

**MAURÍCIUS NASCIMENTO MENEZES**

**PALEOSSOLOS ALUVIAIS E ELEMENTOS ARQUITETURAIS DA  
FORMAÇÃO ITAPECURU NA REGIÃO DE ITAPECURU-MIRIM - MA**

**Trabalho Final de Curso  
(Geologia)**

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2016



UFRJ

**Mauricius Nascimento Menezes**

**Paleossolos aluviais e elementos arquiteturais da Formação Itapecuru na  
região de Itapecuru-Mirim-MA**

Trabalho Final de Curso de Graduação em  
Geologia do Instituto de Geociências,  
Universidade Federal do Rio de Janeiro –  
UFRJ, apresentado como requisito  
necessário para obtenção do grau de  
Geólogo.

Orientador:

Patrick Francisco Fuhr Dal'Bó

Rio de Janeiro

03/2016

MAURICIUS, Nascimento Menezes

**Paleossolos aluviais e elementos arquiteturais da  
Formação Itapecuru no região de Itapecuru-Mirim-MA /**  
Mauricius Nascimento Menezes - - Rio de Janeiro: UFRJ /  
IGeo, 2016.

xii, 48 p. : il.; 30cm

Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade  
Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências,  
Departamento de Geologia, 2016.

Orientador(es): Patrick Francisco Fuhr Dal’Bó

1. Geologia. 2. Sedimentologia e Estratigrafia –  
Trabalho de Conclusão de Curso. I. Patrick Francisco Fuhr  
Dal’Bó. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto  
de Geociências, Departamento de Geologia. III. Título.

Mauricius Nascimento Menezes

PALEOSSOLOS ALUVIAIS E ELEMENTOS ARQUITETURAIS DA  
FORMAÇÃO ITAPECURU REGIÃO DE ITAPECURU-MIRIM-MA

Trabalho Final de Curso de  
Graduação em Geologia do Instituto  
de Geociências, Universidade Federal  
do Rio de Janeiro – UFRJ,  
apresentado como requisito  
necessário para obtenção do grau de  
Geólogo.

Orientador:

Patrick Francisco Fuhr Dal'Bó

Aprovada em: 02.03.2016

Por:

---

Orientador: Patrick Francisco Fuhr Dal'Bó(UFRJ)

---

Marcelo da Silva Mendes (UFRJ)

---

João Paulo Porto Barros (UFRJ)

## **Agradecimentos**

Primeiramente gostaria de agradecer ao professor Patrick Francisco Fuhr Dal'Bó pela amizade, confiança, orientação e oportunidade de participar desta pesquisa científica que significou muito para minha formação acadêmica e profissional.

Ao PRH, por todo apoio financeiro empenhado ao longo de um ano de estudos e pesquisas.

A infraestrutura de excelência fornecida pelo Laboratório de Geologia Sedimentar.

A minha mãe Jacqueline e pai Mauricio, meu Tio Cesar e avós Humberto e Daise pela paciência, confiança, carinho e esforços para que chegasse ao final da graduação.

A Fernanda que sempre está ao meu lado, apoiando e dando força para que consiga cumprir meus objetivos.

Aos meus amigos do laboratório de Biossedimentologia e LAGESED pelo incentivo e conhecimento geológico passado.

Aos meus amigos e companheiros geólogos Felipe Nepomuceno, Thayla Almeida, Victor Menezes, André Assis pelas discussões geológicas e troca de conhecimentos ao longo de 5 anos.

## Resumo

MENEZES.N, Mauricius. **Paleossolos aluviais e elementos arquiteturais da Formação Itapecuru na região de Itapecuru-mirim.** 2016. xii 48 f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

A Formação Itapecuru aflora em ampla área do estado do Maranhão, particularmente no vale do rio Itapecuru, onde é caracterizada por arenitos finos a muito finos intercalados a lamitos delgados registrando importantes variações de litofácies, depositadas em ambientes aluvial e flúvio-lacustre. A Formação Itapecuru assim como outras unidades geológicas que afloram nas bacias intracontinentais brasileiras, apresentam importantes perfis de paleossolos que neste estudo serão utilizados como elemento arquitetural aluvial e corpos físicos de correlação local e regional, dessa forma auxiliando no computo de taxas de sedimentação, variação nas taxas de subsidência e relação entre perfis. O objetivo do presente estudo é definir os elementos arquiteturais da Formação Itapecuru, bem como a caracterização dos horizontes de paleossolos. A caracterização de litofácies e perfis de paleossolos foram realizadas em afloramentos ao longo do rio Itapecuru, localizado na região de Itapecuru Mirim. As litofácies identificadas foram: lamito avermelhado com bioturbação; arenito com laminações plano-paralela; fácies heterolíticas de arenito fino e lamitos; arenito com intraclastos além de paleossolos. Foram identificados dois perfis de paleossolos, que apresentam estruturas pedogênicas, mosqueamento, nódulos de calcita, concreções de ferro e estruturas biogênicas, tais como bioturbações de invertebrados e rizólitos. Essas litofácies foram relacionadas a sucessões de natureza macroclásticas e microclásticas e atribuídas a elementos arquiteturais, como os depósitos *crevasse*, barras de acreção lateral, planícies de inundação e paleossolos.

Palavras-chave: Formação Itapecuru; Paleossolos; Sucessões continentais.

## Abstract

MENEZES.N, Mauricius. **Alluvial paleosols and architectural elements of the Itapecuru Formation in Itapecuru-Mirim region.** 2016. xii, 48 f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The Itapecuru Formation outcrops in wide area of the state of Maranhão, particularly in the valley of the Itapecuru river, which is characterized by fine sandstones very fine intercalated mudstone thin recording significant changes in lithofacies, deposited in alluvial and fluvial-lacustrine environments. The Itapecuru Formation as well as other geological units that outcrop in Brazilian intracontinental basins, have important paleosol profiles in this study will be used as alluvial architectural element and physical bodies of local and regional correlation, thus aiding in the computation of sedimentation rates, variation in subsidence rates and ratio profiles. The aim of this study is to define the architectural elements of the Itapecuru Formation and characterization of paleosol horizons. The characterization of lithofacies and paleosol profiles were performed in outcrops along the Itapecuru river, located in the Itapecuru Mirim region. Identified lithofacies were red mudstone with bioturbation; sandstone with plane-parallel laminations; facies heterolític fine sandstone and mudstone; sandstone with intraclasts beyond paleosols. paleosoils two profiles have been identified that exhibit pedogenic structures, mottling, calcite nodules of iron concretions and biogências structures such as bioturbation of invertebrates and rhizoliths. These lithofacies were related to nature probate macroclástico and microclástico and assigned to architectural elements such as *crevasse* deposits, lateral accretion bars, floodplains and paleosols.

Key-Words: Itapecuru Formation; Paleosol; Succession continental

## Lista de figuras

<b>Figura 1:</b> Mapa de localização da área de estudo.....	03
<b>Figura 2:</b> Elementos arquiteturais formados dentro de canais fluviais (Miall,1988b)	08
<b>Figura 3:</b> Elementos arquiteturais externos aos canais fluviais (Miall, 1996).....	08
<b>Figura 4:</b> Diagrama esquemático mostrando os paleossolos que podem se formar numa espessa sucessão vertical, dependendo das taxas de acumulação sedimentar, pausa e suas durações: a) paleossolos intensamente intemperizados formado em superfície discordante pelo longo tempo de estabilidade da paisagem; b) sequencia espessa de múltiplos paleossolos formados em depósitos de planícies de inundaçã, pelo fato da erosão ser insignificante e a sedimentação constante; c) Uma moderada a longa pausa na sedimentação relacionada com a incisão de vale produzindo um paleossolo que mais desenvolvido porem com menor grau de intemperismo.....	10
<b>Figura 5:</b> Localização da bacia do Parnaíba (CPRM,1995)	11.
<b>Figura 6:</b> Limites Geológicos da Bacia do Parnaíba (Schobbenhaus et al., 1981).....	13.
<b>Figura 7:</b> Diagrama estratigráfico da bacia do Parníba ( Góes & Feijó, 1994).....	15
<b>Figura 8:</b> Seção Geológica esquemática das Sequências paleozoicas da bacia do Parnaíba (ANP, 2000).....	17
<b>Figura 9:</b> Divisão Cretácea da bacia do Parnaíba.....	18
<b>Figura 10:</b> Perfil do afloramento Prata descrito próximo ao município de Itapecuru-Mirim –MA .....	19
<b>Figura 11:</b> Estrutura em bloco angulares a subarredondados, forte e de tamanho médio a grande e os pontos de coloração mais escuras são os revestimentos de oxido hidróxido de manganês.....	20
<b>Figura 12:</b> Mosqueamentos de coloração cinza clara (10Y 8/1) no horizonte Bt1.....	21.

<b>Figura 13:</b> Rizolitos em posição de vida ocorrentes no horizonte A sobre um horizonte E eluvial de coloração branca.....	22
<b>Figura 14:</b> Rizohalos verticais com ramificações laterais e cores de oxidação, presentes no horizonte A. ....	22
<b>Figura 15:</b> Fragmentos de conchas de gastrópodes e bivalvios contidos no horizonte E.....	23
<b>Figura 16:</b> Arenito muito fino a fino com presença de intraclastos de lama.....	24.
<b>Figura 17:</b> Afloramento Guanaré apresentando basculamento tectônico para sudoeste com mergulho de 16°.....	25
<b>Figura 18:</b> Intercalações milimétricas de arenitos muito finos a finos com lamitos avermelhados em contexto de planície de inundação.....	25
<b>Figura 19:</b> Deformação por carga nos sedimentos argiloso, gerando dobras convolutas.....	26
<b>Figura 20:</b> Igarapé Jundiáí onde se encontra o afloramento de estudo.....	27
<b>Figura 21:</b> Deposito sedimentar com as divisões das camadas em vermelho. A camada superior de coloração esbranquiçada decorrente da lixiviação atual, camada intermediária com superfície erosiva e a camada inferior em contato com os paleossolos.....	28
<b>Figura 22:</b> <b>Figura 22:</b> Laminação plano-paralela de espessura milimétrica observada na camada inferior, indicando fluxo trativo de alta energia.....	29
<b>Figura 23:</b> Bioturbação com formato tabular e orientação vertical ao estrato.....	30
<b>Figura 24:</b> Gastrópodes de tamanho milimétrico presentes em toda camada inferior.....	30
<b>Figura 25:</b> Perfil do afloramento Jundiáí caracterizado pela inter-relação entre paleossolos e depósitos sedimentares.....	31
<b>Figura 26:</b> A linha pontilhada delimita o contato erosivo entre o depósito sedimentar e o horizonte eluviação do paleossolo, já a linha em vermelho marca o contato transicional irregular entre os horizontes E e Bt1. Ainda nesta foto o horizonte transicional (Bt1) apresenta estruturas pedogênicas em blocos.....	32

<b>Figura 27:</b> Mosqueamentos de coloração cinza-claro decorrente da atividade biológica e processo de lixiviação nos paleossolos.....	33
<b>Figura 28:</b> Rizólito, em posição de vida, relacionado ao horizonte superficial A.....	34
<b>Figura 29</b> <b>Figura 29:</b> Bioturbações de morfologia tabular e orientação vertical, presentes no horizonte Bt2.....	34.
<b>Figura 30:</b> Atividade biológica no arenito muito fino do afloramento Pequí, com orientação vertical e oblíqua e morfologia tabular.....	35
<b>Figura 31:</b> Diques clásticos preenchidos por areia muito fina e direção noroeste.....	36
<b>Figura 32:</b> Depósito sedimentar em contato erosivo com os horizontes de paleossolos.....	37
<b>Figura 33:</b> Elemento arquitetural Barra de acreção lateral (LA) segundo Miall (1996), presente no afloramento Barreira.....	38.
<b>Figura 34:</b> Elemento Arquitetural lençol de areia (LS) segundo Maill (1996), afloramento Jundiá.....	39
<b>Figura 35:</b> Afloramento Pequi representado pelo elemento arquitetural canal de Crevasse (CR) segundo Miall (1996).....	40.
<b>Figura 36:</b> Elementos finos da planície de inundação (FF) segundo Miall (1996) .....	41
<b>Figura 37:</b> Elementos Paleossolos presente em grande parte dos afloramentos ao longo do rio Itapecuru. ....	42
<b>Figura 38:</b> Bloco diagrama representativo do sistema fluvial meandrante mostrando a contextualização dos elementos arquiteturais em relação ao ambiente de deposição.....	42.
<b>Figura 39:</b> Diagrama de frequência dos elementos arquiteturais pela espessura e distância percorrida total.....	43

## Lista de Tabelas

<b>Tabela 1:</b> Fácies fluviais de Miall (1996).....	05
<b>Tabela 2 :</b> Elementos arquitetuais de Miall(1998b).....	07
<b>Tabela 3:</b> Superfícies hierárquicas (Miall 1988b).....	07

## Sumário

Agradecimentos .....	vi
Resumo .....	viii
<i>Abstract</i> .....	ix
Lista de figuras .....	x
Lista de tabelas .....	xi
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	01
<b>1.1 Apresentação</b> .....	01
<b>1.2 Objetivos</b> .....	02
<b>1.3 Materiais e Métodos</b> .....	02
<b>1.4 Fundamentos conceituais</b> .....	04
1.4.1 Litofácies.....	04
1.4.2 Elementos Arquiteturais .....	06
1.4.3 Paleossolos .....	09
<b>2 GEOLOGIA REGIONAL E ESTRATIGRAFIA</b> .....	11
<b>2.1 Generalidades</b> .....	11
<b>2.2 Embasamento, Arcabouço estrutural e Eventos magmáticos</b> .....	12
<b>2.3 Estratigrafia da bacia do Parnaíba</b> .....	14
<b>2.4 Tectônica e sedimentação</b> .....	16
<b>3 FORMAÇÃO ITAPECURU</b> .....	17
<b>3.1 Caracterização litoestratigráfica</b> .....	17
<b>4 ANÁLISE DE LITOFÁCIES E DESCRIÇÃO DOS PALEOSSOLOS</b> .....	18
<b>4.1 Afloramento Prata</b> .....	18
<b>4.2 Afloramento Guanaré</b> .....	22
<b>4.3 Afloramento Jundiá</b> .....	25
<b>4.4 Afloramento Pequí</b> .....	33
<b>4.5 Afloramento Barreiras</b> .....	35
<b>5 ELEMENTOS ARQUITETURAS ALUVIAIS</b> .....	36
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	43
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	1v

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Apresentação

O intervalo Albiano-Cenomaniano da Bacia do Parnaíba registra a fase tectonicamente conhecida como Pós-rifte da margem continental brasileira, durante o Cretáceo. Este intervalo é marcado por diversos eventos transpressivos-transtrativos nas bacias de margem equatorial, dentro de uma fase de tectônica transformante, que provavelmente controlou sua sedimentação.

Na Bacia do Parnaíba, o intervalo Albiano-Cenomaniano é caracterizado pela Formação Itapecuru, que também é registrada nas bacias de Barreirinhas e São Luís. A formação é marcada por arenitos, lamitos avermelhados e paleossolos que são relacionados a contextos paleodeposicionais fluviais e transicionais. Além disso, a Formação Itapecuru, que alcança 750m na Bacia do Parnaíba e 1.600m na bacia de São Luis, guardam uma heterogenia história estratigráfica.

Nas bacias brasileiras os paleossolos tem sido descrito em sucessões sedimentares parálicas, marinhas marginais e continentais. Nas sucessões continentais, são frequentes em sistemas lacustre, aluvial (Kraus, 1997), palustre (Alonso-Zarza, 2003) e eólico (Mountney, 2006). Nesses sistemas, as taxas de deposição e a inter-relação entre sedimentação, pedogênese e erosão determinam o tipo de paleossolo formado e seu grau de desenvolvimento. Conseqüentemente, os paleossolos podem auxiliar na interpretação da história deposicional e nos padrões de erosão e, principalmente, no conhecimento dos fatores autogênicos e alogênicos que afetam a configuração dos sistemas deposicionais nas bacias sedimentares.

A Formação Itapecuru, assim como outras formações das bacias intracontinentais brasileiras, apresentam importantes camadas de paleossolos, que em estudos estratigráficos, horizontes específicos de paleossolos são utilizados como elementos físicos de correlação local a regional e, podem auxiliar no computo de taxas de sedimentação (Kraus e Bown, 1986).

Assim, o presente trabalho é uma contribuição ao conhecimento geológico desta bacia, através do reconhecimento de litofácies e tipos de paleossolos (*pedotypes* segundo Retallack, 1994), caracterização dos elementos arquiteturais (Miall,1996) e geometria dos corpos geológicos da unidade, auxiliando assim, ao estabelecimento da organização estratigráfica e desenvolvimento de modelos análogos a sistemas aluviais.

## **1.2 Objetivos**

O presente estudo tem como objetivo usar dados de afloramento para identificar e caracterizar horizontes de paleossolos, descrição de litofácies e interpretação do sistema deposicional. A integração dos dados irá contribuir para caracterizar os elementos arquiteturais e geometria dos corpos geológicos, aumentando a resolução e auxiliando o estabelecimento da organização estratigráfica de depósitos aluviais.

## **1.3 Materiais e Métodos**

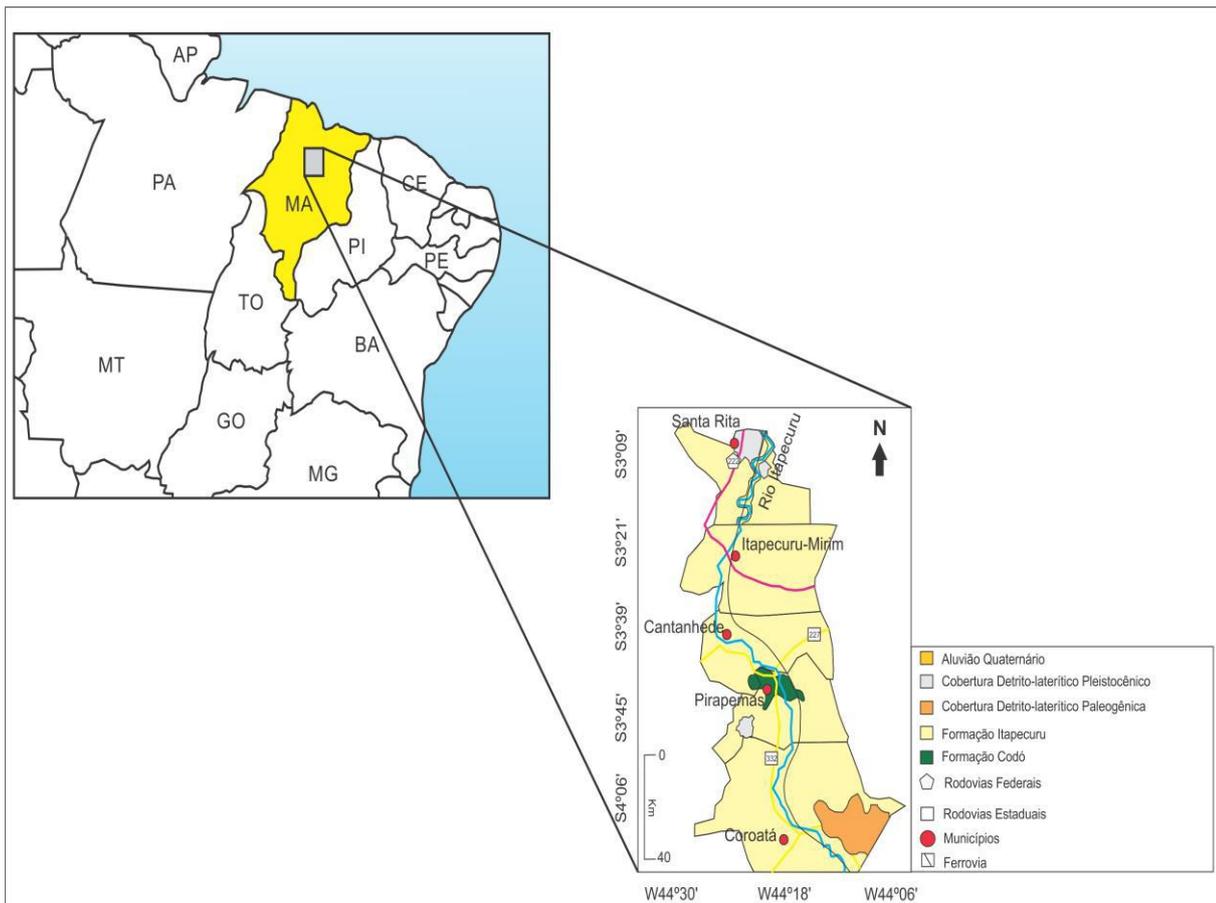
A Formação Itapecuru, apresenta dois objetos de estudos (Paleossolos e Sedimentos) que serão descritos separadamente em função dos diferentes métodos abordados para cada tema. As fases de elaboração dos dados serão divididas em duas etapas e sucessivamente os resultados serão confrontados, comparados para conseguir o objetivo conclusivo.

A primeira etapa do ofício principiou na aquisição dos dados de campo em que foram feitos levantamentos de seções estratigráficas de escala 1:1 executadas em afloramentos que apresentam melhores exposições rochosas ao longo do rio Itapecuru, município de Itapecuru-Mirim, estado do Maranhão (Figura 1).

Os sedimentos foram descritos segundo a tabela de classificação de litofácies de Miall (1996). Nesta etapa as seções mono, bi e tridimensionais, serviram para caracterizar os elementos arquiteturais aluviais da formação.

As descrições dos paleossolos foram executadas de forma concomitante com as dos sedimentos, em mesma seção estratigráfica. A discriminação dos

paleossolos foram os diagnósticos dos diferentes tipos de solo (pedotypes segundo Retallack,1994), assim como o estabelecimento das relações existentes entre os tipos de paleossolos e os sedimentos (Retallack,1990). Adicionalmente as descrições de campo, foram coletadas amostras para análises laboratoriais de petrografia, geoquímica e mineralógicas.



**Figura 1:** Mapa de localização da área de estudo (modificado de IBGE,2000)

## **1.4 Fundamentos conceituais**

### **1.4.1 Litofácies**

O termo litofácies é definido por Miall (1999) como uma unidade de rocha que pode ser definida e distinguida das demais por sua geometria, litologia, estrutura sedimentares, padrão de paleocorrente e conteúdo fossilífero. Cada litofácies representa um evento deposicional individual. Estas são agrupadas em associações de litofácies, as quais são caracterizadas de um determinado ambiente deposicional.

Uma associação de fácies consiste em um agrupamento de fácies geneticamente relacionadas, cujas características e inter-relações permitem que se possa interpretar o ambiente deposicional (Miall,1999)

As descrições abrangem tamanho, esfericidade, arredondamento, grau de seleção e composição dos grãos, características das estruturas sedimentares presentes e medição das direções de paleocorrente.

Para facilitar a comunicação técnica, será aplicado o conceito da nomenclatura de litofácies de Miall (1996) que se fundamenta na caracterização dos aspectos litológicos e estruturas sedimentares. A Tabela 1 apresenta esta classificação de litofácies com interpretações para sistemas fluviais

**Tabela 1:** Fácies fluviais de Miall (1996).

CÓDIGO	FÁCIES	ESTRUTURAS SEDIMENTARES	INTERPRETAÇÃO
Gmm	Cascalho matriz-suportado, maciço	Maciça, gradação fraca	Fluxo de detritos plástico (alta tensão, viscoso)
Gmg	Cascalho matriz-suportado	Gradação inversa ou normal	Fluxo de detritos pseudoplástico (baixa tensão, viscoso)
Gci	Cascalho clasto-suportado	Gradação inversa	Fluxo de detritos rico em clastos (alta tensão) ou debris flow pseudoplástico (baixa tensão)
Gcm	Cascalho clasto-suportado	Maciça	Fluxo de detritos pseudoplástico (carga de fundo inercial, fluxo turbulento)
Gh	Cascalho clasto-suportado, com acamamento fraco	Acamamento horizontal, imbricação	Formas de leito longitudinais, depósitos residuais e de peneiramento
Gt	Cascalho estratificado	Estratificação cruzada acanalada	Preenchimento de pequenos canais
Gp	Cascalho estratificado	Estratificação cruzada planar	Formas de leito transversais, crescimento deltáico de antigos remanescentes de barras
St	Areia fina a muito grossa, pode conter cascalhos	Estratificação cruzada acanalada (individual ou agrupada)	Dunas de crista sinuosa e linguóide (3D)
Sp	Areia fina a muito grossa, pode conter cascalhos	Estratificação cruzada planar (individual ou agrupada)	Formas de leito transversais e linguóides (2D)
Sr	Areia muito fina a grossa	Laminação cruzada de pequeno porte	Ondulações (regime de fluxo inferior)
Sh	Areia muito fina a grossa, pode conter cascalhos	Laminação horizontal, lineação-de-partição ou de corrente	Fluxo de camadas planas (fluxo crítico)
Sl	Areia muito fina a grossa, pode conter cascalhos	Estratificações cruzadas de baixo ângulo (< 15°)	Preenchimento de escavações (scours), antidunas.
Ss	Areia fina a muito grossa, pode conter cascalhos	Escavações rasas e largas	Preenchimento de escavações.
Sm	Areia fina a grossa	Maciço ou laminação fraca	Depósitos de fluxos gravitacionais de sedimentos
Fl	Areia, silte e lama	Laminação fina, ondulações muito pequenas	Depósitos de planície de inundação, de canais abandonados, ou de final de inundação / inundação atenuada
Fsm	Silte e lama	Maciço	Pântanos ou canais abandonados
Fm	Lama e silte	Maciço, gretas de dessecação	Depósitos de planície de inundação, de canais abandonados e de recobrimento solos.
Fr	Lama e silte	Maciço, raízes e bioturbação	Solo incipiente, camada de raízes
C	Carvão, lama carbonosa	Plantas e filmes de lama	Depósitos de brejos vegetados
P	Paleossolo carbonático (calcita e siderita)	Feições pedogenéticas: nódulos, filamentos.	Solo com precipitação química

### 1.4.2 Elementos arquiteturais

Os elementos arquiteturais são litossomas caracterizados por sua geometria externa e interna, associação de fácies e escala, representando um processo particular ou conjunto de processos atuando em um sistema deposicional.

Miall (1988b) propôs uma nova forma de análise e codificação da terminologia descritiva de depósitos aluviais, denominada de “Método de Análise de Elementos Arquiteturais”. O principal fundamento incide na identificação de superfícies de descontinuidade física e que subdivide uma sequência aluvial em pacotes geneticamente relacionados e hierarquicamente estruturados, conhecidos como elementos arquiteturais (Tabela 2, Figura 2).

A partir desta ideia, foram sugeridos oito elementos arquiteturais básicos internos aos canais fluviais (Tabela 2) e externos aos canais associados a depósitos de interflúvios (Miall,1996) (Figura 3).

Miall(1988b), classificou oito ordens hierárquicas para superfícies descontinuas (Tabela 3), que são entidades como uma interrupção ou alteração no processo de sedimentação, processos erosivos com ou não consequências temporais.

Brierley (1996) define que uma assembleia de elementos arquiteturais determina o estilo fluvial; infere sobre o ambiente deposicional; tem o controle sobre o arranjo de empilhamento dos elementos; faz o modelamento preditivo de interconectividade entre as unidades deposicionais; e indica a geometria do possível reservatório.

Tabela 2: Elementos arquiteturais de Miall(1998b)

CÓDIGO	SIGNIFICADO	ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES	COMENTÁRIOS
GB	Barras conglomeráticas	Gm, Gp e Gt	Corpos tabulares originados da migração de barras longitudinais ou transversais podem ter dezenas e centenas de metros, são frequentemente cortados por superfícies de 2º ordem.
SG	Depósitos de fluxos de gravidade	Gmm, Gmg, Gci e Gcm	Corpos lobulares alongados ou lençóis, geralmente ocorrem intercalados com elementos (GB), a espessura varia de 0,5 a 3m, a superfície basal irregular, mas não erosiva (paleo-relevo).
SB	Formas de leito arenosas	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se e Sh	Corpos tabulares ocorrem na base de canais, no topo de macroformas ou em depósitos de ruptura de diques marginais de canais.
LS	Camada de arenito laminado	Sh e Sl	Corpos tabulares, é uma variedade de (SB), indica regime de fluxo superior comum em rios efêmeros, espessura varia de 0,4 a 2,5m, com extensão lateral podendo alcançar mais de 100m.
OF	Depósitos finos de planície de inundação	Fm e Fl	Corpos em lençol, refletindo acreção vertical (planícies de inundação ou geometria em cordão com o contato basal côncavo para cima (canais abandonados).
HO	<i>Hallow</i> (sem tradução)	Gh e Gt (na base), St e Sl (no topo)	Pode ser confundido com pequenos canais devido a sua forma côncava para cima, diferem-se por serem limitados por superfícies de 4º ordem. Sua formação é controversa, acredita-se que seja formado por processos de escavação profundos no ponto de convergência de canais.
DA	Barra de acreção a jusante	Arenosas	Geometria similar a (SB), se distingue pela presença de várias superfícies internas de 3º ordem e o limite superior (4º ordem) convexo para cima. A direção de mergulho das superfícies (1º, 2º e 3º ordem) é paralela ou subparalela a direção de fluxo, indicando crescimento à jusante da barra.
LA	Barra de acreção lateral	Arenosas	Bastante similar a (DA) diferindo-se pela orientação, que dá a direção de desenvolvimento das superfícies limitrofes, sendo em alto ângulo com a direção da paleocorrente, sugerindo crescimento lateral da barra.
CH	Canais	Arenosas e cascalhosas	Limitados, na base, por superfícies erosivas planas ou côncavas pra cima, ocorrem em qualquer sistema aluvial. Podem ser preenchidos pelos demais elementos arquiteturais.

Tabela 3: Superfícies hierárquicas (Miall 1988b)

ORDEM	FORMA	CARACTERÍSTICAS	SIGNIFICADO	TEMPO DE DEPOSIÇÃO
1º	Plana ou côncava	Limita estratos cruzados do mesmo tipo com pouca ou nenhuma erosão.	Separa seqüências cíclicas de pequena escala mostrando continuidade na sedimentação.	Algumas horas ou dois dias.
2º	Plana ou côncava	Limita cosets ou associações de fácies geneticamente relacionadas; evidências de erosão.	Variações na direção ou condições do fluxo sem parada significativa de sedimentação	De alguns dias e alguns meses.
3º	Erosiva com ângulo baixo (<15º)	Estende-se de cima para baixo separando associações similares de fácies; intraclastos e seixos associados.	Mudança no estágio ou na orientação da forma de leito, provocada por processos sazonais de longa duração.	De um ano a dezenas de anos.
4º	Plana ou convexa p/cima	Separa em baixo ângulo, associações de fácies com orientações diferentes.	Limite superior de macroformas	Centenas de anos
5º	Plana ou côncava p/cima	Bem marcada por estruturas de corte e preenchimento associada a depósitos basais tipo lag.	Limita complexos de preenchimento de canais.	Milhares de anos
6º	Irregular	Divide subdivisões estratigraficamente mapeáveis	Separa grupos de canais e paleovales	Centenas de milhares de anos
7º	Irregular	Regionalmente extensas, encerra espessas seqüências de um sistema deposicional.	Separa eventos alogenéticos	Milhões de anos
8º	Irregular	Regionalmente extensas, encerra espessas seqüências de um sistema deposicional.	Marca desconformidades continentais ou eventos geológicos de escala global.	Milhões de anos

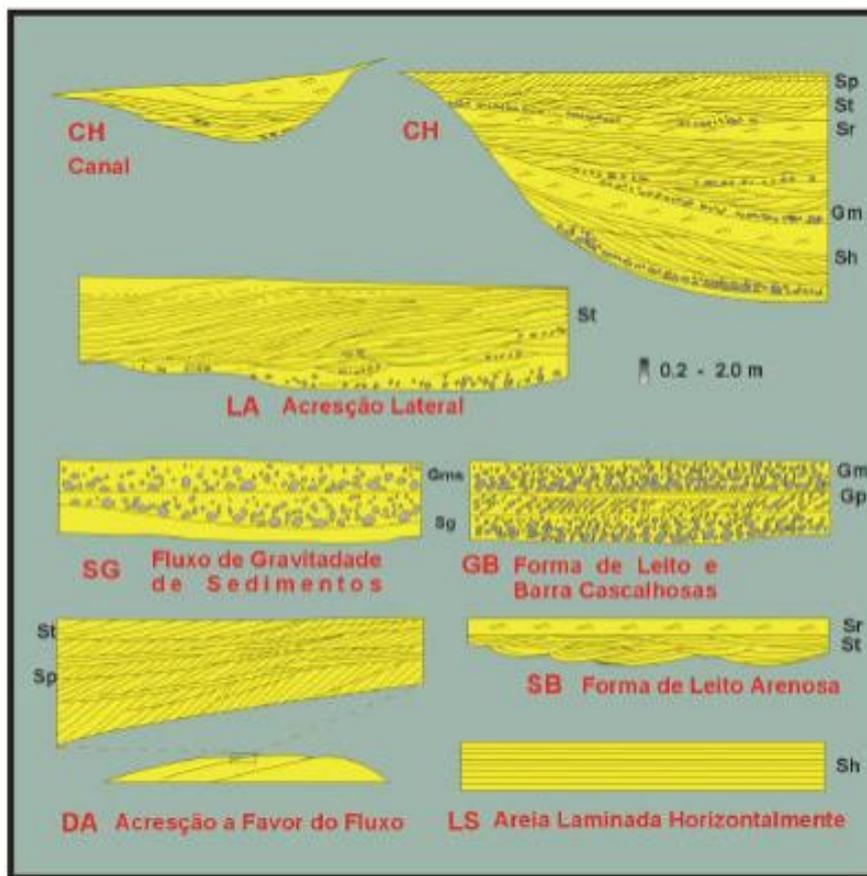


Figura 2. Elementos arquiteturais formados dentro de canais fluviais (Miall, 1988b)

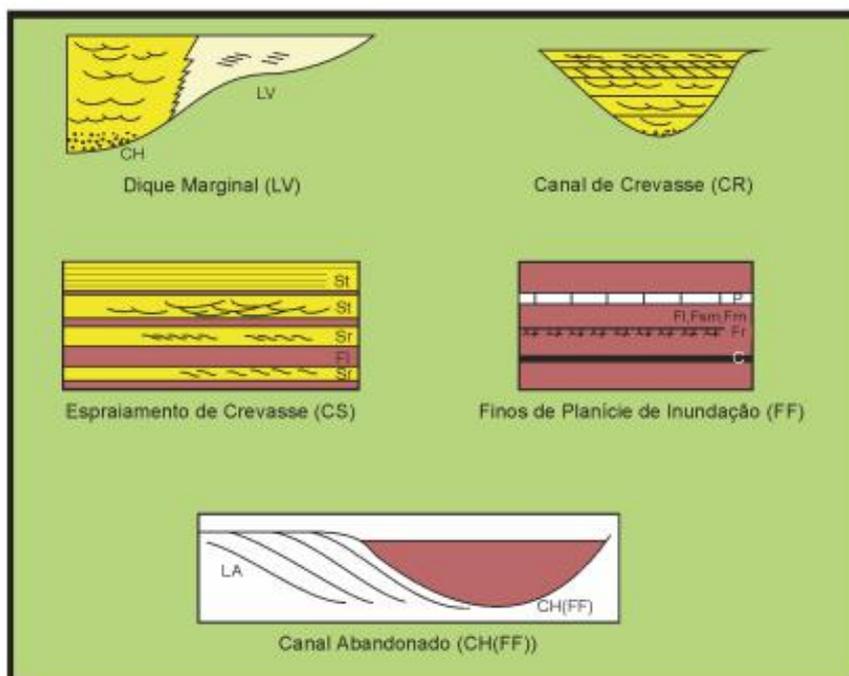


Figura 3. Elementos arquiteturais externos aos canais fluviais (Miall, 1996)

### 1.4.3 Paleossolos

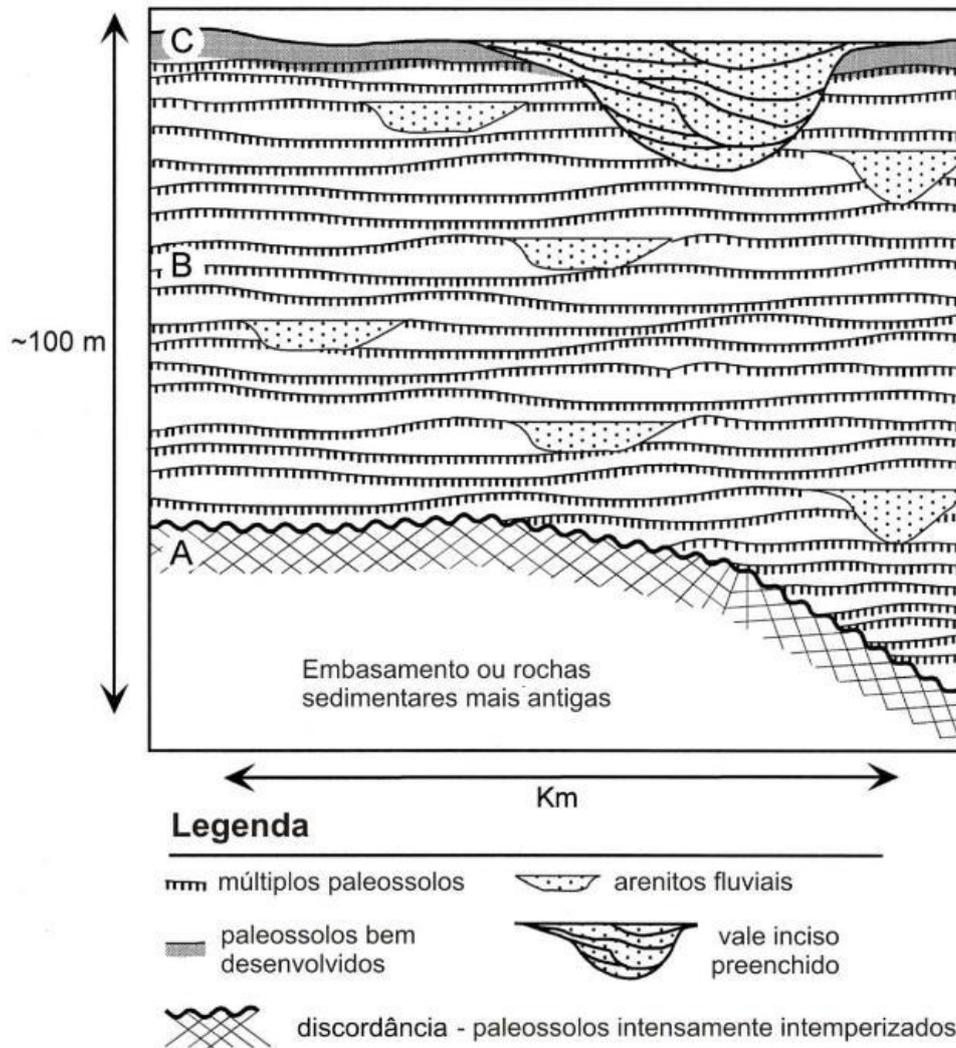
Os paleossolos ou solos fosseis consistem em solos que se formaram em uma paisagem do passado; formados por consequência de modificações físicas, biológicas e químicas de sedimentos ou rochas expostas na superfície da terra. A maioria dos paleossolos são encontrados em rochas sedimentares, e, embora os primeiros estudos sejam em registros do quaternário, eles são comumente reconhecidos em estratos tão antigos como Pré-Cambriano (Kraus,1999)

Para Retallack (1990), os paleossolos se formam através de processos biológicos, físicos e químicos, idênticos aos processos que agem na formação dos solos atuais e que a grande diferença entre ambos é que os paleossolos apresentam horizontes com concentração de carbonato de cálcio, sílica, alumínio e óxido de ferro. Ainda segundo Retallack (1999) cada paleossolo representa um ambiente diferente, ou seja, cada paleossolo foi formado sob condições distintas.

O solo do passado tem grandes implicações sedimentológicas e estratigráficas, podem ser utilizados como elementos físicos de correlação local a regional e, podem auxiliar no computo de taxas de sedimentação (Kraus e Brown, 1986), variação nas taxas de subsidência bacinal e relação entre perfis e superfícies topográficas. Em escala de afloramentos, as variações nas propriedades pedogênicas podem resultar de diferenças nas taxas de sedimentação, granulometria dos depósitos e posição na vertente (pedifácies de Brown e Kraus, 1986). Enquanto as diferenças nos tipos de paleossolos em escala de análise de bacia podem ser atribuídas a variações nas taxas de sedimentação, clima, tectônica e eustasia (Kraus,1999).

Cumprindo ainda ressaltar que todos os elementos para a formação de solos devem ser aplicados em qualquer estudo paleopedológico os quais não ficam restritos apenas a atuação de processos sedimentares. Kraus (1999) aponta que o tipo de paleossolo encontrado no registro sedimentar depende da velocidade de sedimentação, se a sedimentação é constante ou descontínua e, se a pausa ocorre, qual a sua duração. O acúmulo sedimentar varia com o tempo, produzindo vários tipos de paleossolos de baixo para cima em uma sucessão vertical (Figura 4). Neste entendimento, verifica-se que um

paleossolo aluvial é formado a partir da sobreposição de processos sedimentares e pedológicos.



**Figura 4** – Diagrama esquemático mostrando os paleossolos que podem se formar numa espessa sucessão vertical, dependendo das taxas de acumulação sedimentar, pausa e suas durações: a) paleossolos intensamente intemperizados formado em superfície discordante pelo longo tempo de estabilidade da paisagem; b) sequência espessa de múltiplos paleossolos formados em depósitos de planícies de inundação, pelo fato da erosão ser insignificante e a sedimentação constante; c) Uma moderada a longa pausa na sedimentação relacionada com a incisão de vale produzindo um paleossolo que mais desenvolvido porém com menor grau de intemperismo.

## 2 GEOLOGIA REGIONAL E ESTRATIGRAFIA

### 2.1 Generalidades

A Bacia do Parnaíba é uma bacia de interior cratônico, localizada na região nordeste do território brasileiro, ocupando uma área de 600.000km<sup>2</sup>. Distribui-se pelos estados do Piauí, Maranhão, Pará, Tocantins, Goiás e Ceará (Figura 5). Apresenta forma eplíptica, com eixo de maior alongação orientado para NE-SO com um comprimento de aproximadamente 1000km. Em seu depocentro, a espessura da coluna sedimentar atinge cerca de 3.500m (Vaz et al.,2007)

A Bacia do Parnaíba ou Bacia do Maranhão, foi classificada por Figueiredo e Raja Gabaglia (1986) como poligenética, iniciando-se com fraturas interiores continentais, durante o Cambro-Ordoviciano, passando para o estágio de sinéclise, a partir do Siluriano. Sua coluna estratigráfica é constituída por sedimentos paleozoicos, mesozoicos e cenozoicos.



**Figura 5:** Localização da bacia do Parnaíba (CPRM,1995)

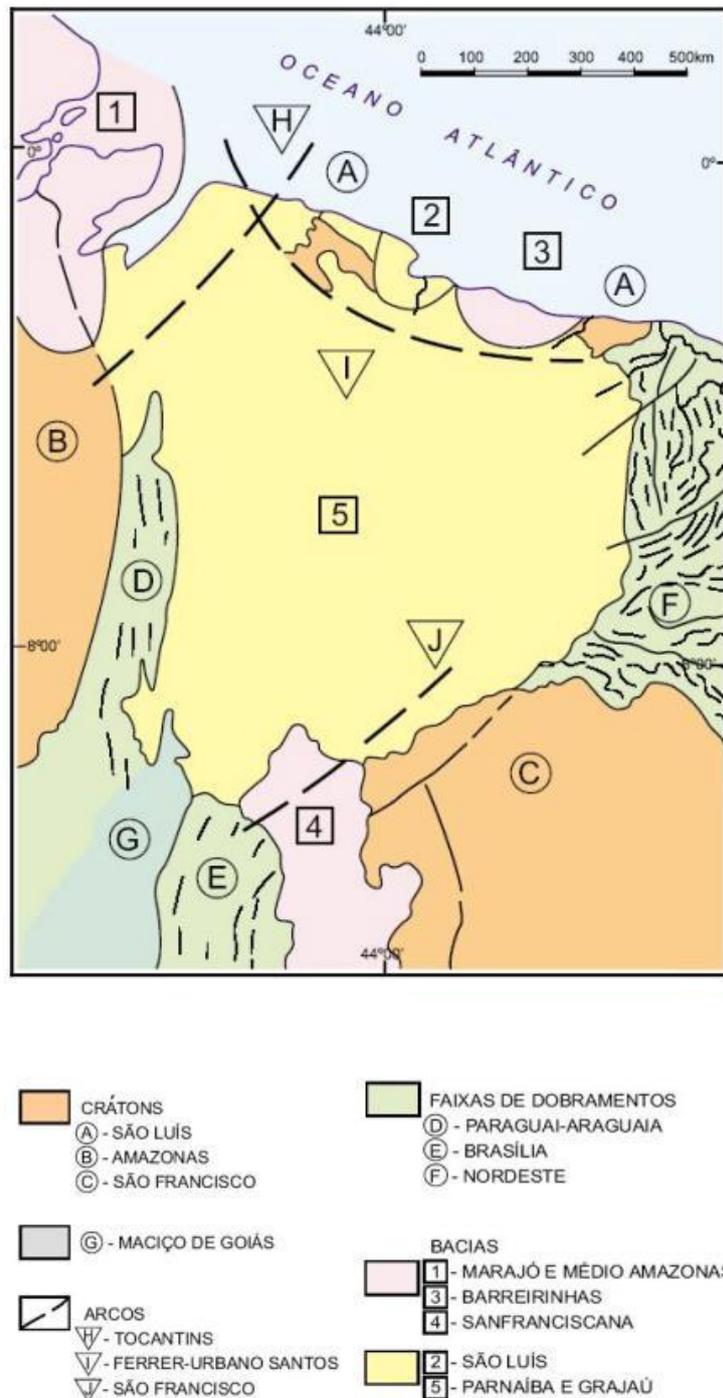
## **2.2 Embasamento, arcabouço estrutural e eventos magmáticos**

Os limites com o embasamento são: ao norte pelo Cráton São Luís; a oeste pelo Cráton do Amazonas, a faixa de dobramentos Paraguai-Araguaia, e o Maciço de Goiás; ao sul pela Faixa de dobramentos Brasília, e a leste pelo Craton São Francisco e pela faixa de Dobramentos Nordeste (Figura 6).

A compartimentação estrutural da Bacia do Parnaíba é dividida em três limites, que são: a nordeste pelo Arco de Tocantins que a separa da Bacia de Marajó e Amazonas; a sul pelo Arco de São Francisco que a separa da bacia Sanfranciscana; e a norte pelo Arco Ferre-Urbano Santos separando-a das bacias costeiras de São Luís e Barreirinhas (Figura 6).

O evento magmático, preferencialmente básico, que afetou as bacias paleozoicas brasileiras teve início no Triássico (215 Ma), quando ocorreu o início da quebra continental entre os continentes Sul Americano e Africano (Almeida 1986, Thomaz-Filho *et al.* 2000). Esse magmatismo teve caráter intrusivo com a presença de diques e soleira de diabásio, e extrusivo com derrames de basalto. Este evento marcou o processo de rifteamento do super continente Gondwana e extravasou para as bacias paleozoicas do Paraná e Parnaíba e no continente Africano na Província Ígnea de Etendeka, na Namíbia (Siedner & Mitchell, 1976).

Considerando que na bacia do Parnaíba ocorreram boas rochas geradoras de hidrocarbonetos no Devoniano e no Permiano, o efeito das intrusões sobre essas rochas com conteúdo de matéria orgânica vem despertando interesse no meio científico, já que estudos geoquímicos indicam que a bacia não teve soterramento adequado para atingir temperatura de maturação e geração de petróleo. No entanto essas intrusões ígneas podem ter fornecido a temperatura necessária para geração.



**Figura 6:** Limites Geológicos da Bacia do Parnaíba (Schobbenhaus et al., 1981).

### 2.3 Estratigrafia da bacia do Parnaíba

A coluna estratigráfica da bacia do Parnaíba é caracterizada por 4 grupos que variam depósitos sedimentares do Siluriano ao Jurássico e a compartimentação sedimentar do Cretáceo é marcada por 3 formações: Grajau, Codó e Itapecuru. A natureza da sedimentação é predominantemente

siliciclástica, ocorrendo subordinadamente rochas evaporíticas, vulcânicas e carbonatos.

O **Grupo Serra Grande**, de idade Siluriana, é composto pelas Formações Ipu, Tianguá e Jaiacós. Encontra-se sobre o embasamento cristalino como uma inconformidade, ou sobre as formações Riachão e Mirador, também de forma discordante.

O **Grupo Canindé**, Mesodevoniano ao Missisipiano, é marcado pelas formações Itaim, Pimenteiras, Cabeças, Longá e Poti. Coloca-se sobre o Grupo Serra Grande ou como uma inconformidade sobre o embasamento na porção leste da Bacia.

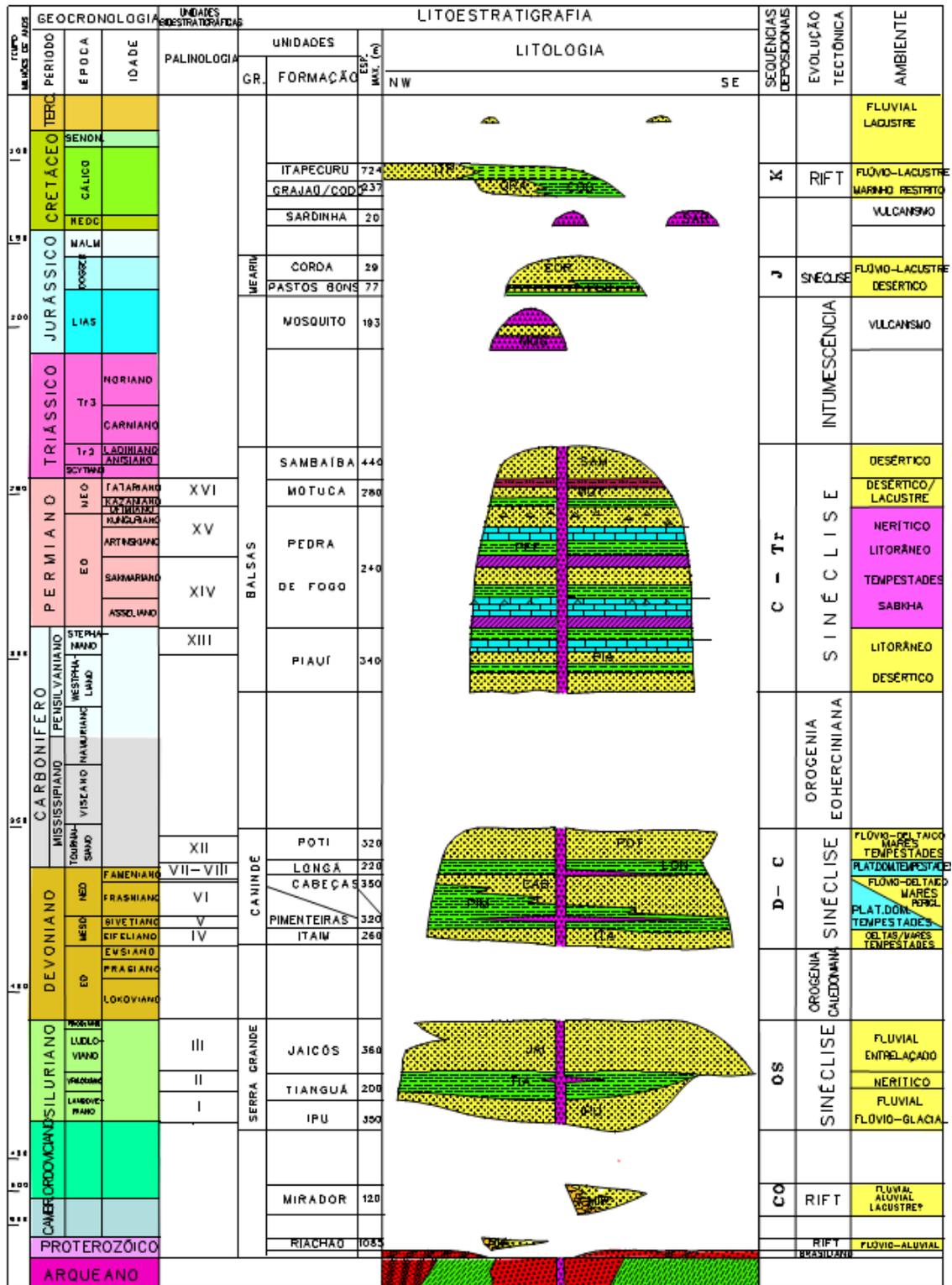
O **Grupo Balsas**, de idade Pensilvaniano ao Triássico, é caracterizado pela formação Piauí, Pedra de Fogo, Motuca e Sambaíba. Este grupo é encontrado sobreposto ao Grupo Canindé de forma discordante.

O **Grupo Mearim**, de idade Jurássica, é formado pela formação Pato Bons e Corda que ocorre sobreposto em discordância ao Grupo Balsas e sobre rochas vulcânicas.

As Formações **Grajaú, Codó e Itapecuru**, idade Cretácea, ocorrem na porção norte da bacia, depositados sobre as unidades Jurássicas.



# CARTA ESTRATIGRÁFICA DA BACIA DO PARNAÍBA



## 2.4 Tectônica e sedimentação

A sucessão sedimentar e magmática da bacia do Parnaíba pode ser disposta em cinco supersequências: Siluriano, Mesodevoniana-Eocarbonífera, Neocarbonífero-Eotriássica, Jurássica e Cretácea, que são delimitadas por discordâncias que se estendem por toda a bacia ou regiões extensas.

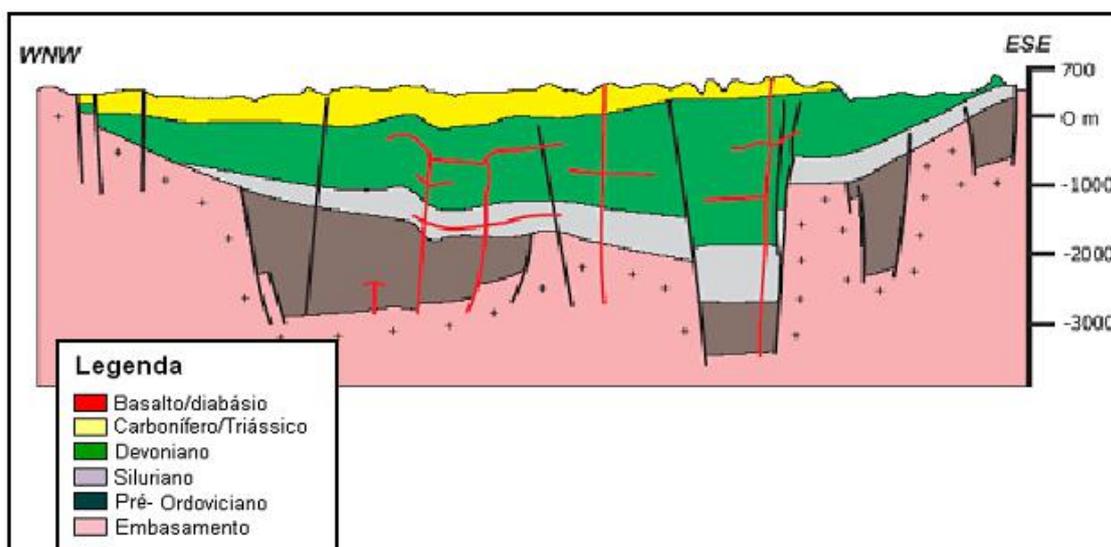
A **Sequência Siluriana** corresponde a um ciclo transgressivo-regressivo completo, está assentada sobre rochas proterozóicas ou sobre depósitos cambrianos. Corresponde litoestratigraficamente ao Grupo Serra Grande, com depósitos numa grande variedade de ambientes, de glacial proximal e glacio-fluvial, a leques ou frentes deltaicas (Caputo,1984). O início da sedimentação ocorreu como resultado de um grande sistema de falhas associadas a contração térmica ocorrida no final do ciclo Brasileiro e seu término é atribuído a orogenia Caledoniana, que gerou uma discordância regional.

A **Sequência Devoniana** caracteriza novo ciclo transgressivo-regressivo da bacia, está associada ao Grupo Canindé sobreposto a sequência Siluriana. A retomada da sedimentação está ligada a duas hipóteses, uma relacionada ao peso de carga de sedimentos preexistentes tenha causado subsidência e expansão da bacia (Góes & Feijó, 1994); outra é uma grande depressão termal no Ordoviciano. O fim da sedimentação é marcado pela agregação do supercontinente Pangéa ligado a orogenia Eo-herciniana (Góes & Feijó,1994)

A **Sequência Carbonífero-Triássica** é marcada pelo Grupo Balsas e coincidiu com as mudanças ambientais e tectônicas profundas nas regiões da bacia do Parnaíba, mares abertos com ampla circulação e clima temperado, condições prevaletentes até então, passaram a ser restritos, rasos e o clima quente e árido. Uma regressão de alcance mundial ocorrida no final do Permiano-início do Triássico (Caputo,1984), provavelmente causada pela progressiva desertificação e o fim dos mares epicontinentais dessas bacias. O término da sedimentação está relacionada com um soerguimento generalizado resultante da orogenia Gonduanides (Zalán, 1991).

A **Seqüência Jurássica** é constituída somente pela Formação Pasto Bons. A subsidência que culminou com essa deposição Jurássica dando origem o peso das rochas básicas, que se somou a carga sedimentar então existente. O final dessa fase sedimentar teria sido uma consequência das atividades tectônicas concernentes à abertura do Atlântico Equatorial.

A **Seqüência Cretácea** é caracterizada por uma rápida transgressão, seguida de uma regressão, que permitiu a implantação de um sistema continental. A seqüência é marcada pelas Formações Grajau, Codó e Itapecuru. Sua gênese está associada a movimentação tectônica ou ao processo de separação dos continentes sul-americano e africano. Em outras palavras, manifestaria a história do Oceano Atlântico nessa área (Rossetti *et al.* 2001 a).



**Figura 8:** Seção Geológica esquemática das Sequências paleozoicas da bacia do Parnaíba (ANP, 2000, modificado por Góes et al.,1993).

### 3 FORMAÇÃO ITAPECURU

#### 3.1 Caracterização litoestratigráfica

A Formação Itapecuru vem sendo descrita desde 1914, seu léxico estratigráfico vem sendo discutido entre pesquisadores ao longo dos anos. O

primeiro registro em 1914 por Lisboa denominou de “camada Itapecuru” os arenitos que afloravam ao longo do Rio Itapecuru, enquanto Campbell (1950) elevou-a para Formação Itapecuru os arenitos, siltitos e folhelhos discordantes a Formação Codó. Outros trabalhos abordaram os limites de contato superior com as unidades terciárias e as possíveis idades da formação. Rosseti (2001) a partir de estudos faciológicos e de Estratigrafia de Sequência, elevou a Formação Itapecuru à categoria de grupo (Figura 9)

IDADE		ESTRATIGRAFIA	
		ROSSETTI (2001)	ROSSETTI & TRUCKENBRODT (1997)
CRETÁCEO	CENOMANIANO/ MAASTRICHTIANO	S3	FORMAÇÃO CUJUPE
			FORMAÇÃO ALCÂNTARA
	ALBIANO	S2	UNIDADE INDIFERENCIADA
	NEO MESO EO		
APTIANO	S1	FORMAÇÕES CODÓ E GRAJAÚ	

**Figura 9:** Divisão Cretácea da bacia do Parnaíba (Rosseti,2001)

Mendes & Borghi (2005) reconhecem a formação Itapecuru como arenitos e argilitos, de origem fluvial e idade Albiana/Cenomaniana e o limite com a Formação Codó foi descrito como concordante. Em 2015, Menezes & Dal’Bó interpretam os depósitos da Formação Itapecuru como intercalações de sedimentos e paleossolos.

## 4 ANÁLISE DE LITOFÁCIES E DESCRIÇÃO DOS PALEOSSOLOS

### 4.1 Afloramento Prata

Coordenada: 3° 28’15”S / 44° 23’7”W

O afloramento localiza-se a seis quilômetros do município de Itapecuru-mirim, em direção a nascente do rio Itapecuru.

#### Litofácies (Ai) - Arenito fino com intraclastos

Esta camada apresenta 15 cm de espessura, com superfícies erosivas com profundidade de escavação até 5 cm. A maturidade composicional é moderada, com minerais de quartzo e esporços grãos de biotita. A maturidade textural é moderada, uma vez que ocorrem grãos com granulometria variando de muito fina a fina, grãos subangulosos a subarredondados e bem selecionados. As estruturas sedimentares são marcadas por intraclastos de lama (Figura 16), com diâmetro de 1 a 2,5 cm e laminações plano – paralelas pouco desenvolvidas e finas.

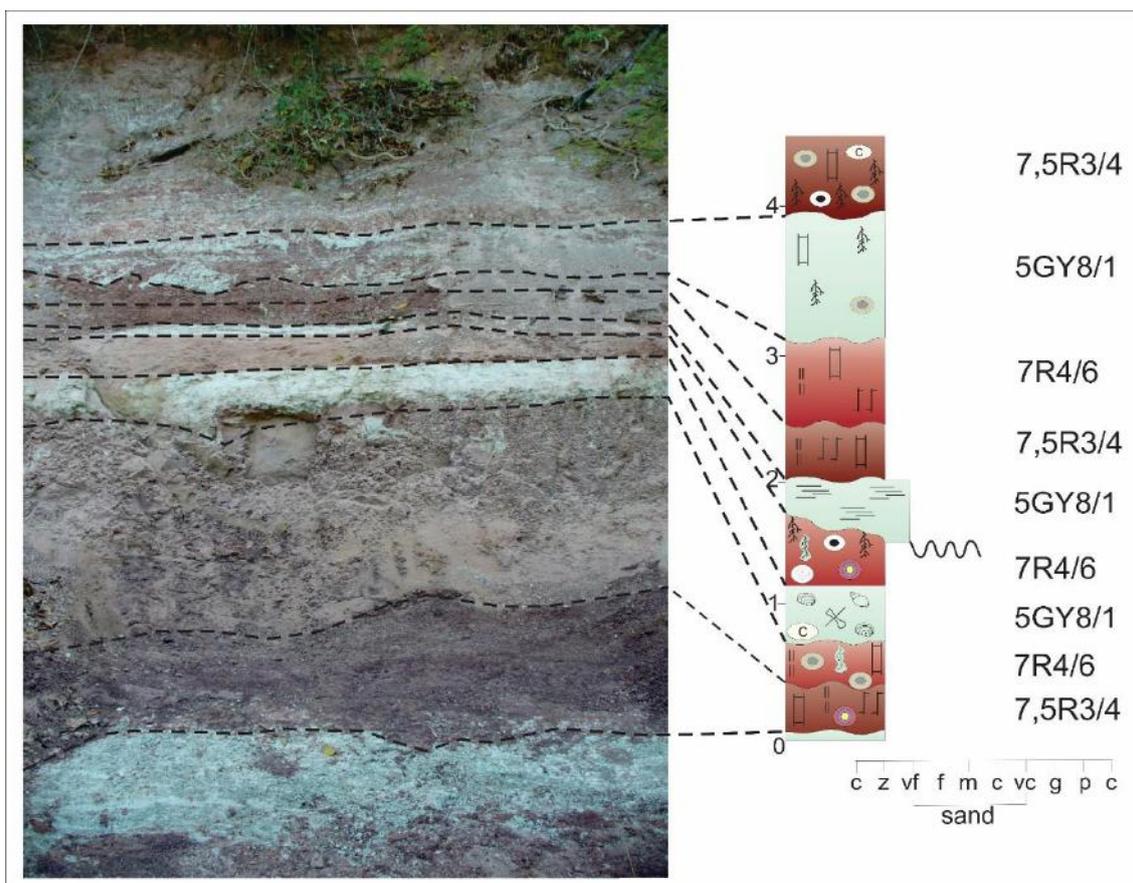


**Figura 16:** Arenito muito fino a fino com presença de intraclastos de lama

O perfil apresenta espessura de quatro metros e oitenta centímetros, com cimentação de fraca a média por carbonato de cálcio. As classificações dos horizontes do perfil foram atribuídas aos conceitos de Retallack (2001) em que os horizontes A e B são marcados por elevada atividade biológica, em que se

encontram marcas de raízes e bioturbações, o horizonte E eluvial apresentando migração das partículas finas, o horizonte Bt1 é transicional, Bt2 máxima expressão do horizonte, onde ocorre a concentração dos lixiviados e o nível C é o material inconsolidado.

As cores variam de vermelho (7,5R 4/6), vermelho escuro (7,5R 3/4) e cinza claro (5GY 8/1). A textura predominante é lamosa, ocorrendo também horizontes de areia muito fina, o contato entre os horizontes é transicional claro a onduladas. (Figura 10)



LEGENDA			
	Estrutura em bloco		Fragmentos de ossos
	Rizólito		Gastropodes
	Cerosidade		Bivalvíos
	Filmes de Manganês		Laminação plano paralela
	Nódulo de calcita	A, B	Horizontes de Paleossolos
	Rizohalos	10Y8/1	Munsell color (moist)
	Mosqueamento 10Y8/1		Contato erosivo
	Rizococoncreções		
	Concreções de Ferro		
	Halos de redução		

**Figura 10:** Perfil do afloramento Prata descrito próximo ao município de Itapecuru-Mirim, estado do Maranhão.

As estruturas pedogênicas variam de acordo com os horizontes, normalmente, exibem estruturas forte, tamanho médio a grande e blocos angulares a sub-angulares (Figura 11). Na superfície das estruturas pedogênicas podem ocorrer revestimentos de óxido hidróxido de manganês (Figura 11), revestimentos de carbonato de cálcio e cerosidade. Nos horizontes E, Bt1 e BT2, ocorrem nódulos de calcita, em sua maioria são vertículas alongadas, com frequência de 5 a 15 % de distribuição, o tamanho varia de 1,2 a 3,5 cm, são maciços, duros e irregulares. As concreções de ferro estão situadas nos horizontes de Bt1 são pequenos, duros, coloração preta, subesférico, de dimensões milimétricas e frequentes (Figura 11).



**Figura 11:** Estruturas em bloco angulares a subarredondados, forte e de tamanho médio a grande e os pontos de coloração mais escuras são os revestimentos de oxido hidróxido de manganês.

Os mosqueamentos são comuns nos horizontes E, Bt1 e Bt2, com coloração cinza clara (10Y 8/1) (Figura 12)



**Figura 12:** Mosqueamentos de coloração cinza clara (10Y 8/1) no horizonte Bt1.

São encontrados nos horizontes A rizolitos, em posição de vida, com tamanho variando de 2 a 8 milímetros de diâmetro e comprimento de 1 a 16 centímetros (Figura 13). Estes são abundantes, com estruturas tabulares e morfologia ramificada. Os rizohalos são habituais nas superfícies de contato entre o material do horizonte e os rizolitos. Os seus aspectos são circulares, tubulares ou alongados, em posição vertical, com a presença de ramificações laterais. Apresentam ainda três diferentes colorações de oxidação: centro da estrutura de cor amarela (5R 4/4); contorno médio de cor roxa (7,5R 7/6) e contorno externo contorno vinho (10YR 7/6) (Figura 14).



**Figura 13:** Rizolitos em posição de vida ocorrentes no horizonte A sobre um horizonte E eluvial de coloração branca.



**Figura 14:** Rizohalos verticais com ramificações laterais e cores de oxidação, presentes no horizonte A.

Há presença de evidências de atividade biológica, atestadas por fragmentos ósseos, conchas de gastrópodes bem como de bivalvios (Figura 15).



Figura 15: Fragmentos de conchas de gastrópodes e bivalvios contidos no horizonte E.

#### **4.2 Afloramento Guanáré**

Coordenadas: 3° 25'37" S / 44° 23' 36" W

Litofácies (Ri) – Arenitos intercalado com lamitos (Ritmitos) e laminações plano paralela

O ponto do afloramento Guanáré está localizado a quatro quilômetros e meio a montante do rio Itapecuru no município de Itapecuru-Mirim, estado do Maranhão. O afloramento apresenta estrutura tectônica que altera o posicionamento das camadas em 16° de mergulho para direção sudoeste (Figura 17).

A textura da rocha é marcada por intercalações de arenito muito fino a fino, bem selecionado e subarredondado, e lamitos de coloração avermelhada.

As espessuras das camadas variam entre três milímetros a cinco milímetros (Figura 18).

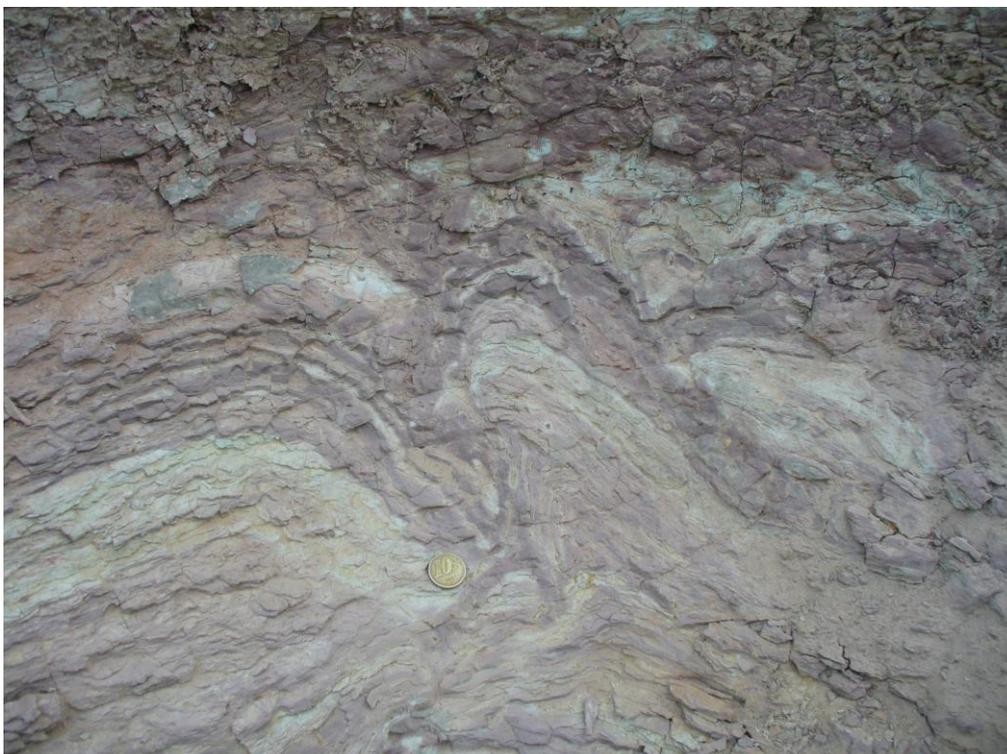
Outro aspecto importante é a presença de icnofósseis e deformação por carga devido a pressão da pisada do animal no terreno (Figura 19).



**Figura 17:** Afloramento Guanaré apresentando basculamento tectônico para sudoeste com mergulho de 16°.



**Figura 18:** Intercalações milimétricas de arenitos muito finos a finos com lamitos avermelhados em contexto de planície de inundação.



**Figura 19:** Deformação por carga nos sedimentos argiloso, gerando dobras convolutas.

### 4.3 Afloramento Jundiáí

Coordenada: 3° 31' 53" S / 44° 24' 30" W

O afloramento Jundiáí se encontra em um igarapé a onze quilômetros do afloramento Guanaré e dezesseis quilômetros do município de Itapecuru-Mirim. Neste ponto foi confeccionado um perfil de escala 1:1, mostrando a inter-relação entre os paleossolos e depósitos sedimentares (Figura 20).



**Figura 20:** Igarapé Jundiáí onde se encontra o afloramento de estudo

Litofácies (A1) – Arenito com laminação plano-paralela

O depósito sedimentar tem espessura de um metro e quarenta centímetros e foi subdividido em 3 camadas (inferior, intermediária e superior). A geometria dos corpos é tabular com uma superfície erosiva basal planar, rastreável lateralmente e com profundidade de escavação de dez centímetros na camada intermediária. A extensão da camada superior é interrompida pelo

desenvolvimento de solo atual com muitas raízes e matéria orgânica, responsável pela coloração clara decorrente de intensa lixiviação (Figura 21).



**Figura 21:** Depósito sedimentar com as divisões das camadas em vermelho. A camada superior de coloração esbranquiçada decorrente da lixiviação atual, camada intermediária com superfície erosiva e a camada inferior em contato com os paleossolos.

As camadas são constituídas por areia fina de composição quartzosa, bem selecionados e com grau de arredondamento de subanguloso a subarredondado. Os grãos apresentam revestimentos por oxi-hidróxido de ferro. Podem ainda ocorrer nódulos milimétricos de calcita com coloração esbranquiçada e duros.

A estrutura sedimentar observada foram laminações plano- paralelas de espessura entre um milímetro e dois milímetros. As laminações são mal desenvolvidas e apresentam lateralidade limitada (Figura 22).



**Figura 22:** Laminação plano-paralela de espessura milimétrica observada na camada inferior, indicando fluxo trativo de alta energia.

Observa-se na camada inferior a evidência de atividade biológica como bioturbações e conchas de gastrópodes. Essas bioturbações apresentam formato tabular e orientação vertical a oblíqua, com diâmetro de três a seis milímetros e comprimento de quatro a seis centímetros (Figura 23). Os gastrópodes são milimétrico e ocorrem por toda extensão da camada inferior (Figura 24).

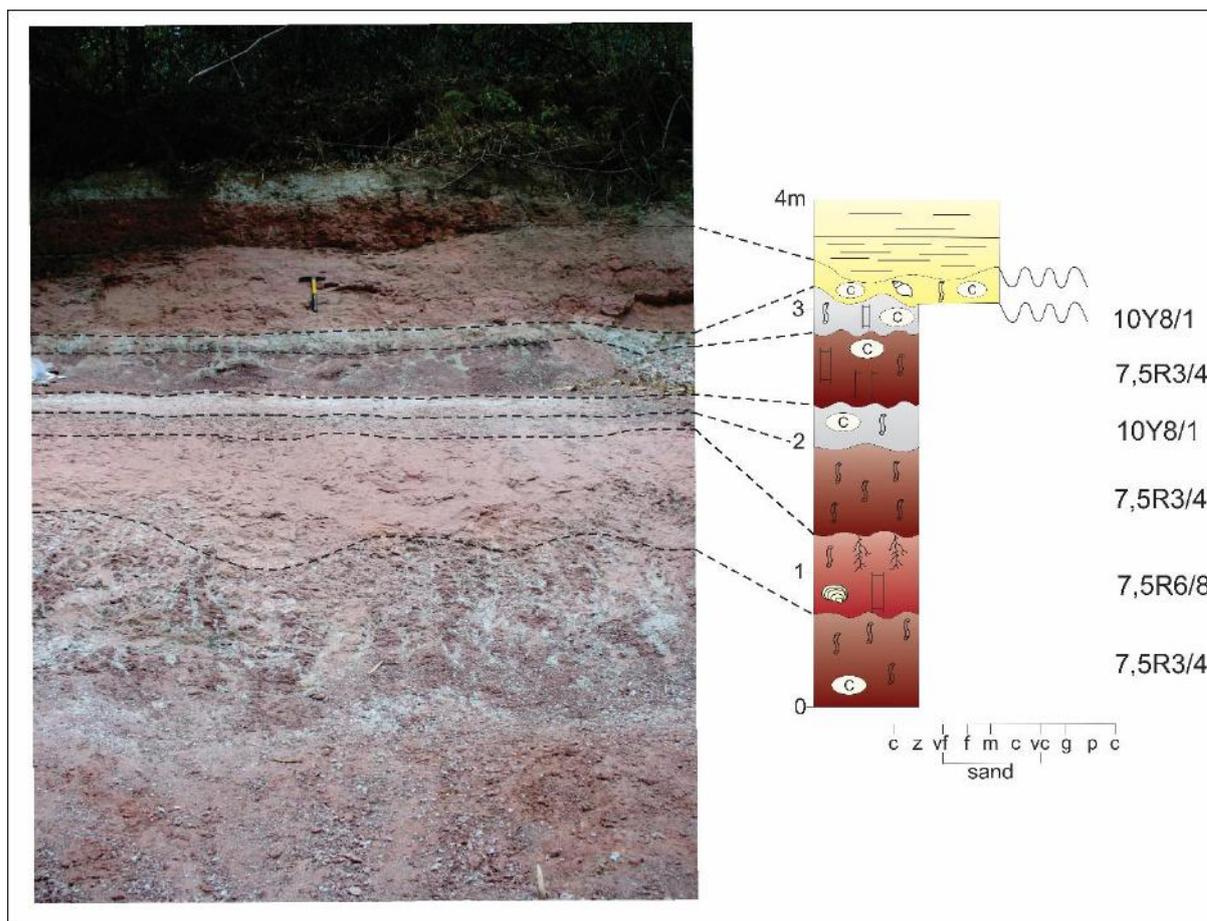


**Figura 23:** Bioturbação com formato tabular e orientação vertical ao estrato.



**Figura 24:** Gastrópodes de tamanho milimétrico presentes em toda camada inferior

O perfil de solo apresenta espessura de três metros e oitenta centímetros. Em geral exibem horizontes A / E / Bt1 / Bt2. As cores variam de cinza claro (10Y 8/1), vermelho claro (7,5R 6/8) e vermelho escuro (7,5R 3/4). A textura é areno-lamosa e o contato entre os horizontes é transicional clara a abrupta com superfície que varia de ondulada a irregular (Figura 26).



LEGENDA					
	Estrutura em bloco		Gastropodes		Laminação plano paralela
	Rizólito		Bioturbação	A, B	Horizontes de Paleossolos
	Cerosidade		Bivalvios	10Y8/1	Munsell color (moist)
	Nódulo de calcita		Contato erosivo		

**Figura 25:** Perfil do afloramento Jundiá caracterizado pela inter-relação entre paleossolos e depósitos sedimentares.

As estruturas pedogênicas alternam de acordo com os horizontes, normalmente exibem estruturas em blocos subangulares, moderados a fracos e tamanho de pequeno a médio. Na superfície das estruturas pedogênicas

ocorrem revestimentos de oxi-hidróxido de manganês e cerosidades (Figura 26).

As cimentações por carbonato de cálcio nos horizontes variegam de pouco a muito intensa, com a presença de nódulos de carbonato de cálcio em grandes quantidades, são duros de diâmetro de até cinco milímetros e coloração esbranquiçada.



**Figura 26:** A linha pontilhada delimita o contato erosivo entre o depósito sedimentar e o horizonte eluviação do paleossolo, já a linha em vermelho marca o contato transicional irregular entre os horizontes E e Bt1. Ainda nesta foto o horizonte transicional (Bt1) apresenta estruturas pedogênicas em blocos.

Os mosqueamentos de coloração cinza-claro (10Y 8/1) presentes no perfil do afloramento Jundiáí intercorrem pela grande quantidade de bioturbação presente nos paleossolos (Figura 27).



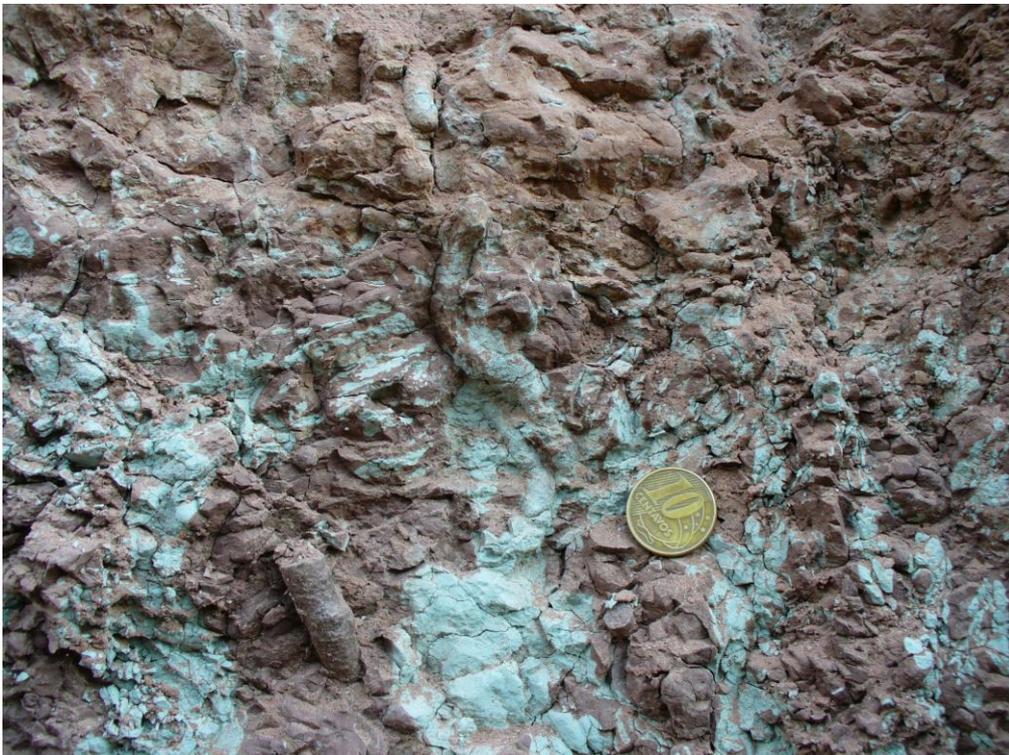
Figura 27: Mosqueamentos de coloração cinza-claro decorrente da atividade biológica e processo de lixiviação nos paleossolos.

Se fazem presentes no horizonte há grande quantidade de rizólitos, com dois centímetros de diâmetro e até dezoito centímetros de comprimento, suas estruturas são tabulares e morfologia ramificada (Figura 28).

As bioturbações são abundantes nos horizontes de paleossolos, sua orientação é vertical e oblíqua, variando de meio centímetro de diâmetro até dois centímetros e o comprimento dos condutos tem extensão de cinco a vinte centímetros. As bioturbações encontram-se revestidas de carbonato de cálcio (Figura 29).



**Figura 28:** Rizólito, em posição de vida, relacionado ao horizonte superficial A.



**Figura 29:** Bioturbações de morfologia tabular e orientação vertical, presentes no horizonte Bt2.

#### 4.4 Afloramento Pequí

Coordenada: 3°18'27"S / 44° 18'88"W

O afloramento Pequí está localizado a jusante do rio Itapecuru, aproximadamente oito quilômetros do município de Itapecuru-Mirim. E foram analisados depósitos sedimentares do afloramento.

Litofácies – Arenito muito fino com laminação plano paralela bioturbado (Ab)

São formados por arenito muito fino, com grau de arredondamento variando de anguloso a subanguloso, bem selecionados e de composição quartzosa. Este corpo contém fragmentos de vertebrados e exibe diversas estruturas de bioturbação, preenchidas por areia muito fina e revestido por carbonado de cálcio (Figura 30).



**Figura 30:** Atividade biológica no arenito muito fino do afloramento Pequí, com orientação vertical e oblíqua e morfologia tabular.

Outro aspecto importante do afloramento é a presença de diques clásticos por toda sua extensão. Os diques apresentam duas principais direções estruturais N330° e N60°. Seus diâmetros variam de meio a seis centímetros e seu comprimento varia de cinquenta a um metro (Figura 31).



**Figura 31:** Diques clásticos preenchidos por areia muito fina e direção noroeste.

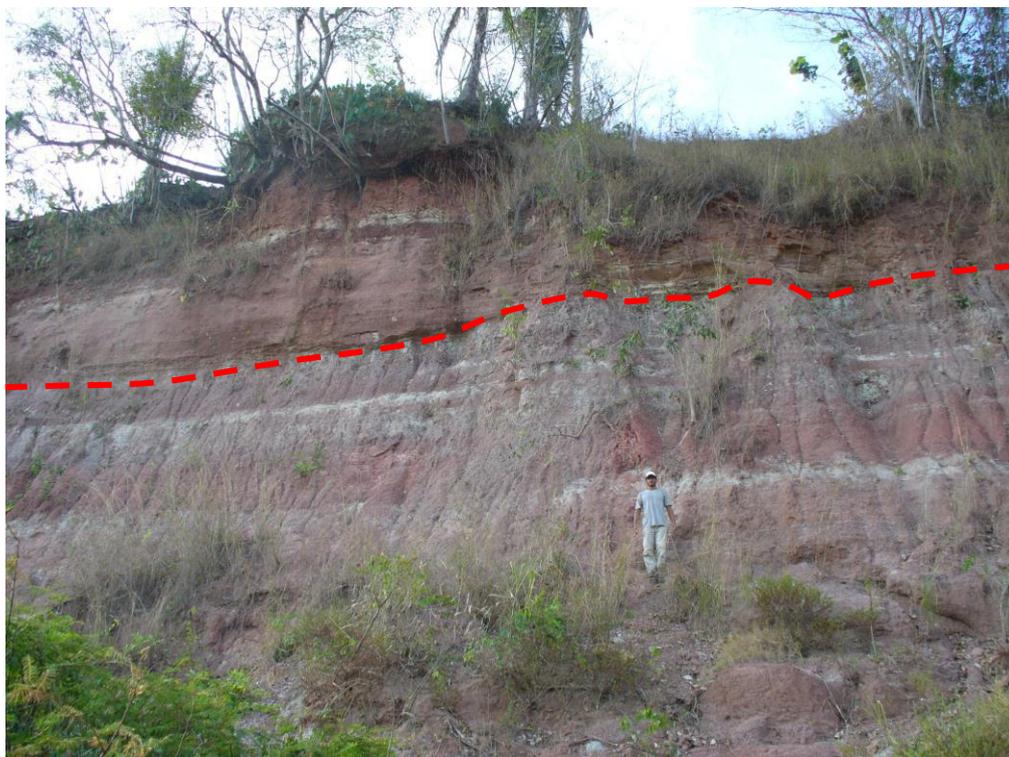
#### **4.5 Afloramento Barreiras**

Coordenadas: 3°17'41"S / 44°17'47"W

O afloramento barreiras fica a quatro quilômetros do igarapé Jundiaí e a doze do município de Itapecuru-Mirim. Neste afloramento de seis metros de espessura foram analisados os depósitos sedimentares que apresentavam espessura de um metros e meio.

Litofácies (IHS) - Arenitos finos intercalados com lamitos com estratificação heterolítica inclinada.

Os depósitos compreendem intercalações de arenitos e lamitos. Os arenitos apresentam composição quartzosa, de granulometria muito fina a fina, grau de arredondamento subanguloso a subarredondado e bem selecionados. Os lamitos apresentam coloração avermelhada. As espessuras das intercalações variam de 5 a 8 centímetros e apresentam inclinações aproximada de 9 graus, sob outro prisma, o contato com os paleossolos é marcado por uma superfície erosiva rastreável lateralmente e profundidade de escavação entorno de trinta centímetros (Figura 32).



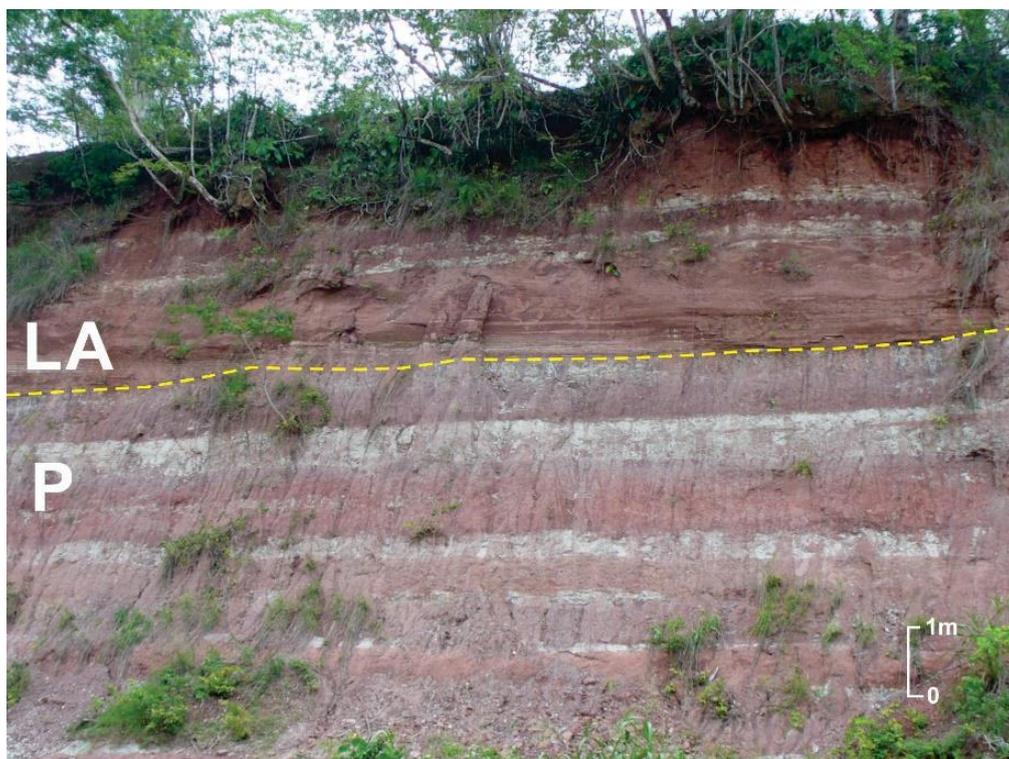
**Figura 32:** Depósito sedimentar em contato erosivo com os horizontes de paleossolos.

## 5 ELEMENTOS ARQUITETURAIS ALUVIAIS

No presente trabalho foram definidos 5 elementos arquiteturais, sendo um interno ao canal: Depósitos de Acresção Lateral (IHS); e quatro externos ao canal: Finos da planície de inundação (FF), Canal de Crevasse (CR), Lençóis de Areia (LS) e Paleossolos (P). A designação dos elementos seguiu a proposta desenvolvida por Miall (1996).

### Depósitos de Acresção Lateral (LA)

São caracterizados por intercalações de camadas arenosas e lamíticas com espessura de um metro e meio, apresentando inclinações de  $9^\circ$ , superfície erosiva contínua e com profundidade de escavação variando de cinco a quinze centímetros. (Figura 33) As estratificações heterolíticas inclinadas (IHS) são produtos de barras de acresção lateral em rios sinuosos com influências de marés.



**Figura 33:** Elemento arquitetural Barra de acresção lateral (LA) segundo Miall (1996), presente no afloramento Barreira.

### Depósitos de Lençóis de Areia (LS)

Este elemento arquitetural ocorre no afloramento Jundiá e seu depósito apresenta um metro e quarenta centímetros de espessura e extensão lateral contínua. São marcados por geometria tabular que indica fluxo em lençol cuja sedimentação se processa em ambientes desconfinados. A litofácies associada são arenitos com laminações plano paralelas ( $A_p$ ) que compõem depósitos de fluxos em lençóis, são diagnósticos de transporte de areia por

fluxo subaqueoso em regime de fluxo superior. As acumulações superiores a um metro correspondem à persistência do processo por muitas horas ou dias (Figura 34).



**Figura 34:** Elemento Arquitetural lençol de areia (LS) segundo Maill (1996), afloramento Jundiaí.

### Canal de Crevasse (CR)

O canal de crevasse é um elemento arquitetural de geometria lenticular de base côncava e topo plano com aproximadamente trinta centímetros de espessura e até sete metros de extensão. A litofácies encontrada foi Arenito muito fino com laminação plano paralela bioturbado (Ab). Este elemento é interpretado como o rompimento do dique marginal e desconfinamento dos fluxos de canais de crevasse sobre planícies de inundação (Figura 35).



**Figura 35:** Afloramento Pequi representado pelo elemento arquitetural canal de Crevasse (CR) segundo Miall (1996).

#### Finos da Planície de Inundação (FF)

Os finos da planície de inundação representam depósitos de transbordamento ocorrentes em planícies aluviais, com áreas alagadas e lagos temporários, provavelmente relacionados com sistema fluvial meandrante. Assim, as litofácies encontradas foi arenitos intercalados com lamitos e laminações plano-paralelas (RI), que foram interpretados como gerados em sistemas aluviais (Figura 36).



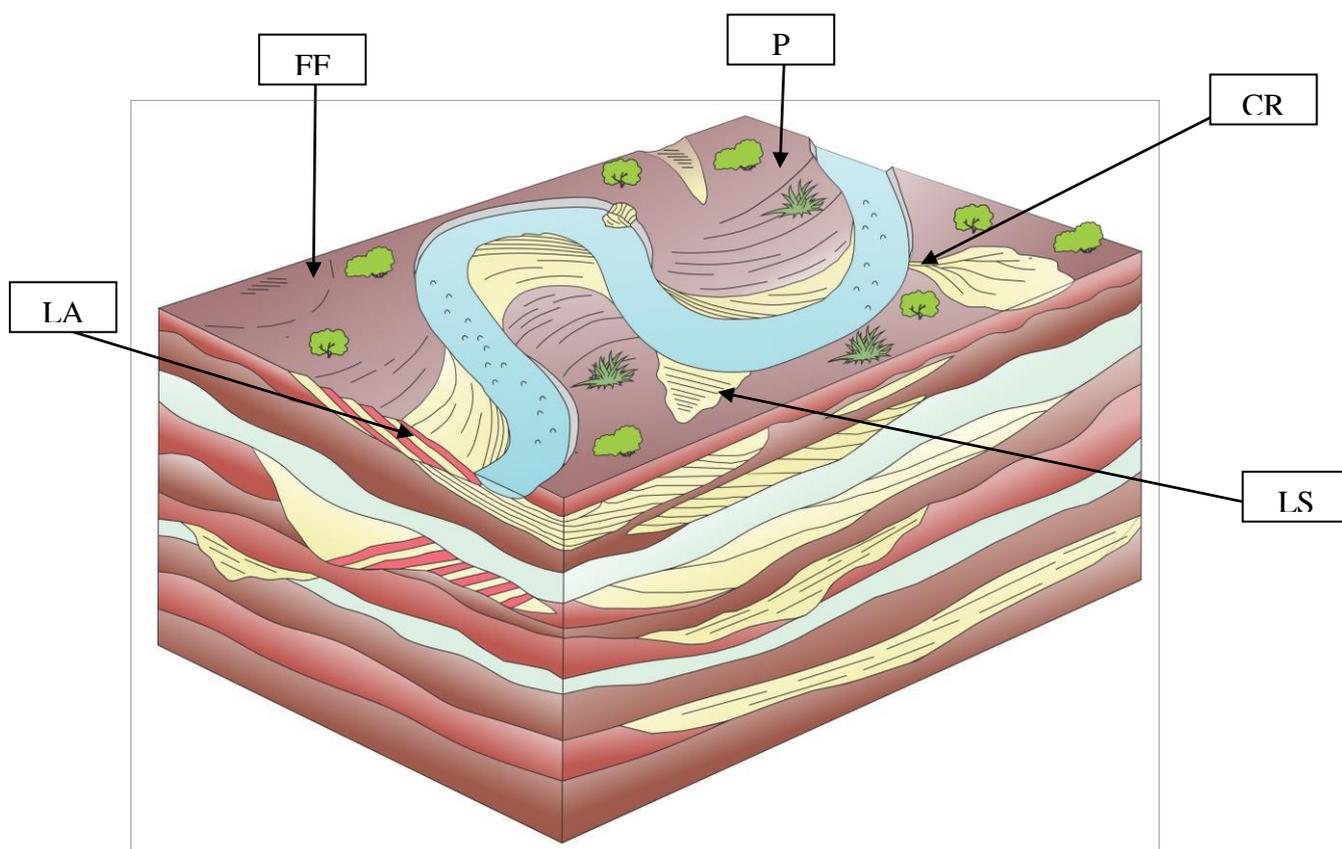
**Figura 36:** Elementos finos da planície de inundação (FF) segundo Miall (1996)

### Paleossolos (P)

O elemento Paleossolos, como será abordado no presente trabalho, representa a alteração pedogênica dos depósitos externos ao canal. O material de origem que foi influenciado por tal alteração são os depósitos de finos da planície de inundação. A descrição dos paleossolos foram feitas por diferenciação dos tipos de horizontes e suas características particulares (Figura 37).



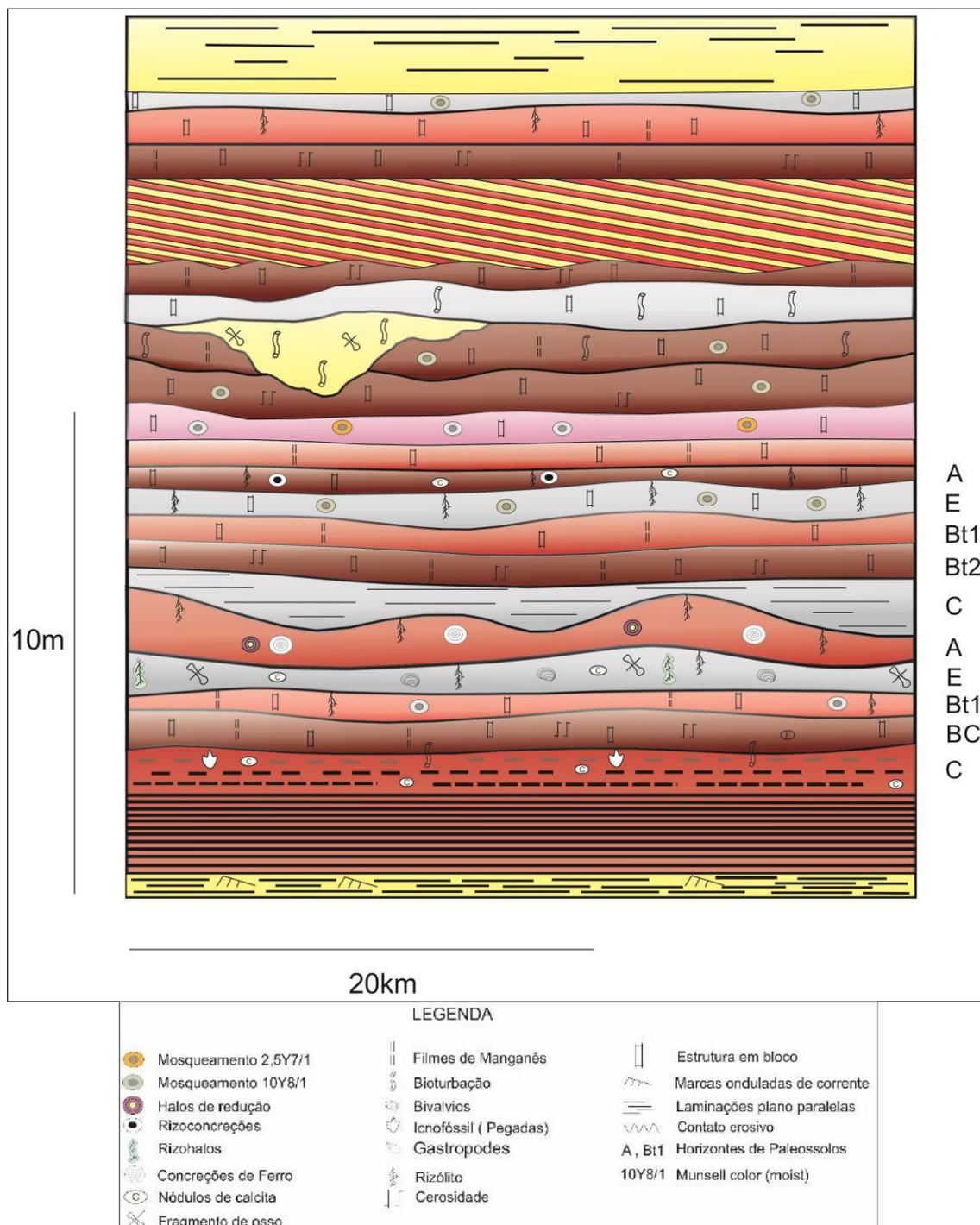
**Figura 37:** Elementos Paleossolos presente em grande parte dos afloramentos ao longo do rio Itapecuru.



**Figura 38:** Bloco diagrama representativo do sistema fluvial meandrante mostrando a contextualização dos elementos arquiteturais em relação ao ambiente de deposição.

## Diagrama de Frequência do Elementos Arquiteturais

O diagrama de frequência utiliza a soma da distância percorrida versus a soma da espessura dos afloramentos. O resultado é um diagrama que quantifica os elementos arquiteturais ao longo dos afloramentos.



**Figura 39:** Diagrama de frequência dos elementos arquiteturais pela espessura e distância percorrida total.

## 6 Conclusão

A abordagem dos critérios e classificações de Miall (1996), quanto à definição de litofácies e associações de fácies, se mostrou adequada para definição do ambiente de sedimentação e arquitetura dos depósitos presentes no registro estratigráficos. Foram identificados 5 litofácies todas elas vinculadas a ambiente fluvial.

Os paleossolos foram identificados e subdivididos em horizontes segundo suas características diagnósticos, estruturas pedogênicas, organização, marca de raízes e cores, com base no trabalho de Retallack (1997)

A inter-relação entre os depósitos sedimentares e os horizontes pedogênicos ajudaram na caracterização dos elementos arquiteturais aluviais da unidade. Foram individualizados cinco elementos de caráter internos ao canal e externos ao canal. O elemento arquitetural interno ao canal é barra de acreção lateral (LA) evidenciado pela estratificação heterolítica inclinada (IHS) e geometria sigmoidal. Os elementos externos ao canal foram Finos da planície de inundação (FF) com litofácies de intercalações de arenitos e lamitos e presente laminação plano-paralela (RI), Canal de Crevasse (CR) com a litofácies de arenito muito fino com laminação plano paralela bioturbado (Ab), Lençol de areia (LS) com arenitos finos e laminação plano paralela (AI) e Paleossolos (P) caracterizado pela sucessão de perfis de solo.

Os elementos arquiteturais diagnosticados caracterizam um sistema fluvial em que seus canais evoluíam avulsionando por fatores autocíclicos e acabaram construindo um arcabouço litológico composto predominantemente por arenitos, lamitos e paleossolos associados aos depósitos externos aos canais. Estes depósitos externos eram bancos relativamente estáveis que desenvolviam vegetações arbustivas e arbóreas. Os canais eram compostos por macroformas de barras de acreção laterais e por formas de leito sub-horizontais de extravasamento do canal, os quais respondiam a um regime de fluxo de alta energia.

A análise da frequência dos elementos arquiteturais indicaram 61% de paleossolos, 20% de Finos da planície de inundação, 12% de depósitos de acreção lateral, 5% de lençóis de areia e 2% canal de Crevasse. A predominância do elemento paleossolos está relacionada um estágio de

estabilidade tectônica e baixa taxa de sedimentação, que portanto elevariam a atividade pedogênica nos sedimentos assim depositados nas planícies de inundação.

### Referências bibliográficas

- ALMEIDA F.F.M. 1986. Distribuição Regional e Relações Tectônicas do Magmatismo Pós-Paleozóico no Brasil. *Rev. Bras. Geoc.*, 16(4):325-349.
- ALONSO-ZARZA, A.M. Palaeoenvironmental significance of palustrine carbonates and calcretes in the geological record. *Earth-Science Reviews*, v. 60, p. 261-298, 2003.
- BRIERLY, G.J. 1996. Channel morphology and elemento assemblage: a constructivist approach to facies modeling. Carling, P.A. & Dawson, M.R. (eds) *Advances in fluvial dynamics and stratigraphy*. London, John Wiley. P. 263-298.
- CAMPBELL, D.F., ALMEIDA, L.A. & SILVA, S.O. Relatório preliminar sobre a Geologia da Bacia do Maranhão. *Boletim do Conselho Nacional do Petróleo*, Rio de Janeiro, n.1, p.1-160, 1949.
- CAPUTO, M.V. & LIMA, E.C. Estratigrafia, Idade e Correlação do Grupo Serra Grande. In: *Congresso Brasileiro de Geologia, 33<sup>o</sup>*, 1984, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: SBG, 1984. v.2, p.740–752.
- CATT, J.A. 1990. Paleopedology manual. *Quaternary International*, 6: 1-95.
- FIGUEIREDO, A.M. & RAJA-GABAGLIA, G.P. 1986. Sistema classificatório aplicado às bacias sedimentares brasileira. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, 16(4): 350-369.
- GÓES, A.M.O. & FEIJÓ, F.J. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v.8, n.8, p.57–67, 1994
- KRAUS, M. J. 1999. Paleosols in clastic sedimentary rocks: their geologic applications. *Earth-Science Reviews*, Department of Geological Sciences, University of Colorado, 47, 41–70.
- KRAUS, M.J., 1987. Integration of channel and floodplain suites: II.Lateral relations of alluvial paleosols. *J. Sediment. Petrol.* 57,602–612
- KRAUS, M.J. & Bown, T.M. 1986. Paleosols and time resolution in alluvial stratigraphy. In: V.P. Wright (Ed.). *Paleosols: their recognition and interpretation*. Blackwell, Oxford. p. 180-207.
- LISBOA, M.A.R. The Permian geology of Northern Brazil. *Am. Jour. Of Sci. Ser*, New Haven, Ser. 4,v.37, n.221, 1914.
- MENDES, M.S. & BORGHI, L. Análise faciológica da Formação Codó (Cretáceo, bacia do Parnaíba) em testemunhos de sondagem. In: *Congresso Brasileiro de P&D em Óleo e Gás, 3<sup>o</sup>*, 2005, Salvador. *Resumos...* Salvador: IBP, 2005. 1CD-ROM
- MIALL, A.D. Architectural-elements analysis: a new method of fácies analysis applied to fluvial deposits. *Earth Science Reviews*, v.22, n.4, p.261–300, 1996.

MIALL, A.D. Architectural elements and bounding surfaces in fluvial deposits: anatomy of the kayenta Formation (Lower Jurassic) Southwest Colorado. *Sedimentary Geology*, Amsterdam, v.55, n.2, p.233–262, 1988a.

MIALL, A.D. Reservoir heterogenitics in fluvial sandstones: lesson from outcrop studies. *American Association Petroleum Geologists Bulletin*, Tulsa, v. 72, n, 6, p. 146–158, 1988b.

MIALL, A.D., 1999. In defense of facies classifications and models. *Journal of Sedimentary Research*, v. 69, p. 2-5

MOUNTNEY, N.P., 2006. Eolian facies models. In: Posamentier, H.W., Walker, R.G. (Eds.), *Facies models revisited*. Society for Sedimentary Geology Special Publication 84, pp. 19-83.

PESSOA, V.C.O. & BORGHI, L. Análise Faciológica da Formação Itapecuru (Cretáceo, Bacia do Parnaíba) em Testemunhos de Sondagem. In: Congresso Brasileiro de P&D em Óleo e Gás, 3º.,2005, Salvador. Resumos... Salvador: IBP, 2005. 1CD-ROM

RETALLACK, G.J. 2001. *Soils of the Past*, 2ª ed. Oxford, Blackwell. 404 p.

RETALLACK, G.J. & WRIGHT, V.P. 1990. Micromorphology of lithified paleosols. In, Douglas, L.A. (editor), *Soil micromorphology: a basic and applied science*. Elsevier, Amsterdam, p. 641-652

RETALLACK, G.J. The environmental factor approach to the interpretation of paleosols. In: AMUNDSON, R.; HARDEN, J.; SINGER, M. (Eds.), *Factors of soil formation: a Fiftieth Anniversary retrospective*. Madison: Soil Science Society of America, v. 3, n. 3, p. 31-64, 1994.

ROSSETTI, D.F. 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: mpeg Editoração, 2001. p. 31–46

ROSSETTI, D.F. & GÓES, A.M. Caracterização Paleoambiental de Depósitos albianos na Borda Sul da Bacia de São Luís-Grajaú: Modelo de Delta Fluvial Influenciado por Tempestade. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v.33, n.3, p.299–312, 2003.

ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M. & TRUCKENBRODT, W. *O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú*. Belém: mpeg Editoração, 2001. v.1, 246p. (Coleção Friedrich Katzer)

SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; DERZE, G.R.; ASMU, H.E. DNPM, Departamento Nacional de Produção Mineral. *Texto explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da área Oceânica adjacente incluindo depósitos minerais*. Brasília, 1981. 1 mapa (em 4 partes). Escala 1:2.500.000. Brasília.

SIEDNER G. & Mitchell J.G. 1976. Episodic Mesozoic Volcanism in Namibia and Brazil: K-Ar Isochron Study Bearing on the Opening of the South Atlantic. *Earth Planetary Science Letters*, 30:292-302.

THOMAZ-FILHO., Mizusaki A.M.P., Milani E.J., Cesero P. de. 2000. Rifting and Magmatism Associated with the South América and África Break Up. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(1):017-019.

ZALAN, P.V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M.A.M; VIEIRA, I.S.; APPI, V.T. & ZANOTTO, O.A. 1991. Bacia do Paraná. In: Gabaglia, G.P.R. & Milani, E.J. (coord.). *Origem e Evolução de Bacias Sedimentares*. P. 135-168.

VAZ, P. T. et al. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v.15, n.2, p.253-263, 2007