométrico, o que marca a redução da energia em resposta ao incremento de lâmina d'água (lacustre/marinha).

A superfície SI é identificada na sucessão SF2 pelo perfil de raios-gama através de um aumento brusco dos valores (deflexão da curva à direita) (Figura 2). Assim, a superfície SI marca o contato de um conjunto de camadas da fácies H ou C, abaixo, com fácies F1, acima, indicando um rápido afogamento.

A superfície SIM ocorre num conjunto de camadas de fácies F1 e é identificada pelos maiores valores de raios-gama no perfil (deflexão máxima da curva à direita) (Figura 2). É possível observar valores similares deste perfil geofísico em um intervalo de fácies H, logo abaixo. Porém, estes valores são interpretados como sendo resultado de anomalia na concentração de elementos radiogênicos, por percolação de soluções derivadas dos folhelhos, na diagênese.

5. Análises Petrográficas e Petrofísicas

Os intervalos de arenitos com espessuras representativas (maiores que 30m) foram analisados petrografica- e petrofisicamente para caracterizar potenciais reservatórios.

Na profundidade 27,5 m do poço IPS-11-CE, a fácies A4 é representada por um subarcóseo com *coatings* de clorita em grãos de quartzo e de feldspato (Estampa1, figuras 11 e 12), que se desprem dos mesmos. Sua permeabilidade é de 70,6 mD. Um pouco abaixo, na profundidade 50,8 m deste mesmo poço, a fácies A3 é representada por um quartzarenito micáceo, com alteração das micas para argila (Estampa1, Figuras 13), e permeabilidade de 1.100 mD.

Na profundidade 150,8 m do poço IPS-12-CE, a fácies A2 é representada por um quartzarenito com permeabilidade de 1.170 mD. Mais abaixo, na profundidade 176,3 m, a mesma fácies, também representada por um quartzarenito com permeabilidade de 2.800 mD.

6. Conclusões

As fácies descritas, juntamente com as sucessões de fácies interpretadas, permitiram a identificação de um modelo deposicional deltaico-lacustre/marinho para o intervalo estudado.

Foi possível identificar superfície de discordância, correlata à identificada por Silva (1986) e, na Formação Codó (bacia do Parnaíba) por Mendes (2005; este congresso), além de regressão forçada, transgressiva, de inundação e de inundação máxima.

No que se refere a potenciais rochas-reservatórios, o intervalo estudado possui espessos pacotes de arenitos, representados pelas sucessões de fácies deltaico-lacustre/marinho (SF1) e fluvial (SF3). Estes compõem bons reservatórios, porém com porosidade e permeabilidade prejudicada por processos diagenéticos.

7. Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do Programa de Capacitação de Recursos Humanos em Geologia do Petróleo da UFRJ (conv. PRH-ANP/MCT n°18); do 4º Distrito do DNPM, pelo acesso aos testemunhos; e da GSEP/CENPES/Petrobrás, pelos ensaios petrofísicos (permeabilidade).

8. Referências

- BEURLEN, K. As condições ecológicas e faciológicas da Formação Santana na Chapada do Araripe (Nordeste do Brasil). *An. Acad. Bras. Ciênc.*, **43**(Suplemento): 411-415, 1971.
- BORGHI, L. Visão geral da análise de fácies sedimentares do ponto de vista da arquitetura deposicional. Rio de Janeiro, Museu Nacional, 26 p. (Boletim, Nova Série, Geologia, 53), 2000.
- MENDES, M.S. Análise faciológica da Formação Codó (Aptiano-Albiano) na bacia do Parnaíba. Rio de Janeiro, Instituto de Geociências-UFRJ, B. Sc, Curso de Graduação em Geologia, 2005.

- MIALL, A. D. A review of the braided-river depositional environment. *Earth-Sci. Rev.*, 13: 1-62, 1977.
- MOURA, V.M. Análise das fácies siliciclásticas da parte superior da Formação Santana (bacia do Araripe): caracterização de potenciais rochas-reservatório. Rio de Janeiro, Instituto de Geociências-UFRJ, B. Sc, Curso de Graduação em Geologia, 2005.
- MIRANDA, E. E. de; COUTINHO, A. C. (Coord.). Brasil Visto do Espaço. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2004. Disponível em: <<http://www.cdbrazil.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 19 abr, 2005.
- NEUMANN, V. H. M. L. Estratigrafia, Sedimentología y Diagénesis de los Sistemas Lacustres Aptiense-Albiense de la Cuenca de Araripe (Nordeste de Brasil)- Barcelona, 1999. 250 p. Tese (Doctorado) – Facultat de Geologia – Universitat de Barcelona, 1999.
- POSAMENTIER, H. W. & VAIL, P. R. Eustatic controls on clastic deposition II – sequence and systems tract models. In: Wilgus, C. K.; Ross, C. A.; Van Wogener, J. C. eds. Sea level changes – an approach. Tulsa, SEPM, p. 125-154. (Special Publicatio 42), 1988.
- SCHEID, C.; MUNIS, M. B. & PAULINO, J. Projeto Santana. Relatório Final da Etapa II. Recife, DNPM/ CPRM. 136 p, 1978.
- SILVA, M. A. M. Lower Cretaceous unconformity truncating evaporite-carbonate sequence, Araripe basin, northeast Brazil. *Rev. Bras. Geoc.*, 16(3): 306-310, 1986.

Estampa I

Figura 1 – Aspectos da fácies F1 mostrando folhelho cinza-esverdeado. Poço IPS-12-CE, profundidade de 145,20 m./ Figura 2 – Aspectos da fácies F2 mostrando argilito cinza-esverdeado. Poço IPS-11-CE, profundidade de 11 m./ Figura 3 – Aspectos da fácies H mostrando uma estrutura *flaser*. Poço IPS-11-CE, profundidade de 21,00 m./ Figura 4 – Aspectos da fácies A1 mostrando arenito fino alaranjados com ripples. Poço IPS-12-CE, profundidade de 150,80 m./ Figura 5 – Aspectos da fácies A2 mostrando arenito fino alaranjado com estratificação cruzada. Poço IPS-12-CE, profundidade de 176,60 m./ Figura 6 – Aspectos da fácies A3 mostrando arenito fino alaranjado com estratificação plano-paralela. Poço IPS-11-CE, profundidade de 50,20 m./ Figura 7 – Aspectos da fácies A4 mostrando arenito fino cinza com estrutura maciça. Poço IPS-11-CE, profundidade de 29,50 m./ Figura 8 – Aspectos da fácies R mostrando um conglomerado com intraclastos. Poço IPS-12-CE, profundidade de 218,40 m./ Figura 9 – Aspectos da fácies C mostrando calcarenito com lâminação plano-paralela. Poço IPS-12-CE, profundidade de 147,40 m./ Figura 10 – Aspectos da fácies C mostrando calcilito com lâminação plano-paralela. Poço IPS-12-CE, profundidade de 147 m./ Figura 11 – Aspectos da fácies A4, em lâmina petrográfica (nicol paralelo), mostrando detalhes dos *coatings* de clorita em grãos de quartzo. Poço IPS-11-CE, profundidade de 27,5 m./ Figura 12 – Aspectos da fácies A4, em lâmina petrográfica (nicol paralelo), mostrando aglomerados de *coatings* de clorita desprendidos e entupindo os poros. Poço IPS-11-CE, profundidade de 27,5 m. / Figura 13 – Aspectos da fácies A3, em lâmina petrográfica (nicol cruzado), mostrando o esmagamento de um grão de mica e alterações de micas para argilas. Poço IPS-11-CE, profundidade de 50,8m.

