



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

ANÁLISE FACIOLÓGICA DA FORMAÇÃO ITAPECURU (BACIA DO PARNAÍBA)
EM TESTEMUNHOS DE SONDAGEM

VIVIAN CRISTINA DE OLIVEIRA PESSOA

MONOGRAFIA SUBMETIDA AO CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO REQUISITO
OBRIGATÓRIO DA DISCIPLINA “ESTÁGIO DE CAMPO IV”

*TEMA VINCULADO AO PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS EM
GEOLOGIA DO PETRÓLEO (CONVÊNIO PRH-ANP/MCT Nº 18)*

RIO DE JANEIRO – RJ – BRASIL
MARÇO DE 2005

ANÁLISE FACIOLÓGICA DA FORMAÇÃO ITAPECURU (BACIA DO PARNAÍBA)
EM TESTEMUNHOS DE SONDAGEM

VIVIAN CRISTINA DE OLIVEIRA PESSOA

MONOGRAFIA SUBMETIDA AO CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO REQUISITO
OBRIGATÓRIO DA DISCIPLINA “ESTÁGIO DE CAMPO IV-D”.

SETOR: PALEONTOLOGIA E ESTRATIGRAFIA

ORIENTADOR: LEONARDO BORGHI

APROVADA POR:

Geól. CHARLES GEORGE K. YOUNG
BAKER HUGLES DO BRASIL

Prof. ISMAR DE SOUZA CARVALHO
(UFRJ)

Prof. LEONARDO BORGHI
(UFRJ)

PESSOA, Vivian Cristina de Oliveira

Análise Faciológica da Formação Itapecuru (bacia do Parnaíba) em testemunhos de sondagem. [Rio de Janeiro] 2005.

xvii, 58 p., 30cm (Instituto de Geociências – UFRJ, B.Sc., Curso de Graduação em Geologia, 2005)

Monografia - Universidade Federal do Rio de Janeiro, realizada no Instituto de geociências.

1. Formação Itapecuru. 2. Bacia do Parnaíba. 3. Cretáceo

II – IGEO/UFRJ

II- Título (série)

Dedico este trabalho ao Eng. Adonai Alvino Pessoa, meu pai e meu grande incentivador que ao longo desses muitos anos, com o suor de seu trabalho, nunca nos deixou faltar nada, e por meio de seu brilhantismo e busca pelo melhor, chegou onde queria e me mostrou sem nenhum tipo de imposição, qual o caminho e como segui-lo, sempre de forma dedicada e ética e me lembrando sempre que todo sacrifício é recompensado no final. Dedico também a minha mãe, Leila Maria, que por amor nos dedicou os melhores anos de sua vida e abdicou de uma vida profissional promissora para estar presente em nossos, melhores e piores momentos e para que nossa educação fosse a melhor que ela pudesse dar.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer ao professor Dr. Leonardo Borghi pela amizade, orientação, confiança, paciência, boa vontade, persistência, e estímulo à pesquisa científica.

Aos meus pais Leila e Adonai, meus irmãos Lílian, Junior, Márcio e Mic e minha avó Celeste, pela confiança, pelo suporte e compreensão durante esse cinco anos. Nada teria sido possível sem toda essa estrutura, muito obrigada!

À ANP, pela concessão da bolsa de estudos do Programa de Capacitação de Recursos Humanos em Geologia do Petróleo (PRH – ANP - 18) a qual foi de grande importância para o meu aprimoramento técnico-científico.

Ao 4º Distrito do DNPM (Recife) por ter disponibilizado grande parte dos dados utilizados no presente trabalho e ainda pela atenção e hospitalidade.

Aos meus grandes amigos da turma “lendária” de 2000: Dani, Pri, Fabi, Gil, Ju, Vanessa, Carol, Cícero, Potó, Fabiano, Anselmo, Muriçoca, Marcos, Hatsushica, Cauê, Stutz, Afobado e Leandro, pelo carinho, companheirismo e pelos dias incríveis que vivemos juntos ao longo desses cinco anos. Em especial, gostaria de agradecer ao Max e ao Marcelo pela amizade, união, compreensão e por termos seguido juntos no caminho que nos trouxe até aqui, dividindo nossos momentos críticos e nossas vitórias, vocês foram fundamentais durante todo o percurso.

Aos amigos do LAGESED (Laboratório de Geologia Sedimentar) da UFRJ, Ana Paula, Mauro, Priscilla, Giselle, Gustavo, Rogério, Charles, Julia e Molinari pelo bom convívio, amizade e troca diária de conhecimentos.

Aos amigos da Turma de 1999: Diogo, Carol, Marcele, Marcel, Reginaldo, Antonio, Juliano, Rafinha, que nos receberam de maneira “calorosa” e descontraída e sempre estiveram dispostos a ajudar no que fosse possível durante a graduação.

Aos professores e funcionários do curso de graduação em Geologia da UFRJ, pela dedicação e boa vontade.

RESUMO DA MONOGRAFIA APRESENTADA AO CURSO DE GRADUAÇÃO EM
GEOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO
REQUISITO OBRIGATÓRIO DA DISCIPLINA “ESTÁGIO DE CAMPO IV”

ANÁLISE FACIOLÓGICA DA FORMAÇÃO ITAPECURU (BACIA DO PARNAÍBA)
EM TESTEMUNHOS DE SONDAGEM

VIVIAN CRISTINA DE OLIVEIRA PESSOA

RIO DE JANEIRO, MARÇO DE 2005

ORIENTADOR: LEONARDO BORGHI

SETOR: Paleontologia e Estratigrafia

A bacia do Parnaíba, dentre as bacias sedimentares do país, talvez seja a menos estudada e, portanto, a menos conhecida do ponto de vista geológico. Isto se deve à sua grande extensão areal (cerca de 600.000 km²), seu afastamento dos grandes centros de pesquisa nacionais e das fracas perspectivas históricas de exploração de petróleo. Em termos de exploração de petróleo – da qual resultou a maior parte de seu conhecimento geológico disponível – os esforços concentraram-se nas décadas de 1960, 1970 e 1980, sem grande resultado prospectivo, o que levou a bacia ser considerada hoje uma “Fronteira Exploratória”. O presente trabalho trata da análise faciológica da Formação Itapecuru, de idade Cretácea Superior (Albiano-Cenomaniano) que retrata o contexto do final da fase rifte e início da fase drifte na bacia do Parnaíba. A análise foi realizada nos testemunhos de sondagem dos poços 1-UN-24-PI, 1-UN-25-PI, 1-UN-30-PI, 1-UN-32-PI (DNPM/CPRM, *Projeto Carvão*, 1975), localizados a oeste de Coelho Neto/MA, com os objetivos de caracterizar fácies, interpretar sistemas deposicionais e identificar superfícies estratigráficas para correlação. A finalidade do estudo é avaliar parâmetros geológicos de potenciais rochas-reservatório na formação, como contribuição ao conhecimento geológico em bacias de fronteira exploratória, tendo em vista a possibilidade de um sistema petrolífero Codó-Itapecuru(?). Foram descritas nove litofácies associadas em duas sucessões de fácies (SF1 e SF2): uma de natureza macroclástica (SF1) e outra microclástica (SF2). Tais sucessões foram interpretadas, dentro de um sistema deposicional fluvial, como elementos arquiteturais de um modelo de paleoambiente meandrante (cf. Miall, 1985, 1996). Foram identificadas dois tipos de superfícies estratigráficas genéticas, hierarquizadas em duas ordens arquiteturais. Uma aplica-se na Estratigrafia de Seqüências, como limite de seqüências deposicionais (superfície discordante), enquanto que outra limita elementos arquiteturais de um sistema fluvial (superfície diastêmica). Uma terceira superfície, de natureza litoestratigráfica, formal, foi caracterizada para limitar o contato da Formação Itapecuru com a Formação Codó (limite litoestratigráfico).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa com a localização geográfica da Bacia do Parnaíba e dos poços 1-UN-32- PI (4° 04' 55" / 43° 03' 15"), 1-UN-30- PI (3° 40' 30" / 43° 06' 45"), 1-UN-25- PI (3° 48' 13" / 42° 56' 47") e 1-UN-24- PI (3° 54' 37" / 42° 56' 47"), (Modificado CPRM, 2002).

Figura 2: Limites Geológicos da Bacia do Parnaíba (Schobbenhaus et al., 1984)

Figura 3: Coluna estratigráfica da bacia do Parnaíba (ANP,2000).

Figura 4: Estruturas do ciclo Brasileiro que compartimentam o Paleozóico.(A) lineamento Tocantins–Araguaia. (B) lineamento Pico–Santa Inês, (C) lineamento Transbrasiliano (Fortes, 1978).

Figura 5: Seção Geológica Esquemática das Seqüências S,D e C-T bacia do Parnaíba (ANP, 2000, Modificado de Góes et al., 1993), mostrando efeitos tectônicos sobre sua arquitetura.

Figura 6: Limites da “Bacia do Grajaú”, ou limites dos sedimentos da seqüência cretácea da bacia do Parnaíba (Modificado Rossetti et. al.,2000).

Figura 7: Modelo tectônico esquemático envolvendo cisalhamento simples com zona de deslocamento basal que estende-se para norte, atingindo zonas mais profundas e causando ascensão magmática na área correspondente a sub-bacia do Caeté, onde se processou a ruptura continental (Góes e Rossetti 2000, Modificado de Azevedo 1991).

Figura 8: Mapa índice dos grids e poços exploratórios da bacia do Parnaíba (Milani & Zalán, 1998).

Figura 9: Síntese das seqüências deposicionais (S1, S2 e S3) e das unidades cíclicas (S3a, S3b, S3c, S3d, S3e e S3f) propostas por Rossetti (2001) para bacia de São Luís-Grajaú e sua correlação com unidades geológicas formalizadas anteriormente por Rossetti & Truckenbrodt, (1997).(Rossetti, 2001).

Figura 10: Mapa da Bacia do Grajaú (Cretáceo da Bacia do Parnaíba), com a localização das regiões estudadas citadas no item 3.2. (1) Região de Itapecuru-Mirim. (2) Região de Santa Inês. (3) Região Leste da Bacia. (4) Região de Açailândia (Mod.Dias Lima e Rossetti, 2001).

Figura 11: Elementos arquiteturais tipo “canal” (CH), tipo “finos de planície de inundação” (OF), tipo “barra de acreção lateral” (LA), Miall (1986).

Figura 12: Bloco diagrama representativo de um sistema fluvial meandrante (modificado de Selley, 1976), mostrando a contextualização dos poços descritos no presente trabalho em relação às sucessões de fácies SF1 (em amarelo) e SF2 (em preto e cinza).

Figura 13: Esquema de correlação entre os quatro poços descritos no trabalho, em vermelho a superfície discordante erosiva, que separa as seqüências S1 e S2; em azul limite litoestratigráfico; e em laranja disposição hipotética dos paleocanais e superfície diastêmica.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: *Resumo das fácies utilizadas no presente trabalho. Em cinza, as fácies lamosas; em amarelo as fácies arenosas e em laranja a fácies cascalhosa. Os códigos que se encontram entre parênteses são referentes às fácies fluviais de Miall (1996), que em muito se assemelham às descritas.*

Quadro 2: *Resultados da análise de permeabilidade das fácies A1, A3, A4 e A6.*

Quadro 3: *Freqüência da ocorrência da sucessão 1 (Canais ativos) e da sucessão 2 (Planície de inundação /canal abandonado) nos poços descritos.*

LISTA DE ESTAMPAS

ESTAMPA I

Figura A - Aspecto da fácies L1, exibindo estrutura mosqueada proveniente da intensa bioturbação. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 24,60m.

Figura B - Aspecto da fácies L1, exibindo estrutura mosqueada proveniente da intensa bioturbação. Poço 1-UN-25-PI, profundidade 151,30m.

Figura C - Aspecto da fácies L1, exibindo vênulas calcíferas. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 36,75m.

ESTAMPA II

Figura A - Aspecto da fácies L2, exibindo estrutura mosqueada proveniente da intensa bioturbação. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 74,00m.

Figura B - Aspecto da fácies L2, exibindo níveis calcíferos. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 37,95m.

Figura C - Aspecto da fácies L2, exibindo níveis calcíferos e marca de raízes. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 32,40m.

ESTAMPA III

Figura A - Aspecto da fácies A1, exibindo laminação cruzada cavalgante. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 20,75m.

Figura B - Aspecto da fácies A1, exibindo laminação cruzada cavalgante. Poço 1-UN-30-PI, profundidade 192,10m.

Figura C - Aspecto da fácies A2, exibindo estratificação cruzada de pequeno porte. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 48,95m.

Figura D - Aspecto da fácies A2, exibindo estratificação cruzada de pequeno porte. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 98,80m.

ESTAMPA IV

Figura A - Aspecto da fácies A3, exibindo estrutura mosqueada proveniente de intensa bioturbação, concreções e vênulas calcíferas. Poço 1-UN-25-PI, profundidade 190,14m.

Figura B - Aspecto da fácies A3, exibindo estrutura mosqueada proveniente de intensa bioturbação. Poço 1-UN-25-PI, profundidade 82,60m.

Figura C - Aspecto da fácies A4, exibindo laminação convoluta. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 48,90m.

Figura D - Aspecto da fácies A4, exibindo laminação convoluta e falha sindeformacional. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 21,30m.

ESTAMPA V

Figura A - Aspecto da fácies A5, exibindo laminação plano paralela. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 45,00m.

Figura B - Aspecto da fácies A5, exibindo laminação plano paralela. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 43,50m.

Figura C - Aspecto da fácies A6, exibindo estratificação cruzada de médio porte, em arenito fino superior. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 56,60m.

Figura D - Aspecto da fácies A6, exibindo estratificação cruzada de médio porte, em arenito médio superior. Poço 1-UN-30-PI, profundidade 193,20 m

ESTAMPA VI

Figura A - Aspecto da fácies C, exibindo conglomerado clasto suportado. Poço 1-UN-25-PI, profundidade 114,10m.

Figura B - Aspecto da fácies C, exibindo conglomerado clasto suportado, cimentados por calcita. Poço 1-UN-25-PI, profundidade 108,00m.

ESTAMPA VII

Figura A – Aspecto petrográfico da fácies A2, em lâmina delgada com nicol paralelo, exibindo o aspecto geral. Poço 1-UN-25-PI, profundidade 114,45 m.

Figura B - Aspecto petrográfico da fácies A6, em lâmina delgada e nicol paralelo, exibindo a porosidade e o aspecto geral. Poço 1-UN-30-PI, profundidade 218,50m.

Figura C - Aspecto petrográfico da fácies A3, em lâmina delgada e nicol cruzado, exibindo cimentação calcífera posterior a oxidação. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 61,45 m.

Figura D – Aspecto petrográfico da fácies A2, em lâmina delgada e nicol cruzado, exibindo cimentação calcífera poiquilótópica. Poço 1-UN-25-PI, profundidade 114,45 m.

Figura E - Aspecto petrográfico da fácies A3, em lâmina delgada e nicol cruzado, exibindo grão com textura granófila. Poço 1-UN-30-PI, profundidade 218,50m.

Figura F – Aspecto petrográfico da fácies A3, em lâmina delgada e nicol paralelo, exibindo matriz resultante de fragmentação de litoclastos sedimentares. Poço 1-UN-30-PI, profundidade 218,50m.

ESTAMPA VIII

Figura A – Aspecto petrográfico da fácies C, em lâmina delgada com nicol cruzado, exibindo o aspecto geral e a diversidade de litoclastos. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 59,80 m.

Figura B - Aspecto petrográfico da fácies C, em lâmina delgada com nicol paralelo, exibindo a o aspecto geral, nota-se a grande quantidade de fragmentos de alterito e a intensa cimentação. Poço 1-UN-25-PI, profundidade 108,00 m.

Figura C - Aspecto petrográfico da fácies C, em lâmina delgada com nicol paralelo, exibindo litoclasto de arenito. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 59,80 m.

Figura D – Aspecto petrográfico da fácies C, em lâmina delgada com nicol cruzado, exibindo cimentação nas bordas de um litoclasto de argilito. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 59,80 m.

Figura E - Aspecto petrográfico da fácies C, em lâmina delgada com nicol cruzado, exibindo calcita dente de cão e calcita espática. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 59,80 m.

Figura F – Aspecto petrográfico da fácies C, em lâmina delgada com nicol cruzado, exibindo grão com textura granófila. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 59,80 m.

ESTAMPA IX

Figura A: Poço 1-UN-30-PI com intervalos destacados por retângulos vermelhos ampliados em (B).

Figura B: Destacando o caráter fining-up da sucessão de fácies 1.

Figura C: Fotografia ilustrativa do testemunho 1-UN-32-PI mostrando um exemplo de ocorrência da sucessão de fácies 1.

ESTAMPA X

Figura A: Poço 1-UN-25-PI com intervalo destacado por retângulo vermelho ampliado em (B).

Figura B : Destacando o caráter fining-up da sucessão de fácies 1.

Figura C: Fotografia ilustrativa do testemunho 1-UN-25-PI mostrando um exemplo de ocorrência da sucessão de fácies 1.

ESTAMPA XI

Figura A: Poço 1-UN-32-PI mostrando a intercalação de fácies pelíticas que caracterizam a sucessão de fácies 2.

Figura B: Fotografia ilustrativa do testemunho 1-UN-32-PI mostrando um exemplo de ocorrência da sucessão de fácies 2 .

SUMÁRIO

| | |
|--|------|
| AGRADECIMENTOS | iv |
| RESUMO | v |
| LISTA DE FIGURAS | vi |
| LISTA DE QUADROS | vii |
| LISTA DE ESTAMPAS | viii |
| 1 INTRODUÇÃO | |
| 1.1 Apresentação | 1 |
| 1.2 Objetivo e finalidade | 2 |
| 1.3 Material e método | 3 |
| 1.4 Fundamentos conceituais | 4 |
| 2 CONTEXTO GEOLÓGICO | |
| 2.1 Aspectos gerais | 5 |
| 2.2 Embasamento e Arcabouço Estrutural da bacia do Parnaíba | 6 |
| 2.3 Estratigrafia da bacia do Parnaíba | 8 |
| 2.3.1 GRUPO SERRA GRANDE | 8 |
| 2.3.2 GRUPO CANINDÉ | 8 |
| 2.3.3 GRUPO BALSAS | 10 |
| 2.3.4 GRUPO MEARIM | 11 |
| 2.3.5 FORMAÇÕES GRAJAÚ, CODÓ E ITAPECURU | 11 |
| 2.4 Tectônica e sedimentação | 12 |
| 2.5.1 SEQUÊNCIA SILURIANA | 12 |
| 2.5.2 SEQUÊNCIA DEVONIANA | 13 |
| 2.5.3 SEQUÊNCIA CARBONÍFERA-TRIÁSSICA | 13 |
| 2.5.4 SEQUÊNCIA JURÁSSICA | 14 |
| 2.5.5 SEQUÊNCIA CRETÁCEA | 14 |
| 2.5 Eventos magmáticos na bacia do Parnaíba | 16 |
| 2.6 Geologia do petróleo | 17 |
| 2.6.1 HISTÓRICO DE ATIVIDADES EXPLORATÓRIAS | 17 |
| 2.6.2 SISTEMAS PETROLÍFEROS | 18 |
| 2.7 O carvão na bacia do Parnaíba | 19 |

| | | |
|----------|------------------------------------|----|
| 3 | FORMAÇÃO ITAPECURU | |
| 3.1 | Histórico | 20 |
| 3.2 | Sedimentologia e paleoambiente | 22 |
| 3.2.1 | NA REGIÃO DE ITAPECURU-MIRIM | 22 |
| 3.2.2 | NA REGIÃO DE SANTA INÊS | 22 |
| 3.2.3 | NA REGIÃO LESTE DA BACIA DO GRAJAÚ | 23 |
| 3.2.4 | NA REGIÃO DE AÇAILÂNDIA | 23 |
| 3.3 | Fósseis e idade | 24 |
| 4 | ANÁLISE FACIOLÓGICA | |
| 4.1 | Fácies | 26 |
| 4.2.1 | FÁCIES L1 | 26 |
| 4.2.2 | FÁCIES L2 | 27 |
| 4.2.3 | FÁCIES A1 | 30 |
| 4.2.4 | FÁCIES A2 | 31 |
| 4.2.5 | FÁCIES A3 | 31 |
| 4.2.6 | FÁCIES A4 | 33 |
| 4.2.7 | FÁCIES A5 | 35 |
| 4.2.8 | FÁCIES A6 | 35 |
| 4.2.9 | FÁCIES C | 37 |
| 4.2.10 | ASPECTOS PETROGRÁFICOS | 39 |
| 4.2 | Sucessão de fácies | 42 |
| 4.2.1 | SUCESSÃO DE FÁCIES 1 (SF1) | 42 |
| 4.2.2 | SUCESSÃO DE FÁCIES 2 (SF2) | 46 |
| 5 | ANÁLISE GEOLÓGICA | |
| 5.1 | Superfícies estratigráficas | 49 |
| 5.1.1 | SUPERFÍCIE DISCORDANTE (D) | 49 |
| 5.1.2 | SUPERFÍCIE DIASTÊMICA | 50 |
| 4.5.3 | LIMITE LITOESTRATIGRÁFICO | 50 |
| 5.2 | Sistema petrolífero | 50 |
| 6 | CONCLUSÕES | 53 |
| 7 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 54 |

ANEXOS

Anexo 1 – Quadros síntese das fácies da Formação Itapecuru descritas por Dias-Lima & Rossetti, 2001 e Anaisse *et al.*, 2001.

Anexo 2 – Perfil estratigráfico do poço 1-UN-25-PI

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

A bacia do Parnaíba é uma bacia intracratônica de forma elipsoidal, constituída por sedimentos paleozóicos, principalmente, mezozóicos e cenozóicos que juntos atingem uma espessura de 3.000m e abrangem uma área de aproximadamente 600.000 km², ocupando grandes áreas nos estado do Maranhão e Piauí, e pequenas faixas do leste do Pará, oeste do Ceará e norte de Tocantins e Goiás (Figura 1).

Grande parte do conhecimento geológico da bacia do Parnaíba foi proveniente de esforços voltados à exploração de petróleo; esforços estes que não tiveram grandes resultados prospectivos, o que todavia não elimina definitivamente suas chances de vir a constituir-se em uma bacia economicamente prolífica em óleo ou gás natural no futuro, face ao seu conhecimento exploratório inerente.

Assim, a Agência Nacional do Petróleo (ANP), atenta à necessidade de estimular sua exploração, ofereceu um bloco na IV Rodada de Licitações, ocorrida em junho de 2002. Em decorrência da falta de resposta por parte de companhias nacionais e estrangeiras a essa oferta, a ANP apontou para a necessidade de novos investimentos em pesquisa exploratória.

Recentemente, a Superintendência de Definição de Blocos da ANP (ARAÚJO, 2003), reconhecendo o volume insuficiente de dados para a avaliação de seu potencial petrolífero e, conseqüentemente, para a atração de investimentos, indicou, em seu plano decenal de estudos geológicos e geofísicos para exploração, a importância da aquisição de dados aerogeofísicos, geoquímicos, sísmicos e estratigráficos na bacia.

Nesse cenário, o presente trabalho insere-se como uma contribuição ao conhecimento geológico desta bacia, de fronteira exploratória, através da descrição de 4 testemunhos de sondagem disponibilizados pelo 4º Distrito do DNPM (Recife, PE) focando a análise faciológica da Formação Itapecuru, considerada uma possível unidade de rocha-reservatório na bacia. Tal formação, nesta bacia, tem correlação e analogia estreitas com a bacia de São Luís, onde ela é considerada um importante reservatório, sobre os folhelhos geradores da Formação Codó.

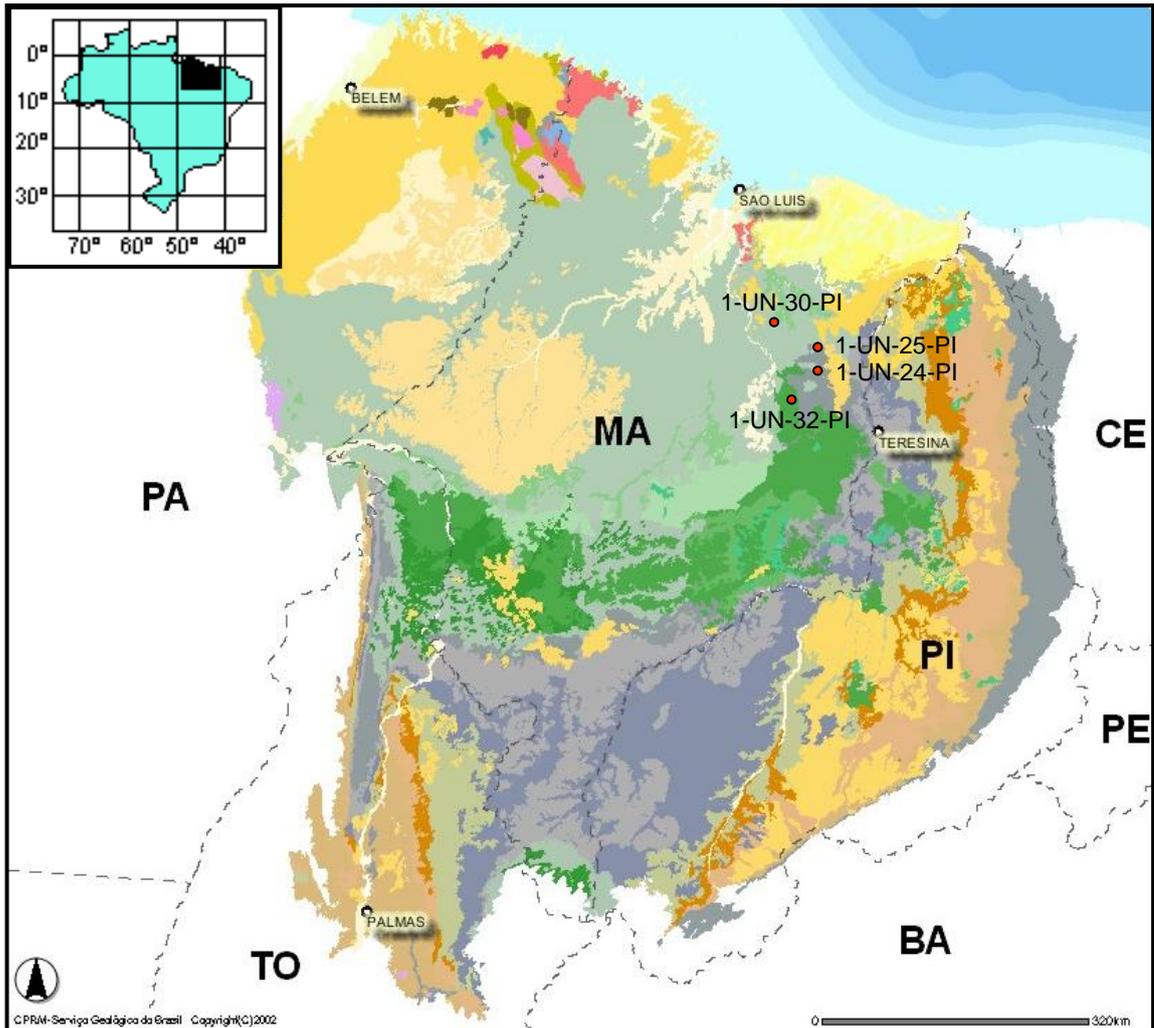


Figura 1: Mapa com a localização geográfica da Bacia do Parnaíba e dos poços 1-UN-32- PI ($4^{\circ} 04' 55'' / 43^{\circ} 03' 15''$), 1-UN-30- PI ($3^{\circ} 40' 30'' / 43^{\circ} 06' 45''$), 1-UN-25- PI ($3^{\circ} 48' 13'' / 42^{\circ} 56' 47''$) e 1-UN-24- PI ($3^{\circ} 54' 37'' / 42^{\circ} 56' 47''$), (Modificado CPRM, 2002).

1.2 Objetivo e finalidade

Este trabalho teve como objetivo a caracterização de litofácies e suas sucessões, a interpretação de sistemas deposicionais e a identificação de superfícies estratigráficas para correlações, com base em dados de subsuperfície (testemunhos de sondagem e perfis geofísicos) na região a oeste de Coelho Neto-MA.

A finalidade do estudo é avaliar parâmetros geológicos de potenciais rochas-reservatório na formação, como contribuição ao conhecimento geológico em bacias de fronteira exploratória, tendo em vista a possibilidade de um sistema petrolífero Codó–Itapecuru(?)

1.3 Material e método

O material utilizado para a realização do trabalho consiste fundamentalmente em dados de sondagem do Projeto Carvão (CPRM/DNPM –1975), que incluem testemunhos de sondagem e perfilagem geofísica dos seguintes poços: 1-UN-24-PI, 1-UN -25-PI, 1-UN-30-PI e 1-UN-32-PI, os quais se localizam à oeste de Coelho Neto, no Estado do Maranhão (Figura 1). Durante a fase de descrição de testemunhos foram coletadas amostras para a confecção de lâminas petrográficas, (confeccionadas no Laboratório de Laminação da UFRJ) e para testes de permeabilidade (foram realizados no Laboratório de Testemunhos do CENPES/Petrobras).

Numa primeira etapa foi feito um levantamento bibliográfico sobre a Formação Itapecuru e a bacia do Parnaíba, uma análise preliminar de perfis geofísicos de raio-gama e eletroresistividade, disponíveis nos perfis compostos do projeto, além da avaliação de quais testemunhos incluiriam a formação em questão e quais desses testemunhos seriam priorizados, com o intuito de otimizar e dinamizar a descrição que seria realizada na etapa seguinte.

Em uma segunda etapa, foram descritos os intervalos referentes à Formação Itapecuru nos 4 testemunhos disponibilizados com um total de 223 metros (72m no poço 1-UN-24-PI, 69m no poço 1-UN-25-PI, 34m no poço 1-UN-30-PI e 48m no poço 1-UN-32.-PI). A descrição foi realizada na escala de 1:40 em planilha própria da UFRJ que, além de variações litológicas e de estruturas, possibilitam também a representação de informações como a textura, a cor, a icnologia, a argilosidade, dentre outras. Todos os testemunhos foram fotografados em conjuntos e em detalhe, coletaram-se 40 amostras para confecção de lâminas petrográficas (12) e para análises petrofísicas (10).

Em uma terceira etapa os dados adquiridos na planilha foram digitalizados no programa Applecore[®] em conjunto com os dados já existentes de perfilagem geofísica. Todas as fotografias foram editadas e catalogadas de forma a facilitar a consulta e dinamizar o trabalho.

Em uma quarta e última etapa, foi feita a análise faciológica para a caracterização de sistemas deposicionais; a análise petrográfica de 12 lâminas, a fim de apoiar a descrição de fácies e avaliar parâmetros importantes para a

caracterização de rocha reservatório; caracterização petrofísica (permeabilidade), em 10 amostras de arenitos, realizada no laboratório de testemunhos do CENPES, utilizando a medição em bancada com o equipamento PDPK-300tm, visando uma avaliação da qualidade de rocha reservatório; e uma correlação estratigráfica entre os poços.

E por fim foi feita uma integração dos dados para a elaboração de um modelo geológico.

1.4 Fundamentos conceituais

O termo fácies é definido por Borghi (2000) como uma massa de sedimento ou rocha sedimentar caracterizada e distinguida das demais pela litologia, estruturas sedimentares, petrotrama, cores, fósseis, atributos direcionais (paleocorrentes) e por geometria estratal. Desses, apenas os dois últimos atributos não foram utilizados como diagnóstico de fácies neste trabalho, pelo fato de a análise faciológica ter sido feita em cima de quatro furos de sondagem, não sendo então possível a observação da geometria estratal e de paleocorrentes.

Entende-se por sucessão de fácies uma relação unidirecional entre fácies, ou seja, uma relação específica de seqüenciamento linear das fácies, no espaço, usualmente elaborada ou expressa por um perfil sedimentológico vertical (Borghi, 2000). A aplicação do estudo de sucessões parte da conceituação da Lei de Correlação de Fácies de Johannes Walter (Lei de Walter) que diz “ que fácies que ocorrem em uma seqüência vertical concordante (em uma seção estratigráfica local) provavelmente são representativas das fácies que se depositaram em uma determinada região, em um tempo determinado e em ambientes lateralmente adjacentes”, esta afirmação não é válida se as fácies estiverem separadas por discordâncias (Borghi, 2000).

Por sua vez o termo associação de fácies é entendido como uma relação tridimensional de fácies; ou seja, uma relação espacial elaborada ou expressa, por correlações de perfis sedimentológicos de fácies.

Outro conceito utilizado foi o de elemento arquitetural. Este decorre da noção de que massas sedimentares podem ser caracterizadas por geometrias estratais e

superfícies de acamamento limitantes e resulta na própria caracterização faciológica (associação de fácies) dessas massas de sedimentos (Borghi, 2000)

Processos sedimentares ou sedimentológicos incluem as interações fluido - partícula e fluido – substrato (processos físicos) as interações partícula – solução (processos químicos) e as interações organismo – ambiente (processos biológicos); além dos modos de distribuição das partículas sedimentares na superfície (*cf.* Fraser, 1989:1-2). Ambiente de sedimentação ou ambiente deposicional refere-se ao cenário de sedimentação, isto é, a um compartimento geomorfológico da superfície da Terra, onde dominam uma série de processos sedimentares que permitem distingui-los dos adjacentes.

Neste trabalho entende-se como superfície discordante, uma superfície que separa estratos mais novos de estratos mais velhos, ao longo da qual existem evidências de truncamento erosivo subaéreo ou exposição subaérea, com indicação de hiato significativo (Posamentier *et al.*, 1988, p.110).

2 CONTEXTO GEOLÓGICO

2.1 Aspectos Gerais

A bacia do Parnaíba também, conhecida como bacia do Maranhão, constitui juntamente com as bacias do Amazonas e do Paraná os três maiores complexos de bacias intracratônicas do Brasil, com uma área de aproximadamente 600.000 km².

A bacia do Parnaíba é classificada como “Intracratônica de interior remoto – amplos arcos regionais” por Szatmari & Porto (1982, *apud* Gabaglia & Figueredo, 1986) e como bacia tipo I (Interior cratônico de Klemme, 1980) por Asmus & Porto (1972, *apud* Gabaglia & Figueredo, 1986).

A limites estruturais da bacia são feitos a noroeste pelo arco de Tocantins, que a separa das bacias de Marajó e Médio Amazonas; a sul pelo arco de São Francisco, separando-a da bacia Sanfranciscana; e a norte pelo arco Ferrer Urbano–Santos separando-a das bacias cretáceas costeiras de São Luiz e Barreirinhas, na margem equatorial.(Figura 2).

Autores como Rosseti *et al.* (2001) entendem que, devido ao desenvolvimento tectônico sedimentar associado à subsidência do embasamento, dentro do contexto evolutivo do paleocontinente Gondwana, os sedimentos paleozóicos devem ser tratados e estudados de uma forma distinta e separada dos sedimentos mesozóicos e cenozóicos. Estes, relacionados diretamente com o processo de ruptura do Gondwana, são tratados por estes autores como pertencentes à “bacia do Grajaú”, que tem limites entre o arco Ferrer Urbano–Santos e o alto Xambioá–Parnaíba. Porém, no presente trabalho, tanto aos sedimentos paleozóicos quanto os mesozóicos e cenozóicos serão tratados como constituintes da bacia do Parnaíba e a Coluna estratigráfica da bacia compreende sedimentos paleozóicos, mesozóicos e cenozóicos, atingindo uma espessura de 3,5 km.

2.2 Embasamento e arcabouço estrutural da bacia do Parnaíba

A bacia do Parnaíba formou-se no Eopaleozóico, após a colisão entre as plataformas Amazônica e Brasileira, resultando no fechamento dos cinturões móveis Araguaia, Propiá e Arioses, no final do Pré-cambriano e início do Paleozóico São

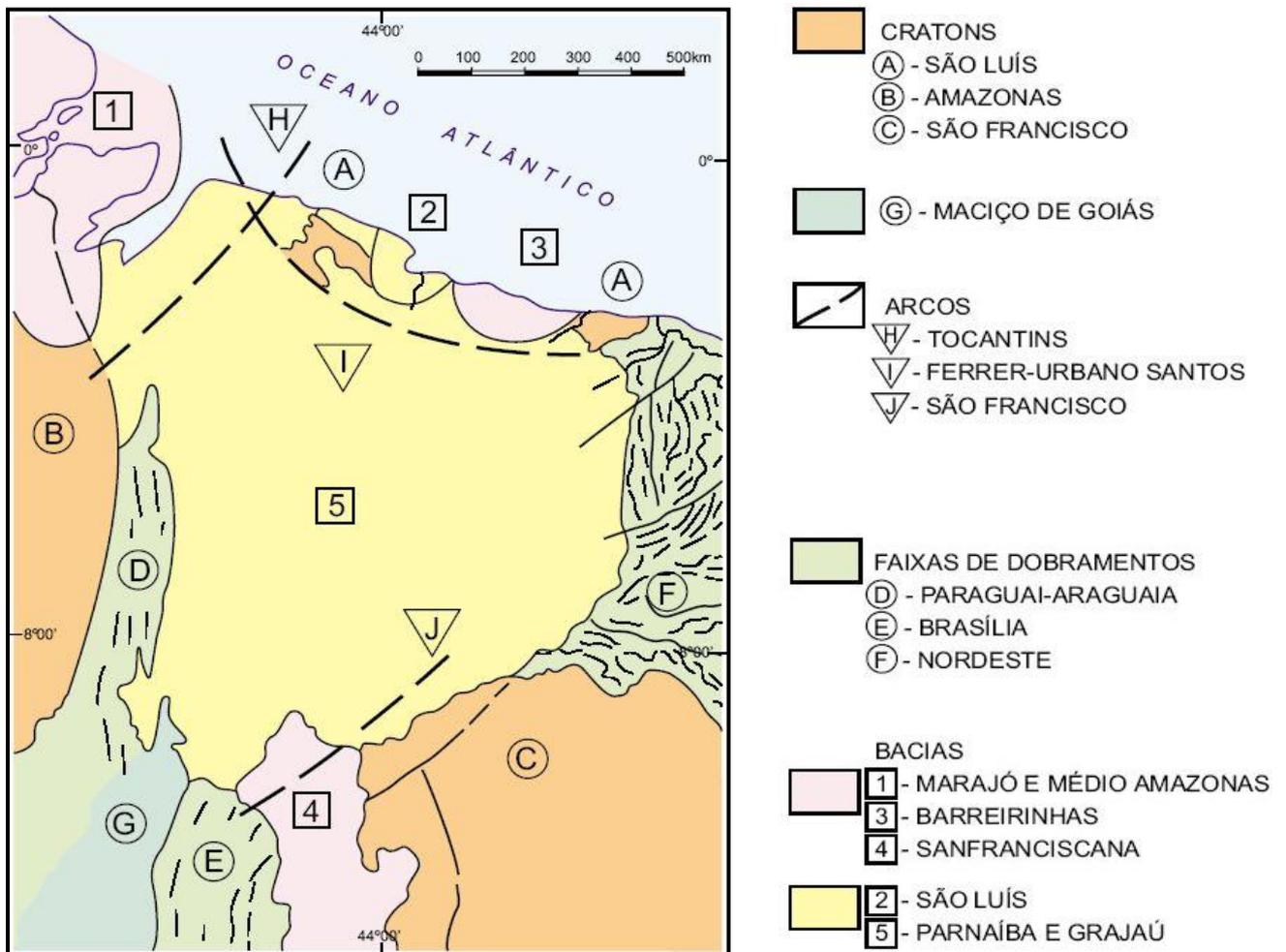


Figura 2: Limites geológicos da bacia do Parnaíba (Schobbenhaus et al., 1984)

(Caputo et al., 1984), o embasamento inclui, os cratons de São Luís, Amazônico e Francisco; as faixas de dobramentos Paraguai-Araguaia, Brasília e Nordeste; e o maciço de Goiás; (Figura 2). Estas faixas, formadas e/ou reelaboradas às custas dos eventos termotectônicos do ciclo Brasiliano, são constituídas de metassedimentos de grau baixo e intermediário de metamorfismo (Cunha, 1986).

Ainda na fase final do ciclo Brasiliano, talvez por efeito de resfriamento e descompressão, antigas zonas de cisalhamento, falhas transcorrentes e fraturas foram reativadas, sob a forma de falhas normais, permitindo a implantação de grábens (Cunha, 1986) que foram preenchidos por sedimentos aluviais e fluviais correspondentes às formações Riachão (Neoproterozóico) e Mirador (Cambro-Ordoviciano). (Figura 5).

2.3 Estratigrafia da bacia do Parnaíba

A coluna sedimentar foi subdividida em cinco grupos, que se distribuem do Siluriano ao Cretáceo. A natureza da sedimentação é predominantemente siliciclástica, ocorrendo subordinadamente calcário, anidrita e sílex; além de intrusões e derrames de diabásio e basalto, representativos de eventos magmáticos do Neojurássico ao Eocretáceo (Góes & Feijó 1994).

2.3.1 GRUPO SERRA GRANDE

Segundo Caputo & Lima (1984) o Grupo Serra Grande é composto pelas formações Ipu, Tianguá e Jaicós .

Este grupo encontra-se assentado sobre o embasamento de forma discordante, ou sobre as formações Riachão e Mirador, também de forma discordante.

A Formação Ipu (Campbell, 1949) é composta basicamente por arenito médio a grosso, diamictito e folhelho, que foram depositados por sistemas fluviais anastomosados com influência periglacial, durante o Llandovery (eossiluriano).

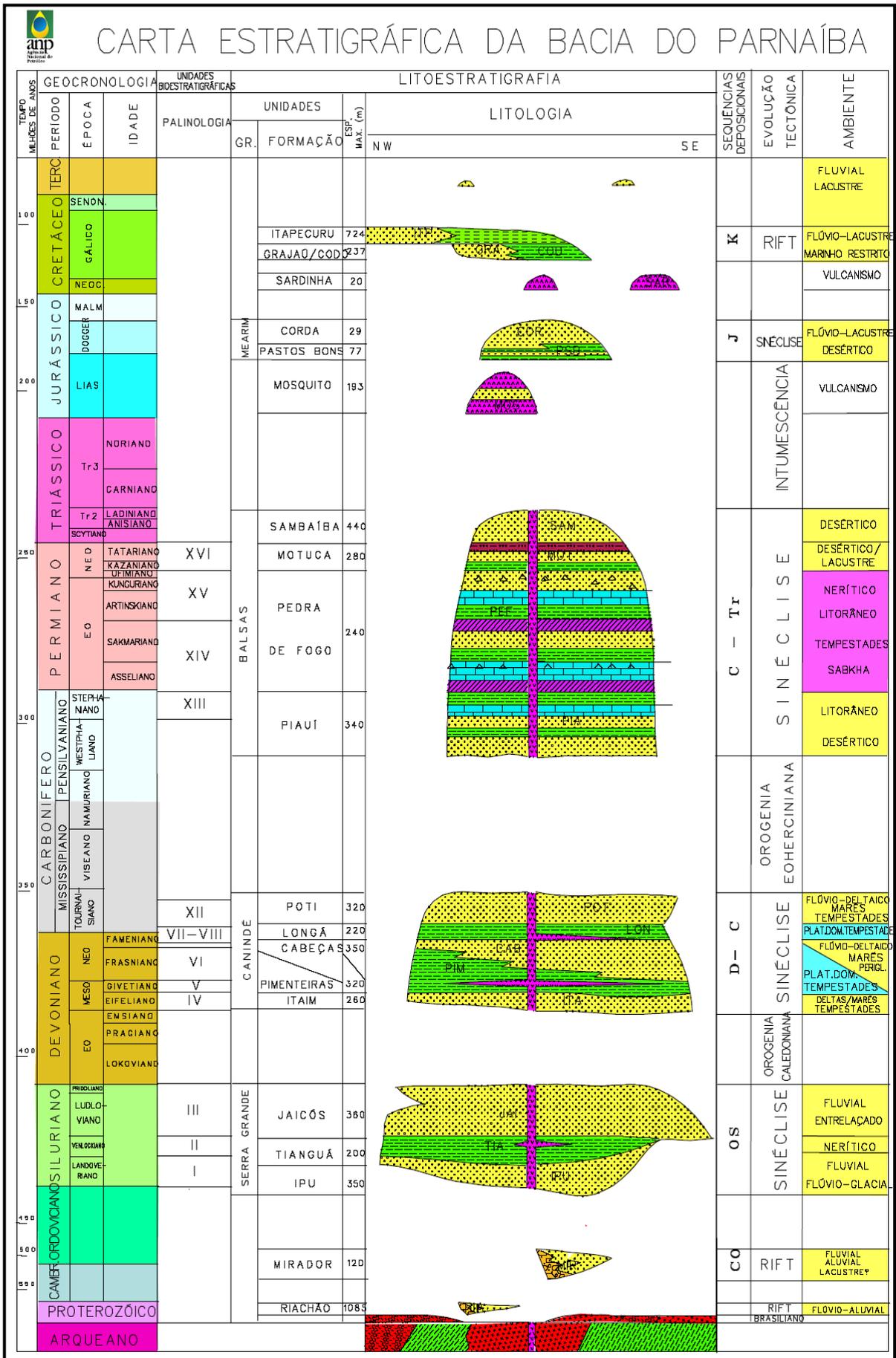
A Formação Tianguá (Rodrigues, 1967) é composta por folhelho cinza, siltito e arenito micáceo, de origem marinho raso e com idade Venlock (eossiluriano).

A Formação Jaicós é constituída por arenito médio a grosso e eventuais pelitos depositados por sistemas fluviais entrelaçados durante o neossiluriano.

2.3.2 GRUPO CANINDÉ

O Grupo Canindé é composto pelas formações Itaim, Pimenteira, Cabeças, Longá e Poti, e assenta-se de forma discordante sobre o Grupo Serra Grande, e em incomformidade sobre o embasamento na região leste da bacia.

A Formação Itaim (Kegel, 1953) é composta por arenito fino branco, folhelho cinza escuro, originados de depósitos deltáicos e plataformais, dominados por maré, com influência de tempestades, de idade Eifeliano (Mesodevoniano).



A Formação Pimenteiras é formada por camadas espessas de folhelho cinza escuro a preto com intercalações de areia fina, depositadas em paleoambiente nerítico dominado por tempestades, de idade Givetiano-Frasniano (Della Fávera, 1990).

A Formação Cabeças é formada por arenito fino de origem nerítica plataformal dominada por corrente de maré (Della Fávera, 1990) e eventual influência periglacial registrada por diamictito (Caputo & Lima, 1984). Ocorrem também arenito fino a médio associado a arenito grosso, depositados em paleoambiente fluvial estuarino também com influência periglacial, segundo Fortes (1990).

A Formação Longá (Albuquerque & Dequech, 1946) é composta por siltito cinza médio e arenito fino branco e argiloso, depositados em paleoambiente nerítico plataformal dominado por tempestade, durante o Fameniano (Neodevoniano).

A Formação Poti (Paiva, 1937) é formada por arenito cinza-esbranquiçado, com intercalações e interlaminações de pelito, depositados em sistemas deltáico e de planície de maré, eventualmente com influência de tempestades, durante o Tournaisiano (Eocarbonífero).

2.3.3 GRUPO BALSAS

O Grupo Balsas, formado pelas formações Piauí, Pedra de Fogo, Motuca e Sambaíba, está em contato discordante sobre o Grupo Canindé.

A Formação Piauí (Small, 1914) é constituída basicamente por arenito fino à médio, cinza-esbranquiçado, eventualmente conglomerático, e folhelho vermelho, depositados em paleoambiente continental litorâneo, sob clima árido durante o Estefaniano.

A Formação Pedra de Fogo (Plummer, 1946) é caracterizada pela presença de sílex e calcário oolítico e pisolítico creme a branco e estromatólitos, intercalado com arenito fino e médio amarelado, folhelho cinza, e ainda anidrita branca, depositados em um contexto marinho raso a litorâneo, em planícies de sabkha, e eventual influência de tempestade, durante o Eopermiano.

A Formação Motuca (Plummer, 1946) é formada por siltitos avermelhados a marrom, arenito branco fino a médio, anidrita branca e raramente calcários, a sedimentação desta formação é interpretada como proveniente de sistemas lacustres, de idade Neopermiano (Kazaniano/Tatariano).

A Formação Sambaíba é composta por arenito róseo a amarelo, bem selecionado e com estratificações cruzadas de grande porte caracterizando um sistema eólico em paleoambiente desértico, de idade Eotriássico.

2.3.4 GRUPO MEARIM

O Grupo Mearim é formado pelas formações Patos Bons e Corda, que ocorrem sobrepostas em discordância ao Grupo Balsas e sobre as rochas vulcânicas da Formação Mosquito.

A Formação Pastos Bons (Lisboa, 1914) é formada por siltitos e pelitos verde a castanho avermelhado e a Formação Corda, por arenito cinza esbranquiçado e avermelhado e raros níveis de sílex. Ambas as formações foram depositadas em um paleoambiente flúvio lacustre, eventualmente com reelaboração por processos eólicos, durante o Neojurássico.

2.3.5 FORMAÇÕES GRAJAÚ, CODÓ E ITAPECURU

O intervalo formacional Grajaú–Codó–Itapecuru ocorre na porção norte da bacia, no extremo noroeste do arco Ferrer Urbano-Santos e está acomodado discordantemente sobre as unidades triássicas jurássicas, e paleozóicas, bem como sobre rochas pré-cambrianas.

A Formação Grajaú é composta por arenito esbranquiçado fino a conglomerático que ocorre interdigitado aos folhelhos betuminosos, calcários e anidritas da Formação Codó, cuja origem relaciona-se a um paleoambiente marinho restrito. Os arenitos da Formação Grajaú são de origem litorânea. Ambas formações são de idade Aptiano (Eocretáceo)

A Formação Itapecuru é constituída por arenito avermelhado médio a grosso e argilito castanho avermelhado, relacionados a um paleoambiente fluvio lacustre, em regime climático árido, durante o Albiano, no Eocretáceo (Góes & Feijó, 1994). Esta formação, objeto de estudo, será tratada em mais detalhe adiante.

2.4 Tectônica e Sedimentação

A bacia do Parnaíba tem o seu preenchimento sedimentar composto de cinco seqüências deposicionais, que podem ser correlacionadas a ciclos tectônicos de caráter global.

A sedimentação pré-ordoviciano, que corresponde às formações Riachão e Mirador, foi depositada dentro de grábens formados pelos pulsos termiais do Ciclo Brasileiro. Estes grábens têm a ocorrência e a distribuição controlados pelos lineamentos Transbrasiliano (SO-NE) e Picos – Santa Inês (NO-SE) (Figura 4), que também controlam os depocentros das seqüências siluriana e devoniana.

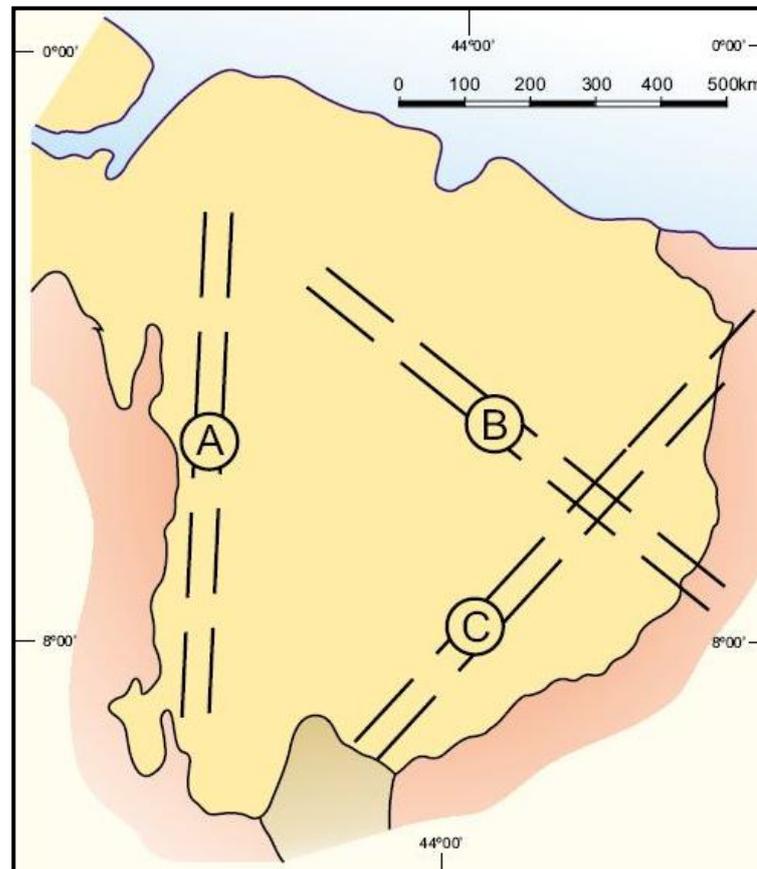


Figura 4: Estruturas do ciclo Brasileiro que compartimentam o Paleozóico. (A) Lineamento Tocantins–Araguaia. (B) lineamento Pico – Santa Inês, (C) lineamento Transbrasiliano (Fortes, 1978).

2.4.1 SEQÜÊNCIA SILURIANA

Esta seqüência corresponde ao Grupo Serra Grande. O início da sedimentação ocorreu como resultado de um grande sistema de falhas associadas à contração térmica ocorrida no final do ciclo Brasileiro, ao término da

sedimentação são atribuídos reflexos da Orogenia Caledoniana, que gerou uma discordância regional.

A seqüência Siluriana marca um ciclo transgressivo–regressivo completo, registrando a primeira ingressão marinha na bacia do Parnaíba (Góes & Feijó, 1994).

2.4.2 SEQÜÊNCIA DEVONIANA

Esta seqüência corresponde ao Grupo Canindé. Uma hipótese para a retomada da sedimentação nesse período é que o peso de carga de sedimentos preexistentes tenha causado um aumento progressivo da rigidez flexural, causando subsidência e expansão da bacia (Góes & Feijó, 1994). Outra hipótese é que uma grande depressão tenha se formado no Ordoviciano por conta de uma subsidência termal, permitindo que a seqüência Siluriana se instale sobre ela (Góes *et al.* 1990). O término da sedimentação é atribuído aos movimentos iniciais precursores da agregação do supercontinente Pangea (Eocarbonífero), ligado à orogenia Eo-herciniana (Góes & Feijó, 1994).

Nesta seqüência ocorre novamente um ciclo transgressivo–regressivo, que representa a maior e mais significativa ingressão marinha na bacia do Parnaíba.

2.4.3 SEQÜÊNCIA CARBONÍFERO –TRIÁSSICA

Esta seqüência equivale ao Grupo Balsas, e marca grandes mudanças em termos tectônicos e ambientais.

No Carbonífero, os movimentos precursores da agregação do supercontinente Pangea, ligados à orogenia Eo-herciniana, tiveram como um dos reflexos o arqueamento do alto do Parnaíba, que deslocou o depocentro da bacia para noroeste. No Permiano, a antéclise Tocantins–Araguaia e o arco de Tocantins se elevaram, encerrando as comunicações entre as bacias Amazonas e Parnaíba. Até o Triássico, o depocentro foi deslocado novamente, desta vez, para o centro da bacia, finalizando o ciclo de sedimentação com as formações Motuca e Sambaíba (Santos, 1998). O fim da sedimentação está relacionado com um soerguimento generalizado resultante da orogenia Gondwanide (Zalán, 1991).

Em termos ambientais os mares abertos, com ampla circulação e clima temperado, deram lugar a mares com circulação restrita e clima quente e árido. Esta mudança se deu devido à formação do Pangea (Neocarbonífero), fazendo com que as massas de ar frio e úmido vindas do mar não conseguissem circular por toda a extensão do supercontinente. Esta mudança climática foi responsável pela deposição de evaporitos e pela implantação de desertos no início e no fim desse ciclo de sedimentação. Tal fato pode ser observado não só na bacia do Parnaíba, mas também nas bacias do Paraná, Amazonas e Solimões e em outras que também registraram, em sua estratigrafia, este evento global climático.

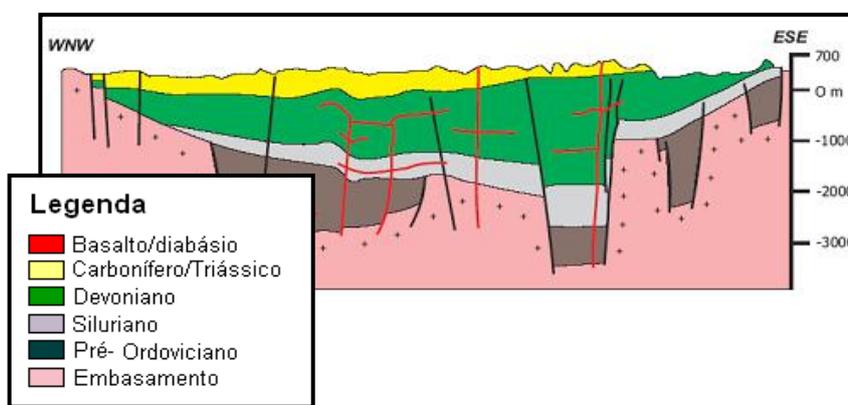


Figura 5: Seção geológica esquemática das seqüências S, D e C-T da bacia do Parnaíba (ANP, 2000), mostrando efeitos tectônicos sobre sua arquitetura.

2.4.4 SEQÜÊNCIA JURÁSSICA

Esta seqüência tem uma distribuição reduzida, assim como sua espessura, que não chega 110 m, corresponde ao Grupo Mearim. A retomada da sedimentação é atribuída ao peso de carga de rochas vulcânicas (Formação Mosquito), resultantes do magmatismo básico ocorrido no Eojurássico (Góes & Feijó, 1994).

2.4.4 SEQÜÊNCIA CRETÁCEA

Esta seqüência corresponde às formações Grajaú, Codó e Itapecuru, está situada entre a antéclise Xambioá–Alto Parnaíba e o arco Ferrer Urbano–Santos (Figura 6) e é incluída por alguns autores na bacia do Grajaú (Rossetti, 2001).

O retorno da sedimentação na bacia está ligado à subsidência resultante de esforços de ruptura da margem equatorial, no Neocomiano (Santos, 1998). O modelo de arcabouço estrutural da “bacia do Grajaú” proposto por Azevedo (1991)

envolve cisalhamento simples com zona de deslocamento basal para o sistema de Grábens do Gurupi, combinado com cisalhamento puro que resultou na formação de bacia tipo *sag* (Figura 7). Contrariamente às posições anteriores, Góes & Rosseti (2001) acreditam que o arco Ferrer–Urbano–Santos tenha soerguido em um tempo anterior ao Cretáceo e sofrido reativações tectônicas durante o eo/mesoalbiano, sendo então falhado em função de esforços distensivos que levaram ao desenvolvimento do sistema de Gráben do Gurupi. Este é, na verdade, um rifte abortado; ou seja, a “bacia do Grajaú” seria uma bacia tipo rifte e não uma bacia tipo *sag* como proposto anteriormente. Ainda nesse trabalho, Góes & Rossetti (2001) constatam que o arco Ferrer–Urbano Santos não representou uma barreira geográfica significativa na restrição da sedimentação, levando então à proposição do nome “São Luís–Grajaú” para a bacia, uma vez que ambas possuem o mesmo arcabouço estrutural e história evolutiva intimamente relacionada.

A seqüência é caracterizada por uma transgressão, seguida da retirada do mar, permitindo a implantação de um ambiente continental, que encerra assim este ciclo sedimentar.

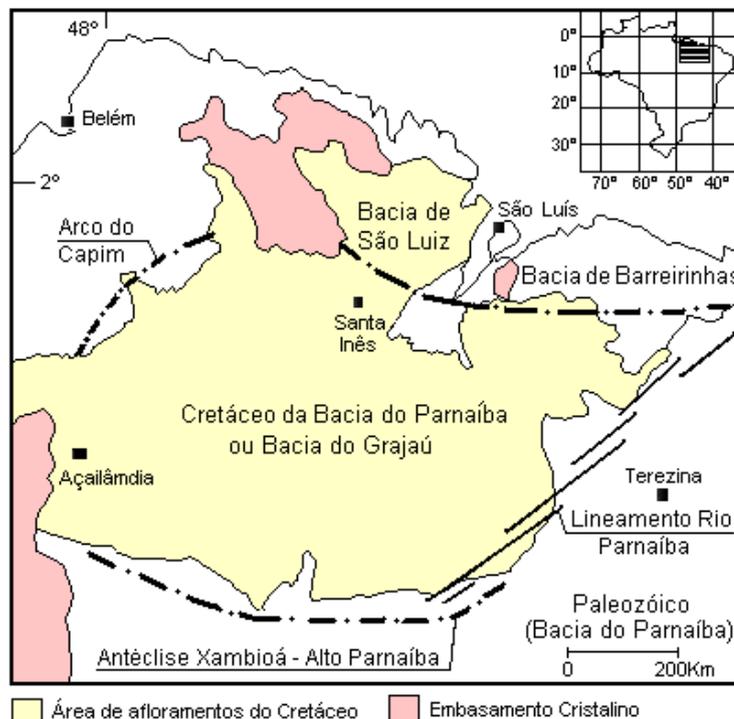


Figura 6: Limites da “Bacia do Grajaú”, ou limites dos sedimentos da seqüência cretácea da bacia do Parnaíba (Modificado Rosseti et al., 2001).

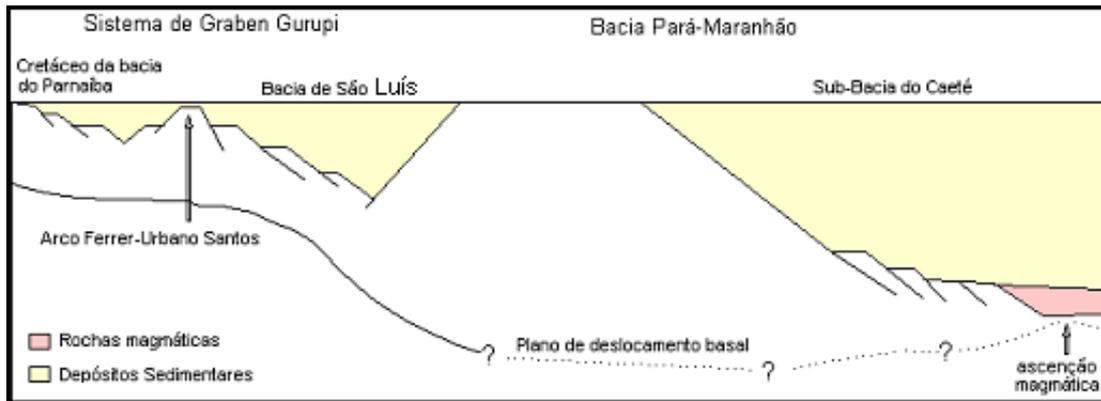


Figura 7: Modelo tectônico esquemático envolvendo cisalhamento simples com zona de deslocamento basal que estende-se para norte, atingindo zonas mais profundas e causando ascensão magmática na área correspondente a sub-bacia do Caeté, onde se processou a ruptura continental (Góes & Rosseti, 2001).

2.5 Eventos magmáticos na bacia do Parnaíba

Foram reconhecidos pelo menos três pulsos magmáticos principais, todos relacionados ao processo de distensão na abertura do oceano Atlântico. Em termos práticos, foram individualizados em duas unidades litoestratigráficas, ambas extrusivas.

A primeira unidade é a Formação Mosquito (Aguiar, 1969) de idade Juro-Triássica, posicionada entre os grupos Balsas e Mearim. É composta por basalto preto, amigdaloidal, toleítico, eventualmente intercalado arenito vermelho com leitos de sílex.

A segunda, Formação Sardinha (Aguiar, 1969), sobreposta ao Grupo Mearim e sotoposta a seqüência cretácea, com idade Eocretácea, é formada por basalto preto, amigdaloidal.

Quanto aos diabásios presentes na bacia, não estão agrupados em nenhuma unidade formal, por não ocuparem posição estratigráfica definida, apesar de estarem preferencialmente intrudidos no Grupo Canindé (Góes & Feijó, 1994).

O efeito das intrusões ígneas sobre rochas com conteúdo de matéria orgânica e sobre camadas de carvão vem sendo estudado com interesse pela Geoquímica, pelo fato de a bacia não ter, durante sua evolução, atingido a temperatura de maturação necessária a geração de petróleo. Assim, essas intrusões ígneas podem ter, mesmo que localmente, fornecido temperatura necessária para a geração.

2.6 Geologia do Petróleo

2.6.1 HISTÓRICO DE ATIVIDADES EXPLORATÓRIAS

Os primeiros esforços direcionados a exploração de hidrocarbonetos, segundo Góes *et al.* (1990), foram realizados pelo Conselho Nacional de Petróleo (CNP) na década de 1950, foram feitos levantamentos geológicos de superfície e a perfuração de dois poços. Novas campanhas exploratórias se iniciaram com a criação da Petrobrás, em 1953, resultando em dados com o mapeamento geológico, interpretação fotogeológica, levantamentos geofísicos, aeromagnetometria e a perfuração de 26 poços, que apresentaram indícios de óleo e gás (Young, 2003)

Através da política de contratos de risco, a ESSO e a ANSCHUTZ, na década de 1980, iniciaram uma campanha de prospecção de petróleo na bacia, quando foram realizados levantamentos sísmicos, aeromagnetometria, sensoriamento remoto e a perfuração de um poço na região do arco Ferrer Urbano–Santos. Então, novamente a Petrobrás executou a perfuração de mais dois poços com a finalidade de adquirir dados geoquímicos.

Uma nova campanha exploratória teve início em 1988, por iniciativa da Petrobras, na qual foi feita uma reinterpretação dos dados já disponíveis, juntamente com novos levantamentos de dados geofísicos, geoquímicos e sensoriamento remoto. Os resultados foram expostos em relatório interno e confidencial dessa empresa.

Como resultado final (BDEP, 2002) das campanhas exploratórias, foram perfurados 41 poços e levantadas 125 linhas sísmicas 2D, além de dados magnetométricos e gravimétricos (Figura 8)

Em julho de 2002, na IV Rodada de Licitações a ANP ofereceu um bloco exploratório na bacia do Parnaíba, não havendo interesse por parte das companhias nacionais e estrangeiras devido à insuficiência de dados para uma precisa avaliação do seu potencial petrolífero.

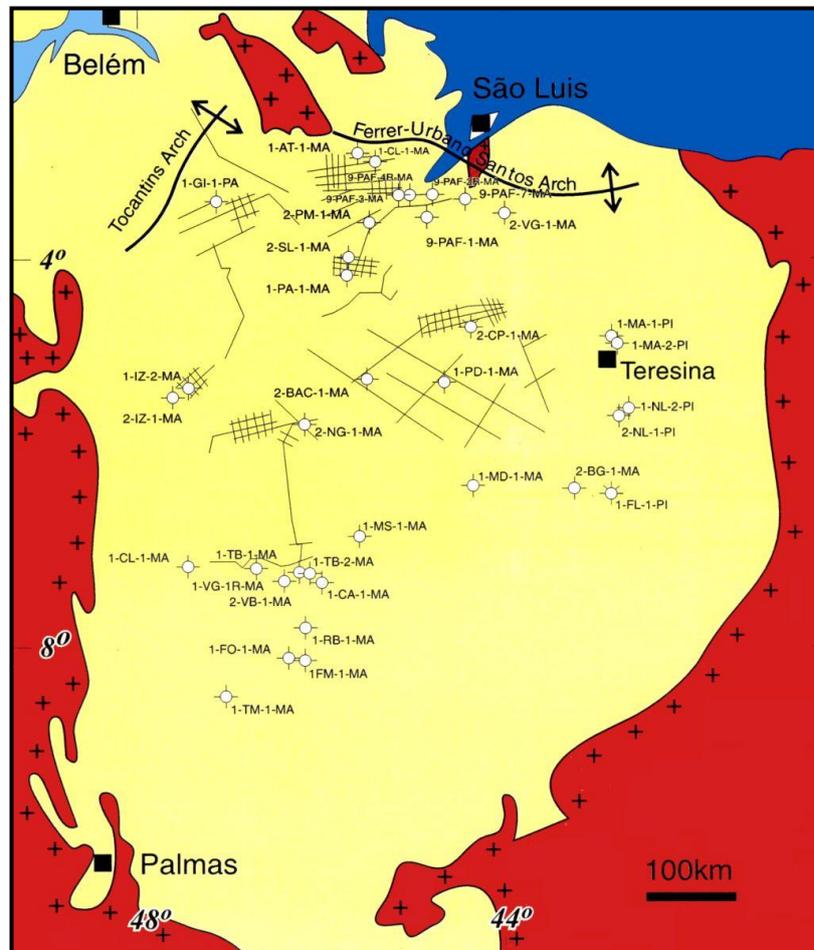


Figura 8: Mapa índice da malha de levantamento sísmico e poços exploratórios da bacia do Parnaíba (Milani & Zalán, 1998).

2.6.2 SISTEMAS PETROLÍFEROS

O sistema Pimenteira–Cabeças(!) é apontado por Góes *et al.* (1993 *apud* Milani & Zalán, 1998) como o principal sistema petrolífero da bacia, onde a geração de hidrocarbonetos se dá nos folhelhos plataformais da Formação Pimenteira, e os reservatórios são os arenitos deltáicos da Formação Cabeças, cujo principal traqueamento é de origem estrutural.

Rodrigues (1995) associou os melhores indícios de óleo e gás aos folhelhos geradores da Formação Pimenteira devido às suas características geoquímicas, os quais teriam sofrido o efeito térmico de intrusões de diabásio, vista sua elevada maturação, incompatível com a evolução térmica da bacia.

Especula-se a existência de mais três sistemas petrolíferos na bacia: o sistema Tianguá–Ipú(?), onde a geração de hidrocarbonetos se daria nos folhelhos marinhos da Formação Tianguá e os reservatórios seriam os arenitos e conglomerados fluviais da Formação Ipú; o sistema Tianguá–Jaicós (?), onde a geração de

hidrocarbonetos também se daria nos folhelhos da Formação Tianguá e os reservatórios seriam os arenitos e conglomerados também fluviais da Formação Jaicós; e por fim, o sistema Codó–Itapecuru(?), onde a geração de hidrocarbonetos se daria nos folhelhos lacustres da Formação Codó e os reservatórios seriam os arenitos fluviais da Formação Itapecuru.

Entretanto, de forma curiosa, foram encontrados indícios de óleo e gás em situações diferentes das citadas anteriormente: uma acumulação (subcomercial) encontrava-se embaixo de uma soleira de diabásio dentro da Formação Pimenteira (Milani & Zalán, 1998).

2.7 O Carvão na bacia do Parnaíba

O DNPM, em convênio com a CPRM, executou o “Projeto Carvão na bacia do Parnaíba”. As unidades litoestratigráficas consideradas favoráveis a ocorrência de carvão foram Longá, Poti, Piauí e Pedra de Fogo. O projeto foi executado em três etapas; a primeira foi realizada em 1973 e, a segunda e a terceira em 1975. Como resultado final do projeto, foi elaborado um mapa geológico na escala de 1:100.000 de uma área ao sul do Estado do Piauí, obtendo-se um total de 37 poços furados, abrangendo o flanco Leste da bacia do Parnaíba, nos estados do Maranhão e Piauí. Estes poços atravessaram rochas do Devoniano (Formação Cabeças), Carbonífero Inferior (formações Longa e Potí), Carbonífero Superior (Formação Piauí), Permiano (formações Pedra de Fogo e Motuca) e Cretáceo (formações Codó e Itapecuru).

Assim, foi constatado que a Formação Poti não mostra leitos de carvão economicamente exploráveis, mas não se pode descartá-la considerando as dimensões da bacia; e que a Formação Codó, que não era um dos focos do projeto, apresentou-se economicamente interessante, tanto para sulfetos e fosfatos, quanto para carvão.

3 FORMAÇÃO ITAPECURU

3.1 Histórico

O primeiro registro sobre a formação é de Lisboa (1914), que denominou de “Camadas Itapecuru” os arenitos aflorantes nos vales dos rios Itapecuru e Alpercatas, situados acima das “Camadas Pastos Bons” (MA). Campbell (1949) aplicou o nome de Formação Itapecuru para arenitos vermelhos a cinza, com siltitos e folhelhos intercalados que recobriam em concordância a Formação Codó.

Desde então os arenitos do Cretáceo Superior da bacia do Parnaíba, que recobrem extensas áreas dos estados do Maranhão e Piauí e a parte do nordeste do estado do Pará, chegando a 600 m de espessura, e que se encontram estratigraficamente posicionadas entre a Formação Codó e os arenitos do Terciário, têm sido incluídos na Formação Itapecuru.

Esta unidade litoestratigráfica abrange um conjunto de rochas clásticas (arenitos finos e conglomeráticos, siltitos, folhelhos e argilitos). Em geral apresentam coloração avermelhada e possuem uma ampla variedade de estruturas sedimentares denotando gêneses em diferentes contextos ambientais (Carvalho & Gonçalves, 1992). Depósitos litologicamente e estratigraficamente correlatos a estes são reconhecidos na bacia de São Luís, sendo também chamados de Formação Itapecuru. Já na bacia de Barreirinhas, esta formação é correlata ao Grupo Canárias.

Efetando estudos detalhados em afloramentos na região de Alcântara (MA), bacia de São Luís, Rossetti & Truckenbrodt (1996a,b,1997a) individualizaram três intervalos distintos na “Formação Itapecuru”, o que permitiu elevá-la à categoria de grupo. O Grupo Itapecuru é composto por uma “Unidade Indiferenciada” (Eo/Mesoalbiano) e pelas formações Alcântara (neoalbiano–Cenomaniano) e Cujupe (Cretáceo Superior – Terciário Inferior).

A Formação Alcântara consiste de arenitos, argilitos e calcários formados por processos de tempestades de grande intensidade e, subordinadamente, correntes de maré, em ambientes de *shoreface* médio a superior, *foreshore*, canal de maré e laguna/*washover* (Rossetti 1997) e apresentam horizontes com estruturas deformacionais como pilar, dobras convolutas, falhas e fraturas, entre outras; que são interpretadas por Rossetti (1999), como indícios de atividade sísmica.

A Formação Cujupe inclui arenitos originalmente arcoseanos interdigitados a argilitos, originados por processos de maré em sistemas de vales estuarinos complexos, cuja evolução processou-se durante os tratos de sistema de mar transgressivo e alto. Também apresentam horizontes com estruturas deformacionais que consistem em *slumps*, falhas de pequeno rejeito e mais raramente dobramentos convolutos (Rossetti e Truckenbrodt, 1997).

Recentemente, a partir da análise de perfis de raios-gama referentes a onze poços da Petrobrás, combinada com dados fácios e estratigráficos em afloramentos distribuídos em vários setores da bacia de São Luís–Grajaú, Rossetti (2001) reconheceu três sucessões deposicionais que foram interpretadas como seqüências deposicionais, denominadas informalmente de S1, S2 e S3. A seqüência deposicional S3 ainda pode ser descrita em seis “unidades cíclicas” superpostas (S3a-S3f) (Figura 9).

| | | Estratigrafia | | | |
|----------|-------------------------------|------------------|---------------------------------|-------------------------|--------------------|
| Idade | | Rossetti 2001 | Rossetti e Truckenbrodt 1997 | | |
| CRETÁCEO | Cenomaniano Maastrichtiano | S3 | f | GRUPO ITAPECURU | Formação Cujupe |
| | | | e | | Formação Alcântara |
| | d | | Unidade Indiferenciada | | |
| | c | | | | |
| | b | | | | |
| | a | | | | |
| | Albiano Meso Eo | S2 | | | |
| | | Aptiano | S1 | Formações Codó e Grajaú | |

Figura 9: Síntese das seqüências deposicionais (S1, S2 e S3) e das unidades cíclicas (S3a, S3b, S3c, S3d, S3e e S3f) propostas por Rossetti, (2001) para bacia de São Luís-Grajaú e sua correlação com unidades geológicas formalizadas anteriormente por Rossetti & Truckenbrodt, (1997) apud (Rossetti, 2001).

3.2 Sedimentação e paleoambiente

3.2.1 NA REGIÃO DE ITAPECURU MIRIM

Gonçalves & Carvalho (1996), através do levantamento de quatro perfis sedimentológicos representativos de afloramentos localizados nas margens do rio Itapecuru no Estado do Maranhão, puderam identificar três principais litofácies.

A litofácies 1 são argilitos vermelhos bioturbados; a litofácies 2 são siltitos vermelhos finamente laminados e com níveis fluidificados; e a litofácies 3 são arenitos finos a médios com estratificação cruzada de baixo ângulo, marcas onduladas cavalgante e marcas de sobrecarga na base.

O padrão da distribuição vertical das três litofácies define um grande ciclo de granocrescência ascendente, onde os arenitos passaram a predominar sobre os siltitos e argilitos resultado do processo de assoreamento localizado da bacia, interpretado, por esses autores, como produto de uma progradação flúvio-deltáica em condições lacustres.

3.2.2 NA REGIÃO DE SANTA INÊS

Cunha & Del'Arco (1988) com base em fotografias aéreas, afloramentos e dados de paleocorrente identificaram duas litofácies na região de Santa Inês (MA). A "litofácies argilo-arenosa" é constituída por arenitos, siltitos, folhelhos e argilitos, com estratificação cruzada acanalada de pequeno, médio e grande porte, laminação convoluta, estratificação ondulante, estrutura de sobrecarga e bioturbações. A "litofácies areno-argilosa" é constituída por arenitos com intercalação e/ou lentes de siltitos, argilitos (ou folhelhos) e conglomerados.

A interpretação de Cunha & Del'Arco (1988) foi de um paleoambiente fluvial, onde durante a deposição da litofácies argilo-arenosa a paleodrenagem fluía no sentido geral para WNW e durante a deposição da litofácies areno-argilosa o sistema fluvial fluía aproximadamente para Leste.

3.2.3 NA REGIÃO LESTE DA BACIA DO GRAJAÚ

Dias-Lima & Rosseti, (2001) com base em afloramentos expostos na região Centro-Leste da bacia, no estado do Maranhão, reconheceram arenitos arcoseanos e pelitos laminados cinza mosqueados, nos quais foram diferenciados três associações de fácies atribuídas aos ambientes de barra de desembocadura, prodelta/barra distal e canal distributário (Anexo1, Quadro A.1)

Os depósitos aflorantes da área de estudo são atribuídos por Dias Lima & Rosseti (2001) a um sistema deltáico e correlacionados com depósitos também atribuídos a deltas a noroeste do Maranhão (Dias Lima & Rosseti, 2001). Em ambos os casos, o topo desses estratos é limitado por superfície de descontinuidade, marcado por espesso solo laterítico. Esta superfície discordante foi chamada de D2 por Dias Lima & Rosseti (2000). Uma outra superfície discordante (D1) foi reconhecida, também por estes autores, com caráter regional, pela presença localizada de paleossolo e seixos de quartzo. Esta superfície de conotação estratigráfica significativa foi associada possivelmente um limite de seqüência de alta frequência.

3.2.4 FORMAÇÃO ITAPECURU NA REGIÃO DE AÇAILÂNDIA

Anaisse *et al.* (2001), com base em estudos de afloramentos na região de Açailândia (MA), descreveu onze litofácies, e as agrupou em quatro associações, que são: depósitos litorâneos (Anexo 1, Quadro A.2), de canal de maré (Anexo 1, Quadro A.3), de laguna (Anexo 1, Quadro A.4) e fluvial (Anexo 1, Quadro A.5).

De acordo com Anaisse *et al.* (2001), as sucessões faciológicas mostram tendência transgressiva com arenitos grossos de origem fluvial na base, interdigitados com pelitos/arenitos de origem lagunar, que são sobrepostos por arenitos médios a finos de canal de maré; estes passam finalmente para arenitos finos de origem litorânea, integrando um sistema estuarino-lagunar que episodicamente foi atingido por ondas de tempestade.

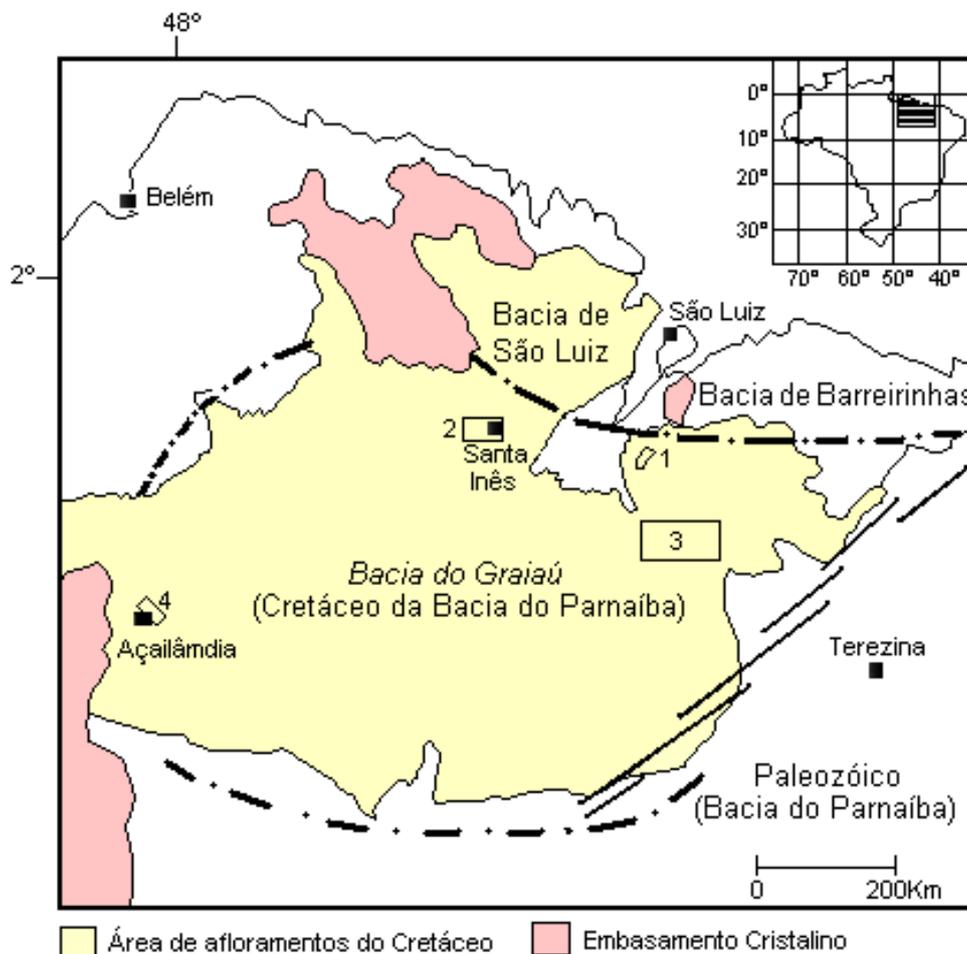


Figura 10: Mapa da Bacia do Grajaú (Cretáceo da Bacia do Parnaíba), com a localização das regiões estudadas citadas no item 3.2. (1) Região de Itapecuru-Mirim. (2) Região de Santa Inês. (3) Região Leste da Bacia. (4) Região de Açailândia (Mod. Dias Lima & Rossetti, 2001).

3.3 Fósseis e idade

No projeto Carvão (DNPM/CPRM, 1975), amostras palinológicas do contato Codó/Itapecuru, mostraram a localização dentro dos intervalos bioestratigráficos PC-20 / PC-30 (Albiano/Aptiano) de Regali *et al.* (1974). A idade Albiana, assim é admitida tentativamente para toda a Formação Itapecuru.

A Formação Itapecuru foi subdividida informalmente por Aranha *et al.* (1990) em Formação Itapecuru inferior de idade eo/mesoalbiano e origem fluvio deltáica, e Formação Itapecuru superior, de idade atribuída ao neoalbiano–Cenomaniano.

A idade Albiano, para a Formação Itapecuru na bacia do Parnaíba, atribuída a Ferreira & Cassab (1987), foi confirmada por Pedrão *et al.*, (1993, 1994) com estudos de palinologia na região de Itapecuru-Mirim,. São freqüentes o gênero *Classopolis* e a espécie *Afropollis jardinus* que, integrados com a abundância de

palinómorfos dos gêneros *Equisetosporites*, *Gnetaceaepollenites* e *Steevesipollenites* indicam uma flora tropical de clima quente e árido (Lima, 1978).

Pedrão (1994) registrou para as seções de poços correspondentes à Formação Itapecuru nas bacias de Bragança–Viseu e São Luís cinco unidades bioestratigráficas: (1) O intervalo palinológico SL1 (Aptiano superior ao Albiano inferior/médio); biozonas (2) *Pentapsis Valdiviae* (Albiano inferior/médio), (3) *Steevesipollenites alatiformis* (Albiano inferior/médio), (4) *Classopollis echinatus* (Albiano superior) e (5) *Elateropollenites protensus* (Albiano superior). Foi identificada ainda a biozona *Psilatricolpites papilioniformis* (Cenomaniano inferior) em amostras de superfície.

Níveis fossilíferos podem ser acompanhados ao longo das margens do rio Itapecuru, contendo dentes e placas dentárias de peixes picnodontídeos (Carvalho, 1997), moluscos bivalvíos de água doce dos gêneros *Anodonta* e *Castalia*, em associação a conchostráceos (Ferreira, *et al.*, 1995), possíveis fragmentos de ovos de dinossauros (Vicalvi *et al.*, 1993), ostracodes e carófitas (Vicalvi *et al.*, 1996). Ocorrem ainda dentes de dinossauros carnívoros e ossadas de dinossauros (Ferreira *et al.*, 1991).

Na região de Itapecuru Mirim, ainda nas margens do rio Itapecuru, foram descritos pequenos dentes referidos a um novo gênero denominado *Candidodon itapecuruense* por Carvalho & Campos (1988), que Carvalho (1994a) situou nos crocodilídeos Notosuchia.

4 ANÁLISE FACIOLÓGICA

4.1 Fácies

No intervalo estudado foram reconhecidas nove litofácies (duas lamosas, seis arenosas e uma cascalhosa) que se encontram sintetizadas no Quadro 1. No decorrer do texto, as litofácies serão citadas apenas como fácies.

Para a diagnose das fácies foram utilizadas características litológicas, de estrutura sedimentar e icnológicas; os outros aspectos distintivos de fácies, foram utilizados para a descrição das mesmas.

A análise de lâminas petrográficas foi feita de forma a auxiliar a descrição das litofácies.

Quadro 1: Resumo das fácies utilizadas no presente trabalho. Em cinza, as fácies lamosas; em amarelo as fácies arenosas e em laranja a fácies cascalhosa. Os códigos que se encontram entre parênteses são referentes as fácies fluviais de Miall (1996), que em muito se assemelham às descritas.

| Litofácies | Diagnose | Processos |
|-----------------------|---|--|
| L1 (Fm, Fr) | Argilito vermelho bioturbado | Decantação de partículas; paleoambiente oxidante |
| L2 (Fm, Fr) | Siltito vermelho bioturbado | Decantação de partículas em suspensão e tração e/ou desaceleração de fluxo; paleoambiente oxidante |
| A1 (Sr) | Arenito com laminação cruzada cavalgante | Desaceleração de corrente trativa subaquosa (tração e decantação), em regime de fluxo inferior; migração de ondulações. |
| A2 (Sr) | Arenito com laminação cruzada | Corrente trativa subaquosa em regime de fluxo inferior; migração de ondulações. |
| A3 | Arenito bioturbado | Ação biogênica (raízes vegetais, invertebrados e ?vertebrados continentais). |
| A4 | Arenito muito fino com laminação convoluta | Deformação plástica por fluidização decorrentes de causas variadas (bioturbação, sismos?, escape de água por peso de carga). |
| A5 (Sh) | Arenito com laminação-plano paralela | Corrente subaquosa em regime de fluxo superior; migração de leito-plano |
| A6 (St, Sp) | arenito com estratificação cruzada de médio porte | Corrente subaquosa de alta energia tracionando carga-de-fundo. |
| C (Gh) | Conglomerado | Corrente subaquosa de alta energia tracionando carga-de-fundo; lag basal e megaondulações. |

4.2.1 FÁCIES L1

Fácies Fr e Fm: Miall (1996)

Litofácies 1 (L1) : Gonçalves & Carvalho (1996)

Fácies PI, *pro parte*: Anaisse *et al.* (2001)

Diagnose. – Argilito vermelho bioturbado (Estampa I).

Discussão – São argilitos ou argilitos sílticos de cor avermelhada (em geral 10R 5/4), mosqueados, apresentando na grande maioria das vezes, nível 5 de icnotrama (q.v. Droser & Bottjer, 1989); apresentam comumente vênulas, concreções e níveis calcíferos e marcas de raízes. Ocorre freqüentemente ao longo dos poços 1-UN-24-PI (27,7%), 1-UN-32-PI (21,9%) e 1-UN-25-PI (20,7%). Neste último chega a compor um pacote de 9 m de espessura (profundidades 145 m a 154 m); já no poço 1-UN-30-PI é apenas comum (7,72%). Esta fácies é semelhante às fácies Fm e Fr de Miall (1996).

Interpretação – A deposição desta fácies foi resultado de processos de decantação de partículas em suspensão.

A cor avermelhada é indicativa de um paleoambiente oxidante.

A presença de raízes é indicativa de exposição subaérea, enquanto que a cimentação carbonática (vênulas, concreções e níveis de cimentação expressiva) está relacionada à processos eodiagenéticos, pedogenéticos (caliche?).

4.2.2 FÁCIES L2

Fácies Fr e Fm: Miall (1996)

Litofácies 2 (L2) : Gonçalves & Carvalho (1996)

Fácies PI, *pro parte*: Anaisse *et al.* (2001)

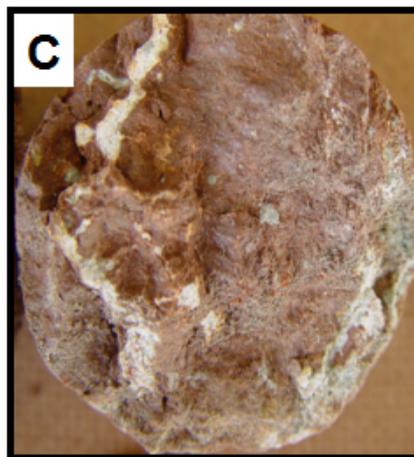
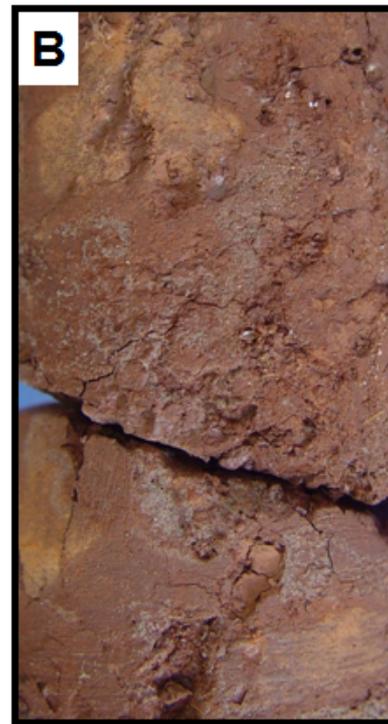
Diagnose – Siltito vermelho bioturbado (Estampa II).

ESTAMPA I

Figura A - Aspecto da fácies L1, exibindo estrutura mosqueada proveniente da intensa bioturbação. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 24,60 m.

Figura B - Aspecto da fácies L1, exibindo estrutura mosqueada proveniente da intensa bioturbação. Poço 1-UN-25-PI, profundidade 151,30 m.

Figura C - Aspecto da fácies L1, exibindo vênulas calcíferas. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 36,75 m.



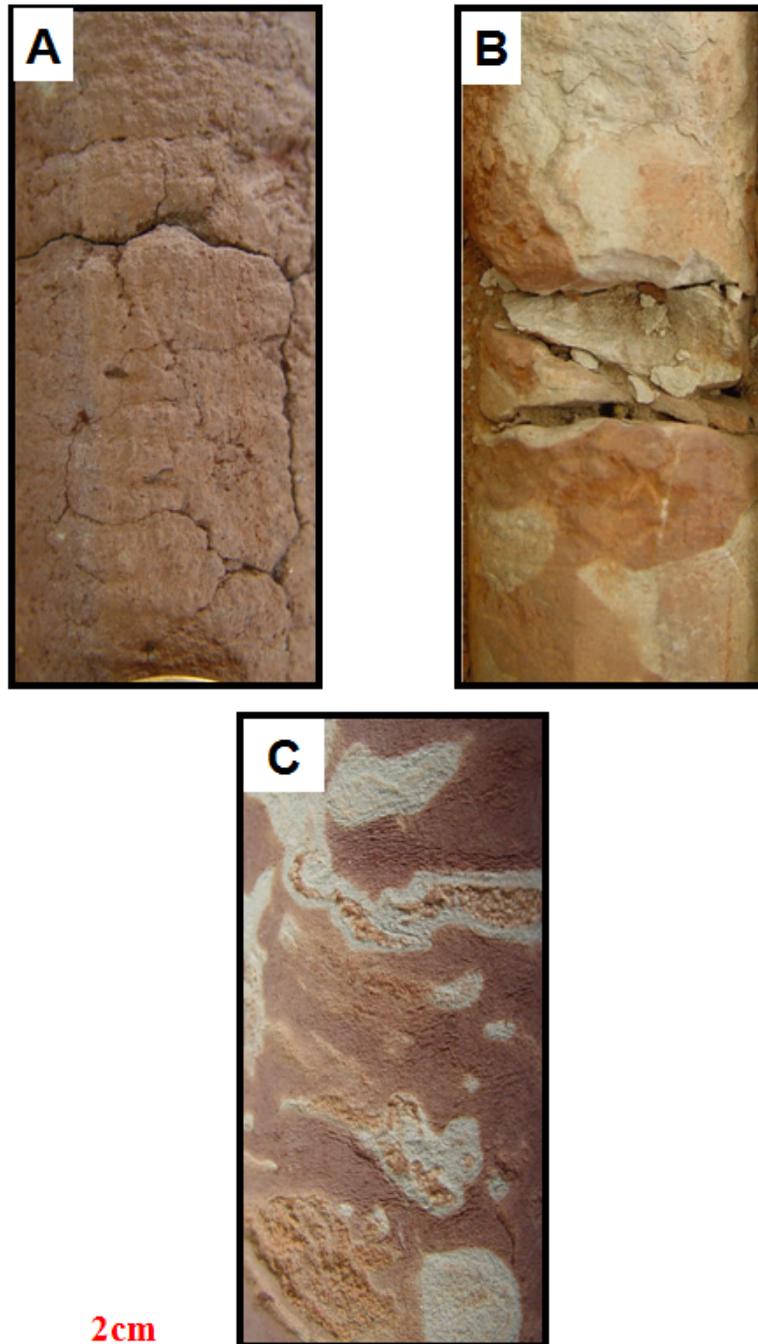
0 2cm

ESTAMPA II

Figura A - Aspecto da fácies L2 ,exibindo estrutura mosqueada proveniente da intensa bioturbação. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 74,00 m.

Figura B - Aspecto da fácies L2, exibindo níveis calcíferos. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 37,95 m.

Figura C - Aspecto da fácies L2, exibindo níveis calcíferos e marca de raízes. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 32,40 m.



Discussão – São siltitos arenosos e siltitos argilosos, de cor comumente avermelhada (10R 5/4), sendo que nas proximidades do contato com a Formação Codó ocorre uma tendência a cores menos avermelhadas, puxando para tons esverdeados e/ou cinza. Apresentam freqüentemente estrutura mosqueada (níveis 5 e 4 de icnotrama). Podem apresentar laminações cruzada cavalgante e plano-paralela e, ainda, níveis calcíferos, vênulas e concreções calcíferas, além de marcas de raízes. A fácies L2 ocorre com freqüência ao longo dos poços 1-UN-32-PI (25,9%), 1-UN-24-PI (24%). Neste último chega a compor um pacote de 4 m de espessura (profundidades 69,5 m a 73,5 m). É comum nos poços 1-UN-30-PI (8,7%) e 1-UN-25-PI (10,3%).

Interpretação – A deposição desta fácies foi resultado de processos de decantação de partículas em suspensão e desaceleração de fluxo trativo subaquoso, em regime de fluxo inferior, com migração cavalgante de ondulações assimétricas (corrente).

A cor avermelhada é indicativa de um paleoambiente oxidante.

Tal como na fácies L1, a presença de raízes é indicativa de exposição subaérea, enquanto que a cimentação carbonática (vênulas, concreções e níveis de cimentação expressiva) está relacionada à processos eodiagenéticos, pedogenéticos (caliche?).

4.2.3 FÁCIES A1

Fácies Sr: Miall (1996)

Litofácies 3 (L3): Gonçalves & Carvalho (1996)

Fácies A1, pro parte: Anaisse *et al.* (2001)

Diagnose – Arenito com laminação cruzada cavalgante (Estampa III).

Discussão – São arenitos finos a muito finos, de cores avermelhadas, com laminação cruzada cavalgante, mas podendo apresentar, bioturbações com icnotrama entre níveis 2 e 4 e níveis e concreção calcíferas. A fácies A1 ocorre raramente nos quatro poços descritos, com freqüência de 0,5% no poço 1-UN-24-PI,

1,4% no poço 1-UN-25-PI, 1,5% no poço 1-UN-30-PI e 1,7% no poço 1-UN-32-PI. Pode ser observada tipicamente no poço 1-UN-30-PI, no intervalo entre as profundidades 190 m e 190,7 m.

Interpretação – A deposição desta fácies foi resultado de desaceleração de corrente trativa suaquosa associada à decantação de partículas em suspensão, pela migração de ondulações assimétricas (corrente). Tal como nas fácies lamosas, a cor vermelha decorre do paleoambiente oxidante, enquanto que a presença de carbonatos, à pedogênese (eodiagênese). As bioturbações são atribuíveis à animais.

4.2.4 FÁCIES A2

Fácies Sr: Miall (1996)

Litofácies 3 (L3): Gonçalves & Carvalho (1996)

Fácies Al e Aq,: Anaisse *et al.* (2001)

Diagnose – Arenito com laminação cruzada (Estampa III).

Discussão – Arenitos muito finos, finos e raramente fino superior, de cor avermelhada (10R 5/4 a 10y 6/2); apresenta laminação cruzada e, eventualmente, estratificação cruzada de porte pequeno; seleção varia de boa a pobre; e pode apresentar níveis calcíferos e intraclastos argilosos, também calcíferos.

A fácies A2 ocorre raramente nos poços 1-UN-25-PI (0,7%), 1-UN-30-PI (4,3%) e com frequência no poço 1-UN-24-PI (12%). Pode ser observada tipicamente neste poço no intervalo entre as profundidades de 97,1 m e 99 m. Análises petrofísicas realizadas indicaram valores de permeabilidade variando de 161 mD a 363 mD (Quadro 2).

Interpretação – A deposição desta fácies foi resultado da ação de corrente subaquosa em regime de fluxo inferior pela migração de ondulações e megaondulações de pequeno porte simétricas. A cor vermelha decorre do paleoambiente oxidante.

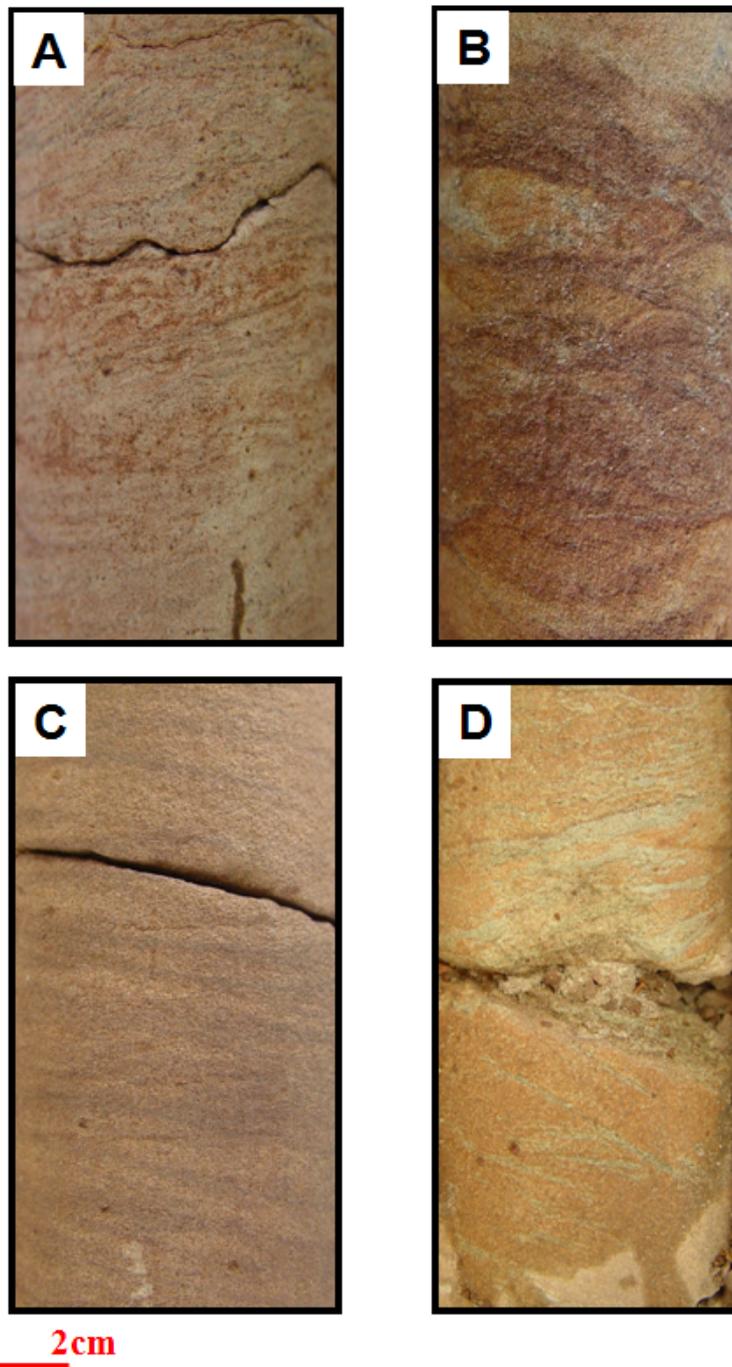
ESTAMPA III

Figura A - Aspecto da fácies A1, exibindo laminação cruzada cavalgante. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 20,75 m.

Figura B - Aspecto da fácies A1, exibindo laminação cruzada cavalgante. Poço 1-UN-30-PI, profundidade 192,10 m.

Figura C - Aspecto da fácies A2, exibindo estratificação cruzada de pequeno porte. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 48,95 m.

Figura D - Aspecto da fácies A2, exibindo estratificação cruzada de pequeno porte. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 98,80 m.



4.2.5 FÁCIES A3

Diagnose – Arenito bioturbado (Estampa IV).

Discussão – Arenitos finos e muito finos, com coloração avermelhada (10R 6/2); mosqueados, com icnotrama variando entre os níveis 5 e 3; podendo apresentar concreções calcíferas e intraclastos argilosos calcíferos ou não.

A fácies A3 ocorre raramente nos poços 1-UN-24-PI (3,4%) e 1-UN-30-PI (3,4%) e comumente no poço 1-UN-25-PI (7%). Pode ser observada tipicamente neste poço no intervalo entre as profundidades de 108,5 m e 110,2 m. Os resultados da análise petrofísica mostraram valores de permeabilidade variando entre 37,6 mD e 1,5 mD (Quadro 2). Era esperado que estes valores fossem muito baixos, levando-se em consideração que a bioturbação, que influi negativamente nas características permoporosas das rochas, uma vez que os organismos tendem a levar argilidade para camadas originalmente arenosas.

Interpretação – Não se pode precisar o processo físico (hidrodinâmico ou gravitacional) que permitiu a deposição desta fácies, devido a intensa bioturbação. Com isso, o que podemos dizer é que a estrutura mosqueada é proveniente da ação biogênica de vegetais e/ou animais. É interessante ressaltar que a ação de grandes vertebrados (dinossauros), comuns da fauna cretácea, são registradas em camadas da natureza dessa fácies (Carvalho, 1994b), além de invertebrados (e.g., bivalvíos).

4.2.6 FÁCIES A4

Diagnose – Arenito muito fino com laminação convoluta (Estampa IV).

Discussão – São arenitos muito finos, silticos, ou siltitos arenosos, de coloração avermelhada, com laminação convoluta e, por vezes, falhas sinsedimentares, laminações cruzadas. Esta fácies ocorre ao longo dos poços 1-UN-30-PI (0,6%) e 1-UN-32-PI (14,2%). Neste último, pode ser observada tipicamente no intervalo entre as profundidades 20 m e 23,5 m. A análise petrofísica (permeabilidade) foi feita em apenas uma amostra desta fácies, que apresentou um valor 4 mD (Quadro 2). Tal valor, muito baixo, é atribuído as laminações convolutas

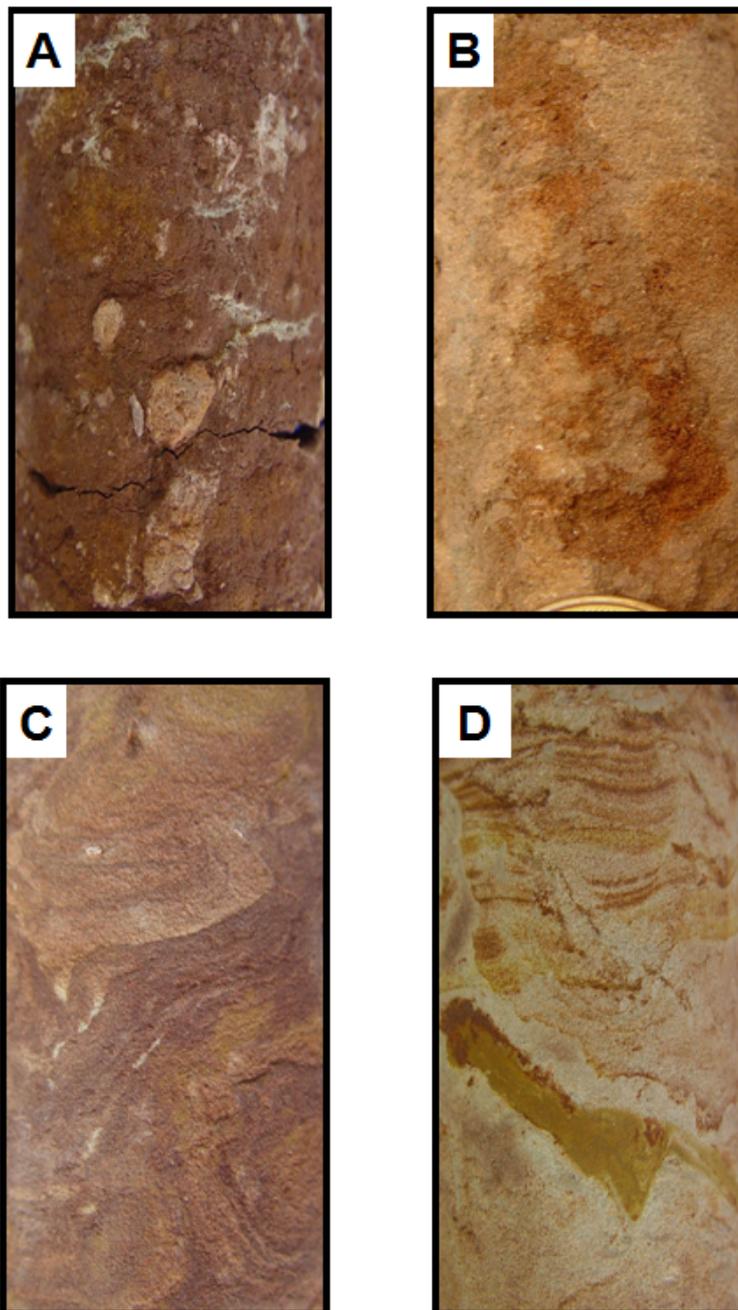
ESTAMPA IV

Figura A - Aspecto da fácies A3, exibindo estrutura mosqueada proveniente de intensa bioturbação, concreções e vênulas calcíferas. Poço 1-UN-25-PI, profundidade 190,14 m.

Figura B - Aspecto da fácies A3, exibindo estrutura mosqueada proveniente de intensa bioturbação. Poço 1-UN-25-PI, profundidade 82,60 m.

Figura C - Aspecto da fácies A4, exibindo laminação convoluta. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 48,90 m.

Figura D - Aspecto da fácies A4, exibindo laminação convoluta e falha sindeformacional. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 21,30 m.



0 2cm

causadas por fluidizações que levaram argilidade a camadas originalmente arenosas.

Interpretação – A deposição desta fácies foi inicialmente resultado da ação de corrente subaquosa em regime de fluxo inferior.

O aspecto fluidizado, observado pelas laminações convolutas, e falhas sinsedimentares podem ter diversas causas. Na literatura, Rosseti (2001) aponta de atividade tectônica, por abalos sísmicos, para diversas estruturas sedimentares deformacionais; enquanto que (Carvalho, 1994b) mostra a ação do pisoteamento de vertebrados de grande porte deformando os antigos sedimentos da formação. O escape d'água pelo peso de sedimentos sobrepostos é outra possibilidade, particularmente para as deformações plásticas.

4.2.7 FÁCIES A5

Fácies Sh: Miall (1996)

Diagnose – Arenito com laminação plano-paralela (Estampa V).

Discussão – Variam de arenitos finos a médios, de seleção moderada, com cores avermelhadas (10Y 6/2 em geral); porém ocorrem tons de cinza nas proximidades do contato com a Formação Codó. Apresentam laminação plano-paralela.

A fácies A5 ocorre muito raramente nos poços 1-UN-24-PI (2%) e 1-UN-25-PI (0,4%). Pode ser observada tipicamente no intervalo entre as profundidades 43,4 m e 43,6 m do poço 1-UN-25-PI.

Interpretação – A deposição desta fácies foi resultado da ação de corrente subaquosa (tração) em regime de fluxo superior pela agitação de leitos-planos.

4.2.8 FÁCIES A6

Fácies Sp e St: Miall (1996)

Fácies At e Aa: Anaisse *et al.* (2001)

Diagnose – Arenito com estratificação cruzada de porte médio (Estampa V).

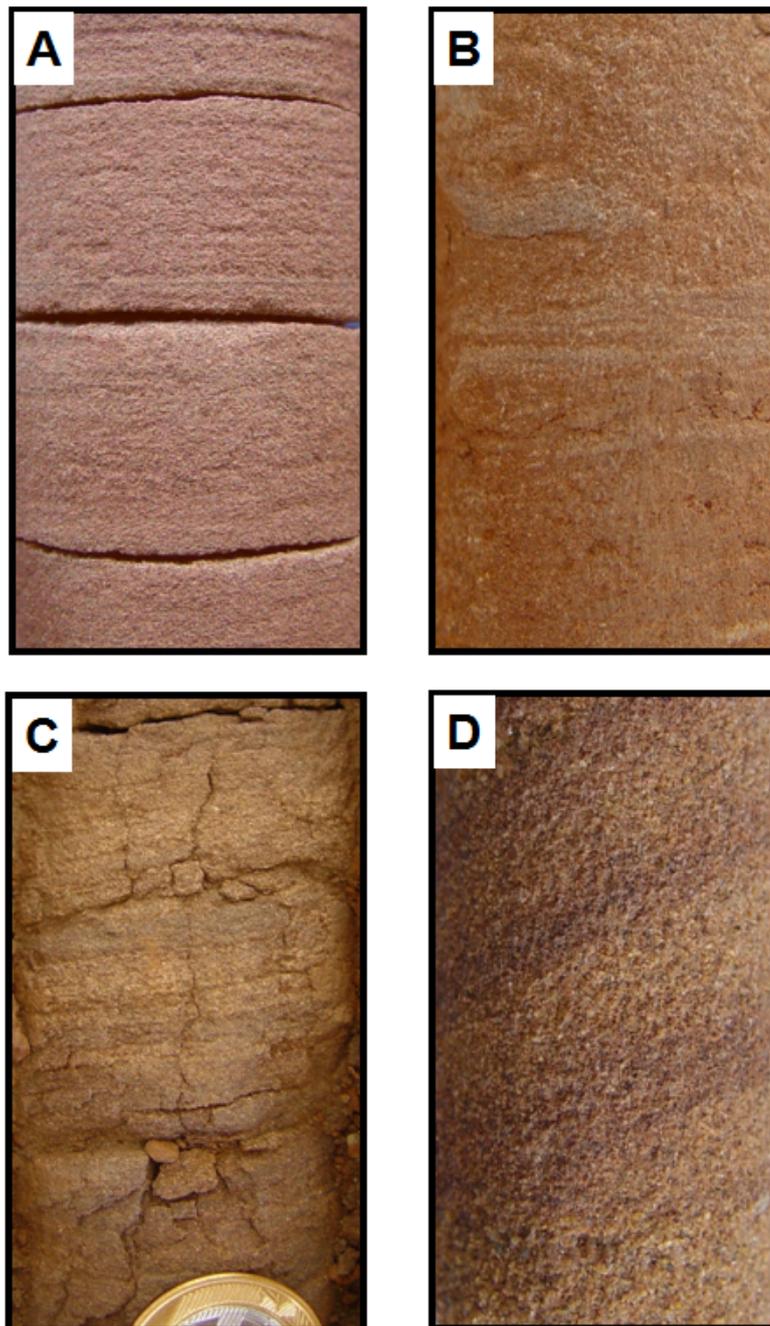
ESTAMPA V

Figura A - Aspecto da fácies A5, exibindo laminação plano paralela. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 45,00 m.

Figura B - Aspecto da fácies A5, exibindo laminação plano paralela. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 43,50 m.

Figura C - Aspecto da fácies A6, exibindo estratificação cruzada de médio porte, em arenito fino superior. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 56,60 m.

Figura D - Aspecto da fácies A6, exibindo estratificação cruzada de médio porte, em arenito médio superior. Poço 1-UN-30-PI, profundidade 193,20 m



0 2cm

Discussão – Tratam-se de arenitos de muito grossos a finos superior e, raramente, finos inferior; com coloração avermelhada (10R 5/4 em geral), estratificação cruzada de porte médio, seleção variando de moderada a muito pobre, e podendo apresentar concreções calcíferas, e intraclastos na base.

A fácies A6 ocorre com baixa freqüência nos poços 1-UN-24-PI (2,4%), 1-UN-25-PI (5,7%) e 1-UN-24-PI (5,2%). Pode ser observada tipicamente no intervalo entre as profundidades 56,2 m e 57 m do poço 1-UN-24-PI. A análise petrofísica revelou valores de permeabilidade variando entre 205 mD e 174 mD (Quadro 2).

Interpretação – A deposição desta fácies foi resultado da ação de corrente subaquosa de alta energia mas em regime de fluxo inferior, tracionando carga de fundo através de megaondulações de crista reta ou sinuosa, de porte médio.

4.2.9 FÁCIES C

Fácies Gh: Miall (1996)

Fácies At, pro parte: Anaisse *et al.* (2001)

Diagnose – Conglomerado fino (Estampa VI).

Discussão – São conglomerados finos, na maioria das vezes suportados por clasto, com seixos quartzosos e líticos, por vezes cimentados por calcita. Aparentemente são maciços, mas podem apresentar estratificação cruzada de porte médio.

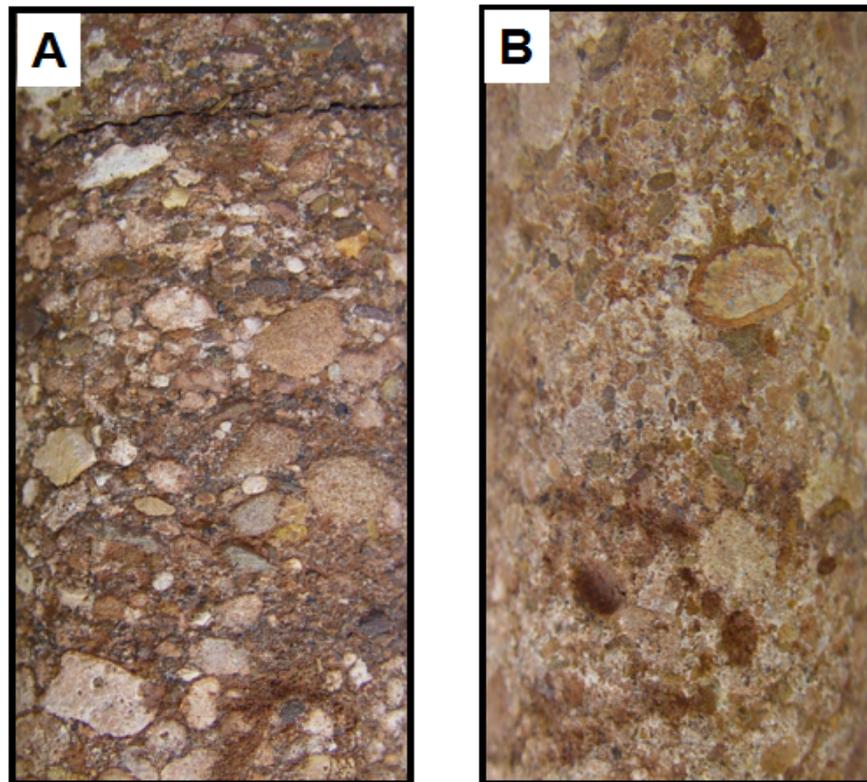
A fácies C ocorre com baixa freqüência nos poços 1-UN-30-PI (3,6%), 1-UN-25-PI (4,6%) e 1-UN-24-PI (1,2%), nos quais é registrada particularmente na parte superior do intervalo estudado. Tipicamente, pode ser observada entre as profundidades 113,5 m e 114,7 m do poço 1-UN-25-PI.

Interpretação – A deposição desta fácies foi resultado ou da ação de fluxos gravitacionais pseudoplásticos (tipo *debris-flow*) que evoluem para correntes subaquosas de alta energia, as quais passam a tracionar carga de fundo (*lag basal*) ou megaondulações.

ESTAMPA VI

Figura A - Aspecto da fácies C, exibindo conglomerado clasto suportado. Poço 1-UN-25-PI, profundidade 114,10 m.

Figura B - Aspecto da fácies C, exibindo conglomerado clasto suportado, cimentados por calcita. Poço 1-UN-25-PI, profundidade 108,00 m.



0 2cm

Quadro 2: Resultados da análise de permeabilidade das fácies A2, A3, A4 e A6

| Poço | Profundidade (m) | Fácies | Permeabilidade (mD) |
|------------|------------------|--------|---------------------|
| 1-UN-24-PI | 52,10 | A3 | 38 |
| 1-UN-24-PI | 53,95 | A2 | 161 |
| 1-UN-24-PI | 62,20 | A2 | 306 |
| 1-UN-24-PI | 75,80 | A2 | 203 |
| 1-UN-24-PI | 82,50 | A3 | 2 |
| 1-UN-24-PI | 97,50 | A6 | 205 |
| 1-UN-24-PI | 98,50 | A2 | 336 |
| 1-UN-25-PI | 112,80 | A3 | 3 |
| 1-UN-25-PI | 142,15 | A6 | 174 |
| 1-UN-30-PI | 193,50 | A4 | 4 |

4.2.10 ASPECTOS PETROGRÁFICOS

As maioria das fácies arenosas (fácies A2, A3, A5 e A6), apresentam, em lâmina petrográfica, litoclastos de siltitos e argilitos oxidados, alteritos, grãos com textura granofírica, feldspato (microclina) e predominância de grãos de quartzo. Ocorrem com freqüência *coating* de óxido de ferro e cimentação carbonática, em algumas lâminas poiquilotópica. Algumas vezes apresentam matriz resultante da desagregação mecânica de litoclastos sedimentares, o que influi negativamente na porosidade, que é reduzida na maioria das fácies arenosas; contudo, dentre elas, a fácies A6 foi a que apresentou melhor porosidade aparente (Estampa VII).

A fácies cascalhosa (fácies C) apresenta abundantes grãos líticos sedimentares (arenitos, siltitos e argilitos, além de grãos de micrita), freqüentemente oxidados, que se somam a grãos de quartzo (predominantemente monocristalino), feldspato (microclina e pouco plagioclásio), líticos plutônicos (granófiro), cimentados por calcita. O cimento aparece em mosaico (dente-de-cão) sobrecrescendo os grãos e como esparita preenchendo poros. A porosidade é reduzida (<10%) em virtude da cimentação e desagregação mecânica dos litoclastos sedimentares (Estampa VIII).

ESTAMPA VII

Figura A – Aspecto petrográfico da fácies A2, em lâmina delgada com nicol paralelo, exibindo o aspecto geral. Poço 1-UN-25-PI, profundidade 114,45 m.

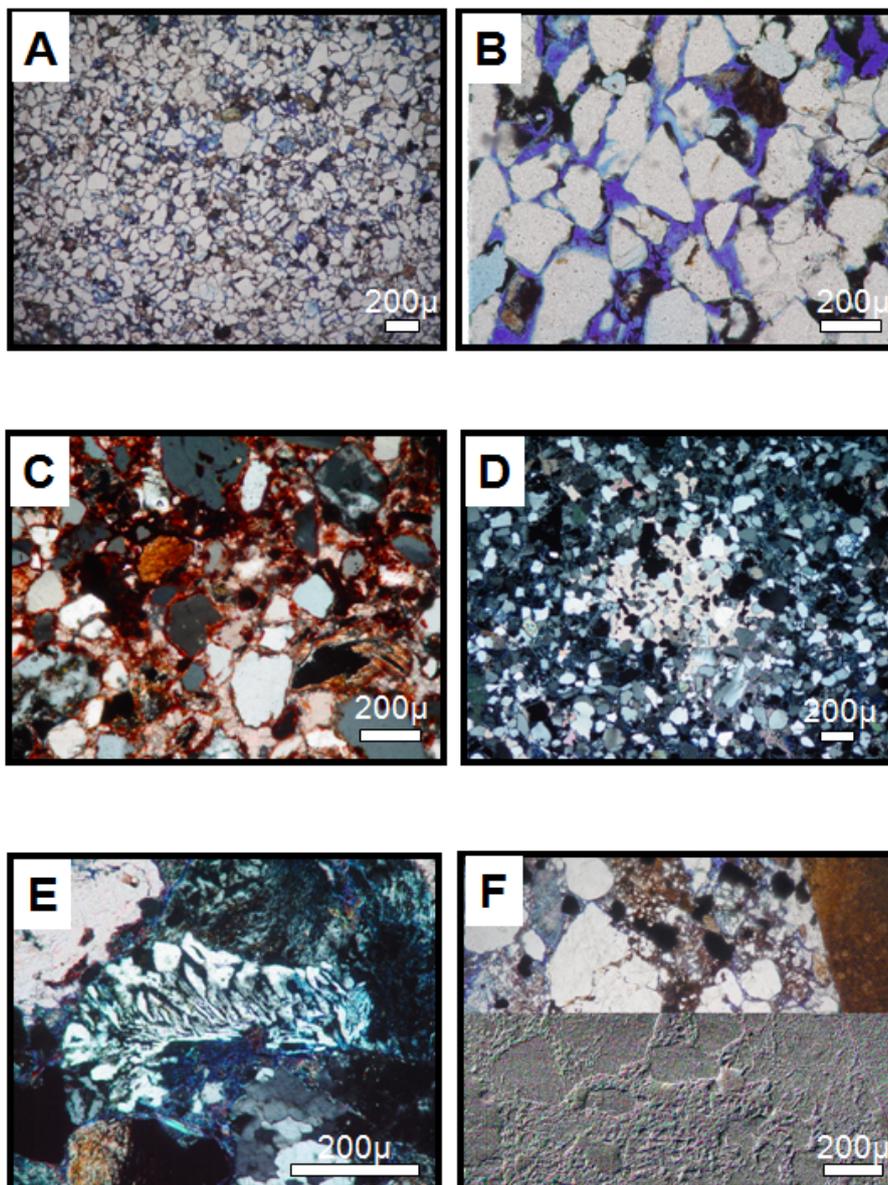
Figura B - Aspecto petrográfico da fácies A6, em lâmina delgada e nicol paralelo, exibindo a porosidade e o aspecto geral. Poço 1-UN-30-PI, profundidade 218,50m.

Figura C - Aspecto petrográfico da fácies A3, em lâmina delgada e nicol cruzado, exibindo cimentação calcífera posterior a oxidação. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 61,45 m.

Figura D – Aspecto petrográfico da fácies A2, em lâmina delgada e nicol cruzado, exibindo cimentação calcífera poiquilotópica. Poço 1-UN-25-PI, profundidade 114,45 m.

Figura E - Aspecto petrográfico da fácies A3, em lâmina delgada e nicol cruzado, exibindo grão com textura granófica. Poço 1-UN-30-PI, profundidade 218,50m.

Figura F – Aspecto petrográfico da fácies A3, em lâmina delgada e nicol paralelo, exibindo matriz resultante de fragmentação de litoclastos sedimentares. Poço 1-UN-30-PI, profundidade 218,50m.



ESTAMPA VIII

Figura A – Aspecto petrográfico da fácies C, em lâmina delgada com nicol cruzado, exibindo o aspecto geral e a diversidade de litoclastos. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 59,80 m.

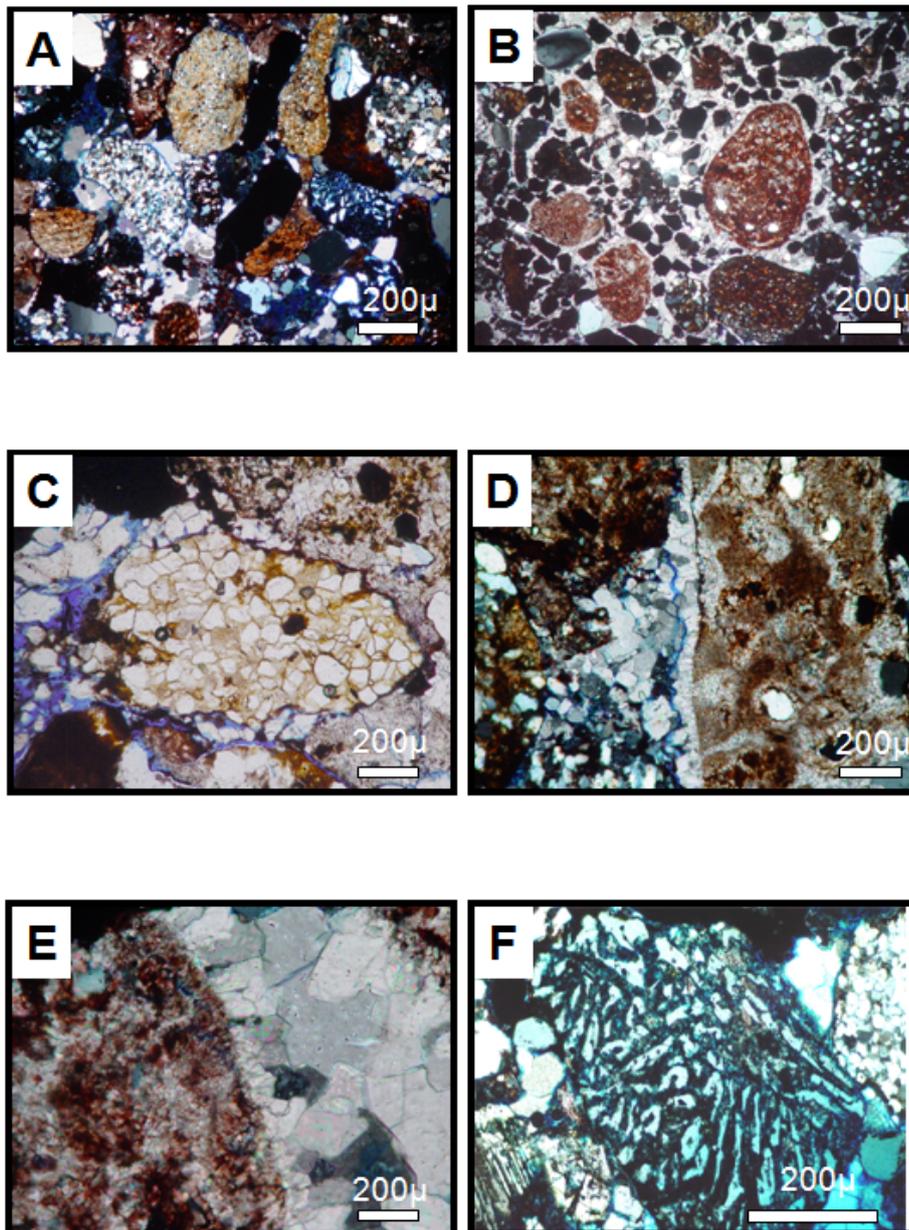
Figura B - Aspecto petrográfico da fácies C, em lâmina delgada com nicol paralelo, exibindo a o aspecto geral, nota-se a grande quantidade de fragmentos de alterito e a intensa cimentação. Poço 1-UN-25-PI, profundidade 108,00 m.

Figura C - Aspecto petrográfico da fácies C, em lâmina delgada com nicol paralelo, exibindo litoclasto de arenito. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 59,80 m.

Figura D – Aspecto petrográfico da fácies C, em lâmina delgada com nicol cruzado, exibindo cimentação nas bordas de um litoclasto de argilito. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 59,80 m.

Figura E - Aspecto petrográfico da fácies C, em lâmina delgada com nicol cruzado, exibindo calcita dente de cão e calcita espática. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 59,80 m.

Figura F – Aspecto petrográfico da fácies C, em lâmina delgada com nicol cruzado, exibindo grão com textura granófila. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 59,80 m.



4.2 Sucessões de fácies

Foram identificadas duas sucessões de fácies (SF1 e SF2): uma de natureza macroclástica (SF1) e outra microclástica (SF2). Tais sucessões foram interpretadas, dentro de um sistema deposicional fluvial, como elementos arquiteturais de um modelo de paleoambiente meandrante (*cf.* Miall, 1996).

4.2.1 SUCESSÃO DE FÁCIES 1 (SF1) – CANAL FLUVIAL

Diagnose – Caracteriza-se pela sucessão das fácies R–A6–A5–A2–A1–L2– L1 em ciclos de afinamento granulométrico (estampas IX e X).

Discussão – As fácies A3 e A4 podem ocorrer em substituição a qualquer uma das fácies arenosas; portanto, em posição variada desta sucessão. Já a fácies C está presente em ciclos muito particulares, controlados estratigraficamente.

O ciclo de afinamento granulométrico, em uma sucessão, tem em média $2,0 \pm 0,7$ m de espessura (variando de 0,55 m a 4,9 m) nos poços 1-UN-24-PI, 1-UN-25-PI e 1-UN-30-PI. Este comportamento pode ser observado no Quadro 3 e nas estampas IX e X.

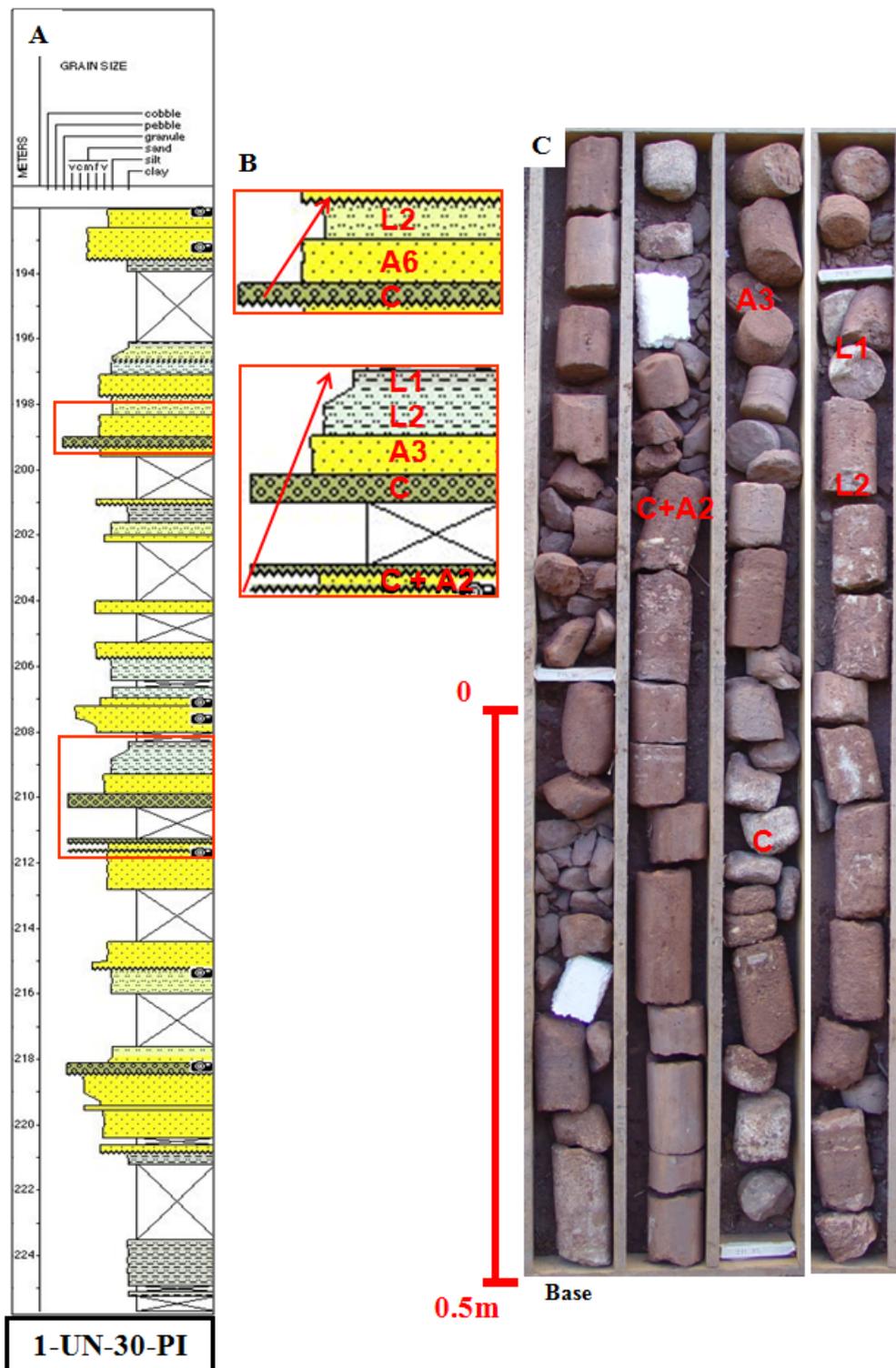
Interpretação – O caráter de afinamento granulométrico desta sucessão, além das fácies presentes – as quais revelam tração por corrente, presença de bioturbação por raízes e efeito de pedogênese em paleoambiente oxidante – são indícios de se tratar de um conjunto de elementos arquiteturais fluviais do tipo “barra de acreção lateral” (elemento LA) proposto por Miall (1985, 1996) (Figura 11). Tal conjunto, em um ciclo completo da sucessão, é interpretado como contido em um elemento de maior escala, o elemento do tipo “canal” (elemento CH) de Miall (1996) (Figura 11), dentro de um modelo de sistema fluvial meandrante (Figura 12).

ESTAMPA IX

Figura A: Poço 1-UN-30-PI com intervalos destacados por retângulos vermelhos ampliados em (B).

Figura B: Destacando o caráter fining-up da sucessão de fácies 1.

Figura C: Fotografia ilustrativa do testemunho 1-UN-32-PI mostrando um exemplo de ocorrência da sucessão de fácies 1.

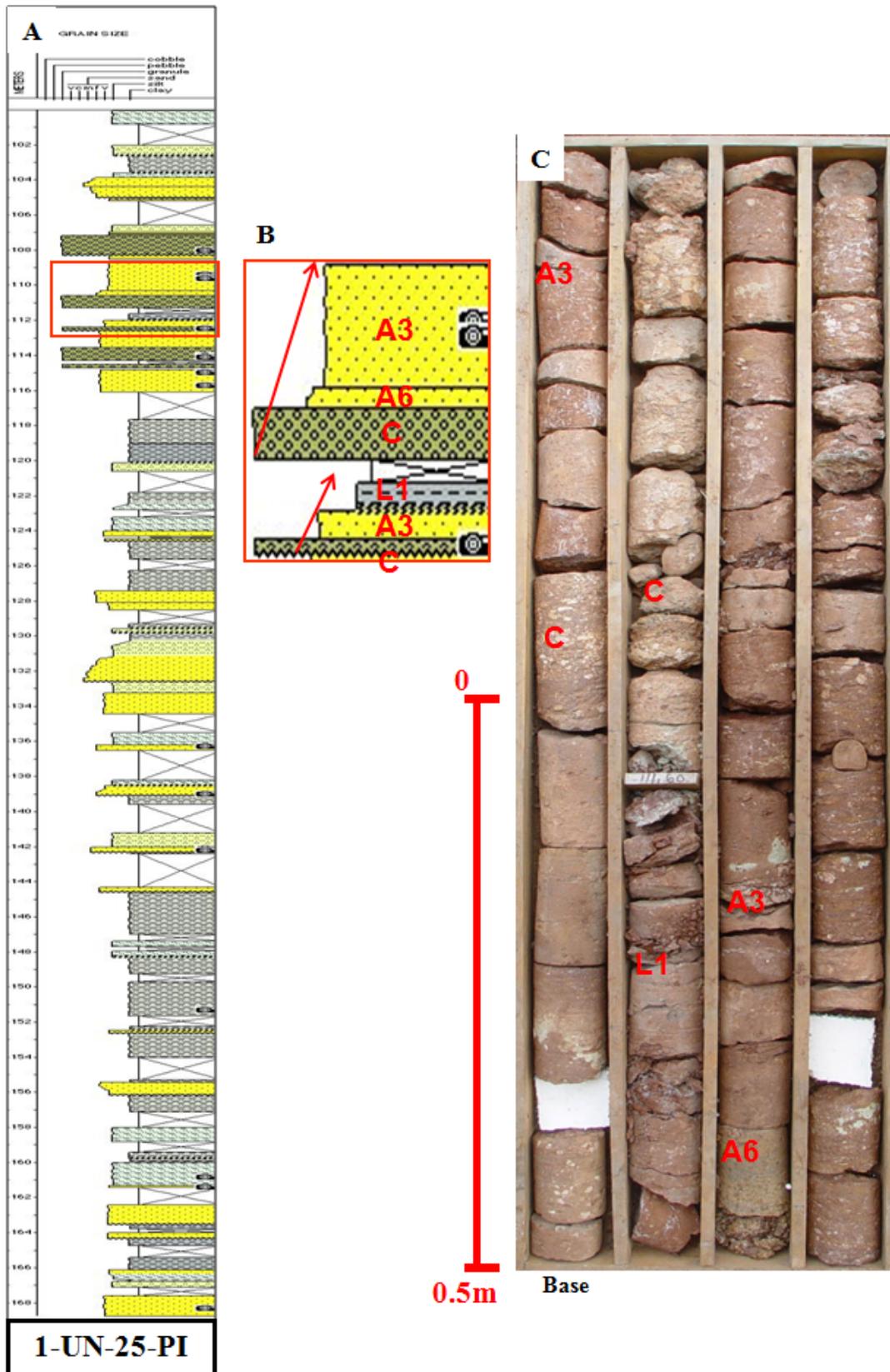


ESTAMPA X

Figura A: Poço 1-UN-25-PI com intervalo destacado por retângulo vermelho ampliado em (B).

Figura B : Destacando o caráter fining-up da sucessão de fácies 1.

Figura C: Fotografia ilustrativa do testemunho 1-UN-25-PI mostrando um exemplo de ocorrência da sucessão de fácies 1.



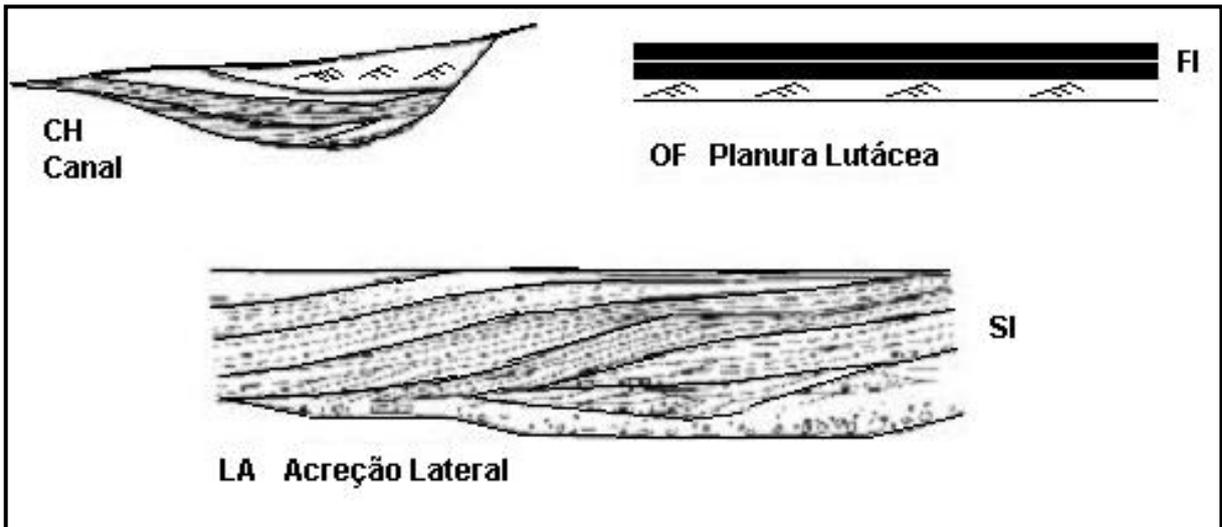


Figura 11: Elementos arquiteturais tipo “canal” (CH), tipo “finos de planície de inundação” (OF), tipo “barra de acreção lateral” (LA), Miall (1996).

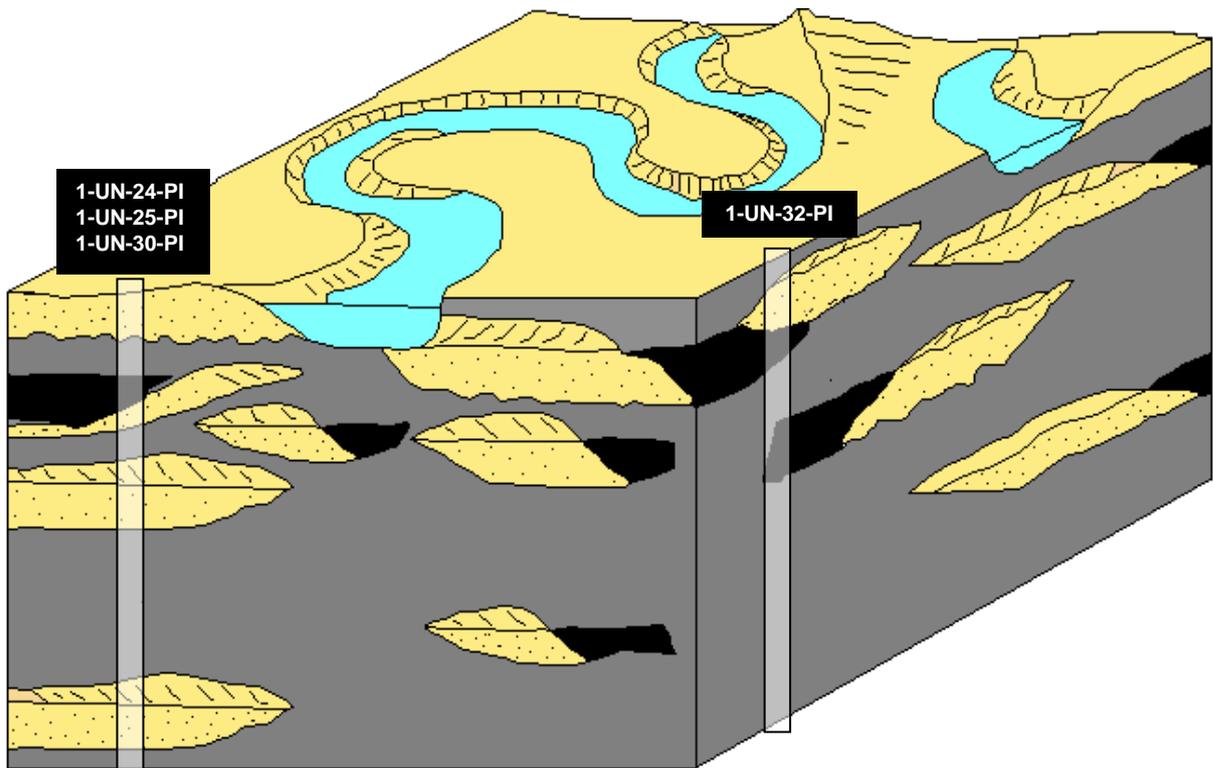


Figura 12: Bloco diagrama representativo de um sistema fluvial meandrante (modificado de Selley, 1976), mostrando a contextualização dos poços descritos no presente trabalho em relação às sucessões de fácies SF1 (em amarelo) e SF2 (em preto e cinza).

4.2.2 SUCESSÃO DE FÁCIES 2 (SF2) – PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO FLUVIAL

Diagnose – Caracteriza-se pela intercalação estocástica das fácies A1, L2 e L1 (Estampa XI).

Discussão – As fácies A3 e A4 podem aparecer substituindo a fácies A1. Esta sucessão pode ser observada tipicamente ao longo do todo perfil do poço 1-UN-32-PI e, em intervalos significativos, nas partes inferiores dos perfis dos poços 1-UN-24-PI e 1-UN-25-PI.

Cada intervalo da sucessão apresenta, em média, espessuras de $15,6 \pm 8,5$ m (com variação de 2,6 m a 44,6 m). Este aspecto pode ser observado no Quadro 3 e na Estampa XI.

Interpretação – Esta sucessão caracteriza uma planície de inundação ou preenchimento de canal fluvial abandonado, podendo ser correlacionada ao elemento arquitetural do tipo “finos de planície de inundação” (elemento OF) de Miall (1985, 1996) (Figura 11), inserida em um sistema fluvial meandrante (Figura 12). Neste as fácies microclásticas oxidadas e bioturbadas por raízes, além de apresentarem evidência de pedogênese (fácies L1 e L2), são os elementos diagnósticos. As fácies arenosas (fácies A1, A3 e A4) representam mecanismo de tração durante o extravasamento do canal, na planície de inundação.

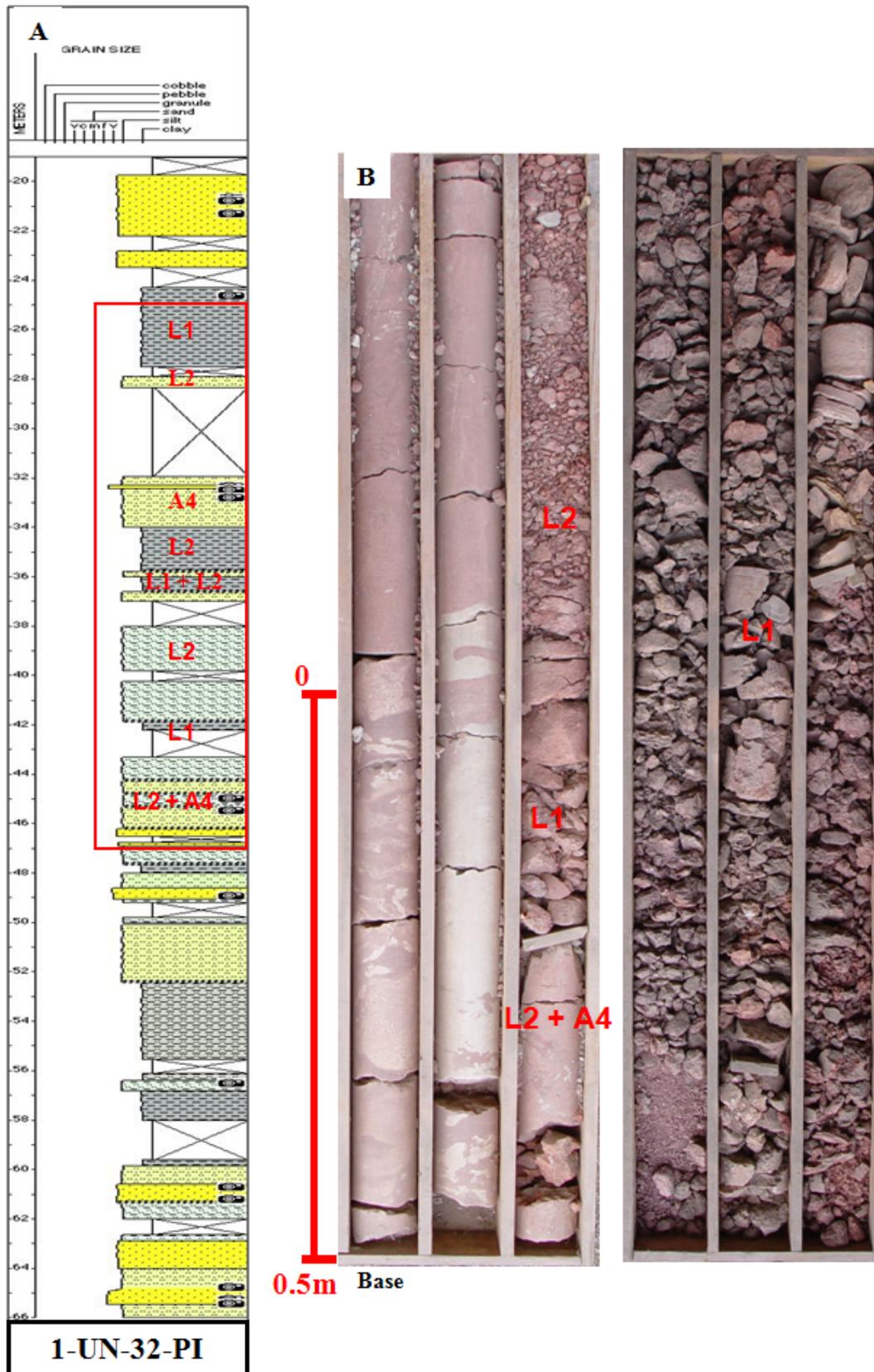
Quadro 3: *Freqüência da ocorrência da sucessão 1 (Canais ativos) e da sucessão 2 (Planície de inundação /canal abandonado) nos poços descritos.*

| Canal Ativo | | | | Planície de Inundação / Canal Abandonado | | | |
|-------------|------------|--------|--------------|--|--------|--------|--------------|
| Poço | Topo | Base | Espesura (m) | Poço | Topo | Base | Espesura (m) |
| 1-UN-24-PI | 36,00 | 39,20 | 3,20 | 1-UN-24-PI | 65,10 | 81,10 | 16,00 |
| | 41,80 | 45,10 | 3,30 | | 83,00 | 95,85 | 12,85 |
| | 45,10 | 47,35 | 2,25 | | 97,90 | 100,50 | 2,60 |
| | 48,40 | 50,00 | 1,60 | 1-UN-25-PI | 117,65 | 126,25 | 8,60 |
| | 50,00 | 51,00 | 1,00 | | 132,50 | 141,15 | 8,65 |
| | 51,00 | 52,20 | 1,20 | | 142,30 | 158,40 | 16,10 |
| | 52,20 | 54,60 | 2,40 | 1-UN-32-PI | 19,90 | 64,45 | 44,55 |
| | 54,60 | 57,00 | 2,40 | | | | |
| | 58,8 | 59,9 | 1,10 | | | | |
| | 59,9 | 61,50 | 1,60 | | | | |
| | 61,5 | 63,10 | 1,60 | | | | |
| | 63,10 | 65,10 | 2,00 | | | | |
| | 81,10 | 83,00 | 1,90 | | | | |
| | 96,15 | 96,70 | 0,55 | | | | |
| | 36,70 | 97,70 | 2,30 | | | | |
| | 1-UN-25-PI | 103,85 | 105,00 | 1,15 | | | |
| 106,50 | | 108,25 | 1,75 | | | | |
| 108,25 | | 111,25 | 3,00 | | | | |
| 111,65 | | 112,60 | 1,25 | | | | |
| 112,60 | | 114,60 | 2,00 | | | | |
| 114,9 | | 116,00 | 1,10 | | | | |
| 126,25 | | 128,00 | 1,75 | | | | |
| 129,25 | | 132,60 | 3,35 | | | | |
| 141,10 | | 142,25 | 1,15 | | | | |
| 1-UN-30-PI | 192,00 | 193,50 | 1,15 | | | | |
| | 196,25 | 197,85 | 1,60 | | | | |
| | 197,85 | 199,45 | 1,60 | | | | |
| | 201,00 | 205,90 | 4,90 | | | | |
| | 205,90 | 207,60 | 1,70 | | | | |
| | 208,35 | 210,25 | 1,90 | | | | |
| | 211,50 | 211,75 | 0,25 | | | | |
| | 211,75 | 215,25 | 3,50 | | | | |
| | 217,50 | 218,50 | 1,00 | | | | |

ESTAMPA XI

Figura A: Poço 1-UN-32-PI mostrando a intercalação de fácies pelíticas que caracterizam a sucessão de fácies 2.

Figura B: Fotografia ilustrativa do testemunho 1-UN-32-PI mostrando um exemplo de ocorrência da sucessão de fácies 2 .



5 ANÁLISE GEOLÓGICA

5.1 Superfícies estratigráficas

Foram identificadas dois tipos de superfícies estratigráficas genéticas, hierarquizadas em duas ordens arquiteturais. Uma aplica-se na Estratigrafia de Seqüências, como limite de seqüências deposicionais (superfície discordante), enquanto que outra limita elementos arquiteturais de um sistema fluvial (superfície diastêmica). Uma terceira superfície, de natureza litoestratigráfica, formal, foi caracterizada para limitar o contato da Formação Itapecuru com a Formação Codó (limite litoestratigráfico).

5.1.1 SUPERFÍCIE DISCORDANTE

A superfície discordante foi identificada em três dos quatro poços descritos, na profundidade de 59,9 m do 1-UN-24-PI; 114,7 m do 1-UN-25-PI; e 218,2 m do 1-UN-30-PI (Figura 13). O critério para identificação desta superfície foi o primeiro aparecimento de conglomerados nos perfis descritos (fácies C).

Esta superfície discordante pode ser relacionada com a superfície hierárquica de ordem 6 de Miall (1988), a qual define subdivisões estratigráficas mapeáveis, separando grupos de canais e paleovales, ou ainda com a de ordem 7, que é regionalmente extensa, encerrando espessas seqüências de um sistema deposicional, separando eventos alogenéticos.

A gênese desta superfície é associada à atividade tectônica que teria possibilitado o aumento de energia do rio, ou seja, um aumento em sua capacidade e competência, que resultou no aporte de sedimento muito grosso. Em alguma região, o rebaixamento tectônico do nível de base levou à erosão acentuada da paisagem, através da qual produziu-se uma grande quantidade de líticos sedimentares, particularmente de arenitos. Consideraremos os intervalos acima e abaixo da superfície como seqüências deposicionais, mais propriamente tectonosseqüências, denominando-as de Seqüência 1 (Seq1) e Seqüência 2 (Seq2).

5.1.2 SUPERFÍCIES DIASTÊMICAS

Superfícies diastêmicas foram reconhecidas em todos os poços descritos, em diversas profundidades (Figura 13). São limitantes das SF1 e SF2, ou seja, nos limites entre os canais ativos e as planícies de inundação.

Esta superfície pode ser relacionada àquela de ordem 5 de Miall (1988), que limita complexos de preenchimento de canais, sendo bem marcadas por estruturas de corte e preenchimento e ainda associada a depósitos basais tipo *lags*.

5.1.3 LIMITE LITOESTRATIGRÁFICO

Este limite foi posicionado em três dos quatro poços descritos, na profundidade 100,5 m do 1-UN-24-PI, 159,9 m no poço 1-UN-25-PI e 64,8 m no poço 1-UN-32-PI (Figura 13). Marca o contato entre as formações Codó e Itapecuru, podendo ser considerada concordante gradacional. Deste modo, o critério para o reconhecimento da superfície que evidencia o contato foi a mudança de cor, de cinza (Fm. Codó) para vermelho (Fm. Itapecuru) das fácies lutíticas, denotando a passagem de um ambiente redutor (Fm. Codó) para um oxidante (Fm. Itapecuru). Esta mudança é interpretada neste trabalho não como uma mudança climática, mas como uma passagem gradual de um ambiente lacustre anóxico (Fm. Codó), para o ambiente fluvial oxidante.

5.2 Sistema petrolífero

O intervalo estudado foi separado em duas seqüências deposicionais (Seq1 e Seq2), limitadas por uma superfície discordante.

Na Seq1, a razão areia:folhelho ao longo dos poços é de 2:1, enquanto que na Seq2 é de 1:3. Esta relação revela proporcionalmente a mesma freqüência entre a SF1 (arenosa) e SF2 (microclástica).

Tal aspecto pode decorrer de diferentes taxas de sedimentação em ambas as seqüências. Na Seq1, a maior freqüência de elementos de canal (SF1) parece

indicar menor taxa de espaço para acomodação de sedimentos, o que leva a um menor potencial de preservação da planície de inundação (SF2).

Assim, como se observa na Figura 13, há uma probabilidade de maior conectividade dos elementos de canal (SF1) na Seq1, portanto reduzindo a heterogeneidade de um reservatório quanto a possíveis compartimentações, nele representadas pelos elementos de planície de inundação (SF2). Contrariamente, na Seq2, o reservatório apresenta-se mais compartimentado.

Todavia, as rochas reservatório a serem consideradas (SF1), não apresentam espessura significativa (em média 2 m, sendo a espessura máxima de 4,9 m). As análises petrográficas revelaram a presença comum de cimentação carbonática, assim como matriz, resultante de desagregação mecânica de litoclastos sedimentares, além de argilosidade causada por bioturbações, por conta disso os valores de permeabilidade observados em análises petrofísicas também não foram favoráveis para o potencial reservatório.

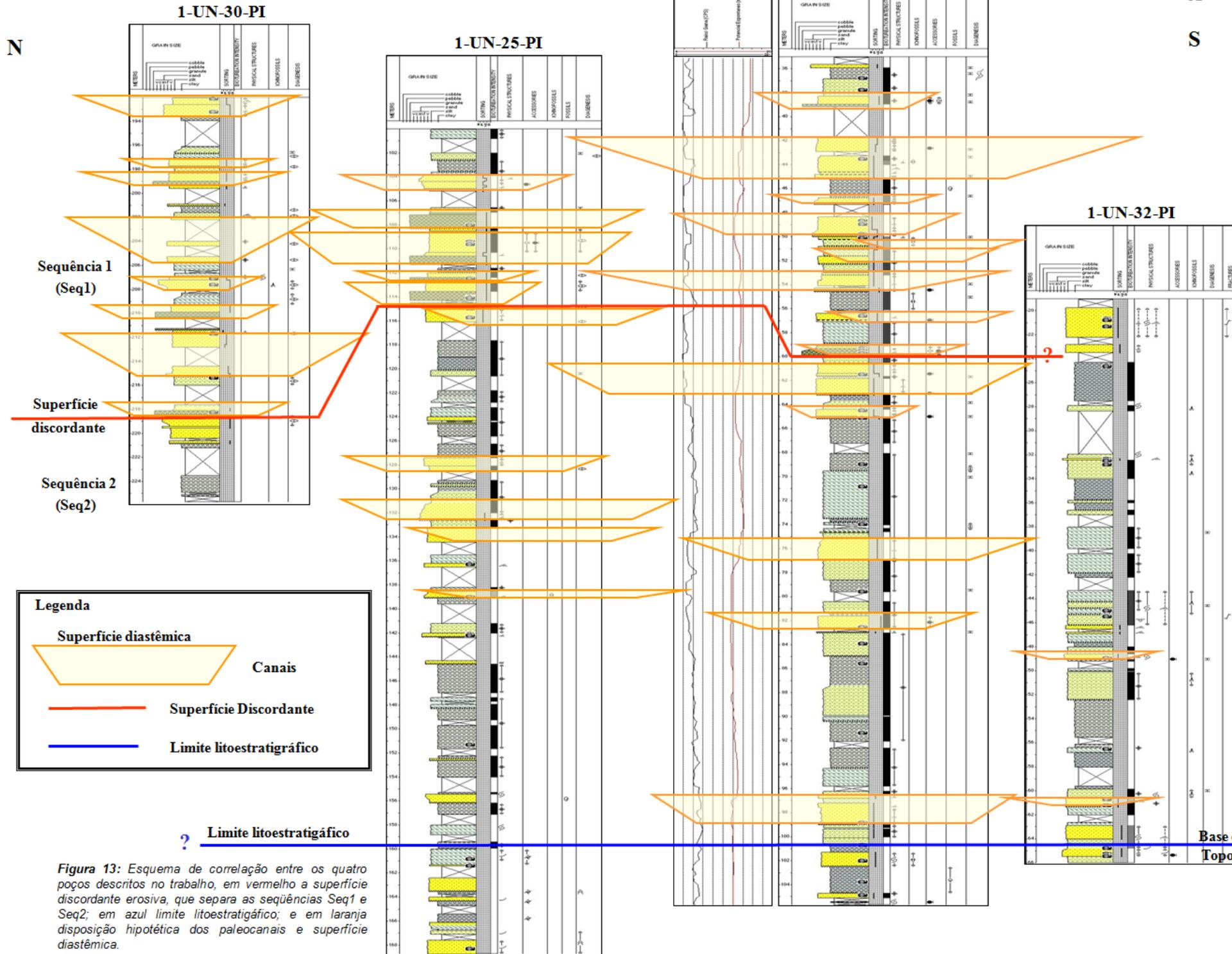


Figura 13: Esquema de correlação entre os quatro poços descritos no trabalho, em vermelho a superfície discordante erosiva, que separa as seqüências Seq1 e Seq2; em azul limite litoestratigráfico; e em laranja disposição hipotética dos paleocanais e superfície diastêmica.

6 CONCLUSÕES

Foi possível reconhecer o sistema deposicional fluvial meandrante como o que melhor se enquadra com a descrição das fácies e sua sucessões.

A superfície discordante erosiva (D) marca atividade tectônica na bacia, o que é corroborado na literatura por Góes & Rosseti (2001) que, com base em estudos sísmicos, de afloramentos e em subsuperfície, identificou a ocorrência de atividade tectônica durante o Cretáceo–Terciário. Esta superfície separa duas seqüências deposicionas Seq1 e Seq2.

Quanto à questão de potenciais rochas reservatório, o sistema se apresenta bastante heterogêneo em termos arquiteturais. Contudo, na região acima da superfície discordante (S1), ocorre uma melhora no potencial reservatório da formação, por conta da maior freqüência da sucessão de fácies 1 (canal fluvial), tornando a razão areia/folelho maior e aumentando a probabilidade de conectividade entre os paleocanais. Porém as sucessões de fácies 1, não atingem espessuras significativas (2 m em média) e as fácies arenosas, que as compõem, analisada quanto à permeabilidade, não obtiveram resultados adequados para um potencial reservatório, devido a grande quantidade de bioturbações, cimentação calcífera observada em lamina delgadas. Contudo não se pode descartar por definitivo o potencial da Formação Itapecuru como reservatório, já que diversos outros autores (citados no capítulo 3), que estudaram a formação em outras localidades, identificaram fácies, sucessões e modelos deposicionais distintos destes propostos por este trabalho.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, G.A., 1969. Bacia do Maranhão: Geologia e possibilidades de Petróleo. Belém, PETROBRÁS. Rel. Interno.
- Albuquerque, O. R. & Dequech, V. 1946. Contribuição para a geologia do Meio-Norte, especialmente Piauí e Maranhão, Brasil. In: Congresso Pan-Americano de Engenharia de Minas e Geologia. Petrópolis. Anais, v.3, p 69-109.
- Amus & Porto. 1972. Classificação das bacias sedimentares brasileiras segundo a tectônica de placas. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 26 Belém, 1972. Anais...Belém, SBG, v.2, p.67-90.
- ANP, 2002. Agência Nacional Petróleo. Disponível em: http://brasil-rounds.gov.br/round4/atividades_exploratorias/cartas_secoes/cartas/ce_parnaiba.pdf.
- Anaisse Junior, J.; Truckenbrodt, W.; Rossetti, D. F. & Góes, A.M. 1999. Estruturas Geradas por Ondas e Maré nos Depósitos Itapecuru (Albiano Superior – Cenomaniano), Região de Açailândia/MA, Bacia do Grajaú. In: Boletim do 5º Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, 1999. UNESP – Campus de Rio Claro/SP.
- Anaisse Junior, J.; Truckenbrodt, W. & Rossetti, D.F. 2001. Fácies de um sistema estuarino-lagunar no grupo Itapecuru, área de Açailândia/MA, bacia do Grajaú. In: ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M. & TRUCKENBRODT, W. (Eds.). *O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú*, Belém, p. 119-150.
- Aranha, L.G.F.; Lima, H.P.; Souza, J.M.P.; Makino, R.K., (1990). Origem e evolução das bacias de bragança-Viseu, São Luís e Ilha Nova. In: RAJA GABAGLIA, G.P & MILLANI, E.J. (Eds) Origem e evolução de bacias sedimentares. Rio de Janeiro, Petrobras.p. 221-232.
- Araújo, M.B., 2003. *Plano Decenal – ANP. Planejamento das atividades de estudos geológicos e geofísicos nas bacias sedimentares brasileiras visando a exploração de petróleo e gás natural*. Rio de Janeiro, ANP, disponível em <http://www.brazil-rounds.gov.br/round5/apres_semtec/r5_plano_decenal.pdf> (acessado em 30.9.2003).
- Azevedo, R.P. 1991. Tectonic Evolution of Brazilian Equatorial Continental Margin Basins. London, royal School of Mines Imperial College, 412 p. Tese de Doutorado.
- Azevedo, S.A.K., Gonçalves, R.A. & Carvalho, I.S. 1993. Análise faciológica da Formação Itapecuru – Perfil estratigráfico Leãozinho – Itapecuru Mirim –Estado do Maranhão - Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 65(2):217.
- Batista, A.M.N. 1990. *Caracterização Paleoambiental dos Sedimentos Codó-Grajaú Bacia de São Luis (MA)*. Belém, GG, UFPA, 104p. (Tese de Mestrado em Geociências).
- BDEP, 2002. Banco de dados de exploração e produção. Disponível em: <http://www.bdep.gov.br/cgi-bin/bacias/acervo?name=parnaiba>.
- Borghi, L. 2000. Visão geral da Análise de fácies sedimentares do ponto de vista da arquitetura deposicional. In: Bol. Nus. Nac., N.S., Rio de Janeiro, n,53, p.1-26, ago.2000.
- Botter, D.J. & Droser, M.L. 1991. Icnofabric and basin analysis, *palaios*, 6 (3) 199-205.
- Campbel, D.F. 1949. Revised report on the reconnaissance geology of the Maranhão Basin. Rio de Janeiro, CNP. Rel. Intemo.
- Caputo, M.V. & Lima, E.C. 1984. Estratigrafia, Idade e Correlação do Grupo Serra Grande. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 33. Rio de Janeiro, SBG.V.2.

- Carvalho, M.S.S. 1997 Primeira ocorrência de Picnodontídeos (Pisces) na Formação Itapecuru, Cretáceo inferior da bacia do Parnaíba, Estado do Maranhão Brasil., In: Congresso brasileiro de paleontologia, 15, 1999, São Pedro, Boletim..., São Pedro, SBP, 1997, p.79.
- Carvalho, I.S., Campos, D.A. 1988. Um mamífero triconodonte do Cretáceo Inferior do Maranhão, Brasil. In: An. Acad. Bras. Ci., Rio de Janeiro, v. 60, n. 4. p.437-446.
- Carvalho, I.S., Toledo P.M. & Ferreira, C.S. 1988. O Cretáceo na América Latina-novas informações de campo sobre as Formações Codó e Itapecuru, Ma.In: *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 60(4):496.
- Carvalho, I.S. 1994a. *Candidodon*: um crocodilo com heterodontia (Notosuchia, Cretáceo Inferior-Brasil). In: An. Acad. Brás. Ci., Rio de Janeiro, v 66, n3, p.331-346.
- Carvalho, I.S. 1994b. Contexto tafonomico das pegadas de terópodes da Praia da Baronesa (Cenomaniano, Bacia de São Luís). In: Congresso Brasileiro de geologia, 38, 1994, Balneário de Camboriú. 3, p.211-212.
- CPRM, 2002. Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: http://www.geoambiente.com.br/website/cprm_geologico/viewer.htm.
- CPRM, 1978. *Projeto Carvão da Bacia do Parnaíba*, DNPM - CPRM Departamento Nacional da Produção Mineral - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 5v. (Relatório Interno).
- Cunha, B. C. C. & Del' Arco, J. O. 1988. Variações Faciológicas da Formação Itapecuru na Região de Santa Inês – MA. Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Geologia, Belém, Pará, 1998, V.2.
- Cunha, F.M.B. 1986. Evolução paleozóica da Bacia do Parnaíba e seu arcabouço tectônico. Rio de Janeiro, UFRJ. Dissertação de Mestrado.
- Daemon, R.F. 1974. Palinomorfos-guia do Devoniano Superior e Carbonífero Inferior das bacias Amazonas e Parnaíba. Anais Acad. Brás. Ciências, v.46, n3/4, p.549-587.
- Della Fávera, J.C. 1990. Tempestitos da Bacia do Parnaíba. Porto Alegre, UFRGS. Tese de Doutorado.
- Dias Lima, R. & Rossetti, D.F.2001. Análise faciológica e sequencial de depósitos de delta de baía (Neocretáceo), Leste da bacia do Grajaú, MA. In: ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M. & TRUCKENBRODT, W. (Eds.). *O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú*, Belém, p. 151-174.
- Dias Lima, R. & Rossetti, D.F.1999. Análise Faciológica e Estratigráfica de Depósitos do Cretáceo Superior, Leste da Bacia do Grajaú, Maranhão. In: Boletim do 5º Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, 1999. UNESP – Campus de Rio Claro.
- Ferreira, C.S., Carvalho, I.S., Vicalvi, M.A., Santos, M.E.C.M., Carvalho, M.S.S., Eugenio, W.S. 1991. Novas ocorrências de fósseis na Formação Itapecuru, Cretáceo do Maranhão. In: An. Acad. Bras. Ci., Rio de Janeiro. V. 63, n. 1, p. 98-99.
- Ferreira, C.S. & Cassab, E.C.T. 1987. O gênero *Paranomia* conrad, 1850 (mollusca-bivalvia) no Cretáceo do Brasil. Seu possível aproveitamento como fóssil guia. In: Congresso Brasileiro de Paleontologia, 10, 1987, Rio de Janeiro, Anais...Rio de Janeiro, SBP, V.2, P.471-477.
- Forman, J.M.A. 2002. *Plano Decenal de Estudos e Serviços de Plano Decenal de estudos e Serviços de Geologia e Geofísica Aplicados à Geologia e Geofísica Aplicados à Prospecção de Petróleo e Gás Natural. Prioridades 2002*. Rio de Janeiro,ANP, disponível em <<http://www.anp.gov.br/palestras/planodecenal.pdf>> (acessado em 30.9.2003).
- Fortes, F.P. 1990. Ambiente antigo de sedimentação dos arenitos do Parque Nacional de Sete Cidades, Piriá, PI. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 36. Natal. SBG. Anais, v.1, p. 136-149.

- Fortes, F.P. 1978. Geologia Estrutural e Tectônica da Bacia Sedimentar do Meio Norte Brasil (Uma síntese com implicações tectônicas). In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30, 1978, Recife, Anais..., Recife. SBG., v.1, p. 321-336.
- Fraser, G.S. 1989. Clastic depositional sequences. Englewood. Cliffs. Prentice. Hall. 459p.
- Gabaglia, G.P.R. & Figueredo, A.M.F. 1986. Evolução dos conceitos acerca das classificações das bacias sedimentares. In: GABAGLIA, G.P.R. & MILLANI, E.J. (Eds.), 1990, Origem e evolução de bacias sedimentares. Petrobrás, Rio de Janeiro. P.31-45.
- Góes, A.M. 1981. Estudo Sedimentológico dos Sedimentos Barreiras, Ipixuna e Itapecuru no Nordeste do Pará e Nordeste do Maranhão. Belém, UFPa/NCGG – 1981. 55p. Tese de Mestrado.
- Góes, A.M., Rossetti, D.F., Coimbra, A. M. 1999. A Bacia do Grajaú, Estado do Maranhão, Brasil. In: *Boletim do 5º Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil*, 1999.
- Góes, A.M.O. & Feijó, F.J. 1994. Bacia do Parnaíba. In: *Boletim de geociências PETROBRAS, Rio de Janeiro, 8(1):57-67, Jan./mar. 1994.*
- Góes, A.M.O, Souza, J.M.P. & Teixeira, L. B., 1990. Estágio Exploratório e Perspectivas Petrolíferas da Bacia do Parnaíba. In: *Boletim de geociências PETROBRAS, Rio de Janeiro, 4(1):55-64, Jan./mar. 1990.*
- Gonçalves, R. A. & Carvalho, I.S. 1993. Os dinossauros da bacia de São Luís (Maranhão, Brasil). In: Academia Brasileira de Geociências, Rio de Janeiro, 1993. Anais...Rio de Janeiro, 65 (2).
- Gonçalves, R. A. & Carvalho, I.S. 1996. Contribuição ao Estudo de Sedimentação da Formação Itapecuru – Região de Itapecuru-Mirim, Bacia do Parnaíba (Cretáceo Inferior) – Maranhão – Brasil. In: *Revista de Geologia*, 1996, Vol.9: 75-81.
- Kegel, W. 1953. Contribuição para o estudo do Devoniano na Bacia do Parnaíba. Rio de Janeiro, Bol. Div. Geol. Min. DNPM, n 141, 48p.
- Klein, V.C. & Ferreira, C.S. 1979. Paleontologia e Estratigrafia de uma fácies estuarina da Formação Itapecuru, Estado do Maranhão. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 51(3):523-533.
- Klemme, h. D. 1980 – Petroleum basins – classification and characteristics. *J. Petr. Geol.*, 3(2): 187-207.
- Lima, M. R. 1978. Palinologia da Formação Santana (Cretáceo do Nordeste do Brasil). Tese (Doutorado) Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 335 p.
- Lima, F.F.P. 1991. Fácies e ambientes deposicionais da Formação Piauí (Pensilvaniano), Bacia do Parnaíba. São Paulo, USP. Dissertação de Mestrado.
- Lisboa, M.A.R. 1914. The Permian geology of Northern Brazil. New Haven, Am. Jour. Of Sci. Ser. 4, v. XXXVII, n 221.
- Matos, R.M.D. 2000. Tectonic Evolution of the Equatorial South Atlantic; In: Mohriak, W. & Talwani, M. (Eds.), *Atlantic Rifts and Continental Margins*, Washington D.C., American Geophysical Union, 331-353 p.
- Miall, A.D. 1996. The Geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology. Springer Verlag, 582p.
- Millani, E. J. & Zalán, P. V. 1998. Brazilian Geology Part I: The geology of Paleozoic cratonic basins and Mesozoic interior rifts of Brazil. In: 1998 AAPG International Conference & Exhibition, Rio de Janeiro. 184p. (Short Course Notes).

- Paiva, G., 1937. Estratigrafia da sondagem n 125. Rio de Janeiro, Bol. Serv. Fom. Prod. Min. DNPM. n 18, p107.
- Pedrao, E. 1994. Palinoestratigrafia e evolução paleoambiental de sedimentos aptianos-cenomanianos das bacias Bragança – Viseu e São Luís (Margem Equatorial Brasileira). Rio de Janeiro, Instituto de Geociências – UFRJ, MSc, programa de Pós – Graduação em Geologia, 1994
- Plummer, F.D. 1946. Geossinclíneo do Parnaíba . In: Conselho Nacional de Petróleo, Relatório de 1946. Rio de Janeiro.
- Posamentier, h. W. & vail, p. R. 1988. 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).
- Regali, M.S.P.; Uesugui, N.; Santos, A. S. 1974. Palinologia dos sedimentos Meso-cenozóicos do Brasil (I). In: Boletim técnico da PETROBRAS, 17 (3): 177-191.
- Rodrigues, R. 1967. Estudo sedimentológico e estratigráfico de depósitos silurianos e devonianos da Bacia do Parnaíba. Belém, PETROBRAS. Rel. Interno.
- Rodrigues, R. 1995. A Geoquímica Orgânica na Bacia do Parnaíba. Porto Alegre, UFRGS, 225p. Tese de Doutorado.
- Rossetti, D.F. 2001. Arquitetura deposicional da Bacia de São Luís-Grajaú. In: ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M. & TRUCKENBRODT, W. (Eds.). *O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú*, Belém, p. 31-46.
- Rossetti, D.F. 2001. Evidências de atividade sísmica sinsedimentar em depósitos cretáceos da Bacia de São Luís-Grajaú. In: ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M. & TRUCKENBRODT, W. (Eds.). *O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú*, Belém, p. 47-66.
- Rossetti, D.F. & Truckenbrodt, W. 1997. Revisão estratigráfica para depósitos do Albiano-Terciário Inferior (?) na Bacia de São Luís, Maranhão. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, ser: Ciênc. Terra*, 9: 29-41.
- Rossetti, D.F. 1997. Facies analysis of the lower Succession of the upper Itapecuru Formation, São Luís basin, Northern Brazil. In: COSTA, M.L. & ANGELICA, R. (Eds). *Contribuições a geologia da Amazônia*. Belém, Falângola, p.241-284.
- Santos, M.E.C.M. 1998. *Reconstituições Paleobiológicas nas Bacias do Parnaíba e de São Luís*, Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, UFRJ. Tese de Doutorado.
- Schobbenhaus, C.; Campos, D.A.; Derze, G.R.; Asmu, H.E. 1981. Mapa Geológico do Brasil e da área Oceânica adjacente incluindo depósitos minerais; escala 1:2.500.000. Brasília, DNPM.
- Schobbenhaus, C.; Campos, D.A.; Derze, G.R.; Asmu, H.E. 1984. Geologia do Brasil. Texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área Oceânica adjacente incluindo depósitos minerais; escala 1:2.500.000. Brasília, DNPM, 501 p.
- Small, H.L. 1914. Geologia e suprimento d'água subterrânea no Piauí e parte do Ceará. Rio de Janeiro, inspetoria Federal de Obras contra as secas, Série 1-D, publ.32, 14.
- Vicalvi, M. A., Ferreira, C. S., Carvalho, I. S., Silva, M. A. 1993. Fragmentos de ovos de dinossauro na Formação Itapecuru, MA: uma discussão. In: An. Acad. Bras. Ci., Rio de Janeiro, v.65, n.2, p.218.
- Vicalvi, M.A., Milhomen, P. da S., Carvalho, I.S. 1996. Ostracodes e carófitas da Formação Itapecuru (Pirapemas, bacia do Parnaíba). In: An. Acad. Bras. Ci., Rio de Janeiro, v.68, n.2, p.271-272.

- Young, C. G.K. 2003. Contribuição à análise estratigráfica da Formação Pimenteira (Devoniano, Bacia do Parnaíba): Caracterização de um potencial intervalo de rochas-reservatório. Rio de Janeiro, Instituto de Geociências – UFRJ, B.Sc., Curso de Graduação em Geologia, 2003.
- Zalán, P.V. 1991. Influence of Pré-Andean Orogenies on the Paleozoic intracratonic Basins of South América. In: Simposio Bolivariano, 4. Bogota. Memorias, Tomo I, Trabajo 7.