



**ARQUITETURA DE FÁCIES E EVOLUÇÃO ESSTRATIGRÁFICA DO
SISTEMA FLUVIO-ESTUARINO DA FORMAÇÃO MORRO DO CHAPÉU -
BAHIA**

Porto Alegre, 2013

EDUARDO ESPINDOLA

**ARQUITETURA DE FÁCIES E EVOLUÇÃO ESTRATIGRÁFICA DO
SISTEMA FLUVIO-ESTUARINO DA FORMAÇÃO MORRO DO CHAPÉU -
BAHIA**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentando na forma de monografia, junto à disciplina de Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Claiton M. S. Scherer

Supervisor (a): Geól. Manoela B. Bállico

Porto Alegre, 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Rui Vicente Oppermann

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Espindola, Eduardo

Arquitetura de fácies e evolução estratigráfica do sistema fluvio-estuarino da Formação Morro do Chapéu-Bahia . / Eduardo Espindola. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2013.
[90 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul.Graduação em Geologia.Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR,2013.

Orientador:Claiton Marlon dos Santos

Coorientador:Manoela Bettarel Bállico

1.Formação Morro do Chapéu.2.Sistema Fluvio-estuarino.3.Mezoproterozóico.4.Estratigrafia de Sequência.I.
Título. **CDU 551.7**

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Miriam Alves CRB 10/1947

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Campus do Vale Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - RS - Brasil

CEP: 91501-970 / Caixa Postal: 15001.

Fone: +55 51 3308-6329 Fax: +55 51 3308-6337

E-mail: bibgeo@ufrgs.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso **“ARQUITETURA DE FÁCIES E EVOLUÇÃO ESTRATIGRÁFICA DO SISTEMA FLUVIO-ESTUARINO DA FORMAÇÃO MORRO DO CHAPÉU-BA”**, elaborado por **“EDUARDO ESPINDOLA”**, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Prof. Dra. Karin Goldberg

Prof. Dr. Juliano Kuchle

Dr. Anderson José Maraschin

*A minha mãe
por todo carinho e compreensão
durante esses anos todos.
Ao meu pai,
por todo o apoio e valores passados a
mim a cada dia.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus amigos, que desde tempos de colégio, sempre me acompanharam e me deram força quando necessário. Pelos inúmeros churrascos e viagens, ou mesmo simples encontros para conversar, os quais sempre reafirmavam e fortaleciam a nossa amizade, e que com certeza será para a vida toda. Obrigado Thiago, Fernando, Giovanni, Ricardo e Marcus. Agradeço também aos meus amigos e colegas de trabalho, Zaza, Adriano, Fábio, Carlinhos, Nati, Olavo, pelos momentos de descontração, pelas conversas, pelos conselhos, pelas dúvidas respondidas e pela paciência. Meu muito obrigado também para a Manu e Aninha, pela supervisão, amizade, e pelos puxões de orelha tão necessários às vezes. Ao orientador e amigo Claiton, pelos ensinamentos, paciência e pelo crescimento não só geológico, mas também pessoal.

Agradeço aos meus amigos de geologia, que desde o início preencheram esses seis anos de curso com incontáveis histórias, sorrisos, brincadeiras e conselhos. Pelo convívio diário proporcionando a cada dia uma nova experiência de vida. Entramos juntos como recém calouros e hoje saímos juntos como geólogos. Dani, Gustavo, Caco, Jhonatan, João, Iti, Daí, Eli, Evelin, Rafa, Gui, Leco, muito obrigado por facilitarem essa jornada.

Agradeço a minha família, em especial meus pais, por serem o pilar necessário para meu crescimento tanto profissional como pessoal. Não existem palavras para descrever tudo o que vocês fizeram por mim nesse tempo, todas as dificuldades e imprevistos que enfrentaram para poder me dar todo o apoio e auxílio necessário, sem vocês nada disso seria possível. Se hoje eu sou uma pessoa de bem eu devo isso avocês, que me ensinaram tudo que é necessário para trilhar o melhor caminho possível.

Agradeço em especial também a Bina, por ser essa pessoa maravilhosa, que me agüenta desde 2007, quando nos conhecemos na Unisinos. Desde lá, uma série de coincidências sempre nos colocavam lado a lado, as vezes sem mesmo perceber. Cada momento ao teu lado, cada sorriso, cada palavra, cada abraço foram especiais. Talvez a melhor forma de te descrever seria dizer que é uma pessoa ímpar na minha vida. Obrigado por tudo.

RESUMO

O Supergrupo Espinhaço se localiza nos estados da Bahia e Minas Gerais, e se caracteriza por sucessivos depósitos sedimentares que preenchem sistemas de riftes no Cráton do São Francisco. A porção superior desse supergrupo é formada pelo Grupo Chapada Diamantina, mais precisamente pelas Formações mesoproterozóicas Tombador, Caboclo e Morro do Chapéu. O objetivo principal é a reconstrução da arquitetura de fácies e da estruturação estratigráfica dos depósitos fluvio-estuarinos da Formação Morro do Chapéu. O presente trabalho traz a caracterização faciológica detalhada de um afloramento chave da Formação Morro do Chapéu, localizado próximo à cidade de mesmo nome, buscando a reconstrução da arquitetura de fácies e o estabelecimento de um arcabouço de estratigrafia de sequências de alta resolução de um sistema estuarino, tendo como exemplo a Formação Morro do Chapéu para o intervalo estudado. Para tal objetivo, foram levantados 41 m de perfil colunar, composta por onze litofácies, organizadas em 5 associações de fácies; i) plataforma híbrida rasa dominada por onda; ii) canais fluviais entrelaçados; iii) canais de maré; iv) barras de maré; v) planície de maré arenosa de alta energia. Estas associações de fácies podem ser agrupadas em três sistemas deposicionais: a) Sistema de plataforma híbrida rasa dominada por onda; b) sistema fluvial entrelaçado; e c) sistema estuarino dominado por maré. Foram reconhecidas duas sequências deposicionais, separadas por uma superfície de discordância subaérea. A sequência 1 é formada por depósitos associados ao trato de sistema de nível alto, e representa o topo da Formação Caboclo (subjacente a Formação Morro do Chapéu), formado por depósitos do sistema de plataforma híbrida rasa dominada por onda. A sequência 2 representa a deposição inicial da Formação Morro do Chapéu, constituída por depósitos de trato de sistema de nível baixo (sistemas fluviais entrelaçados) e trato de sistema transgressivo (sistemas estuarinos).

Palavras-Chave: Formação Morro do Chapéu, Sistema Fluvio-Estuarino, Mesoproterozóico.

ABSTRACT

Espinhaço Supergroup is located in the states of Bahia and Minas Gerais, and is characterized by successive sedimentary deposits that fill the rift systems of São Francisco Craton. The upper portion of this supergroup is formed by the Chapada Diamantina Group precisely by Tombador, Caboclo and Morro do Chapéu mesoproterozoic Formations. The main objective is the architecture of stratigraphic facies reconstruction and fluvial- estuarine deposits structure of Morro do Chapéu Formation. This work brings detailed facies characterization in key outcrop of Morro do Chapéu Formation located near to the same name town, seeking the depositional fluvial-estuarine Mesoproterozoic facies reconstruction and the establishment of high resolution sequence stratigraphy framework of an estuarine system, taking as an example Morro do Chapéu formation for the studied interval. For this purpose were raised 41 m log composed of ten lithofacies organized into five facies associations; i) wave-dominant hybrid shallow shelf; ii) braided fluvial channels; iii) tidal channels; iv) tidal bars; and v) high energy sandy tidal flats. These facies associations can be grouped into three depositional systems: a) wave-dominated hybrid shallow shelf; b) braided fluvial system; and c) tidal-dominated estuary. Were recognized two depositional sequences separated by subaerial unconformity. The sequence 1 is formed by deposits associated with highstand system tract and represents Caboclo Formation top (underlies the Morro do Chapéu Formation), formed by wave-dominated hybrid shallow shelf deposits. The sequence 2 represents the initial deposition of Morro do Chapéu Formation and composed to lowstand system tract (braided fluvial systems) and transgressive system tract (estuarine system) deposits.

Key-words: Morro do Chapéu Formation, Mesoproterozoic fluvial-estuarine systems.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Tipos morfológicos básicos de canais fluviais (modificado de Miall, 1977). Extraído de Scherer (2004).....	20
Figura 2. Elementos arquiteturas formados dentro de canais fluviais (Miall, 1996). Modificado por Scherer (2004).	22
Figura 3. Elementos arquiteturais básicos externos ao canal fluvial (Miall, 1996). Modificado por Scherer (2004).	24
Figura 4. Diagrama ternário de classificação dos sistemas costeiros em função do processo de transporte de sedimentos. Modificado de Boyd <i>et al.</i> , (1992).	28
Figura 5. Características físicas de estuários dominados por onda (Heap <i>et al.</i> 2001).....	31
Figura 6. Características físicas de estuários dominados por maré (Heap <i>et al.</i> 2001).....	32
Figura 7. Mapa de localização do afloramento. Em vermelho o posicionamento da área em relação as cartas topográficas da região.	34
Figura 8. Mapa geológico do Cráton São Francisco. Extraído de Mapa Geológico do Brasil, 1:2.500.000, CPRM (Bizzi <i>et al.</i> , 2001).....	36
Figura 9. Coluna estratigráfica Formação Morro do Chapéu. Modificado de Pedreira (1994).....	39
Figura 10. Coluna estratigráfica da Bacia Espinhaço. Modificado de Guimarães (2008).....	40
Figura 11. Modelo para levantamento de perfil colunar em campo.	45
Figura 12. Perfil colunar digitalizado a partir do dado levantado na etapa de campo.	47
Figura 13. Associação de fácies de plataforma híbrida rasa dominada por onda. A) Vista em planta da fácies ETR (colunar); B) Relação de contato entre as fácies Sw e ETR; C) Fácies Sw; D) Fácies ETR com contraste em preto e branco para realçar a estruturação; E) Relação de contato entre camada com intercalação Sl/Sw incipientes (inferior) e camada com Sw (superior);F) Variação granulométrica dentro da fácies Sw (arenito muito fino na base, passando para arenito médio na parte superior da imagem). 51	51
Figura 14. Relação entre quantidade de deformação, espessura da lâmina d'água, geometria dos estromatólitos e perfil colunar do afloramento Cachoeira do Ventura. Notar que a geometria dos estromatólitos passa de colunar a dômica com a diminuição da lâmina d'água.....	52

Figura 15. Correlação do sistema deposicional de plataforma híbrida rasa dominada por onda com modelos análogos. A) Seção colunar do afloramento cachoeira; B) Modelo análogo para deposição de sistemas plataformais rasos, modificado de Bállico *et al.* (*in prep.*); C) Imagem da Baía de Shark Bay, Austrália, extraída de Google Earth[®] (à direita), grande barreira de corais, Austrália (à esquerda); D) Laminações onduladas truncadas (à direita), à esquerda estromatolitos com geometria colunar..... 54

Figura 16. Associação de fácies de canais fluviais entrelaçados, A) Fácies Gcm, B) Detalhe de clasto de tamanho bloco da fácies Gcm, C) Litofácies Gcm com estruturas de difícil observação.. 60

Figura 17. Diagrama de roseta das paleocorrentes da associação de fácies de canais fluviais entrelaçados, mostrando um padrão de fluxo dominante para NW. Foram obtidas três medidas. 61

Figura 18. Associação de fácies de Barra de Maré. A) Fácies St e Sr com sentido de migração das paleocorrentes em direções opostas; B) Detalhe de clasto de composição quartzosa; C) Detalhe da fácies Sr com sentido de migração para a esquerda; D) Fácies St migrando para a direita..... 62

Figura 19. Diagrama de roseta das paleocorrentes da associação de fácies de barras de maré, mostrando um padrão de fluxo dominante medida na litofácies St para W, e subordinadamente para SE medida na litofácies Sr. Foram obtidas 9 medidas no total..... 63

Figura 20. Associação de fácies de planície de maré arenosa de alta energia. A) Relação de contato entre as fácies Sr (superior), St (central), e Sh (inferior); B) Relação de contato entre as fácies Sr (superior) e Sl (inferior); C) Detalhe da fácies Sr com sentido de migração para a direita.. 64

Figura 21. Diagrama de roseta das paleocorrentes da associação de fácies de planície de maré arenosa de alta energia, mostrando um padrão de fluxo dominante para W-NW, e subordinadamente para SE e SW. Foram obtidas 15 medidas no total. 65

Figura 22. Associação de fácies de canais de maré. A) Relação de contato entre as litofácies Gh e Sh; B) Pacote exibindo gradação normal; C) Vista em planta da fácies Gh..... 66

Figura 23. Diagrama de roseta das paleocorrentes da associação de fácies de canais de maré, mostrando um padrão de fluxo dominante medida na litofácies St para NW. Foram obtidas duas medidas no total..... 67

Figura 24. Correlação do sistema deposicional de canais fluviais entrelaçados com modelos análogos. A) seção colunar do afloramento cachoeira; B) modelo análogo para deposição de sistemas fluviais incisivos, modificado de Bállico *et al.* (*in prep.*); C) modelo análogo na região de Pyreneses, Espanha, mostrando a formação de vale inciso durante o trato de sistema de nível baixo; D) Seção hipotética mostrando a estratigrafia de um estuário dominado por maré situado dentro de um vale inciso, modificado de Dalrymple (2010). 69

- Figura 25. Correlação do sistema deposicional estuarino dominado por maré com modelos análogos. A) seção colunar do afloramento cachoeira; B) modelo análogo para deposição de sistemas estuarinos dominado por maré, modificado de Bállico *et al.* (*in prep.*); C) imagem da baía do rio Fundy, Nova Escócia; D) composição de estratificações cruzadas e baixo ângulo, separando dunas simples formadas por litofácies St com filmes de lama nos *foresets*, migrando na face frontal da duna principal. Notar a presença da litofácies formada por marés subordinadas, em sentido contrário. Modificado de Allen (1980), Dalrymple (2010). 71
- Figura 26. Resumo da evolução dos modelos de sequência, e suas correlações em relação aos tratos de sistemas e limites de sequência deposicional adotado por diferentes autores: Haq (et al., 1987) e Posamentier *et al.*(1988) – sequência deposicional II; Van Wagoner *et al.*(1988) – sequência deposicional III; Hunt & Tucker (1992) e Plint & Nummerdal (2000) – sequência deposicional IV; Galloway (1989) – sequência genética; Embry & Johannessen (1992) – sequência T-R. TSEQ = trato de sistema de estágio de queda. TSNB = trato de sistema de nível baixo. TST = trato de sistema transgressivo. TSNA = trato de sistema de nível alto. Modificado de Catuneanu (2006). 73
- Figura 27 Processo deposicional e produtos do Trato de Sistema de Nível Alto (TSNA). Modificado de Catuneanu(2006)..... 76
- Figura 28. Diagrama de roseta representando as paleocorrentes da sequência 2. Notar o sentido preferencial para W/NW. Foram obtidas 28 medidas. 77
- Figura 29. Arquitetura estratigráfica da sequência deposicional fluvial influenciada pela variação do nível de base para vales incisos (esquerda), e sistema de canais bypass (direita). Observe a diferença entre canais influenciados por maré causada pela inundação do vale inciso, em oposição a depósitos mais lagunares, quando a plataforma do sistema bypass é inundada. Modificado de ShanleyandMcCabe (1993). 79
- Figura 30. Processo deposicional e produtos do Trato de Sistema de Nível Baixo (TSNB). Modificado de Catuneanu, 2006 80
- Figura 31.Processo deposicional e produtos do Trato de Sistema Transgressivo (TST). Modificado de Catuneanu, (2006). 81
- Figura 32. Figura de correlação entre bloco diagramas deposicionais de cada sistema, perfil colunar, superfícies limites, padrão de empilhamento, trato de sistemas, sequências deposicionais e curva de variação do nível de base. 83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Elementos arquiteturas formados dentro de canais fluviais (Miall, 1996). Modificado por Scherer (2004).	23
Tabela 2. Elementos arquiteturas básicos externos ao canal fluvial (Miall, 1996). Modificado por Scherer (2004).	24
Tabela 3. Estratigrafia do Supergrupo Espinhaço. Extraída de Pedreira (1994)	37
Tabela 4. Características litológicas e interpretação sedimentológica das formações componentes do Grupo Chapada Diamantina (Guimarães & Pedreira, 1990; Bomfim & Pedreira, 1990; Pedreira & Margalho, 1990). Extraído de Pedreira (1994).....	38
Tabela 5. Classificação de litofácies para sistemas fluviais. Modificado de Miall(1996).	43
Tabela 6. Classificação de litofácies adaptado de Miall (1996).	48
Tabela 7. Classificação de litofácies adaptado de Miall (1996).	55
Tabela 8. Sumário dos critérios que podem ser utilizados para diferenciar vales incisos de vales não incisos ou canais distributários. Modificado de Catuneanu (2006)	79

LISTA DE ABREVIATURAS

FMC – Formação Morro do Chapéu

DS - Discordância subaérea

SRM – Superfície de regressão máxima

TSNA – Trato de sistema de nível alto

TSNB – Trato de sistema de nível baixo

TST – Trato de sistema transgressivo

SUMÁRIO

RESUMO	VII
ABSTRACT	VIII
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	IX
LISTA DE TABELAS.....	XII
LISTA DE ABREVIATURAS	XIII
1. INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos.....	17
2. CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA	18
2.1. Revisão bibliográfica dos Sistemas Fluvio-Estuarinos.....	19
2.1.1 Sistema Fluvial.....	19
2.1.2 Sistema Estuarino	27
3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	32
4. CONTEXTO GEOLÓGICO	35
5. METODOLOGIA.....	41
5.1. Levantamento e revisão bibliográfica	41
5.2. Trabalho de campo.....	41
5.3. Análise faciológica.....	42
5.4. Perfil colunar	44
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
6.1. Formação Caboclo.....	48
6.1.1 Caracterização faciológica	48
6.1.2. Associação de Fácies	49
6.1.3. Sistema deposicional	53
6.2. Formação Morro do Chapéu.....	54
6.2.1. Caracterização faciológica	54
6.2.2. Associação de fácies	59
6.2.3. Sistema deposicional	67
6.3. Arcabouço Estratigráfico	72

7. CONCLUSÕES.....	82
8. REFERÊNCIAS	85

1. INTRODUÇÃO

A correta interpretação de antigos depósitos sedimentares requer o conhecimento de dois aspectos independentes, mas interligados, da sucessão sedimentar: (i) interpretação do ambiente deposicional original, usando técnicas de análise de fácies e, (ii) subdivisão da sucessão estratigráfica em unidades geneticamente relacionadas usando os princípios da estratigrafia de sequências. Neste sentido, sistemas estuarinos se desenvolvem em contextos transgressivos, relacionados à alta razão da taxa de subida do nível do mar em relação à taxa de influxo sedimentar. Apesar de sistemas estuarinos se desenvolverem em contexto estratigráfico bem definido (trato de sistemas transgressivo), estes apresentam uma arquitetura de fácies bastante complexa resultante da interação de diferentes processos sedimentares. Dalrymple *et al.* (1992) definiu um sistema estuarino como sendo "uma parte de um largo sistema de vale afogado que recebe sedimentos de ambas as fontes fluviais e marinhas, e que contém fácies depositadas pela ação da maré, ondas e processos fluviais". Ou seja, existe uma diversidade de modelos deposicionais de sistemas estuarinos, dependendo da intensidade de cada um dos processos sedimentares envolvidos.

Em pacotes sedimentares proterozóicos, as dificuldades para o reconhecimento e a correta interpretação de depósitos fluvio-estuarinos são aumentadas devido à escassez e complexidade do registro fóssilífero, condições climáticas diferentes das atuais, vegetação mais escassa e outros. Segundo Archer (*et al.*, 1990) a análise de dados de maré atual (Fanerozóico) indica que as premissas básicas sobre os processos de maré do Pré-Cambriano podem ter sido simplificadas com conseqüente atenuação das incertezas envolvidas. Em

decorrência disso, este estudo se dispõe a testar as seguintes hipóteses: 1) A Formação Morro do Chapéu preenche os vales incisivos decorrentes de uma regressão e posteriormente uma transgressão marinha; 2) A base da Formação Morro do Chapéu é caracterizada por sistemas fluviais, e em direção ao topo há um predomínio de sistemas estuarinos dominado por maré (Pedreira *et al.*, 1994).

A Formação Morro do Chapéu recobre uma discordância regional associada a um rebaixamento do nível do mar que escava os sedimentos marinhos da Formação Caboclo (subjacente). A base da Formação Morro do Chapéu é caracterizada por sistemas fluviais que dão lugar em direção ao topo a depósitos estuarinos influenciados por correntes de maré e onda (Pedreira *et al.*, 1994). Essa sequência é recoberta de forma discordante pela Formação Bebedouro, que consiste em diamictitos de idade Neoproterozoica. A Formação Morro Chapéu consiste em um excelente exemplo para o entendimento da arquitetura de fácies e estruturação estratigráfica de sistemas fluvio-estuarinos.

1.1 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo principal a reconstrução da arquitetura de fácies e da estruturação estratigráfica dos depósitos estuarinos da Formação Morro do Chapéu, Supergrupo Espinhaço – BA. Esta unidade encontra-se muito bem preservada e pouco alterada, permitindo uma análise faciológica de detalhe. Destacam-se como objetivos específicos:

- (i) Definição das fácies, associações de fácies e modelo deposicional;
- (ii) Elaboração de um arcabouço de estratigrafia de sequências de alta resolução;
- (iii) Interpretação dos mecanismos controladores da acumulação e preservação do sistema estuarino;

2. CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

2.1. Revisão bibliográfica dos Sistemas Fluvio-Estuarinos

A Formação Morro do Chapéu é caracterizada pela presença de dois sistemas deposicionais distintos: i) sistema fluvial, e ii) sistema estuarino.

2.1.1 Sistema Fluvial

Os sistemas fluviais podem ser classificados com base nos padrões dos canais, em quatro tipos distintos (Figura 1), sendo eles:

- Entrelaçado: rede de canais interconectados, separados por barras arenosas ou cascalhosa de sedimentos aluviais.
- Meandrante: Dependem da declividade do terreno apresentando pouca variação na descarga sedimentar e alta sinuosidade e taxa de migração lateral.
- Anastomosado: Canais interconectados, separados por planícies de inundação.
- Retos: Sinuosidade quase nula devido ao desenvolvimento de barras laterais.

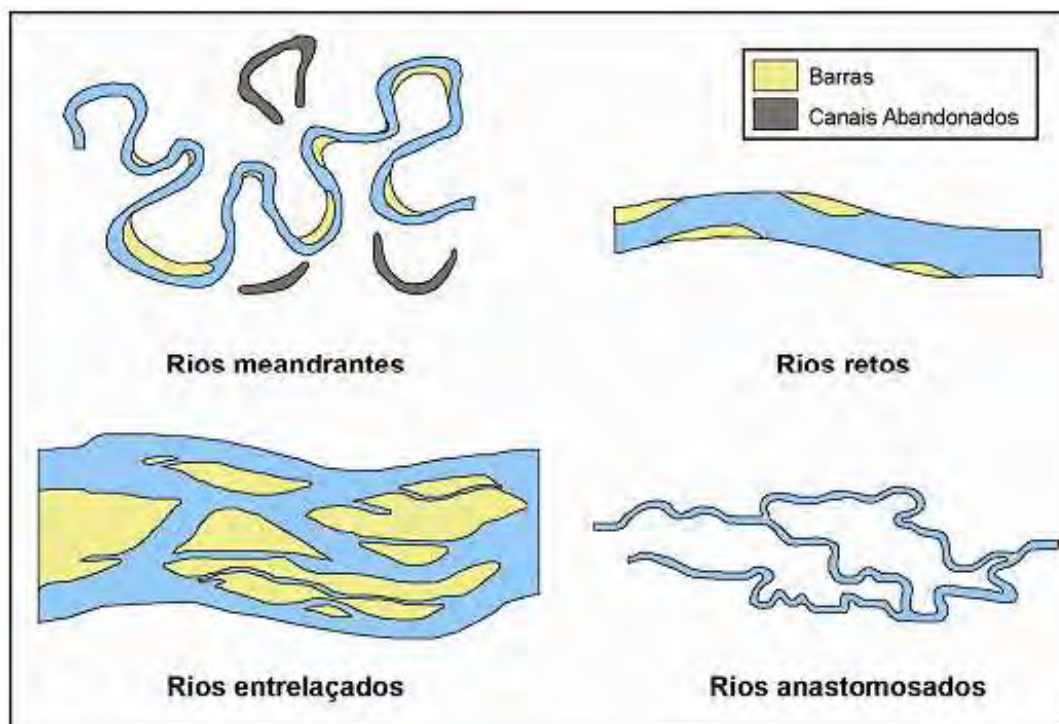


Figura 1. Tipos morfológicos básicos de canais fluviais (modificado de Miall, 1977). Extraído de Scherer (2004).

Os tipos de canais fluviais são controlados por diferentes fatores, tais como aporte sedimentar, granulometria da carga transportada, coevidade dos bancos e vegetação. Os rios em regiões proximais tendem a ser do tipo entrelaçado, devido a maior declividade do terreno, presença de fração granulométrica mais grossa e maior variabilidade na descarga sedimentar. Por outro lado, em regiões mais distais predomina um padrão meandrante, devido a menor declividade topográfica, aumento na sinuosidade dos canais, e presença de fração granulométrica mais fina em relação a regiões mais proximais.

Os sistemas fluviais são caracterizados por um conjunto de litofácies, sintetizadas por Miall (1996) em 20 tipos principais. Cada litofácies é formado por

um processo deposicional específico que ocorre dentro da planície aluvial, incluindo a área de canal e área externa aos canais.

Miall (2010) descreve que há dois termos usados para descrever o transporte sedimentar por rios, competência e capacidade. Competência indica o tamanho do grão que pode ser transportado em relação à velocidade e profundidade do fluxo. Enquanto que a capacidade indicaria o volume de sedimento que pode ser transportado e a magnitude das descargas fluviais.

Miall (1996) cita 13 elementos arquiteturais básicos, subdividindo-os em dois grupos: os formados dentro dos canais (Figura 2,

Tabela 1), e os externos aos canais (Figura 3.Tabela 2). Para a identificação dos elementos arquiteturais, Miall (1985) propôs seis itens a serem observados:

- 1- Natureza das superfícies inferior e superior que limitam o pacote: erosional ou gradacional; planar, irregular, e curva;
- 2- Geometria externa: lençol, lente, cunha, pá, e preenchimento em U;
- 3- Escala: espessura, extensão lateral (paralela e perpendicular à direção de fluxo);
- 4- Litologia: Assembleia de litofácies e sequência vertical;
- 5- Geometria interna: natureza e disposição das superfícies internas; relação entre o acamamento e as superfícies de 1ª e 2ª ordens;
- 6- Padrão de paleocorrentes: orientação dos indicadores de fluxo em relação às superfícies internas e formas externas do elemento.

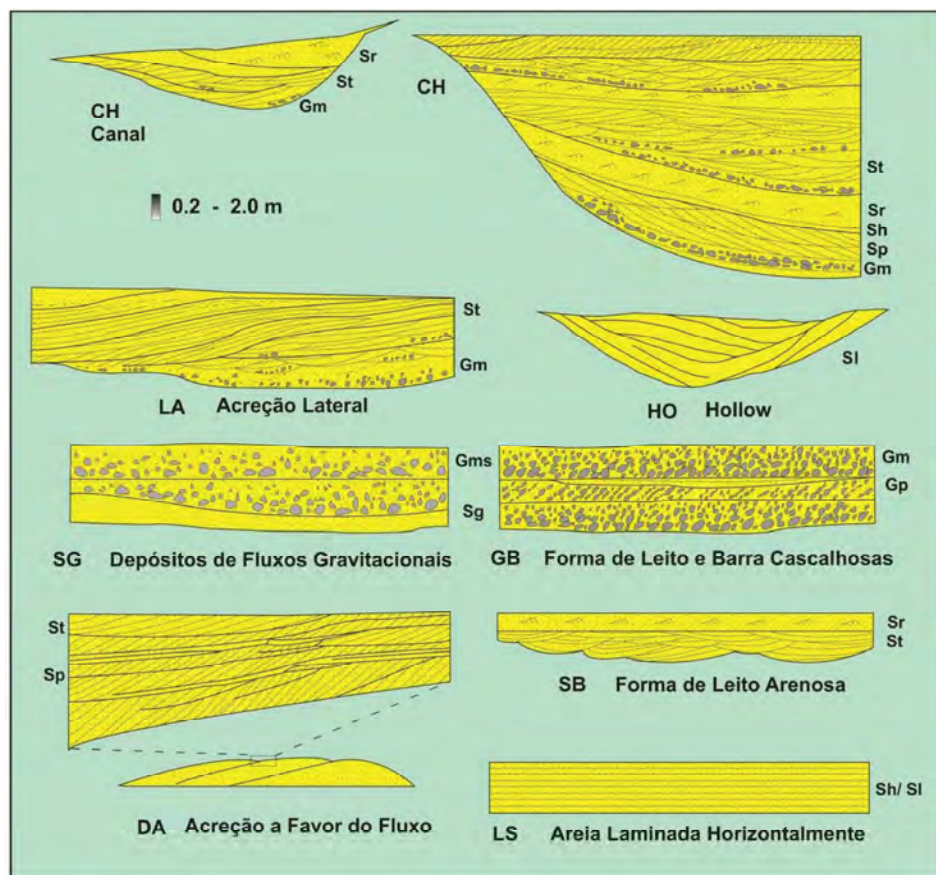


Figura 2. Elementos arquiteturas formados dentro de canais fluviais (Miall, 1996). Modificado por Scherer (2004).

Tabela 1. Elementos arquiteturas formados dentro de canais fluviais (Miall, 1996). Modificado por Scherer (2004).

Elemento Arquitetural	Símbolo	Litofácies	Geometria e arquitetura interna	Interpretação
Canal	CH	Combinação variada	Corpos sedimentares limitados por superfícies erosivas côncavas. Escala altamente variada.	Preenchimento de canais menores internos ao cinturão de canais
Fluxo de gravidade de sedimentos	SG	Gmm, Gmg, Gci, Gcm	Corpos com geometria lenticular, normalmente intercalados com elementos GB e SB.	Amalgamação de sucessivos episódios de fluxos de detritos
Formas de Leito e Barra Cascalhosas	GB	Gm, Gp, Gt	Corpos tabulares ou em lente formando por complexos amalgamados de sets de estratos cruzados.	Barras longitudinais cascalhosas
Depósitos de Acreção Frontal	DA	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss	Corpos lenticulares constituídos por sets de estratos cruzados simples de grande porte ou estratos cruzados compostos caracterizados por sets de pequeno a médio-porte limitados por superfícies inclinadas a favor do fluxo (superfície de 1 ^a , 2 ^a ou 3 ^a ordem)..	Migração a favor do fluxo de barras arenosa de meio de canal.
Depósitos de Acreção Lateral	LA	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss. Raramente Gm, Gt e Gp.	Corpos lenticulares ou cuneiformes, contendo sets de estratos cruzados separados por superfícies de acreção lateral (superfície de 1 ^a , 2 ^a ou 3 ^a ordem).	Barras em pontal ou acreção lateral em barras de meio de canal
Lençóis de Areia Laminados	LS	Sh, Sl; raramente St, Sp, Sr.	Corpos com geometria em lençol formando por complexos amalgamados de estratos plano-paralelos ou de baixo-ângulo.	Lençóis de areia formados em contextos de rápida descarga.
Formas de Leito Arenosas	SB	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss	Corpos com geometria em lente ou lençol formados por sets amalgamados estratos cruzados separados por superfícies (1 ^a , 2 ^a ou 3 ^a ordem) subhorizontais..	Migração e cavalgamento de dunas subaquosas.
Hollow	HO	Sh, Sl,	Corpos com geometria lenticular, limitados na base por superfícies erosivas côncavas. O mergulho dos planos de acamadamento da litofácies Sl é paralelo à superfície limítrofe basal.	Preenchimento de feições erosivas formadas em regiões de confluência de canais

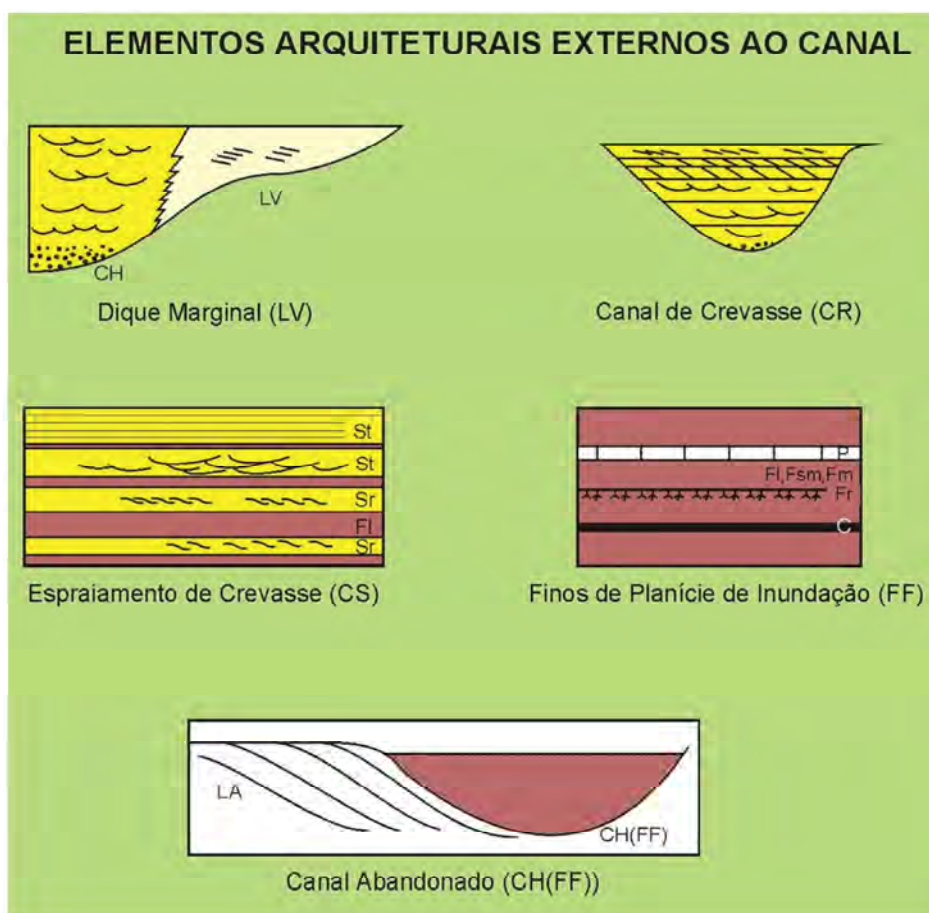


Figura 3. Elementos arquiteturas básicos externos ao canal fluvial (Miall, 1996). Modificado por Scherer (2004).

Tabela 2. Elementos arquiteturas básicos externos ao canal fluvial (Miall, 1996). Modificado por Scherer (2004).

Elemento Arquitetural	Símbolo	Litofácies	Geometria	Interpretação
Dique Marginal	LV	Fl, Sr	Depósitos em cunha anexados lateralmente aos corpos arenosos de canais fluviais.	Deposição de sedimentos arenosos na margem do canal durante períodos de extravasamento.
Canais de Crevasse	CR	St, Sr, Ss	Corpos arenosos com geometria em fita.	Rompimento do canal principal.
Expraiamento de Crevasse	CS	St, Sr, Sl	Variada	Desconfinamento dos fluxos de canais de crevasse e geração de lobos que progradam sobre corpos lacustres da planície de inundação.
Finos de Planície de Inundação	FF	Fsm, Fl, Fm, Fr	Pacotes tabulares	Acumulação em corpos lacustres ou pântanos de planície de inundação.
Canal Abandonado	CH (FF)	Fsm, Fl, Fm, Fr	Corpos em fita comparáveis em largura e espessura aos canais principais	Lagos associados a canais abandonados.

Miall (1988) cita 6 ordens principais de superfícies limítrofes em sistemas fluviais, que separam litossomas de diferentes escalas físicas e temporais. As ordens obedecem a uma sequência hierárquica da escala menor (1ª ordem) a maior (6ª ordem).

Superfícies de 1º ordem

As superfícies de 1ª ordem são planas, possuem inclinações variadas e limitam sets de laminações cruzadas. As litofácies não mudam abaixo e acima da superfície, indicando uma manutenção das condições do fluxo. Estas superfícies são interpretadas como resultado da migração de formas de leito de mesma morfologia sob condições de sedimentação contínua.

Superfícies de 2ª ordem

As superfícies de 2ª ordem são planas, possuem inclinações variadas e não apresentam evidências de erosão significativa. Separam cosets de litofácies distintas. Essas superfícies indicam mudanças nas condições do fluxo, não envolvendo, entretanto, um hiato significativo (e.g. variações sazonais na descarga).

Superfícies de 3ª ordem

Superfícies de 3ª e 4ª ordem são definidas a partir da identificação de macroformas (elementos arquiteturais DA, LA, GB). Superfícies de 3ª ordem são superfícies erosivas (superfícies de reativação) existentes dentro das macroformas, que apresentam um baixo ângulo de mergulho (< 150), geralmente truncando os estratos cruzadas subjacentes. Também podem ocorrer no topo de pequenas barras ou sucessões de formas de leitos (elemento SB). Essas superfícies indicam mudanças na velocidade ou orientação do fluxo.

Superfícies de 4ª ordem

Representam o limite superior das macroformas, separando, portanto, diferentes assembléias de fácies acima e abaixo delas. São retas a levemente convexas. Essas superfícies truncam em baixo ângulo ou mergulham paralelamente às superfícies de hierarquia menor (1ª a 3ª ordem), indicando nesse último caso a presença de elementos DA ou LA. As superfícies de 4ª ordem são o resultado de mudanças no padrão das barras relacionadas à instabilidade do fluxo associada a irregularidades do leito do canal fluvial ou à reorganização do fluxo durante períodos de enxurradas. São também consideradas superfícies de 4ª ordem, o limite inferior dos elementos arquiteturais externos aos canais fluviais.

Superfícies de 5ª ordem

São as superfícies que delimitam canais e complexos de preenchimento de canais. Normalmente são planas ou levemente côncavas, podendo, contudo apresentar um relevo irregular marcado por feições de corte e preenchimento e depósitos residuais cascalhosos. Estas superfícies têm a sua gênese associada à incisão e/ou migração lateral de canais fluviais.

Superfícies de 6ª ordem

São superfícies que delimitam grupos de canais ou paleovales. Apresentam uma grande extensão lateral, permitindo o fatiamento estratigráfico regional de sucessões fluviais. As superfícies de 6ª ordem são passíveis de serem identificadas e correlacionadas em testemunhos e seções sísmicas. Estas superfícies marcam mudanças significativas no sistema fluvial que são vinculadas a variações no nível de base estratigráfico.

2.1.2 Sistema Estuarino

“Estuário é um corpo de água costeiro semifechado, com interligação livre com o oceano aberto, no interior do qual a água do mar é mensuravelmente diluída pela água doce oriunda da drenagem continental”. Essa é a definição apresentada por Cameron & Pritchard (1963).

Dalrymple *et al.* (1992) define estuário como: “a parte voltada para o mar de um sistema de vales inundados, os quais recebem sedimentos de fontes fluviais e marinhas, contendo fácies influenciadas pela maré, ondas e processos fluviais” (Figura 4). Este sistema se estende rio acima até o limite da influência da maré e

representam o principal meio de transporte sedimentar do continente para a plataforma continental e influenciam de forma direta a dinâmica costeira. Boyd (*et al.*, 2006) descreve estuários e vales incisos como um complexo e possivelmente um agrupamento ambiental único, uma vez que representam a criação de espaço por um processo (principalmente erosão fluvial) e preenchimento deste espaço por outros processos (deposição fluvial, estuarina e marinha), com sedimentos provenientes de fontes fluviais e marinhas.



Figura 4. Diagrama ternário de classificação dos sistemas costeiros em função do processo de transporte de sedimentos. Modificado de Boyd *et al.*, (1992).

Segundo Kjerfve (1988), a descarga fluvial, as correntes de maré, o cisalhamento do vento e a geometria do estuário são os principais fatores que definem os processos de mistura, circulação e estratificação em um estuário.

- Zona de maré do rio: é a parte fluvial com salinidade praticamente igual a zero, mas ainda sujeita à influência a ação da maré;
- Zona de mistura: região onde ocorre a mistura da água doce da drenagem continental com a água salgada do mar;
- Zona costeira: região costeira adjacente, que se estende até a frente da pluma estuarina que delimita a camada limite costeira.

A relação entre sequências transgressivas e regressivas provoca uma variação nas taxas tanto de erosão quanto de deposição em sistemas costeiros. Sistemas estuarinos dependem da razão entre aporte sedimentar e variação do nível relativo do mar, de forma que sempre estão associados a transgressões marinhas. Segundo Coutinho (1986) os estuários jovens encaixados em vales de rios afogados, apresentam linha de praia muito irregular e dendrítica. Enquanto que a progressiva retificação das linhas de praia demonstra a maturidade do estuário. Dalrymple *et al.* (1992) individualizaram dois tipos principais de estuários diferenciados entre si pela predominância de ondas ou de marés, propondo modelos faciológicos diferenciados para cada sistema. A distribuição das fácies é controlada pela interação entre natureza e quantidade de sedimentos, morfologia de fundo e processos hidrodinâmicos (Davis, 1985). Independente da dominância de onda ou maré, toda a sucessão estuarina é retrogradacional, marcando um progressivo afogamento dos depósitos subjacentes em direção ao topo da sucessão.

- **Estuário dominado por onda**

Estuários dominados por ondas apresentam caracteristicamente um pontal arenoso transversal à desembocadura (Figura 5) devido à energia das ondas ser maior que a energia das marés. Essas barreiras são constituídas por face praial, bermas e dunas eólicas. Em eventos de tempestade, essas barreiras podem ser rompidas formando leques de *washover* atrás delas. A desembocadura desses estuários formam deltas de fluxo enchente e vazante, pela redistribuição dos sedimentos por correntes de maré.

A porção central do estuário dominado por onda é caracterizado pela dissipação da energia total resultante tanto de fontes fluviais como marinhas. Essa dissipação se deve pelo fato da barreira restringir a ação de ondas e marés somente nas proximidades dos canais *inlet*. A deposição nessa zona central de estuário é formada basicamente por sedimentos lamosos ricos em matéria orgânica e intensamente bioturbados.

Em direção à cabeceira do estuário, a energia total volta a ser alta devido a contribuição provinda dos rios, formando *bayhead* deltas (Nichol, 1991). Seus sedimentos variam de arenosos e conglomeráticos (sistema fluvial), a arenosos pobremente selecionados e argilosos.

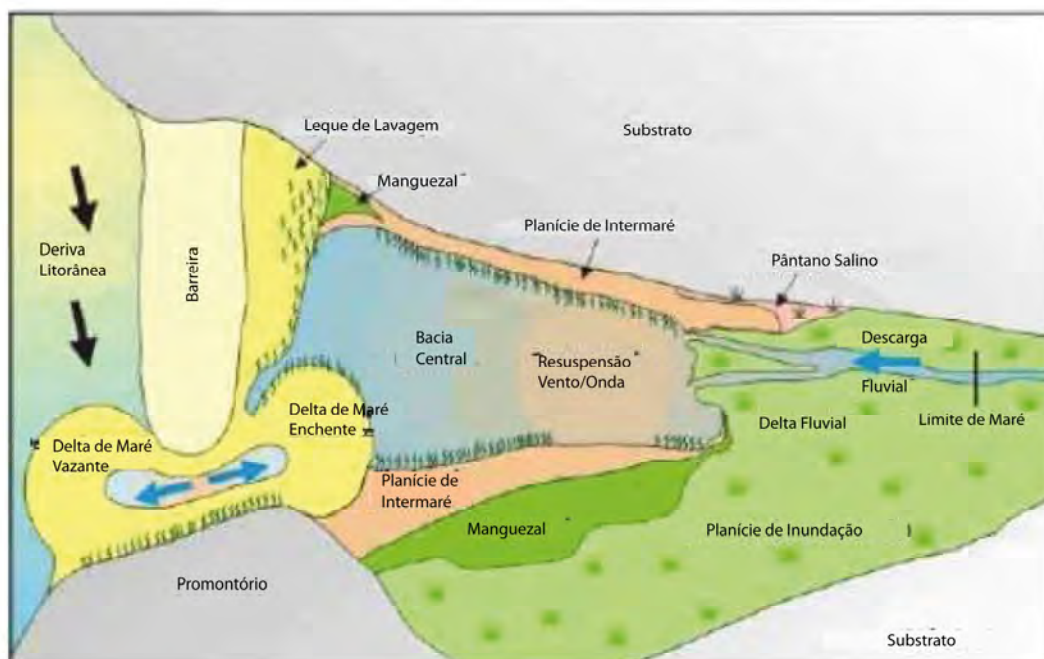


Figura 5. Características físicas de estuários dominados por onda (Heap *et al.* 2001).

- **Estuário dominado por Maré**

Este tipo de estuário tem como característica a sua desembocadura aberta com o predomínio da energia de marés sobre a energia das ondas (Figura 6). Nessa porção se formam bancos arenosos com geometria alongada concordante com o fluxo dominante no estuário (fluvial ou correntes de maré enchente e vazante), e são associados a zonas de intermaré e inframaré. Em direção ao continente, a diminuição da energia das marés gera um decréscimo da granulometria nas barras de maré, e a ocorrência de canais de maré com energia suficiente para formar *lags* cascalhosos.

Nas bordas dos estuários ocorrem planícies de maré de grande extensão, com granulometria controlada pela posição na zona de intermaré: zonas de

intermaré inferior predominam planícies arenosas de alta energia; em zonas de intermaré superior há a formação de planícies de maré lamosas. Na região de supramaré dessas bordas formam-se pântanos salinos, com vegetação resistente a salinidade.

Na cabeceira do estuário há o domínio de regimes fluviais meandrantos ou entrelaçados sobre regimes de maré. No entanto não são formados *bayhead* deltas porque a energia de maré remobiliza os sedimentos trazidos pelo sistema fluvial.

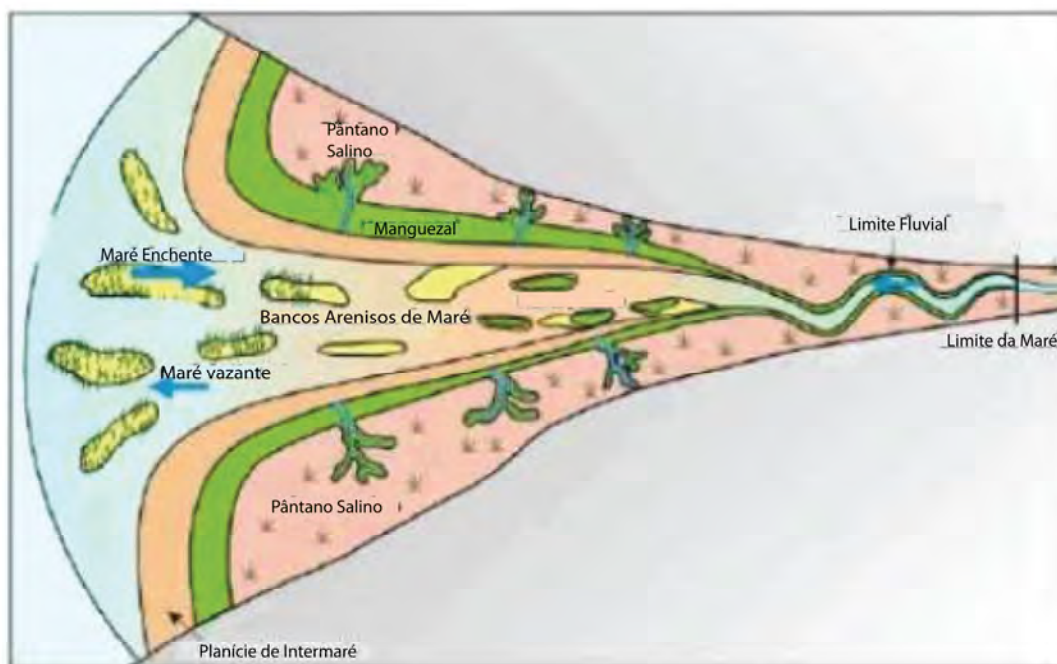


Figura 6. Características físicas de estuários dominados por maré (Heap et al. 2001)..

3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se no Cráton do São Francisco, situada na parte central do estado da Bahia na Chapada Diamantina. Para este trabalho foi selecionado um afloramento situado próximo ao vilarejo de Ventura, pertencente ao Município Morro do Chapéu – Bahia. O acesso só é possível através de uma trilha a partir da vila de ventura, guiado pelos residentes, até o afloramento em questão (base da cachoeira de Ventura). A Figura 7 localiza o afloramento em relação aos municípios circunvizinhos, tal como a Formação em que ele está inserido e a relação desta com as demais formações. Também exemplifica o caminho necessário a ser percorrido para chegar ao afloramento a partir de um ponto de referência (Vila de Ventura).

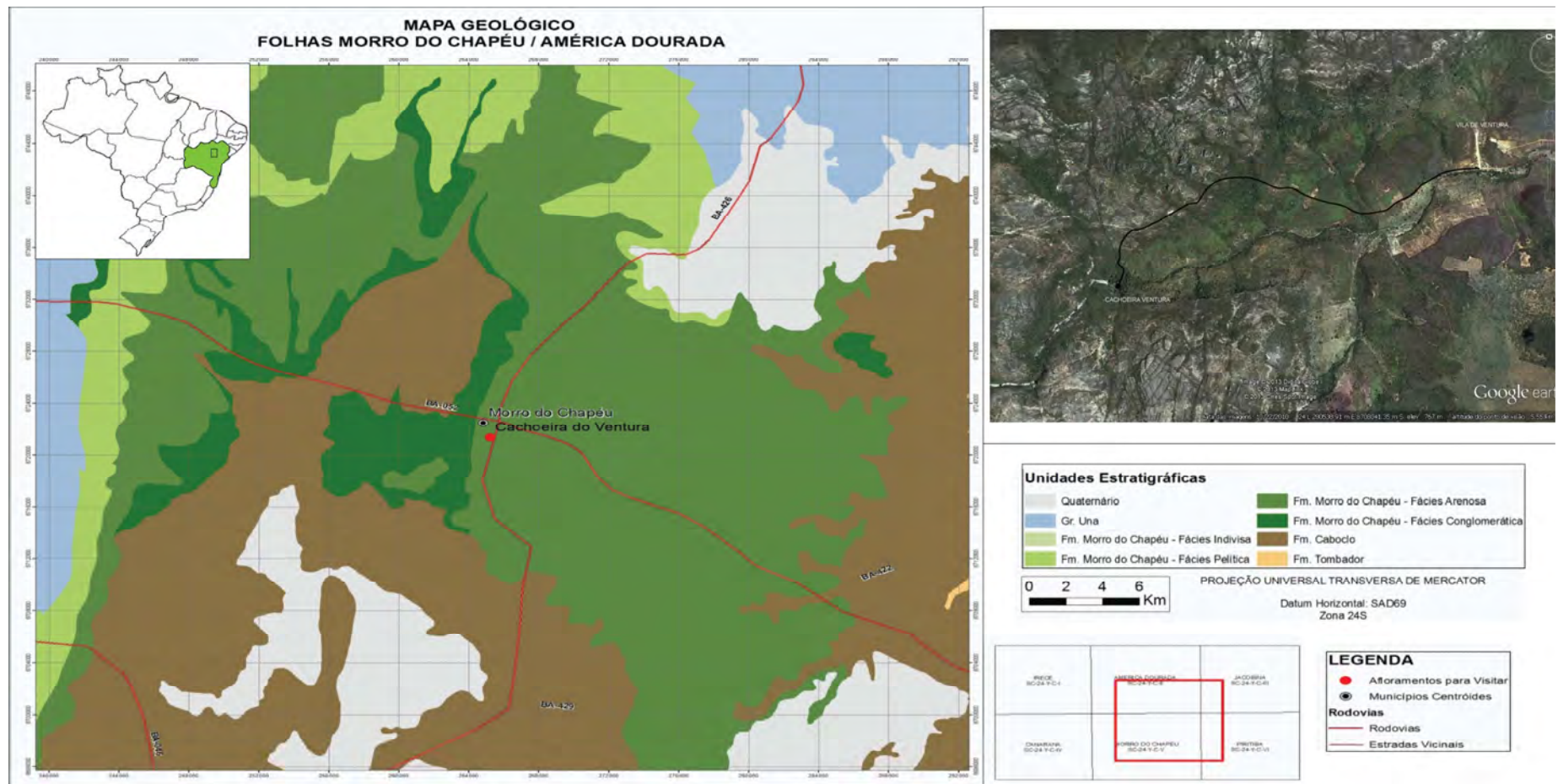


Figura 7. Mapa de localização do afloramento. Em vermelho o posicionamento da área em relação às cartas topográficas da região.

4. CONTEXTO GEOLÓGICO

O Cráton do São Francisco (Almeida, 1977) abrange principalmente os estados da Bahia e de Minas com seus limites delimitados por cinturões dobrados durante a orogênese Brasileira (Figura 8). Esse Cráton é truncado por um rifte abortado, orientado segundo NS, no qual se depositaram os protólitos dos Supergrupos Espinhaço com idade aproximada de 1,7 Ga e Supergrupo São Francisco. Neste rifte seis sequências deposicionais se acumularam, sendo elas, Paraguaçu, Rio dos Remédios, Tombador-Caboclo e Morro do Chapéu (Província Chapada Diamantina), além das sequências Borda Leste, Espinhaço e Gentio (Província do Espinhaço Setentrional). A unidade geológica em estudo é a Formação Morro do Chapéu que está contida no Grupo Chapada Diamantina, na Bacia do Espinhaço do Supergrupo Espinhaço (Tab 3)

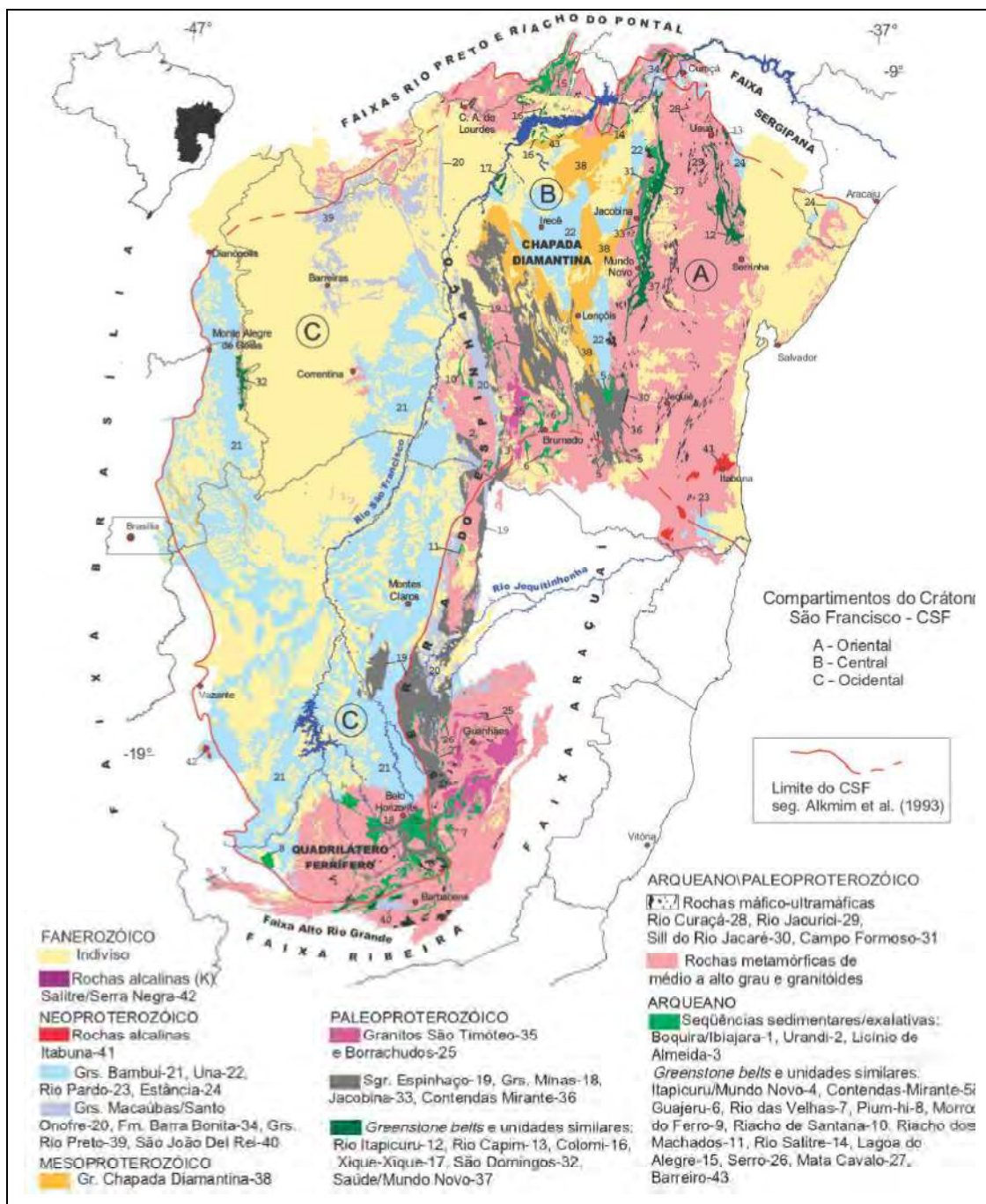


Figura 8. Mapa geológico do Cráton São Francisco. Extraído de Mapa Geológico do Brasil, 1:2.500.000, CPRM (Bizzi *et al.*, 2001).

Tabela 3. Estratigrafia do Supergrupo Espinhaço. Extraída de Pedreira (1994)

GRUPO	FORMAÇÃO
Chapada	Morro do Chapéu
	Caboclo
Diamantina	Tombador
	Guiné
Paraguaçu	Mangabeira
	Ouricuri do Ouro
	Rio dos Remédios

A Chapada Diamantina esta situada na parte central da província São Francisco, definida originalmente por Almeida *et al.* (1977) como sendo estruturalmente muito diversa das províncias circunvizinhas (Borborema, Parnaíba, Tocantins e Mantiqueira), por ter atuado como antepaís em relação às faixas de dobramento que se desenvolveram nelas ao final do Pré-cambriano. Pedreira *et al.* (1975) estimou para o Grupo Chapada Diamantina uma espessura de 1.060m (Tabela 4).

Tabela 4. Características litológicas e interpretação sedimentológica das formações componentes do Grupo Chapada Diamantina (Guimarães & Pedreira, 1990; Bomfim & Pedreira, 1990; Pedreira & Margalho, 1990). Extraído de Pedreira (1994).

FORMAÇÃO	LITOLOGIA	ESTRUTURAS SEDIMENTARES	INTERPRETAÇÃO
(a) MORRO DO CHAPÉU 250m	- Arenitos em lobos de geometria sigmoidal - Argilitos	- Estratificação plano-paralela - Estratificação cruzada revirada - Estratificação convoluta	Frente deltáica ou arenitos de fácies eólica
	- Arenito	- Ondulações truncadas (HCS) - Marcas onduladas - Estratificação cruzada espinha de peixe - Estratificação cruzada acanalada	Planície de maré inferior
	- Conglomerados polimíticos - Arenitos	- Estratificação cruzada tabular e acanalada	Barras longitudinais de sistema fluvial e dunas eólicas
(b) CABOCLO 45 - 350m	- Pelitos - Diamictitos	- Estratificação <i>wavy & linsen</i> - Marcas onduladas - <i>Mud cracks</i>	Planície de maré média a superior
	- Calcários - Arenitos - Conglomerados	- Ondulações truncadas (HCS) - <i>Dish structures</i> - Camadas rompidas	Planície de maré
	- Arenitos - Pelitos - Diamictitos	- Ondulações truncadas (HCS) - Sequências <i>coarsening/thickening-up</i> - Estratificação plano-paralela - Estratificação cruzada	Plataforma progradante dominada por tempestades
(b) TOMBADOR 90 - 400m	- Arenitos de granulometria bimodal	- Estratificação cruzada tabular e acanalada de grande porte - Estratificação planoparalela	Dunas eólicas
	- Conglomerados polimíticos - Arenitos feldspáticos	- Imbricamento de seixos - Estratificação cruzada tabular	Leque aluvial
	- Arenitos - Pelitos - Conglomerados oligomíticos	- Estratificação planoparalela - Estrat. cruz. tabular e acanalada - Marcas onduladas	Barras longitudinais, transversais e depósitos de topo de barra em rios entrelaçados

Sampaio *et al.* (1995) descreve a Formação Morro do Chapéu (Figura 9) como sendo constituída por cinco associações de litofácies definidas da base para o topo como: conglomerado suportado por clastos/arenito conglomerático/arenito, siltito/arenito, arenito sigmoidal, arenito/laminito e arenito fluidizado. A sua sedimentação está associada a um brusco rebaixamento relativo do nível do mar expondo a plataforma continental representada pela Formação Caboclo, retrabalhando esses sedimentos através de sistemas fluviais e escavando vales incisos. Esses vales são relacionados ao estagio inicial de queda do nível de base, que são posteriormente preenchidos por sistemas costeiros-plataformais em evento transgressivo. A sedimentação inicial predominante é caracterizada por conglomerados e arenitos conglomeráticos associados a sistemas fluviais, que são

sucedidos por arenitos com paleocorrentes bidirecionais associados a depósitos estuarinos.

Segundo Pedreira (1994), o contato superior da Formação Morro do Chapéu com a Formação Bebedouro ocorre de forma tectônica, através de uma falha de empurrão separando o grupo Chapada Diamantina do Grupo Uma (Figura 10).

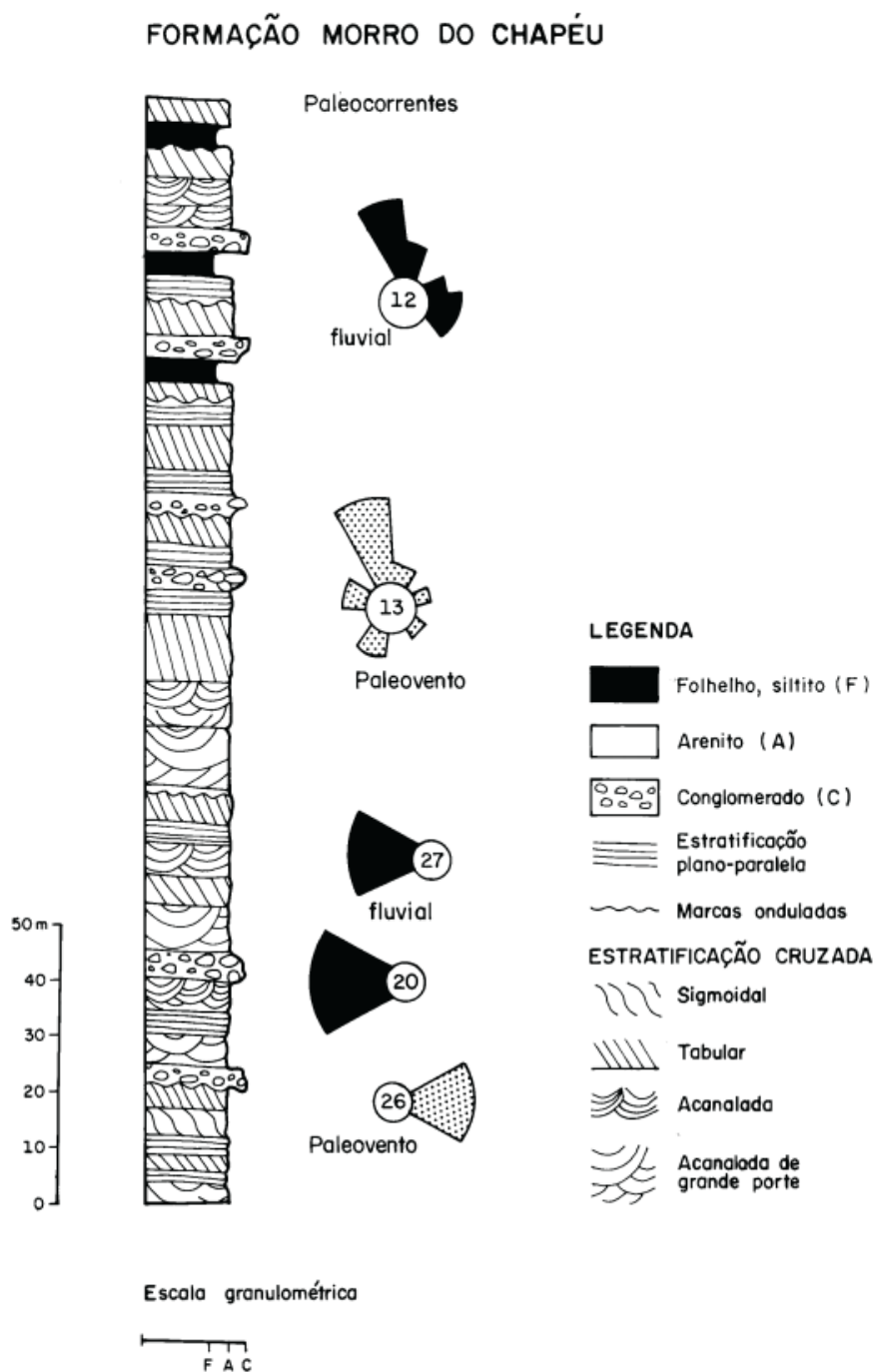


Figura 9. Coluna estratigráfica Formação Morro do Chapéu. Modificado de Pedreira (1994).

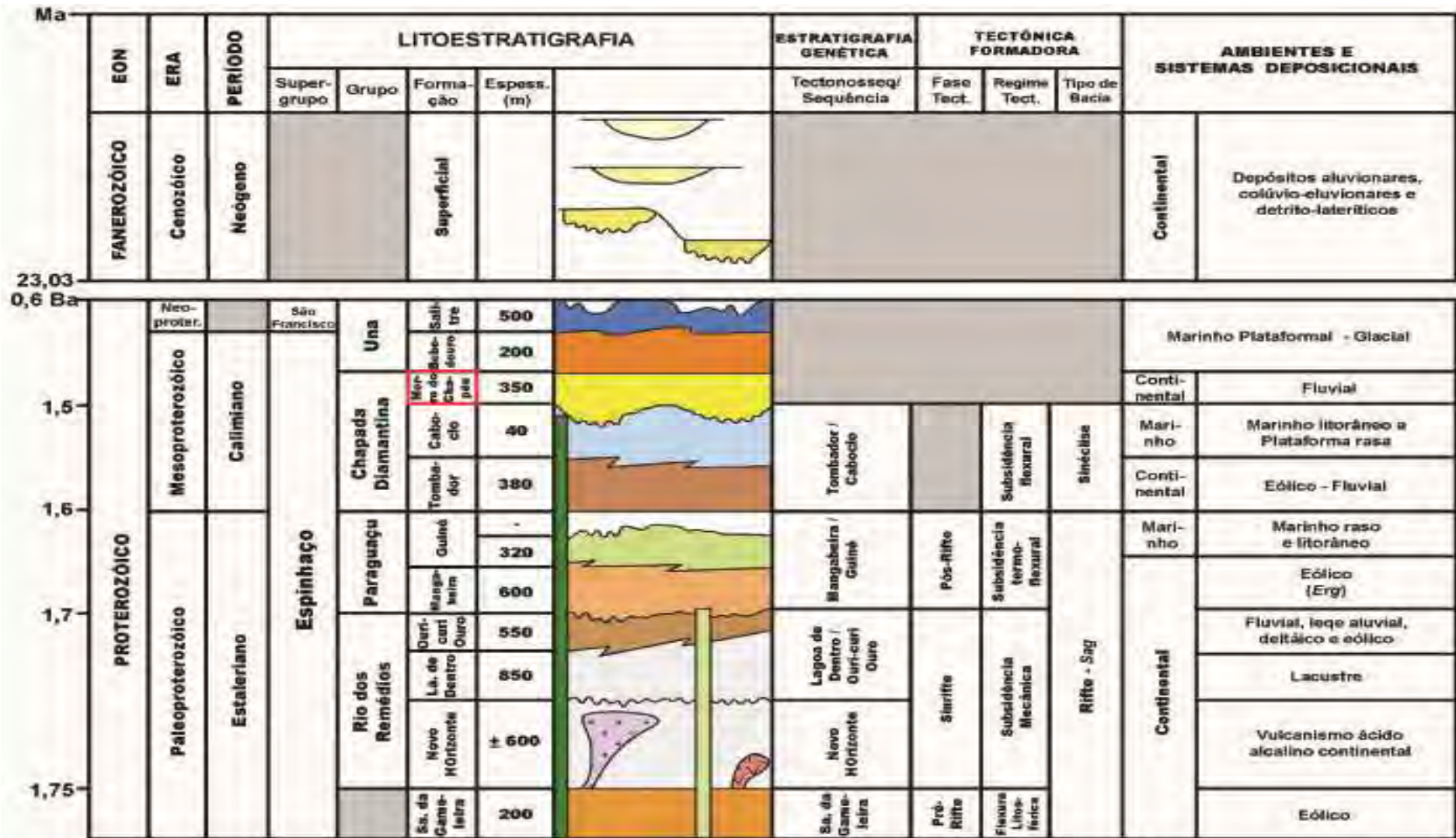


Figura 10. Coluna estratigráfica da Bacia Espinhaço. Modificado de Guimarães (2008).

5. METODOLOGIA

O afloramento Cachoeira do Ventura foi selecionado a fim de reconstruir a arquitetura deposicional, através das relações espaciais e temporais entre litofácies, associações de fácies e sistemas deposicionais. Para esta finalidade, foram observadas, descritas e interpretadas as principais litofácies e associações de fácies através de perfis verticais, para uma melhor compreensão da evolução estratigráfica do início da Formação Morro do Chapéu.

5.1. Levantamento e revisão bibliográfica

A revisão e levantamento bibliográfico são à base do presente trabalho. Para tanto foram abordados tópicos específicos na bibliografia, como: (a) A Formação Morro do Chapéu, (b) Sistemas fluvio-estuarinos e (c) os mecanismos controladores da sedimentação no Proterozóico. Essa etapa foi efetuada durante todo o período de estudo.

5.2. Trabalho de campo

Para o trabalho de campo foram confeccionadas cartas geológicas e topográficas da região, bem como a interpretação de imagens de satélite da área estudada.

O trabalho de campo foi realizado em uma etapa com o total de três dias de campo. A incursão ao campo ocorreu entre os dias 21 e 23 de março de 2013, sendo levantada uma seção colunar com aproximadamente 40 metros de espessura. Nesta etapa também foram caracterizadas as litofácies, a obtenção de medidas de estruturas sedimentares e a confecção do fotomosaico do afloramento.

5.3. Análise faciológica

Walker (1992) definiu o conceito de fácies sedimentares como sendo um corpo de rocha caracterizado por uma combinação particular de litologias, estruturas físicas e biológicas que conferem um aspecto diferente dos corpos de rocha acima, abaixo e lateralmente adjacente. A descrição faciológica das rochas siliciclásticas da Formação Morro do Chapéu aflorantes na área de estudo fundamentou-se principalmente em atributos como: litologia, cor, geometria, composição, textura, estruturas sedimentares e conteúdo fóssilífero.

A classificação de fácies foi feita a partir de uma adaptação do código proposto por Miall, 1996 (Tabela 5), usando letras para representar tamanho de grão e estrutura sedimentar. As fácies são representadas por duas letras: a primeira, maiúscula, representando o tamanho de grão dominante, sendo G para *gravel* (cascalho), S para *sand* (areia) e F para *fine-grained* (areia muito fina, silte e argila); a seguintes, minúsculas, representando textura e/ou estrutura da fácies, como em Sp para arenito com estratificação cruzada planar (*planar cross-bedding*).

As diferentes litofácies podem ser agrupadas em associações de fácies, caracterizando sub-ambientes deposicionais e implicando em um significado genético dentro de sistemas deposicionais definidos (Miall, 1984). Através do conjunto de associações de fácies geneticamente relacionada é possível a definição do sistema deposicional e o entendimento da história evolutiva da bacia.

Tabela 5. Classificação de litofácies para sistemas fluviais. Modificado de Miall (1996).

Código	Fácies	Estrutura	Interpretação
Gmm	Conglomerado matriz-suportado	Maciço	Fluxo de detritos plástico, fluxo viscoso, alta coesão interna
Gmg	Conglomerado matriz-suportado	Gradação inversa a normal	Fluxo de detritos pseudo-plástico, fluxo viscoso, baixa coesão interna
Gcm	Conglomerado clasto-suportado	Maciço	Fluxo de detritos pseudo-plástico
Gh	Conglomerado clasto-suportado	Acamamento horizontal, imbricamento	Formas de leito longitudinais, depósitos residuais (<i>lags</i>)
Gt	Conglomerado estratificado	Estratificações cruzadas acanaladas, gradação normal	Migração de barras conglomeráticas transversais de crista curva
Sh	Arenito fino a muito grosso (podendo ser conglomerático)	Laminação horizontal, lineação de partição	Formas de leito planas (regime de fluxo superior)
Sl	Arenito fino a muito grosso (podendo ser conglomerático)	Laminação de baixo ângulo (<15%)	Preenchimento de suaves depressões, dunas atenuadas (regime de fluxo transicional)
Ssg	Arenito fino a média	Estratificação cruzada sigmoidal	Depósitos de frentes deltaicas ou alto conteúdo de areia em suspensão depositados por queda de grãos (regime de fluxo transicional)
St	Arenito fino a muito grosso (podendo ser conglomerático)	Estratificações cruzadas acanaladas	Migração de dunas subaquosas 3D, cristas sinuosas ou linguóides (regime de fluxo inferior)
Sp	Arenito fino a muito grosso, conglomerático	Estratificação cruzada planar ou tabular	Dunas de dunas subaquosas 2D, crista reta, migração.
Sm	Arenito fino a muito grosso	Maciça ou laminação indistinta	Fluxos hiper-concentrados, fluidizações, perda de estruturas pelo intemperismo
Ss	Arenito fino a muito grosso, conglomerático	Sobre amplas e suaves depressões, geralmente sem estrutura	Preenchimento de suaves depressões
Sr	Arenito muito fino a grosso	Laminações cruzadas de marcas onduladas	Migração de marcas onduladas em fluxo trativo, unidirecional subaquoso (regime de fluxo inferior)
Sw	Arenito muito fino a médio	Ondulações de grande comprimento de onda	Marcas de ondas no substrato plataformar
Fr	Siltito ou arenito muito fino	laminações cruzadas de marcas onduladas de corrente	Correntes trativas subaquosas de muito baixa energia
Fw	Siltito, arenito fino	Marcas onduladas simétricas, marcas onduladas truncadas	Fracas a moderadas correntes trativas oscilatórias, ação de ondas
Fl	Arenito muito fino, siltito ou lama	Laminações horizontais	Depósitos por decantação
Fm	Pelito	Maciço, podem conter gretas de contração, marcas de raízes	Depósitos por decantação, exposição subaérea, solos incipientes
Ht	Arenitos e pelitos intercalados	Laminação horizontal, laminações de marcas onduladas nos arenitos	Alternância entre fluxos trativos e decantação
P	Paleossolo carbonático (caliches). Pode conter concreções silicosas	Acamamento horizontal, nódulos, concreções	Precipitação química. Exposição prolongada por longo período de tempo sob clima semi-árido a árido

5.4. Perfil colunar

Levantar um perfil colunar é a melhor forma de representar descritivamente e graficamente os dados que compõem uma sucessão vertical de fácies. Coe (2010) listou as vantagens do levantamento estratigráfico em perfis colunares:

- Método sucinto de sumarizar um grande volume de dados;
- Impressão imediata da sucessão vertical de fácies;
- Ajuda na identificação de repetições e mudanças importantes nas fácies sedimentares;
- Maneira conveniente de correlacionar seções de idades similares em lugares diferentes.

Os perfis foram levantados utilizando uma folha de seção padrão (Figura 11) na escala 1:100, com a coordenada do afloramento, desenhos das fácies por espessura e tamanho de grão. Além disso, foram realizadas, medidas de acamamento sedimentar e paleocorrentes, descrição detalhada das fácies, incluindo geometria, tamanho de grão, cor, textura, estrutura e tipo de transporte e fotos representativas de cada fácies, e a interação entre as mesmas.

COLUNA ESTRATIGRÁFICA		PONTO/SEÇÃO:					
ESTRUTURAS GERADAS POR PROCESSOS HIDRODINÂMICOS OU DEFORMACIONAIS M Maciço Lam. Plano Paralela Lam. Cruz. Cavalgante Lam. Ondulada Lam. Ondulada Truncada Estr. Cruz. Tangencial Estr. Cruz. Acanalada Ripples Estr. Cruz. Bxo. Ângulo Estr. Cruzada Planar Fluidização Lam. Convoluta Estrutura em Chama Escorregamento Estrutura de Carga		ESTRUTURAS GERADAS POR PROCESSOS EÓLICOS Estratos cruzados compostos por marcas ond. eólicas Estruturas de adesão Estratos cruzados compostos por fluxos de grãos Estratificação cruzada de baixo-ângulo Estratificação horizontal					
		FÓSSEIS Bioturbação Conchas Fósseis Restos Vegetais Marca de raiz	Coord. UTM E: N: Data: Escala:				
		Assoc. Fácies Fotos Amostras	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30px; text-align: center;">Pareocorrente</td> <td style="width: 30px; text-align: center;">Estruturas</td> </tr> <tr> <td style="height: 400px;"> </td> <td style="height: 400px;"> </td> </tr> </table>		Pareocorrente	Estruturas				
Pareocorrente	Estruturas						
Bl Sx Gr G M F Mf S Ag Areia		Página /					

Folha padrão para descrição de perfis colunares.

Figura 11. Modelo para levantamento de perfil colunar em campo.

6 ■ RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo fará uma discussão sobre os dados, resultados e interpretações obtidos nesse trabalho (Fig. 13). A apresentação será dividida em três partes, sendo as duas primeiras: Formação Caboclo; e Formação Morro do Chapéu onde cada formação será subdividida em: (1) caracterização faciológica; (2) associações de fácies; (3) sistema deposicional. Em sequência será abordado a parte do arcabouço estratigráfico estabelecendo-se um modelo evolutivo integrado destas duas unidades.

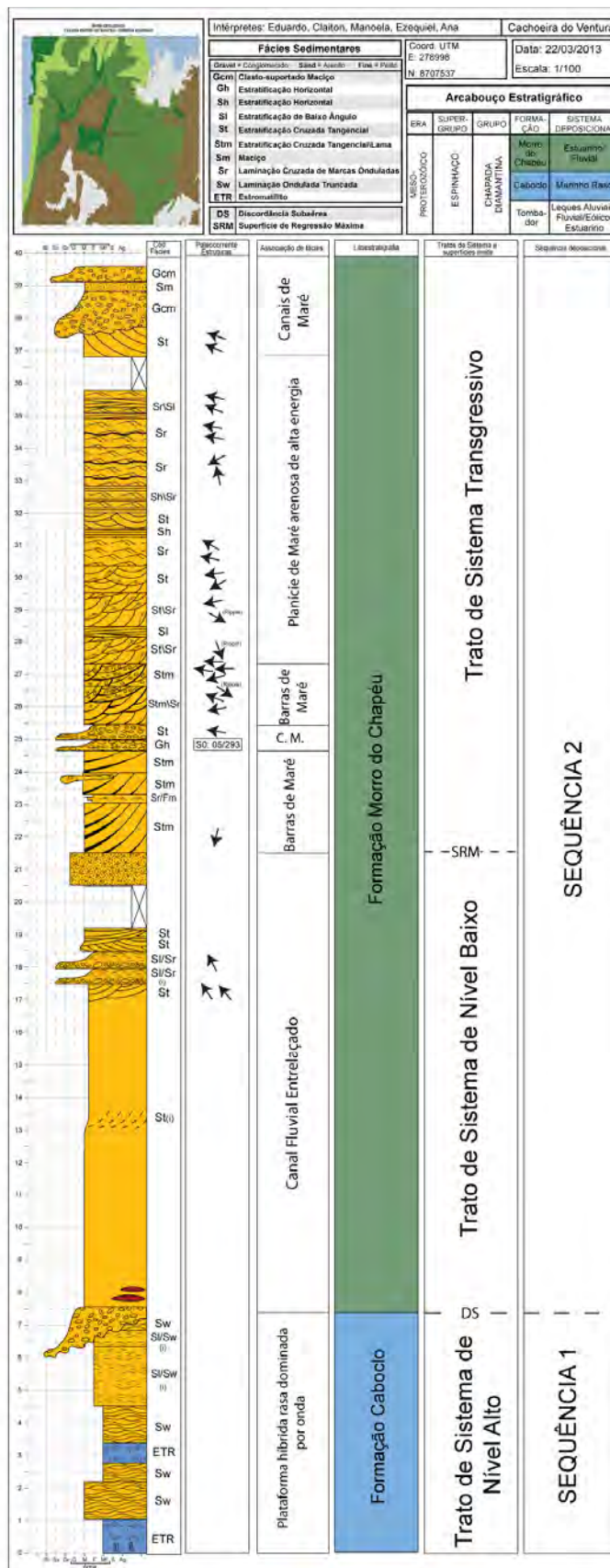


Figura 12. Perfil colunar digitalizado a partir do dado levantado na etapa de campo..

6.1. Formação Caboclo

6.1.1 Caracterização faciológica

Com base na proposta de Miall (1996), foi possível individualizar três litofácies principais: (i) Arenito fino a médio com laminação de baixo ângulo (SI); (ii) Arenito muito fino a médio com marcas onduladas truncadas (Sw); e (iii) Estromatólitos (ETR). As descrições e interpretações sedimentológicas encontram-se sumarizadas nas planilhas a seguir (Tabela 6).

Tabela 6. Classificação de litofácies adaptado de Miall (1996).

Código	Fácies	Descrição	Interpretação
SI	Arenito fino a médio	Laminação de baixo ângulo	Preenchimento de suaves depressões, dunas atenuadas
Sw	Arenito fino a médio	Marcas onduladas truncadas	Marcas de ondas no substrato plataformal
ETR	Estromatólitos	Laminações plana, côncavas e/ou convexas	Organomineralizações bioinduzidas + <i>Trapping and binding</i>

Arenitos com estratificação cruzada de baixo ângulo (SI)

Esta litofácies compreende aproximadamente 10% do afloramento e é composta de arenitos finos a conglomeráticos, com clastos subangulosos, composição granítica e quartzosa de até 6 cm. A ocorrência desta litofácies está limitada a camadas de 0,4 a 1,7 m, podendo apresentar gradação normal em algumas porções. Comumente se alternam com arenitos com laminações onduladas truncadas.

Interpretação: Estratificações cruzadas de baixo ângulo estão mais comumente relacionadas ao preenchimento de suaves depressões ou dunas atenuadas, neste último caso, em condições transicionais entre o regime de fluxo inferior e superior (Miall, 1996).

Arenitos com estratificação cruzada ondulada truncada (Sw)

Esta litofácies compreende aproximadamente 12% do afloramento e é composta por arenitos de granulometria muito fina a média, híbridos, bem selecionados, com coloração acinzentada a avermelhada, e laminações onduladas truncadas que apresentam comprimento de onda de até 1 m. As camadas podem ocorrer isoladas ou associadas a estratificações cruzadas de baixo ângulo e variam de 0,4 a 1,1 m. Há subdivisão interna em sets variando de 0,1 a 0,2 m.

Interpretação: Arenitos com estratificação cruzada ondulada truncada são produtos de eventos episódicos de maior energia (tempestades), sendo formados a partir da ação de ondas que modelam o substrato marinho pela atuação de processos trativos oscilatórios.

Estromatólito (ETR)

Esta litofácies compreende aproximadamente 4% do afloramento e é composta por estromatólitos com dimensões de aproximadamente 10 x 7 cm, e laminações plana, côncavas e/ou convexas, dispostas em camadas variam de 0,4 a 1 m. Os estromatólitos apresentam geometria colunar ou dômica. Entre as colunas podem ocorrer pequenas brechas preenchidas pelo próprio material estromatolítico retrabalhado.

Interpretação: Estromatolitos são bioconstruções, onde pontualmente são definidas como biohermas decimétricas a métricas, carbonáticas, construídas por ação bacteriológica em mares rasos e quentes. Ocorrem na forma dômica ou colunar em reflexo a quantidade e profundidade de penetração da luz solar. São interpretados como Organomineralizações bioinduzidas + Trapping and binding.

6.1.2. Associação de Fácies

As litofácies descritas foram agrupadas em uma associação de fácies. Esta associação ocorre no topo da Formação Caboclo, e será descrita a seguir.

- *Associação de fácies de plataforma híbrida rasa dominada por onda*

Descrição: Esta associação de fácies compreende corpos arenosos e carbonáticos, de até 7,5 m, limitados na base por superfície plana e no topo por superfície erosiva. As camadas arenosas são formadas por arenitos muito finos a médio, bem selecionados, com laminações onduladas truncadas (litofácies Sw) e estratificações de baixo ângulo (litofácies Sl), variando de 0,5 a 2 m. Os arenitos com laminação ondulada truncada apresentam comprimento de onda de até 1 metro, sendo subdivididos em sets de 0,1 a 0,2 m separados por filmes de lama, e podem ocorrer isolados ou alternando com estratificações cruzadas de baixo ângulo. Os corpos carbonáticos ocorrem na porção basal, com o predomínio de estruturas colunares, e na porção central da sucessão vertical de fácies, com o predomínio de estruturas dômicas. Ocorrem na forma de pacotes de espessura de 0,4 a 1 m, e são formados por estromatólitos (litofácies ETR) deformados e brechados. (Fig. 13)

Interpretação: A interdigitação entre estratos microbianos e estratos com laminações onduladas truncadas sugere influência de tempestade em um contexto de shoreface inferior de uma plataforma híbrida rasa. Estromatólitos (litofácies ETR) podem ser interpretados como organomineralizações bioinduzidas, de mares rasos e quentes, onde segundo Reid *et al.* (2000, 2003) o processo de criação de estromatólitos litificados e acúmulos laminados é essencialmente por comunidades procariontes (microbianas). A dominância de camadas com geometria colunar na base e de camadas com geometria dômica em direção ao topo pode indicar raseamento da lâmina d'água. A deformação observada nas porções superiores das camadas da litofácies ETR (Fig. 15) pode estar relacionada a eventos de sobrecarga sedimentar durante períodos de tempestades. Isso se deve ao fato que o aumento da coluna d'água, associada à deposição rápida de areias no final de eventos de tempestade.

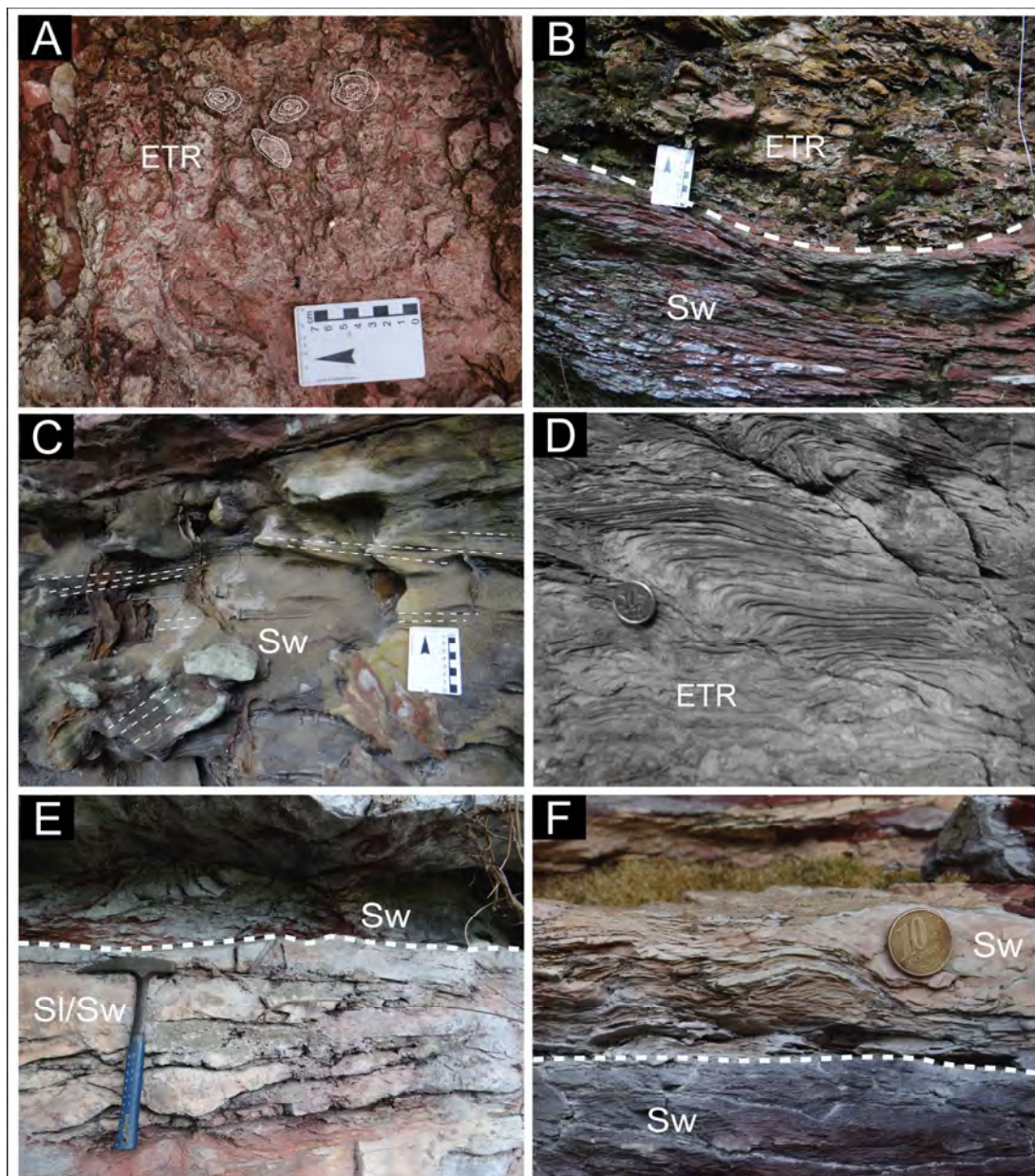


Figura 13. Associação de fácies de plataforma híbrida rasa dominada por onda. A) Vista em planta da fácies ETR (colunar); B) Relação de contato entre as fácies Sw e ETR; C) Fácies Sw; D) Fácies ETR com contraste em preto e branco para realçar a estruturação; E) Relação de contato entre camada com intercalação Si/Sw incipientes (inferior) e camada com Sw (superior); F) Variação granulométrica dentro da fácies Sw (arenito muito fino na base, passando para arenito médio na parte superior da imagem).

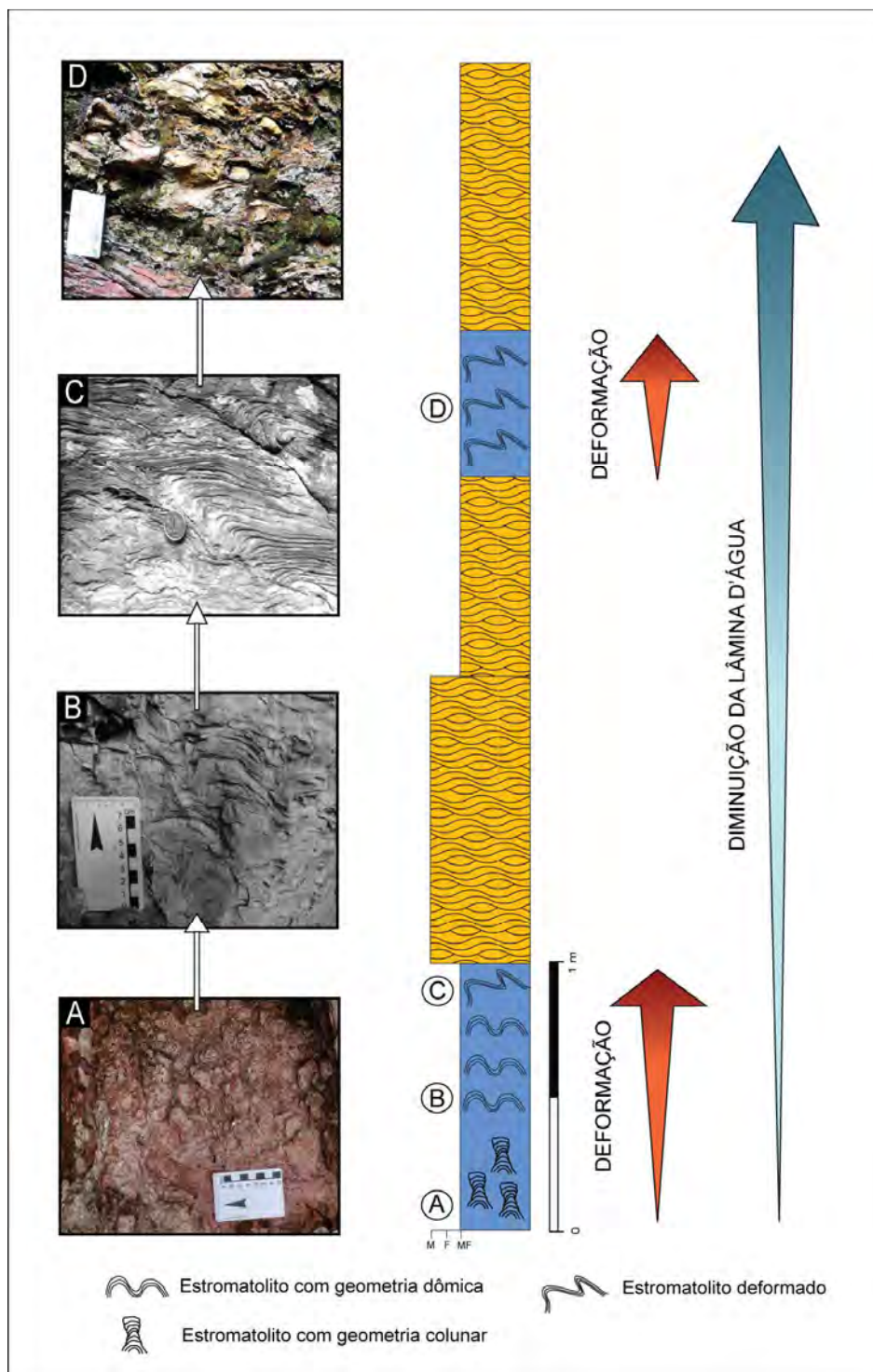


Figura 14. Relação entre quantidade de deformação, espessura da lâmina d'água, geometria dos estromatólitos e perfil colunar do afloramento Cachoeira do Ventura. Notar que a geometria dos estromatólitos passa de colunar a dômica com a diminuição da lâmina d'água.

6.1.3. Sistema deposicional

A partir da análise da associação de fácies referentes à Formação Caboclo e suas relações estratigráficas, foi possível identificar um sistema deposicional interpretado como sendo sistema de plataforma híbrida rasa dominada por onda.

- *Sistema de Plataforma Híbrida Rasa Dominada por Onda*

O sistema de plataforma híbrida rasa dominada por onda representa o topo da Formação Caboclo e ocorre na porção inferior do afloramento, sobreposto de forma discordante pelo sistema fluvial entrelaçado, ao qual é associado ao início da Formação Morro do Chapéu. Este sistema compreende um pacote de aproximadamente 7,5 m de espessura, sendo formado pela associação de fácies de shoreface inferior. As principais características deste sistema são: (a) Interdigitação entre estratos microbianos e estratos com laminações onduladas truncadas; (b) Alternância entre estratificações cruzadas de baixo ângulo e laminações cruzadas de marcas onduladas; (c) a presença de estromatólitos com estruturas colunares na porção basal, e estromatólitos com estruturas dômicas na porção central do sistema deposicional.

A presença de estromatólitos remete a condições climáticas mais amenas e a proximidade com a linha de costa, uma vez que essas comunidades microbianas necessitam de luminosidade e águas mais quentes para proliferação microbiana (Riding, 2000). A transição dessas formas de vida com geometria colunares para formas com geometria dômicas, e o aumento do teor de areia em direção ao topo, refletem um padrão de empilhamento progradacional do sistema deposicional, onde a taxa de aporte sedimentar superaria a taxa de criação de espaço de acomodação. A interpretação dos pacotes formados por arenitos sugere intenso retrabalhamento por ondas de tempestade. A presença de camadas de arenitos com estrutura de fluxo oscilatório intercaladas com os estromatólitos indica que esta plataforma era afetada por recorrentes eventos de tempestade.

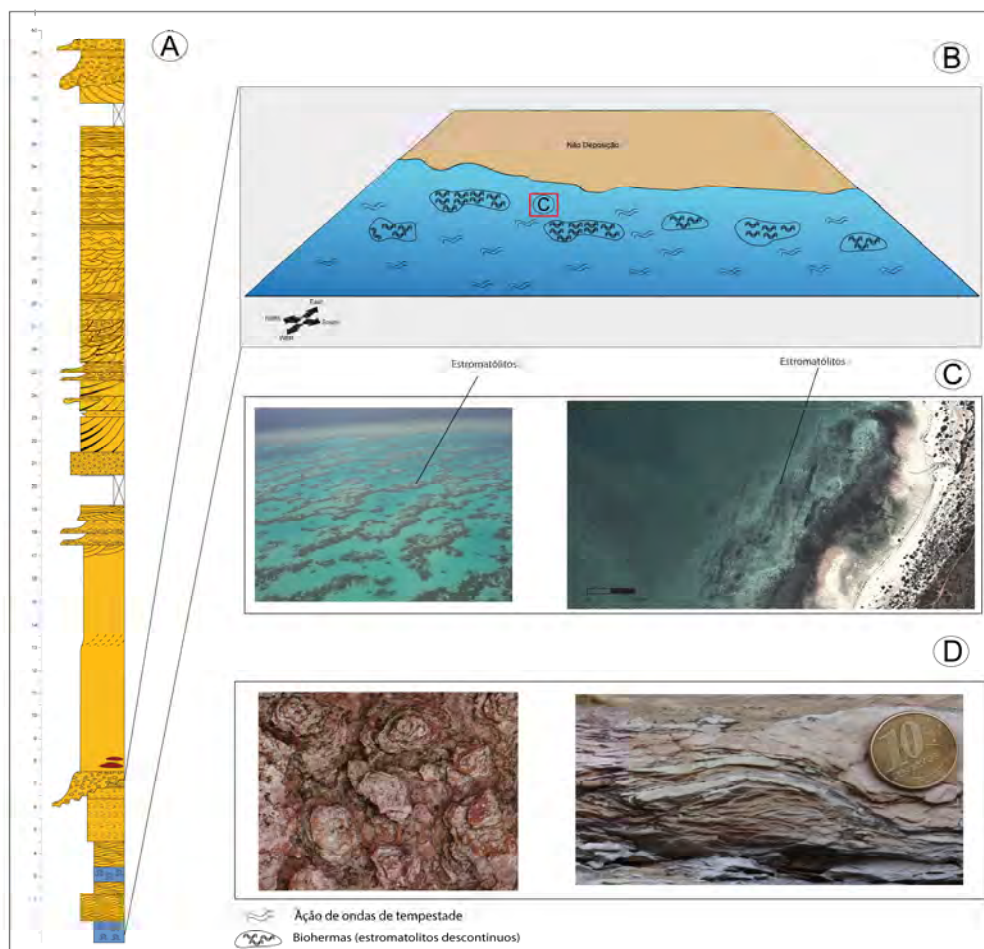


Figura 15. Correlação do sistema deposicional de plataforma híbrida rasa dominada por onda com modelos análogos. A) Seção colunar do afloramento cachoeira; B) Modelo análogo para deposição de sistemas plataformais rasos, modificado de Bállico *et al.* (*in prep.*); C) Imagem da Baía de Shark Bay, Austrália, extraída de Google Earth[®] (à direita), grande barreira de corais, Austrália (à esquerda); D) Laminações onduladas truncadas (à direita), à esquerda estromatólitos com geometria colunar.

6.2. Formação Morro do Chapéu

6.2.1. Caracterização faciológica

Com base na proposta de Miall (1996), foi possível individualizar oito litofácies principais: (i) Conglomerados clasto-suportado maciço (Gcm); (ii) Conglomerados clasto-suportado com acamamento horizontal (Gh); (iii) Arenito médio com laminação horizontal (Sh); (iv) Arenito fino a médio com laminação de baixo ângulo (Sl); (v) Arenito fino a médio com estratificação cruzada acanalada

(St); (vi) Arenito médio maciços (Sm); (vii) Arenito médio com laminação cruzada de marcas onduladas(Sr). As descrições e interpretações sedimentológicas encontram-se sumarizadas na tabela a seguir.

Tabela 7. Classificação de litofácies adaptado de Miall (1996).

Código	Fácies	Descrição	Interpretação
Gcm	Conglomerado clasto-suportado	Maciço	Fluxo de detritos
Gh	Conglomerado clasto-suportado	Acamamento horizontal	Formas de leito longitudinais, depósitos residuais (<i>lags</i>)
Sh	Arenito médio	Laminação horizontal	Formas de leito planas (regime de fluxo superior)
Sl	Arenito fino a médio	Laminação de baixo ângulo	Preenchimento de suaves depressões, dunas atenuadas
St	Arenito médio	Estratificação cruzadas acanaladas	Migração de dunas subaquosas 3D, cristas sinuosas ou linguóides (regime de fluxo inferior)
Stm	Arenito médio	Estratificação Cruzada Acanalada com filmes de lama	Processos trativos, sucedidos por redução e dissipação de fluxo, decantação
Sm	Arenito médio	Maciça	Fluxos hiper-concentrados, fluidizações, perda de estruturas pelo intemperismo
Sr	Arenito médio	Laminação cruzada de marcas onduladas	Migração de marcas onduladas em fluxo trativo

Conglomerado clasto suportado maciço (Gcm)

Esta litofácies compreende aproximadamente 4% da seção estudada, sendo caracterizada por conglomerados clasto-suportados, maciços, dispostos em camadas variando de 0,5 a 1,1 m, por vezes apresentando gradação normal. Estes conglomerados são polimíticos, composto por clastos de composição variada como quartzo e arenitos. O tamanho desses clastos também é bastante diversificado, variando desde grânulos a seixos com até 4 cm de diâmetro. Os clastos

apresentam índices de esfericidade e arredondamento moderados. A matriz do conglomerado consiste de areia fina a média, mal selecionada.

Interpretação: A deposição desta litofácies é atribuída a processos de fluxos gravitacionais não coesivos de sedimentos (Lowe, 1982). As características que evidenciam essa origem são: textura mal selecionada; ausência de estruturas trativas tais como, estratificações ou superfícies erosivas internas; ausência de clastos imbricados.

Conglomerado clasto suportado com acamamento horizontal (Gh)

Esta litofácies compreende aproximadamente 1% do afloramento e é composta por conglomerado clasto suportado com tamanho de clasto até seixo (6 cm), sub-arredondados, de composição quartosa e arenítica. Apresenta geometria lenticular e arcabouço na fração areia. Ocorre em camadas de 0,5 metros com base erosiva

Interpretação: Esta litofácies ocorre na forma de leitos longitudinais ou depósitos residuais (*lags*).

Arenito com laminação horizontal (Sh)

Esta litofácies compreende aproximadamente 1% do afloramento e é composta por arenitos médios, moderadamente selecionados, com estratificação horizontal, ocorrendo em camadas de até 0,2 metros isoladas, ou em alternância com laminações cruzadas de marcas onduladas em pacotes decimétricos.

Interpretação: Os arenitos com estratificação horizontal podem ser formados principalmente sob regime de fluxo superior, onde a resistência ao fluxo com alta turbulência é pequena e o transporte de sedimentos é grande. São associados a águas rasas ou eventos de maior energia, e são encontrados em ambientes: (i) continental (subaquático e subaéreo); e (ii) marinho (Reineck & Singh, 1975, Brodzikowski & Van Loon, 1991).

Estratificação cruzada de baixo ângulo (SI)

Esta litofácies compreende aproximadamente 10% do afloramento e é composta de arenitos com granulometria variando desde arenitos conglomeráticos até arenitos finos, com clastos subangulosos de até 6 cm, e composição granítica e quartzosa. A ocorrência desta litofácies está limitada a camadas de 0,4 a 1,7 m, podendo apresentar gradação normal em algumas porções. Comumente se alternam com laminações onduladas truncadas.

Interpretação: Estratificações cruzadas de baixo ângulo estão mais comumente relacionadas ao preenchimento de suaves depressões ou dunas atenuadas, neste último caso, em condições transicionais entre o regime de fluxo inferior e superior (Miall, 1996).

Arenito com estratificação cruzada acanalada (St)

Esta litofácies compreende aproximadamente 42% da seção estudada, sendo composta por arenitos médios, moderadamente selecionados, com clastos de até 3 cm, sub-arredondados, de composição quartzosa, e intraclastos argilosos. Apresentam estratificações cruzadas acanaladas ou tangencias dispostos em sets de 0,2 a 0,3 m. Podem ocorrer associados, laminações cruzadas de marcas onduladas centimétricas na base dos sets de estratos cruzados, por vezes acompanhando o sentido de mergulho dos estratos cruzados, e outras vezes em sentido contrário.

Interpretação: Os arenitos descritos nesta litofácies são interpretados como migração de dunas subaquosas (dunas 3D), cristas sinuosas ou linguóides em regime de fluxo inferior (Miall, 1996). A presença de marcas onduladas subindo a face frontal de dunas subaquosas sugere a existência de períodos de inversão no sentido da corrente com uma componente mais forte (Shanley *et al.*, 1992).

Arenito com estratificação cruzada acanalada e filmes de lama (Stm):

Esta litofácies compreende aproximadamente 9% da seção estudada, sendo composta por arenitos médios, moderadamente a bem selecionado, com clastos de até 2 cm, arredondados a sub-arredondados, dispersos de composição quartzosa,

arenitos silicificados e intraclastos argilosos. Apresenta estratificações cruzadas acanaladas ou tangencias dispostos em sets de 0,2 a 0,3 m. Apresenta filmes de lama de até 2 cm marcando a base dos estratos cruzados. Podem ocorrer associados, laminações cruzadas de marcas onduladas centimétricas na base dos sets de estratos cruzados, por vezes acompanhando o sentido de mergulho dos estratos cruzados, e outras vezes em sentido contrário.

Interpretação: A presença de filmes de argila acompanhando os *foresets* dos estratos cruzados dos arenitos indica atuação de processos deposicionais em que correntes com transporte por tração são sucedidas por redução e dissipação do fluxo, permitindo a decantação de argilas. Estes processos são característicos de correntes de maré, em que são formados os recobrimentos de sedimentos finos por decantação durante os períodos de marés alta e baixa (Nio & Yang, 1991, Reinson 1992, Dalrymple, 1992). A presença de marcas onduladas subindo a face frontal de dunas subaquosas sugere a existência de períodos de inversão no sentido da corrente com uma componente mais forte (Shanley *et al.*, 1992).

Arenitos Maciço (Sm)

Esta litofácies compreende aproximadamente 1% do afloramento e é composta por arenitos médios, mal selecionados, sem nenhuma estruturação interna visível, dispostos em camadas de até 0,2 m. As camadas maciças contem na base níveis conglomeráticos erosivos de composição quartzosa e arenítica com tamanho até seixo.

Interpretação: Os arenitos maciços podem ter a sua gênese associada: (i) à presença de forte bioturbação por organismos com a destruição da estrutura original; (ii) à atuação de processos inorgânicos, como expulsão de água ou bolhas de gás dos poros existentes entre os grãos durante a compactação; ou (iii) a uma sedimentação muito rápida provocando a acumulação de uma massa homogênea (Reineck & Singh 1975). A ausência de evidência de bioturbações e de fluidizações fortalece uma gênese destes depósitos a partir da deposição em massa de fluxos hiperconcentrados (Collinson, 1970).

Estratificação cruzada de marcas onduladas (Sr)

Esta litofácies compreende aproximadamente 14% do afloramento e é composta por arenitos de granulometria média, moderadamente a mal selecionados, de laminações cruzadas de marcas onduladas, organizados em camadas subdivididas em *sets* centimétricos. São comumente observadas separando *sets* de estratificações cruzadas tangenciais, mas também podem ocorrer isoladas ou associadas a estratificações horizontais e estratificações cruzadas de baixo ângulo de forma mais localizada.

Interpretação: Esta litofácies está associada à migração de marcas onduladas desenvolvidas em condições de baixa velocidade de fluxo trativo unidirecionais (<1m/s), regime de fluxo inferior (Ashley, 1990).

6.2.2. Associação de fácies

As litofácies descritas podem ser agrupadas em quatro associações de fácies distintas. Estas associações ocorrem na Formação Morro do Chapéu, e são descritas a seguir.

- Associação de fácies de canais fluviais entrelaçados

Descrição: Esta associação de fácies consiste em conglomerados clasto suportados, arenitos conglomeráticos e arenitos médios, com geometria lenticular, formando um pacote de 14,5 m de espessura, limitado na base por superfície erosiva. A porção inferior do pacote é caracterizada por lentes de 0,5 m de conglomerados clasto suportado, maciços (Gcm), com clastos sub-angulosos de composição quartzosa e granítica, de tamanho de até 6cm (figura 17). Estes conglomerados são sucedidos por um pacote de 10 m de arenito médio a grosso, mal selecionado, maciço (Sm), com estratificações cruzadas de baixo ângulo incipientes (SI) e, no topo, estratificações cruzadas tangenciais (St) divididas em dois *sets* de 0,2 m. Os dados de paleocorrentes medidos em estratos com estratificação cruzadas tangenciais indicam um padrão dominante de fluxo para NW (Fig. 18).

Interpretação: A presença de corpos arenosos limitados por superfícies erosivas na base, composto por estruturas predominantemente trativas disposta em *sets* com orientação unidirecional das paleocorrentes sugere a deposição de canais fluviais (Collinson, 1996). Os conglomerados maciços da base representam fluxos hiperconcentrados resultantes de períodos de intensa descarga fluvial. Esses depósitos marcam o início do preenchimento do canal e representam na base uma superfície côncava de 5º ordem da hierarquia definida por Miall (1996). A alternância entre arenitos conglomeráticos e arenitos médios sugere variações de energia na descarga fluvial ou na profundidade do canal. A evidência de sucessões granodecrescentes ascendentes sugere uma progressiva diminuição da velocidade do fluxo durante o preenchimento do canal. A presença de sedimentos grosso aliado a inexistência de sedimentos indica canais fluviais entrelaçados.

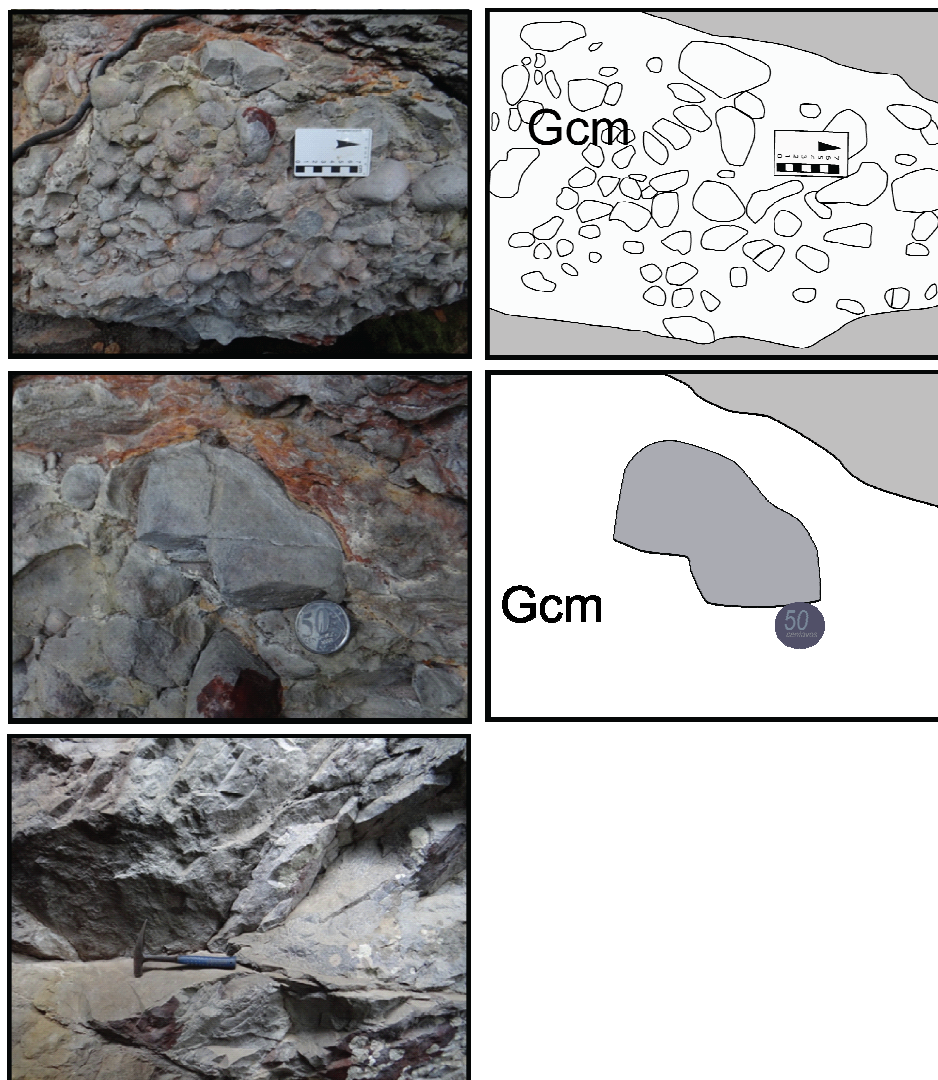


Figura 16. Associação de fácies de canais fluviais entrelaçados, A) Fácies Gcm, B) Detalhe de clasto de tamanho bloco da fácies Gcm, C) Litofácies Gcm com estruturas de difícil observação.

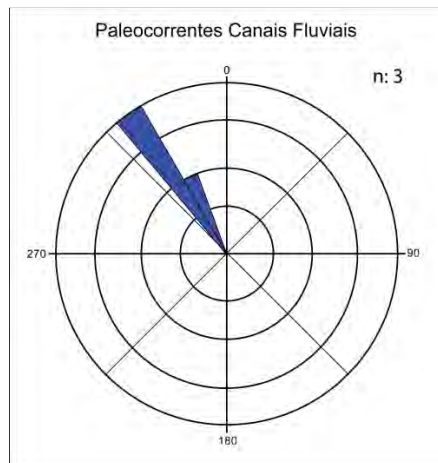


Figura 17. Diagrama de roseta das paleocorrentes da associação de fácies de canais fluviais entrelaçados, mostrando um padrão de fluxo dominante para NW. Foram obtidas três medidas.

- Associação de fácies de barras de maré

Descrição: Esta associação de fácies consiste de arenitos médios, moderadamente a bem selecionados, formando pacotes de 1,8 a 3, 2 m de espessura, limitados na base por superfícies plana ou erosivas. Estes corpos arenosos são compostos por sets de estratificações cruzadas tangenciais e acanaladas (litofácies Stm) que variam de 0,5 a 1,5 m e menos comumente por laminações cruzadas de marcas onduladas (litofácies Sr) e arenitos maciços (litofácies Sm). Comumente os estratos cruzados apresentam internamente filmes de lama de até 2 cm marcando a base dos estratos cruzados e/ou separando os sets (figura 19). Os dados de paleocorrente indicam um padrão dominante de fluxo para W/NW, medidas essas obtidas principalmente em estratos com estratificação cruzada tangencial ou acanalada (Fig.20). No entanto, por vezes foram observadas laminações cruzadas de marcas onduladas separando os sets dos estratos cruzados, com padrão de paleocorrente em sentido contrário, predominantemente para S/SE.

Interpretação: A presença de corpos arenosos com base plana, compostos por arenitos com estratificação cruzada, filmes de lama nos *foresets* e laminações de marcas onduladas migrando em sentido contrário ao mergulho dos sets permite a interpretação dessa associação de fácies como sendo barras de maré em zona de inframaré. Filmes de lama nos sets indicam a deposição de sedimentos finos por

suspensão, durante as fases de baixa energia dos ciclos de maré (Visser, 1980). Observando os padrões de paleocorrente bidirecional fica evidente a ação de correntes de maré, tanto vazantes, quanto de correntes de maré enchentes, e comparando-as com o padrão de paleocorrentes da associação de fácies de canais fluviais (predominantemente para NW), foi possível identificar o domínio das correntes de maré vazante sobre as marés enchentes.

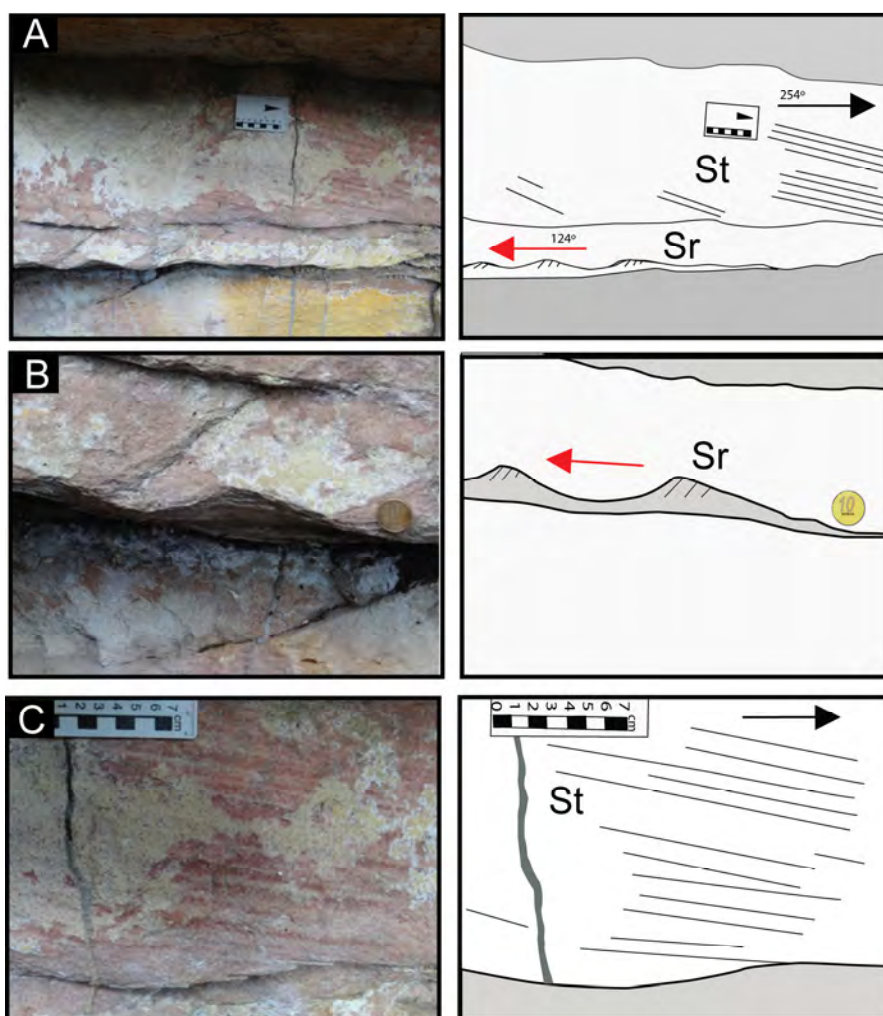


Figura 18. Associação de fácies de Barra de Maré. A) Fácies St e Sr com sentido de migração das paleocorrentes em direções opostas; B) Detalhe de clasto de composição quartzosa; C) Detalhe da fácies Sr com sentido de migração para a esquerda; D) Fácies St migrando para a direita.

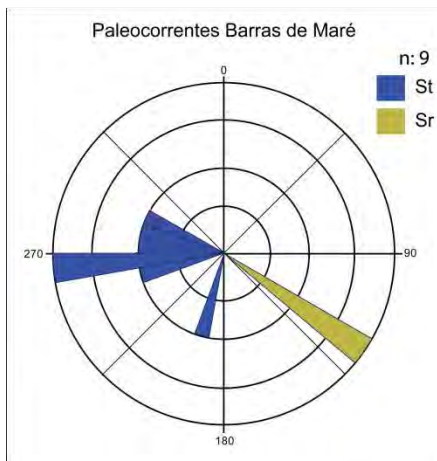


Figura 19. Diagrama de roseta das paleocorrentes da associação de fácies de barras de maré, mostrando um padrão de fluxo dominante medida na litofácies St para W, e subordinadamente para SE medida na litofácies Sr. Foram obtidas 9 medidas no total.

- Associação de fácies de planícies de maré arenosa de alta energia

Descrição: Esta associação de fácies compreende corpos arenosos com geometria em lençol, com espessura de até 10,5 m limitados na base por superfície plana. Consiste de arenitos médios, moderadamente a mal selecionados, apresentando predominantemente laminações cruzadas de marcas onduladas (litofácies Sr), estratificações cruzadas acanaladas (litofácies Stm), estratificações horizontais (litofácies Sh), e de forma subordinada estratificações cruzadas de baixo ângulo (litofácies Sl) (Fig. 21). Comumente os estratos são formados por sets decimétricos. Na porção inferior do pacote desta associação de fácies ocorre a alternância entre as fácies St e Sr, enquanto na porção superior há a alternância entre as fácies Sh e Sr ou, Sl e Sr, e em ambos os casos há a presença de filmes de lama separando os sets. Os dados de paleocorrente foram obtidos principalmente em laminações cruzadas de marcas onduladas e estratos cruzados acanalados, apresentando uma direção dominante para NW, com dispersão até SW (Fig. 22). De forma subordinada foram medidas em laminações cruzadas de marcas onduladas, paleocorrentes com direção SE, opostas ao sentido preferencial.

Interpretação: A ocorrência de arenitos com estratificações cruzadas com sentidos bidirecionais e filmes de lama nos *foresets* sugerem depósitos de maré. Os arenitos com estratificação horizontal ou de baixo ângulo são associados a

depósitos formados em regime de fluxo superior ou transicional pela maré dominante, enquanto as laminações cruzadas de marcas onduladas se desenvolvem em condições de fluxos de maré subordinada. A presença comum de arenitos com estratificação horizontal/baixo ângulo sucedidos por arenitos com laminações cruzadas de marcas onduladas são comum sem planícies de maré de alta energia (Dalrymple *et al.*, 1985, Dalrymple *et al.*, 1990, Dalrymple, 1992, Plink-Björklund, 2005). A proximidade com a linha de maré baixa, onde a energia de ondas e maré são mais fortes e atuam por um período mais longo, favorecem o aumento no teor de areia dos depósitos (Reineck & Singh, 1980, Dalrymple, 1992), e são relacionados a depósitos em zona de intermaré, ou na transição entre inframaré e intermaré.

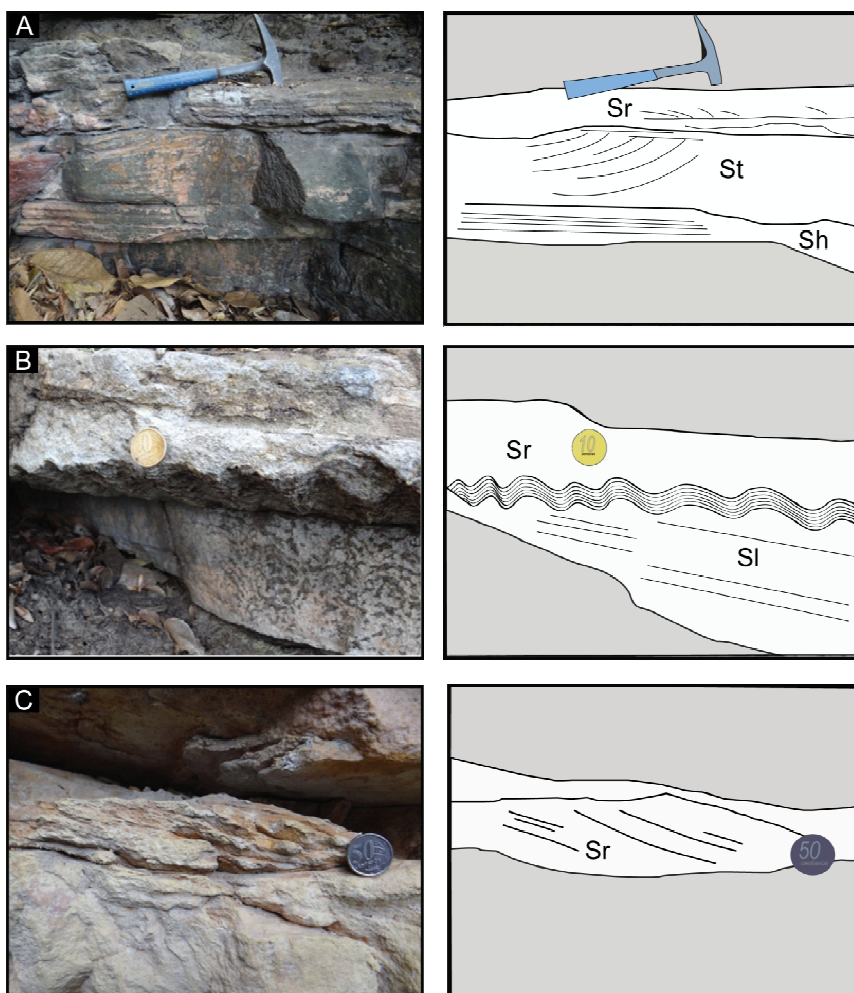


Figura 20. Associação de fácies de planície de maré arenosa de alta energia. A) Relação de contato entre as fácies Sr (superior), St (central), e Sh (inferior); B) Relação de contato entre as fácies Sr (superior) e Sl (inferior); C) Detalhe da fácies Sr com sentido de migração para a direita.

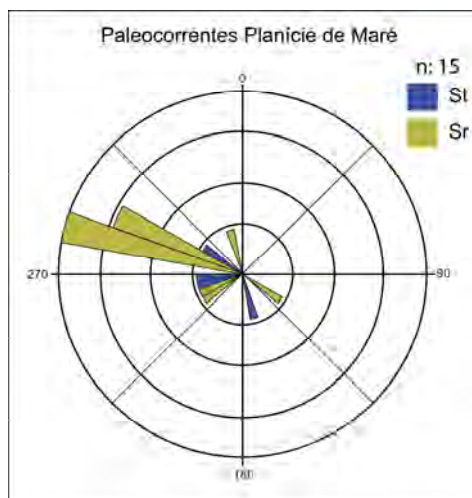


Figura 21. Diagrama de roseta das paleocorrentes da associação de fácies de planície de maré arenosa de alta energia, mostrando um padrão de fluxo dominante para W-NW, e subordinadamente para SE e SW. Foram obtidas 15 medidas no total.

- Associação de fácies de canais de maré

Descrição: Esta associação de fácies é composta por corpos sedimentares com geometria lenticular, formando pacotes de 0,8 a 2,2 m de espessura, limitadas na base por superfícies erosivas e no topo por superfícies planas. Estes corpos sedimentares são compostos predominantemente por conglomerados clasto-suportados maciços (Gcm) ou com laminação horizontal (Gh), compostos por clastos de composição quartzosa e de arenitos, com tamanhos de até 5 cm (Fig. 23). Estes conglomerados se intercalam e dão lugar em direção ao topo a arenitos grossos, maciços (Sm) ou com estratificações cruzadas com filmes de lama nos *foresets* (Stm). Os dados de paleocorrente medidos em estratos com estratificação cruzada tangencial indicam um padrão dominante de fluxo para W/NW (Fig. 24).

Interpretação: A presença de arenitos com estratificações cruzadas e filmes de lama nos *foresets* indica depósitos gerados por correntes de maré. A presença de corpos arenosos com base erosiva, formando ciclos de granodecrescência ascendente sugere um contexto de canais de maré.

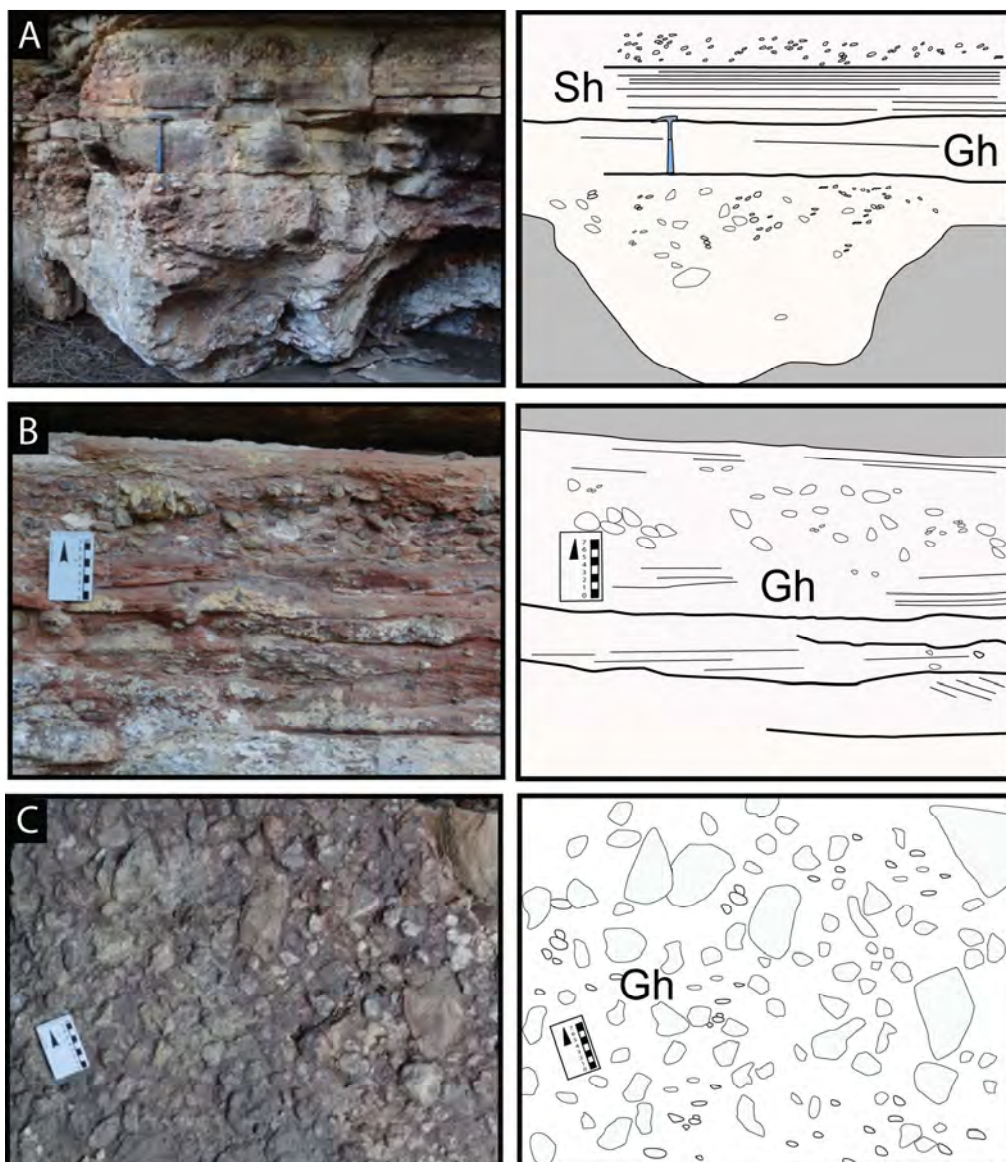


Figura 22. Associação de fácies de canais de maré. A) Relação de contato entre as litofácies Gh e Sh; B) Pacote exibindo gradação normal; C) Vista em planta da fácies Gh.

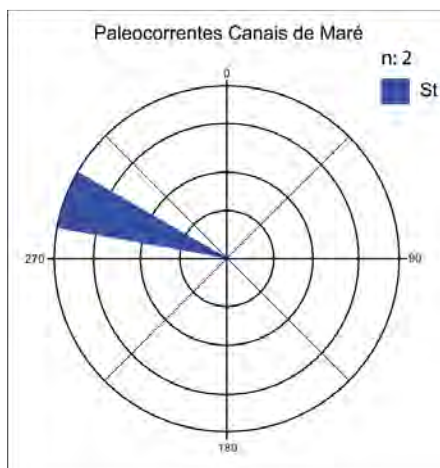


Figura 23. Diagrama de roseta das paleocorrentes da associação de fácies de canais de maré, mostrando um padrão de fluxo dominante medida na litofácies St para NW. Foram obtidas duas medidas no total.

6.2.3. Sistema deposicional

A partir da análise das quatro associações de fácies referentes a Formação Morro do Chapéu e suas relações estratigráficas, foi possível identificar dois sistemas deposicionais: sistema fluvial entrelaçado; sistema estuarino dominado por maré.

- *Sistema Fluvial Entrelaçado*

Sistemas fluviais entrelaçados ocorrem na base da formação Morro do Chapéu, sendo compostos pela associação de fácies de canais fluviais entrelaçados com espessura de 14 m. A interpretação destes depósitos como fluviais entrelaçados está fundamentado nos seguintes critérios: domínio de estruturas geradas por fluxos trativos unidirecionais, sucessões granodecrescentes ascendentes com base erosiva geometria lenticular e ausência de depósitos de planície de inundação.

A ausência de vegetação e de solos bem desenvolvidos no Proterozóico promove um rápido escoamento de águas superficiais, uma baixa estabilidade dos bancos arenosos e uma rápida taxa de migração do canal em relação aos sistemas

vegetados do Fanerozoico (Cotter, 1978, Miall, 1996, Tirsgaard & Øxnevad, 1998, Bose *et al.*, 2012). De acordo com Miall (1981) a formação de canais entrelaçados é favorecida pela alta declividade, abundância de carga de fundo de granulometria grossa, variabilidade na descarga e facilidade de erosão dos bancos arenosos. Estes sistemas são caracterizados pela alta razão largura/profundidade do canal, normalmente maior que 40 e comumente excedendo 300 (Miall, 1977, 1981). De acordo com a classificação de Schumm (1963, 1981), os rios entrelaçados são sempre caracterizados pela predominância de carga de fundo. À alta variabilidade na descarga de um rio está relacionada à sua capacidade de transporte, ocorrendo períodos nos quais o rio será incapaz de transportar toda a sua carga de fundo, conduzindo à formação de barras e ramificação do fluxo (Miall, 1977).

Canais fluviais entrelaçados ocorrem em diversos contextos deposicionais, em que sua formação pode estar associada com diferentes fatores, como tectônica, clima, e eustasia. O afogamento dos sistemas fluviais por depósitos estuarinos em contexto transgressivo sugere que esse sistema fluvial pode ser interpretado como um sistema fluvial inciso (Fig. 25).

Sistemas de canais fluviais incisos estão relacionados a uma queda do nível do mar. Segundo Catuneanu (2006) a incisão fluvial causada pela queda do nível do mar expõe segmentos da plataforma continental. O rebaixamento do nível de base faz com que o sistema fluvial existente desestabilize seu perfil de equilíbrio. Ou seja, a incisão fluvial ocorrerá porque o sistema fluvial buscará atingir seu perfil de equilíbrio novamente, e isso acarretará em erosão da plataforma continental exposta. A formação dos vales é resultado de variações climáticas, tectônicas ou mudanças do nível do mar, com o clima e a tectônica sendo os fatores controladores mais importantes costa adentro (Shanley & McCabe, 1994). Este tipo de depósito é caracterizado por uma mudança abrupta de fácies marcando um limite de sequência regionalmente rastreável na base. O preenchimento tipicamente começa a acumular-se durante a próxima elevação do nível de base (Zaitlin *et al.*, 1994).

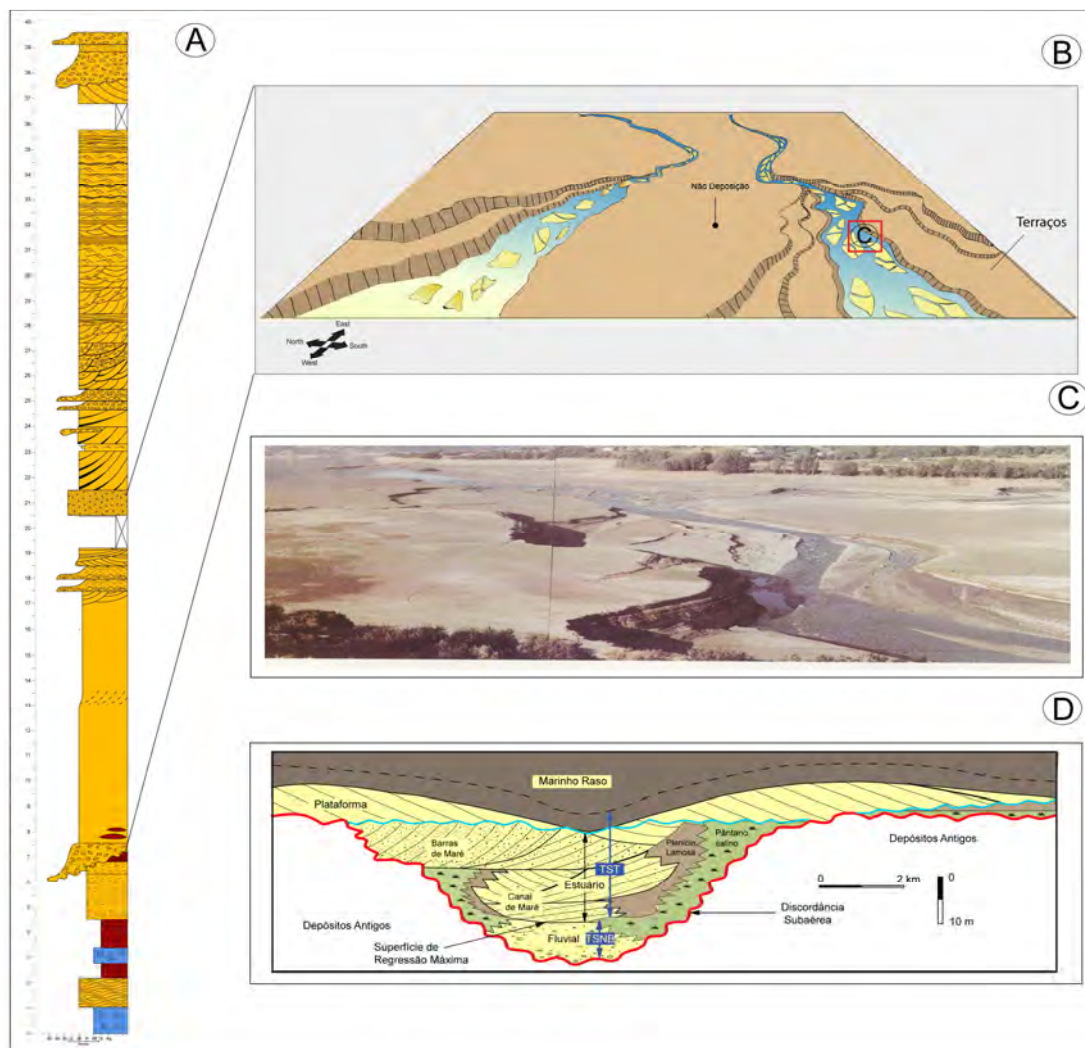


Figura 24. Correlação do sistema deposicional de canais fluviais entrelaçados com modelos análogos. A) seção colunar do afloramento cachoeira; B) modelo análogo para deposição de sistemas fluviais incisivos, modificado de Bállico *et al.* (*in prep.*); C) modelo análogo na região de Pyreneses, Espanha, mostrando a formação de vale inciso durante o trato de sistema de nível baixo; D) Seção hipotética mostrando a estratigrafia de um estuário dominado por maré situado dentro de um vale inciso, modificado de Dalrymple (2010).

- *Sistema Estuarino dominado por Maré*

O sistema estuarino dominado por maré ocorre na porção superior do afloramento, de forma abrupta sobre a unidade fluvial, e compreende um pacote de aproximadamente 18 m de espessura, sendo formados pelas associações de fácies de Barras de Maré, Canais de Maré e Planície de Maré Arenosa de Alta Energia. As principais características deste sistema são: (a) depósitos de barras de maré com estratificações cruzadas acanaladas, filmes de lama marcando os *foresets*, e

bidirecionalidade das paleocorrentes indicando fluxos de maré enchente e maré vazante; (b) depósitos de planície de maré arenosa de alta energia com alternância entre estruturas geradas por regime de fluxo inferior e superior; (c) depósitos de canais de maré com granodescrescência ascendente.

A análise da porção do afloramento referente ao sistema estuarino dominado por maré não permitiu a visualização em grande escala dos corpos sedimentares, sendo a geometria inferida pelos modelos de fácies. Estuários dominados por maré apresentam geometria em funil (Plink- Björklund, 2005), e são subdivididos de acordo com a interação de processos fluviais e processos marinhos. Nesse contexto, as associações de barras de maré e planície de maré arenosa de alta energia se inserem na zona onde há o predomínio de regimes dominado por marés, enquanto que a associação de canais de maré ocorreria em zonas de mistura de regimes fluviais e regimes dominados por maré na porção central do estuário.

Como os estuários representam um sistema transgressivo, a migração dos canais de maré junto com ação de ondas pode erodir toda, ou parte, das fácies em direção ao continente (Fig. 26), produzindo uma ou mais de superfícies de ravinamento por maré. A sucessão estratigráfica resultante vai depender da trajetória da linha de costa (cf. Plink- Bjorklun & Steel, 2006). As paleocorrentes indicam correntes de maré com direção oeste (vazante) e leste (enchente), sugerindo a existência de barras de maré com orientação Oeste-Leste, posicionadas transversalmente à linha de costa.

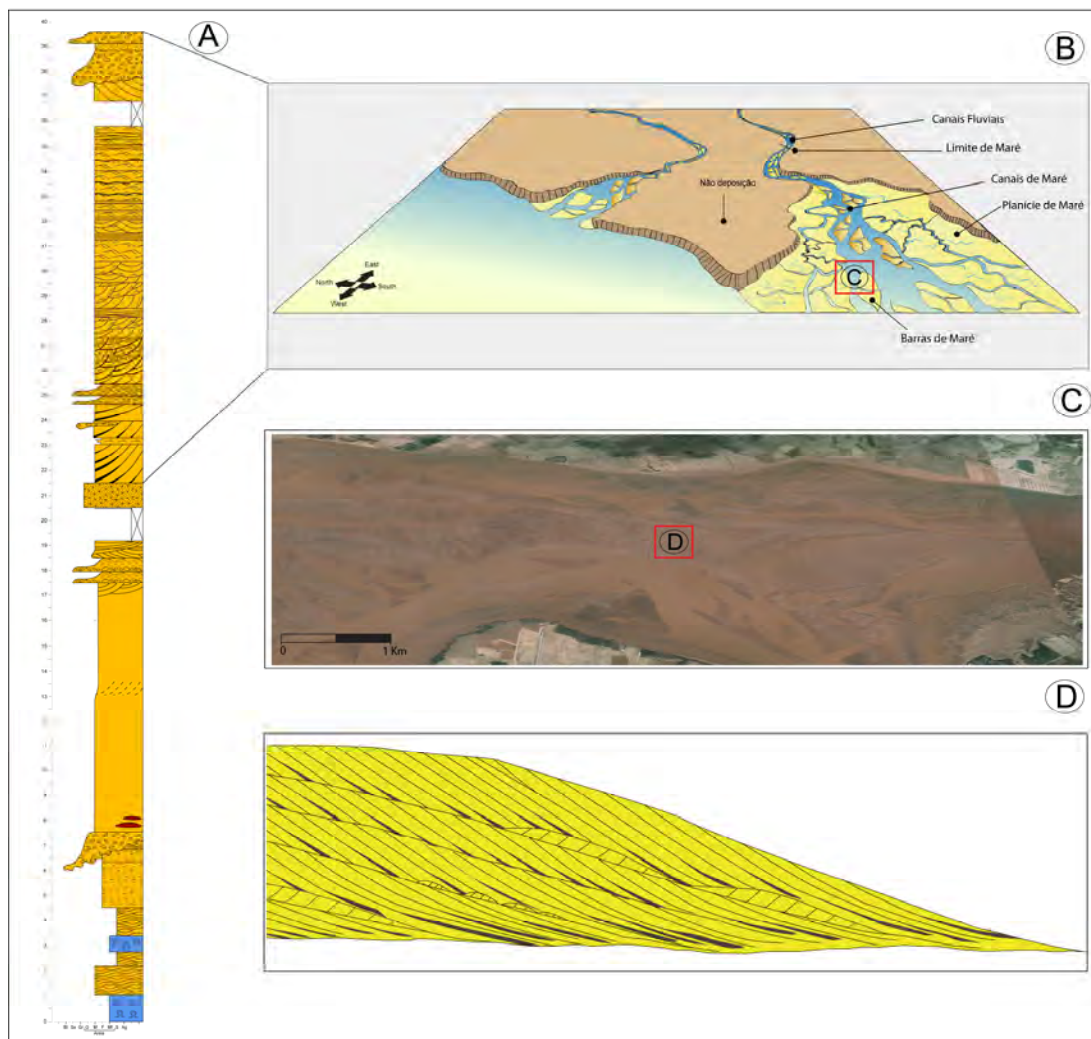


Figura 25. Correlação do sistema deposicional estuarino dominado por maré com modelos análogos. A) seção colunar do afloramento cachoeira; B) modelo análogo para deposição de sistemas estuarinos dominados por maré, modificado de Bállico *et al.* (*in prep.*); C) imagem da baía do rio Fundy, Nova Escócia; D) composição de estratificações cruzadas e baixo ângulo, separando dunas simples formadas por litofácies. St com filmes de lama nos *foresets*, migrando na face frontal da duna principal. Notar a presença da litofácies formada por marés subordinadas, em sentido contrário. Modificado de Allen (1980), Dalrymple (2010).

6.3. Arcabouço Estratigráfico

Estratigrafia de sequências é uma metodologia de trabalho que enfatiza a importância das quebras no registro estratigráfico, salientando mudanças nos padrões de empilhamento em resposta a variações na acomodação sedimentar durante o tempo (Catuneanu, 2010). Além disso, a estratigrafia de sequências se preocupa com a subdivisão do preenchimento de uma bacia sedimentar em sequências geneticamente relacionadas limitadas no topo por superfícies chave (Catuneanu, 2006). A sedimentação cíclica presente em sucessões estratigráficas desenvolvem-se de acordo com as variações no suprimento sedimentar e o espaço disponível para acomodação de sedimentos (Posamentier & Allen, 1999). O papel da estratigrafia de sequências é entender as influências de cada mecanismo atuante durante a sedimentação, como a tectônica, eustasia, clima e aporte sedimentar. Segundo Catuneanu (2010), uma sequência estratigráfica inclui unidades genéticas que resultam da interação entre espaço de acomodação e sedimentação (regressão forçada, regressão normal de mar baixo e mar alto, e transgressivo) que são delimitadas por superfícies-chave. Cada unidade é definida pelo seu padrão de empilhamento e por suas superfícies limites, e consiste em uma ferramenta de correlação de tratos de sistemas deposicionais. A estratigrafia de sequências se desenvolveu como um método interdisciplinar que junta processos autogênicos (de dentro do sistema) e alogênicos (de fora do sistema) através de um modelo unificado para explicar a evolução e a arquitetura estratigráfica de bacias sedimentares (Miall, 1996).

No presente trabalho se individualizará o intervalo estratigráfico em diferentes sequências deposicionais. Por sequência deposicional entende-se uma unidade estratigráfica composta de uma sucessão relativamente concordante de estratos geneticamente relacionados e limitada, no topo e base, por discordância ou suas conformidade correlatas (Vail *et al.*, 1977).

Modelo de sequência / Evento	Sequência deposicional II	Sequência deposicional III	Sequência deposicional IV	Sequência genética	Sequência T-R
Final de Transgressão	TSNA	TSNA Inicial	TSNA	TSNA	TSR
Final de Regressão	TST	TST	TST	TST	TST
Final da Queda do Nível de Base	TSNB Inicial (Leque)	TSNB	TSNB	TSNB Inicial (Leque)	TSR
Início da Queda do Nível de Base	TSNB Final (Cunha)	TSNA Inicial (Cunha)	TSEQ	TSNB Final (Cunha)	
	TSNA	TSNA Final (Leque)	TSNA	TSNA	

——— Limite da Sequência
 Limite do trato de sistema
 — Superfície interna ao trato de sistema

Figura 26. Resumo da evolução dos modelos de sequência, e suas correlações em relação aos tratos de sistemas e limites de sequência deposicional adotado por diferentes autores: Haq (et al., 1987) e Posamentier *et al.*(1988) – sequência deposicional II; Van Wagoner *et al.*(1988) – sequência deposicional III; Hunt & Tucker (1992) e Plint & Nummerdal (2000) – sequência deposicional IV; Galloway (1989) – sequência genética; Embry & Johannessen (1992) – sequência T-R. TSEQ = trato de sistema de estágio de queda. TSNB = trato de sistema de nível baixo. TST = trato de sistema transgressivo. TSNA = trato de sistema de nível alto. Modificado de Catunaenu (2006).

Para a compreensão do contexto estratigráfico que estão inseridos os depósitos fluvio-estuarinos e plataformais descritos anteriormente, foi feita uma análise estratigráfica das variações verticais dos sistemas deposicionais relacionadas a variações relativas do nível do mar. A partir do reconhecimento e delimitação dos padrões de empilhamento estudados neste trabalho reconheceu-se superfícies-chave associadas a duas sequências deposicionais incompletas.

4.1 Superfícies Estratigráficas

Superfícies estratigráficas são discontinuidades entre camadas sedimentares, que refletem o deslocamento de ambientes deposicionais em resposta a variações do nível de base e/ou mudanças na taxa de deposição. Diversos critérios podem ser utilizados para identificar essas superfícies, como: contatos discordantes ou concordantes entre estratos; mudança abrupta de fácies, diferenças no conteúdo fossilífero, mudança no padrão de paleocorrentes e variação granulométrica. Neste trabalho foram reconhecidas duas superfícies estratigráficas chave: discordância subaérea (DS), e superfície de regressão máxima (SRM).

4.1.1. Discordância Subaérea (DS)

Uma discordância é definida por Wagoner *et al*, (1988) como uma superfície que separa estratos mais novos de mais antigos, ao longo da qual existem evidências de truncamento erosivo subaéreo ou exposição subaérea, indicando um hiato significativo. Essa superfície é utilizada como limite entre sequências deposicionais, e se formaria na queda do nível de base expondo a plataforma continental como resultado de erosão fluvial ou *bypass*, e representa grandes hiatos no registro estratigráfico separando estratos que não são geneticamente relacionados e muitas vezes ligados a mudanças abruptas de fácies.

Em afloramento foi reconhecida uma discordância subaérea, posicionada na 7,5 m da seção (Fig 13). Esta discordância já foi identificada em trabalhos anteriores (Dominguez, 1992, 1993). Ela se posiciona no contato entre a Formação Caboclo e a Formação Morro do Chapéu, e é caracterizada por ser uma superfície erosiva, possivelmente regional (Dominguez, 1992), com relevo acentuado (cerca de 1,5 m no afloramento estudado) e representa mudança abrupta entre a associação de fácies de plataforma híbrida rasa dominada por onda para uma associação de fácies de canais fluviais entrelaçados. Essa superfície limita duas sequências deposicionais, e é definida como uma discordância do tipo 1 (Posamentier, 1988), sendo caracterizada como uma superfície gerada por um rebaixamento do nível de base, com exposição e erosão subaérea, associada com o reajuste do perfil de equilíbrio dos sistemas fluviais já pré-existentes.

4.1.1 *Superfície de Regressão Máxima (SRM)*

A superfície de regressão máxima (Catuneanu, 1996, Helland - Hansen & Martinsen, 1996) é definida como a primeira superfície associada à mudança no padrão da linha de costa regressiva para transgressiva. No afloramento estudado esta superfície está posicionada em 21,5 m, e registra uma mudança abrupta de fácies, passando de depósitos de canais fluviais entrelaçados em contexto regressivo para depósitos estuarinos arenosos de início de transgressão, responsáveis pelo afogamento das fácies subjacentes (Fig 13). Essa mudança nos regimes de sedimentação é reflexo do balanço entre aporte sedimentar e energia do ambiente, em todos os sistemas deposicionais afetados pela variação da linha de costa (Catuneanu, 2006).

4.2 *Sequências e Tratos de Sistemas*

Foram identificadas duas sequências deposicionais distintas, separadas por uma discordância subaérea (DS) descrita anteriormente. Abaixo serão descritas, da base para o topo as duas sequências identificadas, denominadas de sequências 1 e 2 (Fig 13).

4.2.1 *Sequência 1*

Essa sequência é a mais antiga, com espessura mínima de 7,5 metros (Fig 13). É caracterizada pela ocorrência de depósitos de plataforma rasa, compreendendo a porção de topo da Formação Caboclo. A base desta sequência não foi descrita na área de estudo, sendo o seu topo marcado pela discordância subaérea (DS) existente entre as formações Caboclo e Morro do Chapéu. Na seção analisada, foi identificado somente o trato de sistemas de nível alto desta sequência

Trato de Sistema de Nível Alto:

No afloramento estudado, esse trato de sistema consiste em 7,5 m (topo da Formação Caboclo), constituído pela associação de fácies de plataforma híbrida rasa dominada por onda (Fig 13). Esta associação de fácies apresenta na base formas microbianas estromatolíticas com geometria colunar e dômicas, intercaladas com pacotes pouco espessos de areia muito fina com laminações onduladas truncadas, passando em direção ao topo para estromatólitos com geometria dômica e pacotes mais espessos de arenito muito fino a médio com laminações onduladas truncadas (fácies Sw). Essa sucessão vertical de fácies com a ocorrência de fácies mais distais na base passando para fácies mais proximais em direção ao topo configura um padrão deposicional progradacional. Esse trato é formado durante os estágios finais da subida do nível de base (Fig.28), quando a taxa de criação de espaço de acomodação é superada pela taxa de sedimentação, gerando uma regressão normal da linha de costa (Catuneanu, 2006).

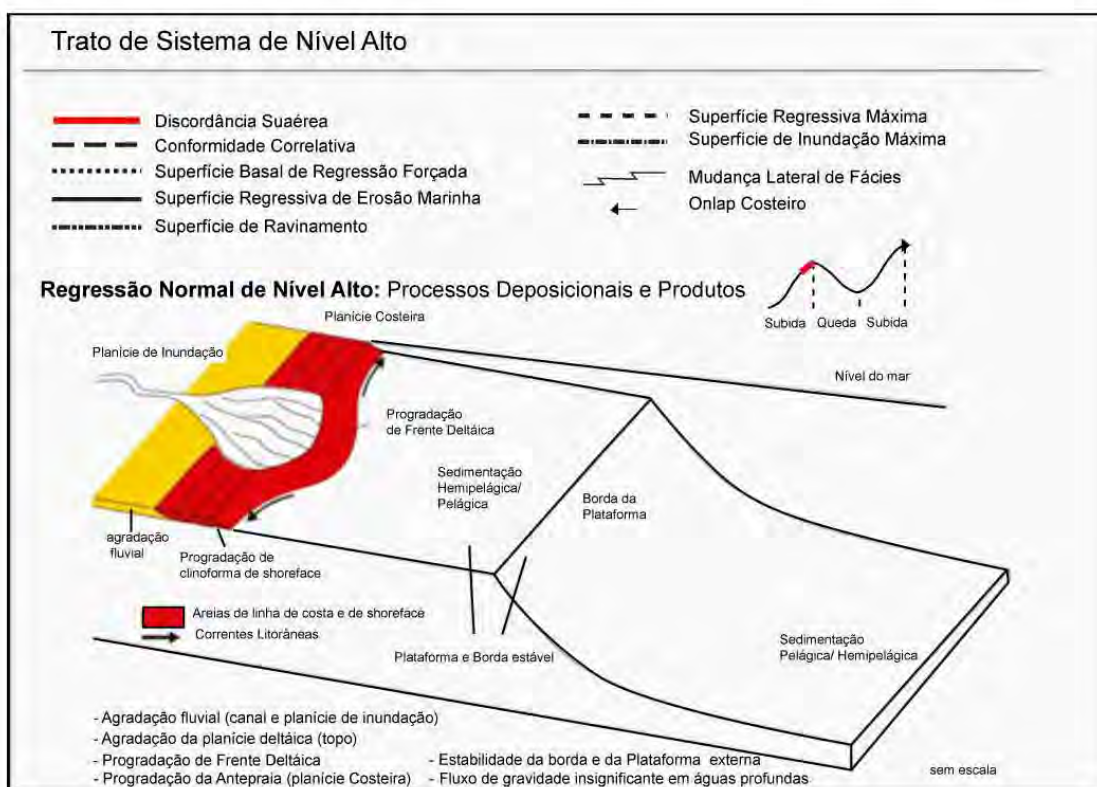


Figura 27 Processo deposicional e produtos do Trato de Sistema de Nível Alto (TSNA). Modificado de Catuneanu (2006).

4.3 Sequência 2

Essa sequência se inicia em discordância (DS) entre a Formação Caboclo e a Formação Morro do Chapéu, e se caracteriza pela ocorrência de depósitos fluviais na base, passando para depósitos estuarinos em direção ao topo (Fig 13). A sequência deposicional 2 apresenta mudanças significativas nos sistemas deposicionais. A seção inicia com canais fluviais incisos, sugerindo um contexto regressivo na bacia. Posteriormente esse sistema fluvial é afogado, marcando uma subida do nível relativo de base, e a partir do qual se desenvolvem sistemas estuarinos, em um contexto transgressivo. Isso indica o aumento da taxa de criação de espaço de acomodação em relação ao suprimento sedimentar. A composição do diagrama de paleocorrentes dessa sequência evidencia que o depocentro da bacia estava a NW do afloramento Cachoeira do Ventura. Na seção foram identificados dois tratos de sistemas separados por uma SRM: trato de sistema de nível baixo (TSNB), e trato de sistema transgressivo (TST).

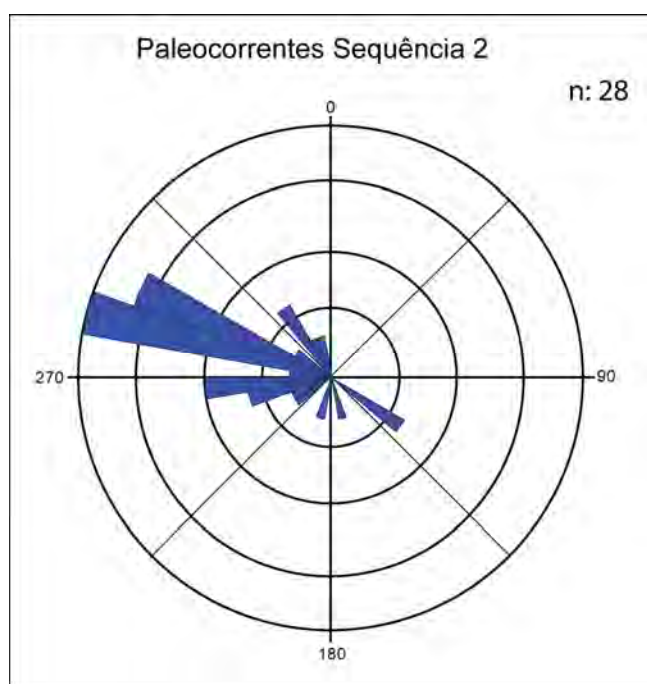


Figura 28. Diagrama de roseta representando as paleocorrentes da sequência 2. Notar o sentido preferencial para W/NW. Foram obtidas 28 medidas.

Trato de sistema de nível baixo (TSNB)

No afloramento o TSNB tem espessura de 14,5 m, limitado na base por uma DS, e no topo por uma SEM (Fig 13). A DS marca o contato entre a Formação Caboclo e Formação Morro do Chapéu, através de uma superfície erosiva sobre os sedimentos plataformais rasos. Esse trato de sistema é constituído pela associação de fácies de canais fluviais entrelaçados, a qual se desenvolve encaixado em um vale inciso, preenchido parcialmente ou totalmente por conglomerados e arenitos conglomeráticos na base, passando para arenitos médios em direção ao topo. São canais amalgamados vinculados a depósitos fluviais entrelaçados, marcando o início da regressão normal. O TSNB (figura 31) é limitado no topo por superfície de regressão máxima, separando depósitos fluviais de depósitos estuarinos de forma abrupta, sem evidências de erosão.

Durante a queda do nível de base, há uma mudança no perfil de equilíbrio provocando incisão fluvial, expondo áreas antes marinhas (Catuneanu, 2006), desenvolvendo canais fluviais entrelaçados em ambientes não marinhos. Na maioria dos modelos de estratigrafia de sequência relacionados à queda do nível de base, a formação de vales incisos está sempre associada. Embora sejam necessárias algumas condições para que isso aconteça como distância da costa, duração e magnitude da queda do nível de base. Contudo, é cada vez mais difundida no meio científico a ocorrência de sistemas fluviais não incisos relacionados à queda do nível de base. Posamentier (2001) estima que a ocorrência desse tipo de sistema seja muito mais comum no registro geológico do que inicialmente inferido, especialmente em bacias marinhas rasas com rampa levemente inclinada ou em plataformas continentais onde a linha de costa na regressão forçada não caia abaixo da elevação da borda da plataforma.

A separação entre sistemas fluviais incisos e não incisos é de fundamental importância no que diz respeito a projetos de exploração de petróleo (Fig. 4), uma vez que os depósitos em vales incisos são preenchidos majoritariamente por areia no trato de sistema de nível baixo e posteriormente afogados por depósitos estuarinos transgressivos, tornando-os favoráveis a acumulação de hidrocarbonetos. Depósitos de água profunda também são regulados pelo tipo de sistema fluvial, visto que quando não há a exposição completa da plataforma, a sedimentação em águas profundas é dominada por sedimentos ricos em lama.

Tabela 8. Sumário dos critérios que podem ser utilizados para diferenciar vales incisos de vales não incisos ou canais distributários. Modificado de Catuneanu (2006)

Critério \ Sistema	Preenchimento de vales inciso	Fluvial não inciso ou preenchimento de canal distributário
Arquitetura estratigráfica	Complexo, envolve sistemas deposicionais variando de fluvial até estuários e marinho aberto	Simple, comumente inclui somente depósitos fluviais
Razão Largura:Espessura	Baixo, Comumente menor que 200:1	Alto, potencialmente perto de 1000:1
Tributários	Inciso	Não inciso
Resposta em perfil de poço	Anômala, mostrando a falta de correlação com as unidades justapostas	Boa correlação com unidades justapostas
Marcadores em perfil de poço	Comumente truncado por vale inciso	Preservado em sucessões relativamente semelhantes
Gas/Oleo Produção	Muito alto potencial	Média

Neste estudo, apesar de ter dados apenas de um afloramento, a presença de uma superfície erosiva e relevo acentuado na base dos sistemas fluviais e o posterior afogamento desse sistema por depósitos estuarinos levam a interpretar esse sistema fluvial como sendo fluviais incisos (Fig.30).

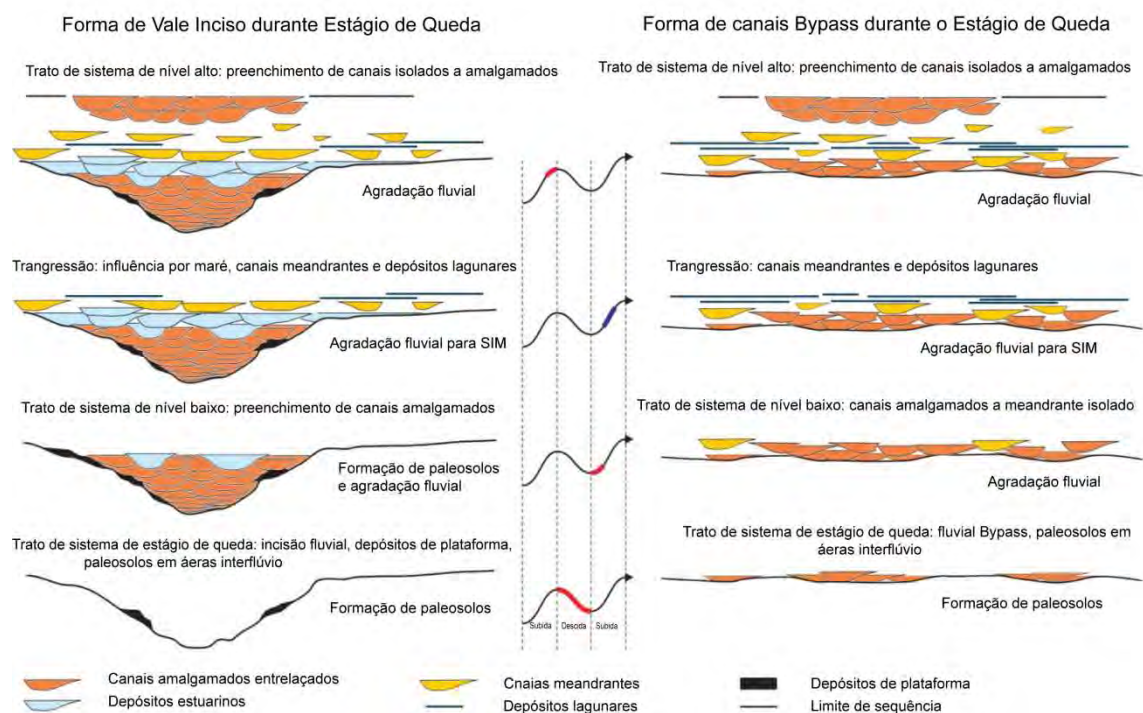


Figura 29. Arquitetura estratigráfica da sequência deposicional fluvial influenciada pela variação do nível de base para vales incisos (esquerda), e sistema de canais bypass (direita). Observe a diferença

entre canais influenciados por maré causada pela inundação do vale inciso, em oposição a depósitos mais lagunares, quando a plataforma do sistema bypass é inundada. Modificado de Shanley and McCabe (1993).

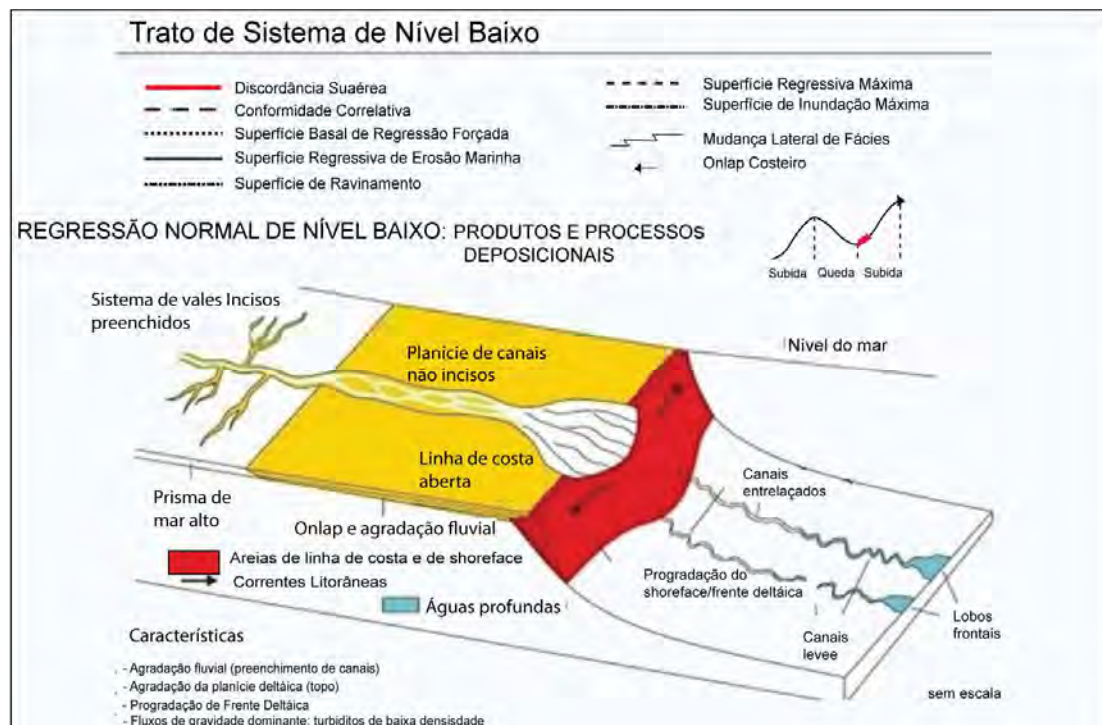


Figura 30. Processo deposicional e produtos do Trato de Sistema de Nível Baixo (TSNB). Modificado de Catuneanu, 2006

Trato de sistema transgressivo (TST)

No afloramento o TST tem espessura de 18 m, limitado na base por uma SRM (Fig 13). A SRM se materializa no topo dos canais fluviais incisos, ocorrendo sobrepostamente associações de fácies de barras de maré, canais de maré e planície de maré arenosa de alta energia, mostrando uma franca transgressão da linha de costa associada ao trato de sistema transgressivo. Esta transição ocorre de forma abrupta evidenciada por variação granulométrica e feições diagnósticas de processos dominado por marés (filmes de lama nos *foresets*). O empilhamento vertical nesse trato sugere associações de fácies geneticamente relacionadas que ocorrem lateralmente umas as outras dentro do vale escavado.

Este trato de sistemas (Fig.32) forma-se durante o estágio de subida do nível de base quando as taxas de subida ultrapassam as taxas de sedimentação na linha de costa (Catuneanu, 2006). É caracterizado por um progressivo aumento da

taxa de criação do espaço de acomodação. As áreas onde os vales incisivos formados no estágio de queda (TSEQ) que não foram totalmente preenchidos por depósitos de nível baixo (TSNB), são rapidamente afogadas gerando sistemas estuarinos de início de transgressão (Dalrymple *et al.*, 1994).

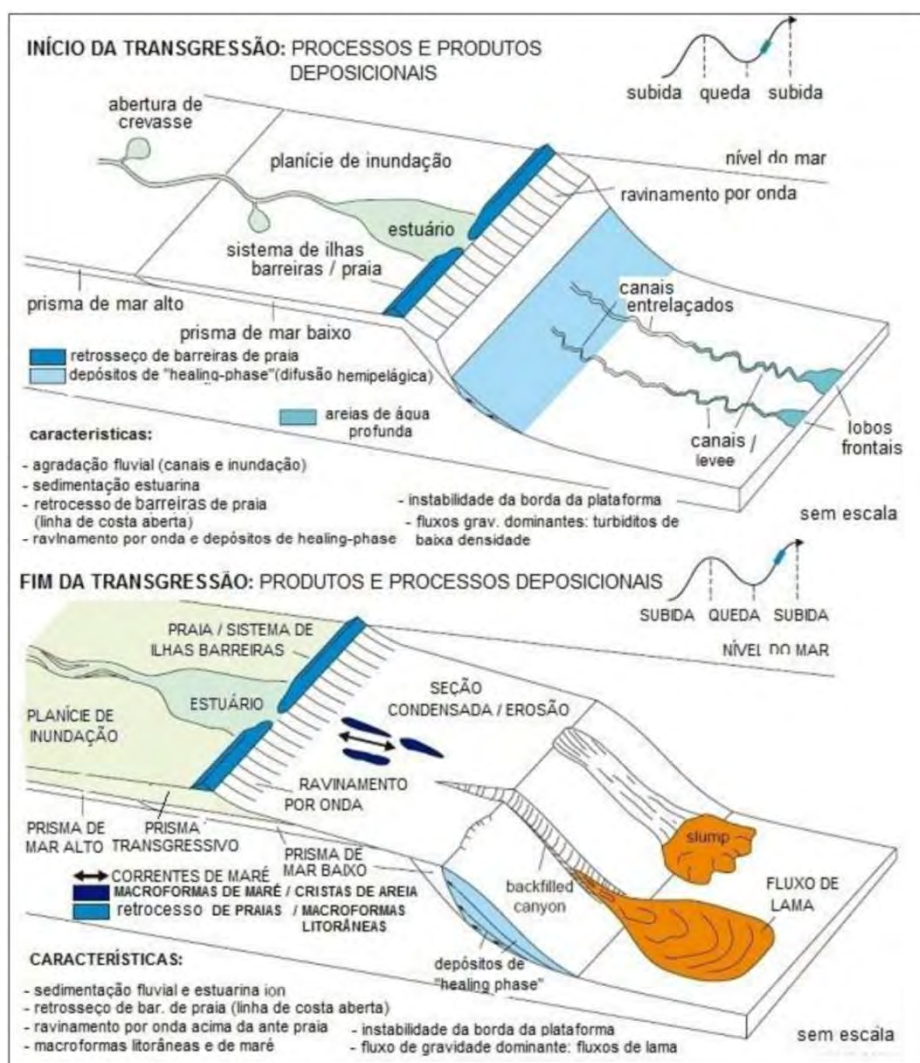


Figura 31. Processo deposicional e produtos do Trato de Sistema Transgressivo (TST). Modificado de Catuneanu, (2006).

7. CONCLUSÕES

- A Formação Caboclo é composta por três litofácies, agrupadas em uma associação de fácies: associação de fácies de plataforma híbrida rasa dominada por onda. A partir da interpretação dessa associação de fácies, foi identificado um sistema deposicional: sistema plataformar híbrido raso dominado por onda. A presença abundante de laminações onduladas truncadas sugere intenso das fácies estromatolíticas por ondas de tempestade.
- A Formação Morro do Chapéu é composta por 7 litofácies, que se agrupam em quatro associações de fácies: i) canais fluviais entrelaçados; ii) barras de maré; iii) canais de maré; e iv) planície de maré arenosa de alta energia. Estas associações de fácies foram agrupadas em dois sistemas deposicionais, respectivamente, da porção mais basal para o topo: a) canais fluviais entrelaçados; e b) estuário dominado por maré. A presença de filmes de lama nos *foresets*, e a bidirecionalidade das paleocorrentes quando comparadas com as paleocorrentes do sistema fluvial, indicam que os fluxos de maré vazante dominam sobre fluxos de maré enchente.
- O início da deposição da Formação Morro do Chapéu é vinculado a sistemas fluviais entrelaçados seguidos por depósitos estuarinos dominados por maré.
- No afloramento foi possível o reconhecimento de duas sequências deposicionais incompletas (Fig 33).

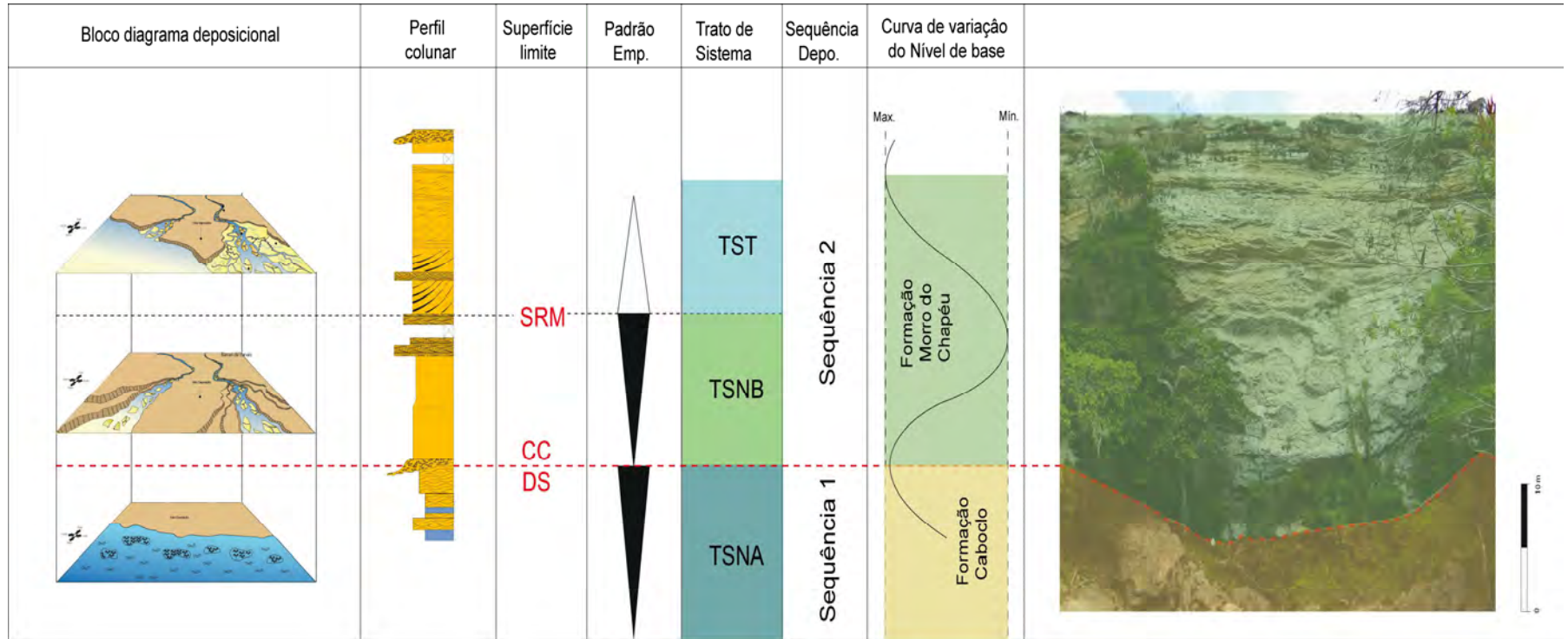


Figura 32. Figura de correlação entre bloco diagramas deposicionais de cada sistema, perfil colunar, superfícies limites, padrão de empilhamento, trato de sistemas, seqüências deposicionais e curva de variação do nível de base.

- A sequência 1, é formada pela associação de fácies de plataforma híbrida rasa dominada por onda, constituindo um trato de sistema de nível alto. Esse trato apresenta um padrão deposicional progracional, e compreende o topo da Formação Caboclo.
- As sequências 1 e 2 são limitadas por uma discordância subaérea, evidenciada em afloramento por uma superfície erosiva, com relevo acentuada (mínimo de 1,5 metros), que trunca a associação de fácies de plataforma híbrida rasa dominada por onda que compõem o trato de sistema de nível alto da Sequência 1.
- Na sequência 2 foram reconhecidos dois tratos de sistemas deposicionais: trato de sistema de nível baixo; e trato de sistema transgressivo. O TSNB é limitado na base por uma DS e no topo por uma SRM. Este trato compreende a associação de fácies de canais fluviais entrelaçados, e é vinculado a deposição inicial dentro do vale inciso, ainda em contexto regressivo. O TST é limitado na base pela SRM, e compreendem as associações de fácies de barras de maré, canais de maré, e planície de maré arenosa de alta energia. Esse trato tem sua deposição associado a uma subida do nível de base em contexto transgressivo da linha de costa, afogando os sistemas fluviais sotopostos.

8. REFERÊNCIAS

- Almeida, F. F. M.; 1977. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7: 349-364.
- Ashley, G.M. 1990. Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem. *J. Sediment. Petrol.*, 60:160-172.
- Bizzi, L. A., Schobbenhaus, C., Gonçalves, J. H., Baars, F. J., Delgado, I. M., Abram, M. B., Leão neto, R., Matos, G. M. M., Santos, J. O. S. (Coords.); 2001. Mapa Geológico do Brasil 1:5,000,000. Geology, Tectonics and Mineral Resources of Brazil. GIS, Brasília, CPRM, 4 CD-Rom.
- Bomfim, L.F. & Pedreira, A.J. 1990. Geologia da Chapada Diamantina Oriental, Bahia (Folha Lençóis). *In: Bomfim, L.F. & Pedreira, A.J., Orgs, -Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Lençóis (Folha SD.24- V-A-V) Estado da Bahia, Texto Explicativo. Brasília, DNPM/CPRM, p.25-73.*
- Boyd, R., Dalrymple, R.W. and Zaitlin, B.A., 2006. Estuarine and incised-valley models. *In: H.W. Posamentier, H.W. and R.G. Walker (Eds) Facies models revisited: SEPM Special Publication, v. 84, p. 171-237.*
- Bose, P.K.; Eriksson, P.G.; Sarkar, S.; Wright, P.; Samanta, P.; Mukhopadhyay, S.; Mandal, S.; Banerjee, S.; Altermann, W., 2012. Sedimentation patterns during the Precambrian: a unique record? *Marine and Petroleum Geology*, v. 33, p. 34-68
- Brodzikowski, K. & Van loon, A. J. 1987. A Systematic Classification of Glacial and Periglacial Environments, Facies and Deposits. *Earth Science Reviews*, 24. *Elsevier Science Publishers B.V - Amsterdam, p.297-381.*
- Cameron, W. N. & Pritchard, D. W. 1963. Estuaries. *In: Goldberg, E. D.; McCave, I. N.; O'Brien, 1 1 & Steele, IH. eds. The Sea. New York, John Wiley & Sons. p. 306-324.*

- Catuneanu, O., 2006. Principles of Sequence Stratigraphy. Amsterdam: *Elsevier*. 375p.
- Catuneanu, O., Bhattacharya, J.P., Blum, M.D., Dalrymple, R.W., Eriksson, P.G., Fielding, C.R., Fisher, W.L., Galloway, W.E., Gianolla, P., Gibling, M.R., Giles, K.A., Holbrook, J.M., Jordan, R., Kendall, C.G.St.C., Macurda, B., Martinsen, O.J., Miall, A.D., Nummedal, D., Posamentier, H.W., Pratt, B.R., Shanley, K.W., Steel, R.J., Strasser, A., Tucker, M.E., 2010. Sequence stratigraphy: common ground after three decades of development. *First Break* 28, 21e 34.
- Coe, A. L. 2010. Recording features of sedimentary rocks and constructing graphic logs. *In: Coe, A. L. (Ed). Geological Field Techniques*. United Kingdom: Open University., 323p.
- Collinson, J.D. 1969. The sedimentology of the Grindslow Shales and the Kinderscout Grit: a deltaic complex in the Namurian of northern England. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 39, p. 194-221.
- Collinson, J.D. 1996. Alluvial sediments. *In: Reading, H. G., (Ed.). Sedimentary environments and facies (3d ed.)*. New York: *Elsevier*,. p. 37–82.
- Cotter, E. 1978.. The evolution of fluvial style, with special reference to the Central Appalachian Paleozoic. *In: Miall, A.D. (Ed.). Fluvial Sedimentology, Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 5*, p. 361-383.
- Coutinho R, Seeliger U. 1984 The horizontal distribution of the benthic algal flora in the Patos Lagoon estuary, Brazil. *J Exp Mar Biol Ecol*, 80: 247-257.
- Dalrymple, R.W.; Knight, R.J.; Zaitlin, B.A.; Middleton, G.V. 1990. Dynamics and facies model of a macrotidal sand-bar complex, Cobequid Bay-Salmon River Estuary. *Sedimentology*, v. 37, p. 577-612
- Dalrymple, R. W.; Zaitlin, B.A.; Boyd, R. 1992. Estuarine facies models: Conceptual basis and stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Petrology*, 62: 1130-1146.
- Dalrymple, R. W., Bovd, R. & Zarrntn, B. A. (eds) 1994. Incised-valley systems: origin and sedimentary sequences. *SEPM Special Publication*, 51.
- Dalrymple, R.W. 2010, Tidal depositional systems. *In: James, N.P. and Dalrymple, R.W. (eds.). Facies Models 4*, p. 201-231.

- Davis, R. A. 1985. Coastal Sedimentary Environments. 2nd ed. USA: *Halliday Lithograph*.
- Dominguez, J.M.L. 1992. Estratigrafia de sequências aplicada a terrenos pré-Cambrianos: exemplos para o Estado da Bahia. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 22, p. 422-436.
- Dominguez, J.M.L. 1993. As coberturas do Cráton do São Francisco: Uma abordagem do ponto de vista da análise de bacias. In: Dominguez, J.M.L.; Barbosa, J.S.F. (Ed.). O Cráton do São Francisco. Salvador: SBG/NBA-SE, p. 137-155.
- Embry, A., and E. Johannessen 1992, T-R sequence stratigraphy, facies analysis and reservoir distribution in the uppermost Triassic-Lower Jurassic succession, western Sverdrup Basin, Arctic Canada, *In: T. Vorren et al., eds., Arctic geology and petroleum potential: Norwegian Petroleum Society Special Publication 2*, 121-146.
- Galloway, W. E., 1989. Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I: architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 73: 125-142.
- Guimarães, J.T. & Pedreira, A.J. (orgs.). 1990. Utinga Folha SD.24-V-A-II; Estado da Bahia. Texto Explicativo. Brasília: DNPM. 142p. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. CPRM/SUREG-AS.
- Guimarães, J. T. (Org.); 2008. Geologia da Chapada Diamantina Ocidental (Projeto Ibitiara – Rio de Contas). Programa Recursos Minerais do Brasil. Salvador/BA, CPRM/CBPM, 64p.
- Haq, B. U., Hardenbol, J. and Vail, P. R., 1987. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. *Science*, 235: 1156-1167.
- Heap, A. Bryce, S., Ryan, D., Radke, L., Smith, C, Smith, R., Harris, P. & Heggie, D. (2001) Australian estuaries and coastal waterways: A geoscience perspective for improved and integrated resource management. A report to the National Land and Water Resource Audit; Theme 7 Ecosystem Health, AGSO Record 2001/07.
- Hunt, D. and Tucker, M. E., 1992. Stranded parasequences and the forced regressive wedge systems tract: deposition during base-level fall. *Sedimentary Geology*, 81:1-9.

- Kvale, E.P. and Archer, A.W., 1990, Tidal deposits associated with low-sulfur coals, Brazil Fm. (Lower Pennsylvanian), Indiana: *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 60, n.4, p. 563-574.
- Lowe, D.R., 1982, Sediment gravity flows; II, Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents: *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 52/1, p. 279-297.
- Kjerfve, B., & Wolaver T. G. (1988). Sampling optimization for studies of tidal transport in estuaries. *American Fisheries Society Symposium* 3. 26-33.
- Miall, A. D.; 1977. A Review of the Braided-River Depositional Environment. *Earth-Science Review*, v. 13, n. 1, p. 1-62.
- Miall, A.D. (1981) Analysis of fluvial depositional systems. Education Course Note Series. American Association of Petroleum Geologists, 20:1-75.
- Miall, A. D. (1985). Architectural-element analysis: A new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth Sci. Rev.*, 22:261-308.
- Miall, A. D.; 1988. Fácies architecture in clastic sedimentary basins. *In: KLEINSPEHN, K. & PAOLA, C. (Eds), New Perspectives in Basin Analysis. New York, Springer-Verlag, p. 67-81.*
- Miall, A. D. 1996. The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology. Nova York: Springer-Verlag, 582 p., 1996.
- Miall, A. D., 2010, The geology of stratigraphic sequences, Second edition: Springer-Verlag, Berlin, 522 p.
- Nichol, S.L., 1991. Zonation and sedimentology of estuarine facies in an incised valley, wave-dominated, microtidal setting. *In: Smith, D.G., Reinson, G.E., Zaitlin, B.A., Rahmani, R.A. (Eds.), Clastic Tidal Sedimentology. Memoir - Canadian Society of Petroleum Geologists, vol. 16, pp. 41 – 58.*
- Nio S.D. & Yang C. 1991. Diagnostic attributes of clastic tidal deposits: a review. *In: D.G. Smith, G.E. Reinson, B.A. Zaitlin, R.A.Rahmani (eds.) Clastic Tidal Sedimentology. Calgary, Can. Soc. Petrol. Memoir 16, pp. 3-28.*
- Pedreira, A.J.1994. O Supergrupo Espinhaço na Chapada Diamantina Centro-oriental, Bahia: Sedimentologia, Estratigrafia e Tectônica. São Paulo, USP, Instituto de Geociências. Tese de Doutorado, 126p.

- Pedreira, A.J.C.L.; Arcanjo, J.B.; Pedrosa, C.J.;Oliveira, J.E. & Silva, B.C.E. 1975. Projeto Bahia; Geologia da Chapada Diamantina. Relatório Final. Salvador: CPRM. v.1. Convênio DNPM/CPRM.
- Pedreira, A.J.. & Margalho, R.S.F.X. 1990. Geologia da Chapada Diamantina Oriental, Bahia (Folha Mucugê). In: Pedreira, A.J. & Margalho, R.S.F.X.; Orgs., Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Mucugê (Folha SD.24-V-C-11), Estado da Bahia; Texto Explicativo. Brasília; DNPM/CPRM, p.19-68.
- Plink-börklund, P. Stacked fluvial and tide-dominated estuarine deposits in highfrequency (fourth-order) sequences of the Eocene Central Basin, Spitsbergen. *Sedimentology*, v. 52, p. 391–428, 2005.
- Plink-Björklund, P., and Steel, 2006, Incised Valleys on an Eocene Coastal Plain and Shelf, Spitsbergen – Part of a Linked Shelf-Slope System, *in* Dalrymple, R.W., Leckie, D.A., and Tillmann, R.W., eds., SEPM Special Publication 85, p. 281-308.
- Plint, A. G. and Nummedal, D., 2000. The falling stage systems tract: recognition and importance in sequence stratigraphic analysis. In: Hunt, D. and Gawthorpe, R. L., Eds., *Sedimentary responses to forced regressions*, 1-17. Geological Society of London Special Publication 172.
- Posamentier, H. W., 2001. Ruminations on sequence terminology with specific reference to “sequence” and sequence boundary types. Hedberg Research Conference (Sequence stratigraphic and allostratigraphic principles and concepts) Program and Abstracts Volume, 39-40. Dallas, Texas: American Association of Petroleum Geologists.
- Posamentier, H.W., Jervey, M.T., Vail, P.R., 1988, eustatic controls on clastic deposition. I. Conceptual framework. In: Wilgus, C.K., Hastings, B.S., Kendall, C.G.St.C., Posamentier, H.W., Ross, C.A., Van Wagoner, J.C. (Eds.), *Sea Level Changes—An Integrated Approach*, vol. 42. SEPM Special Publication, pp. 110– 124.
- Posamentier, H.W., Allen, G.P., 1999, *Siliciclastic sequence stratigraphy: concepts and applications*. *SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology* no. 7, 210 p.
- Reading, H. G. *Sedimentary Environments: Process, Facies and Stratigraphy*. Blackwell Science. 1996, 688p.

- Reid, R.P., MacIntyre, I.G., 2000. Microboring versus recrystallization: further insight into the micritization process. *Journal of Sedimentary Research* 70, 24–28.
- Reid, R.P., Dupraz, C., Visscher, P.T., Decho, A.W., Sumner, D.Y., 2003. Microbial processes forming modern marine stromatolites: microbe–mineral interactions with a threebillion- year rock record. In: Krumbein, W.E., Paterson, D.M., Zavarzin, G.A. (Eds.), *Fossil and Recent Biofilms — a Natural History of Life on Earth*. Kluwer Academic Publishers, pp. 103–118.
- Reineck, H. E. & Singh, I. B. 1975. *Depositional Sedimentary Environments*.
- Reineck H.E. & Singh I.B. 1980. *Depositional Sedimentary Environments*. New York, Springer-Verlag, 549p.
- Reinson G.E. 1992. Transgressive barrier island and estuarine systems. In: R.G. Walker & N.P. James (ed.) *Facies Models: Response to Sea Level Change*. Geol. Ass. Canada, p.179-194.
- Riding, R. Microbial carbonates: the geological record of calcified bacterial-algal mats and biofilms. *Sedimentology*, v. 47, issue supplement s1. p. 179-214, 2000.
- Sampaio, A.R.; SANTOS, R.A. & ROCHA, A.J.D. (orgs.). 1995. Jacobina, folha SC.24-Y-C; Estado da Bahia. Texto explicativo. Brasília: CPRM. (PLGB-Projeto de Mapas Metalogenéticos e de Previsão de Recursos Minerais).
- Shanley, K. W.; McCABE P. J.; HETTINGER R. D. Tidal influence in Cretaceous fluvial strata from Utah, U.S.A.: a key to sequence stratigraphic interpretation. *Sedimentology*, v. 39, p. 905–930, 1992.
- Shanley K. W., McCabe P.J. (1993): Alluvial stratigraphy in a sequence stratigraphic framework: a case history from the Upper Cretaceous of southern Utah, USA. In: Flint S. S., Bryant I. D. (eds) *The geological modelling of hydrocarbon reservoirs and outcrop analogues*. Int. Assoc. Sedimentol. Spec. Publ. 15, 21–56.
- Shanley, K.W., McCabe, P.J., 1994. Perspectives on the sequence stratigraphy of continental strata. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 78, 5442568.
- Scherer, C. M. S.; 2004. *Sedimentologia e estratigrafia de sistemas fluviais e eólicos*. Notas de aula, p. 56–124.
- Schumm, S.A. (1963) A tentative classification of alluvial river channels. U.S. Geological Survey Circular, (477).

- Schumm, S.A. (1981) Evolution and response of the fluvial system: sedimentological implications. In: ETHRIDGE, F.G. & FLORES, R. (eds.) Recent and ancient non-marine depositional environments: models for exploration. Tulsa, SEPM. p. 19-29. (Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication, 31).
- Tirsgaard, H.; Øxnevad, I.E.I. Preservation of pre-vegetational fluvio-aeolian deposits in a humid climatic setting: an example from the Middle Proterozoic Eriksfjord Formation, southwest Greenland. *Sedimentary Geology*, v. 120, p. 295–317, 1998.
- Vail, P. R.; Mitchum Junior, R. M.; Todd, R. G., et al. Seismic stratigraphy and global changes of sea level. In: PAYTON, C. E. (Org.) *Seismic Stratigraphy Applications to Hydrocarbon Exploration*. Tulsa: AAPG, 1977. Memoir, 26. p. 49-212.
- Van Wagoner, J. C., Posamentier, H. W., Mitchum, R. M., Vail, P. R., Sarg, J. F., Loutit, T. S. and Hardenbol, J., 1988. An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions. In: Wilgus, C. K., Hastings, B. S., Kendall, C. G. St. C., Posamentier, H. W., Ross, C. A. and Van Wagoner, J. C., Eds., *Sea-level changes: an integrated approach*, 39-45.
- Walker, R. G. Facies, facies models and modern stratigraphic concepts. In: Walker, R. G. & James, N. P. (Ed). *Facies models: response to sea level change*. Canadá: Geological Association of Canada. 1992, 409p.
- Wizevich, M. C.; 1991. Photomosaics of outcrops: useful photographic techniques. In: MIAL, A.D. & TYLER, N. (Eds), *The three-dimensional facies architecture of terrigenous clastic sediments, and its implications for hydrocarbon discovery and recovery*. Tulsa: SEPM Geology, p. 22-24.
- Zaitlin, B.A., Dalrymple, R.W. and Boyd, R., 1994. The stratigraphic organisation of incised valley systems associated with relative sea-level change. In: R.W. Dalrymple, R.J. Boyd and B.A. Zaitlin., Eds., *Incised valley systems : Origin and sedimentary Sequences*, - SEPM Spec. Pub. 51, 45-60.