

roteiros geológicos

O Paleozoico da borda sul da Bacia do Amazonas, Rio Tapajós - Estado do Pará

The Paleozoic of Amazonas Basin south edge, Tapajós River – Pará State

Nilo Siguehiko Matsuda¹, Wilson Rubem Winter², Joaquim Ribeiro Wanderley Filho³, Alessandra Suzely Moda Cacela⁴

resumo

O presente roteiro geológico: O Paleozoico da Borda Sul da Bacia do Amazonas, Rio Tapajós – Estado do Pará evoluiu das edições anteriores de Castro *et al.* (1988), Eiras e Matsuda (1995), entre outros.

A bacia intracratônica do Amazonas ocupa uma área de aproximadamente 500.000km² e abrange parte dos estados do Amazonas e Pará. O arcabouço estratigráfico fanerozoico da bacia atinge quase 6.000m de espessura e pode ser dividido em duas sequências de primeira ordem: uma paleozoica, intrudida por diques e soleiras de diabásio, e outra mesozoico-cenozoica.

Analisando-se o arcabouço estratigráfico, nota-se a grande influência que a tectônica teve no desenvolvimento desta bacia. As direções estruturais do embasamento, principalmente a NW-SE que correspondem

aos limites das províncias geocronológicas da Amazônia, são perfeitamente identificadas ao longo do Rio Tapajós.

A sequência paleozoica, aflorante na borda sul da Bacia do Amazonas, contém rochas geradoras, reservatórios e selantes e pode ser subdividida em três sequências de segunda ordem, limitadas por discordâncias regionais: Ordovício-Devoniana - que corresponde litoestratigraficamente à Fm. Pitinga; Devoniana-Tournaisiana - que corresponde às Fms. Maecuru, Ererê, Barreirinha e Curiri, e Pensilvaniano-Permiana - representada pelas formações Monte Alegre e Itaituba.

No presente roteiro geológico, são apresentados afloramentos clássicos destas unidades litoestratigráficas, acompanhados de uma breve descrição sedimentológica e análise de seu posicionamento estratigráfico em relação aos conceitos da Estratigrafia de Sequências.

¹ Petrobras. E&P Exploração. Estratigrafia e Sedimentologia Geologia Aplicada a Exploração. nilo@petrobras.com.br

² Petrobras. Exploração. Sedimentologia e Estratigrafia. Unidade de Operações de Exploração e Produção da Bacia de Campos. winter@petrobras.com.br

³ Petrobras. Exploração. Avaliação de Bloco e Interpretação Geológica. Unidade de Operações de Exploração e Produção da Amazônia. jwand@petrobras.com.br

⁴ Petrobras. Exploração. Sedimentologia e Estratigrafia. Unidade de Operações de Exploração e Produção da Amazônia. alessandra.suzely@petrobras.com.br

abstract

The intracratonic Amazonas Basin covers an area close to 500.000km² shared between the Amazonas and Para states. The Phanerozoic stratigraphic framework is up to 6.000m thick and may be subdivided into two, first order depositional sequences: the Paleozoic sequence, intruded by diabase dikes and sills and the Mesozoic-Cenozoic sequence.

Analyzing the stratigraphic framework, the great tectonic influence on the basin development can be appreciated. The mainly NW-SE structural directions of the basement, which mark the boundaries of the geochronological provinces of the Amazonas, are clearly identified along the Tapajós River.

The Paleozoic sequence outcrops on the southern border of the Amazonas Basin embraces potential source rocks, reservoirs and seal rocks. They can be subdivided in three, second order sequences, limited by regional unconformities, as: the Ordovician/Devonian, which corresponds to the Pitinga lithostratigraphic formation; the Devonian-Tournaisian, which corresponds to the Maecuru, Ererê, Barreirinha and Curiri formations and, the Pennsylvanian-Permian that are represented by the Monte Alegre and Itaituba formations.

This field trip guide presents these classic lithostratigraphic outcrop units, together with a brief sedimentological description and an analysis of their positioning related to sequence stratigraphical concepts.

introdução

A Bacia do Amazonas, localizada na região norte do Brasil (fig. 1), é uma das grandes bacias intracratônicas da placa sulamericana. O preenchimento sedimentar desta sinéclise abrange grande intervalo espaço-tempo, com sedimentos distribuídos do Ordoviciano ao Cenozoico, representativos de um grande intervalo de ambientes sedimentares ao longo de sua evolução (fig. 2)

Na borda sul da bacia, ao longo do Rio Tapajós, afloram as seqüências deposicionais compreendidas entre o embasamento e o Carbonífero médio (fig. 3)

A primeira perfuração na bacia data de 1925, realizada pelo Serviço Geológico e Mineralógico Brasileiro na localidade de Itaituba/Bom Jardim, onde foram descobertos os primeiros indícios de óleo e gás.



Figura 1 – Bacias sedimentares da região setentrional da América do Sul, com destaque para a Bacia do Amazonas. (Fonte: Petrobras S. A.).

Figure 1 – Sedimentary basins of the Northern region of South America highlighting the Amazonas Basin. (from Petrobras S.A.).

Desde esta descoberta já foram perfurados mais de 200 poços, resultando na descoberta de duas acumulações de gás.

A baixa densidade de poços perfurados e o pobre imageamento sísmico da seção paleozoica fazem dos escassos afloramentos da borda sul da bacia um requisito importante para o entendimento das relações estratigráficas dos diversos tipos litológicos que a compõem.

A título de introdução deste roteiro, segue uma breve discussão do arcabouço tectônico da bacia e do seu preenchimento sedimentar, com ênfase nos conceitos da Estratigrafia de Sequências.

estratigrafia

O preenchimento sedimentar fanerozoico da Bacia do Amazonas atinge quase 6.000m de espessura e pode ser dividido em duas megassequências de primeira ordem: uma paleozoica, composta por rochas sedimentares de natureza variada, intrudidas por diques e soleiras de diabásio mesozoicos, e outra meso-cenozoica (fig. 2).

Ao analisar os mapas estratigráficos, principalmente os de isópacas, é possível identificar o controle estrutural a que foram submetidos. Tais mapas mostram eixos deslocados por falhas com direção NW-SE, as quais correspondem a um dos padrões

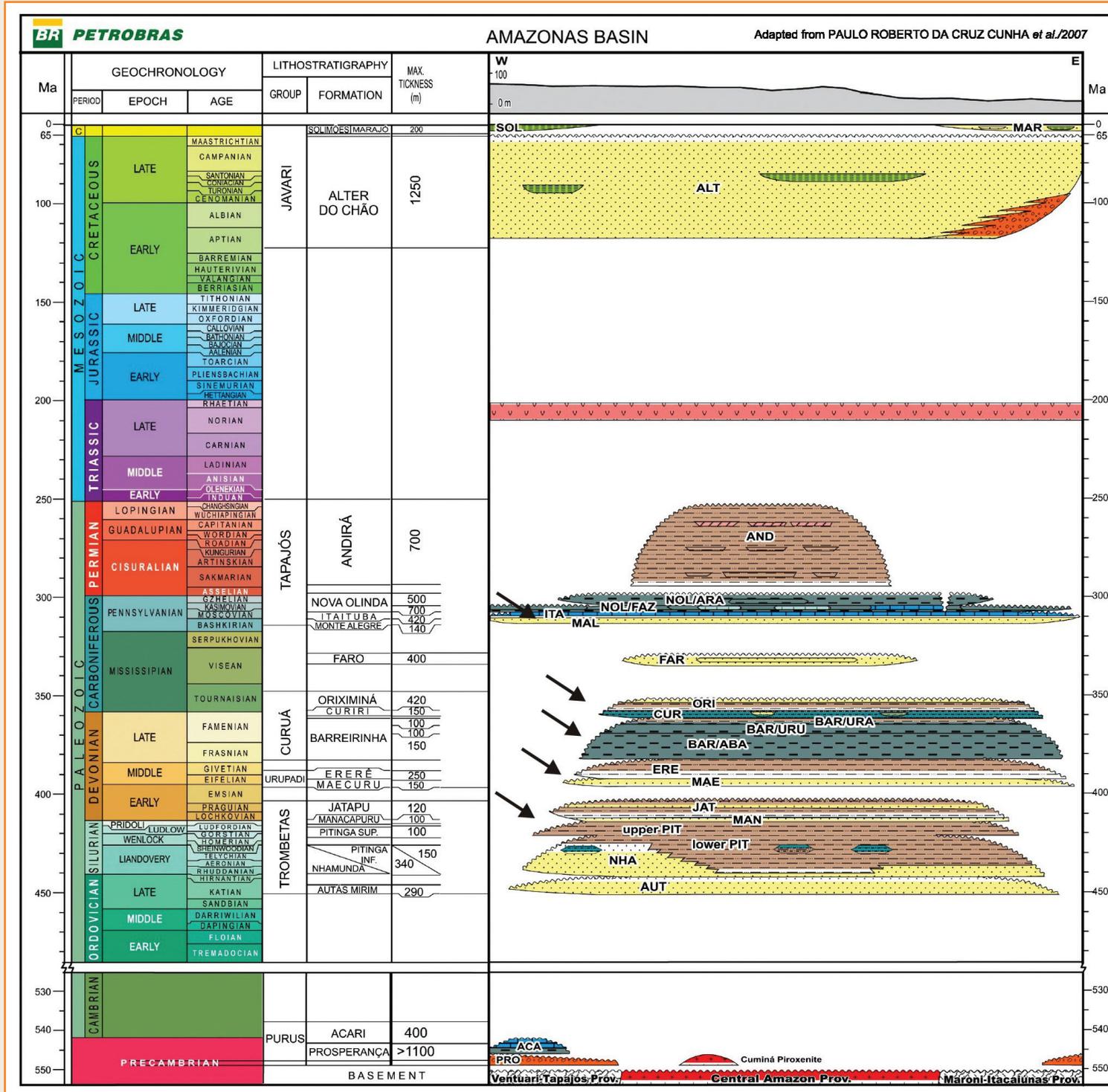


Figura 2 – Carta estratigráfica da Bacia do Amazonas evidenciando as principais seqüências deposicionais na área visitada. (Cunha et al., 2007).

Figure 2 – Stratigraphic Chart of Amazonas Basin displaying the main depositional sequences of the visited area (from Cunha et al. 2007).

estruturais do embasamento sobre a qual a bacia se assenta (fig. 4).

A megasseqüência paleozoica é a mais importante para a pesquisa petrolífera, pois contém as rochas geradoras, reservatórios e selantes, podendo ser

subdividida em três seqüências de segunda ordem, limitadas por discordâncias regionais: Seqüência Ordovício-Devoniana, que corresponde litoestratigraficamente ao Grupo Trombetas; Seqüência Devoniana-Tournasiana, que corresponde aos Grupos Urupadi

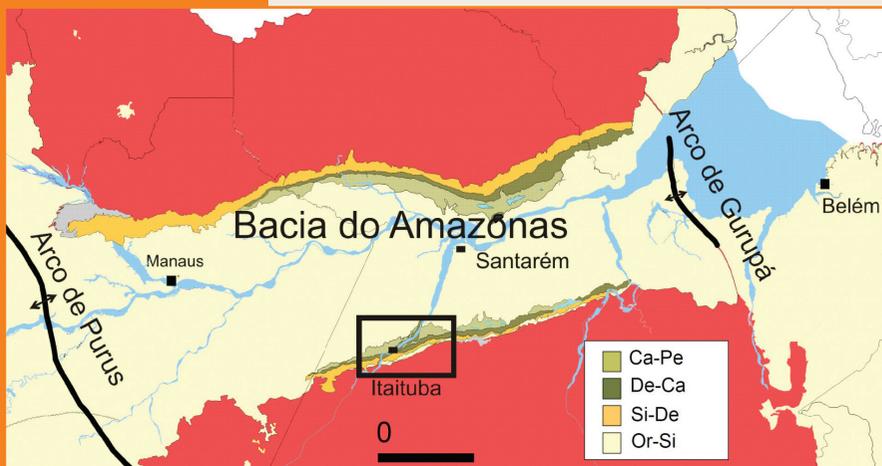


Figura 3
Área de afloramentos e seqüências deposicionais visitadas.

Figure 3
Map of the visited outcrop areas and depositional sequences.

e Curuá e Seqüência Pensilvaniano-Permiana, que corresponde ao Grupo Tapajós (fig. 2).

Todas as seqüências estão delimitadas por hiatus significativos, decorrentes de eventos tectônicos atuantes na borda oeste da placa Gondwânica, resultando em quebras significativas no regime sedimentar.

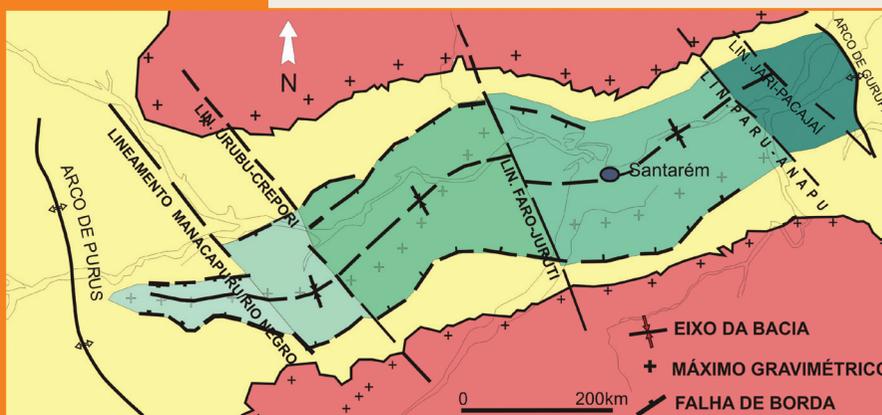
Seqüência Ordovício-Devoniana

Corresponde ao estágio inicial de preenchimento da sinéclise. A deposição desta seqüência deu-se de leste para oeste e caracteriza um ciclo Transgressivo-Regressivo (T-R), com sedimentos glaciais e marinhos dispostos em *onlap* sobre o Arco de Purus, que impedia a conexão com a Bacia de Solimões, configurando o limite oeste da Bacia do Amazonas.

Ao leste, ainda sem a existência do Alto de Gurupá, a conexão era livre com as bacias do oeste africano.

Figura 4
Mapa com as principais feições estruturais da Bacia do Amazonas, destacando-se as charneiras, o eixo, as falhas com direção NW-SE e os arcos regionais.

Figure 4
Map of the main Amazon Basin structural outline highlighting the hinges, axis and faults with NW-SE directions and the regional arcs.



As rochas desta seqüência compõem o Grupo Trombetas (fig. 2), que engloba as formações Autás-Mirim, Nhamundá, Pitinga, Manacapuru e Jatapú (fig. 2).

Na área do roteiro, por se tratar de borda de bacia, os sedimentos mais antigos que recobrem o embasamento riolítico são os folhelhos transgressivos da Fm. Pitinga (Siluriano superior), sobrepostos pelos arenitos da Fm. Maecuru, da seqüência sobreposta.

No limite entre estas seqüências observa-se um hiato de amplitude considerável identificado através de análises palinológicas, que acusam a ausência regional das biozonas emsianas AB e FD do zoneamento de miósporas da Europa Ocidental, equivalentes, no seu conjunto, às zonas internacionais de conodontes *gronbergi* até *serotinus* ou mesmo *patulus* (Melo e Loboziak, 2003). Este hiato, decorrente da discordância relacionada à Orogenia Caledoniana, tem uma amplitude estimada de 7 Ma a 16 Ma de acordo com escala geocronológica de Gradstein *et al.* 2004.

Seqüência Devoniana-Tournaisiana

Esta seqüência foi depositada durante o segundo evento de subsidência tectônica e ingressão marinha na bacia, também oriunda de leste. Litoestratigraficamente, compreende as rochas dos grupos Urupadi e Curuá (fig. 2).

Este novo ciclo T-R representa um estágio deposicional marinho com incursões glaciais, ainda sem conexão direta com a Bacia do Solimões a oeste, e contínuo com as bacias do norte africano.

O Grupo Urupadi corresponde aos tratos de mar baixo e transgressivo, englobando as formações Maecuru e Ererê, com clásticos fluviais, transicionais e marinho-rasos. Sobreposto a este grupo, e após um pequeno pulso regressivo, depositou-se espessa seqüência sedimentar representada pelo Grupo Curuá, referente aos tratos transgressivo e de mar alto. Abrange as formações Barreirinha, Curiri, Oriximiná e Faro, com clásticos marinhos, glacio-marinhos e fluvio-lacustres (fig. 2). A superfície de inundação máxima situa-se dentro da camada de folhelho preto, físsil, carbonoso e altamente radioativo da base da Formação Barreirinha. É uma zona de condensação

em ambiente marinho distal e euxínico depositado num intervalo de tempo de 12 Ma a 18 Ma, desde o Eofrasniano ao Mesofameniano (palinozonas de Melo e Loboziak, 2003). Correspondente, assim, ao grande evento anóxico devoniano registrado mundialmente.

Operacionalmente, a Fm. Barreirinha é subdividida em três unidades bem evidenciadas nos perfis elétrico-radioativos, denominadas (da base para o topo) de membros Abacaxis (Eofrasniano/Mesofameniano), Urubu (Meso/Neofameniano) e Urariá (Neofameniano) (fig. 2).

No Neofameniano, o clima tornou-se muito frio, fato esse evidenciado pelas camadas de arenito (depositadas provavelmente por fluxos gravitacionais) e de diamictitos da Formação Curiri depositadas durante o degelo.

Sequência Pensilvaniano-Permiana

Após um hiato de aproximadamente 40 Ma (nesta porção da bacia), observa-se um novo ciclo deposicional transgressivo-regressivo.

Em termos litoestratigráficos, esta sequência sedimentar em depósito sedimentar compreende o Grupo Tapajós, com suas formações Monte Alegre, Itaituba, Nova Olinda e Andirá.

A Fm. Monte Alegre é caracterizada por arenitos eólicos e de *wadis*, intercalados a sedimentos finos (siltitos e folhelhos) de interdunas e lagos (Costa, 1984). Apresenta idade neobashkiriana.

Os depósitos químico-evaporíticos (Neocarbonífero/Permiano) foram formados após novo evento subsidente, acompanhado de uma significativa mudança climática: de frio para quente e árido. Neste período, a invasão marinha afogou campos de dunas eólicas das bacias do Solimões e Amazonas, recobriu o Arco de Purus, promovendo, finalmente, a interligação das bacias do Solimões e do Amazonas. O processo evoluiu a partir da deposição de clásticos fluviais, eólicos e marinho-rasos para carbonatos e evaporitos marinho-normais a lacustre-hipersalinos e, posteriormente, clásticos fluviolacustres; mais raramente, evaporitos da fase regressiva (fig. 2). Esta sequência estratigráfica é claramente cíclica e foi possivelmente controlada por fatores orbitais.

O intervalo Mississippiano (Carbonífero inferior) não está presente na área.

considerações sobre a Estratigrafia de Sequências

Os afloramentos da borda sul da Bacia do Amazonas, ao longo da margem setentrional do Rio Tapajós, oferecem condições ideais para a aplicação dos conceitos de Estratigrafia de Sequências. Isto porque apresentam boa continuidade *down dip*; encontram-se geralmente limpos em virtude da presença e atuação do Rio Tapajós; são de fácil acesso e apresentam uma gama variada de sistemas deposicionais ao longo de um perfil geológico SW-NE de 59km, aproximadamente.

Os conceitos de Estratigrafia de Sequências, originalmente propostos para bacias de margem passiva, têm boa aplicação em bacias paleozoicas em função das similaridades dos mecanismos que controlam a sedimentação e evolução nestes dois tipos de bacias.

A aplicação do método citado acima mostrou-se bastante válida no entendimento do arcabouço estratigráfico desta porção da Bacia do Amazonas, fornecendo, de imediato, uma melhor visualização da distribuição em espaço e tempo dos sistemas deposicionais e, por conseguinte, da distribuição dos principais fatores de risco exploratório: reservatório, selo e rocha geradora.

O modelo de Estratigrafia de Sequências usado é aquele proposto por O. Catuneanu, 2006, sintetizado na figura a seguir a partir de notas de aula dos autores (2008) (figs. 5 e 6).

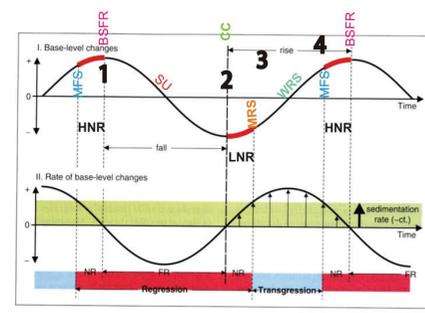
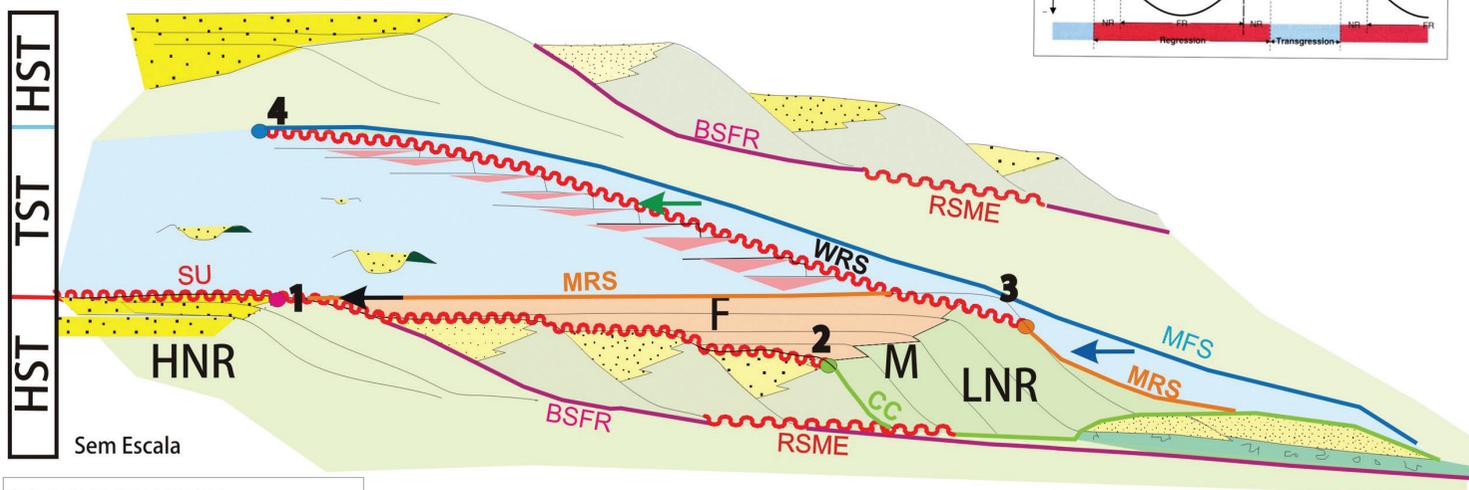
A Estratigrafia de Sequências analisa a resposta sedimentar às variações do nível base, bem como os padrões deposicionais encontrados no registro sedimentar, resultantes da interação entre as taxas de variação de espaço de acomodação e de sedimentação numa determinada posição da bacia (fig. 6).

Cada unidade genética é definida por um padrão específico de empilhamento dos estratos e de superfícies limites e consistem de tratos de sistemas correlacionáveis.

A análise dos afloramentos que compõe o roteiro tem por ênfase:

- o reconhecimento dos sistemas deposicionais;
- a identificação das mudanças nos *trends* deposicionais (padrão de empilhamento dos estratos);
- a interpretação dos elementos da Estratigrafia de Sequências (fig. 5), que compõem o arcabouço do modelo estratigráfico.

ESTRATIGRAFIA DE SEQUÊNCIAS



- SU - subaerial unconformity
- HNR - highstand normal regression
- BSFR - basal surface of forced regression
- MRS - Maximum regression surface
- RSME - regressive surface of marine erosion
- CC - correlative concordance
- LNR - lowstand normal regression
- WRS - wave ravinement surface
- MFS - maximum flooding surface

Tratos de Sistemas	HST deltas		FSST deltas		LST deltas	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Espessura	Espesso	Delgado	Espesso	Delgado	Delgado	Espesso
Distribuição	Localizada	Ampla	Localizada	Ampla	Ampla	Localizada
Grão	Grosso	Fino	Fino	Grosso	Grosso	Fino

- ← On lap costeiro
- ← On lap marinho
- ← On lap fluvial

Winter, 2009

(Notas de aula de O. Catuneanu)

Figura 5
Arcabouço estratigráfico esquemático para análise e subdivisão das sequências deposicionais.

Figure 5
Schematic stratigraphic outline for the depositional sequences analysis and subdivisions.

Os *trends* deposicionais (fig. 6) são reconhecidos através da análise dos padrões de empilhamento estratal (*coarsening/thinning upward*) dos depósitos e suas variações texturais (*thickening/fining upward*).

As superfícies-limite de sequências deposicionais podem ser interpretadas a partir de duas observações:

- tipo de contato estratigráfico (discordante ou concordante);
- natureza das fácies que estão em contato por esta superfície. Os "saltos de fácies" representam omissões de fácies, envolvendo hiatos - baseado na lei de Walther.

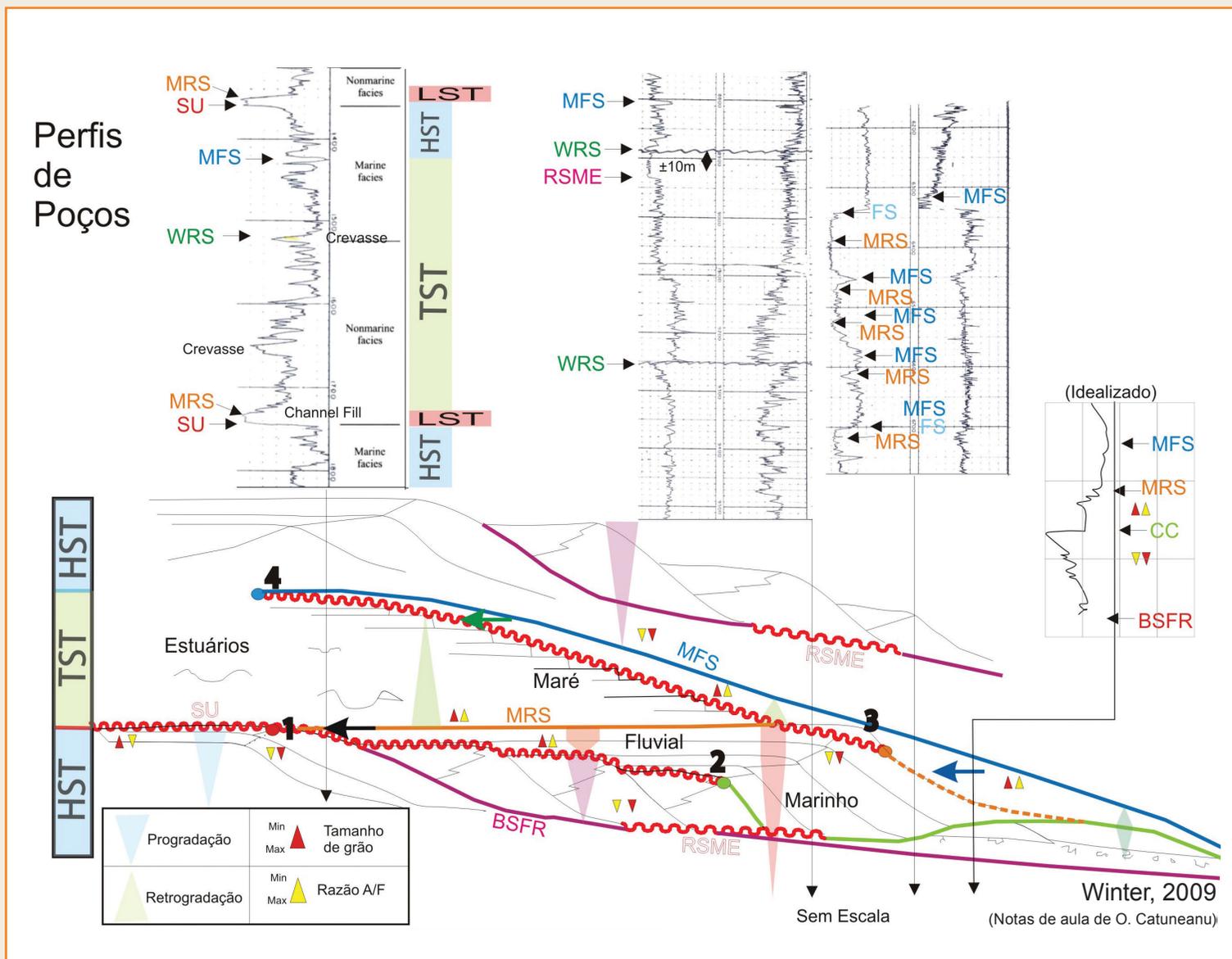
A análise do empilhamento destes estratos (progradacionais/retrogradacionais ou agradacionais)

permite um melhor entendimento dos processos responsáveis pelo controle da taxa de acomodação/sedimentação e a arquitetura estratigráfica da bacia.

Sendo uma área de borda de bacia, com paleobatimetrias deposicionais relativamente rasas, torna-se uma área ideal para aplicação dos conceitos de Estratigrafia de Sequências.

A faixa de afloramentos estende-se desde o embasamento cristalino até os carbonatos da Fm. Itaituba, numa extensão de aproximadamente 59km, englobando uma coluna sedimentar que se prolonga do Siluriano (Andar Wenlockiano) ao Carbonífero (Pensilvaniano/Andar Atokaniano) (fig. 9).

As superfícies que compõem o arcabouço estratigráfico foram deixadas propositalmente em inglês,



evitando traduções indevidas e confusões entre as várias siglas existentes, preservando a identidade original.

roteiro de campo

O roteiro de campo contém as descrições sedimentológicas e interpretações estratigráficas das rochas aflorantes nas margens do Rio Tapajós, entre a localidade de Vila Raiol e a Pedreira Calminas, borda sul da Bacia do Amazonas.

O clima da região é quente, com temperaturas mínimas entre 21°C e 22°C, máximas entre 31°C e

33°C e média geral em torno de 26°C, caracterizado por precipitações muito elevadas no período de dezembro a maio, que compensa o clima seco da estação pouco chuvosa (junho a novembro). Entre outubro e novembro, o Rio Tapajós se encontra no seu nível mais baixo e os afloramentos ficam emergentes (fig. 7), ideal para visitas aos pontos aflorantes. Devido às intensas queimadas e emissões de fumaça, a luminosidade diminui e, conseqüentemente, anoitece rapidamente.

Os pontos descritos neste roteiro de campo, sempre situado ao longo da margem do Rio Tapajós, estão localizados no mapa da figura 8 e suas posições estratigráficas no perfil esquemático da figura 10.

Tomando-se a cidade de Itaituba como base de apoio logístico das atividades de campo, o acesso aos

Figura 6
Principais características sedimentares dos estratos que “preenchem” os diferentes tratos de sistemas. Trends deposicionais estão representados pelos triângulos de Karogodin.

Figure 6
The main sedimentary characteristics of the strata that “fills” the different systems tracts. The depositional trends are represented by Karogodin triangles.

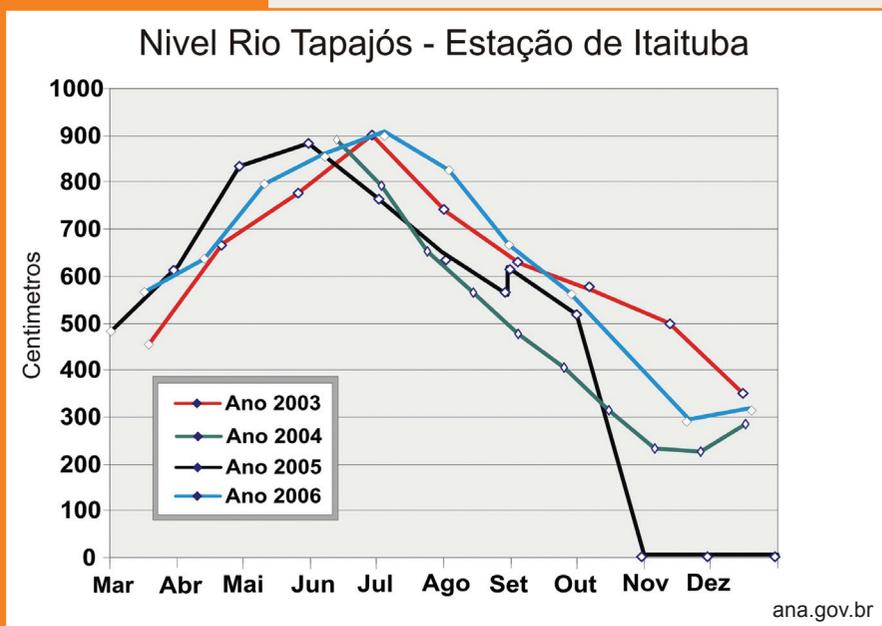


Figura 7
Diagramas do nível do Rio Tapajós, período de 2003 a 2006 (Fonte: ana.gov.br).

Figure 7
Diagram of the Tapajós River water level from 2003 to 2006 (Source: ana.gov.br).

afloramentos é feito pela Rodovia Transamazônica (BR-230) e pelo Rio Tapajós (fig. 8).

Além do embasamento ígneo e das areias fluviais recentes, sete unidades litoestratigráficas afloram na região do Tapajós no trecho descrito neste roteiro. Elas são progressivamente mais novas para o interior da bacia no sentido norte, com mergulho homoclinal médio de 2° para norte-noroeste (NNO).

Nos depósitos paleozoicos da Bacia do Amazonas registra-se uma série de eventos regressivos e transgressivos que podem ser decodificados a partir da observação cuidadosa dos padrões de empilhamento dos sedimentos (*trends* deposicionais) e de algumas superfícies erosivas, ao longo das quais fica evidente um "salto" de fácies sedimentares e, por conseguinte, a presença de hiatus.

PONTO 1 – Vila Raiol: Contato entre embasamento Pré-Cambriano (Grupo Uatumã) e sedimentos Silurianos da Fm. Pitinga.

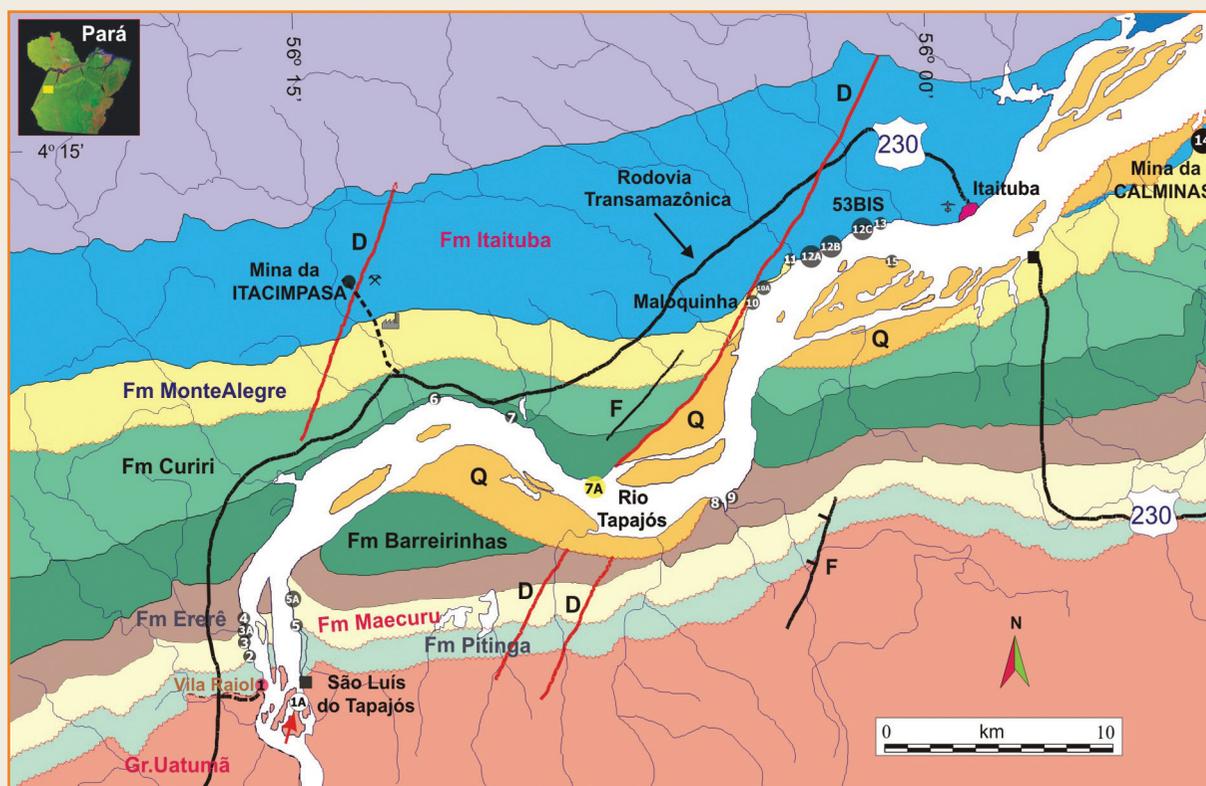
Localização: Vila Raiol (fig. 8).

Coordenadas: 04° 27' 33,21" S e 56° 16' 19,88" W.

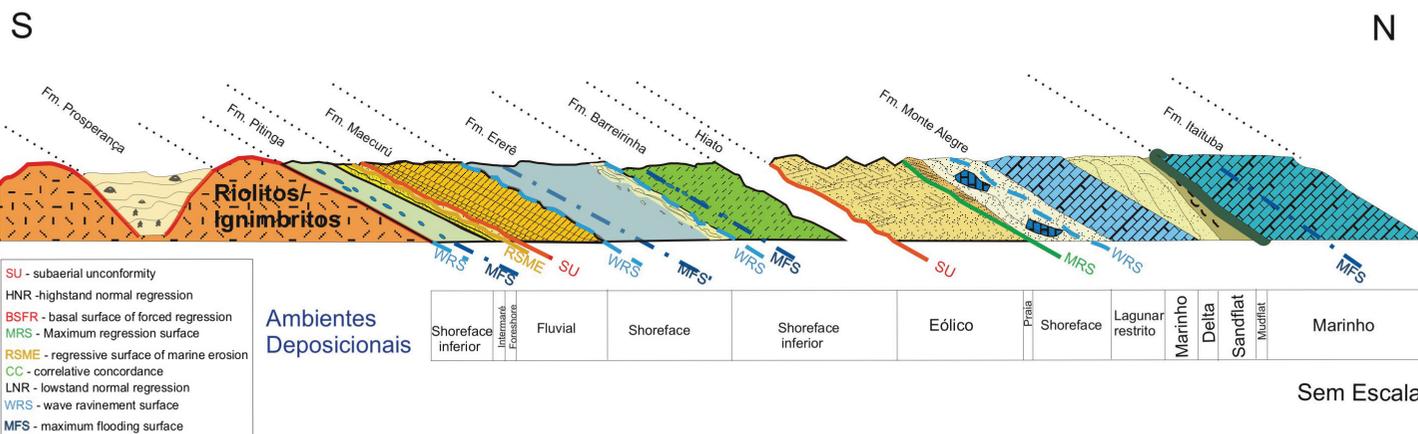
O embasamento da bacia pode ser observado no lugarejo situado à margem esquerda do Rio Tapajós, em frente à localidade de Vila Raiol (fig. 10). Trata-se de ignimbrito (segundo informação verbal de Pedro de Cesero, em Castro, 1984, e Castro *et al.*, 1988) avermelhado, contendo pórfiros de quartzo parcialmente corroídos (fig. 10 - detalhe), relacionado a vulcanismo riolítico. Ignimbritos, por definição, formam um grupo especial de rochas piroclásticas ácidas, também chamadas tufos soldados, depositadas por nuvens ardentes a altas temperaturas, consistindo em camadas de material tufáceo - *pumice*, *lapilli*, etc. É

Figura 8
Mapa geológico da borda sul com a localização dos pontos visitados. (compilado de Caputo e Andrade, 1968, CPRM, 1976; Tillement e Boellman, 1982).

Figure 8
Geological map of southern border of the Amazon Basin with the visited points. (from Caputo and Andrade, 1968, CPRM, 1976; Tillement and Boellman, 1982).



SEÇÃO GEOLÓGICA ESQUEMÁTICA
BORDA SUL DA BACIA DO AMAZONAS - RIO TAPAJÓS



provável que, em alguns locais desta área, esse material vulcânico tenha sido depositado sob a forma de lava, fato evidenciado por algumas texturas de fluxo (informação verbal de Ana Maria Pimentel Mizusaki, 1995), o que, petrograficamente, seria caracterizado como riolito.

As rochas vulcânicas do Grupo Uatumã ocorrem bastante fraturadas na região de Vila Raiol (figs. 10 e 11). As fraturas estão orientadas segundo duas direções principais, NNE-SSO e ONO-ESE. É interessante notar que fraturas com essas mesmas direções também ocorrem em rochas das sequências estratigráficas siluro-devonianas e carboníferas aflorantes nessa região (fig. 36 do Ponto 13).

O contato do embasamento cristalino com a bacia sedimentar ocorre, aproximadamente, 100m a jusante da Vila Raiol.

Destaca-se que o embasamento atingido na Sondagem N° 88, do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil (SGMB) e no poço PB-1-PA da Petrobras é metamórfico (metarcósio), enquanto no Rio Cupari é granítico.

A primeira superfície estratal digna de nota é o contato entre o embasamento cristalino e os sedimentos pelíticos da Fm. Pitinga (inferido).

Esta discordância (*non-conformity*), na região, abrange um hiato de aproximadamente 135 Ma. É somente no andar Wenlock do Siluriano Superior que o espaço de acomodação aumenta, permitindo a acumulação de sedimentos argilosos sobre o embasamento riolítico. Estes sedimentos representam uma grande transgressão global (Siluriano inferior/médio), igualmente registrada nas demais bacias paleozoicas brasileiras. Não há exposição de contato nesta área.

Figura 9 – Seção geológica esquemática ao longo do Rio Tapajós - borda sul da Bacia do Amazonas.

Figure 9 – Schematic geological section along the southern border of the Amazonas Basin.



Figura 10 – Embasamento Pré-Cambriano de rochas vulcânicas ácidas, fraturado. Em destaque, no canto superior direito, a textura porfirítica do ignimbrito, com fenocristais de quartzo e feldspato (NC, 2.5X).

Figure 10 – The fractured acidic volcanic rocks of the Precambrian basement. Highlighted in the upper right hand corner, the porphyritic texture of the ignimbrite with quartz and feldspar phenocrysts.

**Embasamento Rede de fraturas
NNE-SSW e WNW-ESE**
adaptado de Caputo, Andrade, 1968

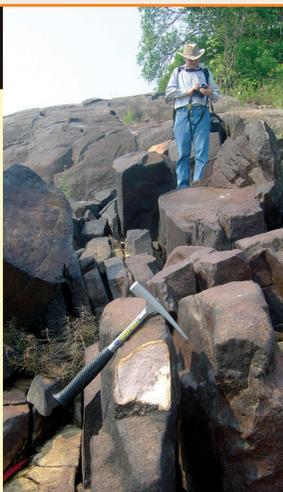
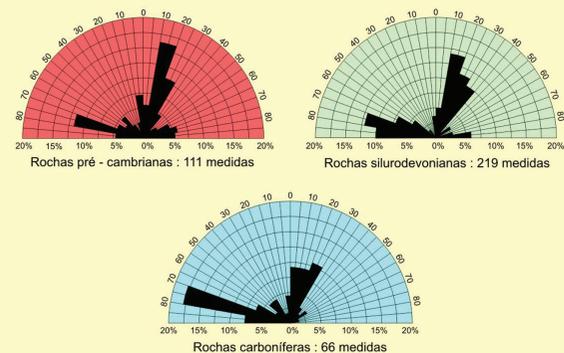


Figura 11
Embasamento fraturado.

Figure 11
The fractured basement.

Observações Importantes:

- textura ígnea;
- sistema de fraturas;
- movimentos transcorrentes destrais.

PONTO 1A – Formação Prosperança (Embasamento Pré-Cambriano).

Localização: Cachoeira de São Luiz de Tapajós (fig. 8).

Coordenadas: 04° 27' 42" S e 56° 17' 01" W.

Trata-se de um afloramento lavado e exposto durante a baixa do Rio Tapajós. São estratos tabulares com espessura aproximada de 0,50m, compostos de arenitos ferruginosos, avermelhados, com grãos variegados (fig. 12). As características mais evidentes são a cor, a alta dureza e a alta densidade. No local, são observadas abundantes marcas de ondas (*wave ripples* - fig. 13) sobrepostas por laminações cruzadas de ondas truncantes de grande comprimento de onda (*swaley cross stratification*). Lateralmente, ocorre um arenito de geometria lenticular, medindo aproximadamente 5m de espessura e totalmente maciço (*slump?*). Sua gênese permanece desconhecida até o momento (fig. 14). O entendimento do mesmo poderá subsidiar o conhecimento dos arenitos avermelhados, contendo hidrocarbonetos considerados reservatórios secundários nas áreas do Juruá, Arco de Purus e adjacências. Como a idade das vulcânicas em Vila Raiol é de 1,88 Ga e os sedimentos da Fm. Prosperança variam de 1.4 Ga a 1.2 Ga (Paes e Leite, 2003), interpretam-se estes arenitos como depósitos transgressivos, encaixados em grábens do embasamento.



Figura 12 – Estratos tabulares avermelhados (óxido de ferro) da Fm. Prosperança. Abaixo, detalhe da laminação cruzada de onda truncante.

Figure 12 – The red tabular strata (iron oxide) from the Prosperança Formation. Below, detail of truncated wave cross lamination.

Figura 13
Detalhe das estruturas sedimentares presentes no afloramento: laminações cruzadas de ondas truncantes - topo do ciclo - e marcas de ondas (*wave ripples*) - base do ciclo.

Figure 13
Composite view of the sedimentary structures in the outcrop. Truncated wave ripple laminations – top of cycles – and wave ripples – base of cycle.



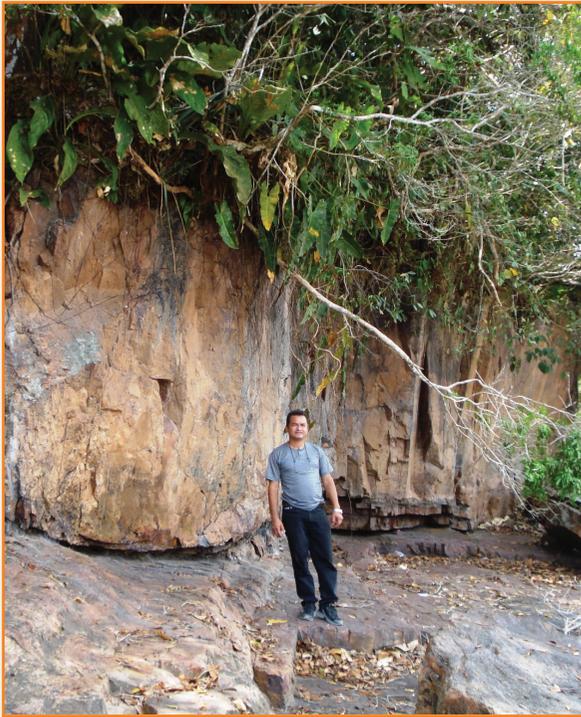


Figura 14 – Arenito maciço de aspecto lenticular (*slump?*).

Figure 14 – Massive sandstone showing lenticular geometry (*slump?*).

Observações Importantes:

- geometria dos estratos;
- estruturas sedimentares e sua distribuição vertical;
- relação entre os corpos tabulares e o arenito maciço.

PONTO 2 – Formação Pitinga (Siluriano) – **Formação Maecuru** (Devoniano Inferior/ Médio).
Localização: próximo à Vila Raiol (fig. 8).
Coordenadas: 04° 26' 48" S e 56° 16' 19" W.

Neste ponto, situado 1km a jusante de Vila Raiol, também na margem esquerda do Rio Tapajós, são observados folhelhos cinza-escuros, sílticos, de origem marinha, em contato abrupto com arenito muito fino de excelente maturidade textural/mineralógica, com estratificação cruzada (?) de baixo ângulo, que, por sua vez, encontram-se recobertos por arenito cinza-claros, amarelado a avermelhado, de granulometria média a grossa da Formação Maecuru. Nos folhelhos que pertencem à Fm. Pitinga ocorrem graptólitos (fragmentos de um organismo colonial planctônico do Siluriano) (Caputo e Andrade, 1968) e nódulos de até 20cm de diâmetro de siderita e, secundariamente, de argilominerais e quartzo (fig. 15).

Os folhelhos transgressivos da Formação Pitinga são considerados rochas geradoras secundárias, pois raramente contêm mais de 1% de carbono orgânico total.

A título de posicionamento estratigráfico, a presença de um ou mais níveis rico em nódulos de siderita pode estar relacionada à ocorrência de uma seção condensada - *hardground/firmground*, com baixíssima taxa de sedimentação, sendo, portanto, suscetível a mineralizações - superfície de inundação máxima? (MFS) (fig. 15).

Devido ao decréscimo no suprimento sedimentar para o ambiente marinho durante a transgressão da linha de costa e em função do grau de cimentação do fundo do mar, superfícies de inundação máxima frequentemente encontram-se associadas a *firmgrounds* ou *hardgrounds*. Contudo, também podem estar associadas com *softgrounds* (altas taxas de sedimentação) e *woodgrounds* (inundação de planícies costeiras florestadas). A superfície de inundação máxima marca o final da transgressão da linha de costa, separando estratos retrogradantes (depósitos transgressivos) abaixo de estratos progradantes (regressivos normais de mar alto) acima.

Ainda neste ponto, cerca de 2m acima do nível com nódulos, ocorre uma mudança litológica drástica (de folhelhos sílticos para arenito muito fino e muito maturo – textural e mineralogicamente). Esta passagem abrupta põe em contato sedimentos pelíticos

Figura 15

Fm. Pitinga com nível rico em nódulos de siderita (setas).

Figure 15

The rich siderite nodules level of the Pitinga Formation (see arrows).



relativamente profundos, com areias bem selecionadas, quartzosas de textura fina, interpretadas como areias de *shoreface* – ambiente relativamente raso. Este contato foi interpretado como uma superfície RSME (*regressive surface of marine erosion*) (fig. 16), uma vez que:

- ocorre um “salto de fácies” quando se compara os sedimentos de *shoreface* inferior (folhelhos) aos de *shoreface* superior (arenito maturo, quartzoso);
- há uma mudança no “padrão de empilhamento”. Abaixo da discordância, o padrão de perfil textural e raios gama é o de “sino invertido”, sendo abruptamente interrompido pela chegada das areias costeiras.

A superfície regressiva da erosão marinha se forma durante regressões forçadas em ambiente marinho raso (*shoreface* inferior) dominado por ondas, onde o gradiente do fundo do mar é baixo e está em equilíbrio com a energia das ondas de tempo bom.

Este ravinamento por ondas regressivas escava as lamas da plataforma interna e possibilita a progradação de arenitos com estratificação cruzada *swaley* da região de *shoreface* médio a superior, sobre a superfície regressiva da erosão marinha. A espessura de sedimentos erodidos é da ordem de metros e o resultado é a formação de uma fácies de *shoreface* com base abrupta. Desta forma, o potencial de preservação dos depósitos de plataforma interna (arenitos e folhelhos com estratificação cruzada *hummocky*) é baixo durante períodos de queda do nível base.

A superfície regressiva da erosão marinha é diácrona, se estendendo em direção ao mar durante a queda do nível base. Esta superfície trunca as clinofórmulas mais antigas e é recoberta em *downlap* pelas mais novas. Ela se conecta com a superfície basal da regressão forçada em direção ao continente e com a conformidade correlativa na direção do mar. É uma superfície menos dependente do tempo que a discordância subaérea, uma vez que a magnitude da erosão é controlada pela energia marinha (ondas). Esta superfície limita a base dos depósitos regressivos forçados (figs. 5 e 6).

A passagem das areias de *shoreface* para os arenitos conglomeráticos fluviais sobrepostos da Fm. Maecuru é discordante e erosiva. Caracteriza uma superfície de exposição subaérea (SU) com *lag deposit* conglomerático. Estima-se que esta erosão seja responsável por um hiato de aproximadamente 40 milhões de anos, que põe em contato sedimentos



Figura 16 – Contato abrupto entre sedimentos pelíticos de águas profundas e arenito maturo de *shoreface* – superfície regressiva da erosão marinha (RSME).

Figure 16 – The abrupt contact between pelitic deep water sediments and mature *shoreface* sandstone – regressive surface of marine erosion (RSME).

silurianos de *foreshore* e sedimentos devonianos de origem fluvial (classificados como *braided system river*). Esta discordância corresponde à “Orogenia Caledoniana.

Observações Importantes:

- “Salto” de fácies no topo da Fm. Pitinga;
- nódulos de siderita;
- maturidade textural e mineralógica dos arenitos litorâneos.

Pontos 3A e 3B: Formação Maecuru (Devoniano Inferior/Médio)

Localização: localidade de Vila Braga (fig. 8).

Coordenadas: 04° 26' 34" S e 56° 16' 27" W.

Os pontos 3A e 3B são compostos por arenitos cinza-claros/avermelhados, médio a conglomeráticos, com estratificações cruzadas oblíquas, assintóticas na base (figs 17 e 19), esporadicamente com deformações hidroplásticas, recumbentes (fig. 8). Superfícies granuladas de reativação são frequentes entre os estratos. A seção basal desta unidade apresenta camadas relativamente delgadas (em média 20cm), que espessam progressivamente em direção ao topo (até 1m), em virtude do aumento do espaço de acomodação. Esta mudança no padrão arquitetural caracteriza os depósitos proximais do trato de mar baixo (figs. 5 e 6).

Pelas características texturais adicionadas ao caráter unidirecional das paleocorrentes (N60°O),

conclui-se que esses depósitos foram acumulados num sistema fluvial entrelaçado, tipo *braided*. Localmente, podem ocorrer depósitos finos, eólicos, associados. Um exemplo recente ocorre no próprio Rio Tapajós, na localidade de São Luis, onde barras fluviais são retrabalhadas pelo vento durante a estação seca. Algumas fluidizações em pilar são observadas.

Os arenitos da Formação Maecuru podem ser considerados rochas-reservatório secundárias para acumulação de petróleo na Bacia do Amazonas, e apresentam porosidades superiores a 12%.



Figura 17 – Ponto 3A (Fm. Maecuru). Estratos delgados (± 20 cm) com estratificação cruzada 2D, assintótica na base. Localmente com deformações hidroplásticas (seta).

Figure 17 – Point 3A (Maecuru Formation). Thin strata (± 20 cm) with 2D asymptotic base cross stratification. With locally hydroplastic deformations (see arrow).



Figura 18 – Ponto 3B (Fm. Maecuru). Incremento na espessura dos estratos, representados por foresets de barras longitudinais, localmente cortadas por canais fluviais.

Figure 18 – Point 3B (Maecuru Formation). The stratal thickness increase represented by longitudinal foreset bars locally cut by fluvial channels.



Figura 19

Detalhe das estratificações 2D, mostrando lâminas com textura mais grossa, resultante de avalanche de grãos (*grain flow*) e crosta de óxido de ferro (recente) entre os estratos (seta). No detalhe, fotomicrografia do arenito fluvial, com boa porosidade intergranular.

Crostas ferruginosas (recentes) são bastante comuns, principalmente entre os estratos tabulares (fig. 19).

Observações Importantes:

- variação na espessura e granulometria dos estratos ao longo do caminhamento (acomodação);
- estruturas sedimentares;
- processos sedimentares inferidos.

Pontos 4 e 4A: Formações Maecuru/ Ererê (Devoniano Inferior/Médio).

Localização: proximidades da Vila Braga (fig. 8).

Coordenadas: 04° 26' 34" S e 56° 16' 27" W.

Figure 19

Detail of 2D stratification showing laminae with more coarse textures resulting from grain flow and iron oxide crust (recent) between the strata (see arrow). Detail: thin section photomicrography of fluvial sandstone displaying good inter-granular porosity.

Na continuação do afloramento anterior, rio abaixo, pode ser inferido o contato entre as formações Maecuru e Ererê (fig. 20).

Neste ponto, os arenitos conglomeráticos fluviais da Formação Maecuru gradam para arenitos finos e siltitos laminados e maciços da Formação Ererê. Também podem ser vistos, mais a jusante (Fm. Ererê), níveis conglomeráticos com seixos de até 5cm de diâmetros, possivelmente associados à ação de ondas durante a transgressão (fig. 20). Neste mesmo ponto podem ser observados arenitos bioturbados e diaclasados (fig. 21).

Superfícies de ravinamento transgressivo (WRS-figs. 5 e 6) são erosões provocadas por ondas e/ou marés durante a movimentação da linha de costa na direção do continente (subida do nível do mar).



Figura 20 – Contato entre as Fms. Maecuru e Ererê, dado por pavimento seixoso, cimentado.

Figure 20 – The paved cemented cobble level between the Maecuru and Ererê formations contact.

Este tipo de erosão geralmente se forma em ambientes de linha de costa de mar aberto e, quando todas as fácies retrogradacionais são preservadas, separa depósitos de praia, abaixo, dos depósitos de *shoreface*. Dependendo da quantidade de sedimentos removidos pela erosão (resultado do gradiente deposicional), os depósitos regressivos normais de mar baixo sotopostos podem ser truncados. Desta forma, abaixo da superfície de ravinamento transgressivo podem ser encontradas fácies fluviais, costeiras ou marinho-rasas.

Esta superfície é diácrona, sendo mais jovem em direção ao continente. Pode ser ou não limite de trato de sistema (TST), dependendo do grau de erosão que a caracteriza.



Figura 22 – Arenitos sílticos da base da Fm. Ererê intensamente bioturbados.

Figure 22 – The siltic-fine sandstone intensely bioturbated of the Ererê Formation base.

No ponto 5 (Desembocadura do Furo Areião), estas areias estão caracterizadas por depósitos arenosos (fino a médio) de intermaré, representados por barras arenosas com estratificações sigmoidais/tabulares apertadas. Níveis de *hardgrounds* bioturbados (*Artrophyucus harlani*) são comuns.

Observações Importantes:

- pavimento(s) seixoso(s) deixado(s) pela erosão transgressiva;
- afogamento do sistema;
- barras de *offshore* bioturbadas.

Ponto 5: Formação Pitinga (Siluriano superior).

Localização: Desembocadura do Furo Areião, a 1,5km a jusante de São Luís do Tapajós (fig. 8).

Coordenadas: 04° 26' 17" S e 56° 15' 13" W.

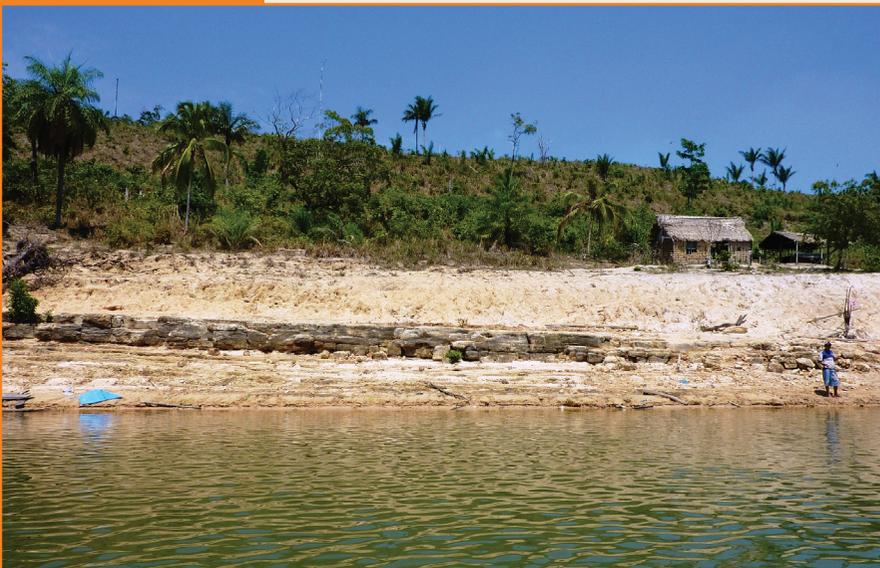
Neste ponto observa-se o registro sedimentar de um ambiente marinho-raso dominado por ondas, caracterizado por planícies arenosas de intermaré

Figura 21

Corpos tabulares de arenito fino, mui bioturbados (barras de *offshore*), da Fm. Ererê, parte inferior.

Figure 21

The tabular fine sandstone body, strongly bioturbated (*offshore bars*) of the Ererê Formation.



(fig. 23), aqui interpretadas como fácies progradante do trato de mar alto da Formação Pitinga.

Na base, são observadas bioturbações horizontais (*Artrophycus harlani*, Caputo e Andrade (1968) e *Artrophycus lateralis* (fig. 24) de acordo com Nogueira *et al.* (2006) em superfícies endurecidas - *hardgrounds*, assim como em delgadas intercalações (5cm a 20cm) de arenitos finos a muito finos e siltitos com estratificação suavemente ondulada a horizontal. Rio abaixo, recobrimo a litofácies anterior, ocorrem arenitos finos, bem selecionados, com estratificações sigmoidais/tabulares apertadas, em sets de até 30cm (fig. 23).



Figura 23 – Barras arenosas de intermaré depositadas sobre substrato bioturbado.

Figure 23 – The intertidal sandy bars deposited on bioturbated substrate.



Figura 24 – *Hardground* com bioturbação horizontal – *Artrophycus harlani* (*lateralis*).

Figure 24 – The horizontal bioturbated hardground - *Artrophycus harlani* (*lateralis*).



Figura 25
Marcas de ondas (3D) sobre os sedimentos arenosos de intermaré (sentido 330°). Localmente com algumas ôndulas de interferência (65°).

Figure 25
The 3D wave ripple laminations on intertidal sandy sediments (direction 330°). Locally with some interference waves (direction 65°).

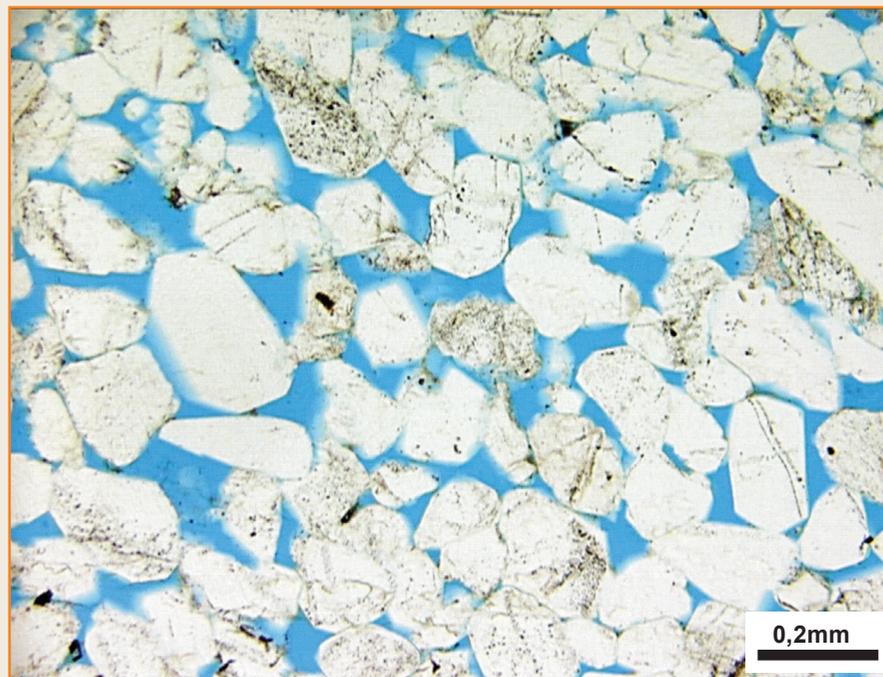


Figura 26
Arenito quartzoso fino, bem selecionado, com grãos arredondados a subarredondados e boa porosidade aparente (10% a 15% - estimativa visual).

Figure 26
Well selected, fine and rounded to subrounded quartz grained sandstone with good apparent porosity (10% to 15% - visual estimation).

Recobrimo o pacote sigmoidal, ocorrem arenitos com marcas onduladas, geralmente orientadas no mesmo sentido dos estratos tabulares (330°), algumas como ôndulas de interferência (65°) devido ao retrabalhamento ortogonal dos sedimentos - ação do vento sobre corpo aquoso muito raso (fig. 25).

Investigações petrográficas em amostras coletadas na parte mediana do afloramento mostram composição de arenito fino a médio, com boa porosidade, indicando grande possibilidade de existência de bons reservatórios no topo desta unidade (fig. 26).

Observações Importantes:

- feições características de ação de maré;
- ôndulas de interferência;
- níveis de *hardgrounds* bioturbados.

Ponto 5A: Formação Maecuru (Devoniano Inferior/Médio).

Localização: aproximadamente 500m a jusante da desembocadura do Furo Areião (fig. 8).

Arenito estratificado mostrando as mesmas características do arenito topo da Fm. Maecuru do ponto 3B (figs. 9 e 10). Neste ponto, verifica-se uma superfície de ravinamento com conglomerados, semelhante ao verificado no ponto 4 (fig. 27).

Observações Importantes:

- pavimento seixoso – *lag deposit*;
- interpretação estratigráfica desta superfície.

Figura 27

Pavimento seixoso próximo ao topo da Fm. Maecuru, interpretado como uma superfície de ravinamento transgressiva – WRS.

Figure 27

The cobble pavement near the Maecuru Formation top is interpreted as a wave ravinement surface – WRS.



Ponto 6: Formação Curiri (Devoniano Superior-Fameniano superior).

Localização: aproximadamente 200m a montante do trapiche da ITACIMPASA (antiga CAIMA) (fig. 8).

Coordenadas: 04° 21' 03" S e 56° 12' 02" W.

A Formação Curiri neste ponto é representada por folhelhos fraturados cinza-escuros com os icnofósseis

tipo *Spirophyton sp.* (*Zoophycus sp.*) (fig. 28) - bioturbações horizontais com formas helicoidais. Fósseis típicos da Fm. Curiri em outros locais, como *Protosalvinia spp.* são raramente encontrados aqui (fig. 28).

O ambiente é marinho com influência glacial, aqui inferido de outras áreas, já que os diamictitos, juntamente com folhelhos e siltitos que constituem a Formação Curiri, não ocorrem neste trecho do Rio Tapajós.

Observações Importantes:

- grau de fraturamento dos folhelhos;
- bioturbações características desta unidade.



Figura 28 – Folhelhos da Fm. Curiri, com icnofósseis de *Spirophyton sp.* e *Protosalvinia sp.*

Figure 28 – The Curiri Formation shale with *Spirophyton sp.* and *Protosalvinia sp.* ichnofossils.

Ponto 7 e 7A: Formação Barreirinha (Devoniano Superior).

Localização: Vila de Barreirinha (fig. 8).

Coordenadas: 04° 21' 23" S e 56° 10' 20" W.

A seção-tipo da Fm. Barreirinha foi inicialmente descrita neste ponto (fig. 29). Podem ser observados folhelhos cinza-escuros a pretos, com tasmanáceas (algas cianofíceas) e concreções carbonato-silicosas de até 2m de diâmetro (fig. 30).

Estas concreções geralmente apresentam um núcleo carbonático, frequentemente com estruturas *cone-in-cone*, circundado por sílica (fig. 31).

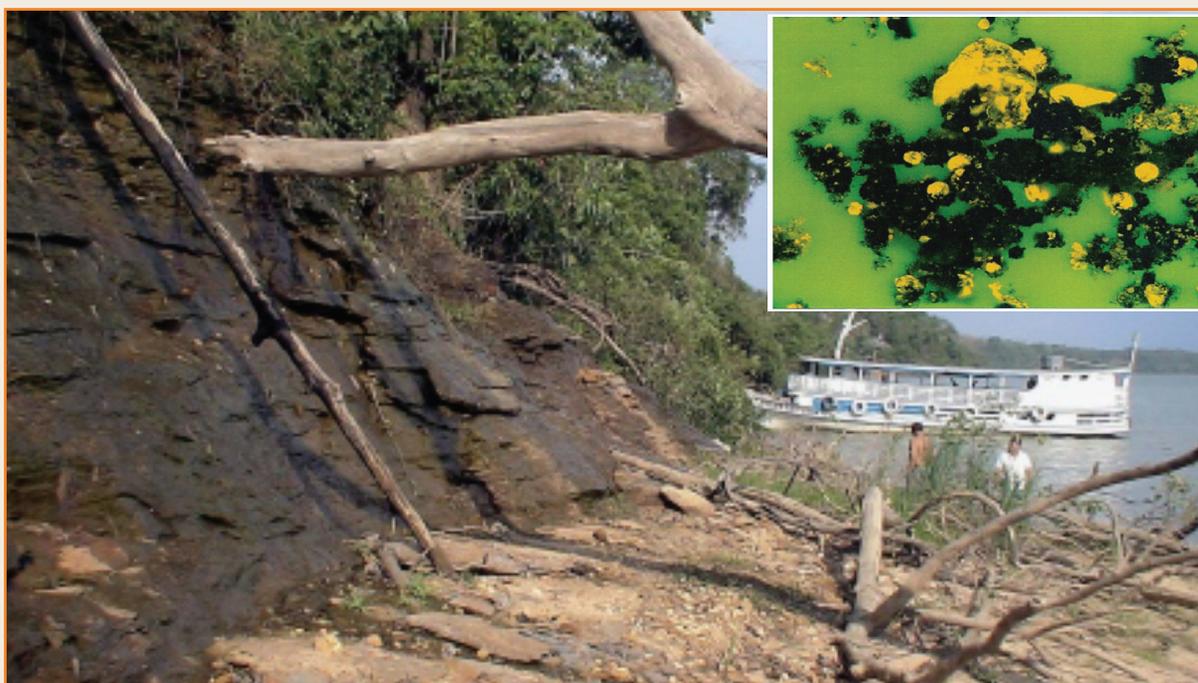


Figura 29
Folhelhos da Fm. Barreirinha, de idade Frasniano-Fameniano, ricos em matéria orgânica. No detalhe, matéria orgânica amorfa, de bom potencial gerador de HC.

Figure 29
The rich organic matter shale - Frasnian-Fammenian age of the Barreirinha Formation. Detail: the thin section of the amorphous organic matter showing good potential for hydrocarbon generation.

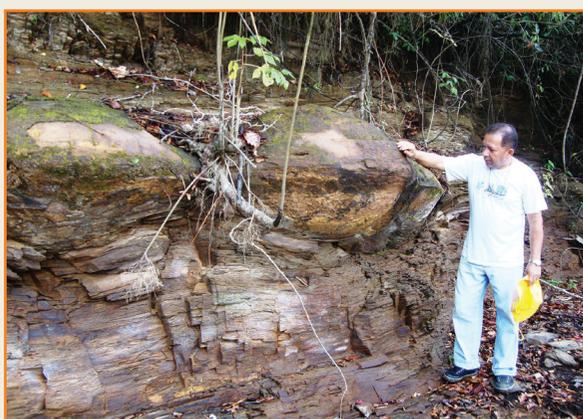


Figura 30 – Ponto 7A aproximadamente 1km à jusante do ponto anterior. Concreções carbonato-silíceas (até 2m de diâmetro), em folhelhos da Fm. Barreirinha.

Figure 30 – Point 7A, about 1km down river of the previous point. Large siliceous-carbonate concretions (up to 2m diameter) in shales of the Barreirinha Formation.

A coloração preta é devido ao alto conteúdo de matéria orgânica, preservada em resposta às elevadas condições de anoxia ocorridas durante a inundação devoniana. A matéria orgânica típica desta formação é a amorfa (fig. 29).

A superfície de inundação máxima (MFS) ocorre na base desta unidade (Eofrasniano a Mesofameniano) e corresponde ao pico mais elevado de radioatividade observado nos perfis de raios gama, dos poços 3-IT-02-PA e 1-PB-1-PA (fig. 50). Apresentam também baixos valores de densidade, baixa velocidade sônica e alta resistividade. Além destes critérios, estas superfícies (MFS) costumam apresentar baixas taxas de sedimentação (zona condensada), abundância de fósseis, bioturbações e mineralizações.



Figura 31
Detalhe das “mega-concreções”, com núcleo carbonático, rico em estruturas cone-in-cone, e auréola externa silícea.

Figure 31
Detail of the “mega-concretions” with carbonate nucleus, rich in cone-in-cone structures, and external siliceous halo.

O teor de carbono orgânico total destes folhelhos pode atingir 10%. Assim, são as melhores rochas geradoras de petróleo na Bacia do Amazonas, juntamente com as rochas cronocorrelatas da Bacia do Solimões.

A superfície de inundação máxima marca o final da transgressão da linha de costa, separando estratos retrogradantes (depósitos transgressivos) abaixo de estratos prográdantes (regressivos normais de mar alto) acima.

Observações Importantes:

- composição e textura dos folhelhos geradores;
- mega-concreções carbonato-silicosas;
- estruturas *cone-in-cone* nas concreções.

Ponto 8: Formação Ererê (Devoniano Médio).

Localização: Desembocadura do Rio Itapacurá-Açu (fig. 8).

Coordenadas: 04° 23' 21" S e 56° 05' 15" W.

Neste afloramento ocorrem arenitos muito finos e siltitos amarelados a avermelhados (fig. 32). As camadas

estão bastante deformadas e muito intemperizadas. Além de um pequeno anticlinal com caimento para sul, também aparecem camadas com mergulhos variando de 35° a 40° para sul. Interpreta-se que as feições deformadas deste ponto são resultantes de intrusões de diabásios. Análises efetuadas em amostras petrográficas constataram minerais de origem vulcânica, corroborando a interpretação original. O eixo da pequena dobra tem direção N270°, a mesma direção que se observa no afloramento dos folhelhos da Fm. Barreirinha, com base na análise das clivagens de fraturas.

Observações Importantes:

- sedimentos deformados;
- oxidação dos sedimentos.

Ponto 9: Formação Ererê, (Devoniano Médio).

Localização: à jusante da foz do Rio Itapacurá-Açu (fig. 8).

Coordenadas: 04° 23' 00" S e 56° 04' 34" W.

Neste afloramento (fig. 33) são observados arenitos muito finos e siltitos avermelhados a acinzentados,

Figura 32

Sedimentos da Fm. Ererê deformados e oxidados por efeito de intrusão ígnea (diabásio).

Figure 32

The deformed and iron oxidized Ererê Formation sedimentary rocks caused by volcanic intrusions (diabase).

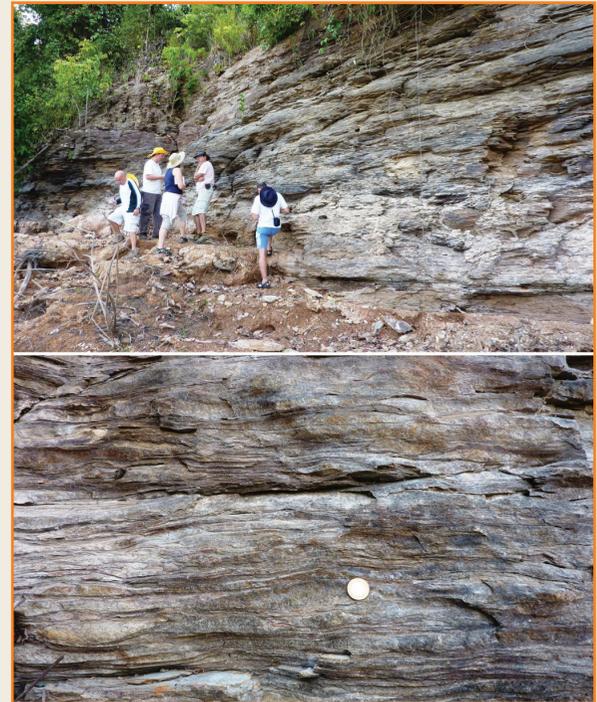


Figura 33 – Afloramento da Fm. Ererê, porção superior, com estruturas do tipo wavy (predominantes no topo do afloramento) e linsen (predominantes na base do afloramento).

Figure 33 – Typical sedimentary rock from the Ererê Formation with wavy structures (predominantly on top of outcrop) and, linsen (predominantly at the base of outcrop).

em parte interlaminados com folhelhos, com estratificação *wavy* e *linsen*, estaqueados em parassequências. Bioturbações horizontais, concreções de pirita e sílica similares as do ponto 7A também podem ser observadas.

O perfil sedimentológico no afloramento mostra um incremento para o topo da razão arenito-folhelho, indicando uma diminuição progressiva do espaço de acomodação em virtude da chegada progressivamente mais intensa de areias neste sítio deposicional. A associação desta litofácies com folhelhos marinhos contendo braquiópodes é sugestiva de barras de plataforma dominada por ondas.

O intervalo em questão corresponde à porção superior da Fm. Ererê e, pelo seu caráter regressivo, é interpretado como representante de parte do trato de mar alto (HST), representado na figura 50.

Observações Importantes:

- razão arenito/folhelho;
- estruturas sedimentares;
- concreções.

Ponto 10: Formação Monte Alegre (Carbonífero Superior)

Localização: Vila Maloquinha (fig. 8).

Coordenadas: 40 18' 56,18" S e 56° 04' 13,78" W.

Este afloramento, com aproximadamente 300m de comprimento, consiste em arenitos brancos com estratificações cruzadas de alto ângulo (em torno de 35°) em sets espessos (com sentidos leste e noroeste) separados por superfícies de reativação (fig. 34). Os arenitos são constituídos por grãos arredondados, finos a médios, bimodais, com boa seleção nas

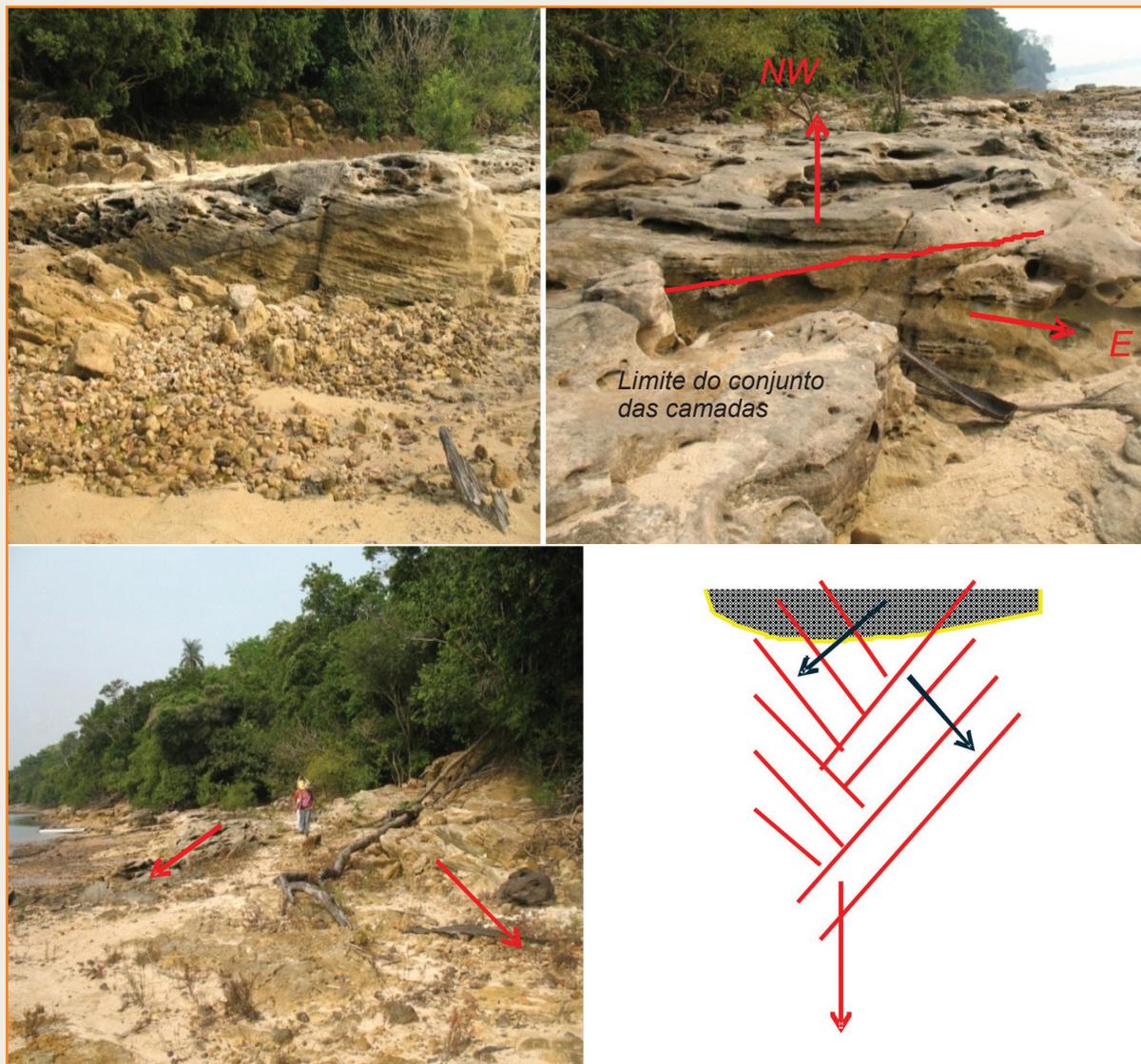


Figura 34

Depósitos de dunas eólicas do tipo *seif* interpretadas a partir da dupla orientação dos *foresets*.

Figure 34

Aeolian seif dunes deposits interpreted based on the double foreset orientation.

lâminas individuais, e excelente permoporosidade (19,4% de porosidade e 1,2 Darcy de permeabilidade, segundo o resultado da análise feita numa amostra coletada neste ponto (fig. 35).

Estes arenitos são interpretados como depósitos eólicos, do tipo dunas *seif*, onde ocorrem variações bruscas no sentido dos ventos. Em termos de elementos arquiteturais, estes corpos arenosos basais apresentam uma forma alongada, com vários metros de altura, orientados paralelamente à direção de vento predominante (norte-sul). Observar as características texturais e estruturais, como bimodalidade dos grãos, pseudonódulos (aparentemente de evaporitos), estratificações cruzadas de grande porte com *sets* tangenciais na base, marca de escorregamento, entre outros.

Os arenitos eólicos da Formação Monte Alegre são as principais rochas-reservatório de petróleo na Bacia do Amazonas. Ocorrências significativas de óleo e gás nesta unidade são reportadas nas áreas da Plataforma de Manaus, Rio Abacaxis e Maués (fig. 3). Na base da Fm. Monte Alegre registra-se um hiato decorrente de erosão (SU) com amplitude aproximada de 15 Ma, equivalente à Orogenia Ouachita (Eoherciniana), que não se encontra visível neste caminamento.

Observações Importantes:

- sentido de mergulho (bidirecional) dos estratos;
- maturidade textural e mineralógica dos arenitos;
- bimodalidade textural.

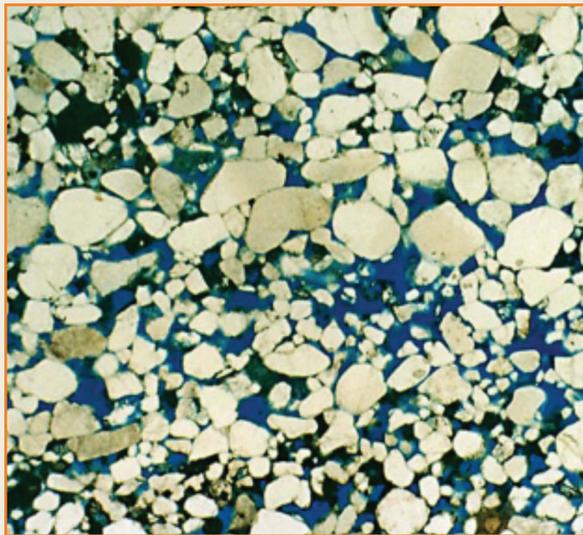


Figura 35 – Arenito eólico da Fm. Monte Alegre, bimodal, com ótimas características permo-porosas.

Figure 35 – The Monte Alegre Formation bimodal aeolian sandstone showing excellent permoporosity characteristics.

Ponto 10A: Formação Monte Alegre (Carbonífero Superior)

Localização: aproximadamente 300m a jusante da Vila Maloquinha (fig. 8).

Coordenadas: 4° 18' 22,65" S e 56° 03' 48,68" W.

Neste ponto, arenitos eólicos do topo da Formação Monte Alegre estão em contato com depósitos marinhos de *foreshore* (fig. 36), representados por arenitos quartzosos, oxidados, com estratificação cruzada de baixo ângulo (praias).

Caracterizam uma transgressão marinha sobre depósitos continentais em contínua subsidência. A partir deste ponto, em direção ao centro da bacia, aparecem os primeiros depósitos carbonáticos representados por lentes de dolomitas amareladas, encimadas por arenito fino a médio (fig. 37). Estas dolomitas são o registro de eventos de *hardground* (formados em siliciclastos durante períodos de bacia faminta), originados durante as rápidas retrogradações em ambiente marinho-raso.

A partir deste ponto os depósitos são essencialmente subaquosos.

Observações Importantes:

- contato abrupto entre litologias;
- tipo de estruturas sedimentares;
- ocorrência de lentes carbonáticas, dolomitizadas, juntamente com arenitos.



Figura 36 – Arenitos oxidados com estratificação cruzada de baixo ângulo. Representam as primeiras ingressões marinhas no “deserto” Monte Alegre. A linha vermelha marca a superfície de máxima regressão (MRS).

Figure 36 – The oxidized sandstone with low angle cross stratification. This outcrop represents the first marine ingressão onto the Monte Alegre desert. The red line marks the maximum regressive surface (MRS).



Figura 37 – Parasequências formadas por dolomitas e arenitos (linha azul representa o contato entre estas duas litologias). Localmente, arenitos sobrepostos a dolomitas são injetados em depressões originadas por bioturbações (*burrows*).

Figure 37 – The parasequences are formed by dolomites and sandstone (the blue line represents the contact between these two lithologies). Locally, overlying sandstones are piped into burrow-fills.

Ponto 11: Formação Monte Alegre (Carbonífero Superior).

Localização: Desembocadura do Igarapé Iricuri, aproximadamente 600m a jusante do ponto 10 (fig. 8).

Coordenadas: 4° 17' 56,62" S e 56° 03' 16,63" W.

Neste ponto afloram arenitos amarelados, com lentes de *mudstone* creme (fig. 38). Nestes arenitos também ocorrem dolomitas, peloides micríticos e oólitos, como os descritos em testemunhos da porção superior da Formação Monte Alegre na transição para a Formação Itaituba do poço PB-1-PA (fig. 50).

O ambiente deposicional interpretado é litorâneo (praia) a marinho-raso e corresponde à base do trato de sistema transgressivo carbonífero (figs. 9 e 50). As lentes de *mudstones* dolomitizados, bioturbados a *skolithos*, indicam as primeiras ingressões marinhas (WRS) (fig. 39).



Figura 38 Lentes de *mudstones* em arenitos litorâneos, representando as primeiras ingressões marinhas nesta posição da bacia.

Figure 38 The *mudstones* lenses in coastal sandstones represent the first marine ingression in this part of the basin.

Observações Importantes:

- sistema híbrido arenitos/carbonatos;
- nível intensamente bioturbado à *skolithos*.

Ponto 12: Formações Monte Alegre e Itaituba (Carbonífero Superior).

Localização: Paredão da Caixa d'água do 53° BIS (fig. 8).

Coordenadas: 04° 17' 22" S e 56° 01' 55" W.

Este afloramento é um bom exemplo de associação clástico-carbonato. São intercalações de carbonatos e terrígenos da transição das formações Monte Alegre e Itaituba. O afloramento de aproximadamente 1km de



Figura 39 – Superfície de ravinamento transgressivo (WRS), “pavimentada” por bioturbações do tipo *skolithos* sp. Observar as bioturbações em planta e em perfil (tubos verticais).

Figure 39 – The transgressive ravinement surface (WRS), paved by *skolithos* sp. ichnofacies. See the bioturbation on plant (small holes) and profile (vertical tubes).

comprimento e 12m de altura consiste em 3 partes, vistas parcialmente na figura 40.

Ao longo deste afloramento podem ser identificadas seis litofácies descritas:

O ponto 12A consiste em estratos (± 40 cm) de dolomito amarelado, duro, poroso (litofácies FDF - fácies dolomito fossilífero - fig. 41), sobrepostos a uma camada de arenito e/ou siltito, de coloração esverdeada. Arenito fino a médio está disperso no pacote, assim como fósseis de gastrópodes pouco fragmentados são observados nas partes superiores de cada estrato. Também ocorrem nódulos silicificados e calcitizados, aparentemente formados pela transformação diagenética de evaporitos (anidrita nodular). Caracteriza um ambiente lagunar restrito.

O ponto 12B é representado pela litofácies FCB (fácies calcarenítico-bioclástico) (fig. 42) e FAS (fácies



12A



12B



12C

Figura 40 – Vista geral dos pontos 12A (carbonatos dolomitizados a gastrópodes), 12B (arenitos de barra de desembocadura com influência de maré) e 12C (tidal flat arenoso).

Figure 40 – General view of points 12A (dolomitic carbonate with gastropods fossils), 12B (mouth bar sandstone with tidal influence) and 12C (tidal flat sandstones).

arenito com estratificações sigmoidais). A litofácies FCB ocorre na parte basal e mediana do afloramento. Consiste em *grainstones* e *packstones* de cor creme a cinza-esverdeada, bioclásticos (braquiópodes, moluscos, foraminíferos aglutinantes, crinoides, briozoários,



Figura 41
Parasequências carbonáticas intensamente dolomitizadas. Ambiente "marinho restrito".

Figure 41
Intensively dolomitized carbonate parasequences. "Restricted marine" environment.

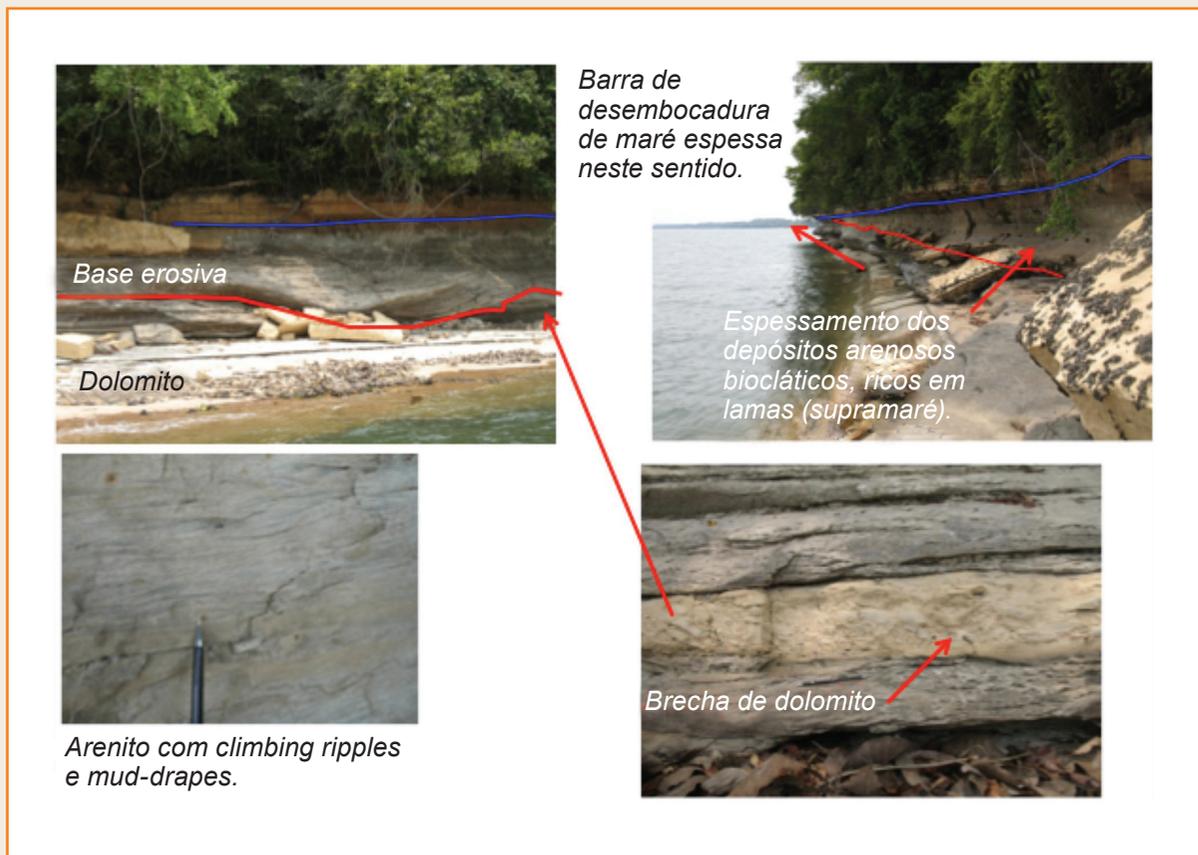


Figura 42
Delta de maré (*tidal mouth bar*) arenoso, rico em *climbing ripples*, com base erosiva (brecha carbonática). Sobre estes depósitos ocorre um contato abrupto (superfície transgressiva, em azul) com dolomitos marinhos, bioturbados. Lateralmente, está em contato abrupto com depósitos arenosos de *tidal flat*, com abundantes gretas de contração e *flaser structures*.

Figure 42
The *climbing ripples* tidal delta (*tidal mouth bar*) sandstone showing erosive basal contact (carbonate breccia). On top of this deposit is an abrupt contact (transgressive surface, in blue) with marine bioturbated dolomites. Laterally it shows an abrupt contact with the *tidal flat* sandstones with abundant mud cracks and *flaser structures*.

etc) com estruturas estilólíticas realçadas por filmes de argila esverdeada. São interpretados como de origem marinho-rasa. A litofácies FAS é formada por arenitos cinza-claros, muito finos, com estratificações sigmoidais, apresentando internamente laminações cruzadas

clino-ascendentes (*climbing ripples*) e, localmente, laminações plano-paralelas e estratificações cruzadas tabulares. Ocorrem como bancos arenosos, com espessura em torno de 20cm, truncados por superfícies de reativação levemente onduladas. Localmente, os

arenitos podem apresentar-se maciços, devido à fluidização. Concreções de pirita são frequentes. Lâminas argilosas, localmente retrabalhadas como intraclastos, ocorrem em depressões – *lag deposits*.

Na parte oeste do afloramento ocorrem lentes de *mudstone* creme em depressões posicionais entre as sigmoides, sugerindo *megaflasers* com *teepees*, gretas e brechas de ressecamento. Essa litofácies apresenta geometria lenticular e acunha lateralmente, em ambas as direções, ao longo do afloramento. O contato com a litofácies FCB, subjacente, é abrupto e erosivo localmente. Com base nas estruturas sedimentares presentes e na geometria espacial, interpreta-se uma deposição a partir de suspensão siliciclástica, sob a forma de lobos sigmoidais de *tidal mouth bar*.

No ponto 12C ocorrem as litofácies FAG (fácies arenito com gretas de contração), FDA (fácies dolomito arenoso), FDE (fácies dolomito evaporítico) e FMF (fácies *mudstone* dolomitizado fossilífero).

A litofácies FAG ocorre discordantemente sobre a unidade anterior e espessa-se para nordeste, como compensação deposicional ao adelgaçamento da litofácies FAZ. (figs. 42 e 43). Compõe-se de arenitos róseos, muito finos a finos, cimentados, contendo peloides de micrita. Nas calhas entre os bancos ocorrem *flasers* de folhelho e gretas de contração côncavas para cima (*curled rip-up clasts*). Estes sedimentos são típicos de planícies arenosas a lamosas de maré, adjacentes aos lobos deltaicos da fácies FAS (fácies arenito com estratificações sigmoidais). Esta última, neste ponto, encontra-se na base do afloramento e consiste de arenito muito fino, quartzoso, feldspático, argiloso e pouco poroso (fig. 43).

A litofácies FDA (fácies dolomito arenoso) recobre as litofácies FAS e FAG e compreende duas faixas de dolomitos recristalizados, arenosos, que gradam a arenitos também alaranjados, muito finos, dolomíticos (fig. 43), contendo frequentes nódulos de evaporitos atualmente silicificados e calcitizados (fig. 44). Resultam de deposição em ambiente marinho-raso, restrito, transgressivos sobre os terrígenos subjacentes.

A litofácies FDE (fácies dolomito evaporítico) encontra-se intercalada a litofácies FDA (fácies dolomito arenoso) e consiste em dolomito finamente recristalizado blocoso, afossilífero, argiloso, esverdeado, contendo nódulos silicificados e calcitizados, provavelmente produto diagenético de evaporitos (fig. 45). Esta camada corresponde ao máximo ressecamento com deposição de dolomitas tipo *sabkha*.

A litofácies FMF (fácies *mudstone* dolomitizado fossilífero) ocorre no topo do afloramento e recobre as demais litofácies presentes. É constituído por *mudstone* dolomitizado creme-claro, fossilífero e bioturbado. Devido ao caimento para leste, esta litofácies aflora ao nível do rio, próximo ao ponto 13.

No ponto 12C, paredão do 53BIS, o sistema clástico terrígeno faz sua derradeira incursão na área, onde se observa uma associação típica de maré, representada por arenitos finos sigmoidais (*tidal mouth bars*), arenitos ricos em *clay ships* argilosos (*sandflat*) e argilas com nódulos evaporíticos (*mudflat*) sobrepostos por carbonatos marinhos da Fm. Itaituba.

A superfície de inundação máxima (MFS) desta sequência ocorre, provavelmente, em algum ponto entre este afloramento e o ponto 14 (Pedreira

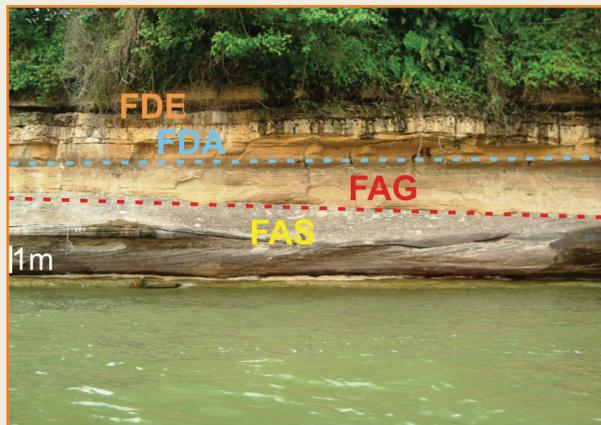


Figura 43 – Empilhamento das fácies dos pontos 12B e 12C, mostrando o acunhamento lateral (compensação deposicional) da fácies FAG. À direita, gretas de contração, em ambiente de *tidal flat*.

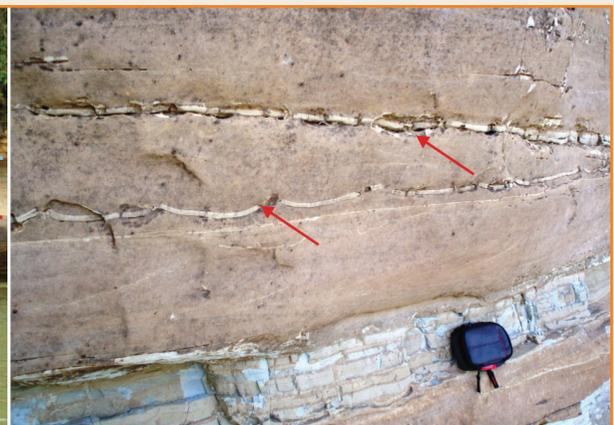


Figure 43 – The stacked facies of points 12B and 12C showing the lateral wedging (depositional compensation) of the FAG facies. On the right, mud cracks in the tidal flat environment.



Figura 44 – Fácies FDA, rica em moldes de bioturbações (*Arenicolites* sp. - seta, *Ophiomorpha* isp. e *Diplocraterium* isp.), preenchidos por calcita e sílica. À direita, fóssil de Orthoconic ammonite.



Figure 44 – The FDA facies are rich in bioturbation molds (*Arenicolites* sp. - arrow, *Ophiomorpha* isp. and *Diplocraterium* isp.) filled with calcite and silica. On the right, an Orthoconic ammonite fossil.

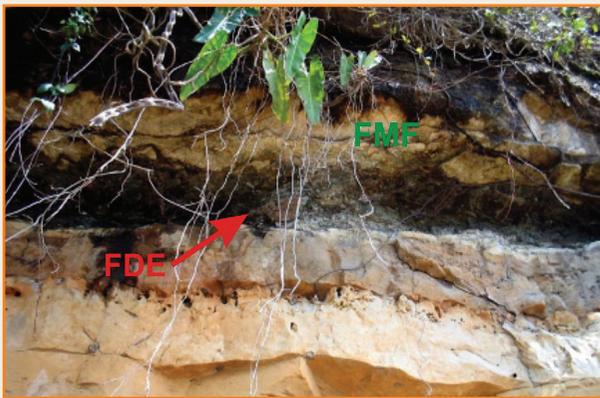


Figura 45 – Fácies dolomito evaporítico (FDE), sotoposta a fácies FMF (fácies *mudstone* dolomitizado fossilífero). Em detalhe, à direita, a fácies FDE com nódulos silicosos, produto de transformação diagenética de evaporitos (anidritas?).



Figure 45 – The (FDE) evaporitic dolomite facies overlapping fossiliferous dolomitised mudstone facies) FMF. Detail: on the right, the FDE facies showing diagenetic siliceous nodules. Is it the product of evaporites diagenetic transformation? (Anhydrites?).

Calminas), caracterizado por depósitos carbonáticos de mar alto (HST).

Observações Importantes:

- carbonatos de ambiente restrito X ambiente marinho;
- geometria e estruturas sedimentares de um delta de maré;
- *tidal flat* arenoso.

Ponto 13: Formação Itaituba (Carbonífero Superior).

Localização: Travessia do linhão de energia elétrica, margem esquerda do Rio Tapajós (fig. 8).

Coordenadas: 04° 17' 22" S e 56° 01' 55" W.

Este ponto (fig. 46) situa-se, aproximadamente, a 300m rio abaixo do afloramento anterior. Compõe-se

de *wackestones* e *packstones* creme-claros, dolomitizados, bastante diaclasados, fossilíferos, com bioturbações verticais silicificadas e calcitizadas possivelmente como produtos da transformação de evaporitos. Fóssis de amonoides são comuns. A orientação das fraturas destes blocos é diferente dos outros pontos. Neste caso, admite-se que as fraturas estão associadas à neotectônica e têm direção N-S e L-O.

Ponto 14: Formação Itaituba (Carbonífero Superior).

Localização: Mina de calcário da CALMINAS (fig. 8).

Coordenadas: 4° 09' 25,79"S e 55° 45' 50,93"W.

O ponto consiste de cortes de lavra em pedreiras de extração de calcários para fabricação de correativos

Figura 47

Vista parcial da mina da Calminas. Alternância de camadas claras (dolomitizadas) e escuras (argilosas) de aproximadamente 40cm de espessura, subhorizontais. Nesta pedreira foram verificadas quatro camadas de dolomitas de coloração amarelada altamente porosas, devido à bioturbação (artrópodos?). Os vugs podem medir mais de 30cm.



Figure 47

Partial view of the Calminas carbonate quarry. The subhorizontal alternation of clear (dolomitized) layer and dark (argillaceous) layer is about 40cm thick. In this quarry four layers of very porous yellow color dolomite were observed, strongly bioturbated (arthropods?). The vugs can measure more than 30cm.



Figura 46 – Wackestones e packstones, fossilíferos, com padrão de diáclases com influência de neotectônica, pois difere das rochas mais antigas. As diáclases têm direção N-S e L-O.

Figure 46 – The fossiliferous wackestones and packstones displaying a joint pattern the result of neotectonic activity as they differ from the older rocks. The orientation of these joints are in a N-S and W-E direction.

de solo. A mina em questão pertence à companhia Calminas, situada, aproximadamente, 20km à jusante da cidade de Itaituba, no Rio Tapajós.

Podem ser observadas duas pedreiras novas, com frente de lavra medindo aproximadamente 15m de

altura (fig. 47). As rochas são compostas de calcários fossilíferos packstones (fig. 48), wackestones e mudstones típicas dos carbonatos do Paleozoico. Datações utilizando conodontes efetuadas na UFRGS indicam idade Atokano (Carbonífero médio). No corte pode-

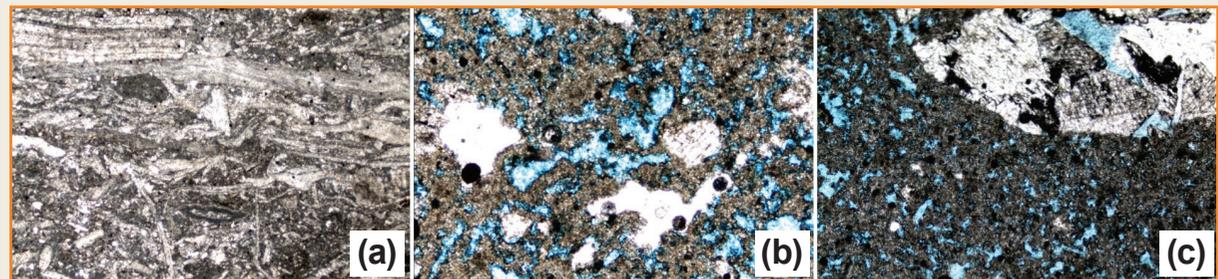


Figura 48 – Fotomicrografia das principais texturas carbonáticas encontradas na pedreira Calminas. (a) packstones fossilíferos contendo brachiopodes, fusulinídeos e briozoários. 5x, //; (b) Dolomito recrystalizado representativo do horizonte altamente poroso. As manchas brancas são, possivelmente, pseudomorfos de evaporitos ou vug, formado por bioturbação. 5x, //; (c) Dolomito recrystalizado poroso bioturbado preenchido por calcita (dolomita?) espática, 2,5x, //.

Figure 48 – The thin section photomicrography shows the typical textures from the Calminas quarry carbonates. (a) – The fossiliferous packstones full of bioclasts of brachiopods, fusulinids and bryozoans. 5x, //; (b) – The recrystallized dolomite representative of highly porous horizons. The white dots are possibly evaporite pseudomorphs or a vug formed by bioturbation. X, //; (c) The porous bioturbated recrystallized dolomite filled by sparry calcite (dolomite?). 2,5x, //.

se observar um padrão de acamamento horizontal, intercalando níveis de calcários e de dolomitas (fig. 47). As camadas são bastante fossilíferas, com abundantes braquiópodes e briozoários (fig. 48). Observam-se, ainda, pelo menos quatro horizontes de dolomitos bastante porosos (figs. 47 e 48), similares aos encontrados no poço PB-1-PA perfurado nas imediações. Poros aparentemente alargados do tipo vugular a cavernas podem ser vistos em blocos rolados ou nas paredes. Fraturas subverticais, quando presentes, aumentam consideravelmente o potencial de rocha-reservatório.

A alternância de camadas claras e escuras pode representar variações climáticas, com fases úmidas (cinza-escuro) e de maior aridez (camadas claras).

Ponto 15: Aluviões (Quaternário)

O Rio Tapajós é formado pela conjunção dos rios Juruena e Teles Pires. O primeiro nasce nas encostas da Chapada dos Parecis e o segundo nas encostas da Serra Azul, ambas situadas no Estado de Mato Grosso. Com a denominação de Tapajós, esse rio corta a Bacia do Alto Tapajós e as rochas ígneas do Escudo Brasileiro até atingir a borda sul da Bacia do Amazonas, à altura de São Luís do Tapajós. Ao se aproximar da bacia paleozoica, o rio tem um padrão retilíneo com corredeiras e, já dentro da bacia, canais e barras de chute (laterais ao rio) (fig. 3). Rio abaixo, a partir da Ilha Goiana, ocorrem várias barras em pontal de grande extensão, recobertas parcialmente por depósitos de inundação e vegetação (fig. 49). Essas barras são formadas por lençóis de ondas de areia grossa (*sand waves*), com espaçamento de 10m a 15m entre as cristas (fig. 49), fato inédito em exemplos de rios meandranes, segundo Castro (1984).

considerações finais

A análise sequencial dos sedimentos paleozoicos expostos na margem sul da Bacia do Amazonas propicia uma ótima oportunidade para a aplicação dos conceitos de Estratigrafia de Sequências.

Além dos grandes hiatos deposicionais (orogenias Caledoniana, Acadiana e Eoherciniana), facilmente identificados ao longo do caminhamento. A partir do reconhecimento dos padrões de empilhamento sedimentar, podem ser identificadas todas as demais superfícies postuladas pela Estratigrafia de Sequências, com maior ou menor grau de certeza, uma vez compreendida a interação entre espaço de acomodação e sedimentação.

As figuras 9 e 50 esboçam o caminhamento dos afloramentos visitados e o seu empilhamento vertical, com ênfase nas superfícies identificadas.

agradecimentos

Aos colegas da Unidade de Operações de Exploração e Produção da Amazônia, Luiz Carlos Nunes Farias, pelos frequentes apoios nas excursões realizadas anualmente, e Fernando Augusto Costa do Amaral Carneiro, pela edição das figuras.

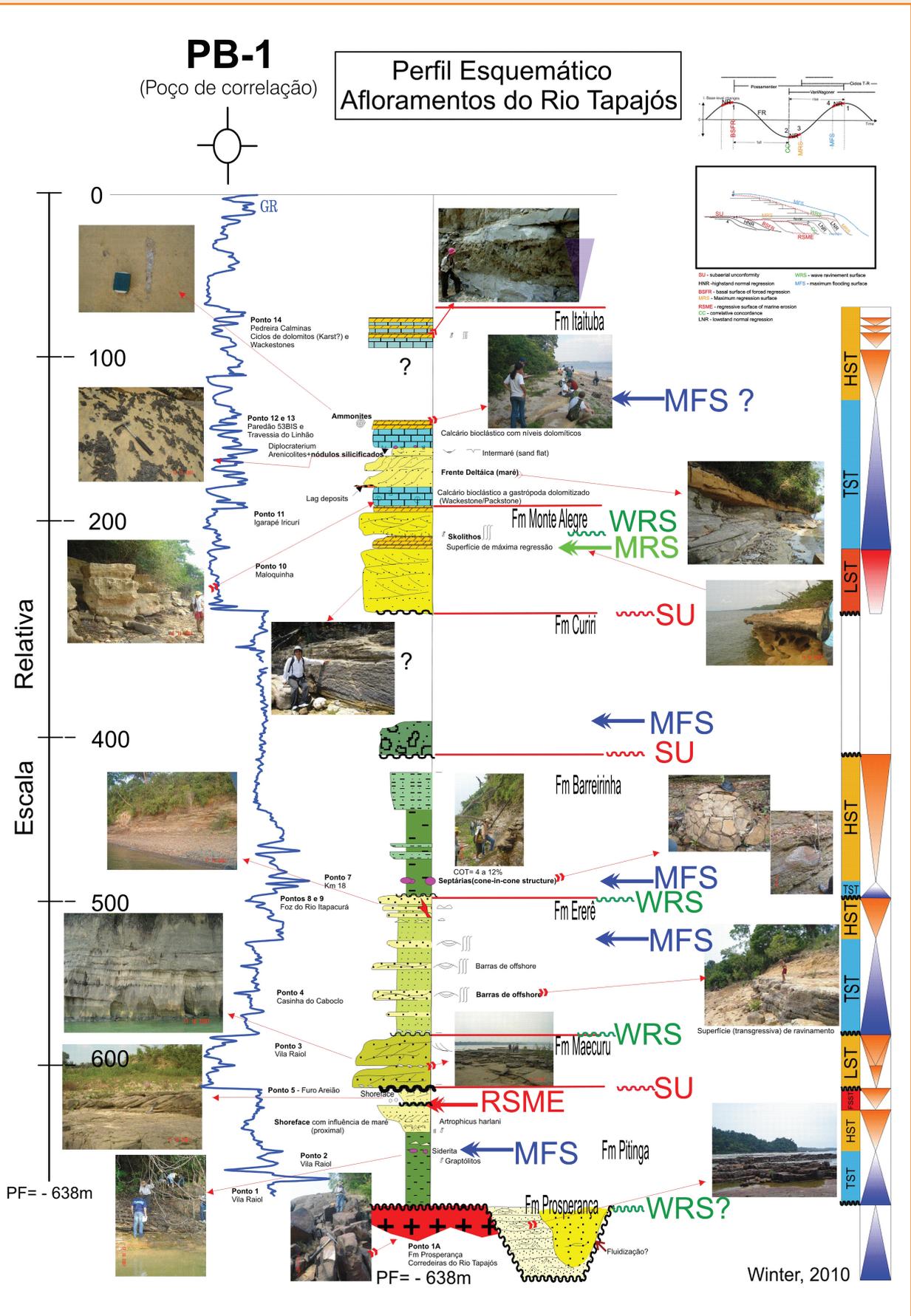


Figura 49 – Sedimentos recentes do Rio Tapajós. Barras arenosas (*sand waves*) localmente cobertas por vegetação (mais antigas). A e B – Foto Mariano Stamato, 1984.

Figure 49 – The recent sediments from the Tapajós River composed of sand bars (*sand waves*) locally covered by vegetation (older). A and B – Photo Mariano Stamato, 1984.

Figura 50
Padrão de estaqueamento dos sedimentos (trends deposicionais) aflorantes no caminhamento do Rio Tapajós e principais superfícies hiatais.

Figure 50
The sedimentary outcrops stacking pattern (depositional trend) visited along the Tapajós River course with the main hiatus surfaces.



referências bibliográficas

- ALTINER, D.; SAVINI, R. R. Pennsylvanian foraminifera and biostratigraphy of the Amazonas and Solimões basins (North Brazil). Montpellier. **Revue de Paleobiologie**, v.14, p. 417-453, 2003.
- BARRILARI, I. M. R. **Resultados das análises dos testemunhos da Companhia Agroindustrial de Monte Alegre (CAIMA), Bacia do Amazonas**. Belém: Petrobras/DEXNOR, 1995. Nota Técnica SELAG 02/95.
- BECKER, C. R. **Estratigrafia de Sequências aplicada ao Permocarbonífero da Bacia do Solimões, Norte do Brasil**. 1997. 334 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Porto Alegre, 1997.
- CACELA, A. S. **Estratigrafia de Sequências do Sistema Clástico-Carbonático, Pensilvaniano da Região de Itaituba, Pará**. 2004. Trabalho de Conclusão de Curso TCC (Graduação) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Colegiado de Geologia, Belém, 2004.
- CAMPOS, J. N. P.; TEIXEIRA, L. B.; WANDERLEY FILHO, J. Movimentos tectônicos rotacionais terciários na Bacia do Baixo Amazonas. In: SEMINÁRIO DE TECTÔNICA DA PETROBRAS, Rio de Janeiro, 1987. **Anais...** Rio de Janeiro: Petrobras/Depex, 1987, p. 54-76.
- CAMPOS, J. N. P.; TEIXEIRA, L. B. Estilo tectônico da Bacia do Baixo Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988, Belém. **Anais...** Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, 1988. p. 47-50.
- CAPUTO, M. V.; ANDRADE, F. G. **Geologia em semi-detalle do flanco sul da Bacia Amazônica, entre os rios Cupari e Abacaxis**. Belém: Petrobras/RENOR, 1968.
- CASTRO, J. C. **Roteiro de campo do Paleozoico do Rio Tapajós**. Rio de Janeiro: Petrobras/Cenpes, 1984. 16 p.
- CASTRO, J. C.; EIRAS, J. F.; CAPUTO, M. V. Paleozoico do Rio Tapajós. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Belém, 1988. **Roteiro das excursões...** Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, 1988. p. 27-44.
- CHEN, Z. Q.; TAZAWA, J.; SHI, G. R.; MATSUDA, N. S. Pennsylvanian (Carboniferous) brachiopods from the Itaituba Formation of the Amazon Basin, Brazil. **Alcheringa**, v. 28, n. 2, p. 441-468, 2003.
- CORDANI, U. G.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A.; PORTO, R.; THOMAZ FILHO, A.; CUNHA, F. M. B. **Estudo preliminar do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras**. Rio de Janeiro: Petrobras/Cenpes/Sintep, 1984. 70 p. (Série Ciência Técnica Petróleo. Seção: Exploração de petróleo, n. 15).
- COUTINHO, L. F. C.; GONZAGA, F. G. **Evolução tectonossedimentar e termal da Bacia do Amazonas**. Belém: Petrobras/Dexnor, 1994. 110 p.
- COUTINHO, L. F. C. **Mapa do embasamento da Bacia do Amazonas, com base em poços e contorno sísmico**. Belém: Petrobras/Dexnor, 1995.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Projeto Calcário Itaituba**. Belém: CPRM-SUREG, Convênio DNPM-CPRM, Programa Polamazônia, 1976. Mapa geológico, folha SB-21-X-A-III, escala 1:100.000.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Projeto CAIMA**. Manaus: CPRM-SUREG, s. d. Anexo I: perfil de sondagem e descrição do poço 3IT-02-PA.
- CUNHA, P. R. C.; GONZAGA, F. G.; COUTINHO, L. F. C.; FEIJÓ, F. J. Bacia do Amazonas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 8, n. 1, p. 47-55, 1994.
- EIRAS, J. F.; BECKER, C. R.; SOUSA, E. M.; GONZAGA, F. G.; SILVA, J. G. F.; DANIEL, L. M. F.; MATSUDA, N. S.; FEIJÓ, F. J. Bacia do Solimões. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 8, n. 1, p. 17-45, 1994.
- GONZAGA, F. G.; GONÇALVES, F. T. T.; COUTINHO, L. F. C. Petroleum Geology of the Amazon Basin, Brazil: modeling of hydrocarbon generation and migration. In: MELO, M. R.; KATZ, B. J.(Ed.). Petroleum Systems of South Atlantic Margins. **AAPG Memoir**, v. 73, p. 159-178, 2000.

- LEMOS, V. B. **Assembléias de Conodontes do Carbonífero da Bacia do Amazonas**. 1990. 259f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1990.
- LEMOS, V. B. Conodontes do Carbonífero das Bacias do Amazonas e Solimões: Taxonomia Parte I. Porto Alegre: UFRGS/ Instituto de Geociências. **Pesquisas**, v. 19, n. 1, p. 75-93, 1992.
- LEMOS, V. B. Conodontes do Carbonífero das Bacias do Amazonas e Solimões: Taxonomia Parte II. Porto Alegre: UFRGS/ Instituto de Geociências. **Pesquisas**, v. 19, n. 1, p. 120 - 131.
- LEMOS, V. B.; MEDEIROS, R. A. Transgressões e Regressões Cíclicas e Ocorrência de Conodontes no Morrowano e Atokano na Bacia do Amazonas. In: SIMPÓSIO DE MARCOS ESTRATIGRÁFICOS, 2., Curitiba, PR, 1989. **Anais...** Curitiba: SBP, 1989, v. 2, p. 961 - 969.
- LEMOS, V. B.; AVILA, R. M. O Limite Morrowano/ Atokano na Bacia do Amazonas, Brasil, com base em Conodontes. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1-4, p. 165-173, 1996.
- MATSUDA, N. S. **Carbonate sedimentation cycle and origin of dolomite in the Lower Pennsylvanian intracratonic Amazon Basin, Northern Brazil**. 2002. 223 p. Master Thesis – University of Tokyo, Department of Earth and Planetary Science, Tokyo, Japan, 2002.
- MOURA, P. A. Reconhecimentos geológicos do Vale do Tapajós. **Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico**, v. 67, p. 1-53, 1932.
- PECTEN DO BRASIL SERVICOS DE PETROLEO LTDA. **Middle Amazon Basin Structure Map of Barreirinha Shale Devonian**. Rio de Janeiro, 1983. Escala 1:1.000.000.
- SCOMAZZON, A. K. **Estudo de Conodontes em carbonatos marinhos do Grupo Tapajós, Pensilvaniano Inferior a Médio da Bacia do Amazonas com aplicação de isótopos de Sr e Nd neste intervalo**. 2004. 294 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- SILVA, O. B. **Ciclicidade sedimentar no Pensilvaniano da Bacia do Amazonas e o controle dos ciclos de sedimentação na distribuição estratigráfica dos conodontes, fusulinídeos e palinóforos**. 1996. 331f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Porto Alegre, 1996.
- TILLEMENT, B.; BOELLMANN, F. **Tapajos geological field survey**. Rio de Janeiro: BRASELFA, 1982. (Middle Amazon basin risk contract áreas, ACS. 91/92)
- TORRES, A. M. **Litofácies e evolução diagenética dos arenitos da Formação Monte Alegre na região do Rio Tapajós, Bacia do Amazonas**. 1989. 147 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Belém, 1989.
- TORRES, A. M.; TRUCKENBRODT, W. Características petrográficas e diagenéticas dos arenitos da Formação Monte Alegre na região do Rio Tapajós, Bacia do Amazonas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, Belém, 1990. **Anais...** Belém: Universidade Federal do Pará, 1990, p. 360-373.
- WANDERLEY FILHO, J. R. **Evolução estrutural da Bacia do Amazonas e sua relação com o embasamento**. 1991. 119 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Belém, 1991.