

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

COMPARAÇÃO DE HETEROGENEIDADES EM MACRO E MICROESCALA
NOS ARENITOS DA FORMAÇÃO MARIZAL, NA SUB-BACIA DO
TUCANO SUL

Ramon Barbosa de Paula

Orientadora: Profa. Dra. Liliane Janikian Paes de Almeida

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2015 / 48)

SÃO PAULO
2015

TF
P324
RB.c

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS



**COMPARAÇÃO DE HETEROGENEIDADES EM MACRO E MICROESCALA
NOS ARENITOS DA FORMAÇÃO MARIZAL, NA SUB-BACIA DO
TUCANO SUL**

Ramon Barbosa de Paula

Orientadora: Profa. Dra. Liliâne Janikian Paes de Almeida

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2015 / 48)**

SÃO PAULO

2015

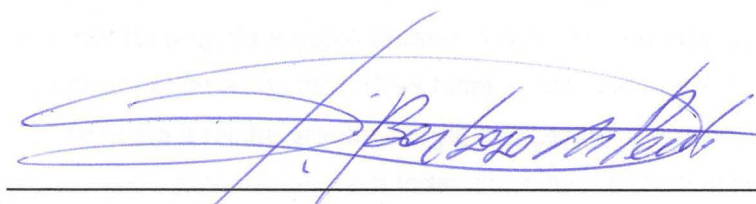
IGc-Instituto de Geociências



Comparação de heterogeneidades em macro e microes
nos arenitos da Formação Marizal, na sub-b

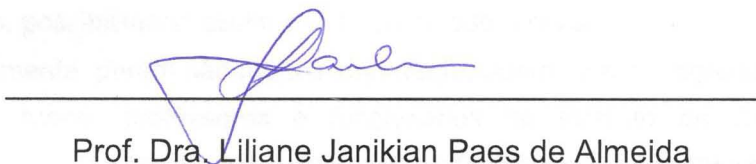
M26528

Monografia do Trabalho de Formatura – TF 15/48



Ramon Barbosa de Paula

Aluno



Prof. Dra. Liliâne Janikian Paes de Almeida

Orientadora

São Paulo

04 de novembro de 2015

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, quero agradecer a empresa FAPESP pelo apoio financeiro através do projeto 2013/01825-3, que tornou possível que essa monografia fosse realizada. Gratidão também estendida à Professora Doutora Liliana Janikian Paes de Almeida, orientadora deste projeto, e também a seu marido Professor Doutor Renato Paes de Almeida, pela orientação ao longo de todo este ano e disposição irrestrita a ajuda às muitas dúvidas que surgiram durante a realização do trabalho. Agradeço também a Natália Hilbert, Maria Paula Ramos, Beatriz Boggiani e ao Professor Doutor Gelson Fambrini, por toda ajuda e apoio durante a realização do trabalho de campo e que assim possibilitaram que estas atividades fossem concluídas no tempo previsto.

Agradeço também a minha grande amiga, companheira e esposa Karina Salles Diniz de Paula pelo apoio incondicional em todas as coisas, não somente durante esse ano, mas aos maravilhosos anos de namoro, noivado e casamento, em que me apoiou e incentivou em todas as provas, relatórios e, acima de tudo, trabalho de campo.

Também agradeço à minha família, especialmente ao meu pai e minha mãe (em memória) que me apoiaram emocional e financeiramente para que conseguisse chegar até este ponto da graduação e entregar este trabalho de formatura. E também ao meu irmão Rafael Barbosa de Paula pela ajuda em parte deste trabalho ora apresentado, possibilitando assim a entrega na data prevista.

Finalmente, porém não menos importante, quero também agradecer a todos os colegas de turma, professores e funcionários do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, especialmente ao Professor Doutor Cláudio Riccomini e aos colegas Cristiane Caravielo, Lucas de Castilho, Diego Hernane e Geovane Roque, que contribuíram para que eu chegasse até à formatura da graduação e que me acompanharam durante essa longa trajetória.

Índice

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS	2
3.	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	3
4.	GEOLOGIA DO <i>RIFT</i> RECÔNCAVO-TUCANO-JATOBÁ	4
4.1	Bacia de Tucano	5
4.2	Formação Marizal (Neoaptiano)	10
5.	FÁCIES E ELEMENTOS ARQUITETURAIS	11
6.	DADOS COLETADOS EM CAMPO	12
6.1	Caracterização das fácies encontradas	13
6.2	Permeabilidade em Campo	16
7.	RESULTADOS OBTIDOS	20
7.1	Associações de Fácies e Elementos arquiteturais	20
7.2	Estudos Estatísticos	36
8.	CONCLUSÕES	40
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

RESUMO

O presente Trabalho de Formatura consiste no estudo e reconhecimento tridimensional de heterogeneidades de microescala em arenitos de um sistema deposicional fluvial entrelaçado e a relação dessas heterogeneidades com as diversas fácies e elementos arquiteturais pertencentes à Formação Marizal (Neoplioceno da Sub-Bacia de Tucano Sul). O trabalho de pesquisa envolveu o detalhamento de três afloramentos pertencentes ao Membro Cícero Dantas, na região de Olindina-Ba, através do levantamento de diversas seções colunares, caracterização de fácies e elementos arquiteturais, análise de permeabilidade através de permeâmetro de campo e sua correlação com os elementos arquiteturais definidos, podendo assim melhor compreender e caracterizar as diferentes heterogeneidades em microescala e sua relação com suas determinadas fácies. Espera-se que os resultados obtidos possam ser aplicados como ferramenta de previsão da distribuição tridimensional de propriedades condicionadoras da migração de fluidos (hidrocarbonetos e água) em reservatórios gerados em sistemas deposicionais e com características semelhantes às do caso estudado.

Palavras-chave: Formação Marizal, fácies sedimentares, permeabilidade, elementos arquiteturais.

1. INTRODUÇÃO

Sistemas deposicionais fluviais, devido a sua considerável porcentagem de poros e a permeabilidade, são responsáveis por importantes reservatórios de hidrocarbonetos e água, e o estudo de heterogeneidades em mesoescala (arquitetura deposicional) e sua relação com heterogeneidades em microescala (análises petrofísicas de rocha) vem ganhando importância devido às suas implicações para a distribuição das heterogeneidades de porosidade e permeabilidade em reservatórios (Miall, 1991).

Inicialmente, o projeto havia sido programado para ser feito em rochas da formação Tacaratu, porém devido à falta de verba, condições climáticas adversas durante o trabalho de campo e melhor logística em relação ao grupo de pesquisa do qual a orientadora deste Trabalho de Formatura organiza, a área e parte do projeto inicial foram reformuladas, para melhor aproveitamento dos dados resultantes desta monografia.

O presente trabalho contém uma síntese bibliográfica sobre a geologia do *Rift* Recôncavo-Tucano-Jatobá (RTJ) e da Bacia de Tucano, com ênfase na Sub-Bacia de Tucano Sul e na Formação Marizal. Realizou-se também o estudo teórico básico sobre as principais fácies de sistema deposicional fluvial entrelaçado e a análise de elementos

arquiteturais das mesmas. Realizou-se um trabalho de campo entre os dias 18 e 30 de julho em toda a Bacia de Tucano para melhor entender sua estratigrafia, com ênfase na Sub-Bacia de Tucano Sul, na região de Olindina-Ba, onde foram detalhados três afloramentos de grande representatividade, descrevendo as fácies e relacionando-as com elementos arquiteturais e, através de um permeâmetro de campo (*TinyPerm II*), foi analisado e relacionado à variação de permeabilidade com as diferentes fácies e elementos arquiteturais nos afloramentos descritos.

Os alvos de estudo foram três afloramentos de grande representatividade na Formação Marizal (Neoaptiano da Sub-Bacia de Tucano Sul), membro Cícero Dantas (definido por Freitas, 2014), que é composta por excelentes e bem preservadas unidades fluviais entrelaçadas e, localmente unidades eólicas. As rochas a serem estudadas compõem afloramentos próximos aos municípios de Olindina-Ba e Satiro Dias-Ba, com o financiamento de um projeto de Auxílio à Pesquisa coordenado pela Profa. Dra. Liliane Janikian Paes de Almeida (projeto FAPESP nº 2013/01825-3), orientadora do trabalho.

2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS

O objeto de estudo corresponde aos depósitos fluviais de rios entrelaçados da Formação Marizal (Neoaptiano da Bacia de Tucano Sul), que apresentam excelentes condições para o desenvolvimento do projeto, de onde foram estudados três grandes exposições na formação e membro objeto da pesquisa, inicialmente detalhadas por Freitas (2014) e Carrera (2015). Tendo como principal objetivo expandir o conhecimento sobre heterogeneidades em rochas essencialmente areníticas em relação sua permeabilidade em sistema deposicional de rio entrelaçado e, localmente, eólico.

O atual estado de conhecimento da área de estudo por parte do grupo de pesquisas em que a orientadora faz parte permitiu um melhor planejamento das diversas etapas de aquisição de amostras e a correlação com a heterogeneidade em mesoescala que estão sendo levantadas pelo grupo, inclusive a etapa realizada durante a execução do presente Trabalho de Formatura. As principais abordagens são:

- 1- levantamento de fotomosaicos e seções colunares em afloramentos do membro Cícero Dantas (definido por Freitas, 2014) para a descrição das fácies e elementos arquiteturais;
- 2- levantamento de dados de permeabilidade nas fácies observadas nos afloramentos, com equipamento portátil de campo (*TinyPerm II*);
- 3- Integração dos parâmetros obtidos com trabalhos desenvolvidos pela equipe, sobre a arquitetura deposicional das sucessões fluviais com os dados obtidos no campo e nas análises petrográficas;

3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A formação objeto deste trabalho de formatura possui grande distribuição por toda o Rift Recôncavo-Tucano-Jatobá (RTJ), porém limitou-se a um pequeno número de afloramentos para detalhamento.

Partindo-se de Aracaju, a área de pesquisa onde se encontram os afloramentos podem ser acessados tomando-se a rodovia Mário Covas (BR-101) por aproximadamente 30 km. A partir daí, pega-se a saída à esquerda através da rodovia Lourival Baptista (SE-270) por cerca de 37 km até o município de Lagarto. Então, continua-se pela rodovia João Paulo II (SE-170) por 50 km chegando ao município de Tobias Barreto. A partir desta, pega-se a rodovia BR-349 por aproximadamente 45 km, chegando ao município de Olindina. Os afloramentos encontram-se em cortes de estrada entre os municípios de Olindina e Sátiro Dias, através de acesso não pavimentado. A Figura 01 abaixo mostra os principais vias e acessos aos afloramentos, a partir do município de Olindina.

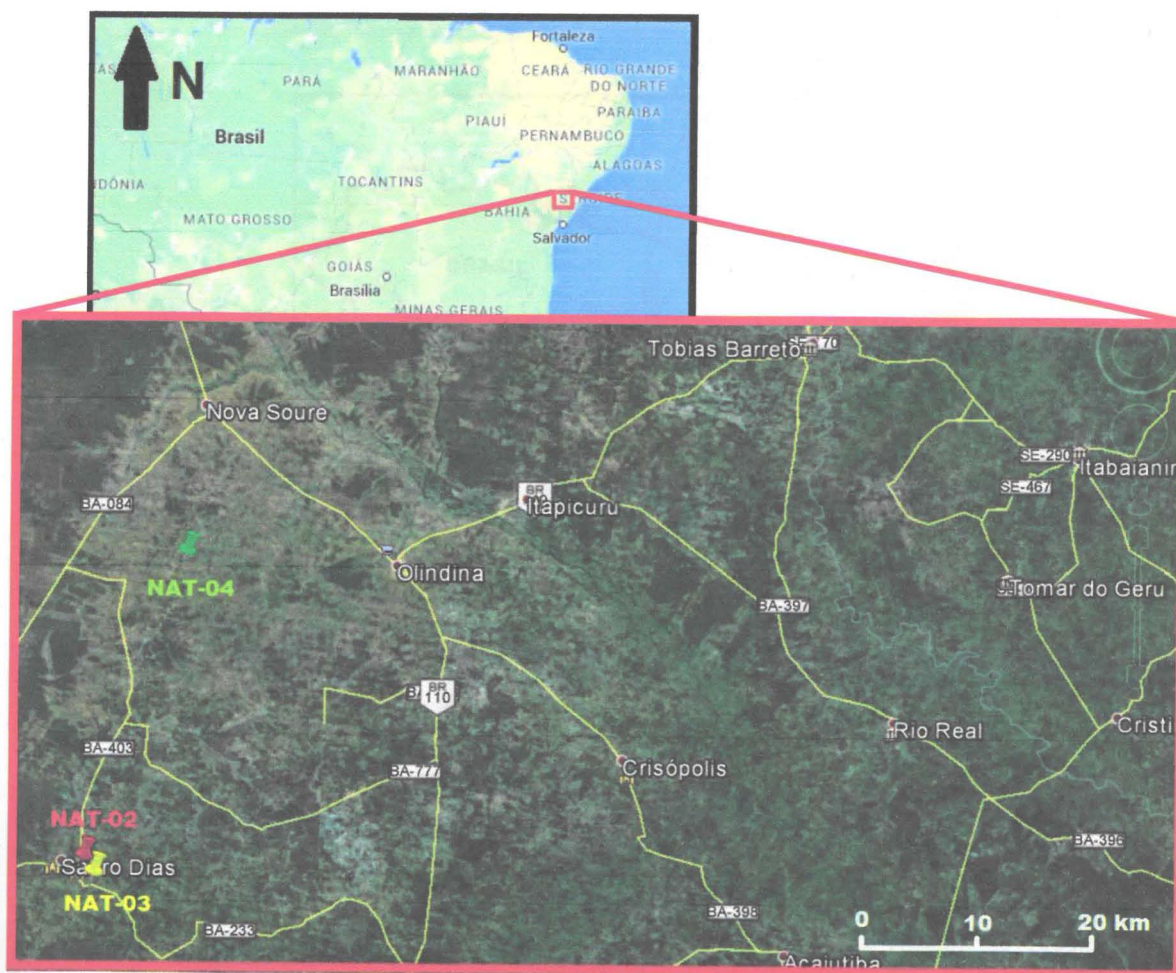


Figura 01: Localização dos afloramentos estudados e principais vias de acesso para a área pesquisada. NAT-02: 546.681,6 E / 8.716.274,0 N. NAT-03: 545.836,8 E / 8.717.797,9 N. NAT-04: 554.699,3 E / 8.744.226,2 N (Datum WGS-84, 24 L) - adaptado de Imagens de Google Earth.

4. GEOLOGIA DO RIFT RECÔNCAVO-TUCANO-JATOBÁ

O *Rift* Recôncavo-Tucano-Jatobá (RTJ) localiza-se na porção nordeste do Estado da Bahia e parte dos estados de Sergipe, Alagoas e Pernambuco, apresentando cerca de 46.500 km² (Magnavita, 1996; Figura 02). É formado por um sistema de *grabens* assimétricos de direção norte-sul (Recôncavo-Tucano), que muda abruptamente de direção para leste nordeste - oeste sudoeste (Jatobá). Esse sistema compreende essas três bacias principais, a saber: a Bacia do Recôncavo (11.000 km²); a Bacia do Tucano (30.500 km²); e a Bacia de Jatobá (5.000 km²). Elas são separadas entre si por altos do embasamento: a Bacia do Recôncavo limita-se com a Bacia de Tucano pelo Alto de Aporé, que por sua vez limita-se com a Bacia de Jatobá pelo Alto do São Francisco.

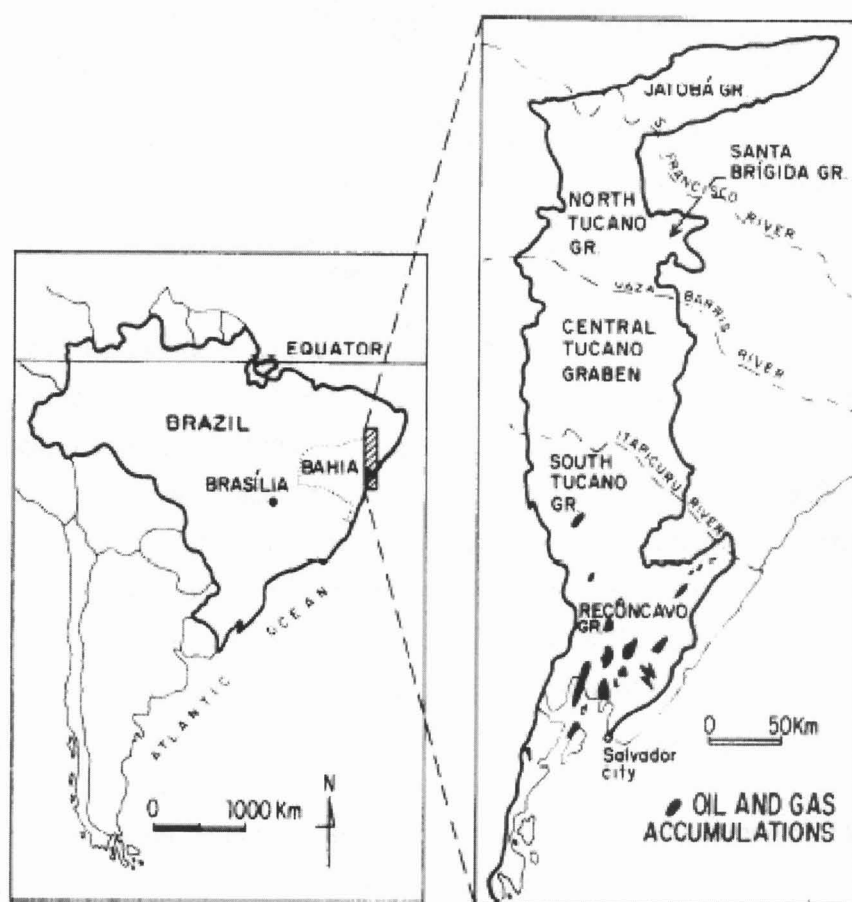


Figura 02: Panorama simplificado do *Rift* RTJ, com detalhe para as acumulações de óleo e gás (extraído de Milani e Davison, 1988).

Relacionado à quebra do *Gondwana*, o *Rift* RTJ foi o resultado de esforços distensivos que datam do fim do Jurássico ao Eocretáceo (Milani & Davison, 1988) resultando também na abertura do oceano Atlântico.

Esse fraturamento do *Gondwana* iniciou-se no Jurássico Superior, devido a um levantamento epirogenético do Triássico (Figura 03-A), que deu origem a uma antéclice que

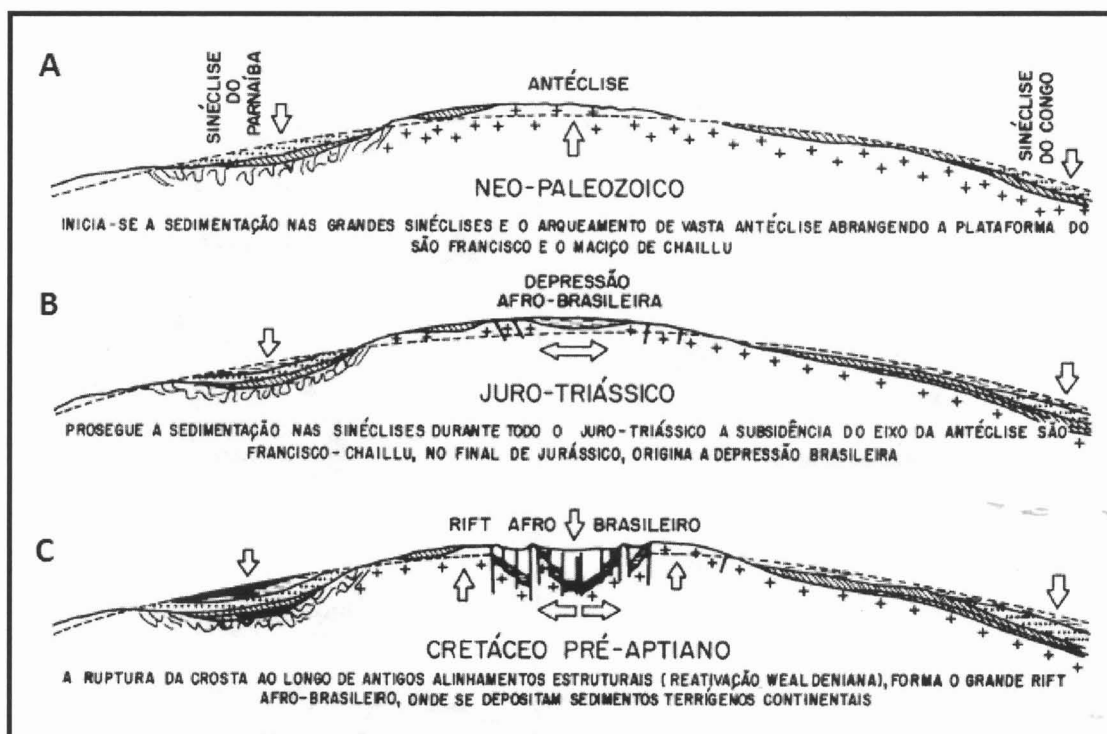


Figura 03: Esquema simplificado de parte da evolução tectônica das margens continentais da América do Sul e África. 03-A: Neopaleozoico. 03-B: Juro-triássico. 03-C: Cretáceo pré-aptiano (extraído de Cesero & Ponte, 1997).

se estendia da Plataforma de São Francisco até o Maciço de Chaillu. Essa antéclice resultou em um adelgaçamento da crosta (Freund, 1967) no Jurássico Superior (Figura 03-B), e devido à subsidência mecânica, deu origem a uma bacia alongada, de direção norte-sul: a "Depressão Afro-brasileira". No início do Cretáceo (Figura 03-C), esse fendilhamento reativou-se através de antigos alinhamentos estruturais. Vale mencionar que, nesta época, notava-se na calha principal a tendência de bifurcação, o que evoluiria mais tarde para a formação das Bacias do Recôncavo, Tucano e Jatobá (Cesero & Ponte, 1997).

Esse fraturamento progrediu de sul para norte, aproveitando pontos de fraqueza e drenagens pré-existent, formando sistemas de *rifts* nas margens dos dois novos continentes, costa leste da América do Sul e costa oeste da África, semelhantes aos que ocorrem no *Rift Valley*, leste africano, sendo o *rift* RTJ um entroncamento da fratura principal, porém abortada no Eoaptiano (Costa *et al.*, 2007b).

4.1 Bacia de Tucano

Uma das constituintes do *rift* RTJ, a Bacia de Tucano localiza-se no nordeste do Estado da Bahia e preenche uma área de aproximadamente 30.500 km² (Magnavita *et al.*, 2003, Figura 04) e encontra-se segmentada em três sub-bacias, a saber: Tucano Sul, Tucano Central e Tucano Norte, limitadas entre si pelos rios Itapicuru (entre as Sub-bacias de Tucano sul e Central) e Vaza-Barris (entre as sub-bacias de Tucano Central e Norte).

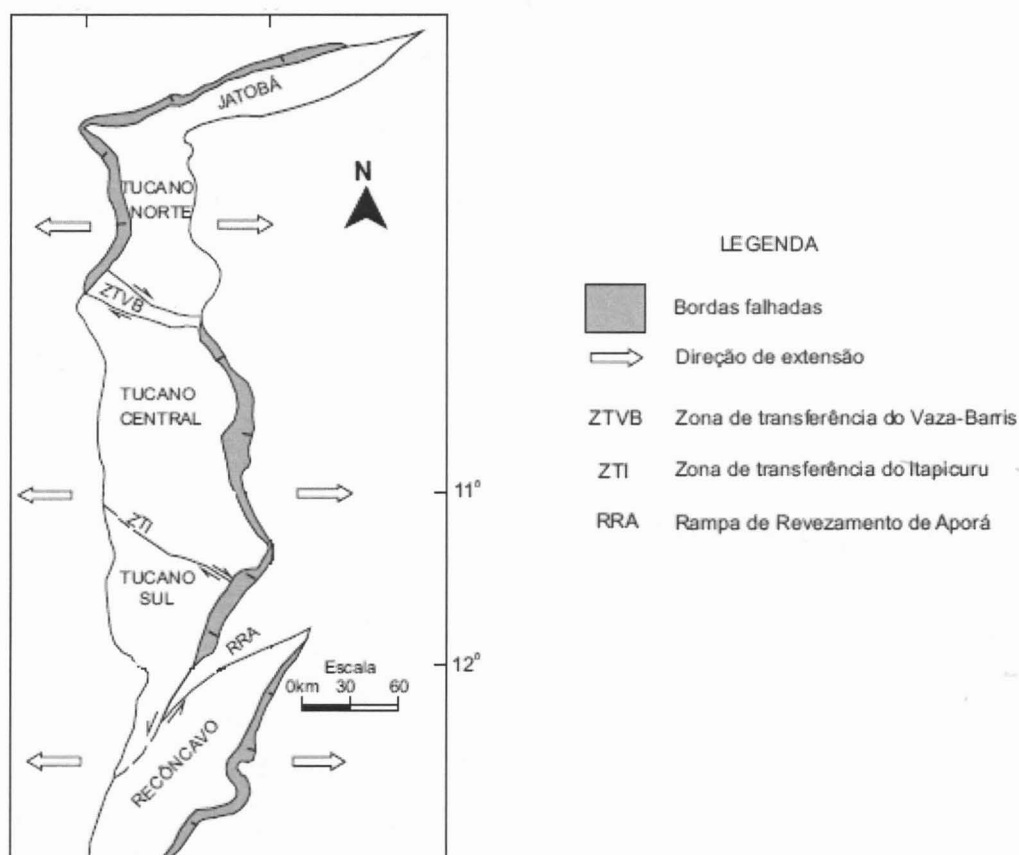


Figura 04:Esboço geral das principais estruturas ocorrentes no *Rift* RTJ, com ênfase nas direções de abertura, falhas de borda que limitam as bacias na direção leste-oeste e zonas de transferência na direção noroeste-sudeste (extraído de CPRM, 2002)

Comparando as sub-bacias em suas principais características morfológicas, como a sua área, arcabouço estrutural e geometria, tem-se que a área territorial de abrangência que a Sub-bacia de Tucano Central é a maior das três, seguida pela Tucano Norte e depois Tucano Sul, com 14,7 km², 8,8 km² e 7 km² respectivamente.

As três sub-bacias possuem geometria de *hemi-graben*, com blocos falhados apresentando padrão dominó, falhas normais planas, sintéticas em relação à falha de borda, orientados para nordeste-sudoeste e norte-sul (Magnavita *et al.*, 2003). Os limites internos das sub-bacias constituem-se em zonas de acomodação ou de transferência, orientadas em noroeste-sudeste, que podem não somente deslocar as falhas de borda, mas até mesmo inverter a polaridade das mesmas, provocando a inversão da assimetria da Bacia do Tucano.

O Tucano Sul e Central são invertidas estruturalmente em relação ao Tucano Norte, ou seja, nas sub-bacias do Tucano Sul e Central a falha principal ocorre na borda leste, com mergulho das camadas para oeste, e na sub-bacia ao Norte, a falha principal ocorre à oeste, e o mergulho das camadas para leste.

O Tucano Sul limita-se ao sul com a Bacia do Recôncavo, através do alto de Aporá (Figura 05-D), ao norte com a Sub-bacia de Tucano Central através da zona de acomodação do rio Itapicuru (Figura 05-E) e a leste com a falha de borda Inhambupe (Figura 05-A). O Tucano Central limita-se ao norte com a Sub-bacia de Tucano Norte através da zona de acomodação do rio Vaza-Barris (Figura 05-F) e a leste com a falha de borda Adustina (Figura 05-B). O Tucano Norte limita-se ao norte com a Bacia do Jatobá através da zona de acomodação do rio São Francisco (Figura 05-G) e a oeste com a falha de borda Ibimirim (Figura 05-C).

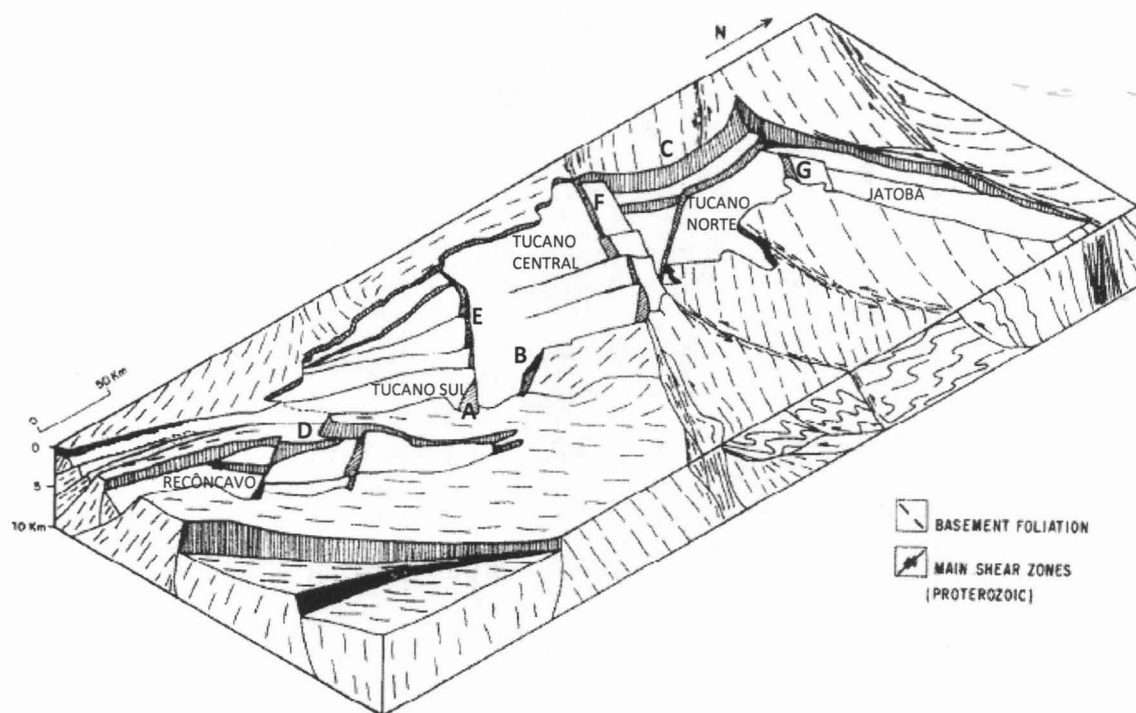


Figura 05: Diagrama isométrico de estruturas do embasamento e arquitetura do Rift RTJ. 05-A: Falha de borda Inhambupe. 05-B: Falha de borda Adustina. 05-C: Falha de borda Ibimirim. 05-D: Alto de Aporá. 05-E: Zona de acomodação Itapicuru. 05-F: Zona de acomodação Vaza-Barris. 05-G: Falha do rio São Francisco (extraído de Milani e Davison, 1988, com pequenas modificações).

Os principais depocentros também coincidem com o arcabouço estrutural das sub-bacias, como observado nas Figuras 05 e 06. O principal depocentro do Tucano Sul denomina-se Baixo de Inhambupe, localiza-se a leste-nordeste da bacia, atingindo 7.000 metros de profundidade. O depocentro do Tucano Central localiza-se também a leste, denomina-se Baixo de Cícero Dantas, onde o embasamento localiza-se a mais de 16.800 m de profundidade, sendo esse não só o ponto mais baixo de toda a Bacia do Tucano, mas também o ponto mais baixo de todo o Rift RTJ. O principal depocentro do Tucano Norte localiza-se a oeste desta e denomina-se como Baixo de Salgado Melão, com estimados 7.000 m de camada de rocha sedimentar (Magnavita *et al.*, 2003; Costa *et al.*, 2007b)

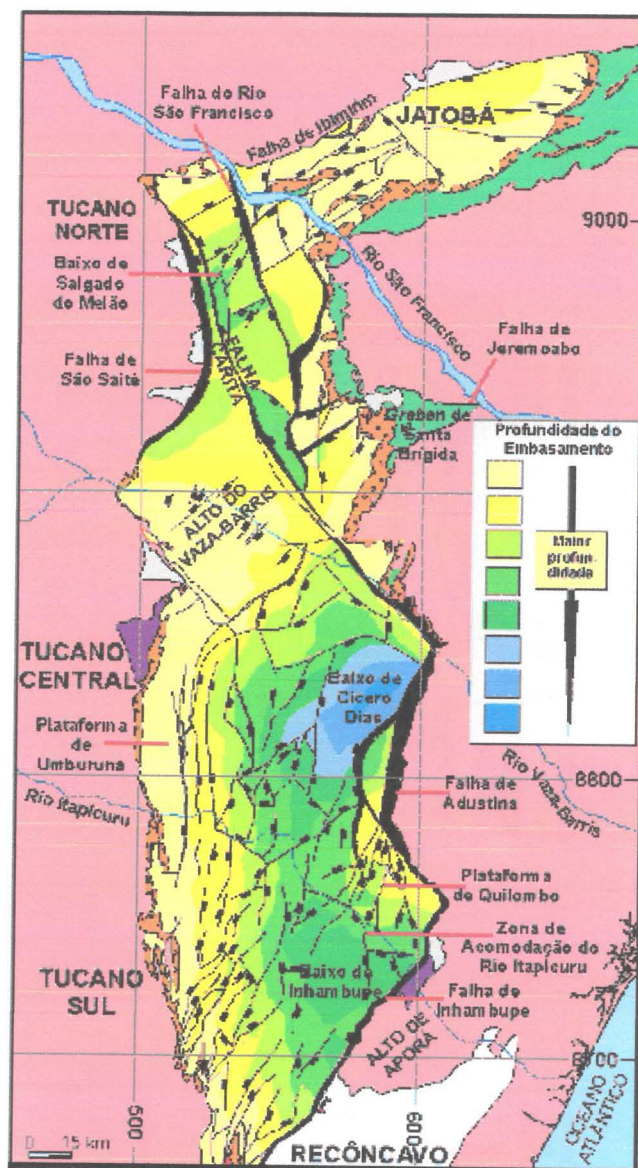


Figura 05: Arcabouço estrutural das bacias de Tucano e Jatobá, com indicação da profundidade estimada para o embasamento (extraído de Magnavita *et al.*, 2003 *apud* Aragão & Peraro, 1994).

A evolução do conhecimento estratigráfico no *rift* RTJ teve grande impulso com a criação da Petrobras e a integração de trabalhos de superfície e subsuperfícies. Devido a particularidades de seu arcabouço tectono-sedimentar, Caixeta *et al.* (1994) revisa o trabalho de Viana *et al.* (1971) e propõem três cartas diferenciadas para o *Rift* RTJ: uma para o Recôncavo, uma para as Sub-bacias de Tucano Sul e Central e uma para a Sub-Bacia de Tucano Norte e para a Bacia de Jatobá.



4.1.1 Sequência Pós-Rift (Neoapitiano)

O estágio de subsidência térmica pós-rift compreende os depósitos aluviais (conglomerados e arenitos) da Formação Marizal. Esta unidade preenche grande parte da Bacia de Tucano, que na porção central se sobrepõe aos depósitos estruturados da fase rift através de discordância angular. A seção conglomerática na base da Formação Marizal correlaciona-se ao Membro Carmópolis da Formação Muribeca (Magnavita *et al.*, 2003) com deposição em contexto rift das bacias Sergipe e Alagoas.

Vale salientar que o afloramento de estudo neste trabalho de formatura, se encontra na Formação Marizal, na Sub-Bacia de Tucano Sul.

4.2 Formação Marizal (Neoapitiano)

Considerada como os estágios finais de deposição das bacias Recôncavo, Tucano e Jatobá, a Formação Marizal está depositada em discordância angular sobre a fase sin-rift, sobre os sedimentos das Formações Poço Verde e São Sebastião (Costa *et al.*, 2007a).

Sua deposição é relacionada a sistemas fluviais e leques aluviais, desenvolvidos já no contexto de pós-rift, compreendendo sedimentos com clastos grossos (arenitos e conglomerados), folhelhos e calcários, conforme representado por Santos *et al.* (2010, Figura 08).

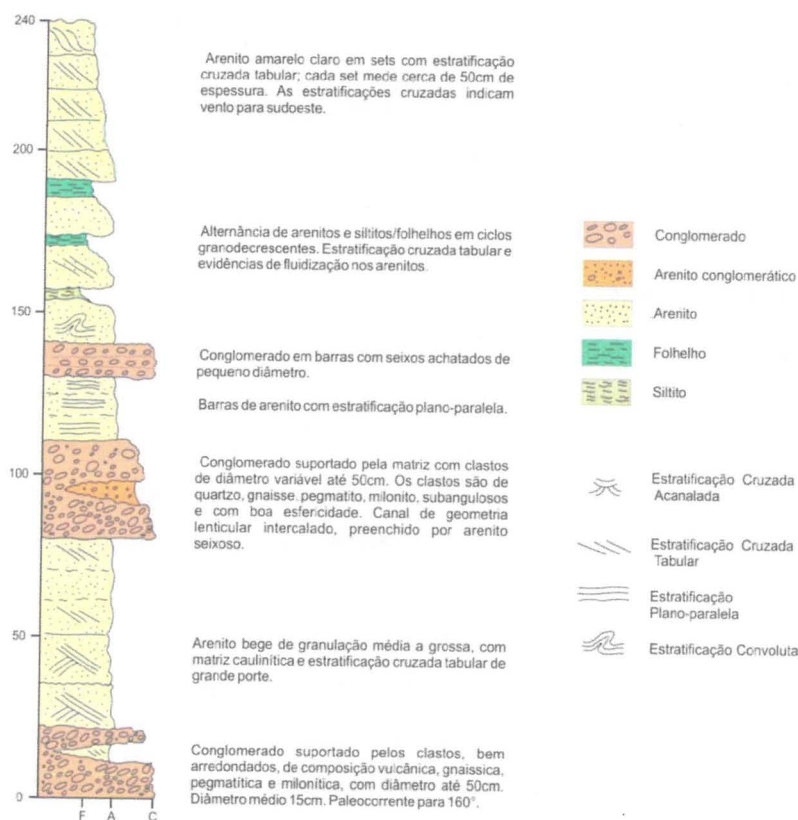


Figura 08: Coluna estratigráfica da Formação Marizal, na Bacia do Tucano (extraído de Santos *et al.*, 2010).

Os arenitos apresentam estratificação cruzada tangencial e as médias de paleocorrente indicam um fluxo unidirecional para o sul (Assine, 1994; Carrera, 2012; Figueiredo, 2013). São, em geral, mal selecionados, com coloração alaranjada, avermelhada ou até mesmo em vários tons de cinza, composto por mineralogia quatzosa, e ainda feldspática e com argilominerais (Vilas Boas & Filho, 1994).

As rochas conglomeráticas são constituídas por matacões e seixos de diversas tipos de rochas e minerais, tais como calcário, quartzo, granito e arenito avermelhado, podendo apresentar metamorfismo de baixo grau (Zacca, 2013).

Os folhelhos apresentam coloração cinzenta, rosada ou amarelada, são silticos e podem apresentar lâminas de barita, que ocorre como cimento da rocha hospedeira, sendo, por vezes, substituídos por óxidos de ferro resultante de uma cimentação posterior (Zacca, 2013).

Freitas (2014) definiu duas subunidades que diferem do ponto de vista litoestratigráfico e de sua arquitetura ou densidade e conexão dos depósitos de canais fluviais. A unidade basal areno-conglomerática é denominada como Membro Banzaê, e caracteriza-se por depósitos de canais amalgamados, sobreposta pelo Membro Cícero Dantas, unidade areno-pelítica caracterizada por depósitos de canais isolados em meio a depósitos de planície de inundação e, localmente, depósitos eólicos.

5. FÁCIES E ELEMENTOS ARQUITETURAIS

A análise e estudo de rochas sedimentares em campo emprega duas formas distintas e complementares de interpretação e codificação denominadas de identificação e empilhamento vertical de fácies e análise de elementos arquiteturais (Ferreira Júnior & Castro, 2001).

O conceito de fácies, tal como definido originalmente por Gessy, em 1838, como uma descrição objetiva de rochas sedimentares, baseada em propriedades físicas, químicas e biológicas, ou seja, textura, composição, estruturas sedimentares e conteúdo paleontológico. Não obstante, o simples reconhecimento e descrição de uma determinada fácies não é o suficiente para se definir o seu sistema deposicional, pois uma mesma fácies pode ser gerada em diferentes sistemas deposicionais, impossibilitando assim interpretar o sistema.

Porém através de um conjunto de fácies que ocorrem associadas podem mais facilmente serem relacionadas genética e ambientalmente umas com as outras (Reading, 1980). Essa prática, conforme proposta por Miall (1985), é a identificação em campo de interrelações espaciais das fácies, gerando associações, e também reconhecimento de

superfícies limitantes, comparando assim com sistemas descritos na literatura de modo a interpretá-las. Essa nova técnica é conhecida como Análise de elementos arquiteturais.

Os elementos arquiteturais em depósitos fluviais propostos por Miall (1985) são: canais fluviais (CH), barras e formas de leitos cascalhosos (GB), formas de leito arenosas (SB), macroformas de estratos frontais (FM), depósitos de acréscimo lateral (LA), depósito de fluxo gravitacionais (SG), lençóis de areia laminada (LS) e sedimento fino de planície de inundação (OF) (Figura 09).

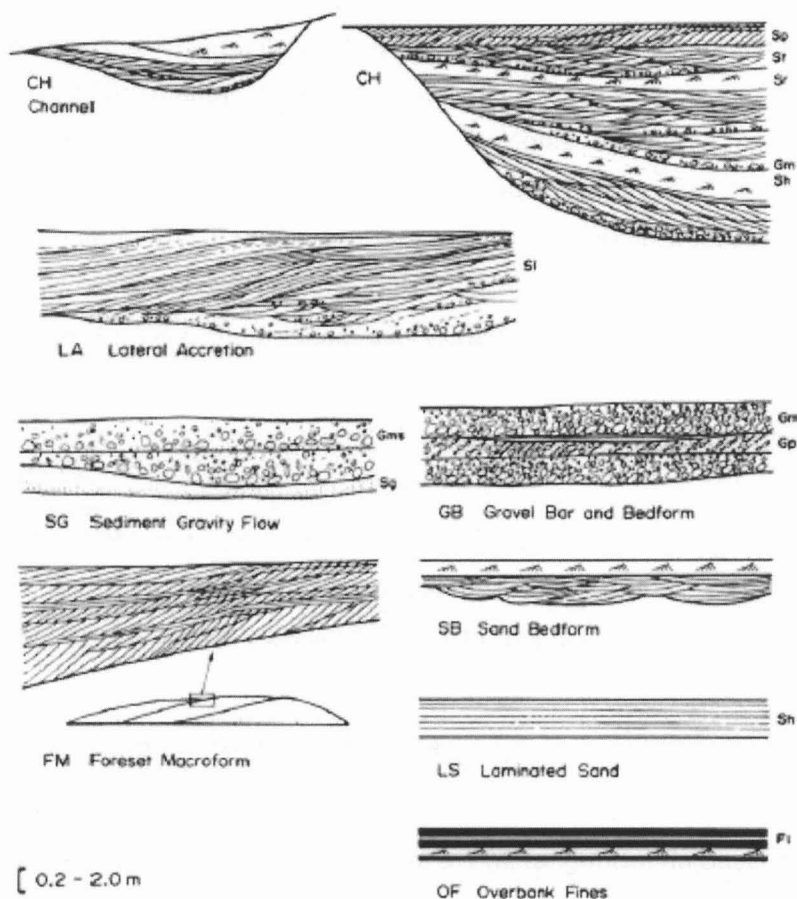


Figura 09: Os oito elementos arquiteturais de sistemas deposicionais fluviais principais (Miall, 1985).

6. DADOS COLETADOS EM CAMPO

Durante o trabalho de campo realizado em Olindina e Sátiro Dias - BA, foram estudados e detalhados perfis aflorantes do Membro Cícero Dantas, dentro da formação Marizal.

As atividades em campo consistiram em definir e levantar seções colunares, caracterizando o afloramento através de fácies, englobando-as em elementos arquiteturais e

por último, através de um *TinyPerm II*, que é um equipamento portátil de fácil utilização para medir permeabilidade em campo.

6.1 Caracterização das fácies encontradas

Esta etapa do trabalho de campo teve como objetivo a descrição de parâmetros diagnósticos do material encontrado, como mineralogia, granulometria e estruturas sedimentares. Depois da coleta desses dados, as fácies foram individualizadas e definidas, com a nomenclatura sistematizada da seguinte maneira: utilizou-se três letras, a primeira é maiúscula e representa a litologia (arenito, siltito) e a segunda e terceira são minúsculas e indicam a estrutura sedimentar presente (heterolítica, cruzada cavalgante, etc). Foram definidas 08 fácies que melhor descrevem as litologias encontradas, a saber: arenito convoluto (Ac), arenito com estratificação cruzada acanalada (Aca), arenito com estratificação cruzada de baixo ângulo (Acb), arenito com estratificação cruzada cavalgante (Acc), arenito com estratificação cruzada eólica (Ace), arenito com laminação heterolítica (Ah), arenito maciço (Am) e siltito arenoso com estratificação plano paralela (Spp).

Arenito Convoluto (Ac)

Fácies composta por arenitos médios a finos, micáceo, contendo dobramentos convolutos, com estruturas de fluidificação, variando de 10 cm a 50 cm, com algumas porções apresentando também a estratificação cruzada ainda preservada (Figura 10-1).

Arenito com Estratificação Cruzada Acanalada (Aca)

Fácies com arenito médio a grosso, com seixos raros e esparsos, apresentando cruzadas acanaladas de médio porte com 50 cm a 1 m, tangencial na base (Figura 10-2).

Arenito com Estratificação Cruzada de Baixo Ângulo (Acb)

Fácies composta por arenito fino a médio, bem selecionado, com estratificação cruzada de baixo ângulo, organizada em séries decimétricas, apresentando a laminação risco de agulha (Figura 10-3).

Arenito com Estratificação Cruzada Cavalgante (Acc)

Fácies composta por arenitos médios a finos e também muito finos, siltosos, bem selecionado e em algumas porções micáceo. Apresenta laminação cruzada cavalgante subcrítica, com variação para crítica e supercrítica também (Figura 10-4 e 10-5).

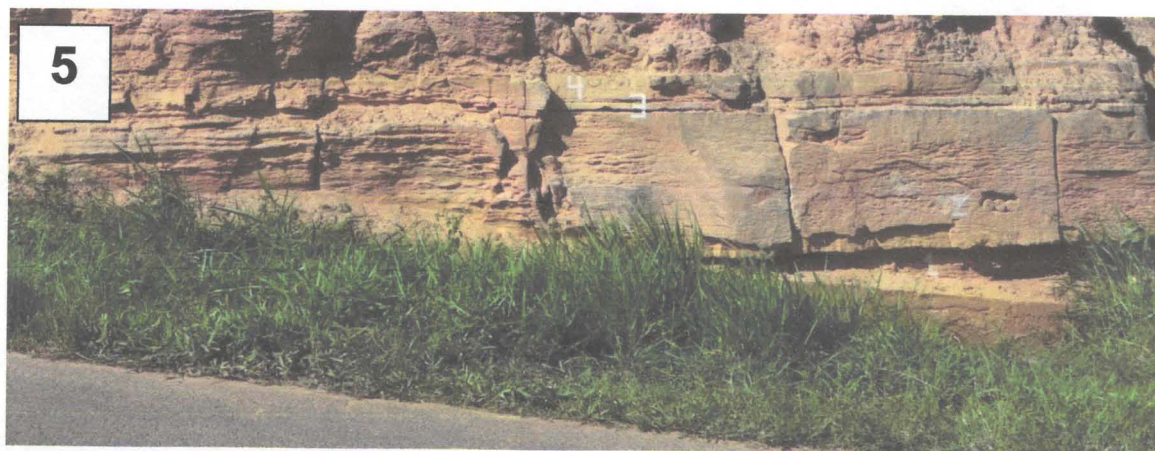
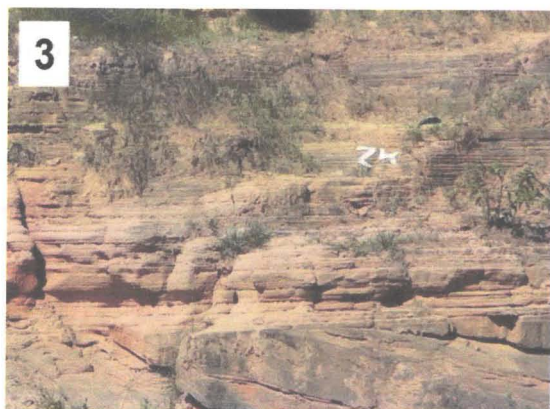
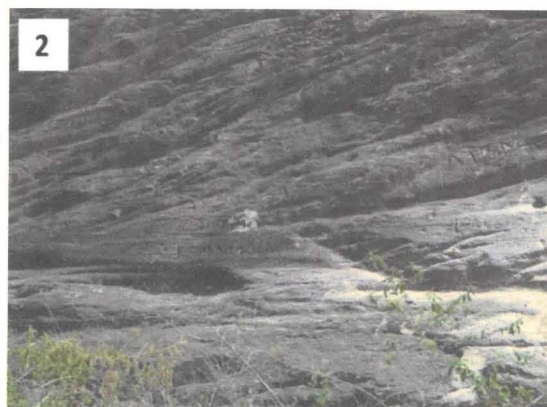
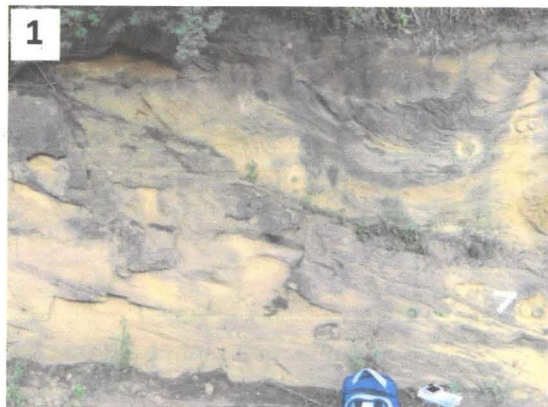


Figura 10: Fotografia das fácies encontradas na área de estudo. 1: Arenito médio a fino com dobramentos convolutos (Afloramento Nat 02). 2: Arenito médio a grosso, com grânulos esparsos e estratificação cruzada acanalada (Afloramento Nat 04). 3: Arenito fino a médio, bem selecionado, com estratificação cruzada de baixo ângulo a plano paralela (Afloramento Nat 03). 4: Arenito fino, com porções muito finas a siltíticas, com estratificação cruzada cavalgante crítica e subcrítica (Afloramento Nat 03). 5: Continuação lateral da fácies de arenito com estratificação cruzada cavalgante (Afloramento Nat 03).

Arenito com Estratificação Cruzada Eólica (Ace)

Fácies composta por arenito fino a médio, micáceo, bem selecionado, predomínio de grãos subarredondados e esféricos. Apresenta estratificação cruzada acanalada, de médio a grande porte, tangencial na base, e evidente laminação em risco de agulha, marcada pela segregação e intercalação de arenitos finos e arenitos médios (Figura 11-1)

Arenito com Laminação Heterolítica (Ah)

Fácies composta por arenitos finos a muito finos, com siltito e argilito, pouco micáceo, com marcas onduladas assimétricas e laminação heterolítica (Figura 11-2).

Arenito Maciço (Am)

Fácies composta por arenito fino, micáceo, não apresentam qualquer estrutura notada, em camadas de 30 a 50 cm. Ocorrem intercalados a camadas de arenito fino laminados lenticulares, sem continuidade lateral.

Siltito Arenoso com Estratificação Plano Paralela (Spp)

Fácies composta por siltito arenoso, com estratificação plano paralela, em camadas com grande continuidade lateral e espessura de cerca de 30 a 50 cm.

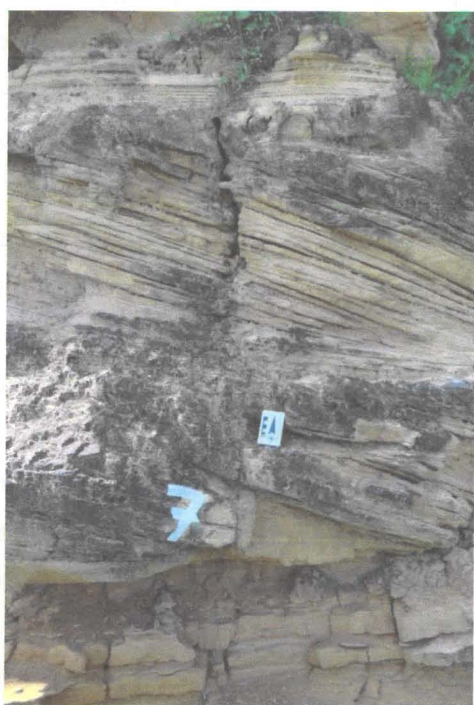


Figura 11: Fotografia das fácies encontradas na área de estudo. 1: Arenito fino a médio com estratificação cruzada eólica (Afloramento Nat 03). 2: Arenito fino a muito fino com laminação heterolítica (Afloramento Nat 03).

6.2 Permeabilidade em Campo

Os dados de permeabilidade foram todos obtidos em campo, através do medidor portátil de permeabilidade *TinyPerm II* (Figura 12).

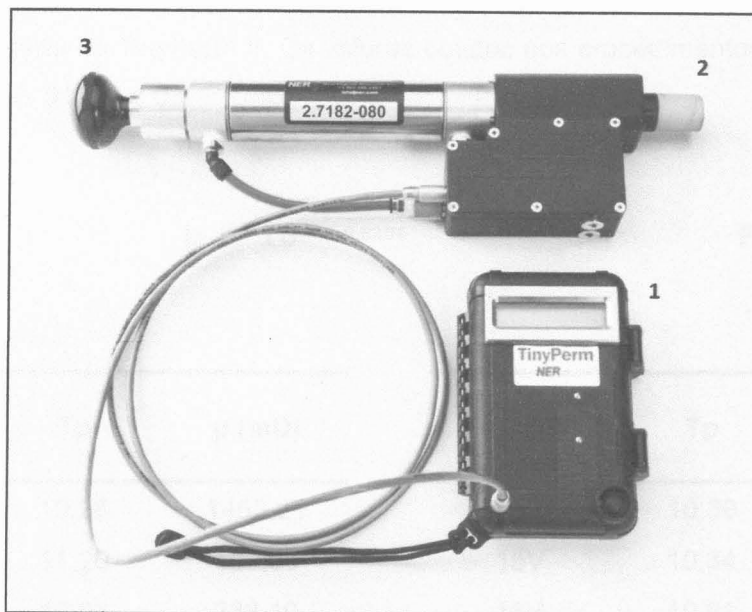


Figura 12: Permeômetro de campo (*TinyPerm II*) utilizado durante a coleta dos dados. 1: painel eletrônico de onde se lê os dados obtidos durante a amostragem. 2: bico: por onde pressiona-se contra o material que se deseja saber a permeabilidade. 3: pistão: puxa-se e empurra para que seja feita a coleta de dados.

Antes de iniciar o procedimento, é necessário um local completamente plano e sem pó, para isso limpa-se o local onde deseja-se fazer a medida com uma espátula de metal e um pincel. Então, verifica-se que o painel eletrônico (Figura 12-1) está zerado e pronto para ser feita a amostragem.

Para iniciar a coleta de dados, encosta-se o bico (Figura 12-2) no local preparado anteriormente e empurra-se o equipamento contra a rocha para evitar-se a perda de ar. Ao verificar que o aparelho está firme, então puxa-se o pistão (Figura 12-3) até o limite e depois empurra-se este mesmo pistão até que fique preso na trava de segurança. Ao realizar esse procedimento, o equipamento cria um vácuo dentro de si que aspira todo ar que está livre dentro da rocha, com o tempo a pressão interna dentro do *TinyPerm* será normalizada e o procedimento estará encerrado, ou seja, quanto mais impermeável for o material, mais tempo demorará para que seja realizada a amostragem. No painel eletrônico indicará o tempo, em contagem regressiva, que é necessário para que isso aconteça, que após zerada a contagem será dado um outro número, em escala logarítmica, que é o resultado da análise.

Como pode-se verificar nas Tabelas 01, 02 e 03 a seguir, durante a execução do método descrito acima, o número resultante variou entre 8,88 e 12,64, sabendo que quanto maior o número, mais impermeável é o material.

Foram coletados de três a cinco valores por cada local de amostragem, de modo que foram utilizada a média desses valores. Para que o resultado seja transformado em mDarcy (mD), utiliza-se a fórmula A, que se chegou de maneira empírica através da comparação com dados adquiridos pelo TinyPerm e análises laboratoriais, pelo grupo de pesquisa liderado pela orientadora deste projeto, em que μ é a permeabilidade [mD] e T_p é a medida resultante da análise do TinyPerm II. Os valores obtidos nos procedimentos descritos acima estão nas Tabelas 01, 02 e 03.

$$\mu = 10^{\frac{(T_p-12,8737)}{-0,8206}}$$

Fórmula A

PONTO	Tp	μ (mD)	PONTO	Tp	μ (mD)
1H	10,28	1463,21	15H	10,39	1075,38
1V	11,20	109,55	15V	10,34	1223,54
2H	10,92	238,10	16H	10,91	249,97
3H	10,19	1881,37	17H	10,94	225,95
3V	10,34	1212,15	18V	11,37	68,95
4H	10,66	498,49	18H	10,80	336,55
4V	10,56	666,17	19H	10,41	995,99
5H	10,34	1237,35	20H	10,78	355,98
5V	10,27	1489,09	21H	11,18	114,79
6H	10,46	863,99	21V	11,49	49,24
7H	9,83	5089,53	22H	10,85	290,45
7V	10,14	2124,62	22V	11,13	132,08
8H	10,06	2684,31	23H	10,41	1011,00
9H	10,18	1895,50	23V	10,59	610,10
10H	10,01	3132,25	24H	10,61	576,80
11H	9,66	8200,56	24V	10,34	1223,54
12H	10,00	3176,51	25H	10,02	3031,37
12V	10,33	1270,19	25V	10,25	1560,39
13H	10,05	2760,70			
14H	10,34	1212,15			
14V	10,27	1489,09			

Tabela 01: Dados de permeabilidade coletados em campo, em que H significa medida horizontal e V significa medida, vertical no afloramento Nat-02 e corrigidos através de Fórmula A.

PONTO	Tp	μ (mD)
1H	12,15	7,69
2H	10,83	307,22
2V	11,24	97,01
3H	11,29	84,31
4H	10,93	231,51
4V	11,76	22,76
5H	11,97	12,74
6H	11,03	179,00
7H	10,22	1713,38
7H	10,22	1713,38
9H	9,72	6904,01
10H	10,00	3198,87
10V	10,40	1043,67
11H	10,20	1812,28
12H	10,69	458,25
13H	10,64	534,72
13V	10,74	402,01
14H	11,67	29,30
14V	11,78	21,32
15H	11,45	54,32
16H	11,27	89,17
16V	11,02	184,10
17H	10,64	522,36
18H	9,63	9097,72
18V	9,76	6287,54
19H	10,14	2144,58
20H	10,28	1461,50
21H	10,02	3031,37
22H	9,88	4406,79
23H	10,00	3146,93
23V	10,09	2490,78
24H	10,86	281,76

PONTO	Tp	μ (mD)
24V	10,99	195,64
25H	10,52	738,36
25V	10,49	810,75
26H	10,88	268,88
26V	10,85	295,25
27H	10,63	542,27
28H	11,05	166,88
28V	11,44	55,34
29H	10,98	201,21
29V	10,87	279,13

Tabela 02: Dados de permeabilidade coletados em campo, em que H significa medida horizontal e V significa medida vertical, no afloramento Nat-03 e corrigidos através de Fórmula A.

Tabela 03: Dados de permeabilidade coletados em campo, em que H significa medida horizontal, V significa medida vertical e O significa oblíquo, no afloramento Nat-04 e corrigidos através de Fórmula A.

PONTO	Tp	μ (mD)	PONTO	Tp	μ (mD)
1H	9,23	27715,64	25V	9,42	16323,44
2H	9,32	21170,80	26H	9,80	5567,68
3H	9,32	21289,94	26V	10,13	2205,61
4H	9,67	8018,53	27H	10,14	2124,62
5H	9,31	22267,55	27V	9,82	5214,82
6H	9,32	21289,94	28H	12,01	11,29
6V	9,64	8821,20	29V	9,49	13412,46
7H	9,38	17991,08	29O	9,50	12799,65
8H	9,03	48852,43	30H	10,33	1246,65
8V	9,23	27406,30	30V	10,34	1235,04
9H	9,38	18092,33	31H	9,50	12919,93
10H	9,32	21409,76	32H	9,67	8093,88
10V	9,59	9943,11	33H	10,08	2537,82
11H	11,44	55,86	33V	10,06	2684,31
12H	9,49	13287,59	34H	10,50	788,32
13H	9,78	5889,06	35H	10,37	1124,76
14H	9,90	4244,96	36H	10,50	788,32
15H	11,79	21,12	37H	11,42	59,64
15V	11,79	21,12	38H	10,24	1604,79
16H	9,73	6776,06	39H	10,79	346,13
16V	9,47	13923,76	40H	10,46	873,74
17H	9,31	22225,93	41H	9,93	3902,25
18H	10,22	1729,48	42H	9,93	3829,93
19H	9,53	11876,85	43H	10,62	562,95
19V	9,27	24634,44	44H	11,48	49,47
20H	9,31	22225,93	45H	10,08	2514,19
21H	8,88	74279,14	46H	9,41	16476,84
21V	9,40	16945,72	47H	9,70	7371,16
22O	11,40	61,92	47V	10,08	2561,66
23H	11,66	30,42	48H	10,02	3003,15
24H	12,64	1,93	48V	10,02	3031,37
25H	9,38	17923,90	49H	10,30	1368,87

PONTO	Tp	μ (mD)
50H	10,67	489,26
51H	9,54	11656,75
51V	9,74	6588,57
52H	9,97	3487,95
52V	9,47	14186,68
53H	10,41	1005,35
54H	10,46	865,61
55H	9,88	4406,79
56H	10,06	2709,53
56V	10,02	3003,15
57H	10,89	261,44
58H	11,32	77,50
59V	10,30	1368,87
60H	10,14	2164,74
60V	10,14	2164,74
61H	9,91	4127,51
61V	10,14	2124,62
62H	10,51	759,37

Tabela 03 (continuação): Dados de permeabilidade coletados em campo, em que H significa medida horizontal e V significa medida vertical no afloramento Nat-04 e corrigidos através de Fórmula A.

7. RESULTADOS OBTIDOS

Após a coleta dos dados em campo e apresentado no capítulo anterior, os mesmos foram trabalhados para melhor entender a área estudada. Para isso foram feitas associações de fácies para que pudesse definir os elementos arquiteturais, criados fotomosaicos, seções colunares e, por fim, a distribuições de frequência da permeabilidade nas fácies e elementos arquiteturais.

7.1 Associações de Fácies e Elementos arquiteturais

Para se caracterizar os sistemas deposicionais encontrados nos afloramentos estudados na Formação Marizal, associou-se as fácies descritas e analisadas e também, parcialmente, a trabalhos anteriores realizados nesta mesma área de estudo por Carrera (2015). Por esse método foram distinguidos 4 elementos arquiteturais. São eles:

Depósitos de Barras Subaquáticas (BS)

Este depósito é formado pela associação das fácies de arenito com estratificação cruzada acanalada (Aca) e arenitos com estratificação cruzada tabular.

Tal como apresentado na Figura 15, foram encontrados a fácies Aca, em geometria lenticular, arenitos médios a grossos e com grânulos esparsos, com espessura métrica e grande continuidade lateral, formadas por séries centimétrica, que foi interpretada como barras subaquáticas, em ambiente com sistema entrelaçado de rios.

Depósito de Planície de Inundação (PI)

O depósito é caracterizado pela associação de fácies de arenitos de granulação fina com estratificação cruzada cavalgante (Acc), arenitos com laminação heterolítica (Ah), arenitos maciços (Am), pelitos com estratificação plano-paralela (Spp), pelitos maciços (Pm), arenitos com estratificação cruzada acanalada (Aca) e arenitos com marca ondulada.

Apresenta geometria tabular, com grande continuidade lateral, podendo atingir dezenas de metros. Apresenta também a intercalação de fácies de correntes subaquáticas com as fácies de decantação (Figuras 13, 14 e 15). Foi interpretado como formado em ambiente de planície de inundação com aporte sedimentar arenoso em enchentes fluviais.

Depósitos de Lençol de Areia (LA)

São formados predominantemente por Arenitos finos a muito finos com estratificação cruzada (Acc) e arenitos com estratificação cruzada de baixo ângulo (Aba).

Possui geometria tabular, pacotes espessos e com grande continuidade lateral, podendo atingir dezenas de metros, conforme mostrado nas Figuras 13, 14 e 15.

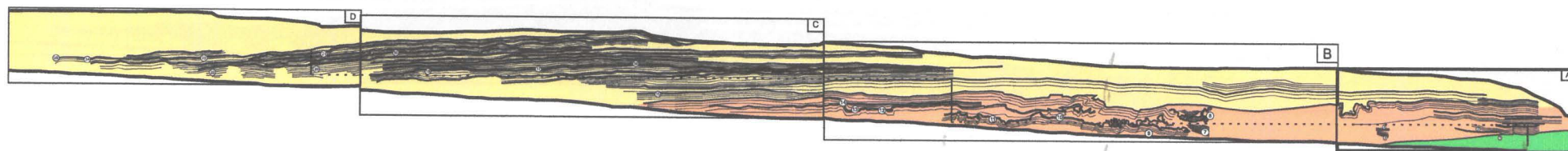
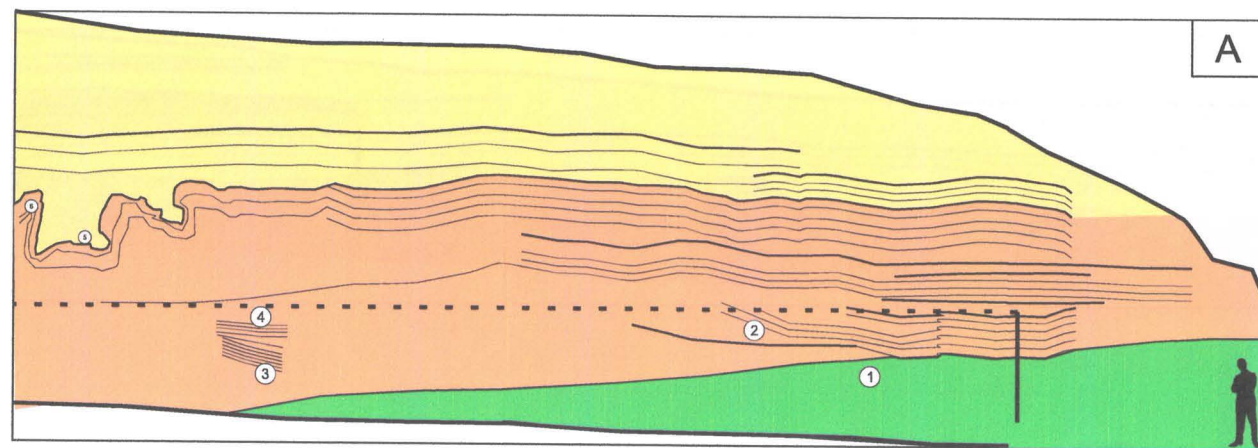
Carrera (2015) interpretou ser este um ambiente dominado por lençóis de areia eólicos, com aporte sedimentar e eventual retrabalhamento por sistema fluvial.

Depósitos de Campos de Dunas Eólicas (DE)

Formados pela associação de fácies de arenitos com estratificação cruzada eólica (Ace), arenitos com laminação transladante (Acc) e arenitos com marca ondulada.

Com geometria tabular, podendo ser lenticular, são marcados por contatos erosivos evidentes no topo, porém na base o contato é irregular devido às cruzadas. Possuem grande continuidade lateral, chegando a dezenas de metros e espessura relativamente fina, chegando a poucos metros, como apresentado nas Figuras 13, 14 e 15.

Foi interpretado que este ambiente é dominado por dunas eólicas, localmente apresenta migração de ripples e ocasional retrabalhamento por ondas em águas rasas.




DEPÓSITO DE LENÇOL DE AREIA

Arenitos médios a finos com estratificação cruzada cavalgante e localmente convoluta


DEPÓSITO DE CAMPOS DE DUNAS EÓLICAS

Arenitos finos a médios com estratificação cruzada eólica tengencial na base e dobramentos convolutos


DEPÓSITOS DE PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO

Arenito fino micáceo maciço

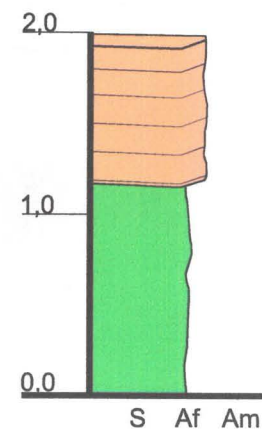
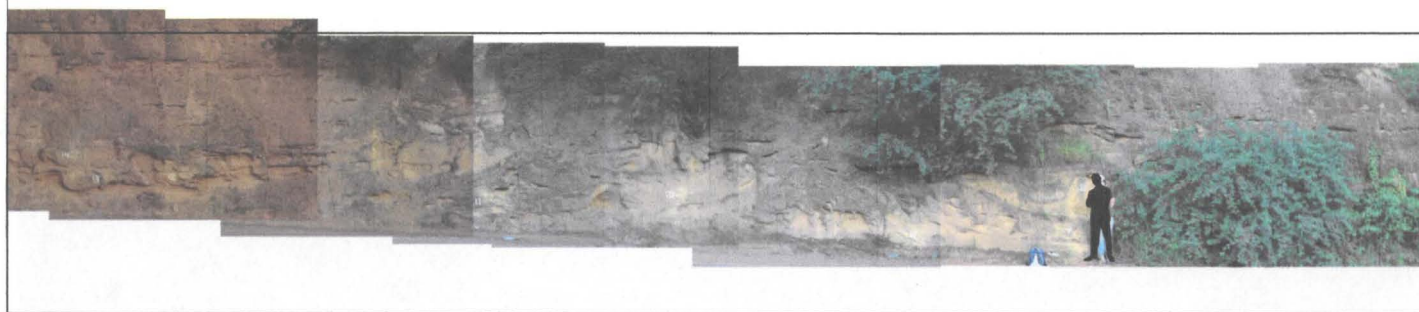


Figura 13-A: Fotomosaico interpretado mostrando as associações de fácies, números representando os locais onde se mediu a permeabilidade através do TinyPerm II. Detalhe para a sessão levantada nesta porção do afloramento.



DEPÓSITO DE LENÇOL DE AREIA

Arenitos médios a finos com estratificação cruzada cavalgante e localmente convoluta

DEPÓSITO DE CAMPOS DE DUNAS EÓLICAS

Arenitos finos a médios com estratificação cruzada eólica tangencial na base e dobramentos convolutos

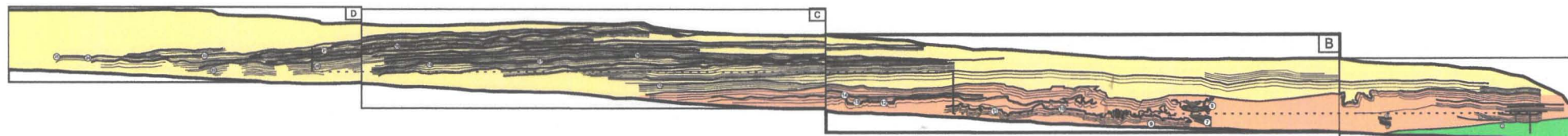
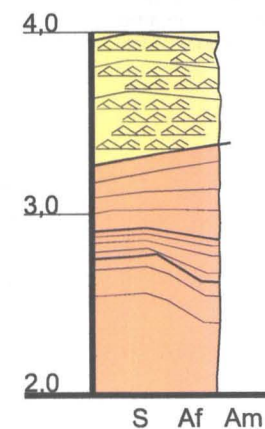
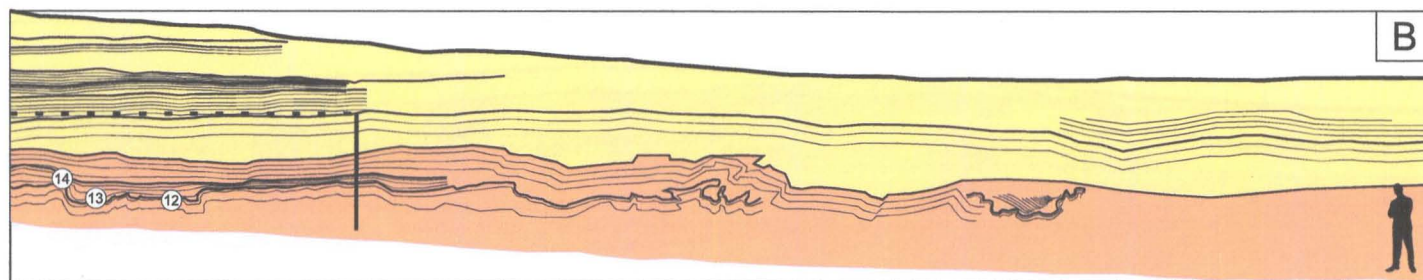


Figura 13-B: Continuação para a esquerda do mosaico anterior.




**DEPÓSITO DE LENÇOL
 DE AREIA**

Arenitos médios a finos
 com estratificação cruzada
 cavalgante e localmente
 convoluta


**DEPÓSITO DE CAMPOS
 DE DUNAS EÓLICAS**

Arenitos finos a médios
 com estratificação cruzada eólica
 tengencial na base e dobramentos
 convolutos

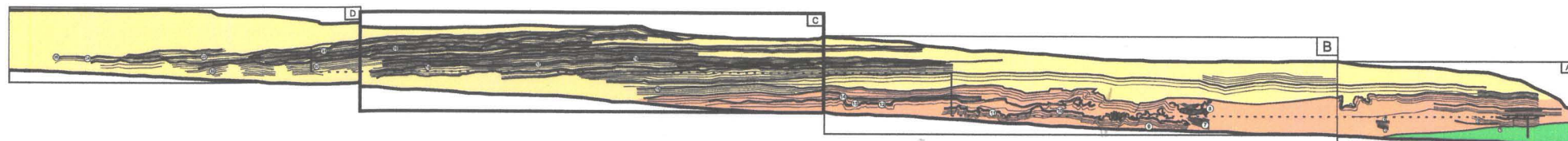
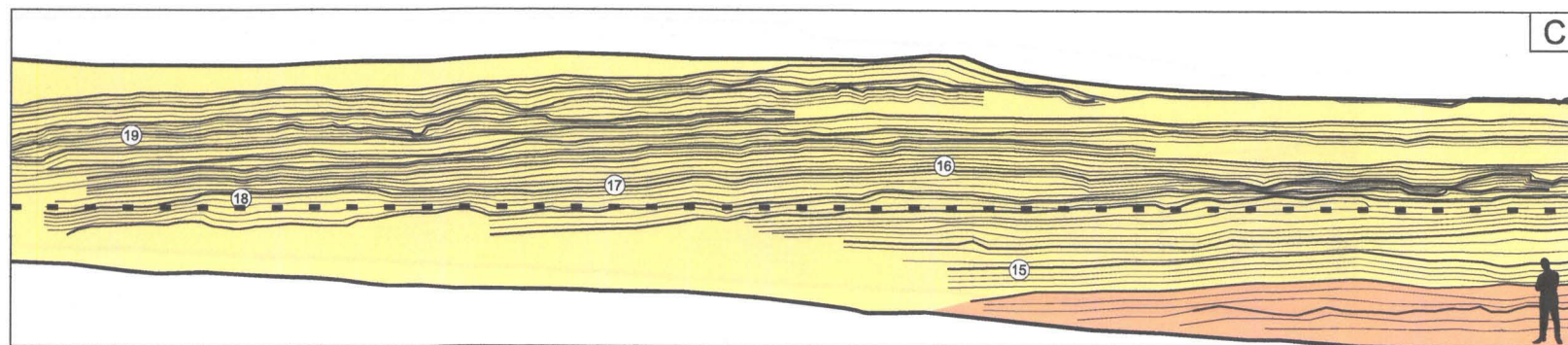


Figura 13-C: Continuação para a esquerda do mosaico anterior.




**DEPÓSITO DE LENÇOL
 DE AREIA**

Arenitos médios a finos
 com estratificação cruzada
 cavalgante e localmente
 convoluta

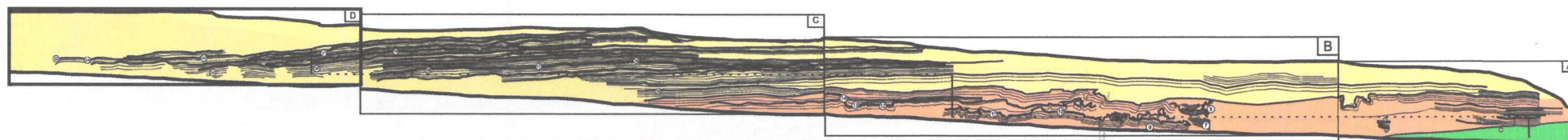
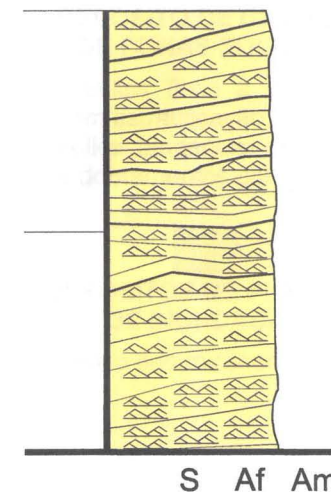
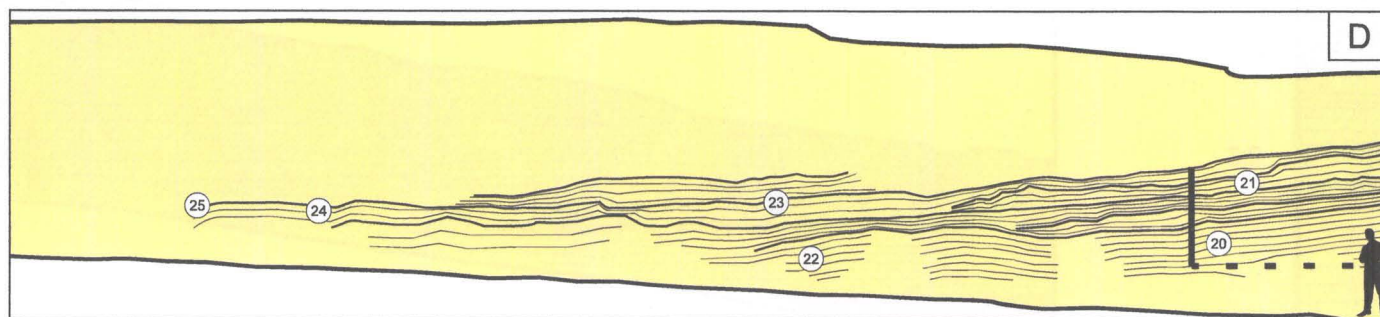
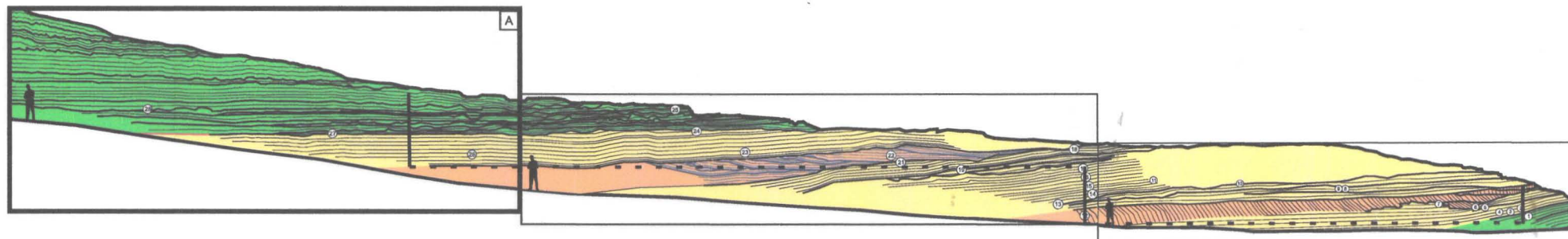
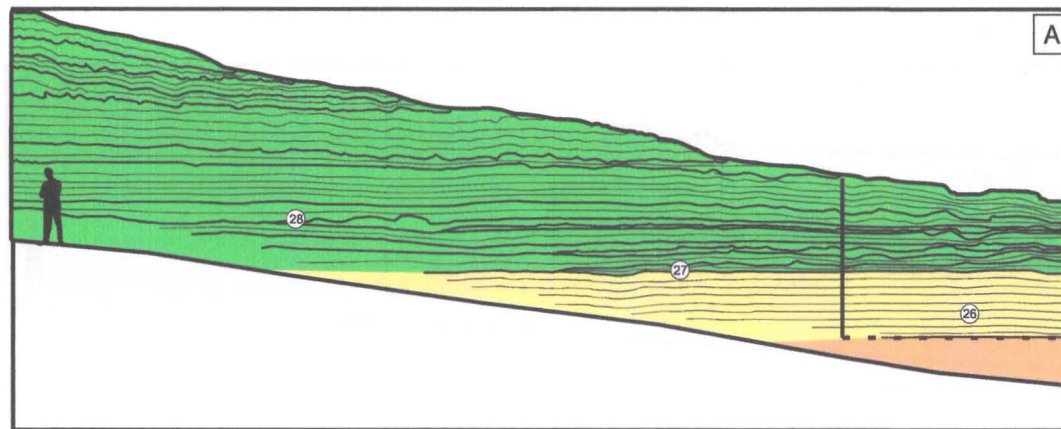
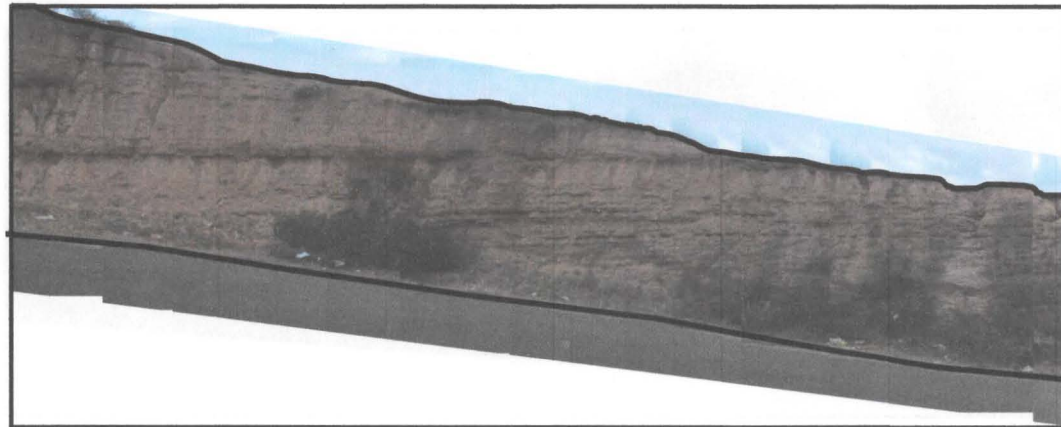


Figura 13-D: Continuação para a esquerda do mosaico anterior.

NAT-03.A



DEPÓSITO DE LENÇOL DE AREIA

Arenitos médios a finos com estratificação cruzada cavalgante e localmente convoluta



DEPÓSITO DE CAMPOS DE DUNAS EÓLICAS

Arenitos finos a médios com estratificação cruzada eólica tengencial na base e dobramentos convolutos



DEPÓSITOS DE PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO

Arenito fino micáceo maciço

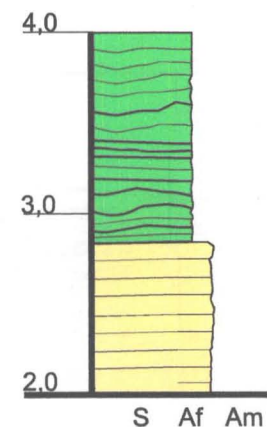


Figura 14-A: Fotomosaico interpretado mostrando as associações de fácies, números representando os locais onde se mediu a permeabilidade através do TinyPerm II. Detalhe para a sessão levantada nesta porção do afloramento.



DEPÓSITO DE LENÇOL DE AREIA

Arenitos médios a finos com estratificação cruzada cavalgante e localmente convoluta

DEPÓSITO DE CAMPOS DE DUNAS EÓLICAS

Arenitos finos a médios com estratificação cruzada eólica tengencial na base e dobramentos convolutos

DEPÓSITOS DE PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO

Arenito fino micáceo maciço

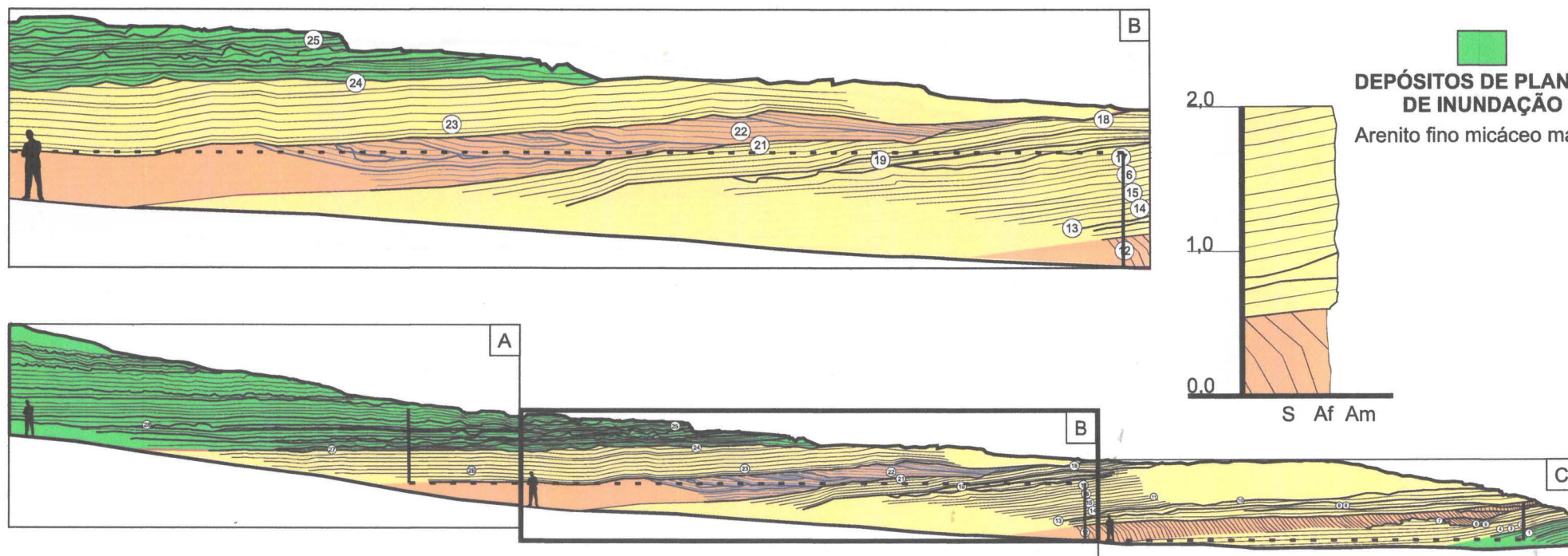
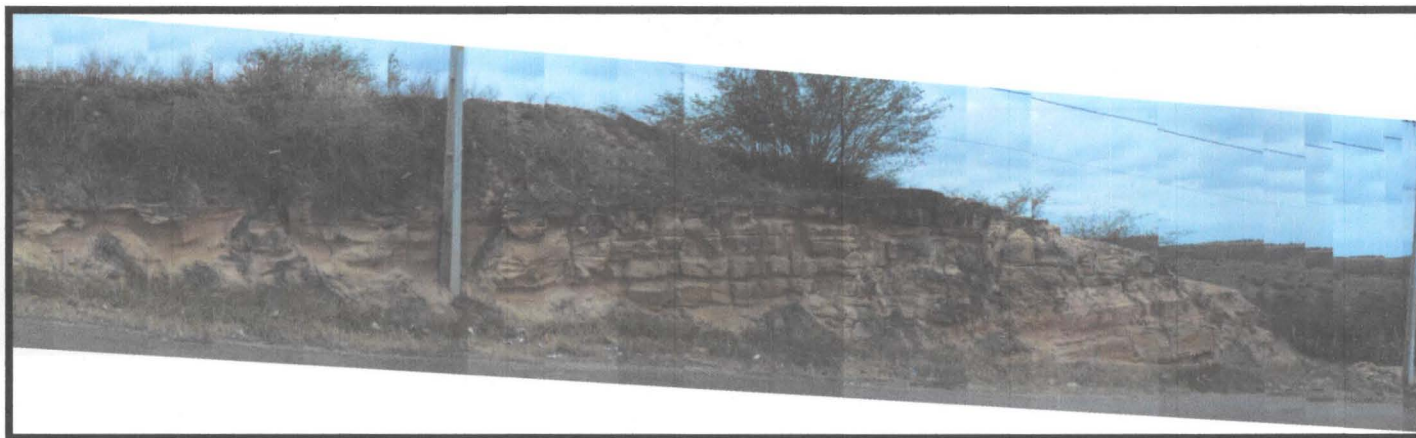


Figura 14-B: Continuação para a direita do mosaico anterior.




**DEPÓSITO DE LENÇOL
DE AREIA**

Arenitos médios a finos
com estratificação cruzada
cavalgante e localmente
convoluta


**DEPÓSITO DE CAMPOS
DE DUNAS EÓLICAS**

Arenitos finos a médios
com estratificação cruzada
eólica tengencial na base
e dobramentos convolutos


**DEPÓSITOS DE PLANÍCIE
DE INUNDAÇÃO**

Arenito fino micáceo maciço

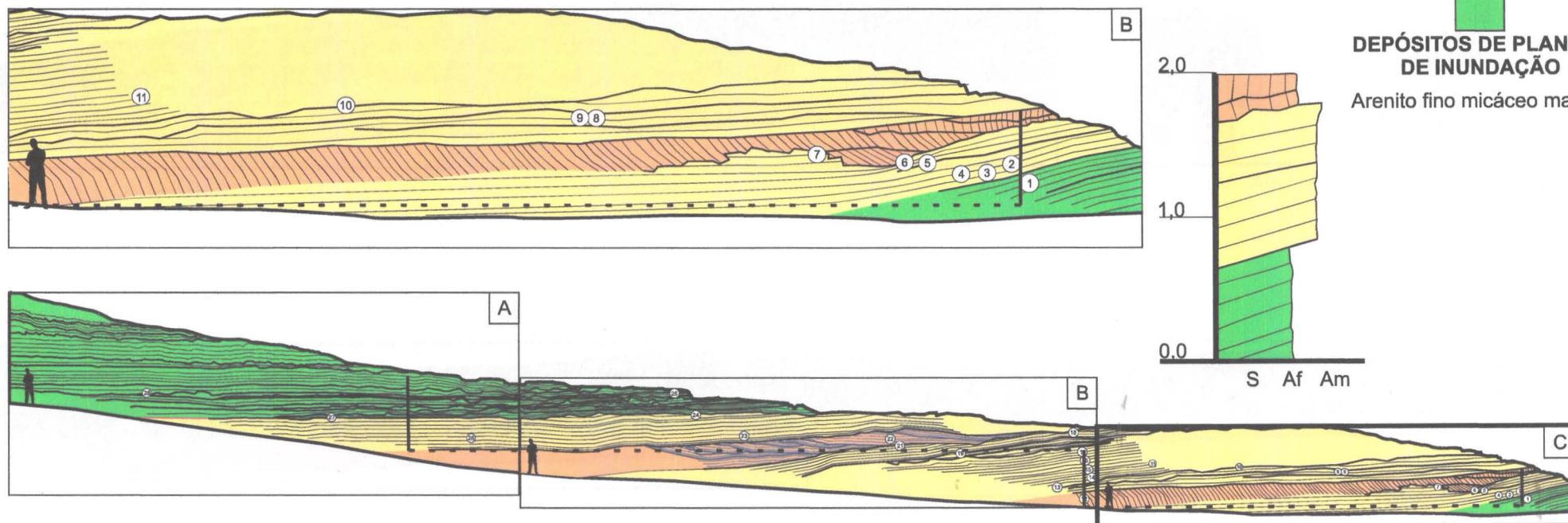
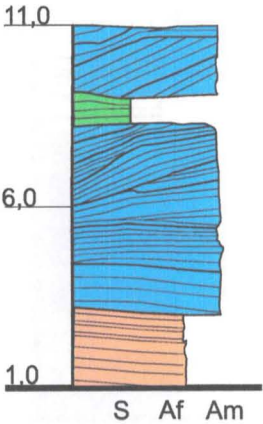
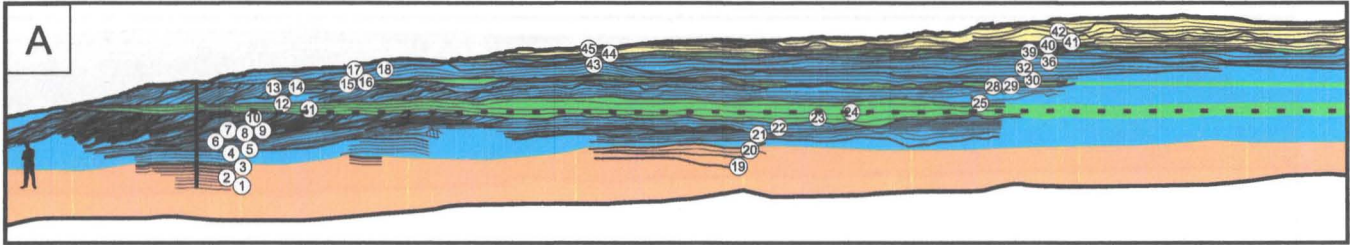
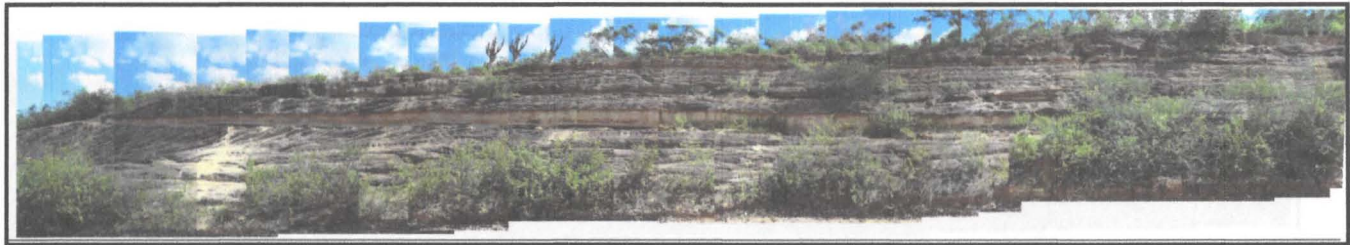


Figura 14-C: Continuação para a direita do mosaico anterior.



DEPÓSITO DE LENÇOL DE AREIA

Arenitos médios a finos com estratificação cruzada cavalgante e localmente convoluta

DEPÓSITO DE CAMPOS DE DUNAS EÓLICAS

Arenitos finos a médios com estratificação cruzada eólica tengencial na base e dobramentos convolutos

DEPÓSITOS DE PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO

Siltito com estratificação plano-paralelo

DEPÓSITOS DE BARRAS ARENOSAS SUBAQUÁTICAS

Arenito médio com grânulos esparsos e estratificação cruzada acanalada

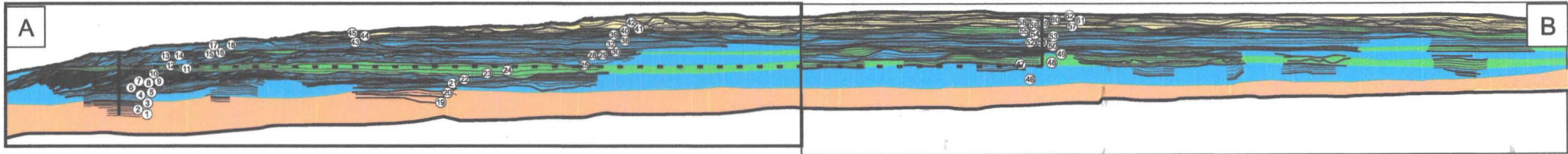
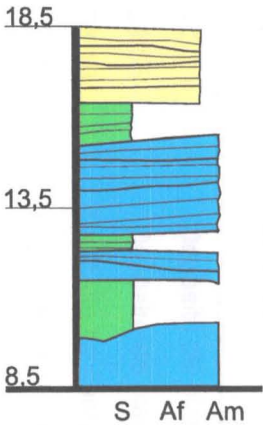
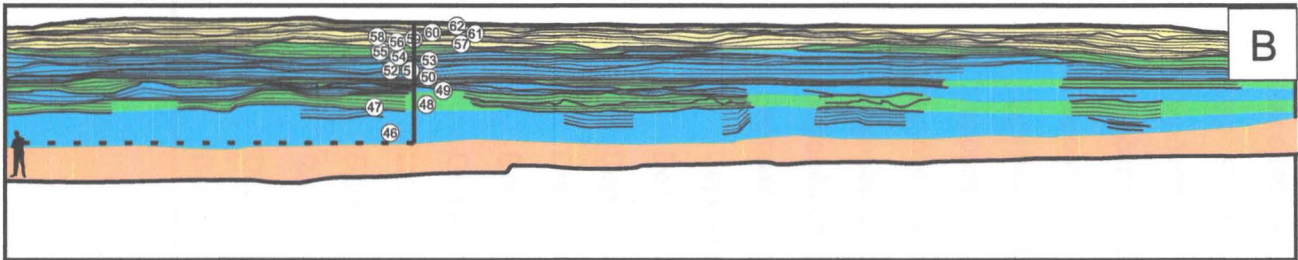
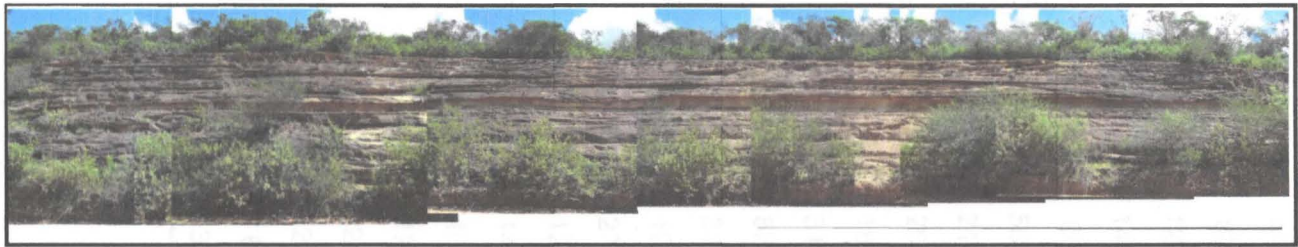


Figura 15-A: Fotomosaico interpretado mostrando as associações de fácies, números representando os locais onde se mediu a permeabilidade através do TinyPerm II. Detalhe para a sessão levantada nesta porção do afloramento.

NAT-04.B



DEPÓSITO DE LENÇOL DE AREIA

Arenitos médios a finos com estratificação cruzada cavalgante e localmente convoluta

DEPÓSITO DE CAMPOS DE DUNAS EÓLICAS

Arenitos finos a médios com estratificação cruzada eólica tengencial na base e dobramentos convolutos

DEPÓSITOS DE PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO

Siltito com estratificação plano-paralelo

DEPÓSITOS DE BARRAS ARENOSAS SUBAQUÁTICAS

Arenito médio com grânulos esparsos e estratificação cruzada acanalada

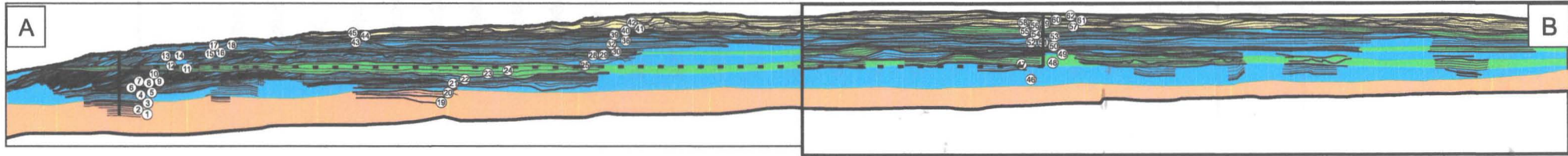


Figura 15-B: Continuação para a direita do mosaico anterior.

As tabelas 04, 05 e 06 estão representados as análises do *TinyPerm* convertidos em mD através da Fórmula A (indicada na pg. 17) e as divisões dos afloramentos nos 4 elementos arquiteturais descritos acima:

Tabela 04: Dados de campo referentes ao afloramento NAT-02

PONTO	Tp	μ (mD)	ELEMENTOS ARQUITETURAIS
1H	10,28	1463,21	Depósito de planície de inundação
1V	11,20	109,55	Depósito de planície de inundação
2H	10,92	238,10	Depósito de campo de dunas eólicas
3H	10,19	1881,37	Depósito de campo de dunas eólicas
3V	10,34	1212,15	Depósito de campo de dunas eólicas
4H	10,66	498,49	Depósito de campo de dunas eólicas
4V	10,56	666,17	Depósito de campo de dunas eólicas
5H	10,34	1237,35	Depósito de campo de dunas eólicas
5V	10,27	1489,09	Depósito de campo de dunas eólicas
6H	10,46	863,99	Depósito de campo de dunas eólicas
7H	9,83	5089,53	Depósito de campo de dunas eólicas
7V	10,14	2124,62	Depósito de campo de dunas eólicas
8H	10,06	2684,31	Depósito de campo de dunas eólicas
9H	10,18	1895,50	Depósito de campo de dunas eólicas
10H	10,01	3132,25	Depósito de campo de dunas eólicas
11H	9,66	8200,56	Depósito de campo de dunas eólicas
12H	10,00	3176,51	Depósito de lençol de areia
12V	10,33	1270,19	Depósito de lençol de areia
13H	10,05	2760,70	Depósito de lençol de areia
14H	10,34	1212,15	Depósito de lençol de areia
14V	10,27	1489,09	Depósito de lençol de areia
15H	10,39	1075,38	Depósito de lençol de areia
15V	10,34	1223,54	Depósito de lençol de areia
16H	10,91	249,97	Depósito de lençol de areia
17H	10,94	225,95	Depósito de lençol de areia
18V	11,37	68,95	Depósito de lençol de areia
18H	10,80	336,55	Depósito de lençol de areia

Tabela 04 (continuação): Dados de campo referentes ao afloramento NAT-02

PONTO	Tp	μ (mD)	ELEMENTOS ARQUITETURAIS
19H	10,41	995,99	Depósito de lençol de areia
20H	10,78	355,98	Depósito de lençol de areia
21H	11,18	114,79	Depósito de lençol de areia
21V	11,49	49,24	Depósito de lençol de areia
22H	10,85	290,45	Depósito de lençol de areia
22V	11,13	132,08	Depósito de lençol de areia
23H	10,41	1011,00	Depósito de lençol de areia
23V	10,59	610,10	Depósito de lençol de areia
24H	10,61	576,80	Depósito de lençol de areia
24V	10,34	1223,54	Depósito de lençol de areia
25H	10,02	3031,37	Depósito de lençol de areia
25V	10,25	1560,39	Depósito de lençol de areia

Tabela 05: Dados de campo referentes ao afloramento NAT-03

PONTO	Tp	μ (mD)	ELEMENTOS ARQUITETURAIS
1H	12,15	7,69	Depósito de planície de inundação
2H	10,83	307,22	Depósito de lençol de areia
2V	11,24	97,01	Depósito de lençol de areia
3H	11,29	84,31	Depósito de lençol de areia
4H	10,93	231,51	Depósito de lençol de areia
4V	11,76	22,76	Depósito de lençol de areia
5H	11,97	12,74	Depósito de lençol de areia
6H	11,03	179,00	Depósitos de campo de dunas eólicas
7H	10,22	1713,38	Depósitos de campo de dunas eólicas
7H	10,22	1713,38	Depósitos de campo de dunas eólicas
9H	9,72	6904,01	Depósito de lençol de areia
10H	10,00	3198,87	Depósito de lençol de areia

Tabela 05 (continuação): Dados de campo referentes ao afloramento NAT-03

PONTO	Tp	μ (mD)	ELEMENTOS ARQUITETURAIS
11H	10,20	1812,28	Depósito de lençol de areia
12H	10,69	458,25	Depósito de lençol de areia
13H	10,64	534,72	Depósito de lençol de areia
13V	10,74	402,01	Depósito de lençol de areia
14H	11,67	29,30	Depósito de lençol de areia
14V	11,78	21,32	Depósito de lençol de areia
15H	11,45	54,32	Depósito de lençol de areia
16H	11,27	89,17	Depósito de lençol de areia
16V	11,02	184,10	Depósito de lençol de areia
17H	10,64	522,36	Depósito de lençol de areia
18H	9,63	9097,72	Depósito de lençol de areia
18V	9,76	6287,54	Depósito de lençol de areia
19H	10,14	2144,58	Depósito de lençol de areia
20H	10,28	1461,50	Depósitos de campo de dunas eólicas
21H	10,02	3031,37	Depósitos de campo de dunas eólicas
22H	9,88	4406,79	Depósitos de campo de dunas eólicas
23H	10,00	3146,93	Depósito de lençol de areia
23V	10,09	2490,78	Depósito de lençol de areia
24H	10,86	281,76	Depósito de lençol de areia
24V	10,99	195,64	Depósito de lençol de areia
25H	10,52	738,36	Depósito de planície de inundação
25V	10,49	810,75	Depósito de planície de inundação
26H	10,88	268,88	Depósito de lençol de areia
26V	10,85	295,25	Depósito de lençol de areia
27H	10,63	542,27	Depósito de lençol de areia
28H	11,05	166,88	Depósito de planície de inundação
28V	11,44	55,34	Depósito de planície de inundação
29H	10,98	201,21	Depósito de planície de inundação
29V	10,87	279,13	Depósito de planície de inundação

Tabela 06: Dados de campo referentes ao afloramento NAT-04

PONTO	Tp	μ (mD)	ELEMENTOS ARQUITETURAIS
1H	9,23	27715,64	Depósitos de campo de dunas eólicas
2H	9,32	21170,80	Depósitos de campo de dunas eólicas
3H	9,32	21289,94	Depósitos de campo de dunas eólicas
4H	9,67	8018,53	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
5H	9,31	22267,55	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
6H	9,32	21289,94	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
6V	9,64	8821,20	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
7H	9,38	17991,08	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
8H	9,03	48852,43	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
8V	9,23	27406,30	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
9H	9,38	18092,33	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
10H	9,32	21409,76	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
10V	9,59	9943,11	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
11H	11,44	55,86	Depósitos de planície de inundação
12H	9,49	13287,59	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
13H	9,78	5889,06	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
14H	9,90	4244,96	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
15H	11,79	21,12	Depósitos de planície de inundação
15V	11,79	21,12	Depósitos de planície de inundação
16H	9,73	6776,06	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
16V	9,47	13923,76	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
17H	9,31	22225,93	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
18H	10,22	1729,48	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
19H	9,53	11876,85	Depósitos de campo de dunas eólicas
19V	9,27	24634,44	Depósitos de campo de dunas eólicas
20H	9,31	22225,93	Depósitos de campo de dunas eólicas
21H	8,88	74279,14	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
21V	9,40	16945,72	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
22O	11,40	61,92	Depósitos de planície de inundação
23H	11,66	30,42	Depósitos de planície de inundação

Tabela 06 (continuação): Dados de campo referentes ao afloramento NAT-04

PONTO	Tp	μ (mD)	ELEMENTOS ARQUITETURAIS
24H	12,64	1,93	Depósitos de planície de inundação
25H	9,38	17923,90	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
25H	9,38	17923,90	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
25V	9,42	16323,44	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
26H	9,80	5567,68	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
26V	10,13	2205,61	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
27H	10,14	2124,62	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
27V	9,82	5214,82	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
28H	12,01	11,29	Depósitos de planície de inundação
29V	9,49	13412,46	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
29O	9,50	12799,65	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
30H	10,33	1246,65	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
30V	10,34	1235,04	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
31H	9,50	12919,93	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
32H	9,67	8093,88	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
33H	10,08	2537,82	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
33V	10,06	2684,31	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
34H	10,50	788,32	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
35H	10,37	1124,76	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
36H	10,50	788,32	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
37H	11,42	59,64	Depósitos de planície de inundação
38H	10,24	1604,79	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
39H	10,79	346,13	Depósitos de planície de inundação
40H	10,46	873,74	Depósitos de planície de inundação
41H	9,93	3902,25	Depósito de lençol de areia
42H	9,93	3829,93	Depósito de lençol de areia
43H	10,62	562,95	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
44H	11,48	49,47	Depósitos de planície de inundação
45H	10,08	2514,19	Depósito de lençol de areia
46H	9,41	16476,84	Depósitos de barras arenosas subaquáticas

Tabela 06 (continuação): Dados de campo referentes ao afloramento NAT-04

PONTO	Tp	μ (mD)	ELEMENTOS ARQUITETURAIS
47H	9,70	7371,16	Depósitos de planície de inundação
47V	10,08	2561,66	Depósitos de planície de inundação
48H	10,02	3003,15	Depósitos de planície de inundação
48V	10,02	3031,37	Depósitos de planície de inundação
49H	10,30	1368,87	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
50H	10,67	489,26	Depósitos de planície de inundação
51H	9,54	11656,75	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
51V	9,74	6588,57	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
52H	9,97	3487,95	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
52V	9,47	14186,68	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
53H	10,41	1005,35	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
54H	10,46	865,61	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
55H	9,88	4406,79	Depósitos de barras arenosas subaquáticas
56H	10,06	2709,53	Depósito de lençol de areia
56V	10,02	3003,15	Depósito de lençol de areia
57H	10,89	261,44	Depósitos de planície de inundação
58H	11,32	77,50	Depósitos de planície de inundação
59V	10,30	1368,87	Depósito de lençol de areia
60H	10,14	2164,74	Depósito de lençol de areia
60V	10,14	2164,74	Depósito de lençol de areia
61H	9,91	4127,51	Depósito de lençol de areia
61V	10,14	2124,62	Depósito de lençol de areia
62H	10,51	759,37	Depósito de lençol de areia

7.2 Estudos Estatísticos

De maneira a melhor entender os afloramentos, após ser feita a identificação das fácies e distribuição em elementos arquiteturais, foi feito também uma análise básica estatística para que se possa verificar qualquer indicação de preferência do aumento ou diminuição da permeabilidade.

Foram feitas 163 análises de permeabilidade em campo, sendo que 113 foram feitas na direção horizontal (H), 48 na direção vertical (V) e 2 na direção oblíquo (O). De acordo

com a interpretação dos sistemas deposicionais descritos no sub-capítulo 7.1 (Associações de Fácies e Elementos arquiteturais), foi identificado como 47 análises realizadas nos Depósitos de Barras Arenosas Subaquáticas, 26 análises nos Depósitos de Campo de Dunas Eólicas, 63 análises nos Depósitos de Lençol de Areia e 27 análises nos Depósitos de Planície de Inundação.

O valor de permeabilidade mais baixa encontrada foi 1,93 mD, encontrado no Depósito de planície de Inundação (afloramento Nat-04, ponto 24H) e o valor mais alto foi 74.279,14 mD, encontrado no Depósito de Barras Arenosas Subaquáticas (afloramento Nat-04, ponto 21H) tal como apresentado na Tabela 04.

Tabela 04:Dados estatísticos iniciais dos Elementos arquiteturais

Elementos Arquiteturais	Nº de Análises	Permeabilidade mais baixa	Permeabilidade mais alta	Permeabilidade média
BS	47,00	562,95	74.279,14	11.331,84
DE	26,00	179,00	27.715,64	6.639,71
LA	63,00	12,74	9.097,72	1.467,79
PI	27,00	1,93	7.371,16	820,75

Observa-se também que a distribuição da permeabilidade não é linear, ocorrendo preferencialmente em intervalos. Para melhor descrever isso, foi separado os dados em intervalos de 0 a 1.000 mD, 1.001 a 5.000 mD, 5.001 a 10.000 mD e 10.001 a 100.000 mD, como apresentado na Tabela 05-A, B, C e D.

Depósito de Barras Arenosas Subaquáticas				
Intervalo	Nº	Soma	Média (mD)	%
0 - 1.000	4	3.005,19	751,30	8,51
1.001 - 5.000	14	31.007,00	2.214,79	29,79
5.001 - 10.000	9	64.912,90	7.212,54	19,15
10.001 - 100.000	20	433.671,17	21.683,56	42,55

Tabela 05-A: Dados de frequência da distribuição da permeabilidade dos Depósitos de Barras Arenosas Subaquáticas segundo os intervalos pré-determinados.

Depósito de Campo de Dunas Eólicas				
Intervalo	Nº	Soma	Média	%
0 - 1.000	5	2.445,76	489,15	19,23
1.001 - 5.000	13	27.983,06	2.152,54	50,00
5.001 - 10.000	1	8.200,56	8.200,56	3,85
10.001 - 100.000	6	128.913,61	21.485,60	23,08

Tabela 05-B: Dados de frequência da distribuição da permeabilidade dos Depósito de Campo de Dunas Eólicas segundo os intervalos pré-determinados.

Depósito de Lençol de Areia				
Intervalo	Nº	Soma	Média	%
0 - 1.000	33	9.401,11	284,88	52,38
1.001 - 5.000	27	60.780,52	2.251,13	42,86
5.001 - 10.000	3	22.289,27	7.429,76	4,76
10.001 - 100.000	0	0,00	0,00	0,00

Tabela 05-C: Dados de frequência da distribuição da permeabilidade dos Depósitos de Lençol de Areia segundo os intervalos pré-determinados.

Depósito de Planície de Inundação				
Intervalo	Nº	Soma	Média	%
0 - 1.000	22	4.729,75	214,99	81,48
1.001 - 5.000	4	10.059,40	2.514,85	14,81
5.001 - 10.000	1	7.317,16	7.317,16	3,70
10.001 - 100.000	0	0,00	0,00	0,00

Tabela 05-D: Dados de frequência da distribuição da permeabilidade dos Depósitos de Planície de Inundação segundo os intervalos pré-determinados.

Pode-se constatar que nos Depósitos de BS, 42% dos dados obtidos estão acima de 10.001 mD (Tabela 05-A). Nos Depósitos de DE a maior frequência fica no intervalo de 1.001 a 5.000 mD, com 50% dos dados obtidos (Tabela 05-B). Nos Depósitos de LA a maior frequência fica entre 0 a 1.000 mD com 52,38%, porém no intervalo entre 1.001 a 5.000 mD a frequência foi de 42,86%, ou seja, até 5.000 mD a frequência é de mais de 95% dos resultados (Tabela 05-C). Nos Depósitos de PI a permeabilidade com maior frequência é a no intervalo entre 0 e 1.000 mD com 81,48%.

Para melhor representar esses dados, foi feito também gráficos de dispersão para os determinados elementos arquiteturais, como exposto nas Figuras 16, 17, 18 e 19

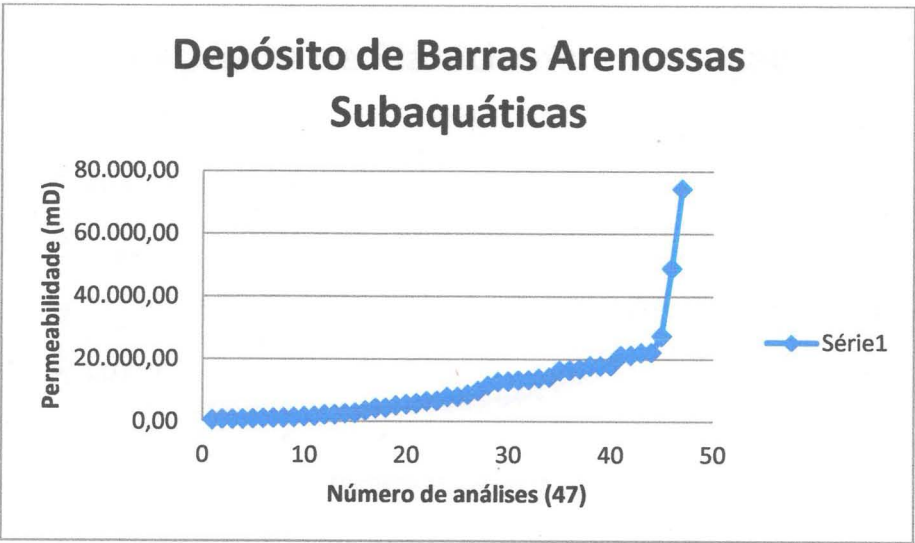


Figura 16: Gráfico de dispersão de permeabilidade dos Depósitos de BS.

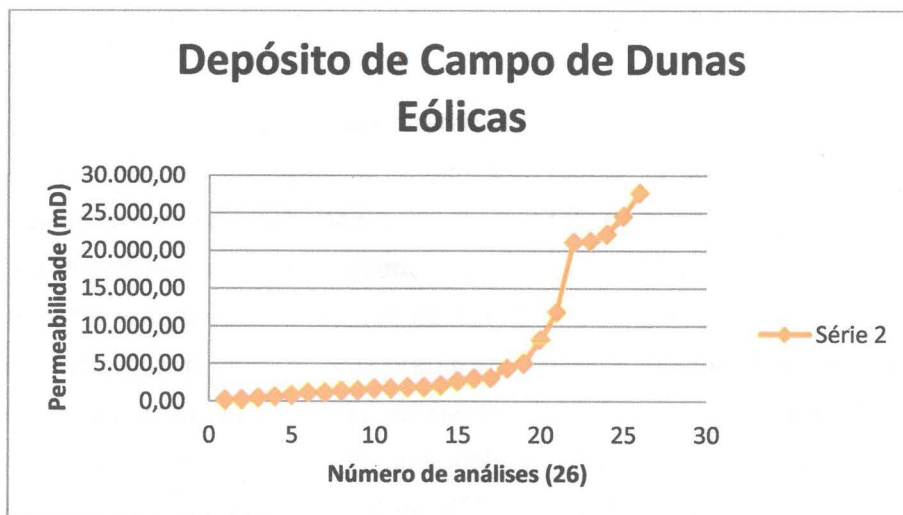


Figura 17: Gráfico de dispersão de permeabilidade dos Depósitos de DE.

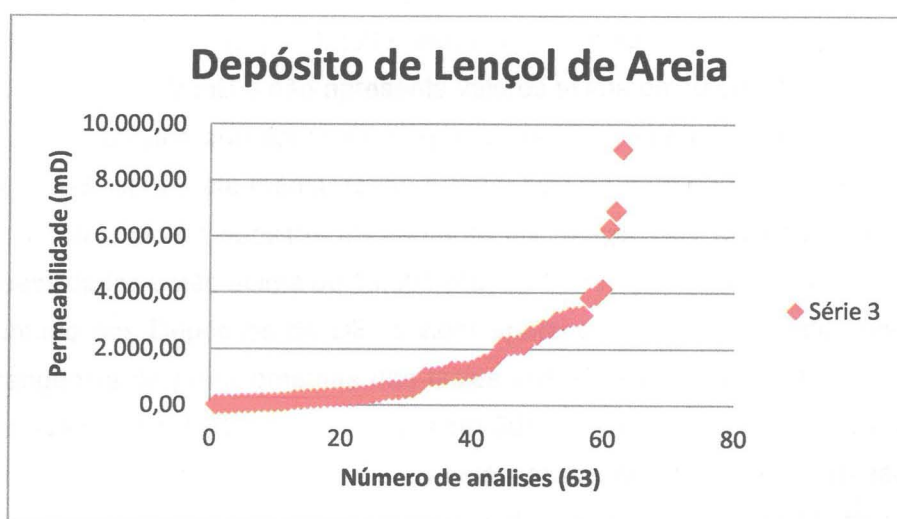


Figura 18: Gráfico de dispersão de permeabilidade dos Depósitos de LA.

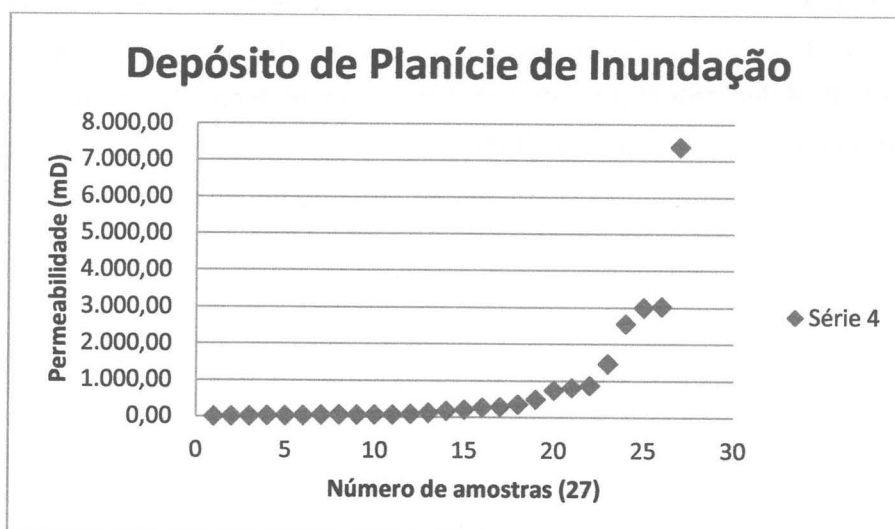


Figura 19: Gráfico de dispersão de permeabilidade dos Depósitos de PI.

8. CONCLUSÕES

Foi possível concluir que existem heterogeneidades dentro de um mesmo elemento arquitetural, com diversas divergências e variações, como no caso do caso dos Depósitos de DE apresentar permeabilidade mais baixa de 179,00 mD e mais alta de 27,715,64 ou dos Depósitos de PI apresentar permeabilidade mais baixa de 1,93 e mais alta de 7.371,16 mD.

Porém, há uma tendência de que as litologias com granulometrias mais finas como no caso dos Depósitos de PI e LA, cuja granulometria geral das fácies são areia fina a muito fina, silte e, em algumas partes, argila apresentam uma permeabilidade mais baixa, sendo que 81,48% dos Depósitos de PI estão num intervalo abaixo de 1.000 mD, com valor médio de 214,99 mD, apresentando menos de 4% dos valores acima de 5.001 mD e não ocorrendo valores acima de 10.001 mD e que 95,24% dos Depósitos de LA estão abaixo de 5.000 mD, sendo que 52,38% estão num intervalo abaixo de 1.000 mD, apresentando um valor médio de 284,88 mD e que 42,86% estão num intervalo entre 1.001 e 5.000 mD, com valor médio de 2.251,13 mD e não apresenta valores acima de 10.001 mD.

Já nos depósitos que apresentam granulometrias mais grossas, como no caso dos Depósitos de BS, com areia média, tendo a tendência da permeabilidade se invertendo em relação aos outros dois Depósitos previamente discutidos. Nos Depósitos de BS, 42,55% das permeabilidades estão acima de 10.001 mD, com um valor médio de 21.683,56 mD.

Contudo nos Depósitos de DE, o valor aparece melhor distribuído, devido há uma maior abrangência de granulometrias das fácies analisadas. O valor com maior frequência foi num intervalo entre 1.001 e 5.000 mD, com 50% dos valores e uma média de 2.152,54 mD, porém tem-se que 23,08 dos valores estão acima de 10.001 mD, apresentado uma média de 21.485,60 mD e 19,23% dos valores estão abaixo de 1.000 mD, com valor médio de 489,15 mD.

Com esse trabalho pode-se também concluir que a realização da caracterização de fácies associadas, definindo Elementos Arquiteturais, análise de permeabilidade em campo, através do *TinyPerm II* e analisando esses dados através da distribuição da frequência dos dados, pode-se ter uma visão mais clara, mesmo que simplificada, de como ocorrem as heterogeneidades dentro de um depósito sedimentar.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Assine, M. L. (1994). Paleocorrentes e paleogeografia na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*. 24 (4): p. 223-232.
- Caixeta, J. M.; Bueno, G. V.; Magnavita, L. V.; Feijó, F. J. (1994). Bacias do Recôncavo, Tucano e Jatobá. *Boletim de Geociências da Petrobras*. 8 (1), p. 163-172.
- Carrera, S. C. (2012). Análise de Proveniência e Arquitetura Depositional da Formação Marizal, Aptiano, Bacia do Tucano-Central, BA. Monografia de Trabalho de Formatura, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 52 p.
- Carrera, S. C. (2015). Arquitetura Depositional e Proveniência da Formação Marizal nas Sub-bacias de Tucano Sul e Central, BA. Tese de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 147 p.
- Cesero, P. & Ponte, F. C. (1997). Análise comparativa da paleogeologia dos litorais atlânticos brasileiros e africano. *Boletim de Geociências da Petrobras*. 11 (1/2): p. 1-18.
- Costa, I. P.; Milhomem, P. S.; Bueno, G. V.; Silva, H. S. R. L.; Kosin, M. D. (2007a). Sub-bacias de Tucano Sul e Central. *Boletim de Geociências da Petrobras*. 15 (2), p. 433-443.
- Costa, I. P.; Bueno, G. V.; Milhomem, P. S.; Silva, H. S. R. L.; Kosin, M. D. (2007b). Sub-Bacia de Tucano Norte e Bacia de Jatobá. *Boletim de Geociências da Petrobras*. 15 (2), p. 445-453..
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil (2002). Projeto Bacia do Tucano Sul. Estado da Bahia. Escala 1:200.000. *Programa Levantamentos Geológicos Básicos*. Salvador: CPRM, 2002. 84 p.
- Ferreira Júnior, P. D. & Castro, P. T. A. (2001). Associação vertical de fácies e análise de elementos arquiteturais: concepções concorrentes e complementares na caracterização de ambientes aluviais. *Revista Eletrônica de Ciências da Terra: GEOTIC*. 1 (1): p. 1-35.
- Figueiredo, F. T. (2013). Proveniência e arquitetura de depósitos fluviais das Sub-bacias Tucano Central e Norte, Cretáceo (BA). Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 161 p.
- Freitas, B. T. (2014). A Formação Marizal (Aptiano) na Bacia de Tucano (BA): Contribuições à Análise da Arquitetura de Depósitos Fluviais e Implicações Paleogeográficas. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 176 p.
- Freund, R. (1967). Rift Valleys. Paper 66/14. The World Rift System: Geological Survey of Canada.
- Magnavita, L. P. (1996). Sobre a implantação da fase sin-rifte em riftes continentais. *Congresso Brasileiro de Geologia*. p. 335-338. Salvador: SBG
- Magnavita, L. P.; Destro, N.; Carvalho, M. S. S.; Milhomem, P. S.; Lima, W. S. (2003). Bacia de Tucano. *Bacias Sedimentares Brasileiras: Fundação Paleontológica Phoenix*. n. 52: p. 1-8.
- Miall, A. D. (1985). Architectural-Element Analysis: A New Method of Facies Analysis Applied to Fluvial Deposits. *Earth Science Reviews*. 22: p. 261-308.
- Miall, A. D. (1991). Hierarchies of architectural units in terrigenous clastic rocks, and their relationship to sedimentation rate. In: Miall, A. D. & Tyler, N. ed. The three-dimensional facies architecture of terrigenous clastic sediments and its implications for hydrocarbon discovery and recovery. Concepts in Sedimentology and Paleontology. vol 3: p. 6-12.
- Milani, E. & Davison, I. (1988). Basement control and transfer tectonics in the Recôncavo-Tucano-Jatobá rift, Northeast Brazil. *Tectonophysics*. vol 154: p. 41-70.

- Reading, H. G. (1980). Facies. In Reading, H. G. (ed.) *Sedimentary Environments and Facies*. Oxford, Blackwell Scientific Publications. p. 4-14.
- Santos, C. C., Reis, C., Pedreira, A. J. (2010). Projeto Bacia do Tucano Central: Folha Ribeira do Pombal - SC.24-Z-A-IV; Folha Cícero Dantas - SC.24-Z-A-V. Estado da Bahia e Sergipe. Escala 1:100.000. *Programa de Geologia do Brasil. Levantamentos Geológicos Básicos*. Salvador: CPRM, 2010. 87 p.
- Viana, C. F.; Gama Jr, E. G.; Simões, I. A.; Fonseca, J. R.; Alves, R. J. (1971). Revisão Estratigráfica da Bacia Recôncavo/Tucano. *Boletim Técnico da Petrobras*. 14(3): p. 157-192.
- Vilas Boas, G. S. & Filho, V. C. (1994). Fácies sedimentares das formações São Sebastião e Marizal na região de Tucano, Bahia, Brasil. *Congresso Brasileiro de Geologia*.p. 267-268. Camburiú: SBG.
- Zacca, P. (2013). ^{40}Ar - ^{39}Ar em overgrowths de feldspatos potássicos e U-Pb em zircão – aplicação conjunta para o entendimento da Formação Marizal – Bacia do Recôncavo. Tese de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 69 p.