

Universidade Federal do Pará
Centro de Geociências
Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**RECONSTRUÇÃO PALEOAMBIENTAL E ESTRATIGRÁFICA
DE DEPÓSITOS CRETÁCEOS E TERCIÁRIOS EXPOSTOS
NA BORDA SUDESTE DA SUB-BACIA DE CAMETÁ, NORTE
DO BRASIL.**

TESE APRESENTADA POR

ANTONIO EMÍDIO DE ARAÚJO SANTOS JÚNIOR

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em
Ciências na Área de GEOLOGIA.

Data de Aprovação: **01 / 04 / 2002**

Comitê de Tese:


DILCE DE FÁTIMA ROSSETTI (Orientador)


ERNESTO LUIZ CORREA LAVINA


ANA MARIA GOES

Belém

AGRADECIMENTOS

Em especial gostaria de agradecer:

À minha orientadora Dilce de Fátima Rossetti pela sua orientação, que contribuiu no aprimoramento dos meus conhecimentos, bem como pela sua paciência durante a correção e desenvolvimento desta dissertação de mestrado.

Ao CNPq pela concessão de bolsa de estudo; ao Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) pela infra-estrutura concedida durante a maior parte deste trabalho; e à Universidade Federal do Pará (UFPA), através do Centro de Pesquisa de Pós-Graduação de Geologia e Geoquímica (CPGG), pela oportunidade de aperfeiçoamento intelectual.

À Ana Maria Góes pela assistência nas atividades de campo e como banca examinadora deste trabalho. Ao Ernesto Lavina como membro da banca examinadora. Ao Werner Trucenbrodt pelo acompanhamento e sugestões no emprego (ou não) de técnicas adicionais afim de melhorar a qualidade deste trabalho. À Renata Guimarães pela ajuda no reconhecimento da assembléia de traços fósseis da Formação Ipixuna.

Ao Marivaldo Nascimento por ter desenvolvido seu trabalho de dissertação de mestrado na mesma área, o que possibilitou um elo de discussões entre os parâmetros faciológicos e mineralógicos, bem como pelo companheirismo e acompanhamento nas etapas de campo.

Às minas Imery Rio Capim Caulim (IRCC) e Pará Pigmentos (PPSA) pelo suporte logístico e oportunidade de acesso às minas. Aos geólogos Carlos Henrique e Sá Pereira, e Engenheiro Leonardo.

Ao Geólogo Daniel Souza por facilitar os primeiros contatos com a Mina Imery Rio Capim Caulim (IRCC).

Ao Grupo de Pesquisa de Geologia Sedimentar (GSED): Jackson, Cláudia, Lena, Leandro, Heloísa, Keila e Alessandro, bem como aos amigos: Anaisse Jr., Cleive,....., Ed, Fabrízio, João, Junny,....Luciana, Sara....., Marcelo, Marga, Thaís, Márcia e Valéria pelo incentivo.

Os agradecimentos são extensivos aos meus pais Antônio Emídio e Maria Raimunda, e irmãos Marco, Lúcia e Bete pelo apoio, compreensão, incentivo, carinho, etc.. que têm me dado durante todos esses anos, principalmente durante a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	i
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	iii
RESUMO	1
ABSTRAT	6
1 - INTRODUÇÃO	10
2 - ÁREA DE ESTUDO	14
3 - METODOLOGIA	16
4 - CONTEXTO GEOLÓGICO	18
5 - ANÁLISE FACIOLÓGICA	25
5.1 - FORMAÇÃO IPIXUNA	25
5.1.1 - Associação de fácies I1 - complexo fluvial	28
5.1.1.1 - Sub-associação de fácies I1a - canal fluvial (influenciado por maré?)	28
5.1.1.2 - Sub-associação de fácies I1b - planície de inundação/mud plug	34
5.1.2 - Associação de fácies I2: complexo estuarino	39
5.1.2.1 - Sub-associação de fácies I2a - praia	39
5.1.2.2 - Sub-associação de fácies I2b - Planície de maré	43
5.1.2.3 - Sub-associação de fácies I2c - Preenchimento de baía central	46
5.1.2.4 - Sub-associação de fácies I2d - Canal de maré	52
5.1.2.5 - Sub-associação de fácies I2e - Delta de maré	60
5.2 - FORMAÇÃO BARREIRAS	64
5.2.1 - Associação de fácies B1: Canal de maré	66
5.2.1.1 - Sub-associação de fácies B1a - Centro de canal	66
5.2.1.2 - Sub-associação de fácies B1b - Margem de canal	77
5.2.2 - Associação de fácies B2: Planície de maré/mangue	84
6 - DISCUSSÃO DOS MODELOS DEPOSICIONAIS	88
6.1 - FORMAÇÃO IPIXUNA	88
6.2 - FORMAÇÃO BARREIRAS	96
6.3 - CONSIDERAÇÕES PALEOGEOGRÁFICAS E PALEOAMBIENTAIS	98
7 - ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA	103
7.1 - DESCRIÇÃO DAS UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS	103
7.2 - CORRELAÇÃO COM OUTRAS UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS DE ÁREAS ADJACENTES. .	112
7.3 - INTERPRETAÇÃO	115
8 - CONCLUSÕES	118
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	124
ANEXOS	
ANEXO I - Seção Panorâmica da mina IRCC	
ANEXO II - Seções Panorâmicas da mina PPSA	
ANEXO III - Perfis verticais	

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

- Figura 1 - A-C) Mapa de localização da área de estudo na borda sudeste da Sub-Bacia de Cametá (SBC), extremo sul do Sistema de Graben do Marajó, mostrando a distribuição dos afloramentos estudados ao longo do Rio Capim (minas IRCC e PPSA) e BR-010 (arredores de Ipixuna e Paragominas), norte do Brasil. 15
- Figura 2 - Coluna estratigráfica proposta por Matsuda (1991) para a Bacia do Marajó. Modificada de Galvão (1991). 20
- Figura 3 - Contato discordante entre depósitos albo-cenomanianos e a Formação Ipixuna sobreposta ao longo do Rio Capim. 24
- Figura 4 - A) Depósito atribuído a ambiente de canal fluvial (influenciado por maré?; sub-associação I1a) da Formação Ipixuna, ilustrando conglomerado intraformacional (fácies Ci) e arenito com laminação cruzada (fácies At). B) Medidas de paleocorrente da fácies At mostrando direcionamento principal para SE e subordinado para NNE. 31
- Figura 5 - Depósitos atribuídos a ambiente de canal fluvial (influenciado por maré?; sub-associação I1a) da Formação Ipixuna. A-D) Arenitos com laminação cruzada de baixo ângulo que grada a arenito ondulante (fácies Ao). Observar que os sets laminações cruzadas possuem limite ondulante (seta), mergulham em sentidos contrários e apresentam superfícies de reativação. 32
- Figura 6 - Depósitos atribuídos a ambiente de planície de inundação/*mud plug* (sub-associação I1b) da Formação Ipixuna. A) Vista geral mostrando a geometria tabular dos estratos localmente contendo formas côncavas (setas), correspondentes a *mud plugs*. B) Detalhe dos depósitos de *mud plug*, ilustrando ciclos de granodecrescência ascendente (setas). Agl=argilito com laminação plano-paralela; Am=arenito maciço; Ap=arenito com laminação plano-paralela. 36
- Figura 7 - Depósitos atribuídos a ambiente de praia (sub-associação I2c) da Formação Ipixuna. A) Arenito com estratificação cruzada truncante de baixo ângulo (fácies Ab). Os planos de estratificação são marcados por concentrações de minerais pesados (setas). B) Arenito com laminação cruzada cavalgante (fácies Al). Notar sets com limites ondulantes (setas). C-E) Fácies Ab com traços fósseis de *Thalassinoides* - Th, *Planolites* - Pl e *Skolithos* - S. F) Medidas de paleocorrentes da fácies Ab, mostrando direcionamento preferencial para N. 41
- Figura 8 - Depósitos atribuídos a ambiente de planície de maré (sub-associação I2b) da Formação Ipixuna. A) Pelito com acamamento heterolítico (fácies Ph), lateralmente contínuos. B) Detalhe da fácies Ph ilustrando o aspecto bandado ressaltado pela intercalação de arenitos (cores amareladas) e argilitos (cores marrom avermelhadas). 44
- Figura 9 - A,B) Detalhe da assembléia de traços fósseis típica da fácies de pelito com acamamento heterolítico (fácies Ph) dos depósitos de planície de

maré (sub-associação I2b) da Formação Ipixuna. <i>Planolites</i> - Pl; <i>Skolithos</i> - S; <i>Teichichinus</i> - Tc e <i>Thalassinoides</i> - Th.	45
Figura 10 - Depósito de argilito maciço (fácies Agm) atribuído a ambiente de preenchimento de baía central do complexo estuarino (sub-associação I2c) da Formação Ipixuna. Observar diminutos traços fósseis (<i>Chondrites?</i>).	48
Figura 11 - Depósitos de conglomerado intraformacional (fácies Ci; sub-associação I2c) da Formação Ipixuna) com clastos de argilito (A) e arenito (B), atribuídos a ambiente de preenchimento de baía central por fluxos de detritos	49
Figura 12 - Assembléia de traços fósseis típica dos depósitos de conglomerado intraformacional (fácies Ci) atribuídos a ambiente de preenchimento de baía estuarina (sub-associação I2C) da Formação Ipixuna. A,B) <i>Skolithos</i> vistos em perfil (A) e em planta (B). C) <i>Thalassinoides</i> . D) traço meniscado.	50
Figura 13 - A,B) Depósitos de arenito com estratificação cruzada (fácies At) atribuída a ambiente de canal de maré (sub-associação I2d) da Formação Ipixuna. A) Observar bandamentos de maré indicados por abundantes superfícies de reativação ressaltadas por recobrimentos argilosos limitando pacotes de foresets (setas). Notar também traços fósseis de <i>Skolithos</i> - S e <i>Ophiomorpha</i> - Op em B.	53
Figura 14 - Arenito com estratificação cruzada composta (fácies Ac) atribuída a ambiente de canal de maré (sub-associação I2d) da Formação Ipixuna. Os estratos compostos caracterizam-se por <i>sets</i> descendentes (setas pretas) superpostos à estratificação principal (setas brancas).	56
Figura 15 - A,B) Depósitos de arenito com estratificação ondulante quase planar (fácies Ao), representativa de momentâneo retrabalhamento de depósitos de canal de maré (sub-associação I2d) por processos de onda.	57
Figura 16 - Medidas de paleocorrentes obtidas para os depósitos de canal de maré (sub-associação I2b) da Formação Ipixuna, com tendência principal para NE.	58
Figura 17 - A) Desenho sobre fotografia dos depósitos de delta de maré (sub-associação I2e) da Formação Ipixuna. B) Detalhe do afloramento mostrado em A, ilustrando lobos de arenitos maciços (fácies Am) delimitados por argilitos maciços (fácies Agm). C) Seção colunar representativa de depósitos de delta de maré ilustrando ciclos de granocrescência ascendente.	62
Figura 18 - Depósitos de canal de maré (associação de fácies B1) da Formação Barreiras ilustrando o relacionamento espacial entre depósitos de centro (sub-associação B1a) e margem (sub-associação B1b) de canal, e depósitos de planície de maré/mangue (associação B2). O quadrado central indica a localização da figura 24B.	68

Figura 19 - A,B) Arenitos com estratificação cruzada contendo abundantes superfícies de reativação e recobrimentos argilosos, típicos da Formação Barreiras na região do Rio Capim. Observar traços fósseis característicos desses depósitos: Skolithos (S), Planolites (Pl), Ophiomorpha (O); Gyrolithes (G)	69
Figura 20 - A,B) Depósitos de centro de canal (sub-associação B1a) da Formação Barreiras ilustrando arenito com estratificação cruzada tabular/acanalada (fácies At/a) com bandamentos de maré (setas duplas) limitados por superfícies de reativação e recobrimentos argilosos (setas).	70
Figura 21 - A,B) Depósitos de centro de canal (sub-associação B1a) da Formação Barreiras ilustrando conglomerados intraformacionais (fácies Ci) na base dos canais de maré sendo sobrepostos por arenitos da fácies Ac..	73
Figura 22 - Depósitos de centro de canal (sub-associação B1a) da Formação Barreiras ilustrando estratificação cruzada composta (fácies Ac)). Os sets internos são descendentes estratos cruzados internos caracterizada por sets de grande porte (0,7 a 1,5 m) internamente superpostos por sets de médio a pequeno porte (0,2 a 0,3 m).	74
Figura 23 - Medidas de paleocorrentes obtidas para os depósitos de canal de maré (sub-associação B1) da Formação Barreiras, indicando direcionamento principal para NW e subordinadamente SE.	75
Figura 24 - Depósitos de canal de maré (associação de fácies B1) da Formação Barreiras ilustrando o relacionamento espacial entre depósitos de margem de canal (sub-associação B1b) e planície de inundação/mangue (sub-associação B2). B) Depósitos heterolíticos inclinados (fácies Ahi) atribuídos a barra em pontal (sub-associação I1b; ver localização na figura 18). Notar superfícies de reativação (setas).	79
Figura 25 - A) Depósitos de margem de canal (sub-associação I1b) da Formação Barreiras ilustrando feições tubulares verticalizadas atribuídas a raízes distribuídos ao longo da fácies At. Notar fácies de argilito maciço (Agm) sobreposta à fácies At. B) Detalhe em planta das raízes.	80
Figura 26 - Medidas de paleocorrentes obtidas para os depósitos de margem de canal (sub-associação B1b), com direções preferenciais para NE e SW.	82
Figura 27 - Seção longitudinal de estuário dominado por processos de onda: A) tipo; B) morfologia (em planta); e C) fácies sedimentares. Segundo Dalrymple et al. (1992).	92
Figura 28 - Seção longitudinal de estuário dominado por processos de maré: A) tipo; B) morfologia (em planta); e C) fácies sedimentares. Segundo Dalrymple et al. (1992).	93
Figura 29 - Vista geral das formações Ipixuna e Barreiras na mina IRCC ilustrando o arranjo estratigráfico e distribuição espacial das superfícies de descontinuidade (SD1-SD4) e unidades (A1-A4).	104

Figura 30 - A) Distribuição espacial das unidades A1 e A2 delimitadas pela superfície de descontinuidade SD1 na mina IRCC. B) Detalhe da figura anterior ilustrando fraturas associadas à superfície SD1. C) Detalhe da figura anterior mostrando estruturas deformacionais dúcteis sin-sedimentares (setas) associada à superfície SD1. D) Vista geral das unidades A1 e A2 na mina PPSA separadas por superfície de descontinuidade Sd1 106

Figura 31 - A) Distribuição espacial das unidades A2 (topo da Formação Ipixuna) e A3 (Formação Barreiras) separadas pela superfície de descontinuidade SD2. Esta superfície marca o fim da sedimentação cretácea na área de estudo e representa a base do paleovale Barreiras. B,C) Detalhes da superfície de descontinuidade SD2 na mina PPSA (B) e IRCC (C). Notar em C o forte relevo erosivo desta superfície. Observar o mesmo arranjo estratigráfico entre as unidades A2 e A3. D,E) Detalhe da superfície SD2 ilustrando a icnofácies *Glossifungites* (G1). D em perfil e E em planta. 109

Figura 32 - A,B) Horizonte de paleossolo associado à superfície de descontinuidade SD3. Notar em A fraturas com geometria em cunha preenchida por areia. B) Traços fósseis representativos da icnofácies *Glossifungites* (setas) associados à superfície SD3. Notar a gradação vertical da fácies pelítica com acamamento heterolítico (fácies Ahh) para argilito maciço (fácies Agm) 110

Figura 33 - Aspecto colunar do horizonte de paleossolo laterítico associado à superfície SD4 no topo da Formação Barreiras, que marca o fim da sedimentação miocênica na área de estudo 111

TABELAS

Tabela 1 - Descrição das associações de fácies e interpretação dos ambientes deposicionais para os depósitos da Formação Ipixuna na área de estudo. 27

Tabela 2 - Descrição das associações de fácies e interpretação dos ambientes deposicionais para os depósitos da Formação Barreiras na área de estudo. ... 65

Tabela 3 - Comparação entre os sistemas deposicionais das formações Ipixuna e Barreiras na área de estudo 98

Tabela 4 - Correlação das superfícies de descontinuidade (SD1-SD4) e unidades seqüenciais (A1-A4) da porção média do Rio Capim com áreas adjacentes. *Não registrado. 112

RESUMO

As formações Ipixuna (Cretáceo Superior-Terciário Inferior?) e Barreiras (Mioceno Médio/Superior) expostas na borda sudeste da Sub-Bacia de Cametá, NE do Estado do Pará, apresentam composição essencialmente caulínica e quartzosa, respectivamente, incluindo principalmente arenitos, argilitos e conglomerados intraformacionais. O contato entre estas unidades é discordante, sendo marcado por superfície de descontinuidade de caráter fortemente erosivo. Estruturas atribuídas a processos de maré (p.e., superfície de reativação, *sets* e *foresets* freqüentemente recobertos por filmes de argila e, localmente, bandamentos de maré) e onda, no caso da Formação Ipixuna, (p.e., estratificação cruzada *swaley*, marcas de onda simétrica e assimétrica, e laminação cruzada truncante de baixo angulo) são abundantes nas fácies arenosas.

Dois tipos de depósitos intergradacionais foram individualizados na Formação Ipixuna, atribuídos a ambientes de complexo fluvial (associação de fácies I1) e complexo estuarino (associação de fácies I2). Os depósitos do complexo fluvial iniciam-se por arenitos grossos a finos, caulínicos e quartzosos, estratificados, que gradam a arenitos finos essencialmente caulínicos para o topo. No topo desta sucessão, atribuída a canal fluvial (influenciado por maré?; sub-associação de fácies I1a), ocorrem litologias progressivamente mais argilosas com geometria

tabular, onde se observam estratos com feições côncavas, correspondendo provavelmente a ambientes de planície de inundação e *mud plugs* (sub-associação de fácies I1b), respectivamente. O domínio de estratos cruzados tabulares de baixo ângulo que gradam a estratos ondulantes, e a presença de *sets* bidirecionais, superfícies de reativação e recobrimentos argilosos nos depósitos de canal fluvial revela momentâneo retrabalhamento por processos de maré e onda. Apesar disto, de um modo geral, traços fósseis são raros ou ausentes nestes depósitos, o que é interpretado como resultado do predomínio da influência fluvial.

O complexo estuarino, sobreposto gradacionalmente aos depósitos fluviais, caracteriza-se pela abundância de traços fósseis incluindo-se: *Planolites*, *Thalassinoides*, *Teichichinus*, *Skolithos*, *Ophiomorpha* e *Cylindrichnus*, o que atesta sua natureza marinho transicional. Na base deste complexo dominam arenitos finos, bem selecionados, com estratos cruzados de baixo ângulo e laminação cruzada cavalgante, atribuídos a ambiente de praia (sub-associação de fácies I2a). Estes depósitos gradam lateralmente e para cima a corpos tabulares de pelito com acamamento heterolítico, atribuídos a planícies de maré (sub-associação de fácies I2b). Conglomerados intraformacionais atribuídos a *debris flows* são volumetricamente significativos nos depósitos que representam ambiente de preenchimento de baía central (sub-associação de fácies I2c). Estes estratos anômalos

neste sistema estuarino, são possivelmente relacionados com fatores externos (p.e., terremotos) que induziram à instabilidades no processo de sedimentação. Os depósitos de canal de maré (sub-associação de fácies I2d) são constituídos por arenitos estratificados que diminui de granulometria e tamanho dos *sets* para cima. Contrariamente, os depósitos de delta de maré (sub-associação de fácies I2e) são registrados por corpos de geometria lobada, geralmente amalgamados, e que internamente são arranjados em ciclos com granocrescência ascendente, consistente com sua natureza progadacional.

A Formação Barreiras é representada, também, por duas associações de fácies, atribuídas a: canal de maré (associação de fácies B1) e planície de maré/mangue (associação de fácies B2). Os depósitos de canal de maré são dominantes e caracterizam-se por estratos com geometria côncava e contendo ciclos de *fining-thinning-upward*. Dois tipos de depósitos de canal foram reconhecidos: centro e margem de canal. Os depósitos de centro de canal (sub-associação de fácies B1a) incluem arenitos grossos a finos, com estratificação cruzada e acanalada, e contendo abundantes traços fósseis de *Skolithos*, *Planolites*, *Ophiomorpha* e *Gyrolites*. Os depósitos de margem de canal (sub-associação de fácies B1b) são tipicamente representados por estratos heterolíticos suavemente inclinados perpendiculares ao fluxo principal do canal. Lateralmente, os estratos de margem de canal

intergradam-se com camadas tabulares de pelitos heterolíticos ou maciços interpretados como ambientes de planície de maré/mangue.

Ambas as unidades discutidas acima são atribuídas a sistemas estuarinos, o que é consistente com: a) fácies típicas de zonas transicionais (p.e., praia, delta de maré, canal de maré e planície de maré/inundação); b) abundância de estruturas sedimentares atribuídas a correntes de maré; c) presença de estruturas geradas por processos de onda; e d) assembléia de traços fósseis comuns em ambientes marinho raso-mixohalinos. As características faciológicas e dados de paleocorrentes sugerem, ainda, um estuário dominado por onda para a Formação Ipixuna desenvolvido em paleocosta com orientação provável E-W, e estuário do tipo dominado por maré para a Formação Barreiras, cujo o direcionamento principal segue a orientação NW/SE do Graben de Cametá.

A análise estratigráfica dos depósitos estuarinos na Sub-Bacia de Cametá possibilitou, ainda, o reconhecimento de quatro unidades (A1-A4), definidas por superfícies de descontinuidade (SD1-SD4). As unidades A1 e A2, que compõem a Formação Ipixuna, foram geradas em regime transgressivo durante o Cretáceo Superior. Separando estas unidades, a superfície de descontinuidade SD1 registra período de não deposição, em decorrência de prováveis abalos sísmicos. A superfície de descontinuidade SD2, que limita o topo da unidade A2, é

interpretada como limite de seqüência gerado no fim do Cretáceo Superior em decorrência de queda pronunciada do nível do mar relativo. As demais unidades, A3 e A4, correspondem aos depósitos estuarinos da Formação Barreiras. Estas unidades estão separadas pela superfície de descontinuidade SD3 gerada sob condições de variação do nível mar relativo de alta freqüência/baixa amplitude. Já a superfície SD4, que marca o topo da Formação Barreiras, é interpretada como outro limite de seqüência desenvolvido pela queda pronunciado do nível do mar relativo no fim do Mioceno.

Tomando-se por base as considerações faciológicas e estratigráficas discutidas nesta dissertação de mestrado, conclui-se que a área de estudo, localizada a aproximadamente 230 Km da atual linha de costa, esteve sujeita a períodos de transgressão marinha, que resultaram no afogamento de vales fluviais e culminaram com o desenvolvimento de sistemas estuarinos.

ABSTRAT

The Ipixuna (Upper Cretaceous - Paleogene?) and Barreiras (Middle/Upper Miocene) formations exposed in southeast Cametá Sub-Basin, northeastern Pará State, show a kaulinic and quartzose composition, respectively. They mostly include sandstone, mudstone and intraformational conglomerates. The contact between these units is unconformable, being marked by a discontinuity surface with strong erosion relief (up to 40m). Structures attributed to tidal processes (i.e., reactivation surfaces, sets and foresets with mud drapes, and locally, tidal bundles), are abundant in these deposits. In addition wave-generated structures (i.e, swaley cross-stratification, symmetrical and asymmetrical ripple mark, and low-angle truncating cross lamination) are frequent in the sand facies of the Ipixuna Formation.

Two kinds of intergrading deposits were distinguished in the Ipixuna Formation, which are attributed to fluvial (facies association I1) and estuarine complexes (facies association I2). The fluvial complex includes two facies sub-association interpreted as fluvial (tide-influenced?) channel (facies sub-association I1a) and flood plain/mud plug (facies sub-association I1b). Facies sub-association I1a is recorded, poorly sorted, cross-stratified sandstone that fine and thin upward. These deposits also display interbedded tabular fine grained, cross-stratified sandstones with low angle dipping forests with

reactivation surfaces and mud drapes, attributed to tidal processes. Facies sub-association I1b consists of tabular muddy deposits locally with mud plugs. The fluvial complex is characterized by an overall lack of trace fossils.

The estuarine complex is characterized by well-sorted sandstone displaying abundant trace fossils including *Planolites*, *Thalassinoides*, *Teichichinus*, *Skolithos*, *Ophiomorpha* e *Cylindrichnus*, typical of transitional to shallow marine settings. These deposits consist of five facies sub-associations attributed to beach (I2a), tidal flat (I2b), central bay (I2c), tidal channel/tidal bar (I2d) and tidal delta (I2e). Facies sub-association I2a includes low angle, cross-stratified and climbing cross-laminated sandstones. Facies sub-association I2b corresponds to heterolitic deposits displaying tabular geometry. Facies sub-association I2c show laminated mudstone and intraformational conglomerates attributed to debris flow and mass-failure, probably related to paleoseismicity. Facies sub-association I2d is composed by cross-stratified sandstones bounded, at the base, by sharp, locally concave up surface and internally displaying fining and thinning upward successions. Finally, sub-association I2e is characterized by sandstone lobes with coarsening-upward cycles.

The Barreiras Formation is represented by two facies associations attributed to: tidal channel (facies association B1)

and tidal flat/mangrove (facies association B2) depositional settings. The tidal channel deposits include two facies sub-associations: middle-channel (B1a) and marginal channel deposits (B1b). Facies sub-association B1a is characterized by concave-up bodies of fine- to medium-grained, well sorted, cross-stratified sandstone with fining and thinning upward cycles. Facies sub-association B1b is composed by low angle dipping, heterolithic deposits. Facies association B2 consist of tabular heterolithic deposits that grade upward into mudstones. Trace fossils present in the Barreiras Formation include *Skolithos*, *Planolites*, *Ophiomorpha* e *Gyrolites*.

The Ipixuna and the Barreiras formations are attributed to estuarine systems with basis on: a) environments typical to transitional zone (i.e., beach, tidal delta, tidal channel and tidal flat/flood); b) abundance of sedimentary structures attributed to tidal currents; c) presence of structures resulting from wave processes; and d) trace fossil assemblages typical of transitional marine environments. Facies characteristics suggest a wave- and a tide-dominated estuary to the Ipixuna and Barreiras Formation, respectively.

The stratigraphic analysis of the estuarine deposits in the Cametá Sub-Basin allowed the recognition of four units (A1-A4), defined by discontinuity surfaces (SD1-SD4). Units A1 and A2, form the Ipixuna Formation, and record a transgressive event

during the Upper Cretaceous, as indicated by the translocation of more marine-influenced deposits upon fluvial deposits. The SD1 discontinuity surface marked one period of no deposition between these units. The discontinuity surface at the top of unit A2 is a sequence boundary formed by a drop in relative sea level. Units A3 and A4 correspond to the estuarine deposits of Barreiras Formation. They probably represent low amplitude/high frequency relative sea level changes. Discontinuity surface SD3 is attributed to a low amplitude drop in relative sea level, which would have resulted in subaerial exposure and soil development along these estuarine settings. Discontinuity surface SD4 records a longer period of drop that ended the Miocene deposition in the study area. Therefore, the middle Rio Capim area, located at circa 230km from the modern coastline was invaded by sea during the Upper Cretaceous and Miocene times.

1 - INTRODUÇÃO

O preenchimento sedimentar das bacias marginais do Norte e Meio-Norte brasileiro é representado por depósitos cretáceos e terciários, os quais registram as várias fases de evolução dos *rifts* marginais durante o processo de estiramento do Atlântico Equatorial. Com exceção da Bacia de São Luís-Grajaú, onde ocorrem inúmeros afloramentos que têm servido de base para uma série de investigações faciológicas/estratigráficas de detalhe (p.e., Rossetti, 1996; 1997a,b; 1998; 2000; Rossetti & Truckenbrodt, 1997; Lima & Rossetti, 1999; Paz & Rossetti, 1999; Anaisse Júnior, 1999; Anaisse Júnior *et al.*, 1999), as rochas cretáceas e terciárias nessas bacias ocorrem principalmente em sub-superfície. Este é o caso da Sub-Bacia de Cametá, que compõe o extremo sul do Sistema de Graben do Marajó, localizado na Foz do Rio Amazonas. Apesar da espessa sucessão sedimentar (cerca de 12 Km de espessura) formada nesta bacia desde o Aptiano, a reduzida disponibilidade de dados de sub-superfície, aliada à carência de exposições naturais, tem impedido a caracterização dos sistemas deposicionais e entendimento preciso de seu arcabouço estratigráfico. Estudos preliminares de campo na borda sudeste da Sub-Bacia de Cametá revelaram a presença de bons afloramentos em cortes de estrada, barrancos de rios e,

principalmente, minas a céu aberto que, apesar da natureza descontínua, atingem cerca de 40m de altura, podendo ser mapeada lateralmente por mais de 1 Km de extensão. Tais condições representam uma grande oportunidade de se investigar, de maneira mais sistemática, a porção mais superior da sucessão sedimentar da Sub-Bacia de Cametá, contribuindo com isto para a reconstrução de seus paleoambientes de deposição e melhor entendimento de sua dinâmica sedimentar.

Trabalhos faciológicos anteriores na porção sudeste da Sub-Bacia de Cametá são raros e incorporam apenas afloramentos localizados ao longo de cortes de estrada, não tendo incluído as exposições em minas e barrancos de rios, onde as rochas cretáceas e terciárias desta área são comparativamente mais favoráveis à investigação faciológica e estratigráfica. Publicações anteriores enfocando estes depósitos resultaram na proposição de ambientes do tipo flúvio-lacustre (Góes, 1981), porém estudos de campo preliminares revelaram que tanto os depósitos cretáceos como os terciários refletem sedimentação em paleoambientes mais variados, sujeitos à influência marinha. Estas observações motivaram a presente pesquisa, que teve como objetivo a caracterização faciológica detalhada de depósitos cretáceos e terciários expostos na borda sudeste

da Sub-Bacia de Cametá, com o intuito de contribuir para a reconstrução mais precisa de seus paleoambientes de deposição. Além disto, o mapeamento de superfícies de descontinuidades possibilitou a determinação dos estratos geneticamente relacionados e de sua evolução através do tempo geológico. Por fim, os depósitos estudados mostram grande similaridade com rochas cretáceas e terciárias expostas na Bacia de São Luís-Grajaú, localizada imediatamente a leste da Sub-Bacia de Cametá, bem como com depósitos terciários que ocorrem sobre a Plataforma Bragantina, a norte. Esta similaridade levou a se proceder com uma análise comparativa entre esses estratos visando-se estabelecer critérios que possibilitassem correlações na escala regional. Com isto, pode-se inserir a área de estudo no contexto da história de variação do nível do mar estabelecida para outras regiões aonde os depósitos cretáceos e terciários vêm sendo sistematicamente analisados (Rossetti, 1998; 2001; Lima & Rossetti, 1999).

Além do caráter científico, voltado a reconstrução paleoambiental e estratigráfica, os resultados da presente pesquisa são também de interesse econômico, uma vez que os depósitos cretáceos expostos na área de estudo contêm uma das maiores reservas de caulim do mundo. Estas jazidas, conhecidas como Rio Capim Caulim, estão sendo exploradas

oficialmente desde 1996 pela Pará Pigmentos (PPSA) e, mais recentemente, Imery Rio Capim Caulim (IRCC), destacando-se por possuir caulim de excepcional qualidade à indústria de celulose (Krebs e Arantes, 1973; Murray & Keller, 1993). Este grande interesse econômico tem incentivado o desenvolvimento de várias pesquisas de caráter petrográfico e geoquímico visando-se entender a origem do caulim (Truckenbrodt *et al.*, 1991; Kotschobey *et al.*, 1996; 1999; Sousa, 2000). Entretanto, estudos desta natureza podem ser favorecidos se combinados com as informações sedimentológicas apresentadas neste trabalho, de forma a se proceder com uma discussão mais completa sobre a gênese do caulim na região do Rio Capim.

2 - ÁREA DE ESTUDO

A área proposta para este estudo localiza-se entre os municípios de Ipixuna, Paragominas e Tomé-Açú (paralelos de 2° e 3° e meridianos 47°15' e 48°), estando inserida na porção SW da Folha Rio Capim (SA-23-Y-A) e SE da Folha Tomé-Açú (SA-22-Z-B) (Figura 1). Os afloramentos estão distribuídos ao longo da rodovia Belém-Brasília (BR-010), entre Ipixuna e Paragominas, e nas minas da Imery Rio Capim Caulim (IRCC) e Pará-Pigmentos (PPSA), localizadas na margem do Rio Capim. O acesso à área dá-se, principalmente, através da BR-316, BR-010 e PA-256, tendo como pontos de apoio as cidades de Ipixuna, Paragominas, Mãe do Rio, Concórdia do Pará e Tomé-Açú.

A ocorrência de afloramentos em cortes de estrada (BR-010) e minas a céu aberto (IRCC e PPSA) possibilitou a reconstrução dos sistemas deposicionais dentro dos conceitos modernos de análise faciológica e seqüencial.

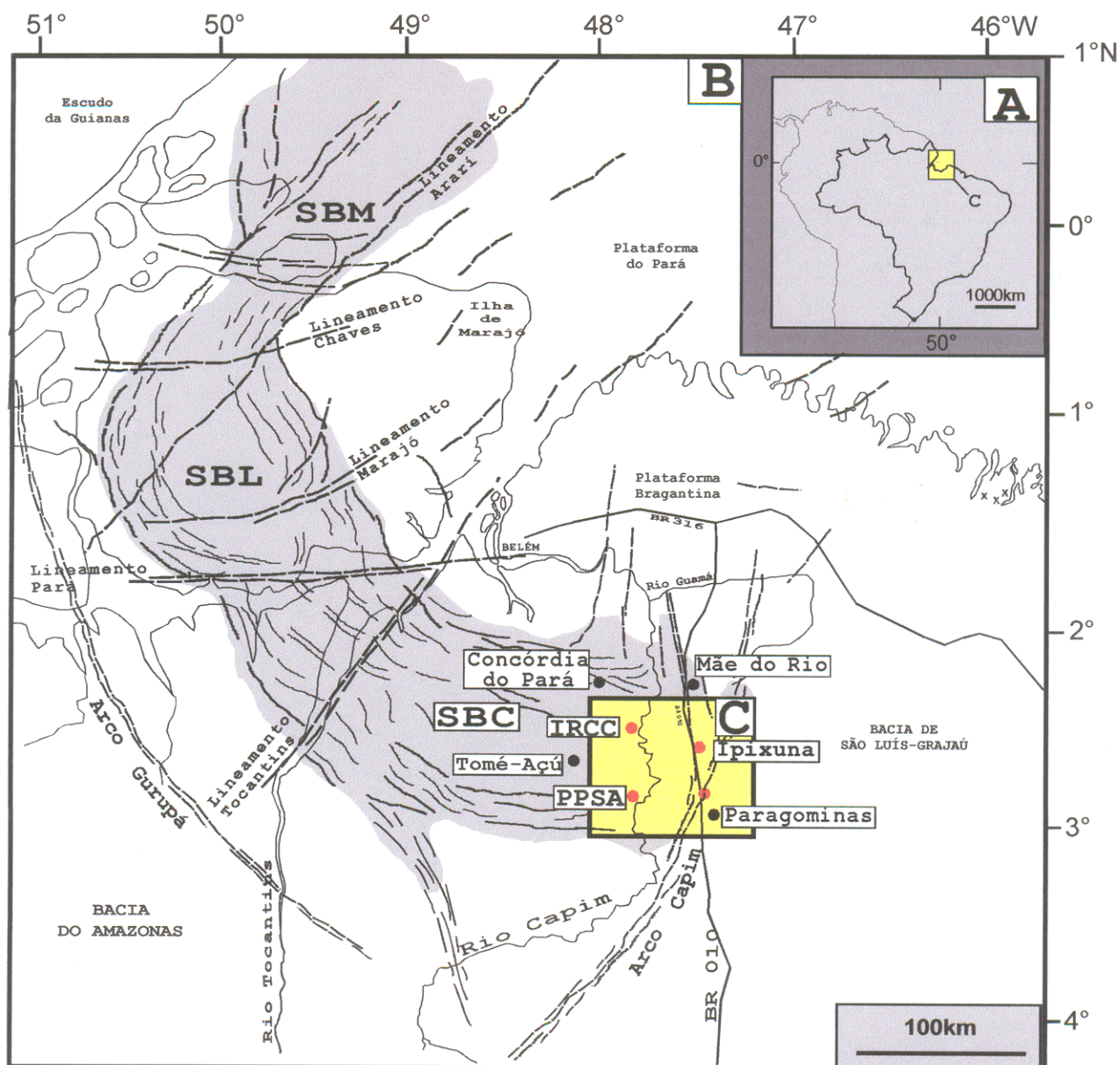


Figura 1 - A-C) Mapa de localização da área de estudo na borda sudeste da Sub-Bacia de Cameté (SBC), extremo sul do Sistema de Graben do Marajó, mostrando a distribuição dos afloramentos estudados ao longo do Rio Capim (minas IRCC e PPSA) e BR-010 (arredores de Ipixuna e Paragominas), norte do Brasil.

3 - METODOLOGIA

Para a descrição e interpretação paleoambiental das rochas sedimentares cretáceas e terciárias na região do Rio Capim aplicou-se os fundamentos da análise faciológica e de sistemas deposicionais (Walker & James, 1992; Reading & Levell, 1996), em combinação com os conceitos de estratigrafia de seqüência (Posamentier *et al.*, 1988; Posamentier & James, 1993; Nummendal *et al.*, 1993).

O registro das informações em campo foi feito através da montagem de fotomosaicos, além da elaboração de perfis verticais e seções geológicas, que permitiram a identificação das fácies através da análise de parâmetros sedimentológicos como: estrutura, textura, mineralogia, padrão de paleocorrentes, conteúdo icnofossilífero e, quando possível, geometria dos corpos sedimentares. Este procedimento levou à caracterização do arranjo arquitetural das fácies e de suas associações. A análise desses parâmetros serviu de base para a interpretação dos processos sedimentares, e as associações de fácies geneticamente relacionadas serviram de base para a caracterização dos paleoambientes de deposição.

O presente estudo foi complementado pela análise estratigráfica seqüencial, a qual permitiu o estabelecimento de estratos sedimentares contemporâneos e, conseqüentemente, a análise da deposição sedimentar dentro do contexto de variação do

nível do mar relativo através do tempo geológico. Para isto, procedeu-se ao mapeamento de superfícies chaves formadas durante períodos de exposição subaérea (p.e., limite de seqüência) e/ou decorrentes da elevação relativa do nível do mar (p.e., superfície de inundação), a fim de melhor caracterizar os sistemas deposicionais da sucessão cretácea e terciária da Sub-Bacia de Cametá.

4 - CONTEXTO GEOLÓGICO

O Sistema de Graben do Marajó localiza-se na porção Norte e Meio-Norte do Brasil, entre os paralelos 2° N e 4° S e os meridianos 52° e 47° W, compreendendo uma área de aproximadamente 180.000 Km². Esta estrutura é produto do estiramento litosférico que culminou com a abertura do Oceano Atlântico Equatorial, iniciado no Eocretáceo (Azevedo, 1991; Galvão, 1991). O Sistema de Graben do Marajó apresenta-se compartimentado em 3 sub-bacias: Mexiana, Limoeiro e Cametá (Galvão, 1991; Figura 1). A Sub-Bacia de Mexiana, localizada na porção norte do Sistema de Graben do Marajó, apresenta 80 Km de largura por 180 Km de comprimento e estende-se na direção SW-NE. Limita-se a norte com a Plataforma do Amapá e porção *onshore* do Sistema de Graben do Marajó, a leste com a Plataforma do Pará, a oeste/noroeste com o Escudo das Guianas e Arco do Gurupá e a sul com o Lineamento Chaves. A Sub-Bacia do Limoeiro, situada na porção mediana do Graben do Marajó, estende-se por mais de 190 Km nas direções NE-SW (parte norte) e NW-SE (parte sul) e possui largura em torno de 120 Km. Esta sub-bacia encontra-se limitada pelo Arco de Gurupá (oeste) e pela Plataforma do Pará (leste). A Sub-Bacia de Cametá, localizada a sudeste/leste da Sub-Bacia de Limoeiro, possui forma assimétrica, alongada, com orientação NW-SE e WNW-ESE, e dimensões de 80 km de espessura por 140 Km de comprimento. Está limitada pelo Lineamento Tocantins (noroeste), pela Plataforma Bragantina

(norte/nordeste) e Arco Capim (leste).

O preenchimento sedimentar do Sistema de Graben do Marajó é representado por uma espessa seqüência sedimentar com mais de 14 Km de espessura (Figura 2), estimada com base em dados sísmicos. Compreende depósitos marinho-rasos a flúvio-deltaicos formados principalmente no decorrer do Cretáceo Superior durante a fase extensional de formação do Atlântico Equatorial.

O embasamento da Sub-bacia de Cametá, onde a área de estudo acha-se localizada, está representado por rochas metamórficas e granitos. O preenchimento sedimentar desta bacia é ainda pouco conhecido (Schaller *et al.*, 1971; Galvão, 1991; Villegas, 1994), compreendendo estratos representativos das fases pré-rifte, sin-rifte e pós-rifte, similar às demais bacias costeiras brasileiras formadas durante a abertura do Oceano Atlântico. A fase pré-rifte compreende a uma seção de estratos paleozóicos. A fase sin-rifte consiste em uma espessa sucessão sedimentar (*i.e.*, 5,5 Km de espessura) cretácea que inclui as formações Breves (Aptiano-Cenomaniano) e Limoeiro (Cretáceo Superior). Estas unidades litoestratigráficas incluem estratos formados em ambientes variando de fluvial a marinho raso (Schaller *et al.*, 1971; Villegas, 1994). A fase pós-rifte corresponde a uma seção sedimentar relativamente mais delgada (*i.e.*, 900 m de espessura), a qual é representada por estratos terciários e quaternários conhecidos como formações Marajó (Paleoceno-Eoceno) e Tucunaré

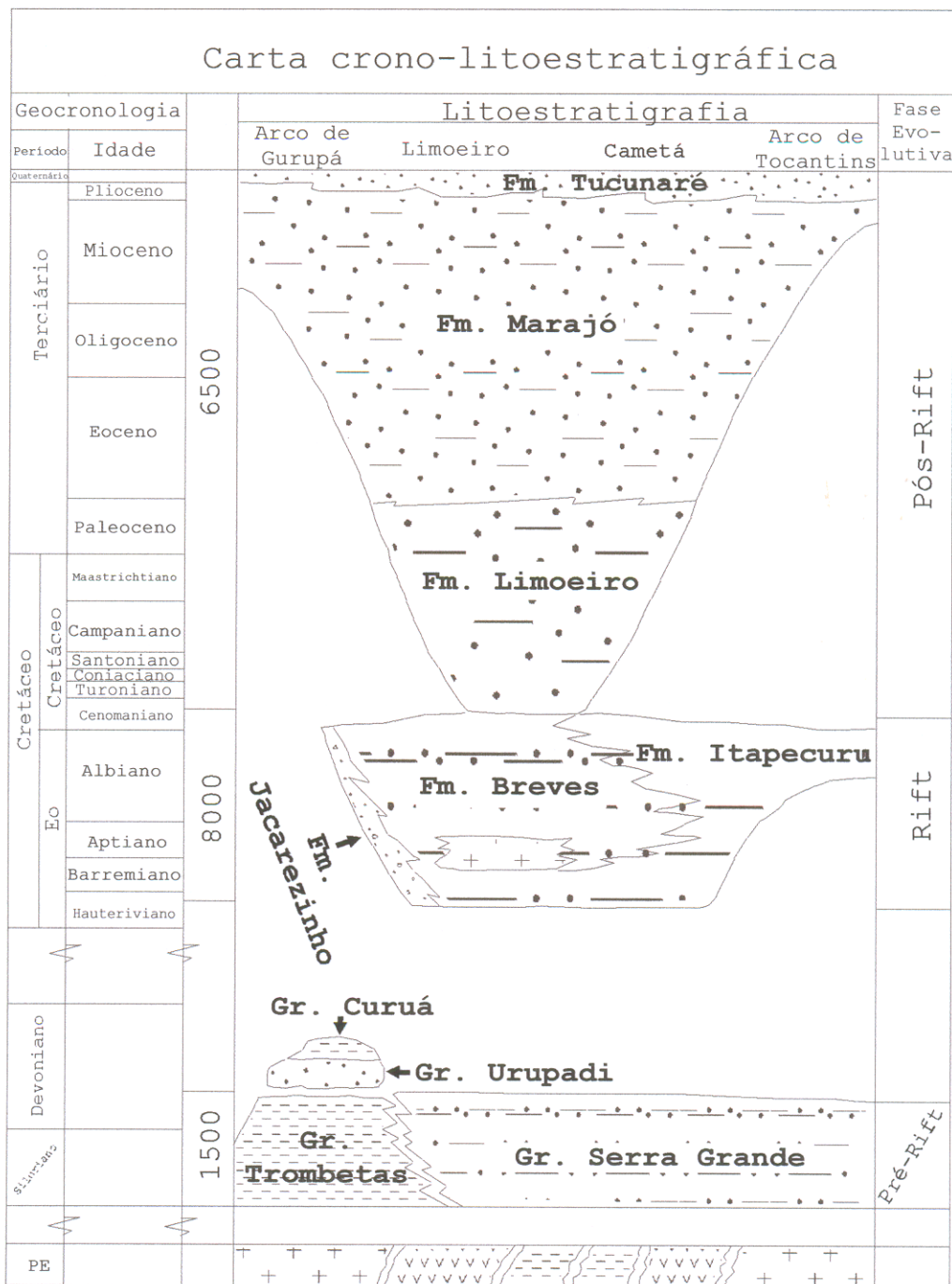


Figura 2 - Coluna estratigráfica proposta por Matsuda (1991 apud Galvão, 1991) para a Bacia do Marajó. Modificada de Galvão (1991).

(Quaternário). A Formação Marajó consiste em uma unidade litoestratigráfica carbonática-siliciclástica, enquanto a Formação Tucunaré inclui arenitos quartzosos intercalados a argilitos, sendo ambas atribuídas a ambiente marinho raso a transicional (Schaller *et al.*, 1971).

A terminologia estratigráfica acima apresentada não tem sido utilizada para os depósitos cretáceos e terciários que ocorrem expostos na borda sudeste da Sub-Bacia de Cametá, onde a área de estudo acha-se localizada. Nesta área podem ser discriminadas cinco unidades litoestratigráficas na escala de afloramento, sendo estas conhecidas tradicionalmente de (da base para o topo): Formação Itapecuru, Formação Ipixuna, Formação Barreiras, Depósitos e/ou Sedimentos Pós-Barreiras e cobertura argilosa referida de Argila de Belterra.

A Formação Itapecuru consiste em arenitos estratificados, siltitos e argilitos de coloração vermelho-chocolate, os quais tem sido tradicionalmente conhecidos como de origem eminentemente fluvial (Góes, 1981). Porém, observações preliminares nesta unidade revelam a presença de estruturas sedimentares típicas da ação de ondas, como estratificação cruzada *swaley* e laminação cruzada truncante de baixo ângulo. Assim, esta unidade mostra-se faciologicamente bastante similar aos depósitos albianos da área de Açailândia (Anaisse Júnior, 1999) e Formação Alcântara do Grupo Itapecuru exposto na Bacia de São Luís-Grajaú (Rossetti,

1997a).

A Formação Ipixuna, de idade inferida cretácea superior-terciário inferior(?) (Jupiassú, 1970), encontra-se amplamente distribuída ao longo da BR-010, região do Rio Capim, estando representada por arenitos caulíníticos, finos a grossos e bem selecionados. Esta unidade foi primeiramente definida por Francisco *et al.* (1971) e atribuída a ambientes fluvio-lacustres (Góes, 1981).

A Formação Barreiras, de idade miocênica média/superior (Arai *et al.*, 1988), é litologicamente representada por arenitos maciços a estratificados, argilitos laminados a maciços, e pelitos com acamamentos heterolíticos. Estes depósitos, estudados em detalhe somente na faixa litorânea da região nordeste do Pará e norte do Maranhão, foram atribuídos a ambientes transicionais do tipo estuarino (Arai *et al.*, 1988; Rossetti *et al.*, 1989; Rossetti *et al.*, 1990; Rossetti, 2000, Rossetti, 2001).

Os Sedimentos Pós-Barreiras, de idade suposta Plio-Pleistocênica (Rossetti, 2001), ocorre discordantemente sobre a Formação Barreiras e consiste em arenitos finos a médios, maciços e de coloração amarelada, atribuídos a processos gravitacionais e, em parte, eólicos (Rossetti *et al.*, 1989). Apesar de ser amplamente caracterizado por uma unidade geológica delgada (até 5 m de espessura), apresenta-se de forma excepcional na mina PPSA, podendo alcançar até 10 m de espessura.

A Argila de Belterra compreende uma cobertura sedimentar argilosa, maciça e de coloração vermelho-amarelada, encontrada sotoposta bruscamente a horizontes lateríticos/bauxíticos e/ou depósitos caulínicos. Três hipóteses foram apresentadas para explicar a gênese destes depósitos: a) formação *in situ*; b) transporte lateral e deposição de material saprolítico; e c) transporte vertical de material saprolítico por termitas (Truckenbrodt *et al.*, 1991; Kotschobey *et al.*, 1996; 1999). Estes depósitos ocorrem de forma discreta sobre os depósitos da Formação Ipixuna, nas proximidades da cidade de Paragominas.

Os depósitos cretáceos e terciários enfocados nesta dissertação correspondem, provavelmente, às formações Ipixuna e Barreiras respectivamente. Não existem datações, nem tentativas anteriores de correlação destes estratos com as unidades estratigráficas descritas em subsuperfície. Entretanto o posicionamento estratigráfico acima de depósitos albo-cenomanianos correlacionáveis à Formação Alcântara da Bacia de São Luís-Grajaú, como registrado ao longo do Rio Capim (Figura 3) leva a sugerir possível idade cretácea superior-terciário inferior (?). Considerando-se esta idade inclui-se tentativamente aqui a Formação Ipixuna na Formação Limoeiro definida em subsuperfície (Figura 2).

Os depósitos terciários sobrepostos à Formação Ipixuna são de idade provável miocênica médio/superior e inserem-se na

unidade litoestratigráfica Formação Marajó. Estes depósitos, representados pela Formação Barreiras, apresentam topo e base limitados por paleossolos lateríticos, ocorrendo sobre depósitos da Formação Ipixuna e sendo recobertos por sedimentos plio-pleistocênicos Pós-Barreiras.



Figura 3 - Contato discordante entre depósitos albo-cenomanianos e a Formação Ipixuna sobreposta ao longo do Rio Capim.

5 - ANÁLISE FACIOLÓGICA

A aplicação da análise de fácies com o objetivo de descrever em detalhe as características sedimentológicas das Formações Ipixuna e Barreiras aflorantes na região do Rio Capim Caulim, forneceram informações importantes para a reconstrução mais precisa dos sistemas deposicionais desenvolvidos durante o Cretáceo Superior e Mioceno Médio/Superior na borda sudeste da Sub-Bacia de Cametá. O estudo detalhado destas unidades será fornecido abaixo e anexos I a III.

Na designação das fácies, foi utilizada simbologia composta de 2 ou 3 letras, onde a inicial, maiúscula, acompanhada eventualmente de uma minúscula, corresponde ao litotipo, e a subsequente, minúscula, à estrutura sedimentar mais proeminente e/ou ao aspecto textural. Fácies que se repetem em mais de uma associação serão descritas apenas uma vez e completadas, quando necessário, nas demais associações.

5.1 - FORMAÇÃO IPIXUNA

A Formação Ipixuna acha-se bem exposta na área de estudo, ocorrendo nas minas IRCC e PPSA, bem como em cortes de estradas nas proximidades das cidades de Ipixuna e Paragominas. Nestas localidades, as exposições possuem até 1 Km de extensão lateral e alturas que atingem 30 m. A litologia predominante consiste em arenitos caulínicos (pseudomorfos de caulinita a partir de

feldspato), de granulometria fina a grossa, em geral estratificados. Além destas litologias ocorrem pelitos, argilitos e conglomerados. A coloração destes depósitos é tipicamente branca a ligeiramente rósea.

Dez fácies siliciclásticas (Tabela 1) foram reconhecidas e agrupadas em duas associações intergradacionais, atribuídas a ambientes deposicionais representativos de complexo fluvial (associação de fácies I1) e complexo estuarino (associação de fácies I2). No complexo fluvial ocorrem os depósitos de caulim "soft" que estão sendo economicamente explorados pela IRCC e PPSA. Capeando estes depósitos, ocorre caulim "duro" (caulim semi-flint) associado ao complexo estuarino, que é em grande parte, subutilizado e de difícil extração.

Tabela 1 - Descrição das associações de fácies e interpretação dos ambientes deposicionais para os depósitos da Formação Ipixuna na área de estudo.

Fácies	Associação de fácies	Descrição	Interpretação
Ci At e Ao	I1a	Conglomerado intraformacional com clastos de argilito, mal selecionados, subangulosos-subarredondados inserido em matriz areno-argilosa. Arenito grosso a médio com estratificação cruzada tabular arrançados em ciclos de <i>finning-thinning-upward</i> . Estratos cruzados, em geral, possuem <i>foresets</i> com baixo ângulo de inclinação, com superfícies de reativação recobertas por filmes de argila. Estratos cruzados reversos e <i>sets</i> com limites ondulantes podem ocorrer localmente.	Canal fluvial (influenciado por maré?)
Ag1 Ap Am	I1b	Argilito com laminação plano-paralela, arenito muito fino/fino a siltico com laminação plano-paralela e arenito maciço. Estas litologias ocorrem intercaladas, formando ciclos com grandecrescência e/ou granocrescência ascendente.	Planície de inundação
Ab e Al	I2a	Arenito fino/muito fino com estratificação cruzada de baixo ângulo e laminação cruzada cavalgante. <i>Sets</i> ondulantes. Boa seleção e grãos bem arredondados. Abundância de minerais pesados. Traços fósseis de <i>Ophiomorpha</i> , <i>Thalassinoides</i> , <i>Planolites</i> e <i>Skolithos</i> .	Depósitos de praia
Ph	I2b	Pelito com acamamento heterolítico intercalado por arenito muito fino/siltico com laminação cruzada ou horizontal e argilito laminado formando ciclos de gradação normal que acompanham o adelgaçamento dos estratos em direção ao topo. Assembléia icnológica de <i>Diploclaterion</i> , <i>Planolites</i> , <i>Thalassinoides</i> , <i>Teichichinus</i> , <i>Skolithos</i> e <i>Cylindrichnus</i> .	Planície de maré
Agm e Ci	I2c	Argilito maciço, branco acizentado. Conglomerado intraformacional com clastos de argilito de tamanhos variados e blocos de arenito argiloso inseridos em matriz argilosa. Traços fósseis de <i>Skolithos</i> , <i>Ophiomorpha</i> , <i>Thalassinoides</i> e <i>Chondrites</i> .	Preenchimento de baía
At Ac Ao Agm	I2d	Arenito com estratificação cruzada tabular, cruzada composta e ondulante, além de argilito maciço. Abundante recobrimento argiloso sobre <i>foresets</i> . Bandamentos de maré. Traços fósseis de <i>Skolithos</i> e, subordinadamente, <i>Taenidium</i> .	Canal de maré
Am e Agm	I2e	Argilito maciço sobreposto por arenito maciço bem selecionado, fino a médio, micáceo, os quais formam ciclos de gradação inversa. Estratos cruzados tabulares podem ocorrer de forma incipiente associados com raros filmes e/ou fragmentos de argila ao longo dos <i>foresets</i> . Abundante bioturbação indistinta.	Delta de maré
		Complexo fluvial	
		Complexo estuarino	

5.1.1 - Associação de fácies I1 - complexo fluvial

Os depósitos do complexo fluvial possuem espessuras médias de 10m a 12m, sendo particularmente representados na porção mais basal das minas IRCC e PPSA, onde ocorrem arenitos estratificados e, subordinadamente, siltitos, argilitos e conglomerados intraformacionais. Estas litologias estão organizadas de forma a resultar em um intervalo com tendência geral à granodecrescência ascendente, embora internamente ocorram ciclos menores tanto com granocrescência como granodecrescência ascendente. Traços fósseis são extremamente raros nos depósitos do complexo fluvial e, quando presentes, ocorrem como poucos traços isolados de difícil identificação, estando geralmente associados a litotipos mais argilosos/sílticos.

A fim de facilitar a descrição, o complexo fluvial foi individualizado em 2 sub-associações de fácies, atribuídas aos seguintes subambientes: sub-associação de fácies I1a - canal fluvial (influenciado por maré?); e sub-associação de fácies I1b - planície de inundação/*mud plug*.

5.1.1.1 - Sub-associação de fácies I1a - canal fluvial (influenciado por maré?)

Os depósitos interpretados como canal fluvial (influenciado por maré?) ocorrem na base do complexo fluvial, formando uma sucessão sedimentar de até 5 m de espessura. Infelizmente, a base

destes depósitos não pode ser observada devido às limitações dos afloramentos, o que impediu a determinação de sua geometria. Internamente, a sub-associação de fácies I1a é composta por intervalos consistindo em conglomerados intraformacionais (fácies Ci) na base, os quais são superpostos por arenitos com estratificação cruzada tabular (fácies At) formando ciclos granodecrescentes ascendentes.

A fácies Ci consiste em um pacote de até 40 cm de espessura, formados exclusivamente de clastos de argilitos maciços ou laminados, que ocorrem em meio à matriz arenosa. Os clastos são subangulosos a subarredondados, possuem forma principalmente alongada, são mal selecionados e de comprimento variando desde 3 a 10 cm. Estes clastos são comumente suportados por matriz de arenito com granulometria média a grossa, mal selecionada, de composição quartzo-feldspática, que difere substancialmente dos arenitos predominantemente caulínicos sobrepostos da sub-associação de fácies I1b, descritos abaixo. Conglomerados com arcabouço fechado são localmente presentes. Nestes casos, a disposição dos clastos ocorre de forma que seu eixo maior paraleliza o acamamento, conferindo aspecto incipientemente estratificados a esta fácies (Figura 4A). Adicionalmente, clastos imbricados podem ser localmente observados.

A fácies At (Figura 4A) consiste em arenito com estratificação cruzada tabular, em geral de médio porte

(espessura média dos *sets* de 20 a 30 cm), mal selecionado e variando de grosso/muito grosso na base a médio para o topo. Estes estratos são caracterizados, também, por apresentar *sets* cruzados de baixo ângulo. Quando isto ocorre, os *foresets* são freqüentemente recobertos por filmes de argila. Além de feldspatos, a fração grossa/muito grossa possui grãos de quartzo, os quais tornam-se cada vez menos abundantes para cima na sucessão. Os *sets* também diminuem de espessura para cima, acompanhando a tendência de granodecrescência ascendente. Medidas de azimutes desses estratos cruzados indicam orientação de paleocorrente dominante para NNE e SE (Figura 4B).

A fácies Ao (Figura 5) ocorre localmente e corresponde a arenito com laminação cruzada de baixo ângulo truncante e que grada a arenito ondulante. Os *sets* com laminação cruzada apresentam limites ondulantes com *foresets* que apresentam mergulhos em sentidos opostos e abundantes superfícies de reativação (Figura 5).

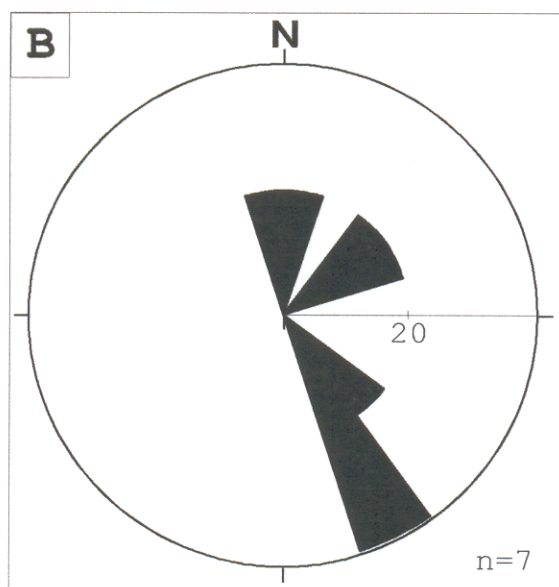
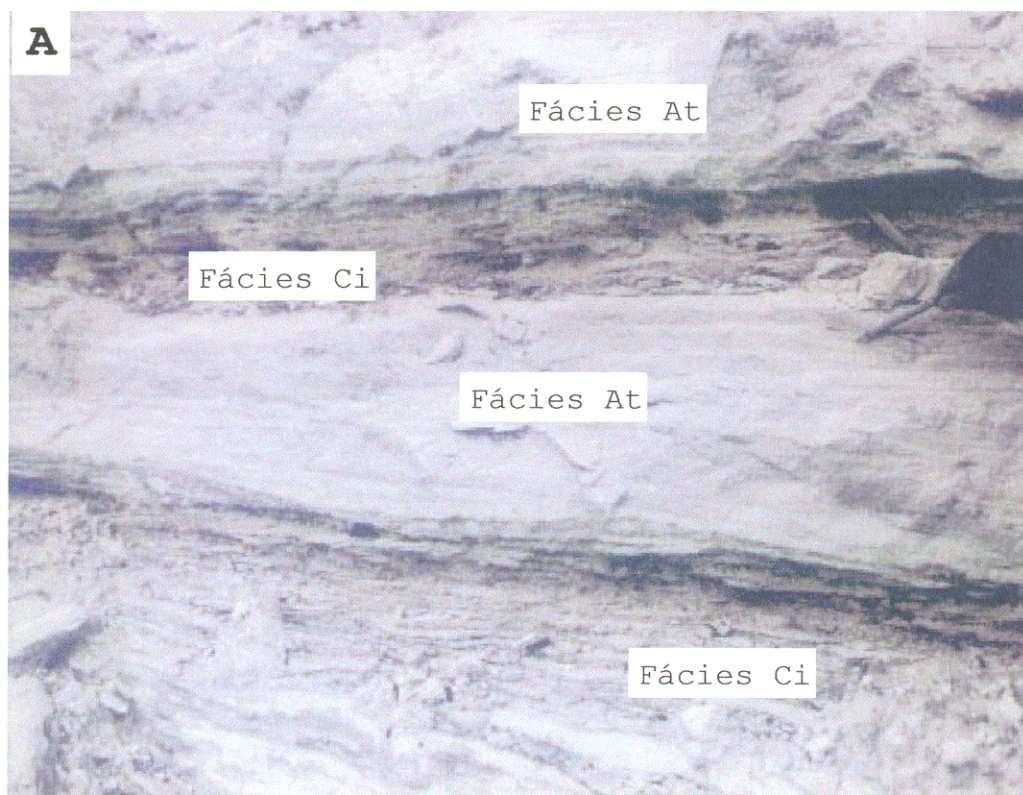


Figura 4 - A) Depósito atribuído a ambiente de canal fluvial (influenciado por maré?; sub-associação I1a) da Formação Ipixuna, ilustrando conglomerado intraformacional (fácies Ci) e arenito com estratificação cruzada (fácies At). B) Medidas de paleocorrente da fácies At mostrando direcionamento principal para SE e subordinado para NNE.

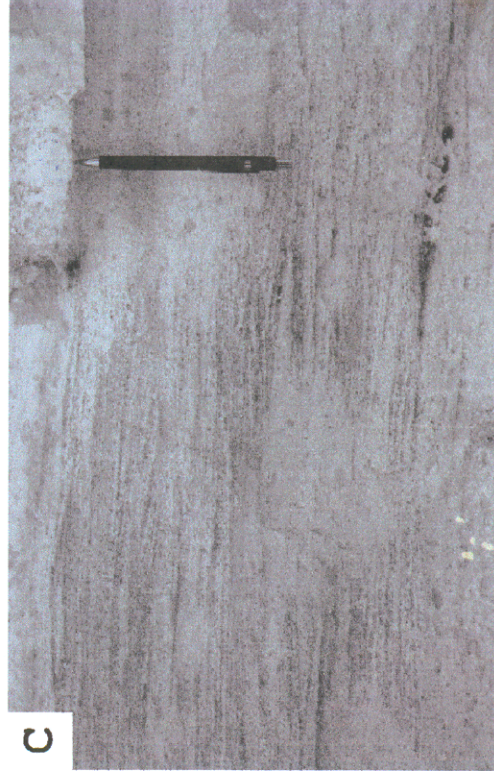


Figura 5 - Depósitos atribuídos a ambiente de canal fluvial (influenciado por maré?; sub- associação Ila) da Formação Ipixuna. A-D) Arenitos com laminação cruzada de baixo ângulo que grada a arenito ondulante (fácies Ao). Observar que os sets laminações cruzadas possuem limite ondulante (seta), mergulham em sentidos contrários e apresentam superfícies de reativação.

Interpretação

Os arenitos grossos/muito grossos da fácies At e conglomerados da fácies Ci são interpretados como representativos de depósitos de fundo de canal fluvial. Embora não se tenha observado a geometria basal côncava, importante para a caracterização de ambientes canalizados, esta interpretação é sugerida para estes estratos baseando-se nas seguintes características: 1) abundância de *sets* formados por arenitos com estratificação cruzada tabular (fácies At) em associação com conglomerados intraformacionais (fácies Ci), dispostos internamente em ciclos de granodecrescência ascendente; 2) gradação com depósitos de planície de inundação/*mud plug* (ver sub-associação Ilb); 3) natureza mal selecionada; e 4) quase ou total ausência de traços fósseis, característico em depósitos desta natureza (Nichols, 1999). Os arenitos da fácies At registram condições de alta energia de fluxo, sendo que a diminuição ascendente indica a perda de competência em direção ao topo decorrente da menor lâmina d'água ocasionada pelo progressivo preenchimento do canal. Os conglomerados intraformacionais da fácies Ci, levemente orientados e imbricados, são compatíveis com transporte por carga de fundo em canais fluviais.

Apesar da natureza fluvial proposta, é possível que estes depósitos registrem ligeiro retrabalhamento de processos

marinhos. Este fato é sustentado pela presença de abundantes superfícies de reativação recobertas por filmes de argila, estratos cruzados com domínio de baixo ângulo, estratos cruzados com mergulhos reversos e *sets* com laminações ondulantes. Estas características não ocorrem em depósitos tipicamente fluviais. Portanto, sugere-se que os depósitos de canal fluvial da Formação Ipixuna tenham sido influenciados, embora de forma subordinada, à ação de correntes de maré e ondas. Esta interpretação é corroborada pela proximidade com fácies estuarinas, como será melhor apresentado no decorrer deste trabalho.

5.1.1.2 - Sub-associação de fácies Ilb - planície de inundação/*mud plug*

A sub-associação de fácies Ilb (Figura 6A,B) é representada predominantemente por argilito laminado (fácies Agl) e, subordinadamente, arenito com laminação plano-paralela (fácies Ap) e arenito maciço (fácies Am). Estes depósitos formam camadas de até 6 m de espessura no topo dos ciclos granodecrescentes do complexo fluvial (sub-associação Ila), configurando corpos de geometria tabular com espessura média de 0,5 m e até 40 m de continuidade lateral. É importante mencionar que, como no caso da sub-associação Ila, traços fósseis são praticamente ausentes nestes depósitos.

A fácies Agl (Figura 6B) consiste em argilito com laminação

plano-paralela, coloração esbranquiçada a acinzentada, que ocorre em pacotes de, no máximo, 2,5 m de espessura. As fácies Ap e Am consistem em camadas centimétricas (5 - 10 cm de espessura) de arenito branco, fino a muito fino e/ou siltico, apresentando internamente laminação plano-paralela (fácies Ap) na base, gradando a arenito maciço (fácies Am) para o topo. As fácies Ap e Am ocorrem intercaladas com a fácies Agl, formando ciclos sucessivos com granodecrescência ascendente (Figura 6B). Localmente, estas litologias arenosas podem se apresentar sob a forma de corpos lenticulares, delimitados por superfície basal côncava, quando então possuem cerca de 1,5 m de espessura e comprimento de até 20 m (Figura 6A). Entretanto, estas litologias arenosas e argilosas podem também ocorrer configurando ciclos (15-20 cm de espessura) com granocrescência ascendente. Estes depósitos granodecrescentes são lateralmente restritos, ocorrendo como corpos lenticulares de até 30 m de comprimento e 0,3 a 0,5 cm de espessura em meio aos demais depósitos da sub-associação de fácies Ila.



Figura 6 - Depósitos atribuídos a ambiente de planície de inundação/mud plug (sub-associação IIb) da Formação Ipixuna. A) Vista geral mostrando a geometria tabular dos estratos localmente contendo formas côncavas (setas), correspondentes a mud plugs. B) Detalhe dos depósitos de mud plug, ilustrando ciclos de granodecrescência ascendente (setas). Agl=argilito com laminação plano-paralela; Am=arenite maciço; Ap=arenite com laminação plano-paralela.

Interpretação

O predomínio de litotipos argilosos e pelíticos na sub-associação de fácies Ilb, intercalados em menor quantidade por litologias arenosas, atestam, pelo menos em grande parte, ambiente deposicional com domínio de processos suspensivos, os quais foram esporadicamente submetidos a influxos arenosos. Estes ambientes que circundam e/ou recobrem depósitos atribuídos a canais fluviais, são interpretados como planície de inundação. A tabularidade dos estratos e a organização formando sucessão de *finning upward* com os depósitos de canal fluvial sobrejacentes (sub-associação Ila) são consistentes com esta interpretação. Depósitos de planície de inundação têm sido reconhecidos em associação lateral com os depósitos de canal fluvial (Reid & Frostick, 1994), dos quais se distinguem pelo predomínio de litologias mais finas (Nichols, 1999).

Os depósitos de geometria côncava, que ocorrem em meio aos argilitos da planície de inundação, são atribuídos a meandros abandonados (*mud plugs*) ou lagos do tipo *oxbow* (Reineck & Singh, 1973; Suguio & Bigarella, 1990; Nichols, 1999).

As lentes de arenito formando ciclos granocrescentes ascendentes, que ocorrem em meio aos depósitos de planície de inundação, provavelmente refletem subambientes de *crevasse splay* (Suguio & Bigarella, 1990). Os ciclos de granocrescência ascendente registrados nestes depósitos são atribuídos ao

espraiamento de sedimentos mais grossos sobre os depósitos de planície de inundação, decorrentes do rompimento das margens do canal (Nichols, 1999). Este processo gera localmente fluxos de alta velocidade que extravasam sobre a planície lamosa adjacente propiciando a formação desses lobos espraiados com gradação inversa (Suguio & Bigarella, 1990).

5.1.2 - Associação de fácies I2: complexo estuarino

Esta associação de fácies chega a medir cerca de 25 m de espessura na escala de afloramento, ocorrendo particularmente bem desenvolvida nos arredores da cidade de Ipixuna. A análise de fácies em depósitos do complexo estuarino permitiu diferenciar cinco sub-associações de fácies atribuídas aos seguintes subambientes deposicionais: a) sub-associação de fácies I2a - praia; b) sub-associação de fácies I2b - planície de maré; c) sub-associação de fácies I2c - preenchimento de baía central; d) sub-associação de fácies I2d - canal de maré/barra de maré; e e) sub-associação de fácies I2e - delta de maré. As sub-associações I2a, I2b e I2c estão organizadas nesta ordem, da base para o topo, tanto na mina da IRCC quanto na mina da PPSA, distantes aproximadamente 50 Km. Observa-se, ainda, neste conjunto estratigráfico de sub-associações, aumento na abundância de traços fósseis em direção ao topo. As demais sub-associações (i.e., I2d e I2e) estão distribuídas ao longo da BR-010, nos arredores de Ipixuna e Paragominas, respectivamente.

5.1.2.1 - Sub-associação de fácies I2a - praia

Os depósitos da sub-associação de fácies I2a (Figura 7) sobrepõem-se gradacionalmente aos depósitos do topo do complexo fluvial (sub-associação de fácies I1b), chegando a formar espessuras de até 2m. Esses estratos são representados por

arenitos com estratificação cruzada de baixo ângulo (fácies Ab; Figura 7A), que intergradam a arenitos com laminação cruzada cavalgante (fácies Al; Figura 7B). Localmente estas fácies apresentam *sets* ondulantes. Traços fósseis, raros nos depósitos do complexo fluvial subjacentes (associação I1), tornam-se mais freqüentes nestes depósitos, sendo representados por traços dispersos de *Ophiomorpha* e *Thalassinoides* seguidos, em menores proporções, por *Planolites* e *Skolithos* (Figura 7C-E).

A fácies Ab compreende arenito fino a muito fino, bem selecionado, com estratificação inclinada truncante de baixo ângulo, que se apresenta em *sets* de médio porte (em média 20 cm de espessura). Os planos de truncamento de baixo ângulo são ressaltados, em grande parte, por concentrações de minerais pesados. Lateralmente, a fácies Ab grada para fácies Al, que compreende arenito fino/muito fino com laminação cruzada cavalgante em *sets*, de em média, 2-4 cm de espessura, chegando a formar *cosets* que alcançam, em geral, 25 cm de espessura. Os estratos cruzados da fácies Ab indicam sentido de paleocorrentes preferencialmente para N (figura 7F).

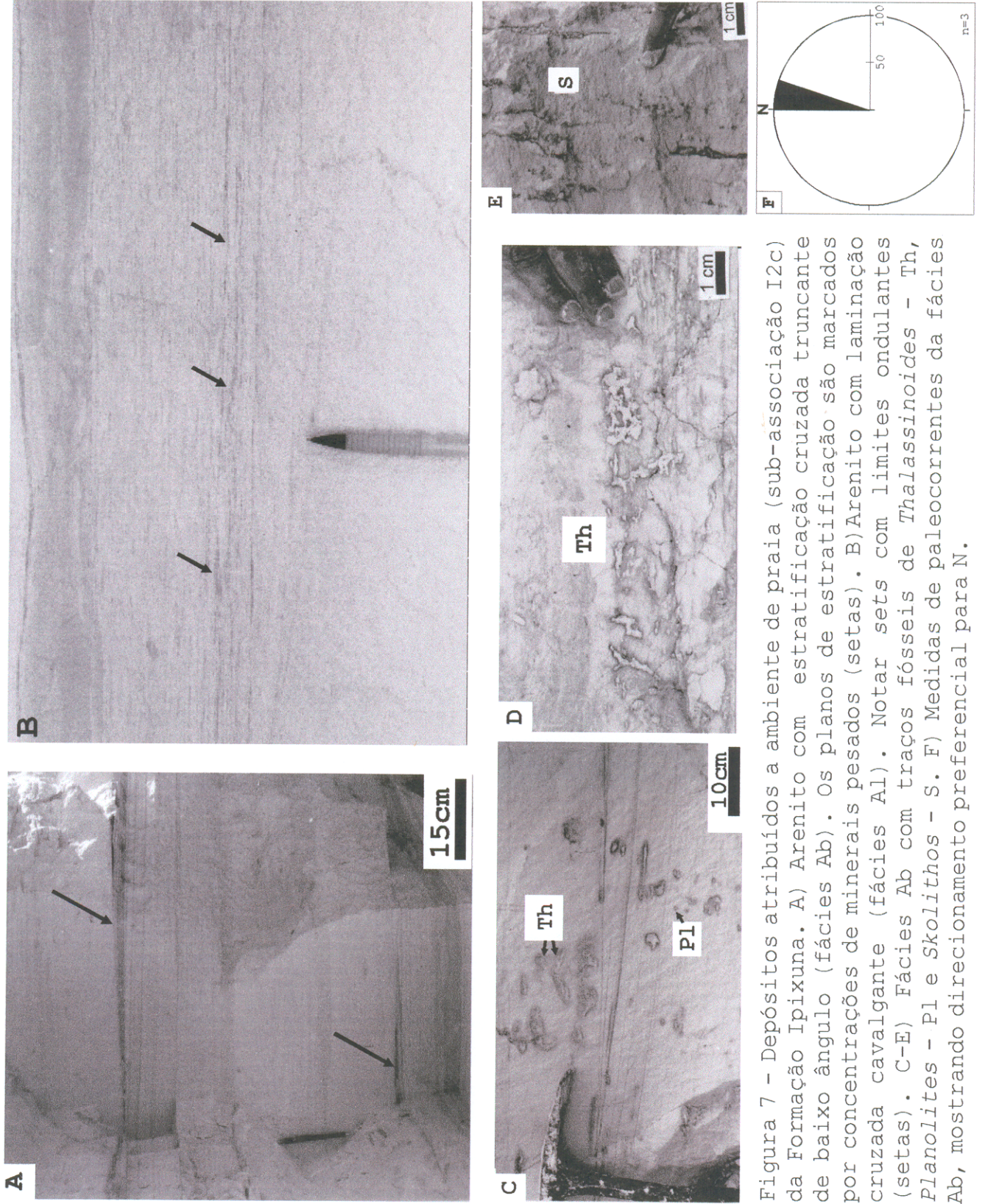


Figura 7 - Depósitos atribuídos a ambiente de praia (sub-associação I2c) da Formação Ipixuna. A) Arenito com estratificação cruzada truncante de baixo ângulo (fácies Ab). Os planos de estratificação são marcados por concentrações de minerais pesados (setas). B) Arenito com laminação cruzada cavalgante (fácies Al). Notar sets com limites ondulantes (setas). C-E) Fácies Ab com traços fósseis de *Thalassinoides* - Th, *Planolites* - Pl e *Skolithos* - S. F) Medidas de paleocorrentes da fácies Ab, mostrando direcionamento preferencial para N.

Interpretação

Os depósitos arenosos da sub-associação I2a são interpretados como representativos de ambientes de praia. Esta interpretação é consistente com a boa continuidade lateral de estratos com geometria tabular, típicos de deposição em ambientes planos e amplos, como observados em planícies arenosas e praias. Adicionalmente, estratificação cruzada truncante de baixo ângulo similares às observadas nesta sub-associação são comuns em ambientes de face de praia, sendo gerados por suaves mudanças no ângulo de inclinação desta (McCubbin, 1988; Nichols, 1999). O elevado grau de seleção e arredondamento dos grãos, características extremamente marcante nestes depósitos, são consistentes com fluxo e refluxo das ondas em zonas de praia (Medeiros *et. al.*, 1971). Por fim, ambientes de praia normalmente contém altas concentrações de minerais pesados (Medeiros *et. al.*, 1971; McCubbin, 1988), como verificado na área de estudo, o que serve para reforçar a interpretação paleoambiental proposta. A presença de *Ophiomorpha*, *Skolithos*, *Thalassinoides* e *Planolites* sugere que este ambiente de praia formou-se em área próxima ao litoral, sob a ação de águas marinhas e agitadas.

5.1.2.2 - Sub-associação de fácies I2b - Planície de maré

Os depósitos da sub-associação de fácies I2b (Figura 8) ocorrem em ampla distribuição lateral na Mina PPSA e, mais restritamente, na mina IRCC, formando um intervalo de, no máximo, 5m de espessura. São depósitos constituídos por pelito com acamamento heterolítico (fácies Ph) que se apresenta em pacotes de geometria predominantemente tabular, de coloração bandada amarela e vermelha representativas da alternância de litologias arenosas e argilosas, respectivamente (Figura 8B). Os arenitos são muito finos a silticos e mostram laminação cruzada ou plano-paralela. Os argilitos são distribuídos em proporções variáveis, gerando estruturas dos tipos *wavy*, *linsen*, *flaser* e *pin stripe*. Ciclos com gradação normal e adelgaçamento dos estratos (10-15 cm na base a 5-7 cm no topo) em direção ao topo acham-se presentes. As estruturas sedimentares inerentes a esta fácies estão melhor preservadas em sua base, sendo fortemente obliteradas no topo devido à abundante atividade biogênica registrada pelo desenvolvimento de traços fósseis incluindo-se *Diploclaterion*, *Planolites*, *Thalassinoides*, *Teichichinus*, *Skolithos* e *Cylindrichnus* (Figura 9).

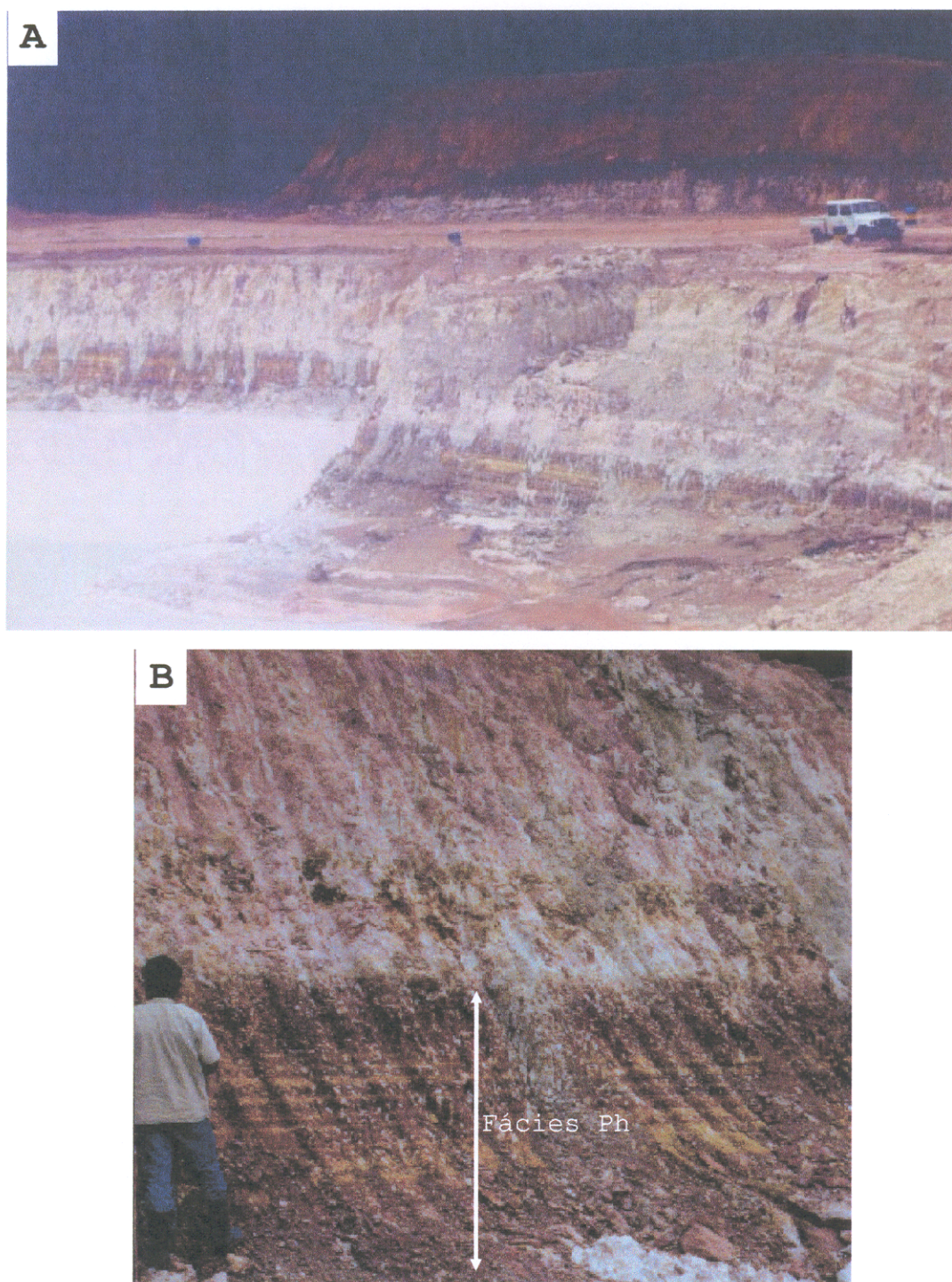


Figura 8 - Depósitos atribuídos a ambiente de planície de maré (sub-
associação I2b) da Formação Ipixuna. A) Pelito com acamamento
heterolítico (fácies Ph), lateralmente contínuos. B) Detalhe da
fácies Ph ilustrando o aspecto bandado ressaltado pela intercalação
de arenitos (cores amareladas) e argilitos (cores marrom
avermelhadas).

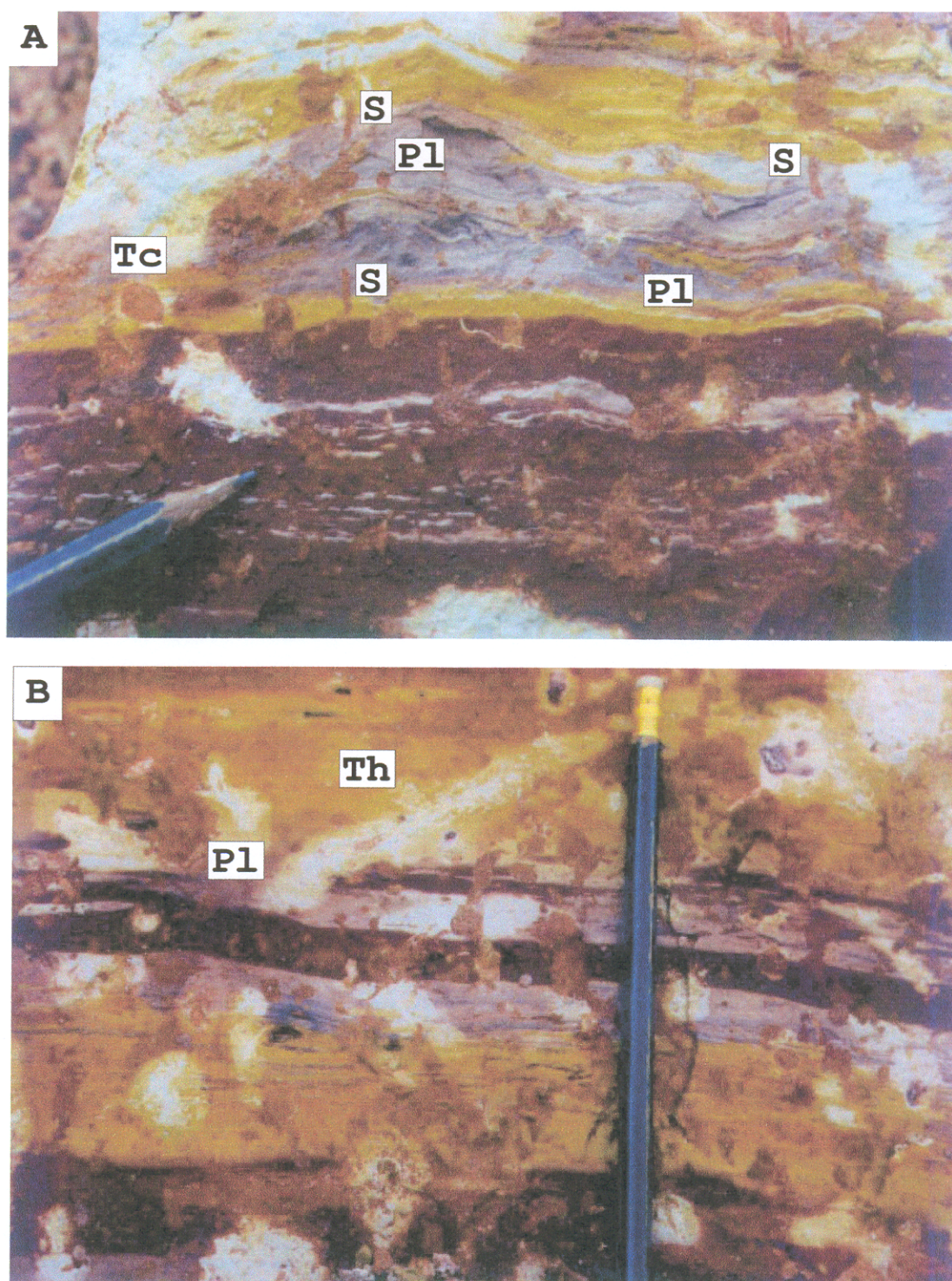


Figura 9 - A,B) Detalhe da assembléia de traços fósseis típica da fácies de pelito com acamamento heterolítico (fácies Ph) dos depósitos de planície de maré (sub-associação I2b) da Formação Ipixuna. *Planolites* - Pl; *Skolithos* - S; *Teichichinus* - Tc e *Thalassinoides* - Th.

Interpretação

A sub-associação I2b é atribuída a ambientes com mudanças periódicas de energia que resultaram na alternância sucessiva de deposição por tração e suspensão. A abundância de traços fósseis com assembléia icnológica representada por *Diploclaterion*, *Skolithos*, *Planolites*, *Thalassinoides*, *Teichichinus* e *Cylindrichnus*, apontam para deposição em ambientes com influência marinha. Além disto, a intensidade crescente destas bioturbações em direção ao topo dos estratos heterolíticos, juntamente com o adelgaçamento e gradação normal dos estratos, sugerem condições de energia de fluxo relativamente menores nas porções mais superiores destes estratos, atribuídos a sedimentação em zonas de intermaré/supramaré. Estas características, juntamente com a geometria tabular dos estratos heterolíticos e o relacionamento com a sub-associação I2a levam à interpretação de planície de maré para sub-associação I2b.

5.1.2.3 - Sub-associação de fácies I2c - Preenchimento de baía central

Os depósitos de preenchimento de baía observados nas minas IRCC e PPSA, perfazem, em média, 18 m de espessura. Estes estratos consistem em duas fácies, organizadas da base para o topo: fácies de argilito maciço (Agm) e fácies de conglomerado (C).

A fácies Agm (Figura 10) compreende argilito maciço, de coloração branco acinzentada, com espessura média de 35 cm, a qual ocorre gradacionalmente sobreposta à sub-associação I2b. Estes argilitos apresentam-se lateralmente contínuos, podendo ser amplamente acompanhados ao longo dos depósitos aflorantes na mina IRCC. Icnologicamente, esta fácies distingue-se das demais sub-associações do complexo estuarino pela presença diminuta de traços de alimentação que lembram *Chondrites* (Figura 10).

A fácies Ci (Figura 11) é litologicamente similar à que ocorre na sub-associação I1a. Porém, neste caso, esta fácies atinge grandes espessuras, sendo a mais espessa da área de estudo (até 18 m de espessura). Inclui conglomerado intraformacional contendo clastos de argilito e arenito imersos em uma matriz argilosa. O tamanho dos clastos varia de seixo a bloco/matação na base, que gradam a grânulo/seixo para o topo. São também encontrados blocos de arenito argiloso caulínico, esbranquiçado (Figura 11B). Traços fósseis são também abundantes nestes estratos, principalmente em suas porções mais superiores, onde dominam *Skolithos* (Figura 12A,B), seguidos subordinadamente por *Ophiomorpha* e *Thalassinoides* (Figura 12C), além de alguns traços verticais meniscados (Figura 12D).

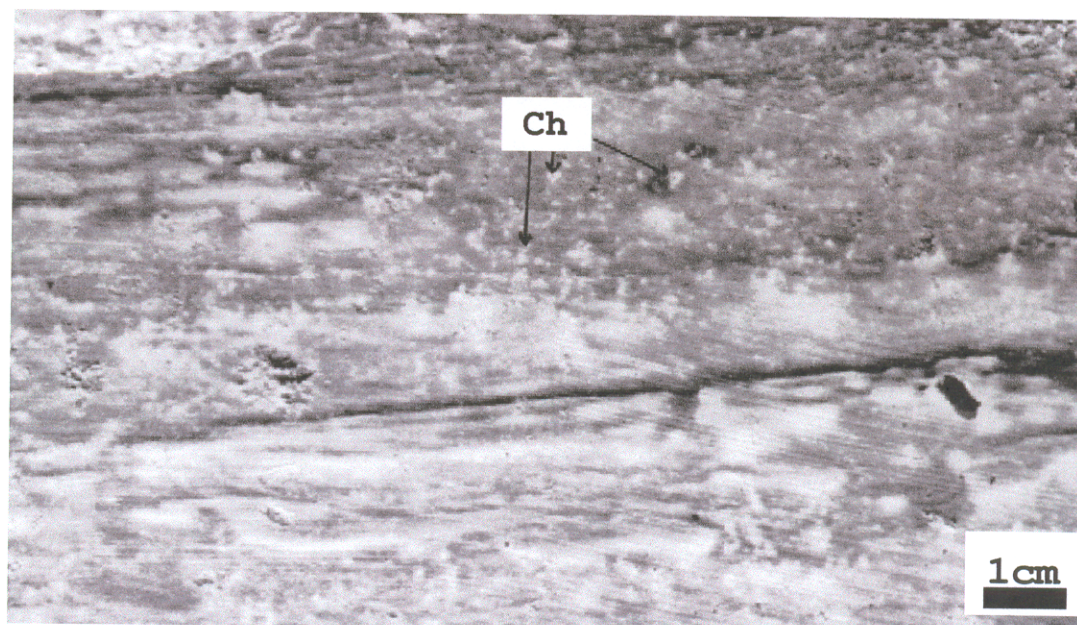


Figura 10 - Depósito de argilito maciço (fácies Agm) atribuído a ambiente de preenchimento de baía central do complexo estuarino (sub-associação I2c) da Formação Ipixuna. Observar diminutos traços fósseis (*Chondrites?*).

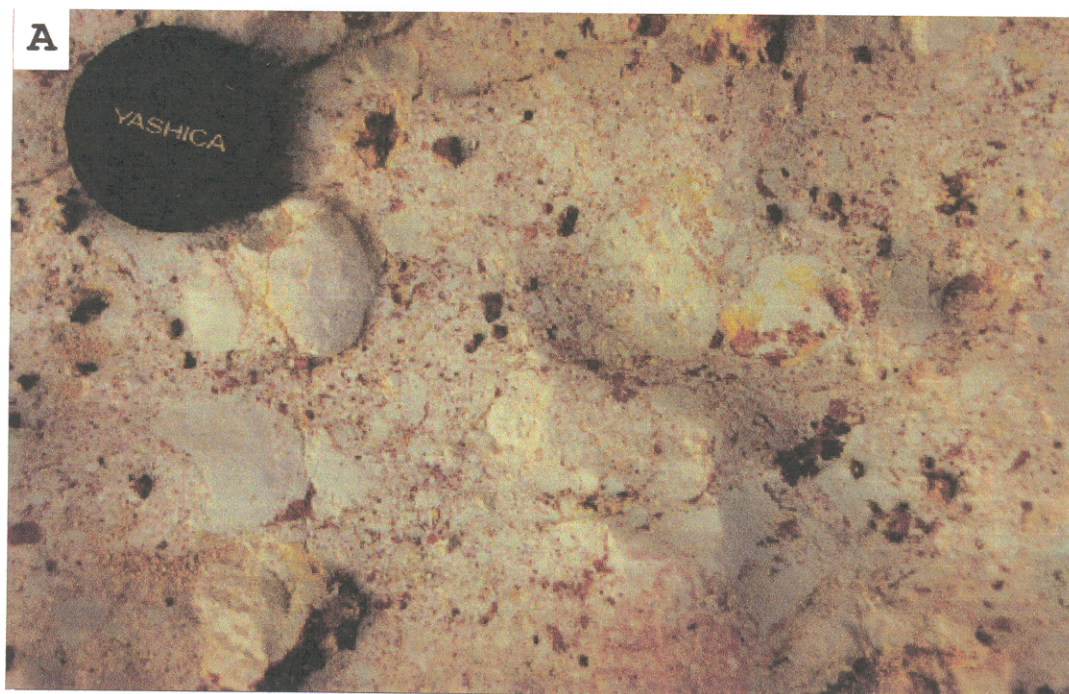


Figura 11 - Depósitos de conglomerado intraformacional (fácies Ci; sub-associação I2c) da Formação Ipixuna) com clastos de argilito (A) e arenito (B), atribuídos a ambiente de preenchimento de baía central por fluxos de detritos.

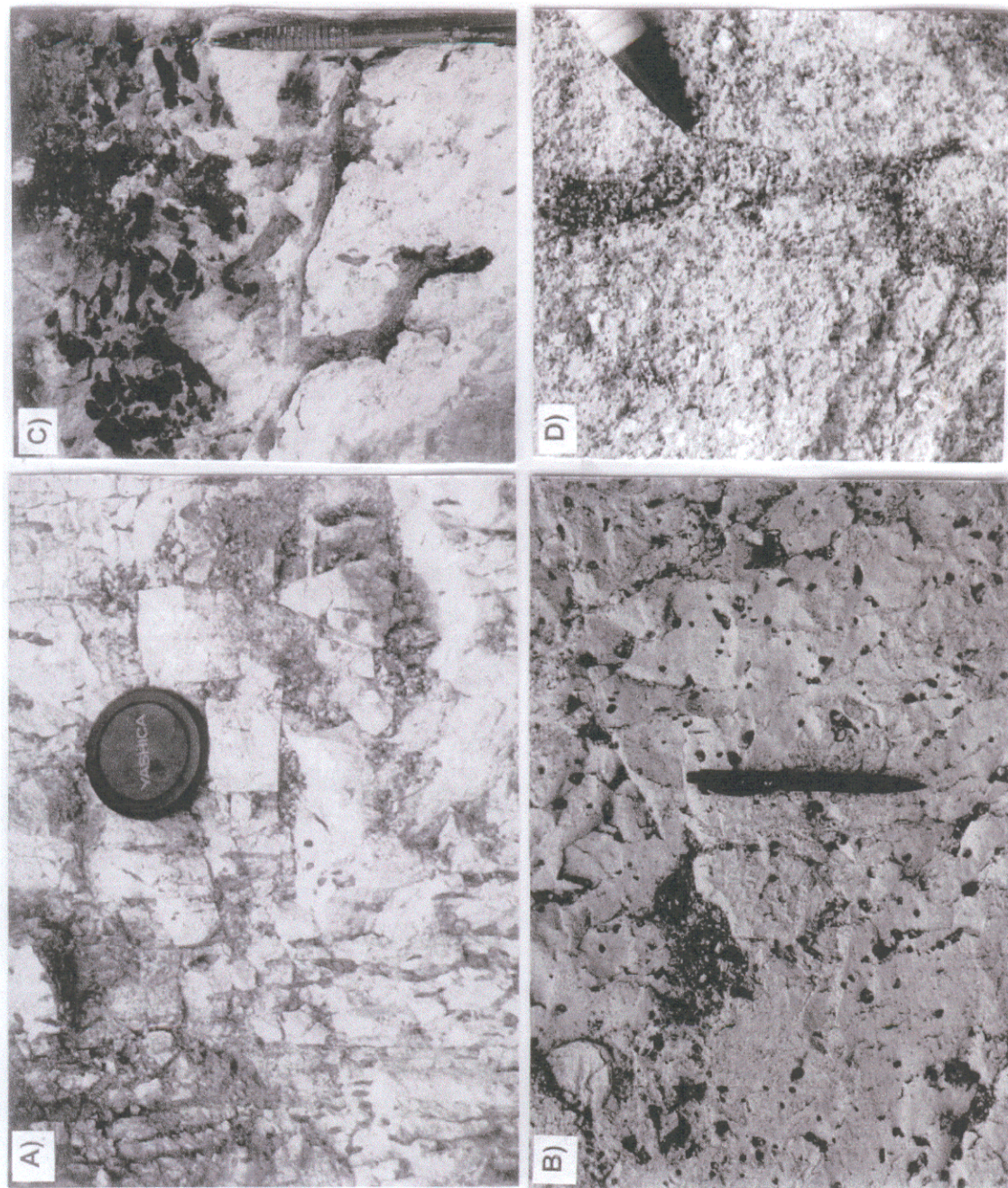


Figura 12 - Assembléia de traços fósseis típica dos depósitos de conglomerado intraformacional (fácies Ci) atribuídos a ambiente de preenchimento de baía estuarina (sub-associação I2C) da Formação Ipixuna. A,B) *Skolithos* vistos em perfil (A) e em planta (B). C) *Thalassinoides*. D) traço meniscado.

Interpretação

A gradação desta associação com os depósitos de praia e de planície de maré sugere formação dentro de um mesmo ambiente deposicional, no caso um estuário, como será discutido no capítulo subsequente. Considerando-se este contexto paleoambiental, bem como a abundância de litologias finas formadas à partir de suspensão e o predomínio de diminutos traços fósseis similares a *Chondrites*, supõem-se que a associação I2c represente áreas submetidas a energia muito baixa, como ocorre freqüentemente nas porções centrais dos estuários, ou seja na baía estuarina. Entretanto, esta baía mostra um desenvolvimento atípico, tendo sido submetida a repentinos e volumetricamente significativos fluxos de detritos, em condições subaquosas. Esta interpretação é embasada no íntimo relacionamento da fácies Agm e a fácies Ci em espessuras que ultrapassam 18m. A atribuição de fluxos de detritos a esses depósitos é sugerida pela presença de clastos de argilito e arenito em tamanhos e formas variadas, mal selecionados e que flutuam em matriz argilosa. A abundância de traços fósseis nestes conglomerados é consistente com sua gênese subaquosa. Portanto, a interpretação mais provável é que as margens do estuário tenham sido submetidas a períodos de instabilidade gravitacional, o que resultou em freqüentes deslizamentos de massas de sedimentos que se deslocaram então, para as áreas mais profundas e centrais do estuário. Com isto,

depósitos representativos de sedimentação estuarina central de baixa energia (p.e., fácies Agm) tornaram-se interdigitados com depósitos de alta energia formados por deslizamentos de massa, representados pela fácies C. O mecanismo gerador de freqüentes instabilidades neste sistema pode estar relacionado com atividades sísmicas, como proposto por Rossetti e Santos Júnior (submetido).

5.1.2.4 - Sub-associação de fácies I2d - Canal de maré

Estes depósitos ocorrem em afloramento de corte de estrada nos arredores da cidade de Ipixuna, chegando a medir 30 m de altura por 300 m de continuidade lateral. Esta sub-associação é caracterizada por corpos limitados, na base, por superfície ligeiramente côncava, recoberta por grânulos de quartzo e pelito, cimentados por ferro. A sub-associação I2d consiste em arenito com estratificação cruzada tabular (fácies At), arenito com estratificação cruzada composta (fácies Ac), arenito ondulante (Ao) e argilito maciço (fácies Agm).

A fácies arenosa com estratificação cruzada tabular (Figura 13A) mostra diminuição ascendente nas espessuras dos *sets*. Esta tendência é acompanhada pelo aumento no grau de argilosidade, refletido pelo arranjo de estratos arenosos que gradam verticalmente à fácies de argilito maciço. *Skolithos* são abundantes nestes estratos (Figura 13B).

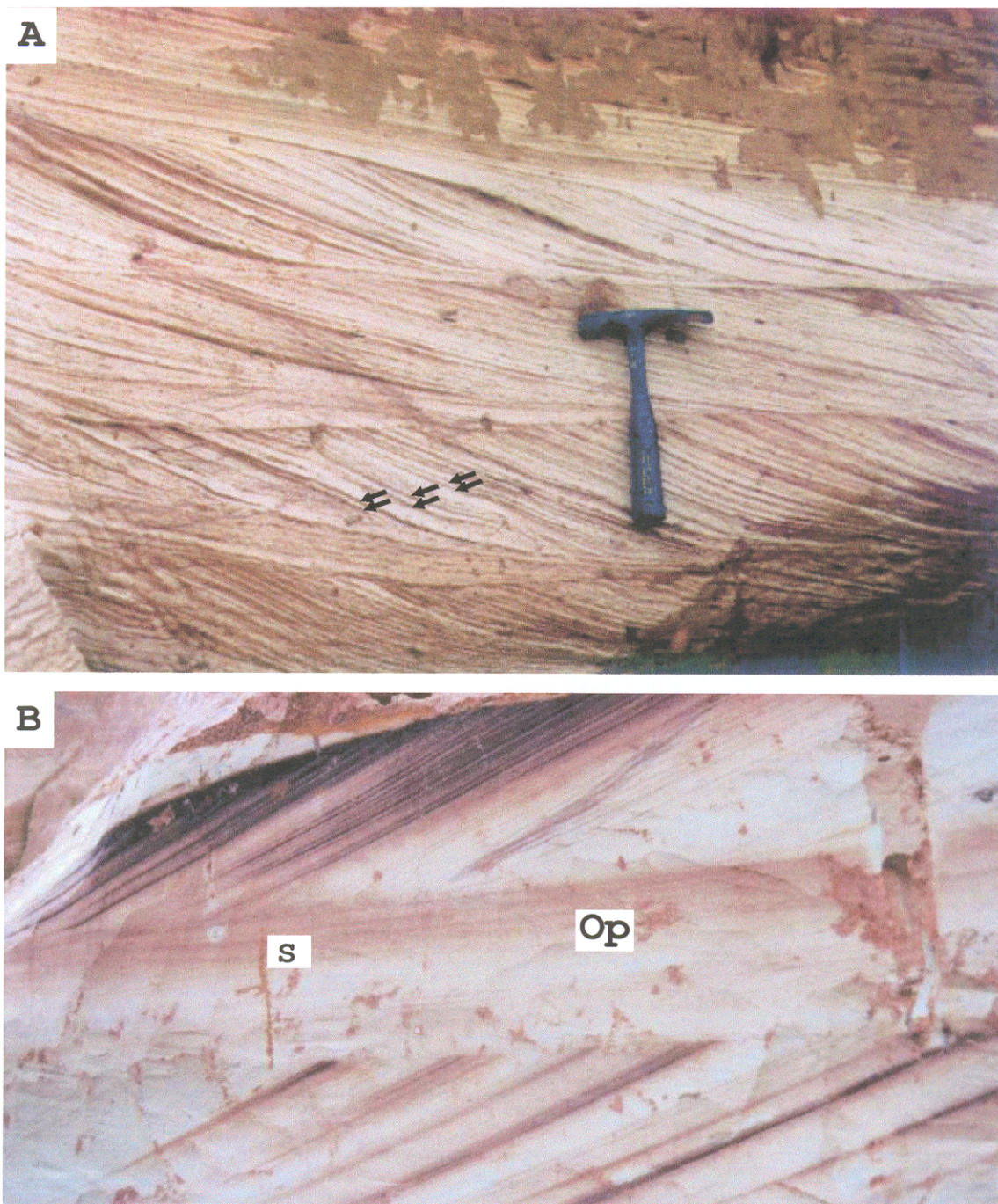


Figura 13 - A,B) Depósitos de arenito com estratificação cruzada tabular (fácies At) atribuída a ambiente de canal de maré (sub-associação I2d) da Formação Ipixuna. A) Observar bandamentos de maré indicados por abundantes superfícies de reativação ressaltadas por recobrimentos argilosos limitando pacotes de *foresets* (setas). Notar também traços fósseis de *Skolithos* - S e *Ophiomorpha* - Op em B.

A fácies At é representada por arenito fino a grosso com estratificação cruzada tabular de médio porte (média de 20 cm de espessura), similar à fácies At dos depósitos do complexo fluvial. Entretanto, na sub-associação I2d esta fácies distingue-se pela abundância de recobrimentos argilosos ao longo dos *foresets*.

A fácies Ac (Figura 14) é a fácies mais expressiva da sub-associação I2d, configurando pacotes de até 1,5 m de espessura. Consiste em arenitos variando de granulometria fina a grossa e com estratificação cruzada composta caracterizada por estratos cruzados de grande porte e baixo ângulo de inclinação ($< 5^\circ$) contendo internamente *sets* superpostos de arenitos cruzados de médio porte. Os estratos de grande porte são tabulares ou ligeiramente ondulados e marcados por grânulos de pelito e quartzo. Os *sets* cruzados superpostos são também tabulares e adelgaçam-se para cima, ao mesmo tempo em que a granulometria torna-se mais fina. Da mesma forma que o observado na fácies At desta sub-associação, os estratos cruzados mostram abundantes filmes de argila e/ou superfícies de reativação. Estes localmente separam pacotes de *foresets* mais espessos e mais delgados que se alternam lateralmente.

A fácies Ao (Figura 15) engloba arenito com granulometria fina, bem selecionado, e com estratificação ondulante quase planar interacamada com estratificação cruzada *swaley* de médio

porte, que forma um intervalo com aspecto distintamente ondulante. Esta fácies possui espessura média de 35cm, ocorrendo erosivamente sobre as demais fácies arenosas. É importante mencionar que a base erosiva de aspecto ondulante desta fácies ascende progressivamente na direção do fluxo, o que resulta em um intervalo arenoso ondulante que diminui de espessura lateralmente, formando geometria em cunha.

A fácies Agm é similar à fácies de argilito maciço dos depósitos de preenchimento de baía central. Na sub-associação I2b esta fácies é raramente laminada formando camadas centimétricas (10-15 cm em média) contendo traços fósseis dispersos do tipo *Taenidium*.

Medidas de paleocorrentes dos arenitos estratificados presentes na sub-associação I2d indicam direção dominante para ENE (Figura 16).

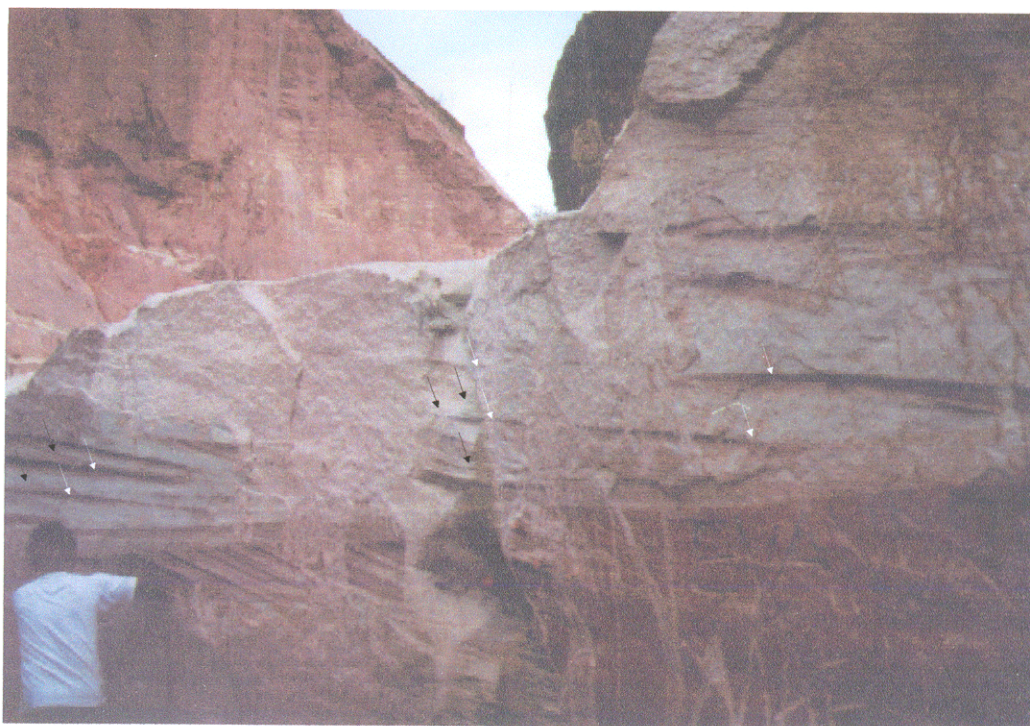


Figura 14 - Arenito com estratificação cruzada composta (fácies Ac) atribuída a ambiente de canal de maré (sub-associação I2d) da Formação Ipixuna. Os estratos compostos caracterizam-se por *sets* descendentes (setas pretas) superpostos à estratificação principal (setas brancas).

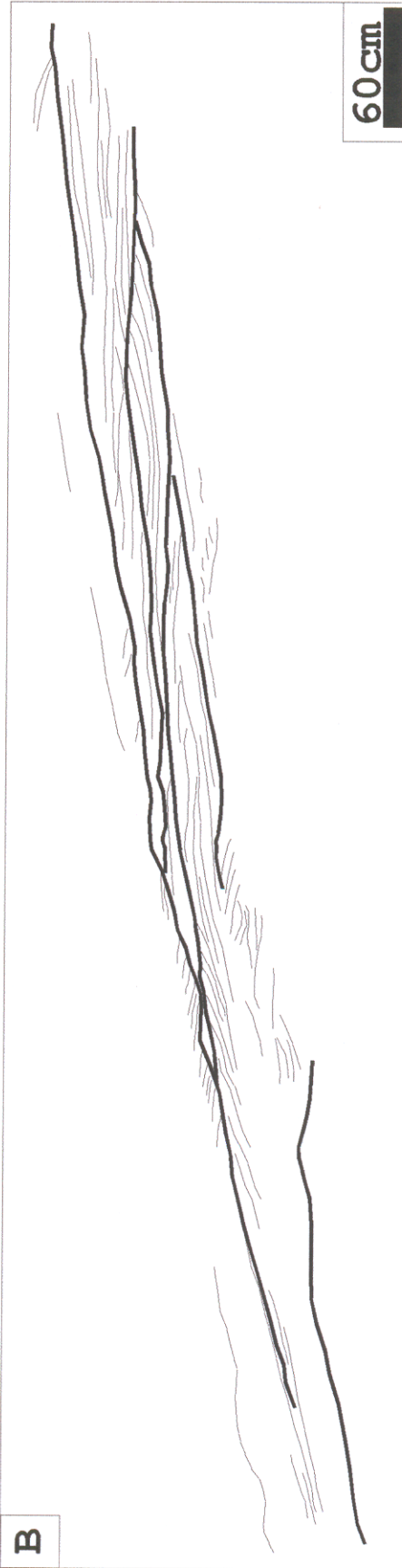


Figura 15 - A, B) Depósitos de arenito com estratificação ondulante quase planar (fácies Ao), representativa de momentâneo retrabalhamento de depósitos de canal de maré (sub-associação I2d) por processos de onda.

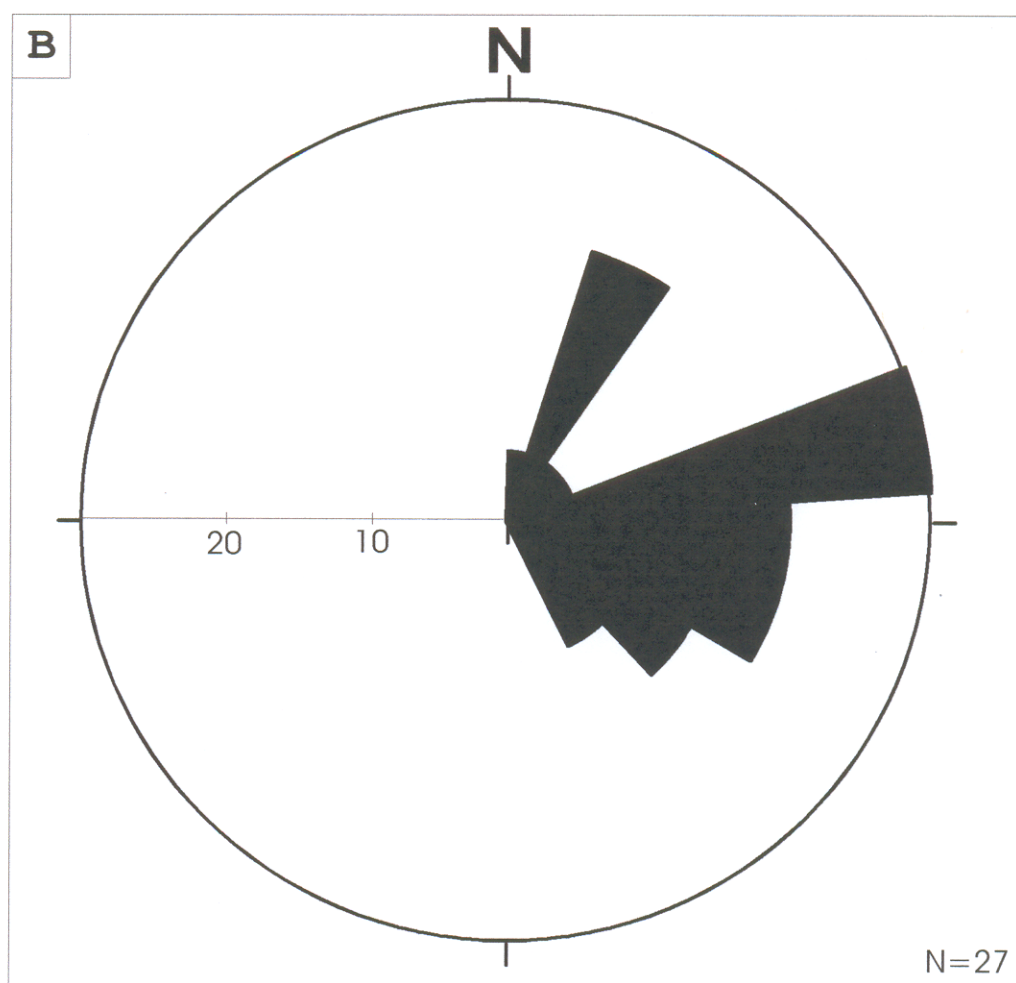


Figura 16 - Medidas de paleocorrentes obtidas para os depósitos de canal de maré (sub-associação I2b) da Formação Ipixuna, com tendência principal para ENE.

Interpretação

A sub-associação de fácies I2d é interpretada como representativa de ambiente de canal de maré, submetido esporadicamente a retrabalhamento pela ação de fluxo combinado. A atribuição a estratos de preenchimento de canal é condizente com as seguintes feições: a) limite basal com geometria ligeiramente côncava, geralmente recoberta por fragmentos de pelito e quartzo; e b) arranjo interno em ciclos de *finning-thinning-upward*, os quais atestam diminuição da energia de fluxo em direção ao topo, típico em preenchimento de canal. Os estratos cruzados compostos denotam o desenvolvimento de formas de leito de grande porte em cujas superfícies aninharam-se formas de leitos menores. Tais feições são comumente presentes em associação com depósitos de canais representando depósitos de barras internas.

O registro de fluxos sujeitos a correntes de maré é sugerido pela abundância de recobrimentos argilosos e superfícies de reativação nos estratos cruzados e, principalmente, pelas sucessões de *foresets* bandados espessos e delgados, atribuídos à ciclicidade de maré. Estruturas similares têm sido amplamente usadas como um dos principais critérios na identificação de ambientes sujeitos a fluxos periódicos causados pela variação diurna de correntes de maré (p.e., Smith, 1988; Boer *et al.*, 1989; Nio & Yang, 1991). A ocorrência de estratos cruzados mostrando padrão de paleocorrentes bidirecional, embora não

exatamente reversos, ajudam a reforçar a influência de processos de maré na sub-associação I2d. Apesar de ser amplamente conhecido que a dinâmica das correntes de maré produzem estratos reversos (i.e., 180°), as correntes de maré cheia e vazante não necessariamente seguem este padrão (Mowbray & Visser, 1984), como é o caso do que ocorre na área de estudo.

Momentâneo retrabalhamento pela ação de fluxo combinado é sugerido pelo pacote de arenitos ondulantes internamente contendo estratificação cruzada quase planar e estratificação cruzada *swaley*, já que estes estratos são entendidos como resultado da combinação de fluxo oscilatório e unidirecional (Nøttvedt & Kreisa, 1987; Arnott, 1992). A abundância de marcas de onda simétricas e assimétricas neste intervalo arenoso é consistente com esta interpretação. Finalmente, o fato do limite basal desses estratos ser erosivo e ondulado e de ascender na direção do fluxo são atribuídos à dissipação da onda devido à perda de energia.

A abundância de traços fósseis do tipo *Skolithos* é condizente com ambiente de alta energia e elevado suprimento sedimentar, como esperado nesses canais de maré submetidos a ação de fluxo combinado.

5.1.2.5 - Sub-associação de fácies I2e - Delta de maré

Estes depósitos ocorrem em cortes de estrada da BR-010, a 10

km da cidade de Ipixuna, próximo à cidade de Paragominas (Figura 17A-C). Consiste em corpos amalgamados de arenito arcoseano com geometria lobada. Cada lobo apresenta espessura média de 0,5 m, podendo alcançar 2 m. Sobrepostos chegam a medir mais de 10 m de altura por 60 m de comprimento. Duas fácies foram descritas: arenito maciço (Am) e argilito maciço (Agm). A fácies Am consiste em arenito bem selecionado, fino a médio, micáceo, cujas estruturas foram obliteradas pela ação biogênica, como atestado pela abundância de traços fósseis indistintos em suas porções mais superiores. Onde a bioturbação é menos intensa observam-se estratos cruzados tabulares incipientes, os quais se destacam por apresentar filmes e/ou fragmentos de argila ao longo dos *foresets* arranjados internamente em ciclos de granocrescência ascendente.

A fácies Agm caracteriza-se por argilito maciço, amarelado, contendo abundante bioturbação com traços fósseis indeterminados. Esta fácies ocorre intercalada aos arenitos maciços, com os quais formam ciclos de granocrescência ascendente (Figura 17C).

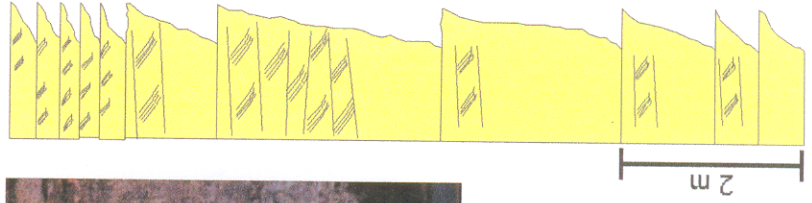


Figura 17 - A) Desenho sobre fotografia dos depósitos de delta de maré (sub-
 associação I2e) da Formação Ipixuna. B) Detalhe do afloramento mostrado em A,
 ilustrando lobos de arenitos maciços (fácies Am) delimitados por argilitos maciços
 (fácies Agm). C) Seção colunar representativa de depósitos de delta de maré
 ilustrando ciclos de granocrescência ascendente.

Interpretação

A geometria desta sub-associação e arranjo interno em ciclos de granocrescência ascendente suporta gênese sob a forma de lobos de suspensão. Como estes depósitos acham-se localizados a cerca de 20Km de Ipixuna e 50Km e 60Km das mina PPSA e IRCC, respectivamente, sua correlação estratigráfica torna-se problemática. Porém, a característica arcoseana leva à sua inclusão na Formação Ipixuna, já que esta unidade é a única conhecida na área tipicamente representada por arenitos feldspáticos e arcoseanos. Além disto, a abundância de superfícies de reativação com recobrimentos argilosos ao longo dos *foresets*, relembra os estratos cruzados gerados por influência de maré das outras sub-associações de fácies registradas na Formação Ipixuna, o que leva a propor sua inclusão no mesmo sistema deposicional. Embora a distribuição paleogeográfica dos diversos sub-ambientes seja uma tarefa difícil de ser reconstituída pela falta de continuidade física dos afloramentos, o mais provável é que a sub-associação I2e registre pequenos deltas de maré conectados com o sistema estuarino proposto neste trabalho.

5.2 - FORMAÇÃO BARREIRAS

Os depósitos terciários expostos na borda sudeste da Sub-Bacia de Cametá acomodam-se sobre uma superfície de descontinuidade regional com caráter fortemente erosivo desenvolvida no topo da Formação Ipixuna. Na mina da Imery Rio Capim Caulim, esta superfície de descontinuidade basal possui forma côncava, configurando uma ampla depressão (largura de até 1 Km e profundidade que atinge 40 m na face dos afloramentos; Ver Seção I em anexo), com margens apresentando forte declive (até 70°). Como será demonstrado com mais detalhe em capítulo à parte (ver capítulo 7), esta superfície define a base de um paleovale instalado sobre a sedimentação cretácea. O preenchimento deste paleovale é representado por arenitos friáveis e quartzosos, argilitos mosqueados e, secundariamente conglomerados ferrificados da Formação Barreiras. As características faciológicas descritas abaixo levam a sugerir deposição em ambiente marinho marginal, provavelmente do tipo estuarino, como será discutido em capítulos subsequentes.

Os depósitos da Formação Barreiras na área estudada podem ser descritos em termos de 9 fácies deposicionais (Tabela 2), atribuídas a complexo de canal de maré (associação de fácies B1) e planície de maré/mangue (associação de fácies B2).

Tabela 2 - Descrição das associações de fácies e interpretação dos ambientes deposicionais para os depósitos da Formação Barreiras na área de estudo.

Fácies	Assembléia de fácies	Descrição	Interpretação
At/a, Ci e Ac	B1a	Arenito com estratificação cruzada tabular e subordinadamente acanalada. Os estratos cruzados podem ocorrer em estratos cruzados compostos arranjados em ciclos de <i>finning-thinning-upward</i> . Pares de lâminas de argila (<i>mud couplets</i>) e/ou superfícies de reativação podem estar associados. Os arenitos ocorrem sobrepostos a lentes de conglomerados intraformacionais monomíticos constituídos de seixos e grânulos de quartzo. Traços fósseis <i>Skolithos</i> (abundantes), <i>Ophiomorpha</i> , <i>Planolithes</i> e <i>Gyrolithes</i> .	Centro de canal
At, Phi e Agm	B1 B1b	Arenito fino a muito grosso com estratificação cruzada tabular e películas de argila sobre superfícies de reativação. Estes arenitos gradam lateralmente a barras arenosas compostas. Localmente, arenito fino a médio, com estratificação cruzada de pequeno a médio porte intercalado a argilito laminado, formando acamamento heterolítico suavemente inclinado. Mesma assembléia de traços fósseis dos depósitos de centro de canal.	Margem de canal
Phh, Agl e Am	B2	Intercalações de argilito laminado e arenito fino a médio formando acamamento heterolítico com geometria tabular. Estes corpos estão arranjados em ciclos com aumento de argiloidade ascendente, com topos marcados, geralmente, por horizontes de paleossolos. Os arenitos podem apresentar estratificação cruzada tabular com abundantes superfícies de reativação e/ou recobrimentos argilosos.	Planície de maré/mangue

5.2.1 - Associação de fácies B1: Canal de maré

A associação de fácies B1 é a mais espessa e representativa da área de estudo. Estes depósitos caracterizam-se por corpos com geometria côncava que chegam a atingir 40 m de espessura e até 550 m de comprimento. A associação de fácies B1 apresenta arranjo arquitetural complexo de suas fácies, podendo ser descrita em termos de duas sub-associações, representativas dos seguintes subambientes intergradacionais: sub-associação de fácies B1a - centro de canal; e sub-associação de fácies B1b - margem de canal.

5.2.1.1 - Sub-associação de fácies B1a - Centro de canal

Os depósitos desta sub-associação (Figura 18A) formam corpos predominantemente arenosos com espessuras que atingem 22 m, ocorrendo na porção mais central ou deprimida (porção mais profunda) dos depósitos de canal de maré. Traços fósseis são freqüentes nestes estratos, ocorrendo de forma dispersa e sendo dominados por *Skolithos*. Além destes, são também comuns *Ophiomorpha*, *Planolithes* e *Gyrolithes* (Figura 19). A sub-associação B1a consiste nas seguintes fácies: arenito com estratificação cruzada tabular/acanalada (At/a), conglomerado (C) e arenito com estratificação cruzada composta (Ac).

A fácies At/a (Figura 19 e 20) possui cerca de 6 m de espessura e é constituída de arenito com estratificação cruzada,

de granulometria grossa a muito grossa na base, que grada para cima a arenito médio a fino compondo um intervalo com granodecrescência ascendente. Os estratos cruzados são predominantemente do tipo tabular, de médio porte (10 a 35 cm de espessura), ocorrendo subordinadamente estratificação cruzada acanalada. Os *sets* com estratificação cruzada estão organizados de forma a mostrar adelgaçamento dos estratos em direção ao topo (*thinning-upward*). Os limites dos *sets* são retilíneos ou ondulantes, sendo recobertos por filmes de argila e/ou intraclastos (grânulos e seixos) pelíticos dispersos (Figura 19 e 20). Internamente, os *foresets* estão organizados em pacotes medindo 0,1-0,25 m de espessura, marcados por películas de argila e/ou superfícies de reativação. Localmente, pacotes de *foresets* mais espessos acham-se alternados com pacotes de *foresets* mais delgados, formando uma sucessão de bandamentos ou pares lateralmente adjacentes. Importante mencionar, também, que grupos de bandamentos mais espessos alternam-se lateralmente com grupos apresentando pares mais delgados e com maior preservação de recobrimentos de argila ao longo dos *foresets*. Neste último caso, as terminações inferiores dos *foresets* são também mais suaves, formando geometria tipicamente tangencial na base, quando então o limite inferior dos *sets* ascende relativamente aos grupos de *foresets* mais espessos, onde os *foresets* mostram-se mais retilíneos e com limite inferior descendente.

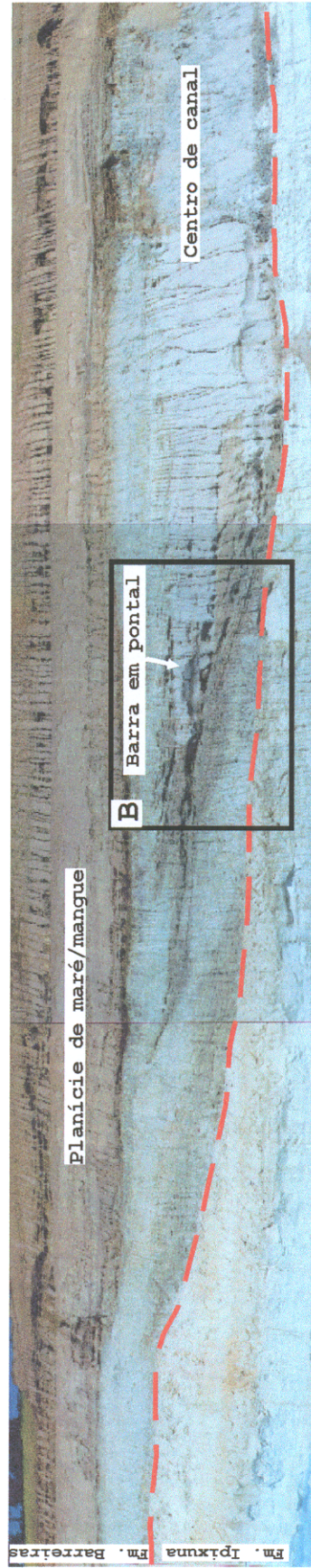


Figura 18 - Depósitos de canal de maré (associação de fácies B1) da Formação Barreiras ilustrando o relacionamento espacial entre depósitos de centro (sub-associação B1a) e margem (sub-associação B1b) de canal, e depósitos de planície de maré/mangue (associação B2). O quadrado central indica a localização da figura 24B.

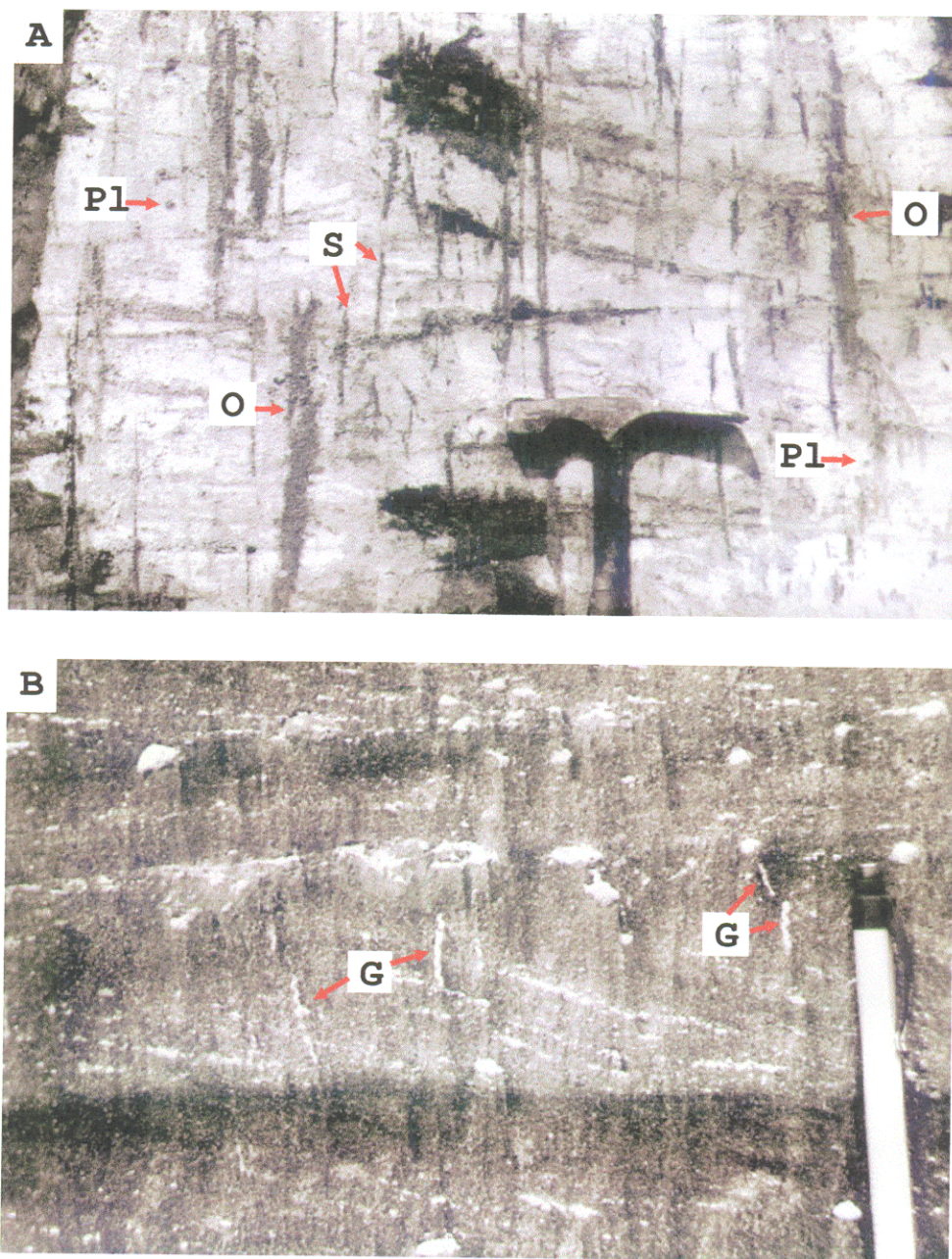
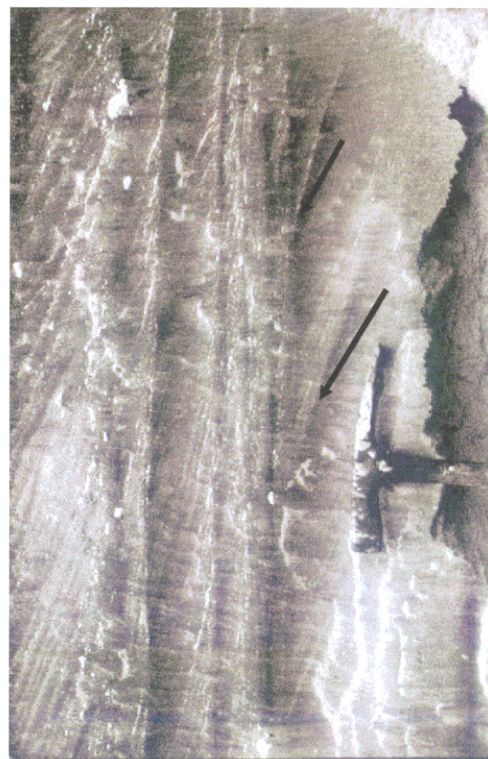


Figura 19 - A,B) Arenitos com estratificação cruzada contendo abundantes superfícies de reativação e recobrimentos argilosos, típicos da Formação Barreiras na região do Rio Capim. Observar traços fósseis característicos desses depósitos: *Skolithos* (S), *Planolites* (Pl), *Ophiomorpha* (O); *Gyrolithes* (G).



Figura 20 - A,B) Depósitos de centro de canal (sub- associação B1a) da Formação Barreiras ilustrando arenito com estratificação cruzada tabular/acanalada (fácies At/a) com bandamentos de maré (setas duplas) limitados por superfícies de reativação e recobrimentos argilosos (setas).



A fácies Ci (Figura 21) é constituída, principalmente, por conglomerado intraformacional monomítico, formado por seixos e grânulos de quartzo subarredondados a arredondados, com matriz constituída de areia grossa/muito grossa, de seleção moderada. Internamente, os conglomerados apresentam arcabouço fechado e granodecrescência ascendente. Estes depósitos ocorrem como pavimentos comumente cimentados por ferro, de espessuras centimétricas (10-15 cm), mas que podem alcançar localmente espessuras de até 2 m (ver Seção II em anexo). Lateralmente, a fácies de conglomerado grada a arenito muito grosso, contendo abundantes grânulos de quartzo dispersos.

A fácies Ac (Figura 21 e 22) corresponde a arenito com estratificação cruzada composta, caracterizado por *sets* cruzados de grande porte (espessura de 0,7 a 1,5 m) contendo, internamente, *sets* menores superpostos. O arenito é, em geral, bem selecionado, de granulometria fina a grossa, e grãos tipicamente subarredondados. Os estratos cruzados de grande porte possuem forma tabular, sendo suavemente inclinados ($< 15^\circ$), e com limite dos *sets* geralmente marcados por arenito muito grosso. Os *sets* superpostos internamente aos estratos de grande porte são do tipo tabular de pequeno a médio porte e mostram arranjo dos *foresets* em pacotes (1 a 3 cm de espessura) marcados por argila (*mud couplets*) e/ou superfície de reativação, similarmente ao verificado na fácies At/a. Estes depósitos formam corpos

tabulares a lenticulares, neste último caso estendendo-se lateralmente por até 250 m. Até quatro *sets* de arenitos com estratificação cruzada composta foram observados verticalmente superpostos, sendo os mais superiores de espessura relativamente menor e com granulometria mais fina (Figura 22).

Medidas dos azimutes das estratificações cruzadas mostram dados de paleocorrentes variáveis, com domínio de moda NNW e subordinadamente para SE (Figura 23).

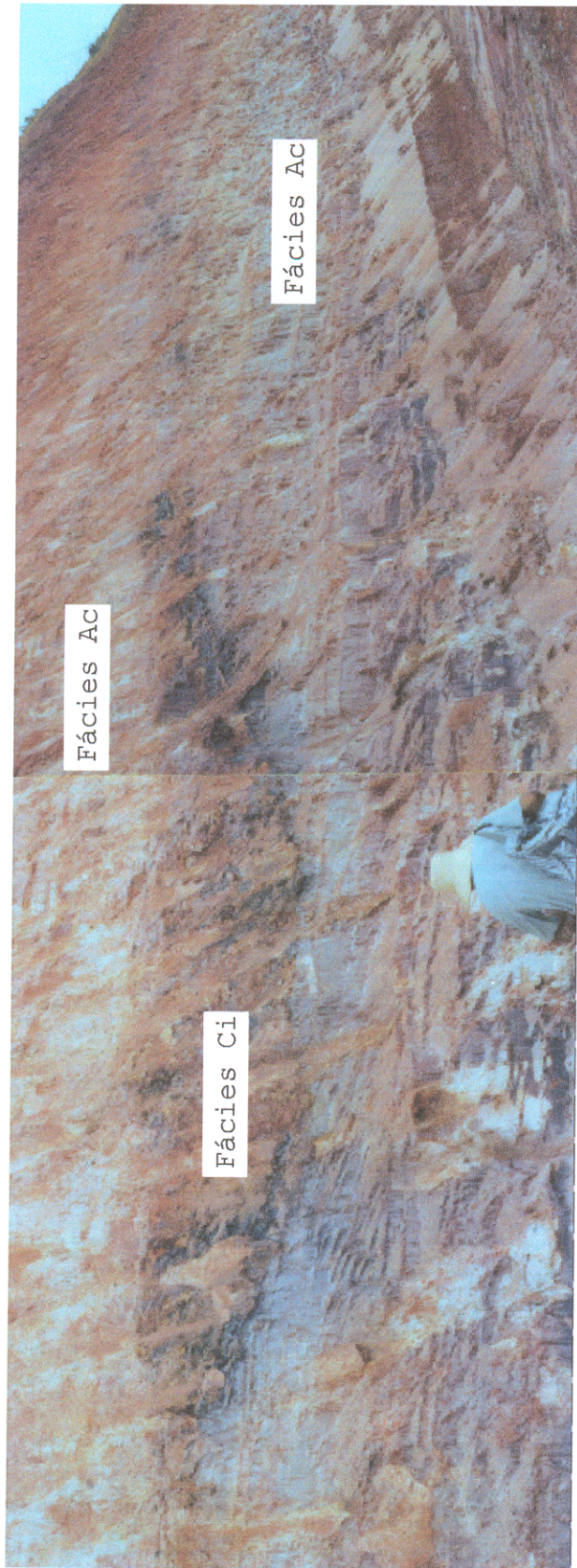


Figura 21 - A,B) Depósitos de centro de canal (sub-associação Bla) da Formação Barreiras ilustrando conglomerados intraformacionais (fácies Ci) na base dos canais de maré sobrepostos por arenitos da fácies AC.

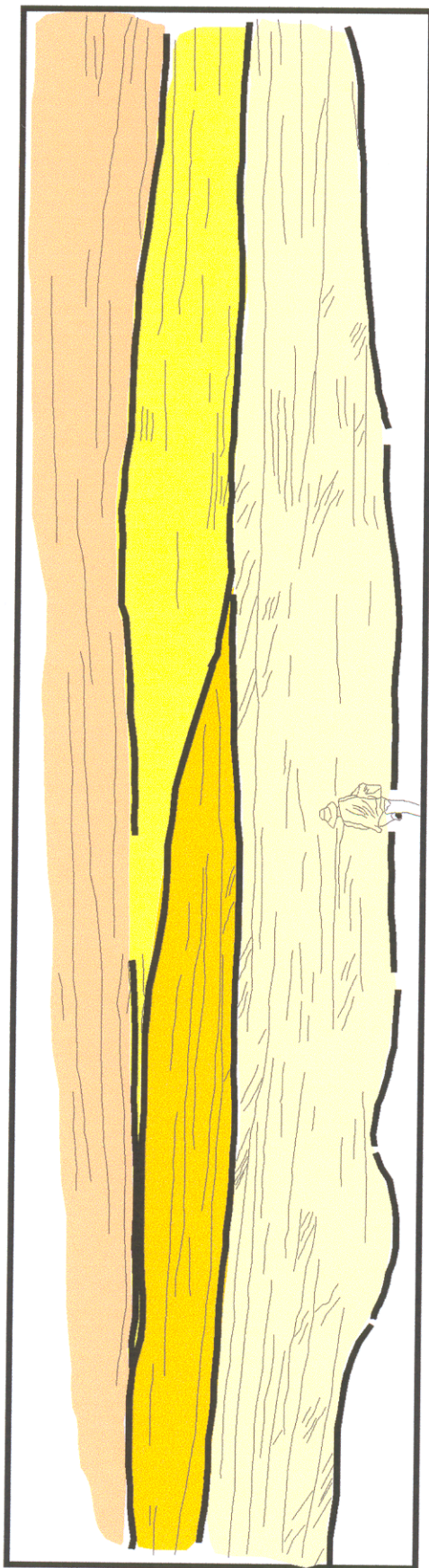


Figura 22 - Depósitos de centro de canal (subassociação B1a) da Formação Barreiras ilustrando estratificação cruzada composta (fácies Ac). Os sets internos são descendentes estratos cruzados internos caracterizada por sets de grande porte (0,7 a 1,5 m) internamente superpostos por sets de médio a pequeno porte (0,2 a 0,3 m).

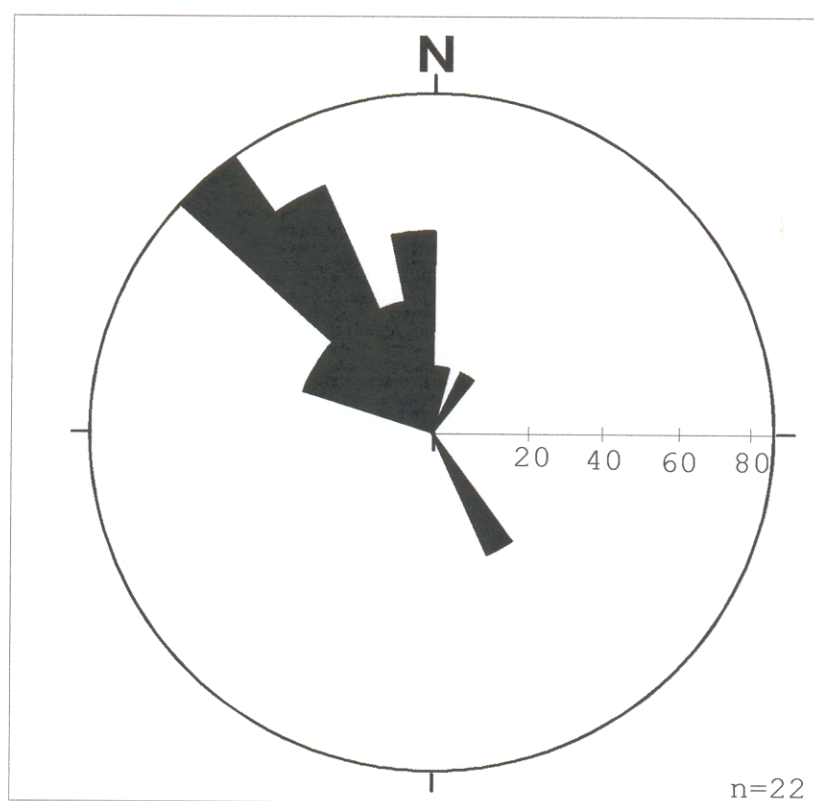


Figura 23 - Medidas de paleocorrentes obtidas para os depósitos de canal de maré (sub-associação B1) da Formação Barreiras, indicando direcionamento principal para NW e subordinadamente SE.

Interpretação

A sub-associação de fácies Bla é interpretada como depósitos de centro de canal influenciado por maré tomando-se por base as seguintes características: a) ocorrência de superfície basal côncava na porção mais deprimida, atribuída a geometria em canal, freqüentemente recoberta por *lags* de quartzo; b) arranjo dos estratos configurando ciclos de *finning-thinning-upward*, típicos de preenchimento de canais; e c) estruturas sedimentares diagnósticas da influência de maré.

Os arenitos com estratificação cruzada tabular/acanalada (fácies At/a) e estratificação cruzada composta (fácies Ac) atestam migração de formas de leito sob condições de fluxos periódicos. A presença de bandamentos formados por pares de argila (*mud couplets*) e/ou superfícies de reativação é atribuída a deposição por processos de maré (Visser, 1980; Nio & Yang, 1991). Condições mais prováveis de inframaré é sugerida pela boa preservação de estratos com bandamentos de maré (Visser, 1980; Boersma & Terwindt, 1981). Embora não se tenha uma ampla continuidade de *sets* com bandamentos de maré, o registro em pares de *foresets* mais espessos e mais delgados sugerem ciclos de maré de sizígia e quadratura decorrentes das variações de amplitude e energia de maré (Visser, 1980). Apesar da forte assimetria registrada na orientação dos estratos cruzados, a presença localizada de paleocorrentes reversas em *sets* internamente

superpostos da fácies Ac, corroboram a influência de correntes de maré nos processos de sedimentação destes estratos. A forte assimetria, indicada pela unidirecionalidade das paleocorrentes, não descaracteriza a influência de correntes de maré nesta sub-associação Bla, já que tal padrão é comum em ambientes modernos influenciados por maré (Boer *et al.*, 1989; Nio & Yang, 1991).

Os arenitos formando barras compostas superpostas, representadas pela fácies Ac, são consistente com deposição nas porções mais energéticas e centrais de canalizações. A interpretação de que a sub-associação de fácies Bla registre deposição em partes centrais de canal influenciado por maré é também concordante com sua gradação lateral com a sub-associação de fácies Blb, que, como será discutido na seqüência deste trabalho, registra ambiente de energia relativamente menor, marginal aos canais influenciados por maré.

Por fim, a presença de assembléia de traços fósseis dominada por *Skolithos*, *Ophiomorpha*, *Planolithes* e *Gyrolithes*, é consistente com deposição em ambientes estressados mixohalinos para a sub-associação de fácies Bla.

5.2.1.2 - Sub-associação de fácies Blb - Margem de canal

Esta sub-associação (Figura 24A,B) possui, em média, 1m de espessura, podendo localmente chegar até 7 m. Ocorre marginalmente intergradada com os depósitos da sub-associação Bla

(Figura 24), posicionando-se em porções menos deprimidas (mais rasa) do paleovale que define a Formação Barreiras na área de estudo. Traços fosseis são comuns a abundantes nesta sub-associação, e incluem *Skolithos*, *Ophiomorpha* e *Planolites* nas porções arenosas e *Taenidium* nas porções mais pelíticas. A sub-associação de fácies Blb é composta pelas seguintes fácies: arenito com estratificação cruzada tabular (fácies At); pelito com acamamento heterolítico inclinado (fácies Phi); e argilito maciço (fácies Agm).

A fácies At desta sub-associação é similar à fácies At/a da sub-associação Bla, porém, neste caso, apresenta espessura média de 1,5 m e estratos com *sets* e *foresets* limitados por fragmentos pelíticos e/ou recobrimentos argilosos. Nesta fácies ocorrem feições tubulares verticalizadas medindo, em média, 6 cm de diâmetro e 70 cm de comprimento, associadas a feições ramificadas nas bases, são atribuídas a marcas de raízes (Figura 25).

A fácies Phi (Figura 24B) caracteriza-se pela alternância de camadas centimétricas (3-10 cm) de argilito laminado e arenito fino a médio, que mostram inclinação suave (em média inferior a 15°). Esta fácies, com continuidade lateral média de 30 m, apresenta internamente superfícies de reativação côncavas, ressaltada pela variação angular dos estratos heterolíticos subjacentes. Internamente, os arenitos caracterizam-se por estratificação cruzada de pequeno a médio porte, similar à fácies

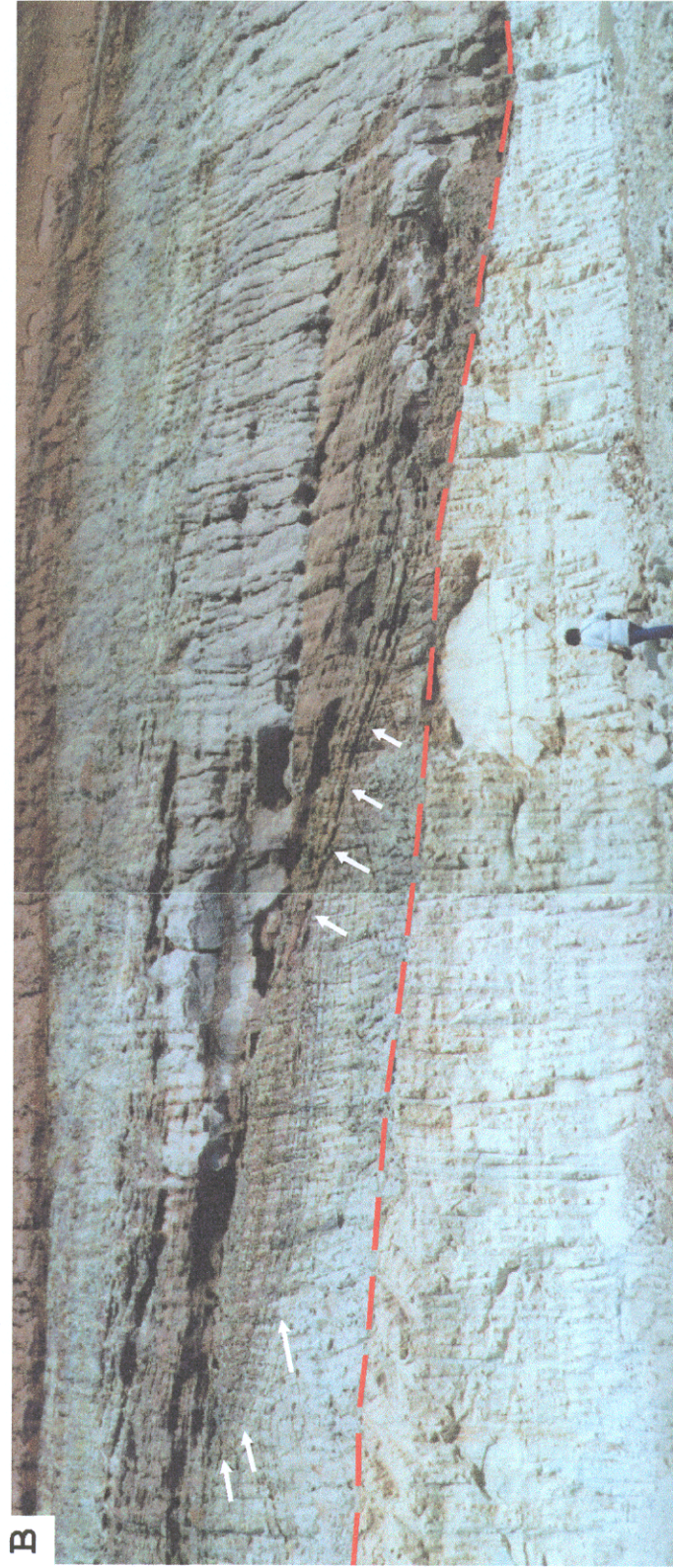
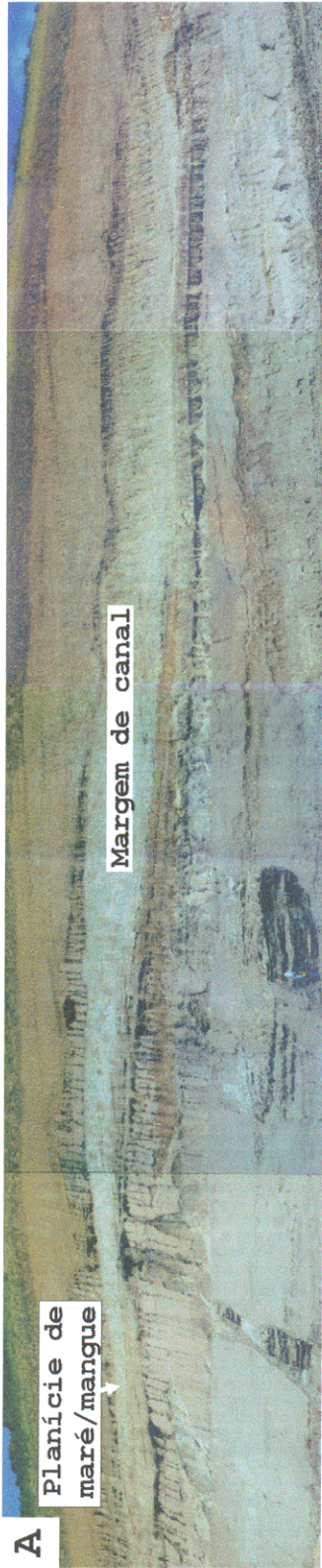


Figura 24 - Depósitos de canal de maré (associação de fácies B1) da Formação Barreiras ilustrando o relacionamento espacial entre depósitos de margem de canal (sub-associação B1b) e planície de inundação/mangue (sub-associação B2). B) Depósitos heterolíticos inclinados (fácies Phi) atribuídos a barra em pontal (sub-associação B1b; ver localização na figura 18). Notar superfícies de reativação (setas).



Figura 25 - A) Depósitos de margem de canal (sub-associação I1b) da Formação Barreiras ilustrando feições tubulares verticalizadas atribuídas a raízes distribuídas ao longo da fácies At. Notar fácies de argilito maciço (Agm) sobreposta à fácies At. B) Detalhe em planta das raízes.

At/a da sub-associação de fácies Bla, entretanto, neste caso, não são observados pares de *foresets* associados a superfícies de reativação. Os argilitos são laminados e, freqüentemente, formam estruturas *linsen*.

A fácies de argilito maciço (A_{gm}) é a camada mais delgada da área estudada, medindo em média 50 cm de espessura. É representada por argilito maciço, endurecido, mosqueado, apresentando textura *blocky*, que grada para baixo a depósitos estruturados.

Medidas de paleocorrentes em estratificações cruzadas e acamamentos heterolíticos inclinados indicam orientação preferencial para NE e SW (Figura 26).

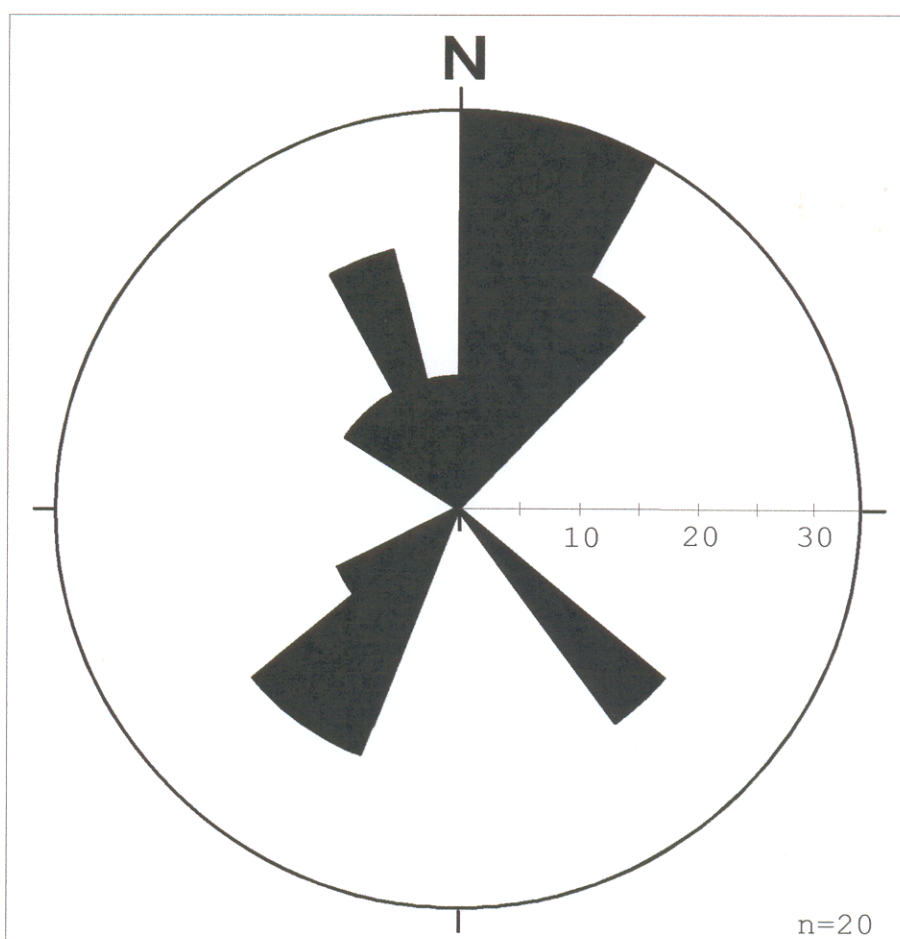


Figura 26 - Medidas de paleocorrentes obtidas para os depósitos de margem de canal (sub-associação B1b), com direções preferenciais para NE e SW.

Interpretação

Os depósitos da sub-associação de fácies Blb são atribuídos a ambientes de margem de canal influenciado por maré, com base em sua ocorrência marginal às feições de canal definidas anteriormente, e pelo fato de intergradarem lateralmente com os depósitos de centro de canal (sub-associação Bla). O brusco decréscimo na razão argila/areia nestes depósitos, relativamente à sub-associação Bla, reflete rápido declínio da energia de fluxo nas porções marginais do canal, onde houve grande participação de deposição à partir de suspensão.

Apesar da ausência de sucessão com *mud couplets*, o registro da influência de correntes de maré nestes depósitos é sugerida pela presença de *sets* de estratificações cruzadas com abundantes recobrimentos argilosos (sobre os *foresets* e o limite dos *sets*) e/ou superfícies de reativação (Nio & Yang, 1991).

Os acamamentos heterolíticos inclinados da fácies Phi, são similares às estratificações do tipo *epsilon* (Allen, 1970), atribuídas a acreção lateral, típicas de barras em pontal, registradas em zonas de intermaré (Thomas *et al.*, 1987). Superfícies de reativação truncante associada a estes depósitos heterolíticos inclinados revelam períodos de erosão no processo de formação das barras de acreção lateral. A geração destas superfícies pode estar relacionada a processos de maré, os quais proporcionaram, provavelmente, a erosão parcial da porção distal

destas barras de acreção lateral. Tais superfícies de erosão são comuns em depósitos desta natureza.

A fácies Agm é atribuída a horizontes de paleossolo gerados em decorrência de momentâneas exposições subaéreas. Esta interpretação é consistente com o aspecto maciço e endurecido destes depósitos e com a presença de marcas de raízes.

5.2.2 - Associação de fácies B2: Planície de maré/mangue

Esta associação de fácies tem espessura média de 2m, podendo chegar a 10 m de espessura. Ocorre sob forma de pacotes tabulares, recobrando ou interdigitando lateralmente com a sub-associação de fácies B1b (margem de canal) (Figura 24A; Anexo I). Estes depósitos mostram-se mais arenosos na base, com argilosidade ascendente e topos onde as estruturas sedimentares foram obliteradas pela ação de raízes. Nas porções mais arenosas desta associação observam-se traços fósseis dispersos dominados por *Skolithos* e *Ophiomorpha*, enquanto nas porções mais argilosas ocorre a dominância de *Skolithos*. Três fácies caracterizam a associação de fácies B2: pelito com acamamento heterolítico horizontal (fácies Phh), argilito laminado (Agl) e arenito maciço (fácies Am).

A fácies Phh possui espessura média de 0,7 m (podendo chegar a 1m) e consiste em intercalações de arenito muito fino a fino e argilitos arranjados em camadas centimétricas (2 a 3 cm),

formando depósitos heterolíticos, que se distinguem da fácies Phi pela horizontalidade de seus acamamentos. Constantes variações nas proporções areia/argila resultam em gradação freqüente de acamamentos dos tipos *wavy* e lenticular. Camadas de arenitos mais espessas podem mostrar estratos cruzados com abundantes superfícies de reativação e/ou recobrimentos argilosos nos *sets* e *foresets*.

A fácies Agl corresponde a estratos de argilito finamente laminado com *streaks* de areia muito fina a siltica, formando *pin-stripe-lamination*, de coloração vermelho acizentada. Apresenta, em média, 2m de espessura, sendo de melhor distribuição areal na Mina IRCC, onde pode ser seguido lateralmente por várias centenas de metros. Importante mencionar que esta fácies grada para cima a depósitos de argilito com coloração esverdeada a cinza esbranquiçada e tipicamente maciço e endurecido, sendo seu limite superior sistematicamente brusco.

A fácies Am é representada por arenito fino a muito fino, maciço, avermelhado, os quais configuram corpos lenticulares (2m de espessura; 40 m de comprimento) de ocorrência localizada. *Lags* de pelitos e grânulos de quartzo, sobretudo níveis de seixos quartzosos, estão presentes na base desta fácies. A fácies Am acha-se fisicamente conectada com os depósitos de margem de canal, formando uma feição em cunha que se adelgaça em direção aos demais depósitos da associação B2.

Interpretação

A associação de fácies B2 é interpretada como depósitos de planície de maré/mangue com base: a) no relacionamento espacial com as demais associações de fácies, ocorrendo marginalmente e lateralmente aos depósitos de canais influenciados por maré; b) e na tabularidade dos estratos, consistente com deposição em áreas planas. A assembléia icnológica, representada por *Skolithos* e *Ophiomorpha*, é condizente com ambientes sob a influência marinha.

A fácies Phh indica ambientes submetidos a alternâncias freqüentes entre deposição por tração e suspensão. A presença de recobrimentos argilosos nos *sets* e *foresets* dos estratos cruzados com porções arenosas intercaladas são registro adicional de sedimentação periódica com alternância de deposição por tração e suspensão. Dado o contexto paleoambiental proposto para os depósitos da Formação Barreiras na área de estudo, estas características, embora não diagnósticas, são comuns em ambientes de maré. Os depósitos de planície de maré/mangue podem não desenvolver feições diagnósticas de maré (Johnson & Levell, 1995), principalmente se a deposição ocorre na zona de intermaré e supramaré, como pode ter sido o caso dos estratos heterolíticos registrados pela fácies Ahh. De fato, parte dos depósitos da associação de fácies B pode refletir o registro em planícies de maré argilosa. Em particular, os argilitos laminados com *streaks* de silte/areia muito fina são depósitos comuns em ambientes de

planície de maré lamosa. A gradação destes argilitos laminados para argilitos endurecidos, esbranquiçados, contendo marcas de raízes, é associada com eventual exposição subaérea e desenvolvimento de solos, típicos de áreas de inter- a supra-maré, que pode também incluir áreas de mangue.

A ocorrência de arenito maciço (Am) em cunha, conectada aos depósitos de canal e que se estende aos depósitos de planície de maré, são interpretados como representativos de *crevasse splay*. Este tipo de depósito é geralmente discreto e ocorre sob forma de lobos espalhados (Suguio & Bigarella, 1990; Collinson, 1996), sobre as áreas marginais ao canal, representado na área de estudo pelas planícies de maré.

6 - DISCUSSÃO DOS MODELOS DEPOSICIONAIS

Os depósitos estudados compõem duas unidades estratigráficas formadas em tempos geológicos bastante distintos, ou seja, Cretáceo Superior para a Formação Ipixuna e Mioceno para a Formação Barreiras. Apesar disto, e possivelmente das condições climáticas e tectônicas diversas, o sistema deposicional proposto para estas formações geológicas é bastante similar, sendo ambas de natureza estuarina, como será apresentado na discussão abaixo.

6.1 - FORMAÇÃO IPIXUNA

Os poucos trabalhos faciológicos enfocando a Formação Ipixuna levaram à proposição de paleoambientes exclusivamente fluviais (Góes, 1981). Porém, o trabalho faciológico na área de estudo revelou a presença de uma variedade de ambientes deposicionais geneticamente relacionados, onde depósitos fluviais são recobertos gradativamente por depósitos representativos de ambientes submetidos à influência de águas marinhas, o que mais provavelmente ocorreu dentro de um sistema estuarino.

As características sedimentológicas e arranjo espacial dos estratos basais da Formação Ipixuna nas minas IRCC e PPSA sugerem a presença de um sistema fluvial meandrante. Esta interpretação deve-se principalmente à superposição de depósitos atribuídos a canal fluvial (influenciado por maré?; sub-associação I1a) por depósitos bem desenvolvidos de planície de inundação/*mud plug*

(sub-associação Ilb), o que resultou em um intervalo com tendência geral de *finning-thinning-upward*. O registro de depósitos de canais abandonados (*mud plug*) e *crevasse splay* na sub-associação I1 é consistente com sistemas canalizados sinuosos. Planícies de inundação com meandros abandonados bem desenvolvidos são típicos de sistemas fluviais com alta sinuosidade (Nichols, 1999). O abandono de canais nestes sistemas proporciona a geração de lagos abandonados, com geometria em *oxbow*, amplamente registrados em uma variedade de sistemas fluviais meandantes modernos e antigos (Cant, 1988; Suguio & Bigarella, 1990; Reading & Levell, 1996; Nichols, 1999).

Os depósitos sobrepostos aos estratos fluviais apresentam características sedimentológicas que permitem caracterizar o paleoambiente como marinho transicional. Esta interpretação paleoambiental está embasada nas seguintes características: a) presença de estruturas sedimentares diagnósticas (i.e., bandamentos de maré) e sugestivas (i.e., abundantes superfícies de reativação/recobrimentos argilosos) da influência de maré; b) ocorrência de ambientes característicos de zonas estuarinas (ver capítulo 5 de análise faciológica); c) transição para estratos formados em ambientes fluviais; e d) assembléia icnológica dominada por *Diploclaterion*, *Planolites*, *Thalassinoides*, *Teichichinus*, *Ophiomorpha*, *Cylindrichnus*, *Skolithos* e *Chondrites*, comuns em ambientes marinho-marginais.

O arranjo arquitetural das associações de fácies da Formação Ipixuna, representado por depósitos característicos de ambiente fluvial meandrante (sub-associações I1a e I1b), superpostos gradativamente por depósitos com natureza estuarina (sub-associações I2a, I2b e I2c; ver Anexo III), registra deslocamento de águas marinhas em direção a áreas mais continentais decorrente da elevação do nível do mar relativo. Este avanço da linha de costa sobre a porção SE da Sub-Bacia de Cameté durante o Cretáceo Superior proporcionou a instalação de uma ampla baía estuarina até pelo menos a porção média do Rio Capim. Os dados disponibilizados nesta pesquisa são insuficientes para se discutir os fatores responsáveis pela elevação do nível do mar na área de estudo, podendo envolver aumento na subsidência, diminuição do suprimento sedimentar ou elevação eustática.

Estudos enfocando sistemas estuarinos aumentaram significativamente nesta última década, em função da sua grande relevância para a prospecção de hidrocarbonetos e caracterização de vales incisos, sistemas comumente associados com limites de seqüência (Dalrymple *et al.*, 1992). Com isto, pela primeira vez a literatura sedimentológica pode contar com modelos deposicionais e evolucionários que auxiliam no reconhecimento e melhor caracterização dos estuários no registro geológico. Com base nestes estudos foram apresentados dois modelos extremos de estuários (Figura 27 e 28): dominado por onda e dominado por

maré. Sistema estuarino dominado por onda, também conhecido como sistema estuarino lagunar, caracteriza-se por um complexo de ilha barreira formado pela aggradação de barras arenosas na desembocadura do sistema estuarino (parte distal), decorrente do retrabalhamento sedimentar pela ação de ondas e correntes de maré (Darymple *et al.*, 1992). Depósitos comuns no complexo de ilhas barreiras são: *washover*, praia, delta de maré e canal de *inlet*. A formação de ilhas-barreiras resulta em regiões protegidas, onde se formam lagunas. Em contraposição, estuários dominados por maré são caracterizados por alta energia e grande amplitude de maré, o que impede o desenvolvimento de sistema de ilha-barreira em sua desembocadura. A porção distal deste sistema estuarino é marcado pela formação de barras arenosas alongadas, as quais, em grande parte, são responsáveis pela dissipação da energia de maré nas partes mais interiores do estuário, onde a influência do sistema fluvial torna-se mais dominante (parte proximal).

Embora os depósitos caulínicos da Formação Ipixuna permitam o reconhecimento de um complexo estuarino na área de estudo, a limitação natural das exposições impede uma discussão mais detalhada quanto ao tipo de estuário presente. A dificuldade em se caracterizar o tipo de estuário deve-se ainda ao fato da área de estudo registrar as partes proximais do paleossistema estuarino, indicado pela gradação de depósitos fluviais bem desenvolvidos sobrepostos gradativamente por estratos estuarinos.

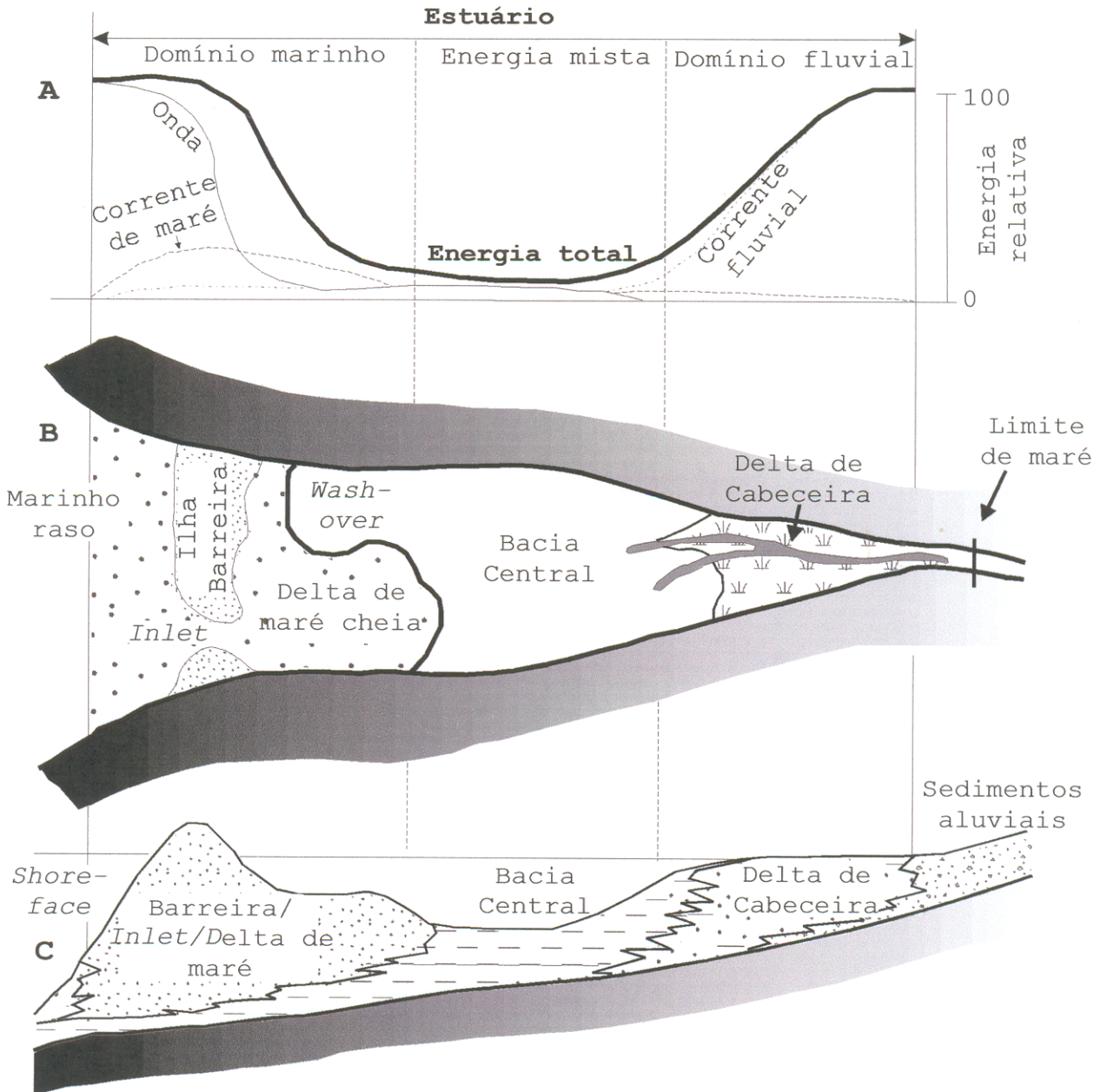


Figura 27 - Seção longitudinal de estuário dominado por processos de onda: A) tipo; B) morfologia (em planta); e C) fácies sedimentares. Segundo Dalrymple et al. (1992).

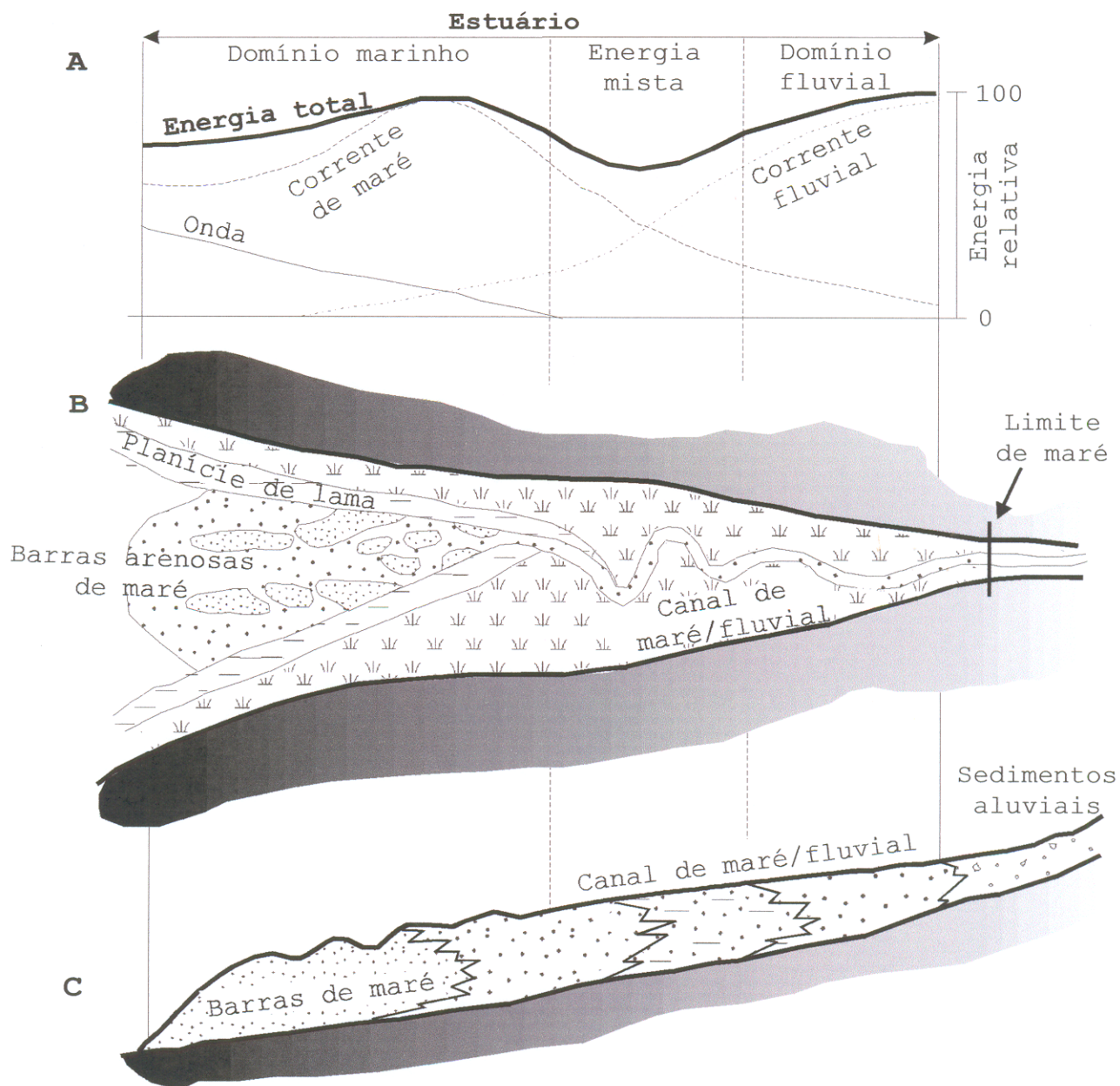


Figura 28 - Seção longitudinal de estuário dominado por processos de maré: A) tipo; B) morfologia (emplanta); e C) fácies sedimentares. Segundo Dalrymple *et al.* (1992).

Nesta parte do estuário dominam processos fluviais e aqueles decorrentes da ação de correntes de maré, seja em estuários dominados por onda, seja em estuários com domínio de maré. A distinção entre estes dois tipos de sistema torna-se mais clara apenas no segmento mais distal do estuário, onde a ação dominante de ondas resulta no retrabalhamento de sedimentos e bloqueio parcial de sua desembocadura através do desenvolvimento de complexos de ilhas barreiras (canais de *inlet/washover*, delta de maré). Na área de estudo existem algumas evidências que, embora não decisivas, favorecem a interpretação de estuário dominado por onda. Por exemplo, os depósitos da sub-associação I2e, interpretada como delta de maré, são melhor acomodados dentro de um sistema estuarino dominado por onda. Neste tipo de sistema, deltas de maré são comuns em associação com ilhas barreiras (Reineck & Singh, 1973; Moslow, 1983; Dalrymple, 1992). Além disto, ambientes de delta podem também se formar em associação a depósitos proximais, quando o influxo fluvial despeja sua carga sedimentar ao adentrar na bacia central, formando deltas de cabeceira (Heerden & Roberts, 1988) . Porém, qualquer que seja o caso, a formação de subambientes deltaicos estão naturalmente associados com estuários dominados por onda. Uma outra observação que serve para reforçar este tipo de sistema na área de estudo é a presença da sub-associação de fácies I2a, interpretada como depósitos formados em ambientes de praia. Praias podem se

desenvolver em estuários com domínio de maré à medida que ocorre o raseamento de complexos de barra de maré no centro do canal ou ao longo de barras marginais. Entretanto, os depósitos de praia descritos na área de estudo coincidem com as porções de maior desenvolvimento de traços fósseis, comuns em ambientes marinho raso na sucessão estudada. Isto sugere possível aumento no influxo de água marinha, o que poderá estar refletindo a transladação de depósitos mais distais do estuário sobre depósitos proximais. Se, como sugerido anteriormente, o estuário for dominado por onda, então ambientes de praia seriam esperados em associação com o complexo de ilha-barreira que ocorre na desembocadura deste tipo de sistema. Considerando-se esta interpretação, então é possível sugerir momentânea transgressão, que teria resultado na interdigitação de fácies representativas de ambientes mais distais com os depósitos estuarinos proximais. Esta sugestão é ainda reforçada pela ocorrência de estruturas geradas por fluxo combinado (i.e., estratificação cruzada *swaley*, laminação quase-planar, marcas onda simétricas) em depósitos de canal de maré, já que tais feições são mais facilmente esperadas nas porções distais de sistemas estuarinos dominados por onda (Dalrymple *et al.*, 1992; Dalrymple, 1992).

Portanto, baseando-se nas discussões acima apresentadas, sugere-se que os depósitos transgressivos da porção média do Rio Capim (minas IRCC e PPSA) registrem a porção proximal de um

sistema estuarino dominado por onda, enquanto os depósitos atribuídos a deltas de maré, canal de maré e praia são correspondentes ao segmento mais distal deste sistema. Importante salientar que as fácies distais são melhor desenvolvidas em afloramentos ao longo da BR-010, o que é consistente, também, com o padrão de paleocorrente indicando mergulho deposicional com tendência geral para ENE.

6.2 - FORMAÇÃO BARREIRAS

Baseando-se nas características sedimentológicas e relacionamento espacial dos depósitos de canal de maré (sub-associação B1) e planície de maré/inundação (sub-associação B2), sugere-se que os depósitos terciários da Formação Barreiras, aflorantes na porção SE da Sub-Bacia de Cametá, sejam atribuídos a um modelo paleoambiental do tipo estuarino. Esta interpretação é consistente com as seguintes características: a) abundância de depósitos atribuídos a ambiente marinho transicional, em particular de canais de maré lateralmente interdigitados com planícies de maré/inundação; b) ocorrência desta unidade sobre superfície côncava-erosiva de grande continuidade lateral (i.e., $\geq 1\text{Km}$); c) abundância de estruturas sedimentares comumente observadas em ambientes com influência de correntes de maré (p.e., bandamento de maré marcado por superfícies de reativação e/ou recobrimentos argilosos, acamamento heterolítico e estratos

cruzados em sentidos reversos); e d) assembléia icnológica representada por *Skolithos*, *Ophiomorpha*, *Planolites* e *Gyrolithes*, sugestiva de ambientes costeiros estressados mixohalinos.

Os depósitos da Formação Barreiras na porção média do Rio Capim mais provavelmente registram as partes proximais do estuário, como sugerido pela ocorrência de barras de acreção lateral com domínio de acamamentos heterolíticos inclinados dentro dos canais de maré. A presença destas barras sugerem freqüência de canalizações meandranes, o que normalmente são favorecidas em setores internos do estuário, onde ocorre a transição para o sistema fluvial (Mowbray, 1983; Smith, 1987a,b, 1988; Thomas *et al.*, 1987). Assim sendo, a determinação do tipo de estuário é problemática. Como discutido anteriormente (ver modelo paleoambiental da Formação Ipixuna no item 6.1), as porções proximais dos estuários desenvolvem fácies que podem mostrar características bastante similares, independente se o domínio é por onda ou maré. Contudo, sugere-se que os depósitos da Formação Barreiras foram gerados em um estuário do tipo dominado por maré com base nos seguintes critérios: a) registro de estruturas sedimentares geradas exclusivamente sob regime de correntes de maré; e b) presença de depósitos atribuídos apenas a ambientes de canal de maré e planície/inundação. Características similares estão amplamente associadas com outros ambientes estuarinos dominados por processos de maré (Frey & Howard, 1986;

Richards, 1991; Dalrymple *et al.*, 1992; Rossetti, 1998). Este tipo de estuário ocorre em zonas costeiras retrogradantes modernas, onde predominam regimes de macromaré (Walker & James, 1992). Nestas condições, a energia de maré excede a energia da onda, permitindo assim que estruturas sedimentares formadas por processos de maré sejam mais amplamente registradas.

6.3 - CONSIDERAÇÕES PALEOGEOGRÁFICAS E PALEOAMBIENTAIS

Com base nas características sedimentológicas, ambientes deposicionais e modelo paleoambiental proposto para as formações Ipixuna e Barreiras na área de estudo, foi possível o reconhecimento de natureza estuarina em ambas as unidades. Entretanto, uma comparação destes dois estuários levaram também ao reconhecimento de algumas diferenças, relativas ao conteúdo composicional e tipo de estuário (Tabela 3). Estas características podem apontar o desenvolvimento de sistemas estuarinos sob condições climáticas distintas, como será discutido abaixo.

Tabela 3 - Comparação entre os sistemas deposicionais das formações Ipixuna e Barreiras na área de estudo.

Unidade estratigráfica	Ambientes deposicionais	composição dominante	Sistema deposicional
Formação Ipixuna	Canal fluvial (influenciado por maré?); planície de inundação/ <i>mud plug</i> ; praia; planície de maré; baía de preenchimento; canal e delta de maré.	caulinico	Estuário dominado por onda
Formação Barreiras	Canal de maré (margem e centro) e planície de maré/mangue.	quartzoso	Estuário dominado por maré

A diferença composicional entre as formações Ipixuna e Barreiras é marcante. A Formação Ipixuna caracteriza-se por composição essencialmente caulínica ao longo de todo o intervalo estratigráfico, independentemente das associações faciológicas (ver Anexo III). Exceção são as porções inferiores dos depósitos de canal fluvial (influenciado por maré?; sub-associação I1a) e preenchimento de baía (sub-associação I1c), que contém uma pequena contribuição de areia quartzosa grossa a conglomerática. A origem do caulim da Formação Ipixuna é assunto polêmico e permanece por ser esclarecido. Duas possibilidades têm sido discutidas: a) detrítica; e b) alteração de feldspatos. A falta de registro de paleossolo caulínico e/ou unidades geológicas ricas em caulim pré-Cretáceo Superior na área de estudo e regiões adjacentes à Sub-Bacia de Cametá, leva a sugerir que a primeira possibilidade seria mais improvável como principal fonte de caulim. Considera-se, então, que o grande volume caulínico da Formação Ipixuna decorra mais provavelmente de arenitos arcoseanos e arcóseos, onde os feldspatos foram pseudomorfizados para caulinita. A abundância original de feldspatos nestes depósitos poderia sugerir deposição sob condições climáticas quentes com tendência à aridez, propício à preservação deste mineral. Entretanto, é improvável que o fator climático sozinho tenha sido responsável pela composição arcoseana da Formação

Ipixuna. Isto porque os dados geológicos e paleontológicos mostram que períodos similarmente quentes e relativamente mais áridos teriam prevalecido anteriormente à deposição desta unidade, sem ter favorecido a formação de arcóseos e/ou arenitos feldspáticos em outros depósitos cretáceos desta bacia. Assim, além do clima, sugere-se a presença de rocha fonte ao fornecimento de feldspatos. É provável que processos tectônicos tenham ocasionado o soerguimento e exposição de rochas ricas em feldspatos (p.e., granitos e complexos ácidos) em áreas localizadas a SSE da área de estudo, favorecendo a erosão, transporte e deposição de elevados volumes deste mineral. É importante salientar que este momento da história geológica proporcionou a formação de arcóseos também ao longo de toda a extensão da Bacia de São Luís-Grajaú, o que significa dizer que este não representa um evento de caráter local. Naquela bacia, além da abundância de feldspatos, a análise preliminar das assembléias de minerais pesados também são compatíveis com rocha fontes diferenciadas para os estratos caulínicos. Assim, depósitos do Albiano Superior/Cenomaniano subjacentes à unidade caulínica possuem valores considerados de granada e apatita, e valores relativamente mais baixos de estauroлита. Um estudo mais detalhado é ainda necessário para uma avaliação mais precisa do significado destes valores, uma vez que a preservação desses minerais pode ser um reflexo de cimentação carbonática. Porém,

ser sugerido também pela mineralogia distintamente feldspática da Formação Ipixuna.

Em contraste com a Formação Ipixuna, os arenitos da Formação Barreiras possuem composição predominantemente quartzosa (Tabela 3). Esta diferença composicional é reforçada pelas diferentes variedades de zircão e turmalina entre as formações Ipixuna e Barreiras, bem como dos índices de ZTR e RuZi (Nascimento, 2002). Além do aspecto mineralógico, a análise arquitetural das associações de fácies sugere tipos estuarinos diferenciados para as formações Ipixuna e Barreiras. Assim, durante a sedimentação da Formação Ipixuna, a porção sudeste da Sub-Bacia de Cameté teria experimentado uma dinâmica estuarina com domínio de ondas, responsável pela formação de complexos de ilha-barreira/laguna e ambientes relacionados (p.e., canais de maré, deltas de maré e praia). Este tipo de costa parece não se restringir à Sub-Bacia de Cameté, tendo ocorrido também em unidades arcoseanas estratigraficamente correlatas da Bacia São Luís-Grajaú, as quais são também atribuídas a sistemas estuarinos dominados por onda (Rossetti, 1998; Lima & Rossetti, 1999,2001). Da mesma forma, paleocosta com domínio de onda tem sido registrada na Formação Alcântara (Rossetti, 1997a) e outros depósitos correlatos do Albiano Superior daquela bacia (Anaisse Júnior, 1999; Anaisse Júnior *et al.*, 1999, 2001). Já os depósitos da Formação Barreiras da área de estudo registram estuários com geometria afunilada, do

da área de estudo registram estuários com geometria afunilada, do tipo dominado por maré. Tal condição permaneceu até o recente, uma vez que o litoral paraense e maranhense são recortados por diversos estuários em forma em funil, conseqüência do afogamento de inúmeros canais fluviais durante a última transgressão.

A discussão acima leva a especular uma paleocosta com dinâmica diferenciada do Cretáceo para o Terciário no norte do Brasil. Mudanças nos padrões de circulação de correntes costeiras podem ter contribuído para esta diferenciação, com a ampliação do prisma de maré, favorecendo o afunilamento dos estuários no Terciário. Já no Cretáceo, o retrabalhamento da costa pela ação de ondas teriam favorecido o acúmulo de sedimentos em complexos de ilhas-barreiras na desembocadura dos estuários. Entretanto, os dados disponíveis são ainda insuficientes para se fornecer uma reconstrução paleogeográfica precisa e melhor entender os fatores que teriam contribuído para este padrão diferenciado.

7 - ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA

O mapeamento de superfícies de descontinuidade de caráter regional permitiu a correlação estratigráfica entre as minas IRCC e PPSA, embora estas áreas estejam a aproximadamente 50 Km de distância. Algumas destas superfícies permitem também considerações a respeito da correlação destes estratos com unidades temporalmente equivalentes que ocorrem na Zona Bragantina, a norte, e Bacia de São Luís-Grajaú, a leste da área de estudo. A combinação dos dados estratigráficos com a arquitetura deposicional permite uma discussão a respeito da história de flutuações do nível do mar durante o transcorrer do Cretáceo Superior até o Mioceno para a porção média do Rio Capim.

7.1 - DESCRIÇÃO DAS UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS

Os depósitos estudados podem ser agrupados em quatro unidades estratigráficas (A1 a A4), definidas por superfícies de descontinuidade (SD1 a SD4; Figura 29).

A unidade A1 (Figura 30) representa a porção inferior da Formação Ipixuna e compreende depósitos do complexo fluvial (canal fluvial influenciado por maré? e planície de inundação/*mud plug*), além de grande parte dos depósitos do complexo estuarino (praia, planície de maré/inundação e baía estuarina). A base desta unidade não pode ser vista em superfície. Seu topo é definido por uma superfície de descontinuidade bem marcada,

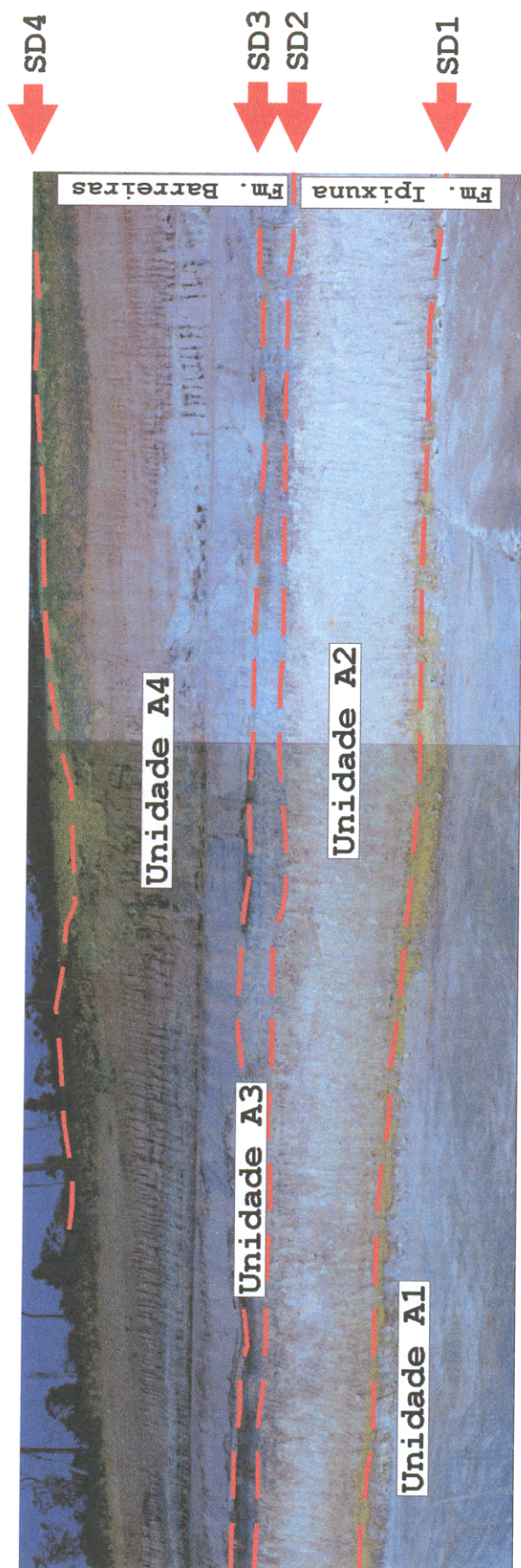


Figura 29 - Vista geral das formações Ipixuna e Barreiras na mina IRCC ilustrando o arranjo estratigráfico e distribuição espacial das superfícies de descontinuidade (SD1-SD4) e unidades (A1-A4).

referida aqui de SD1 (figura 30). Esta superfície é caracterizada por natureza erosiva, com relevo suave de até 0,5 m na escala de afloramento. Ao longo da mina IRCC esta superfície apresenta natureza composta, revelada pela sua ramificação em até três superfícies, que se estendem por até 500m de distância. Estas superfícies múltiplas delimitam delgados intervalos de pelitos de até 0,5m de espessura e caracterizados por apresentar estruturas deformacionais sindeposicionais, tais como: *ball-and-pillow*, estruturas em chama e cúspide, e dobramentos convolutos, além de fraturas e falhas de pequena escala. A superfície SD1 pode apresentar-se localmente cimentada ou manchada por óxidos de ferro.

A unidade A2 (Figuras 29,30,31) corresponde à porção superior da Formação Ipixuna, sendo formada pelas fácies conglomerática e pelítica com acamamento heterolítico, atribuída a ambientes de baía estuarina do complexo estuarino. Esta unidade ocorre sobre a superfície de descontinuidade SD1, sendo limitada no topo por outra superfície de descontinuidade de caráter regional, designada aqui de SD2 (Figuras 29,31). Esta superfície marca o topo dos estratos cretáceos da Formação Ipixuna, separando esta da sucessão miocênica sobrejacente. A superfície SD2 é caracterizada por caráter fortemente erosivo (Figura 31C), alcançando até 15 m de relevo na escala de afloramento. Na mina PPSA esta é cimentada por de óxidos de ferro, que forma uma capa

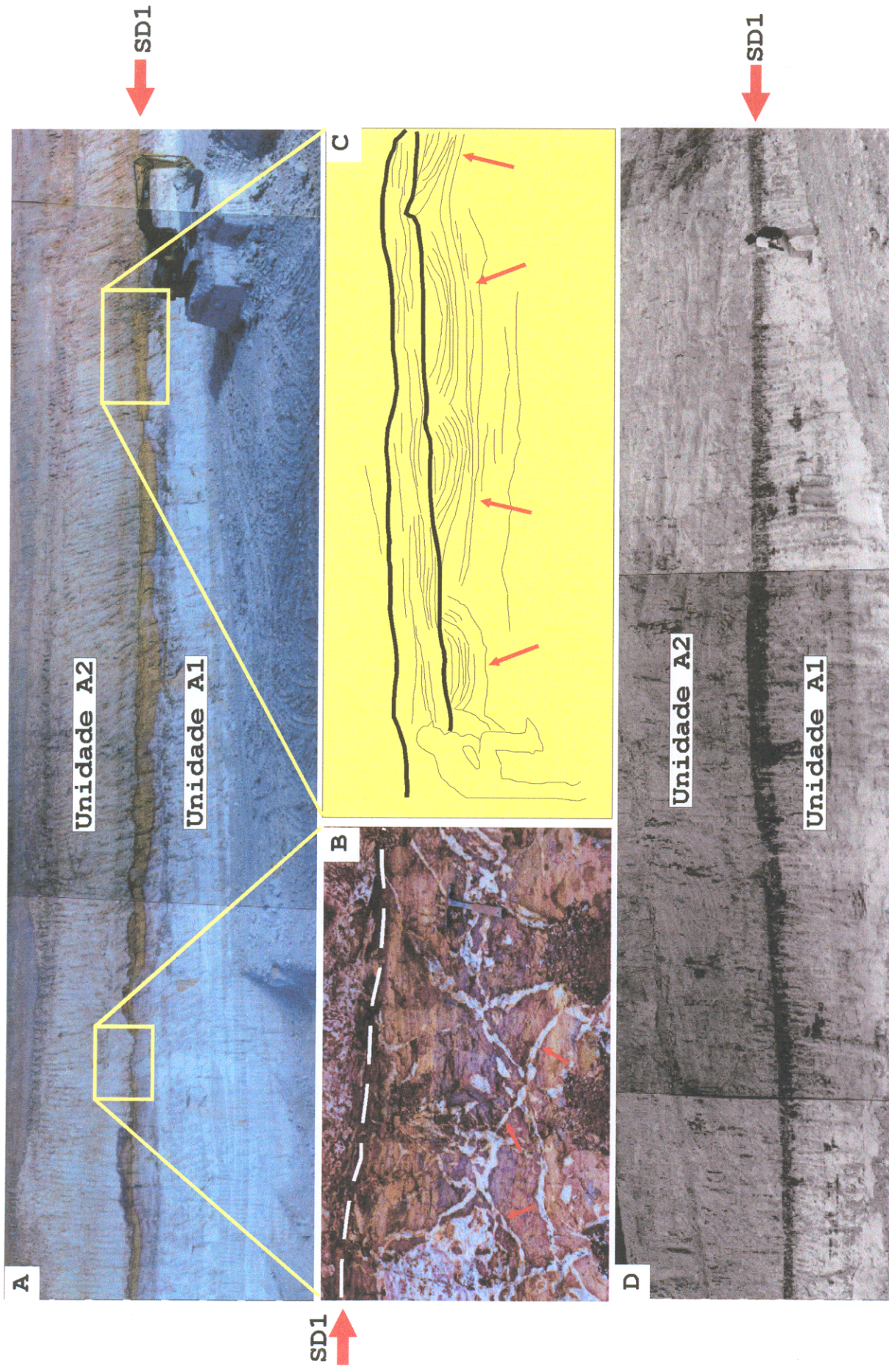


Figura 30 - A) Distribuição espacial das unidades A1 e A2 delimitadas pela superfície de descontinuidade SD1 na mina IRCC. B) Detalhe da figura anterior ilustrando fraturas associadas à superfície SD1. C) Detalhe da figura anterior mostrando estruturas deformacionais dúcteis sin-sedimentares (setas) associada à superfície SD1. D) Vista geral das unidades A1 e A2 na mina PPSA separadas por superfície de descontinuidade SD1.

de até 5 cm de espessura. É importante mencionar que traços fósseis atribuídos à icnofácies *Glossifungites* estão presentes ao longo da superfície SD2 (Figura 31D,E).

A unidade A3 (Figuras 29,31) corresponde à porção inferior da Formação Barreiras, sendo representada por depósitos estuarinos de canal de maré, interconectados lateralmente a depósitos de planície de maré/inundação. Esta unidade termina em *onlap* sobre a superfície SD2, sendo seu topo definido pela superfície SD3 (Figura 29,32), a qual também *onlap* contra a superfície SD2. Salienta-se que a superfície SD3 trunca, indistintamente, os depósitos subjacentes de canal de maré e planície de maré/inundação. Esta superfície é pronunciada na mina IRCC, sendo marcada por relevo suave de caráter erosivo de até 1m na escala de afloramento, e *lag* constituído por seixos de quartzo. Os depósitos imediatamente sobrejacentes à superfície SD3 têm caráter geralmente endurecido e maciço (textura *blocky*), o qual grada para baixo a depósitos bem estruturados da unidade A3, o que permite sua atribuição a paleossolos (Figura 32A,B). Traços fósseis verticalizados formando tubos de até 5cm de comprimento, com paredes endurecidas e preenchidos por areia quartzosa, atribuídos à icnofácies *Glossifungites*, ocorrem nas porções mais superiores deste paleossolo (Figura 32B). Outra feição importante associada à superfície SD3 são fraturas com geometria em cunha (Figura 32A), que terminam em poucos

centímetros de profundidade (média de 20cm), e são preenchidas por areia quartzosa. Estas fraturas, vistas em planta, mostram direções preferenciais de NE e E-W. Embora a superfície SD3 seja pronunciada na mina IRCC, é importante frisar que sua definição na mina PPSA é problemática. Isto porque o mapeamento detalhado na porção superior da frente de lavra naquela mina foi prejudicado pelas condições dos afloramentos. Paleossolos similares foram também identificados nesta mina, porém sua ocorrência não foi restrita a um único nível estratigráfico, o que dificultou a correlação com a superfície SD3 definida na mina IRCC.

A unidade A4 (Figuras 29,33) registra a porção superior da Formação Barreiras na área de estudo, sendo representada por depósitos estuarinos semelhantes à unidade A3. Porém, na unidade A4 os depósitos de canal de maré são bem desenvolvidos, apresentando barras arenosas com estratificação cruzada composta de até 1,5m de espessura. Esta unidade é limitada no topo pela superfície SD4 (Figura 24), de relevo pouco pronunciado e horizonte de paleossolo laterítico de, em média, 1,5m de espessura (Figura 28). Concreções ferruginosas verticalizadas e/ou fragmentos de concreção ferruginosas de tamanhos variados caracterizam este horizonte de paleossolo. Na parte sul da mina IRCC, a superfície SD4 acha-se desenvolvida diretamente sobre a superfície SD2, mostrando caráter fortemente erosivo de até 10m.

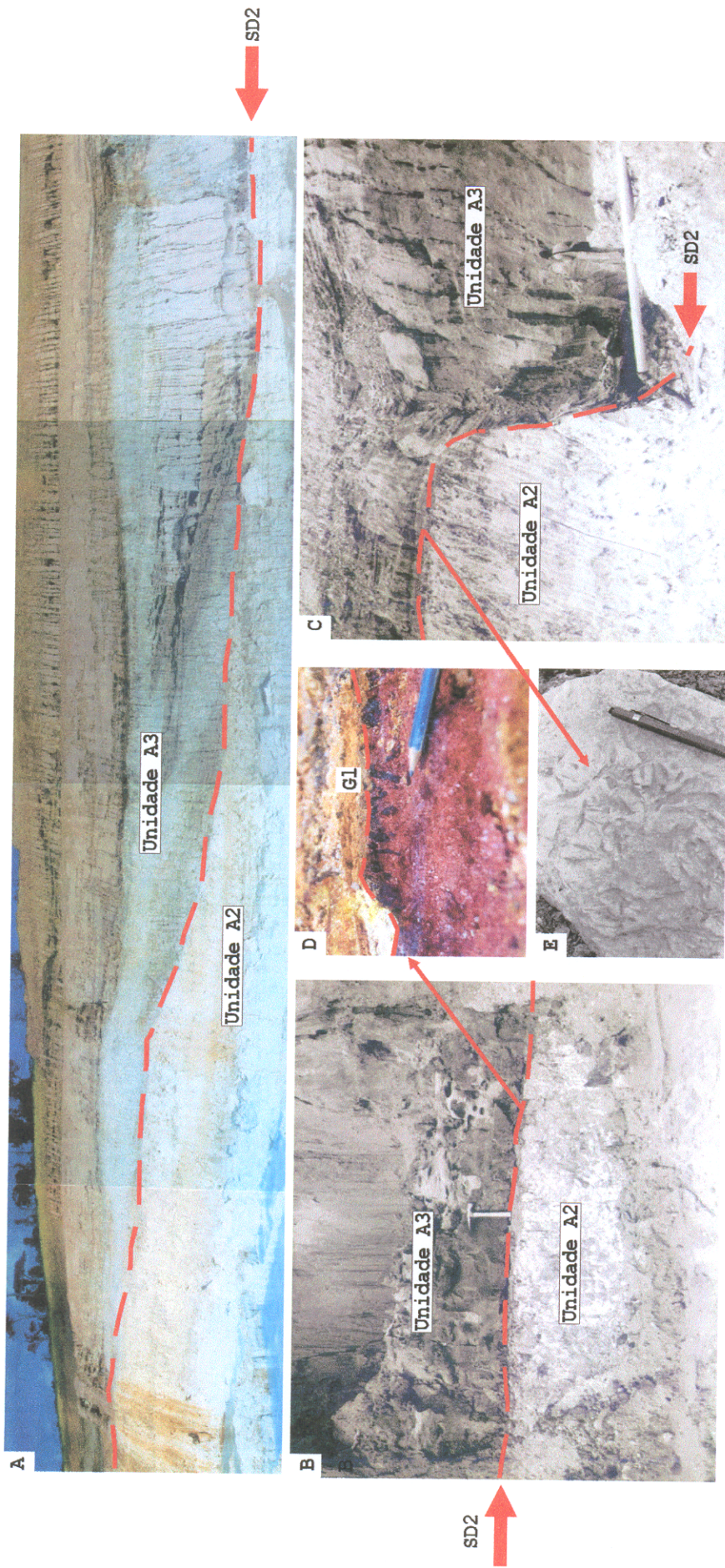


Figura 31 - A) Distribuição espacial das unidades A2 (topo da Formação Ipixuna) e A3 (Formação Barreiras) separadas pela superfície de descontinuidade SD2. Esta superfície marca o fim da sedimentação cretácea na área de estudo e representa a base do paleovale Barreiras. B,C) Detalhes da superfície de descontinuidade SD2 na mina PPSA (B) e IRCC (C). Notar em C o forte relevo erosivo desta superfície. Observar o mesmo arranjo estratigráfico entre as unidades A2 e A3. D,E) Detalhe da superfície SD2 ilustrando a icnofácies *Glossifungites* (Gl). D em perfil e E em planta.

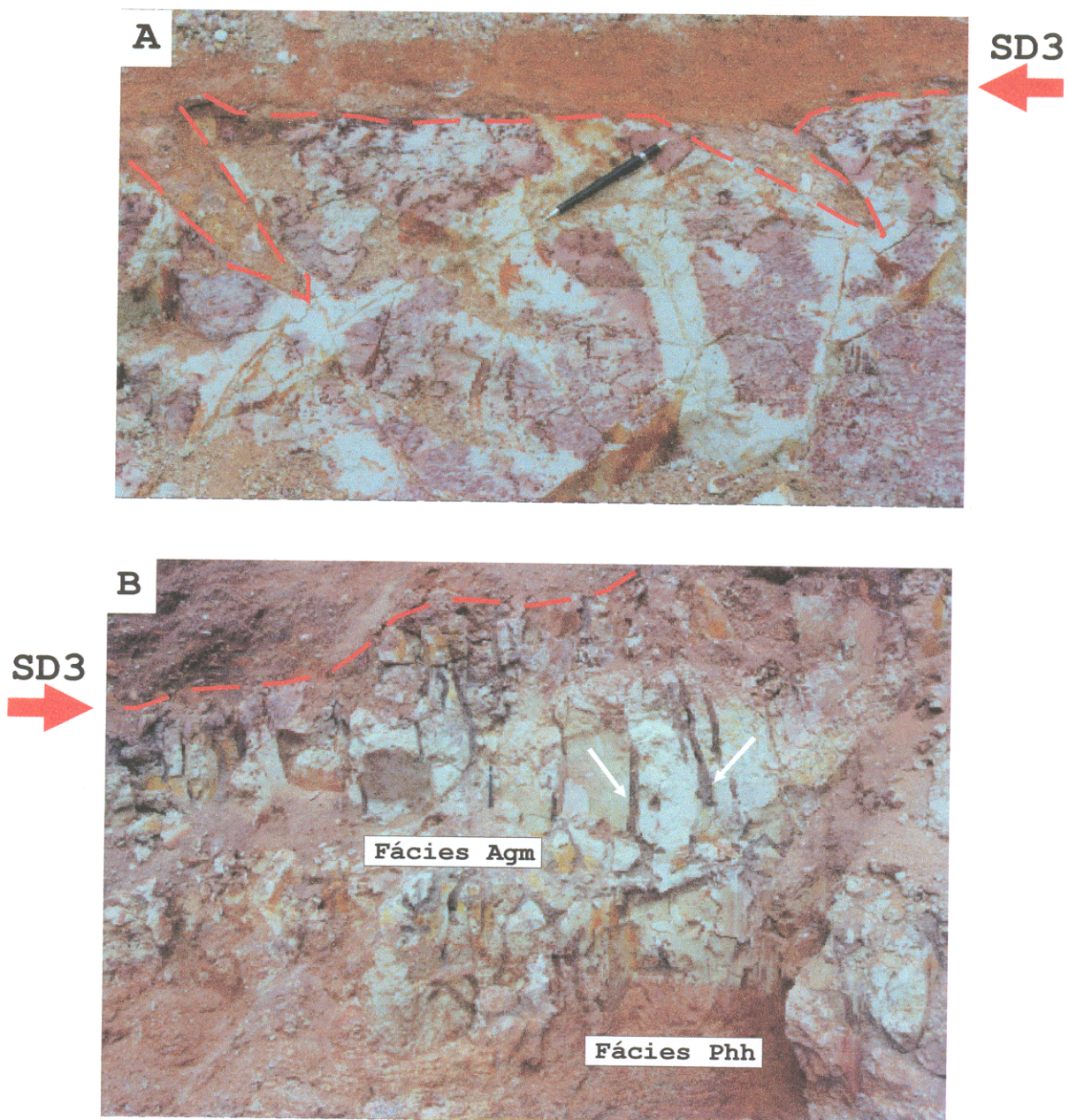


Figura 32 - A,B) Horizonte de paleossolo associado à superfície de descontinuidade SD3. Notar em A fraturas com geometria em cunha preenchidas por areia. B) Traços fósseis representativos da icnofácies *Glossifungites* (setas) associados à superfície SD3. Notar a gradação vertical da fácies pelítica com acamamento heterolítico (fácies Phh) para argilito maciço (fácies Agm).



Figura 33 - Aspecto colunar do horizonte de paleossolo laterítico associado à superfície Sd4 no topo da Formação Barreiras, que marca o fim da sedimentação miocênica na área de estudo.

7.2 - CORRELAÇÃO COM OUTRAS UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS DE ÁREAS ADJACENTES.

As superfícies de descontinuidade SD1 a SD4 apresentam características e posicionamentos estratigráficos similares a outras superfícies que ocorrem em estratos cretáceos e terciários da Bacia de São Luís-Grajaú e Zona Bragantina (Tabela 4). As superfícies de mais fácil correlação são as SD2 e SD4.

Tabela 4 - Correlação das superfícies de descontinuidade (SD1-SD4) e unidades seqüenciais (A1-A4) da porção média do Rio Capim com áreas adjacentes. *Não registrado.

Unidade estratigráfica	Arcabouço deposicional		
	Área de estudo	Bacia de São Luís-Grajaú (Rossetti, 1998; Lima & Rossetti, 1999; 2001)	Zona Bragantina (Rossetti, 2000)
Formação Barreiras	SD4	DS4	SB3
	A4	Unit 3	B
	SD3	DS3	SB2
	A3	Unit 2	A
Formação Ipixuna	SD2	D2 e L5	SB1
	A2	Depósitos de barra de desembocadura e canais distributários	*
	SD1	D1	*
	A1	Depósitos de prodelta/barra distal	*

A superfície SD2 correlaciona-se com a superfície D2 dos

depósitos de delta de baía estudados na borda leste da Bacia do Grajaú (Lima & Rossetti, 2001), e superfície L5 dos depósitos estuarinos no leste da Bacia de São Luís (Rossetti, 1998). Assim como a superfície SD2 na área do Rio Capim, as superfícies D2 e L5, também definem o topo da sedimentação cretácea, registrada pelos depósitos arcoseanos da Formação Ipixuna e Cujupe, respectivamente. Com base nestas correlações pode-se concluir que a Formação Ipixuna da Sub-Bacia de Cametá é temporalmente equivalente à Formação Cujupe na Bacia de São Luís-Grajaú, como proposto anteriormente em Rossetti (2001).

Da mesma forma, a superfície SD4 é facilmente correlacionável com as superfícies de descontinuidades SB3 e DS4, da Plataforma Bragantina (Rossetti, 2000) e Bacia de São Luís (Rossetti, 1998), respectivamente. Esta correlação baseia-se na característica dessas superfícies em definir o limite superior de depósitos siliciclásticos sobrepostos discordantemente às formações Ipixuna e Cujupe. Além disto, em todas localidades estas superfícies são marcadas por paleossolo laterítico com concreções ferruginosas verticalizadas, o que separa a Formação Barreiras dos sedimentos Pós-Barreiras sobrepostos. Por correlação, conclui-se então que os depósitos abaixo da superfície SD4 na região do Rio Capim Caulim corresponda à Formação Barreiras em outras áreas (Rossetti, 1998; 2000).

A correlação das superfícies SD1 e SD3 é mais problemática.

É possível que a superfície SD1 correlacione-se com a superfície D1 descrita em depósitos de delta de baía, estudada na borda centro-leste da Bacia de Grajaú (Lima & Rossetti, 1999). Esta correlação baseia-se nos seguintes critérios: a) posicionamento stratigráfico similar no meio da unidade arcoseana; b) característica composta; e c) associação com abundantes estruturas deformacionais sin-sedimentares.

Não foi possível se proceder com a correlação da superfície de descontinuidade SD3. Como mencionado anteriormente, esta superfície, apesar de bem marcada na mina IRCC, não pode ser traçada seguramente na mina PPSA. Apesar disto, seu relevo erosivo bem pronunciado, com paleossolo que trunca depósitos sobrejacentes desenvolvidos em diferentes subambientes do sistema estuarino, leva à interpretar que se trate de uma superfície com significado stratigráfico (i.e., superfície-chave). Os depósitos miocênicos na Zona Bragantina possuem uma superfície stratigráfica interna com características similares a esta (ver superfície SB2 em Rossetti, 2001). Na Bacia de São Luís, norte do Estado do Maranhão, esta correlação não é tão simples. Nesta área a Formação Barreiras é individualizada por duas superfícies, DS2 e DS3, ambas de caráter regional. Porém, parece ser menos provável que a superfície SD3 correlacione-se com a superfície DS2, no litoral maranhense, atribuída a ravinamento. Como a superfície DS3 está associada com paleossolos considera-se sua

7.3 - INTERPRETAÇÃO

As considerações sobre as superfícies de descontinuidade e unidades estratigráficas acima descritas, sugerem que a área de estudo foi submetida a pelo menos quatro períodos de significativas flutuações do nível de base. Como os depósitos das formações Ipixuna e Barreiras representam sistemas transicionais marinho, estas flutuações são diretamente ligadas a variações do nível do mar relativo.

A superfície SD1 registra interrupção na sedimentação, porém esta não foi suficiente para alterar as condições ambientais, pois a unidade A2 permaneceu estuarina. As feições sedimentares deformacionais associadas a esta superfície registram momentos de instabilidade durante sua formação, que foram também, provavelmente, responsáveis pela sua natureza composta. Estudos detalhados destas estruturas deformacionais levaram a atribuí-las a abalos sísmicos (Rossetti & Santos Júnior, submetido). Interpretação similar foi também proposta para a superfície estratigráfica correlata presente na Formação Cujupe da Bacia de São Luís-Grajaú (Rossetti, 1997b; Lima & Rossetti, 2001). Portanto, é possível que múltiplas descontinuidades associadas com a superfície SD1 reflitam episódios de não deposição/erosão entre pulsos sísmicos.

A superfície SD2 é definida como limite de seqüência formado no transcorrer do Cretáceo Superior durante rebaixamento do nível

A superfície SD2 é definida como limite de seqüência formado no transcorrer do Cretáceo Superior durante rebaixamento do nível do mar relativo. Esta interpretação baseia-se no seu aspecto fortemente erosivo, associado com o desenvolvimento de paleossolo. Adicionalmente, o estudo das assembléias de minerais pesados nas unidades sub- e sobrejacentes à superfície SD2, demonstram, também, unidades geológicas distintas (Nascimento, 2002), o que adicionalmente sustenta esta interpretação. O tempo de rebaixamento do nível do mar relativo pode ter se prolongado por todo o Terciário Inferior, com retorno à sedimentação apenas no Mioceno, como registrado pela Formação Barreiras diretamente sobreposta à superfície SD2. Interpreta-se que esta superfície tenha significado genético composto caracterizando, além de limite de seqüência, superfície de transgressão. Esta interpretação é consistente com a natureza da unidade A3 sobreposta à ela, que é essencialmente estuarina. Assim, seguido-se um prolongado período de rebaixamento do nível do mar relativo após o Cretáceo, a área de estudo voltou a receber sedimentação durante episódio de transgressão que levou ao desenvolvimento do sistema estuarino representado pela Formação Barreiras.

Como verificado no litoral maranhense, o preenchimento do paleovale estuarino pode ter sido complexo e pontuado por períodos de flutuações do nível do mar relativo de alta frequência/baixa amplitude (Rossetti, 1998). Embora não se possa

proceder a uma avaliação precisa da dinâmica destas variações, especula-se que tenha havido pelo menos um período de queda do nível do mar relativo com exposição subaérea, como revelado pela superfície SD3.

A superfície SD4 marca outro limite de seqüência, como sustentado por seu caráter regional, relevo erosivo significativo, e associação com paleossolo laterítico bem desenvolvido. Este limite é associado com o rebaixamento do nível do mar relativo, que marcou o fim da sedimentação miocênica na área de estudo.

8 - CONCLUSÕES

a. O estudo faciológico e estratigráfico das formações Ipixuna (Cretáceo Superior?) e Barreiras (Mioceno) na porção sudeste da Sub-Bacia de Cametá revelou uma variedade de sub-ambientes característicos de sistemas deposicionais estuarinos. A influência marinha nestes depósitos é atestada por estruturas sedimentares comumente geradas sob a ação de correntes de maré (p.e., superfície de reativação, *foresets* reversos). Além disto, a presença de estruturas sedimentares que denotam retrabalhamento por ação de ondas, bem como a assembléia icnológica de *Diploclaterion*, *Planolites*, *Thalassinoides*, *Teichichinus*, *Skolithos* e *Cylindrichnus* (Formação Ipixuna) e *Skolithos*, *Ophiomorpha*, *Planolites* e *Gyrolithes* (Formação Barreiras), são consistentes com ambientes costeiros estressados, típicos de estuários.

b. O arranjo arquitetural dos estratos estuarinos da Formação Ipixuna representado, na base, por associação de fácies atribuída a complexo fluvial sobreposta gradativamente por depósitos estuarinos, atesta deslocamento de águas marinhas em direção a áreas mais continentais, decorrente de processo transgressivo durante o Cretáceo Superior(?). O aumento de traços fósseis nos depósitos do complexo estuarino reforça a

idéia de maior influência marinha em direção ao topo da unidade cretácea. Os depósitos estuarinos da Formação Barreiras, representados por depósitos de canais e planícies de maré diretamente sobre a superfície de discordância regional que limita o topo da Formação Ipixuna, registram outro evento transgressivo durante o Mioceno na área de estudo. A presença destes estratos estuarinos na porção média do Rio Capim leva a admitir que o evento transgressivo miocênico, registrado anteriormente em depósitos estratigraficamente correlatos na Zona Bragantina e Bacia de São Luís-Grajaú, tenha se estendido até uma distância mínima de 230 Km da atual linha de costa.

- c. Os depósitos da Formação Ipixuna, com aproximadamente 40m de espessura, sugerem uma complexidade de ambientes deposicionais incluindo canal fluvial (influenciado por maré?), planície de inundação/*mud plug*, praia, planície de maré, preenchimento de baía central, canal de maré e delta de maré, os quais são melhor acomodados em um sistema do tipo estuarino dominado por onda. Já a Formação Barreiras, com espessura média de 35m, representa um paleovale estuarino preenchido predominantemente por depósitos de canal de maré e planície de maré/mangue, provavelmente atribuídos a estuário do tipo dominado por maré.

- d. Além de caracterizarem ambientes estuarinos, os dados sedimentológicos e estratigráficos das formações Ipixuna e Barreiras sugerem deposição dominante nas partes proximais de estuários. Na Formação Ipixuna, isto é verificado pela ocorrência de depósitos fluviais (Associação de fácies I1) na base da sucessão estuarina. Na Formação Barreiras, a abundância de barras de acreção lateral em associação aos depósitos de canal de maré, também sugerem deposição em ambientes estuarinos proximais, onde é comum o desenvolvimento de meandros e barras em pontal.
- e. Os dados de paleocorrentes contidos na Formação Ipixuna, sugerem paleocosta provável com direcionamento aproximado E-W, porém ressalta-se aqui que o volume de medidas disponibilizadas neste trabalho é ainda inadequada para se proceder a uma análise precisa dos padrões de paleocorrente deste sistema estuarino. Contrariamente, na Formação Barreiras, medidas de paleocorrentes foram sistematicamente obtidas, revelando direcionamento dominante dos canais estuarinos para NW e subordinado para SE. Esta orientação coincide com o direcionamento do Sistema de Graben da Sub-Bacia de Cametá.
- f. A Formação Ipixuna é facilmente distinguida da Formação

Barreiras pela sua composição essencialmente caulínica através de todo seu intervalo estratigráfico. O elevado volume de caulim é interpretado como produto de alteração de feldspato, o qual teria sido transportado e depositado durante o Cretáceo Superior, quando vigoraram condições climáticas quentes com tendência à aridez. No Terciário Inferior, as condições climáticas tornaram-se, provavelmente, mais amenas e com tendência úmida, favorecendo a alteração da espessa unidade feldspática em caulim. Entretanto, além do clima em geral quente e árido, o tectonismo pode ter sido um fator importante, senão dominante, na exposição de rochas com elevados teores de feldspatos, que serviram de fonte de sedimentos para a Formação Ipixuna, haja vista que outros depósitos cretáceos (p.e., Formação Codó e Formação Alcântara na Bacia de São Luís-Grajaú), formados também em condições climáticas quentes e áridas, não apresentam depósitos de caulim.

- g. A análise faciológica e estratigráfica dos depósitos estudados levou ao reconhecimento de quatro unidades estratigráficas (A1-A4) na porção média do Rio Capim, limitadas por superfícies de descontinuidade regional (SD1-SD4). As unidades A1 e A2, que compreendem a Formação Ipixuna, foram geradas por processo transgressivo durante o Cretáceo Superior. A unidade

A1, que ocorre na base da Formação Ipixuna, registra os primeiros momentos desta transgressão, como evidenciado pela sobreposição de depósitos fluviais por depósitos estuarinos. Esta transgressão processou-se de forma descontínua como demonstrado pela presença da superfície de descontinuidade SD1. Esta interrupção na sedimentação foi induzida por processos externos, ligados a fatores sísmicos. A unidade A2 representa o momento em que o estuário foi preenchido por altos volumes de sedimentos erodidos a partir de suas margens e transportados para suas porções mais centrais através de fluxo de detritos. Este período foi decorrente da grande instabilidade, produzida pela sismicidade, que foi responsável, também, pelo desenvolvimento da superfície SD1. Limitando a unidade A2, a superfície de descontinuidade SD2, atribuída a limite de seqüência, formou-se durante queda pronunciada do nível do mar relativo que encerrou a sedimentação estuarina cretácea superior na área de estudo e culminou com o desenvolvimento de um prolongado período de exposição subaérea, com formação de horizonte de solo e erosão pronunciada. Sobre esta discordância erosiva estão acomodadas as unidades A3 e A4 pertencentes à Formação Barreiras, ambas desenvolvidas em decorrência de novo processo transgressivo ocorrido sobre a porção média do Rio Capim durante o Mioceno. A superposição destas unidades transgressivas diretamente

sobre a superfície SD2 indica que esta tem natureza poligenética, registrando um limite de seqüência que define a passagem Cretáceo/Terciário e uma superfície de transgressão, que deu início ao trado de sistema transgressivo miocênico representado pelas unidades A3 e A4. Entre estas unidades registra-se um momento de queda do nível do mar relativo com exposição subaérea, responsável pela formação da superfície de descontinuidade SD3. Esta superfície foi gerada, provavelmente, sob condições de variação do nível do mar relativo de alta freqüência/baixa amplitude. A superfície de descontinuidade SD4, caracterizada pelo seu relevo erosivo associada a desenvolvimento de paleossolo laterítico, é atribuída ao limite de seqüência produzido pela pronunciada queda do nível do mar relativo durante o final do Terciário.

- h. O registro de depósitos estuarinos na área do Rio Capim Caulim é importante não só para o estabelecimento de modelos paleogeográficos mais precisos, mas sobretudo para se discutir a gênese do caulim associado. Isto porque a concentração de caulim com maior interesse econômico parece restringir-se aos depósitos fluviais, enquanto que nas porções com forte influência marinha ocorre caulim do tipo *semi-flint*, correspondente a material endurecido e de extração relativamente mais difícil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, J.R.L. 1970. Studies in fluviatile: A comparison of *fining upwards* cyclotherms with special reference to coarse-member composition and interpretation. *Journal Sedimentology Petrology*, 40:298-323.
- ANAISSE JÚNIOR, J. 1999. *Fácies costeiras dos Depósitos Itapecuru (cretáceo), região de Açailândia, Bacia do Grajaú*. Belém, UFPA. CG. 86p. (Dissertação de Mestrado).
- ANAISSE JÚNIOR, 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/MPEG. P. 119-150. (Coleção Freidrich Katzer)
- ANAISSE JÚNIOR, J.; TRUCKENBRODT, W.; ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M. 1999. Estruturas geradas por ondas e marés nos Depósitos Itapecuru (Albiano Superior - Cenomaniano), região de Açailândia, Bacia do Grajaú. In SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO NO BRASIL, 5/ SIMPÓSIO SOBRE EL CRETÁCEO DE AMÉRICA DEL SUR, 1. Serra Negra. *Boletim...* Rio Claro-UNESP, p. 367-373.
- ARAI, M.; UESUGUI, N; ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M. 1988. Considerações sobre a idade do Grupo Barreiras no nordeste do estado do Pará. In CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35. Belém. *Anais...* Belém, SBG. V.2. p.738-752.
- ARNOTT, R.W.C. 1992. Ripple cross-atratification in Swaley cross-stratified sandstone of the Chungo Member Mount Yamnuska, Alberta. *Can. Journal Earth Science*. 29, 1802-1805.
- AZEVEDO, R.P. 1991. *Tectonic Evolution of Brazilian Equatorial Continental Margin Basins*. London, Royal School of Mines Imperial College. 412p. (Tese de Doutorado).

- BOER, P.L.; OOST, A.P.; VISSER, M.J. 1989. The diurnal inequality of the tide as a parametre for recognizing tidal influences. *Journal Sedimentology Petrology*. 59:912-921.
- BOERSMA, J.R. & TERWINDT, H.J. 1981. Neap-spring tide sequences of intertidal shoal deposits in a mesotidal estuary. *Sedimentology*, 28:151-170.
- CANT, D.J. 1988. Fluvial facies models and their application. In: SCHOLLE, P.A. & SPEARING, D. (eds.). *Sandstone Depositional Environments* Tulsa, The American Association of Petroleum Geologists. p.115-138.
- COLLINSON, J.D. 1996. Alluvial sediments. In: In: READING, H.G. *Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy* 3ed. Oxford. Blackwell Science. p.37-82.
- DALRYMPLE, R.W. 1992. Tidal Depositional Systems. In: WALKER, R.G. & JAMES, N.P. (eds). *Facies models: response to sea level change*. Ontario, Geological Association of Canada, p.5-36.
- DALRYMPLE, R.W.; ZAITLIN, B.A.; BOYD, R. 1992. Estuarine Facies Models: Conceptual basis and Stratigraphic Implications. *Journal Sedimentary Petrology*. 62 (6):1130-1146.
- FRANCISCO, B.H.R.; LOWENSTEIN, P.; SILVA, O.F. da; SILVA, G.G., 1971. Contribuição à Geologia da Folha de São Luís (AS-23), no Estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Nova Série*, 17:1-40.
- FREY, R.W. & HOWARD, J.D. 1986. Mesotidal Estuarine Sequences: A perspective from the Georgia Bight. *Journal of Sedimentary Petrology*. 56(6):911-924.
- GALVÃO, M.V.G. 1991. *Evolução Termodinâmica da Bacia do Marajó, estado do Pará, Brasil*. Ouro Preto. Universidade de Ouro Preto. 193p. (Dissertação de Mestrado).
- GÓES, A.M. 1981. *Estudo sedimentológico dos Sedimentos Barreiras, Ipixuna e Itapecuru, no nordeste do Estado no Pará e noroeste do Maranhão*. Belém, UFPA-CG. 55p. (Dissertação de Mestrado).

- HEERDEN, I. L. & ROBERTS, H.H. 1988. Facies development of Atchafalaya Delta, Lusiana: A modern bayhead delta. *The American Association of Petroleum Geologist Bulletin*. 72(4):439-453.
- JOHSON, H.D. & LEVELL, B.K., 1995. Sedimentology of a transgressive, estuarine sand complex: the Lower Cretaceous Woburn (Lower Greensand), southern England. In: PLINT, A.G. (ed). *Sedimentary Facies Analysis*. Blackwell Science. P.17-46.
- JUPIASSÚ, A.M.S. 1970. Madeira Fóssil - *Humiriaceae* de Irituia, Estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi. Nova Série*, 14: 1-12.
- KOTSCHOUBEY, B., DUARTE, A. L. S., TRUCKENBRODT, W. 1999. Cobertura bauxítica e origem do caulim do Morro do Felipe, Baixo Rio Jari, Estado do Amapá. *Revista Brasileira de Geociências*, 29:331-338.
- KOTSCHOUBEY, B., TRUCKENBRODT, W., HIERONYMUS, B., 1996. Depósitos de Caolim e Argila Semi-flint no nordeste do Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, 26(2):71-80.
- KREBS, A.S.J. & ARANTES, J.L.G., 1973. Pesquisa de caulim no Rio Capim, Estado do Pará. In CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27. Aracaju. *Anais...* SBG. 1:181-191.
- LIMA, R.D. & ROSSETTI, D.F., 1999. Depositional facies in late cretaceous-?early tertiary deposits in northwestern Maranhão State, Brazil. *Revista Brasileira de Geologia*, 29:237-244.
- LIMA, R.D. & ROSSETTI, D.F. 2001. Análise faciológica e seqüencial 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/MPEG. P. 151-174.

- McCUBBIN, D.G., 1988. Barrier-Island and Strand Plain Facies. In: SCHOLLE, P.A. & SPEARING, D. (eds.). *Sandstone Depositional Environments*. Tulsa, The American Association of Petroleum Geologists. p.247-279.
- MEDEIROS, R.A.; SCHALLER, H.; FRIEDMAN, G.M. 1971. *Fácies Sedimentares: Análise e Critérios para reconhecimento de ambientes deposicionais*. Rio de Janeiro, Centro de Pesquisas e Desenvolvimento (CENPES). p. 86-95.
- MOSLOW, T.F. 1983. *Depositional Models of Shelf and Shoreline Sandstones*. Louisiana geological Survey. P.102.
- MOWBRAY, T. 1983. The genesis of accretion lateral deposits in recent intertidal mudflat channels, Solway Firth, Scotland. International Association of Sedimentologists. *Sedimentology*, 30:425-435.
- MOWBRAY, T. & VISSER, M.J. 1984. Reactivation surfaces in subtidal channel deposits, Oosterchelde, Southwest Netherlands. *Journal of Sedimentary Petrology*, 54(3):811-824.
- MURRAY, H.H. & KELLER, W.D. 1993. *Kaolins, Kaolins and Kaolins.*, The Clay Mineral Society. (Spatial publication, 1)
- NASCIMENTO, M.S. 2002. *Minerais pesados ds Formações Ipixuna e Barreiras, região de Ipixuna, leste da Sub-Bacia de Cameté, NE do Pará*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 99p. (Dissertação de Mestrado).
- NICHOLS, G. 1999. *Sedimentology & Stratigraphy*. Blackwell Science. p.111-127.
- NIO, S.D. & YANG, C.S. 1991. Diagnostic attributes of clastical tidal deposits: a review. In: SMITH, D.G.; REISON, G.E.; ZAITLIN, B.A.; RAHMANI, R.A. (eds.) *Clastical Tidal Sedimentology*. Calgary, CSPG. p.3-28. (Memoir 16).
- NØTTVEDT, A. & KREISA, R.D. 1987. Model for the combined-flow origin of hummocky cross-stratification. *Geology*, 15:357-661.

- NUMMENDAL, D.; RILEY, G.W.; TEMPLET, P.L. 1993. High-resolution sequence architecture: a Chronostratigraphic model based on equilibrium profile studies. In: POSAMENTIER, H.W.; SUMMERHAYES, C.P.; HAQ, B.U.; ALLEN, G.P. (eds.). *Sequence Stratigraphy and Facies Associations*. London. p. 55-68.
- PAZ J.D.S. & ROSSETTI, D.F. 1999. Análise faciológica da Formação Codó (Aptiano Superior) na região de Codó, leste da Bacia do Grajaú. In SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO NO BRASIL, 5/ SIMPÓSIO SOBRE EL CRETÁCEO DE AMÉRICA DEL SUR, 1. Serra Negra, *Boletim...* Rio Claro-UNESP, p. 201-207.
- POSAMENTIER H.W. & JAMES, D.P. 1993. An overview of sequence-stratigraphic concepts: uses and abuses. In: POSAMENTIER, H.W.; SUMMERHAYES, C.P.; HAQ, B.U.; ALLEN, G.P. (eds.). *Sequence Stratigraphy and Facies Associations*. London. p. 3-18.
- POSAMENTIER, H.W.; JERVEY, M.T.; VAIL, P.R. 1988. Eustatic controls on clastic deposition I - a conceptual framework. In: WILGUS, C.K.; HASTINGS, B.S.; ROSS, C.A.; POSAMENTIER, H.W.; WAGONER, J. V.; KENDALL, C.G.St.C. (eds.). *Sea-level Changes: An Integrated Approach*. Tulsa, Oklahoma, U.S.A. p. 109-124.
- READING, H.G. & LEVELL, B.K. 1996. Controls on the sedimentary rock record. In: READING, H.G. *Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy*. 3ed. Oxford. Blackwell Science. p.5-36.
- REID, I. & FROSTICK, L.E. 1994. Fluvial sediment transport and deposition. In: PYE, K. *Sediment Transport and Depositional Processes*. Blackwell Science. p.89-156.
- REINECK, H.E. & SINGH, I.B. 1973. *Depositional Sedimentary Environments: With Reference to Terrigenous Clastic*. Ed. Springer-Verlag. 439p.
- RICHARDS, P.C. 1991. An estuarine facies model for the Middle Jurassic Sleipner Formation: Beryl Embayment, North Sea. *Journal of the Geological Society*, 148:459-471.

- ROSSETTI, D.F. 1996. Sequence Stratigraphic Significance of two Estuarine Valley fills: The Upper Itapecurú Formation in the São Luís Basin, Northern Brazil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra*, 19: 111-125.
- ROSSETTI, D.F. 1997a. Internal Architecture of mixed tide and storm influenced deposits: an example from the Alcântara Formation, northern Brazil. *Sedimentary Geology*, 114:163-188.
- ROSSETTI, D.F. 1997b. Sismic-induced disturbances in Late Cretaceous rocks of the São Luís Basin, Maranhão State, Brazil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências da Terra*, 9:3-20.
- ROSSETTI, D.F. 1998. Facies Architecture and sequential evolution of incised valley estuarine fills: The Upper Itapecuru Formation (São Luís Basin), northern Brazil. *Journal of Sedimentary Research*, 68: 299-310.
- ROSSETTI, D.F. 2000. Influence of low amplitude/ high frequency relative sea level changes in a wave-dominated estuary (Miocene), São Luís basin, northern Brazil. *Sedimentary Geology*, 133: 295-324.
- ROSSETTI, D.F. 2001. Sedimentary Evolution of Late Cenozoic Deposits in the Nortes of Pará State, Brasil: Evidence of sea level floctuações. *Journal of South American Earth Sciences*, 14:77-89.
- ROSSETTI, D.F. & SANTOS JÚNIOR, A.E.A. Sismic events in Upper Cretaceous Deposits of northern Brazil and its role in the genesis of the Kaolim. (submetido).
- ROSSETTI, D.F. & TRUCKENBRODT, W. 1997. Classificação estratigráfica para o Albiano-Terciário Inferior (?) na Bacia de São Luís, MA. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Série Ciências da Terra*, 9: 31-43.

- ROSSETTI, D.F., GÓES, A.M.; TRUCKENBRODT, W. 1990. A Influência Marinha nos sedimentos Barreiras. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, 2:17-29.
- ROSSETTI, D.F., TRUCKENBRODT, W., GÓES, A.M. 1989. Estudo Paleoambiental e Estratigráfico dos Sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na Região Bragantina, Nordeste do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra*, 1: 25-74.
- SCHALLER, H.; VASCONCELOS, D.N.; CASTRO, J.C., 1971. Estratigrafia Preliminar da Bacia Sedimentar da Foz do Rio Amazonas. In CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25. São Paulo. *Anais...* São Paulo, SBG. 3V. p.189-201.
- SMITH, D.G. 1987a. Meandering river point bar lithofacies models: modern and ancient examples compared. In: ETHRIDGE, F.G., FLORES, R.M., HARVEY, M.D. (eds.), *Recent Developments in Fluvial Sedimentology*. Tulsa, S.E.P.M. p.83-91 (Special Publication 39).
- SMITH, D.G. 1987b. Modern point bar deposits analogous to the Athabasca oil sands, Alberta, Canada. In: BOER, P.L., GELDER, A.V.; NIO, S.D. (eds.) *Tide-Influenced Sedimentary Environments and Facies*. Dordrecht, The Netherlands, D. Reidel. p. 417-432.
- SMITH, D.G. 1988. Tidal bundles and mud coplets in the Macmurray Formation, Northeastern Alberta, Canada. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 36(2):216-219.
- SOUSA, D.J.L. 2000. *Caracterização Geológica, Mineralógica, Química e Física do caulim da RCC - Rio Capim Caulim (PA)*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. P.116 (Dissertação de Mestrado).
- SUGUIO K. & BIGARELLA J.J. 1990. *Ambientes Fluviais*. 2. Ed., rev. Florianópolis, da UFPR.

- THOMAS, R.G.; SMITH, D.G.; WOOD, J.M.; VISSER, J.; CALVERLEY-RANGE, E.A.; KOSTER, E.H. 1987. Inclined Heterolithic Stratification - terminology, description, interpretation and Significance. *Sedimentary Geology*, 53: 123-179.
- TRUCKENBRODT, W.; KOTSCHOUBEY, B., SCHELLMANN, W. 1991. Composition and origin of the clay cover on North Brazilian laterites. *Geologische Rundschau*, 80:591-610.
- VILLEGAS, J.M.C. 1994. *Geologia Estrutural da Bacia do Marajó*. Belém, UFPA,CG. 119p. (Dissertação de Mestrado).
- VISSER, M.J. 1980. Neap-Spring cycles reflected in Holocene subtidal large-scale bedform deposits: a preliminary note. *Geology*, 8:543-546.
- WALKER, R.G. & JAMES, N.P. (eds) 1992. *Facies models: response to sea level change*. Ontario, Geological Association of Canada. 409p.