

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**IDENTIFICAÇÃO DE AMBIENTES DE SEDIMENTAÇÃO NA ÁREA
METROPOLITANA DE BELÉM A PARTIR DE PERFIS DE POÇO.**

MÁRCIA HELENA D'OLIVEIRA NASCIMENTO



BELÉM - PARÁ
2003

T NASCIMENTO, Márcia Helena D'Oliveira
N244i **Identificação de ambientes de sedimentação na área metropolitana de Belém a partir de perfis de poço.** / Márcia Helena D'Oliveira Nascimento; orientador, José Gouvêa Luiz. Belém: [s.n], 2003.

40p.; il.

Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Curso de Pós-Graduação em Geofísica, CG, UFPA, 2003.

1.PERFILAGEM DE POÇOS. 2.AMBIENTES DE SEDIMENTAÇÃO. 3.PADRÕES ESTRATIGRÁFICOS. 4.POTENCIAL ESPONTÂNEO. 5.RESISTÊNCIA ELÉTRICA. 6. RAIOS GAMA. 7.REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM. I.LUIZ, José Gouvêa, Orient. II. Título.

CDD: 622.15

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

**IDENTIFICAÇÃO DE AMBIENTES DE SEDIMENTAÇÃO NA ÁREA
METROPOLITANA DE BELÉM A PARTIR DE PERFIS DE POÇO.**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

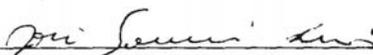
MÁRCIA HELENA D'OLIVEIRA NASCIMENTO

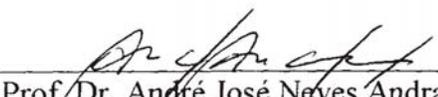
COMO REQUISITO PARCIAL À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM GEOFÍSICA

Data da aprovação: 30/06/2003

Nota: 77% (BOM)

COMITÊ DE TESE:


Prof. Dr. José Gouvêa Luiz (Orientador)


Prof. Dr. André José Neves Andrade


Profa. Dra. Dilce de Fátima Rossetti

BELÉM

2003

Ao Rui, meu marido com muito amor e carinho e aos meus pais que me deram apoio para a concretização de mais uma fase da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço as seguintes pessoas e instituições que participaram direta e indiretamente neste trabalho de tese.

Ao Prof. Dr. José Gouvêa Luiz, pela orientação, apoio e incentivo para realização deste trabalho.

À Universidade Federal do Pará, por intermédio do Centro de Geofísica, pela assistência e infra-estrutura disponível durante meu curso de Pós-Graduação;

À CAPES, pela concessão de bolsa de estudo.

Aos membros integrantes da banca examinadora da dissertação: Prof. Dr. André José Neves Andrade e Profa. Dra. Dilce de Fátima Rossetti.

Aos amigos Darlindo, Antônio, Roosevelt e Mádio, pela amizade e incentivo durante todo o período de mestrado.

Aos amigos Marcos Welby, Victor, Regina Célia, Elcinice Belúcio, pela amizade e carinho que tenho por eles.

Ao geólogo Ronaldo Mendes, pelos perfis geofísicos digitalizados que fazem parte desta dissertação.

À funcionária do curso de Geofísica Benildes Lopes, pela amizade e cooperação.

À minha família, que sempre me incentivou na realização desta dissertação.

A Deus, que me deu forças para buscar o conhecimento e crescer espiritualmente a cada dia.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| | p. |
| DEDICATÓRIA | i |
| AGRADECIMENTOS | ii |
| LISTA DE ILUSTRAÇÕES | iv |
| RESUMO | 1 |
| ABSTRACT | 2 |
| 1 – INTRODUÇÃO | 3 |
| 2 – CONTEXTO GEOLÓGICO | 6 |
| 2.1- FORMAÇÃO PIRABAS..... | 6 |
| 2.2- FORMAÇÃO BARREIRAS..... | 7 |
| 2.3- SEDIMENTOS PÓS-BARREIRAS..... | 8 |
| 2.4- SEDIMENTOS HOLOCÊNICOS | 9 |
| 3 - CONCEITOS BÁSICOS | 10 |
| 3.1 - SÍNTESE SOBRE ANÁLISE FACIOLÓGICA..... | 10 |
| 3.2 - PERFIS GEEOFÍSICOS DE POÇO..... | 11 |
| 3.2.1- Potencial Espontâneo (PE) | 11 |
| 3.2.2- Resistência Elétrica (RE) | 13 |
| 3.2.3-Raios Gama (RG) | 13 |
| 3.3 -ANÁLISE DE FÁCIES A PARTIR DE PERFIS DE POÇO..... | 15 |
| 3.3.1- Sedimentação Transgressiva e Regressiva | 15 |
| 3.3.2 - Barras Arenosas de Preenchimento de Canais | 18 |
| 4- ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS PERFIS DE POÇO | 21 |
| 5 - CONCLUSÕES | 36 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 38 |

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| FIGURAS | p. |
|---|-----------|
| Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo na Região Metropolitana de Belém, com indicação dos poços perfilados para água subterrânea e utilizados nesta pesquisa..... | 5 |
| Figura 2 - Padrão em forma de sino, onde os sedimentos tornam-se mais finos em direção ao topo da seqüência (Pirson, 1977). Em um modelo simplificado, este padrão normalmente caracteriza uma seqüência transgressiva..... | 16 |
| Figura 3 - Padrão em forma de funil, onde os sedimentos tornam-se mais finos em direção à base da seqüência (Pirson, 1977). Em um modelo simplificado, este padrão caracteriza seqüências regressivas | 17 |
| Figura 4 - Velocidade de sedimentação nos ambientes transgressivo e regressivo observados nos perfis de PE (Pirson, 1977)..... | 18 |
| Figura 5 - Canal preenchido com areia. Os perfis à esquerda representam a margem do canal, enquanto os perfis à direita representam a porção central do canal (Pirson, 1977)..... | 19 |
| Figura 6 - Barras arenosas em vale, com padrão de transgressão em degraus (Pirson, 1977)..... | 20 |
| Figura 7 - Perfis de poços do Grupo III, localizados na porção sudeste da RMB..... | 24 |
| Figura 8 - Perfis de poços do Grupo V, localizados na porção oeste da RMB..... | 25 |
| Figura 9 - Cont. dos perfis de poços do Grupo V, localizados na porção oeste da RMB..... | 26 |
| Figura 10 - Perfis de poços do Grupo VI, localizados na porção norte da RMB..... | 27 |
| Figura 11- Perfis de poços do Grupo VII, localizados na porção central da RMB..... | 28 |
| Figura 12 - Perfis de poços do Grupo II, localizados na porção sudoeste da RMB..... | 29 |
| Figura 13 - Perfis de poços do Grupo VI, localizados na porção sudoeste da RMB..... | 30 |
| Figura 14 - Perfis de poços do Grupo I, localizados na porção sul da RMB..... | 31 |
| Figura 15 – Correlação entre perfis dispostos no sentido sul-norte, distribuídos ao longo de toda a RMB..... | 32 |

| | |
|---|----|
| Figura 16 – Correlação entre perfis dispostos no sentido sul-norte na parte inferior da RMB..... | 33 |
| Figura 17 - Correlação entre perfis dispostos no sentido sul-norte, localizados na parte inferior da RMB..... | 34 |
| Figura 18 - Correlação entre perfis dispostos no sentido oeste-leste na porção central da RMB..... | 35 |

RESUMO

Esta dissertação apresenta um estudo realizado com base em padrões associados à forma das curvas de perfis geofísicos de poços perfurados para captação de água subterrânea na Região Metropolitana de Belém. O objetivo do estudo foi o reconhecimento de depósitos cenozóicos, bem como a identificação de seus ambientes de sedimentação. Para isto, foram utilizados os perfis de Raios-Gama, Resistência Elétrica e Potencial Espontâneo corridos em 21 poços, cobrindo a profundidade máxima de 300 m.

O estudo permitiu identificar dois pacotes de sedimentos: um até a profundidade de 160 m, contendo bastante argila e finas camadas de areia, e o outro abaixo de 160 m, com espessas camadas arenosas. Esses pacotes foram correlacionados com seqüências deposicionais do Cenozóico Inferior descritas por Rossetti (2000), as quais correspondem às formações Pirabas, Barreiras e aos sedimentos Pós-Barreiras e Holocênicos.

No pacote superior, a forma das curvas dos perfis mostra padrões que podem ser associados a seqüências transgressivas e regressivas, enquanto no pacote inferior a forma das curvas sugere um ambiente de centro de canal.

O estudo demonstra que a metodologia empregada para o reconhecimento dos ambientes de sedimentação pode ser considerada satisfatória quando não há nenhuma outra informação geológica adicional disponível.

ABSTRACT

This thesis presents a study based on patterns related to the shape of logging curves obtained in groundwater wells drilled in Belém metropolitan area. The objective of the study was to recognize Cenozoic sedimentation sequences and their sedimentation environment. Single point resistance, spontaneous potential and gamma ray logging from 21 wells were analyzed, covering maximum depth of 300 m.

The study allowed to recognize two main units: one of them, characterized by large amount of clays and thin sand layers, occurring between surface and 160 m depth, while the other, below 160 m, presents thick sandy layers. These units were associated to the sedimentary sequences of Lower Cenozoic described by Rossetti (2000) that correlate to Pirabas and Barreiras Formations, and to Post-Barreiras and Holocenic sediments.

For the upper unit, the shape of the logging curves show patterns that can be associated to transgression and regression, while for the lower unit the shape of the curves suggest a center of channel sedimentation.

The study shows that the methodology used to recognize sedimentation environment can be considered satisfactory if no a priori geological information is available.

1 - INTRODUÇÃO

Na Região Metropolitana de Belém (RMB) ocorrem três unidades litoestratigráficas mapeadas em superfície: a) depósitos miocênicos areno-argilosos com cores variegadas e estruturas sedimentares sugestivas de processo de maré; b) sedimentos plio-pleistocênicos arenosos de coloração amarelada e aparência predominantemente maciça; e c) sedimentos aluvionais atuais e sub-atuais (Rossetti *et al.*, 1989). Estas unidades são denominadas respectivamente de Formação Barreiras, sedimentos Pós-Barreiras e sedimentos holocênicos. Por outro lado, a análise de amostras de poços tubulares perfurados na RMB indica que, além das unidades mapeadas em superfície, ocorre também em subsuperfície a Formação Pirabas (Soares, 1984; Souza & Luiz, 1994), representada por calcáreos, arenitos e argilitos de idade Oligocênica Superior/Eomiocênica.

Diversas camadas arenosas ocorrem nas unidades litoestratigráficas descritas. Apesar de próximo à superfície estas camadas não mostrarem continuidade lateral, ocorrem intervalos arenosos contínuos abaixo de 50 m de profundidade, sendo que em profundidades maiores que 100 m ocorrem depósitos com grande potencial de reservatórios de água subterrânea (Souza & Luiz, 1994).

Apesar dos vários estudos geológicos realizados na RMB, não há ainda uma definição clara dos tipos de fácies sedimentares inseridos nas formações reconhecidas na região, nem a sua relação com aquíferos. O reconhecimento de fácies de sedimentação é importante no estudo de água subterrânea, pois possibilita o mapeamento de unidades litológicas mais propícias à extração de água.

Fácies sedimentares podem ser identificadas através de perfis geofísicos de poço, pelo exame da forma de suas curvas e sua correlação com tipos litológicos e ambientes deposicionais. Esse tipo de estudo tem ampla aplicação na identificação de reservatórios de hidrocarbonetos.

De um modo geral, a literatura sugere que, nesse tipo de estudo, a maioria dos trabalhos é voltada para o ambiente geológico da prospecção de petróleo. Uma das poucas aplicações à água subterrânea é apresentada por Nery & Barros (2000), que usaram o perfil de raios gama na identificação de ambiente eólico encontrado na Bacia do Paraná, onde se encontram aquíferos explorados em cidades do Estado de São Paulo.

O presente trabalho apresenta um estudo de subsuperfície utilizando-se perfis elétricos de poço (potencial espontâneo e resistência) e perfil nuclear (raios gama), visando a separação de unidades estratigráficas e a caracterização de seus ambientes de sedimentação. A correlação entre a forma das curvas dos perfis e o ambiente foi feito de modo visual.

Ao final espera-se contribuir para o estudo dos ambientes deposicionais na RMB e, também, estabelecer padrões que possam ser usados em futuros poços perfurados, permitindo identificar os melhores aquíferos em termos da sua capacidade de produzir água de boa qualidade e em quantidade suficiente para o abastecimento. Com isso, os dados de perfilagem poderão ter utilidade adicional ao do seu emprego atual, que é exclusivamente a identificação das prováveis camadas portadoras de água.

A área de estudo situa-se a $1^{\circ} 30'$ de latitude sul e $48^{\circ} 30'$ de longitude oeste, no vértice do estuário guajarino, onde há o encontro das influências marítimas da baía do Guajará e fluviais do rio Guamá (Figura 1).

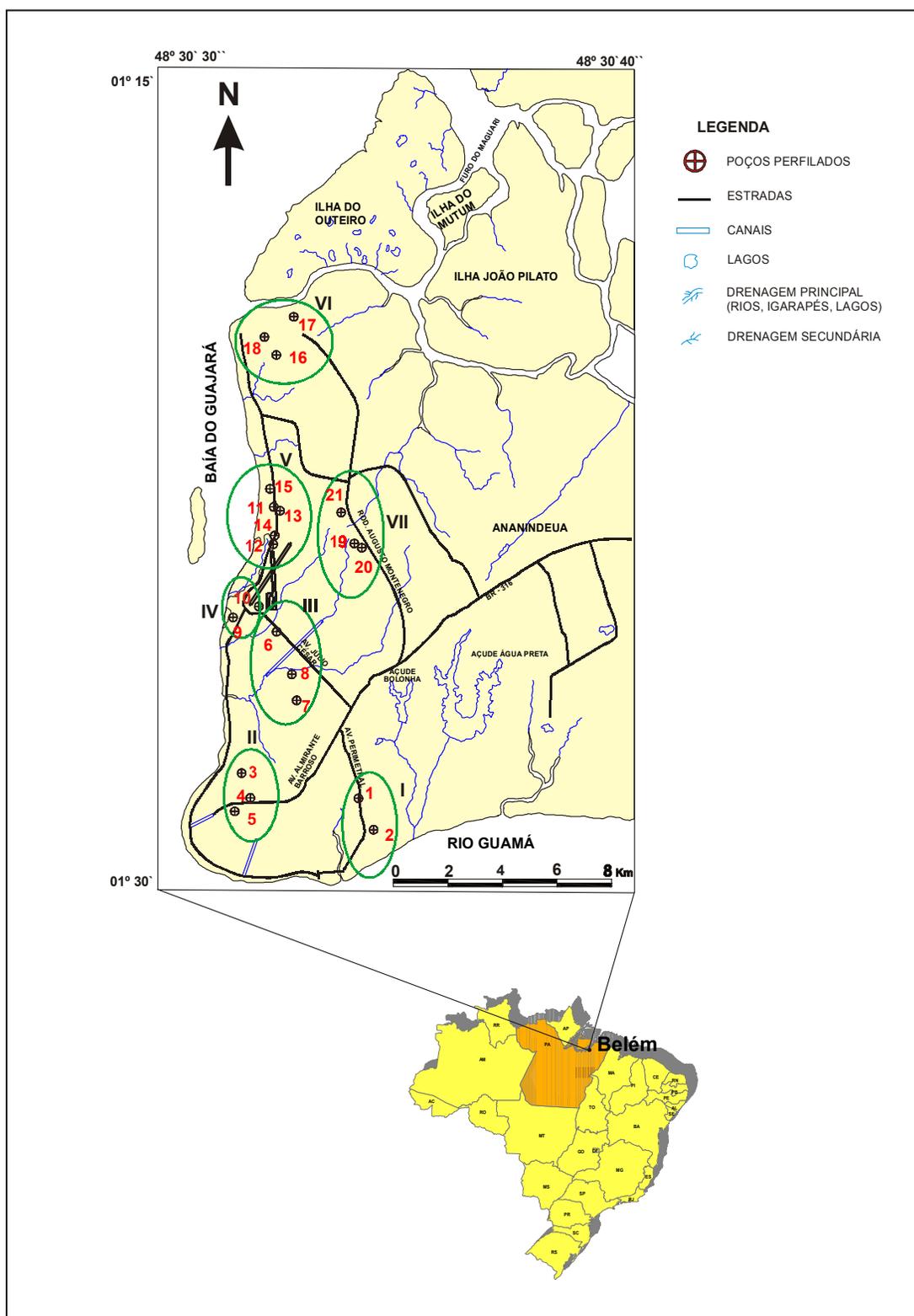


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo na Região Metropolitana de Belém, com indicação dos poços perfilados para água subterrânea e utilizados nesta pesquisa.

2 – CONTEXTO GEOLÓGICO

Rossetti (2000), através de análises de fácies combinadas com mapeamento de unidades com limites discordantes, reconheceu no nordeste do Pará três seqüências deposicionais do Cenozóico inferior, denominadas de A, B e C da base para o topo. A seqüência A é a mais inferior e corresponde à Formação Pirabas e o seu limite superior é interdigitado com a porção inferior da Formação Barreiras. A seqüência B corresponde às porções médias e superior da Formação Barreiras. A seqüência C corresponde aos sedimentos Pós-Barreiras. Essas unidades também ocorrem na RMB onde são capeadas por sedimentos holocênicos.

A seguir, apresenta-se uma descrição das unidades com o intuito de mostrar suas características e seus ambientes de sedimentação, bem como suas potencialidades aquíferas.

2.1- FORMAÇÃO PIRABAS

A Formação Pirabas é a unidade mais inferior que ocorre na RMB. Ferreira *et al.* (1984), com base num estudo sobre foraminíferos ampliaram o intervalo de deposição dessa formação para Oligoceno Superior - Eomioceno. Entretanto, estudos mais recentes com base em foraminíferos planctônicos, principalmente os da espécie do gênero *Globorotalia* e *Globigerinoides*, datam essa seqüência marinha no Estado do Pará da base do Eomioceno (Fernandes, 1988; Fernandes & Távora, 1990; Távora & Fernandes, 1999). Ela ocorre sobre a plataforma continental Norte Brasileira, em toda a faixa litorânea do Pará, estendendo-se ao longo da Plataforma do Amapá, Maranhão e Piauí. Esta unidade é litologicamente constituída por biocalciruditos, biocalcarenitos estratificados, biocalcarenitos não estratificados, margas e, subordinadamente, biohermitos, calcilutitos e folhelhos (negros e verdes) com deposição atribuída a um paleoambiente marinho de águas rasas e quentes (Góes *et al.*, 1990). As estruturas sedimentares dominantes na formação Pirabas incluem: estratificação cruzada *hummocky*, marcas de onda do tipo simétrico, acamamentos *flaser*, *wavy/lisen* e laminação plano-paralela (Góes *et al.*, 1990).

Com base nos dados sedimentológicos e conteúdo paleontológico, o ambiente deposicional da Formação Pirabas tem sido caracterizado como marinho aberto, de águas quentes, rasas e agitadas, contendo porções lagunares ou estuarinas e, restritamente, mangues em suas adjacências. A presença de estrutura tipo *hummocky* sugere a ação de ondas de tempestade

(Góes *et al.*, 1990). Os sub-ambientes acham-se dispostos de forma extremamente interdigitada, sendo que a sedimentação apresenta-se, localmente, com caráter cíclico, sugerindo freqüentes oscilações do nível do mar e litoral intensamente recortado durante o Eomioceno. Estas feições são as principais responsáveis pela dificuldade de visualização espacial dos subambientes, o que torna complexa a elaboração do seu sistema deposicional.

Estes depósitos consistem em arenitos quartzosos de granulação fina, média a grossa. Apresentam-se intercalados a camadas de conglomerados com seixos arredondados a sub-arredondados (Ferreira, 1977), bem como calcários fossilíferos, margas e, principalmente, folhelhos. Os aquíferos presentes nestes depósitos são de grande extensão lateral e boas espessuras, o que propicia acúmulos de grandes volumes de água, altas transmissividades e vazões em torno de 300.000m³/h, que podem atender até seis mil ligações domiciliares (Sauma Filho,1996).

2.2- FORMAÇÃO BARREIRAS

Os depósitos da Formação Barreiras, de idade Miocênica Média a Superior (Araí *et al.*, 1988), correspondem a arenitos localmente ferruginosos e bem silicificados (com diversos tipos de estratificação cruzada), conglomerados e argilitos maciços e laminados, estes últimos podendo apresentar elevado conteúdo palinológico.

Esta litologia foi subdividida em três litofácies distintas por Góes & Trunckenbrodt (1980): fácies argilo - arenosa, fácies arenosa e fácies conglomerática. Rossetti *et al.*, (1989), caracterizaram treze fácies em função da presença ou não de estruturas sedimentares e aspectos texturais: fácies argilosa com laminação plano-paralela, fácies argilosa maciça, fácies areno-argilosa geralmente maciça, fácies arenosa sem estruturação aparente, fácies arenosa com estratificação cruzada acanalada, fácies arenosa com estratificação cruzada tabular, fácies areno-argilosa com estrutura “wavy” e “lisen”, fácies arenosa com ondulas cavalgantes, fácies arenosa grossa a conglomerática, fácies conglomerática, fácies conglomerática com seixo de argila, fácies arenosa com estratificação sigmoidal e fácies compostas por blocos de arenito ferruginoso e/ou seixos de quartzo.

Segundo Góes & Trunckenbrodt (1980), existem evidências de relações de contato concordantes entre as unidades Pirabas e Barreiras, sendo uma delas a afinidade litológica das

argilas cinza esverdeadas da base da fácies argilo-arenosa, com os sedimentos pelíticos do topo da Formação Pirabas.

A Formação Barreiras foi considerada primeiramente de origem continental (Góes & Trunckenbrodt, 1980). Estudos realizados na plataforma Bragantina a partir de análises de fácies indicaram entretanto uma variedade de feições sedimentares que foram atribuídas a processos marinhos (Rossetti *et al.*, 1989). Os níveis arenosos presentes nesta formação, armazenadores de água subterrânea, acham-se intercalados de maneira irregular com horizontes argilosos, construindo aquíferos com espessuras muito variáveis e distribuição espacial confusa. Intercalados às areias e argilas encontram-se níveis lateríticos formados pela migração de ferro para a superfície, fazendo com que os aquíferos desta unidade forneçam água com teores de ferro acima do permitido pela legislação vigente. As areias têm granulometria fina a média com níveis médios grossos, quartzosos, que apresentam as maiores vazões, em torno de 80m³/h (Sauma Filho, 1996).

2.3- SEDIMENTOS PÓS-BARREIRAS

São sedimentos areno-argilosos, inconsolidados, facilmente desagregados, compostos sobretudo de grãos de quartzo, fração de silte e argila, com leitos pouco espessos de seixos e blocos rolados ou pouco movimentados de arenitos ferruginosos (Sá, 1969).

Segundo Rossetti (2000), os sedimentos Pós-Barreiras (seqüência C) são separados da Formação Barreiras (seqüência B) por uma superfície basal limítrofe descontínua, com pronunciado relevo erosional marcado por um outro horizonte de solo laterítico com concreções ferruginosas ou um intervalo de clastos lateríticos de vários tamanhos e seixos. As estruturas sedimentares encontradas nos sedimentos Pós-Barreiras sugerem processo eólico.

Os sedimentos arenosos Pós-Barreiras podem fornecer água em pequena quantidade, porém, por ocorrerem a pequenas profundidades, não devem ser explorados devido sua maior exposição à contaminação. Entretanto, na RMB ainda existem alguns poços do tipo amazonas que se servem de suas águas.

2.4- SEDIMENTOS HOLOCÊNICOS

Os Sedimentos Holocênicos são representados por sedimentos aluvionares atuais e incluem areias, siltes e argilas. As areias são finas a médias, de coloração marrom; as argilas são escuras, com restos de vegetais e intercaladas com areias. Também fazem parte desta unidade solos ricos em húmus, de coloração escura amarronzada (Sá , 1969).

3 - CONCEITOS BÁSICOS

3.1- SÍNTESE SOBRE ANÁLISE FACIOLÓGICA

Um dos objetivos mais importantes no estudo sedimentológico é a definição do ambiente de deposição de uma formação. Para tal é necessário realizar um estudo das condições físico-químicas e biológicas nas quais os sedimentos foram depositados, juntamente com composição granulométrica, estrutura, textura, geometria, conteúdo fóssil, etc. Um método adicional para esse estudo é a análise das formas das curvas dos perfis geofísicos de poço.

As características sedimentares constituem uma informação fundamental para o conhecimento de fácies e ambientes, mas o conhecimento de fácies não é suficiente para identificar um ambiente. Segundo Walker (1979), uma fácies de arenito estratificado pode ser formada em rios meandantes anastomosados, estreitos, em áreas marinhas dominadas por correntes ao longo da costa ou em uma plataforma aberta dominada por correntes de maré. Na verdade, um ambiente deposicional será melhor e mais precisamente definido pela integração de todas as informações sobre fácies e seqüência de fácies.

Segundo Serra (1985), fácies é definida por um conjunto particular que abrange a soma dos aspectos litológicos e paleontológicos de uma unidade estratigráfica. Na sedimentologia, a palavra fácies pode ser utilizada no sentido estratigráfico, petrográfico ou ambiental.

De acordo com a Lei de Walther, também chamada Lei de Correlação de Fácies, a uma sucessão de fácies depositada verticalmente pode representar uma sucessão lateral do ambiente de deposição, sendo importante para a validade da lei que as fácies transgressivas ou regressivas de deposição não estejam perturbadas. A lei não se aplica, portanto, a intervalos atravessados por discordâncias ou falhamentos de empurrão (Serra, 1985).

Uma fácies tem necessariamente um limite extensional, ambos estratigráfico e geográfico; contudo, isto pode ser encontrado em diferentes níveis em uma mesma unidade estratigráfica. Uma fácies observada em uma unidade estratigráfica pode mostrar características similares àquelas descritas em outras unidades de idades diferentes (Serra, 1985). O estudo de fácies e de suas sucessões vertical e lateral permite estabelecer os ambientes deposicionais.

3.2- PERFIS GEOFÍSICOS DE POÇO

Os perfis geofísicos de poço são registros realizados em poços tubulares em que os valores medidos são apresentados como função da profundidade. Para sua realização uma sonda contendo sensores especiais é descida no poço, normalmente quando ele ainda contém a lama de perfuração. De acordo com o tipo de medida realizada, os perfis podem ser basicamente classificados em elétricos, nucleares (radioativos) e acústicos (sísmicos).

Em estudos envolvendo perfis de poços, normalmente estabelecem-se eletrofácies, pois os perfis elétricos são os mais usados na sua caracterização. Pela sua semelhança com o perfil elétrico do potencial espontâneo, o perfil de raios gama, um dos perfis nucleares, também tem sido usado na identificação de fácies (Nery & Barros, 2000).

Os perfis geofísicos de poço podem permitir a determinação de vários componentes de uma fácies (mineralogia, textura, características sedimentares, geometria, etc.). Cada um também pode definir a organização de fácies em seqüências.

Neste trabalho serão usados os perfis elétricos de resistência elétrica e potencial espontâneo e o perfil nuclear de raios gama.

3.2.1- Potencial Espontâneo (PE)

Este perfil registra a diferença, em milivolts, entre o potencial elétrico natural que se desenvolve entre um eletrodo móvel no poço e um eletrodo fixo na superfície do terreno. A resposta é apresentada como função da profundidade. O potencial espontâneo desenvolve-se através da interação entre a lama de perfuração, o filtrado da lama de perfuração, que penetra as formações geológicas permo-porosas, a água da formação e as camadas argilosas adjacentes às formações permo-porosas.

As principais fontes do potencial espontâneo medido em um poço são os potenciais eletroquímicos e os potenciais eletrocinéticos ou potenciais de fluxo, embora existam na natureza outras fontes de potencial espontâneo, como, por exemplo, os fortes gradientes de temperatura.

Dentre os dois potenciais importantes no ambiente de um poço, o que mais contribui para o potencial espontâneo é o eletroquímico, que pode ser subdividido em potencial de membrana e

potencial de junção líquida. Os processos envolvidos nesses potenciais e no potencial eletrocinético são:

Potencial Eletroquímico de Membrana - este potencial é o resultado da presença de folhelhos ou argilas intercalados ou disseminados nas rochas permo-porosas. Os folhelhos e as argilas possuem cargas negativas em suas superfícies e quando estão separando duas soluções de diferentes concentrações (por exemplo, a lama de perfuração no poço e a água na formação), ocorre uma livre movimentação dos cátions entre as soluções, com os folhelhos e as argilas atuando como membrana seletora, dificultando a passagem dos ânions.

Potencial Eletroquímico de Junção Líquida - ocorre a partir da diferença de concentração iônica entre o filtrado da lama que penetra as formações permo-porosas e a água da formação. O movimento dos íons se dá do meio de maior concentração para o de menor concentração.

Potencial Eletrocinético - resulta do movimento de um eletrólito através de um meio permeável, o que no ambiente do poço é provocado pela filtração forçada da lama para dentro das formações permo-porosas, provocando um arraste das cargas iônicas. Este potencial pode ser desprezível em um poço perfurado para exploração de água, devido ao baixo valor da pressão hidrostática envolvida.

O registro do potencial espontâneo em frente às argilas, folhelhos e outras litologias impermeáveis apresenta-se, em geral, mais ou menos retilíneo. Neste caso, o registro é denominado de linha base dos folhelhos.

Em frente a litologias porosas e permeáveis, este registro pode assumir valores positivos ou negativos em relação à linha base dos folhelhos, dependendo da diferença de salinidade entre o filtrado da lama de perfuração e a água da formação. Se a salinidade da água da formação for maior do que a do filtrado da lama, a deflexão é para a esquerda (negativo), caso contrário, a deflexão é para a direita (positivo).

A partir de um perfil de PE é possível: identificarem-se as camadas permo-porosas (possíveis aquíferos) atravessadas pelo poço; estabelecer uma correlação litológica entre poços vizinhos; determinar a espessura das camadas (topo e base); obterem-se informações sobre a salinidade da água e reconhecer ambientes de sedimentação.

3.2.2- Resistência Elétrica (RE)

Este perfil, conhecido como perfil de monoeletrodo, é obtido a partir da injeção de corrente alternada emitida por um gerador localizado na superfície. Essa corrente circula através de um cabo até atingir um eletrodo, geralmente de chumbo, que se desloca no poço. Posteriormente, a corrente se espalha em todas as direções através das rochas retornando a um segundo eletrodo enterrado na superfície do terreno, fechando o circuito.

No perfil, é medida a resistência à passagem da corrente elétrica através do pacote de rochas localizado entre o eletrodo que se desloca no poço e outro estacionário na superfície do terreno. Durante as medidas, uma corrente constante é injetada, sendo medida a diferença de potencial (DDP) entre os referidos eletrodos. Como a corrente injetada é constante, de acordo com a Lei de Ohm, qualquer variação na DDP é devida a uma variação na resistência, que é então registrada como função da profundidade (Nery, 1997). Os eletrodos são usados para as medidas concomitantes da resistência elétrica e do PE, uma vez que as correntes envolvidas nas duas medidas são de natureza diferente (alternada para a resistência e contínua para o PE).

Para a prospecção de água subterrânea este perfil fornece: limites das camadas (topo e base) atravessadas pelo poço; espessura das camadas; identificação dos níveis argilosos, informações sobre a salinidade da água da formação e sobre o ambiente de deposição.

3.2.3- Raios Gama (RG)

Este perfil mede a emissão natural de raios gama das várias camadas penetradas durante a perfuração de um poço. A emissão provém dos isótopos radiogênicos de potássio, urânio e tório, distribuídos pela rede cristalina dos minerais presentes nas formações geológicas. Estes elementos, particularmente o potássio, são comuns dentro dos minerais de argila e de alguns evaporitos. A radiação é geralmente detectada em um cristal de iodeto de sódio, que é descido no poço. Este tipo de perfil pode ser usado em substituição ao perfil de potencial espontâneo no estudo de ambientes, sua similaridade quando a água de formação é mais salina do que o filtrado da lama, o que normalmente ocorre.

O perfil de raios gama pode ser calibrado de acordo com as litologias, estabelecendo-se leituras máximas correspondentes a folhelhos e argilas puras, e mínimas, correspondentes a

carbonatos puros e areias ou arenitos não argilosos (Walker & James, 1992). A partir desta calibração é possível estimar-se o percentual de argilosidade de uma formação.

Existem três problemas com o uso do perfil de raios gama: a concentração de elementos radioativos nos folhelhos aumenta com a sua compactação; folhelhos ricos em illita (conteúdo de potássio elevado) são mais radioativos do que aqueles ricos em montmorilonitas ou cloritas; e presença de arenitos arcoseanos (alta concentração de K-feldspato), que são mais radioativos do que os arenitos comuns e produzem um perfil similar ao dos folhelhos e argilas (Walker & James, 1992).

3.3 - ANÁLISE DE FÁCIES A PARTIR DE PERFIS DE POÇO

Muitos autores (Visher, 1965; Fisher, 1969; Pirson, 1977; Galloway & Harbday, 1983) reconhecem que certos ciclos de sedimentação podem ser determinados através das formas das curvas em perfis de potencial espontâneo e nos perfis de resistividade, normal curta, indução e curvas de condutividade, os quais permitem, inclusive, a interpretação da velocidade dos processos de transgressão e regressão. Mas, também mencionam que as curvas de potencial espontâneo e resistividade não são suficientes para determinar corretamente as fácies. Outros perfis, especialmente o perfil de mergulho (não utilizado neste trabalho), trazem informações que ajudam a ser mais precisa a identificação das fácies e dos ambientes deposicionais.

De acordo com Pirson (1977), pela quantificação da intensidade dos ciclos de transgressão e regressão em perfis geofísicos de poço, pode-se deduzir um parâmetro de mapeamento que permite construir a projeção lateral da seqüência estratigráfica e, assim, evoluir para a locação provável da linha de costa transgressiva e regressiva.

A seguir descreve-se alguns modelos simplificados de seqüências de sedimentação e as formas geométricas que essas seqüências produzem nos perfis de PE, RG e RE. Serão abordadas apenas as seqüências reconhecidas nos perfis analisados neste trabalho.

3.3.1- Seqüência Transgressiva e Seqüência Regressiva.

Em um modelo simplificado de seqüência transgressiva em ambientes marinhos ocorre basicamente o avanço da linha de costa sobre o continente. Na base de uma seqüência transgressiva deste tipo ocorrem sedimentos de granulação mais grossa, com boa seleção, representativos de ambientes litorâneos (praias). Com o aumento relativo do nível do mar, estes depósitos passam a ser recobertos por litologias progressivamente mais finas a argilosas representativos de ambientes mais profundos (plataforma e bacinal). Oscilações no nível do mar causam a deposição de sedimentos pobremente selecionados em direção ao topo da seqüência (Pirson, 1977).

Para o modelo transgressivo acima descrito, a seqüência vertical dos tamanhos dos grãos causa nos perfis de PE e resistividade (resistência) um padrão caracterizado por valores relativos à linha do folhelho maiores na parte inferior, com decréscimo em direção ao topo da seqüência (Figura 2). O perfil de RG mostra um padrão similar ao do perfil de PE, com os menores valores

na base da seqüência, onde domina a fração arenosa, e os maiores valores em direção ao topo, onde se encontram as litologias argilosas. O caráter oscilatório do aumento do nível do mar causa oscilações nas curvas, associadas às interdigitações de materiais mais finos (argilosos) e mais grosseiros (silte e areia). Em sucessões transgressivas as curvas de PE (ou RG) e RE quando colocadas lado a lado (PE ou RG à esquerda e RE à direita) caracterizam o padrão denominado “em sino”.

Este padrão, em primeira aproximação e sem informação geológica adicional, permite associá-lo à transgressão. É importante ressaltar que ambientes transicionais como planície de maré, lagunar e estuário) e sucessões transgressivas podem adotar padrão oposto, mas isto não será abordado aqui.

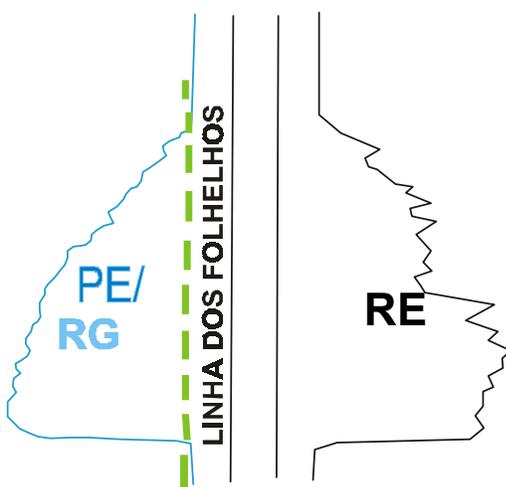


Figura 2 – Padrão em forma de sino, onde os sedimentos tornam-se mais finos em direção ao topo da seqüência (Pirson, 1977). Em um modelo simplificado, este padrão normalmente caracteriza uma seqüência transgressiva.

A regressão, evidenciada pelo recuo da linha de costa em um modelo simplificado, produz uma seqüência estratigráfica inversa à da seqüência transgressiva, com o tamanho dos grãos crescendo em direção ao topo. Em um perfil de resistividade (resistência), essa seqüência produz uma forma com altos valores (relativos à linha dos folhelhos) no topo, que vão decrescendo em direção à base, conforme mostrado na Figura 3. Um perfil de PE (ou de RG), por sua vez, mostra

um padrão simétrico ao perfil de resistividade (resistência). Oscilações nas curvas podem ser associadas às oscilações do nível do mar (se nenhuma informação geológica adicional é disponível, uma vez que outros fatores podem causar esse fenômeno). Colocando-se lado a lado os dois perfis (PE ou RG à esquerda) aparece o padrão denominado forma “em funil”.

Do mesmo modo que o padrão transgressivo acima descrito, este padrão pode ser usado em primeira aproximação para caracterizar seqüências estratigráficas regressivas.

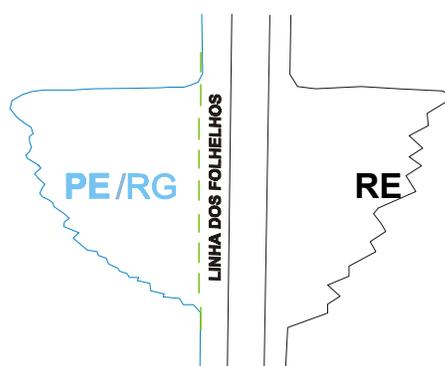


Figura 3 – Padrão em forma de funil, onde os sedimentos tornam-se mais finos em direção à base da seqüência (Pirson,1977). Em um modelo simplificado, este padrão caracteriza seqüências regressivas.

Os valores nos perfis podem também ser utilizados para interpretar a energia do fluxo durante a deposição, sendo os valores mais elevados em relação à linha dos folhelhos associados com alta energia (granulometria mais grosseira) e valores menores com baixa energia (litologias mais argilosas).

A aparência geral do envelope das várias oscilações do PE, tanto no modelo transgressivo como no modelo regressivo, pode ser associada à velocidade de deposição. Assim (Pirson, 1977):

(a) Um processo linear, caracterizado por taxa constante de avanço ou recuo da linha de costa, aparece como linha reta (Figura 4).

(b) Um processo desacelerado (retardado), caracterizado por taxa de recuo decrescente da linha de costa, aparece em uma regressão como uma envoltória côncava, enquanto um processo acelerado aparece como envoltória convexa (Figura 4).

(c) Um processo acelerado com taxa de avanço da linha de costa constantemente crescente, aparece como envoltória convexa (Figura 4).

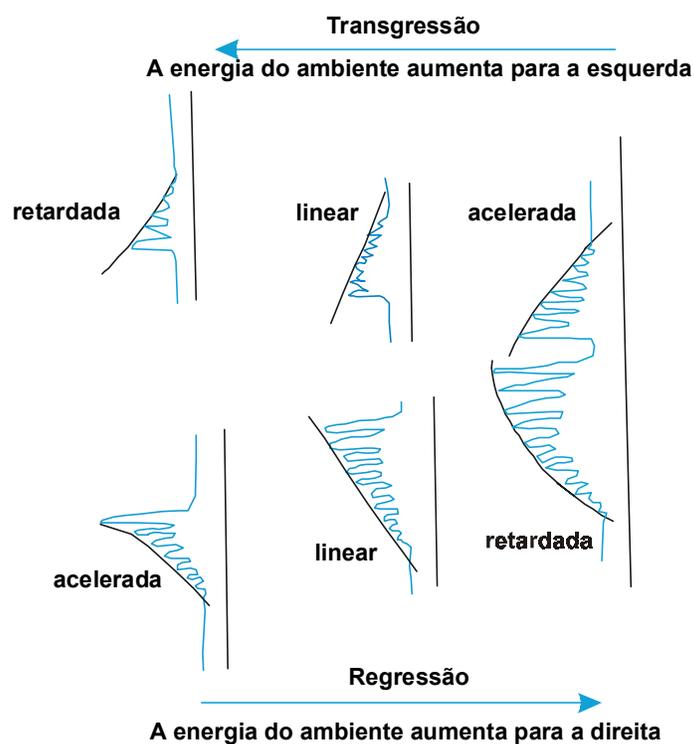


Figura 4 – Velocidade de sedimentação nos ambientes transgressivo e regressivo observados nos perfis de PE (Pirson, 1977).

O processo transgressivo produz volumes sedimentares menores (menos espessos), quando comparados aos produzidos por regressão, porque nele atuam fundamentalmente a erosão e a re-deposição pela ação de ondas de uma zona sedimentar pouco espessa. Além disso, quanto maior a energia das ondas menos espessos os pacotes de sedimentos. Nos perfis, isso reflete-se em espessuras menores nas seqüências transgressivas.

3.3.2- Barras Arenosas de Preenchimento de Canais.

No ambiente das barras arenosas de preenchimento de canais (Figura 5), que são geradas a partir do corte do canal por um rio, seguido do preenchimento do canal e do vale, a granulometria dos sedimentos é bastante variável. O centro do canal, onde correntes de maior velocidade predominam, apresenta sedimentos mais grossos; enquanto nas margens do canal, com predomínio de energia relativamente baixa, sedimentos mais finos são depositados. Assim, os perfis de PE e resistividade (resistência) realizados no centro do canal mostrarão um padrão uniforme de altos valores relativos à linha do folhelho. Esses perfis, colocados lado a lado (PE ou RG à esquerda e RE à direita) produzirão o padrão “em barril” (Figura 5).

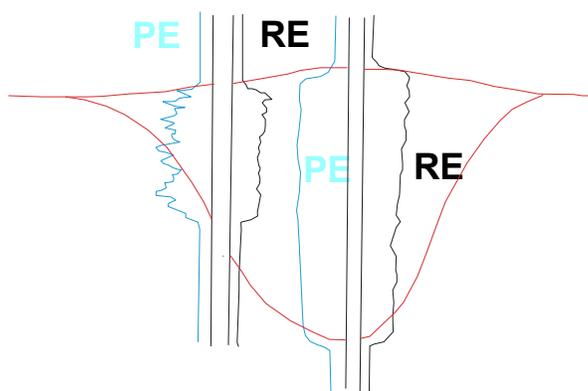


Figura 5 – Canal preenchido com areia. Os perfis à esquerda representam a margem do canal, enquanto os perfis à direita representam a porção central do canal (Pirson, 1977).

As margens do canal apresentar-se-ão em perfis de PE (ou de RG) e resistividade (resistência) com um padrão de barril não tão uniforme, mas com oscilações, resultantes de variação na velocidade do fluxo. O eixo de simetria das oscilações de PE (ou de RG) mergulha em direção ao centro do canal (Figura 5).

Em ambientes de barra arenosa construída em vales fluviais, por outro lado, a deposição produz acamamento aproximadamente horizontal, formando um padrão nos perfis de PE e resistividade similar ao observado em um ambiente transgressivo (forma em sino). Neste

ambiente, porém, a redução das amplitudes de PE e resistividade, em direção ao topo, se dá em degraus (Figura 6), e as oscilações nos perfis são menos freqüentes do que as desenvolvidas no padrão transgressivo (Pirson, 1977).

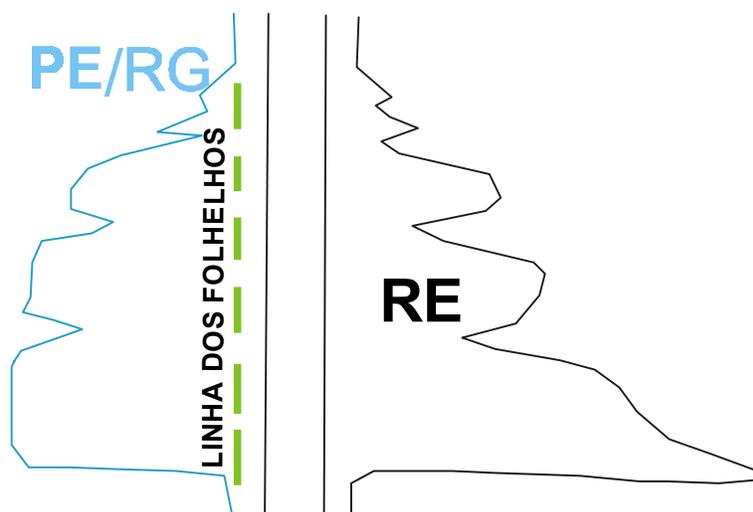


Figura 6 - Barras arenosas em vale, com padrão de transgressão em degraus (Pirson, 1977).

4 – ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS PERFIS DE POÇO

Para o desenvolvimento do estudo foi feita, inicialmente, uma catalogação de padrões teóricos das curvas de perfis de Potencial Espontâneo (PE), Resistividade e Raios Gama (RG) disponíveis na literatura, que são associados aos diversos tipos de seqüências estratigráficas relacionados com transgressão e regressão e com deposição em canal, vale, delta, etc. A seguir, foram selecionados perfis de PE e Resistência Elétrica (RE) e perfis de RG de 21 poços da RMB. Essa seleção foi feita do acervo do Departamento de Geofísica da Universidade Federal do Pará. O passo seguinte foi a tentativa de reconhecer, visualmente, nas curvas dos perfis da RMB, os padrões teóricos obtidos na literatura. Nesse trabalho frequentemente usaram-se os perfis de RG em substituição ao perfil de PE, embora esse último seja o citado na identificação dos padrões descritos na literatura. Essa substituição deu-se pela similaridade entre os dois perfis e pela melhor qualidade dos perfis Raios Gama, quando comparada a dos perfis de PE disponíveis para o estudo.

Para a análise, os perfis dos 21 poços da RMB foram organizados em sete grupos de acordo com sua localização e proximidade na área (Figura 1). Assim procedendo, esperava-se obter padrões similares nos perfis de cada grupo, o que nem sempre foi conseguido, sugerindo para esses um ambiente de sedimentação relativamente mais complexo.

Durante o estudo tentou-se delimitar o contato Barreiras/Pirabas nos perfis de RG, considerados os mais importantes por apresentarem a melhor resposta em todas as profundidades e, secundariamente, através dos perfis de RE e PE, os quais muitas das vezes apresentaram-se com certa distorção, dificultando a caracterização das curvas.

Observa-se que até uma profundidade de aproximadamente 160 m, os perfis mostram um padrão caracterizado por oscilações de alta frequência e amplitude variável, tanto nos perfis elétricos (PE e RE), como de RG, padrão que possivelmente indica uma alternância rápida na energia de deposição. Até essa profundidade, pode ser observado que os pacotes com sedimentos mais finos são geralmente mais espessos do que a profundidades maiores, caracterizando um regime em que a baixa energia predominou por períodos mais longos. Observa-se ainda que as formas dos perfis quase sempre se correlacionam com os padrões característicos para deposição em vale (similares aos padrões de transgressão e regressão). Por outro lado, em profundidades maiores do que 160m os perfis evidenciam, de um modo geral, pacotes arenosos mais espessos,

com intercalações de sedimentos finos bem menos espessos, refletindo, portanto, um regime de maior energia. Aqui, a forma dos perfis tem um padrão retilíneo (forma de barril), característico de ambiente de canal preenchido com areias. Os perfis apresentam ainda, como característica, oscilações de amplitude pequena e bastante uniforme, que sugere pacotes arenosos homogêneos.

A diferença nos padrões dos perfis, que ocorre na profundidade de 160 m, pode ser usada como um guia para estabelecer o contato geológico entre as unidades estratigráficas que ocorrem na área. Assim, é possível correlacionar as seqüências B e C de Rossetti (2000) aos sedimentos interpretados até a profundidade de 160 m, e caracterizá-las na RMB por pacotes de sedimentos mais finos espessos intercalados com pacotes arenosos, também espessos. Esses pacotes, no intervalo entre as profundidades de 15 e 70 m, caracterizam um ambiente de sedimentação em vale (padrão similar ao de transgressão com degraus mostrado na Figura 6) nos perfis 6, 7 e 8 do Grupo III (Figura 7), nos perfis 11,12,13, 14 e 15 do Grupo V (Figuras 8 e 9); bem como, nos perfis 16, 17 (intervalo 30 a 120 m) e 18 (intervalo 30 a 65m) do Grupo VI (Figura 10); e, ainda, nos perfis 20 (entre 35 e 90m) e 21 (entre 25 e 50 m) do Grupo VII (Figura 11). Observa-se ainda no Grupo V (Figuras 8 e 9), nos perfis 11 e 13 (80 a 150 m), no perfil 14 (60 a 100 m) e no perfil 15 (90 a 100 m) um padrão similar ao de regressão em degraus.

Também podem ser associados às seqüências B e C os perfis do Grupo II (Figura 12), cujos perfis atingem a profundidade máxima de 60m. Nesse grupo, o perfil 5 (PE e RE) mostra entre as profundidades de 30 e 60 m um padrão em forma de sino com degraus, característico de deposição em vale, enquanto que nos perfis 3 e 4 (RG e RE) observa-se apenas um padrão mostrando alternância de energia de deposição, caracterizado pela intercalação de sedimentos finos e grosseiros. O Grupo IV (Figura 13), por sua vez, apresenta, no intervalo de profundidade compreendido entre 40 e 160 m, um padrão de regressão em degraus, que pode ser observado nos perfis 9 (RG) e 10 (RG e RE).

Do mesmo modo, a seqüência A de Rossetti (2000) pode ser relacionada aos sedimentos abaixo da profundidade de 160 m e caracterizada na RMB por pacotes arenosos bem espessos intercalados com camadas finas de argila. O padrão dos perfis, como mencionado antes, sugere um ambiente de centro de canal (forma de barril), representado no perfil 2 do Grupo I (Figura 14); nos perfis 6 e 8 do Grupo III (Figura 7); nos perfis 12, 13 e 14 do Grupo V (Figuras 8 e 9) e nos perfis 16, 17 e 18 do Grupo VI (Figura 10). Observa-se, ainda, que os perfis do Grupo VII

(Figura 11) apresentam um padrão que pode ser associado à deposição desenvolvida próxima à margem de canais, similar ao padrão descrito na Figura 5.

Uma correlação entre os perfis 2, 8, 6, 12, 11 e 18 (Figura 15), distribuídos no sentido sul-norte e localizados ao longo de toda a extensão da área, mostra a continuidade do registro retilíneo, característico de ambiente de centro de canal (em forma de barril), abaixo da profundidade aproximada de 135 m. Essa correlação permitiu estabelecer a interface CD na Figura 15. Dessa forma, podemos sugerir com base na forma das curvas dos perfis a presença de um centro de canal que se estende segundo a direção norte-sul, localizado à profundidade superior a 135 m.

Ainda na Figura 15, a correlação entre as formas dos perfis permite que se identifique um ambiente de sedimentação com padrão similar ao de regressão, cujo topo está representado pela interface AB na figura. Acima da interface AB é possível identificar um outro padrão que corresponde a um ambiente de sedimentação similar ao de uma transgressão.

A interface AB, que na Figura 15 separa os ambientes transgressivo e regressivo, pode ser reconhecida na correlação mostrada na Figura 16 (interface EF), na Figura 17 (interface GH) e na Figura 18 (interface IJ). As duas primeiras a partir da correlação de perfis dispostos no sentido aproximado sul-norte, enquanto a terceira com a correlação de perfis dispostos no sentido oeste-leste, localizados na porção central da área.

Deve ser ressaltado que essa interpretação pode entretanto vir a ser modificada se informações geológicas adicionais forem coletadas. A interpretação com base na forma dos perfis, aqui apresentada, deve ser tomada como uma primeira aproximação ou uma interpretação preliminar para os ambientes.

Os sedimentos que ocorrem em profundidades maiores que 160 m (seqüência A), parecem ser os de maior potencial para a exploração de água subterrânea, não só pela grande espessura dos pacotes arenosos e pequenas intercalações de finos mostradas nos perfis, mas pelo caráter de homogeneidade sugerido pela retilinidade e pequena oscilação que os perfis apresentam. Além disso, o ambiente de centro de canal evidenciado também confirma essa potencialidade. Isso tem sido demonstrado pelas excelentes vazões obtidas nos poços que retiram água dessas profundidades (Sauma Filho, 1996).

GRUPO III

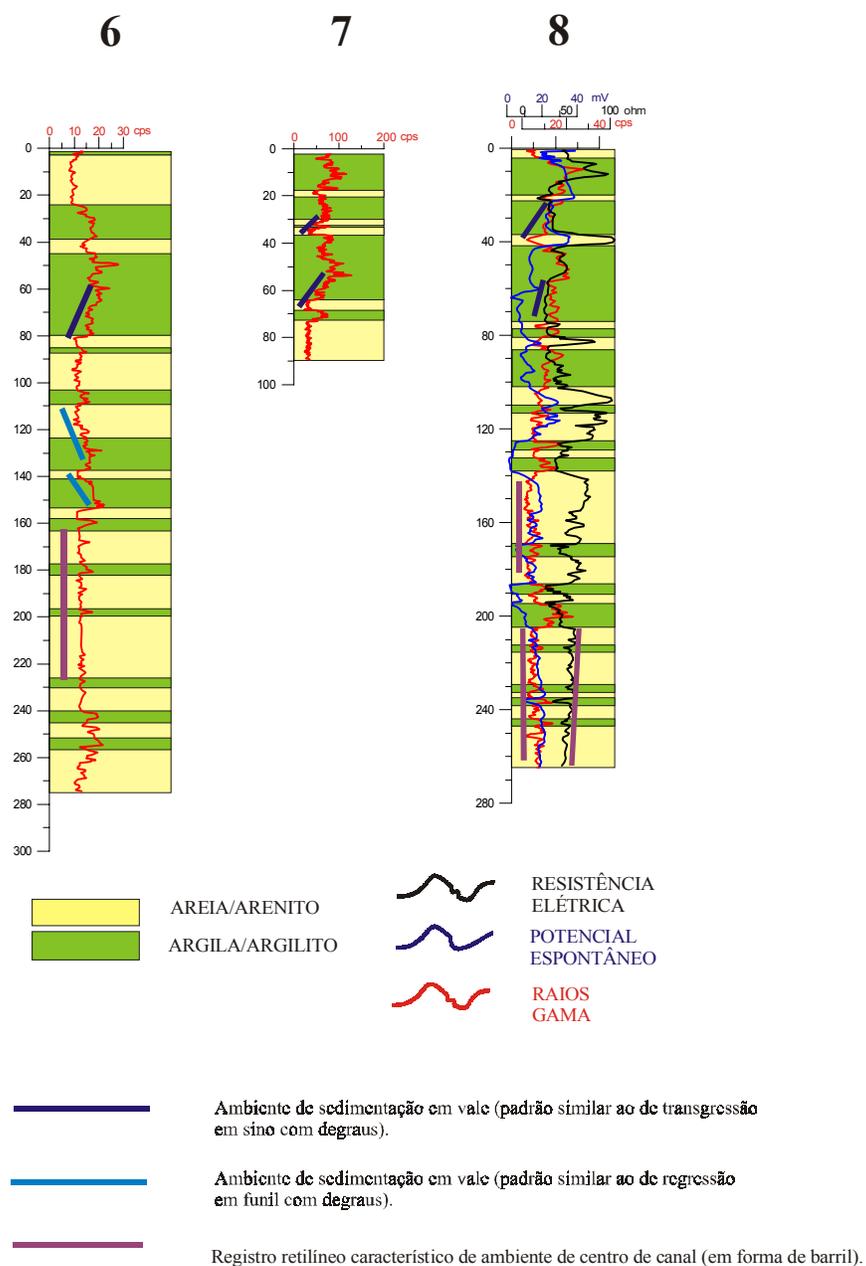


Figura 7 – Perfis de poços do Grupo III, localizados na porção sudeste da RMB.

GRUPO V

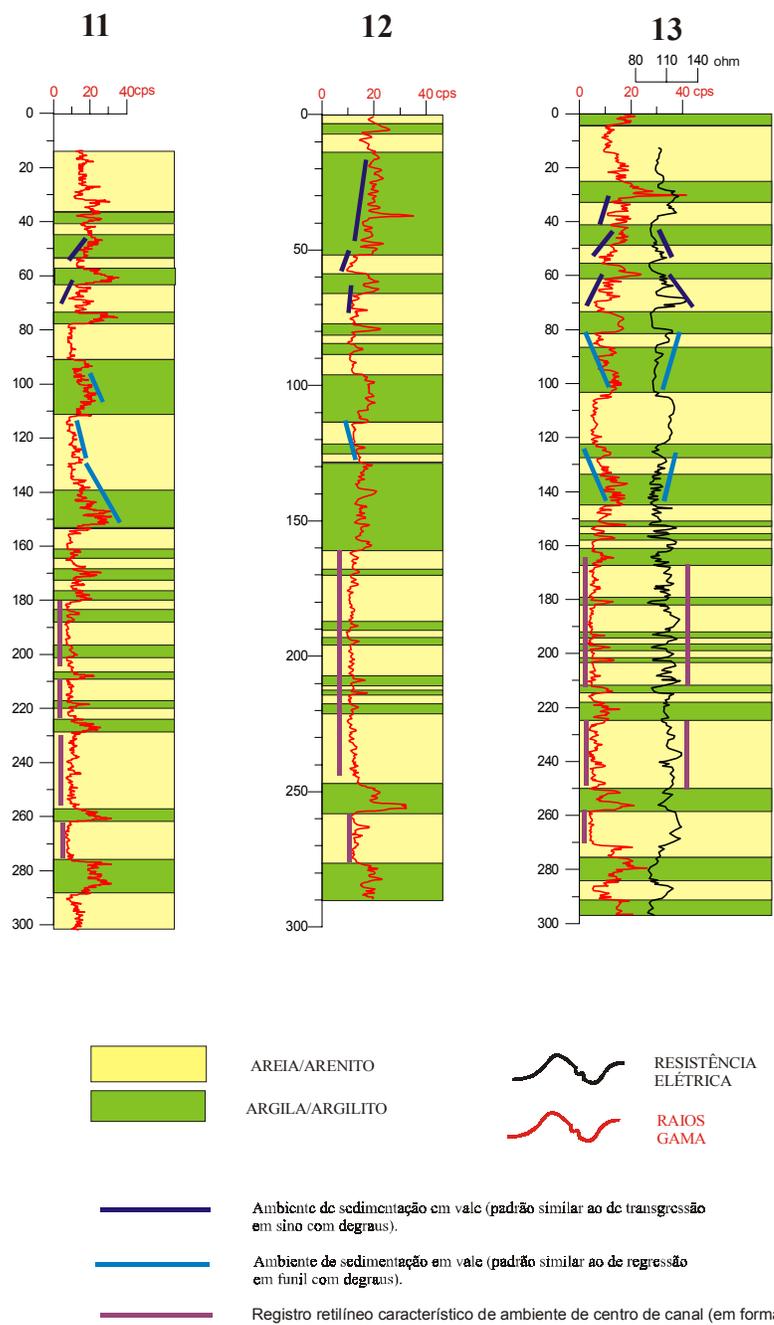


Figura 8 – Perfis de poços do Grupo V, localizados na porção oeste da RMB.

GRUPO V

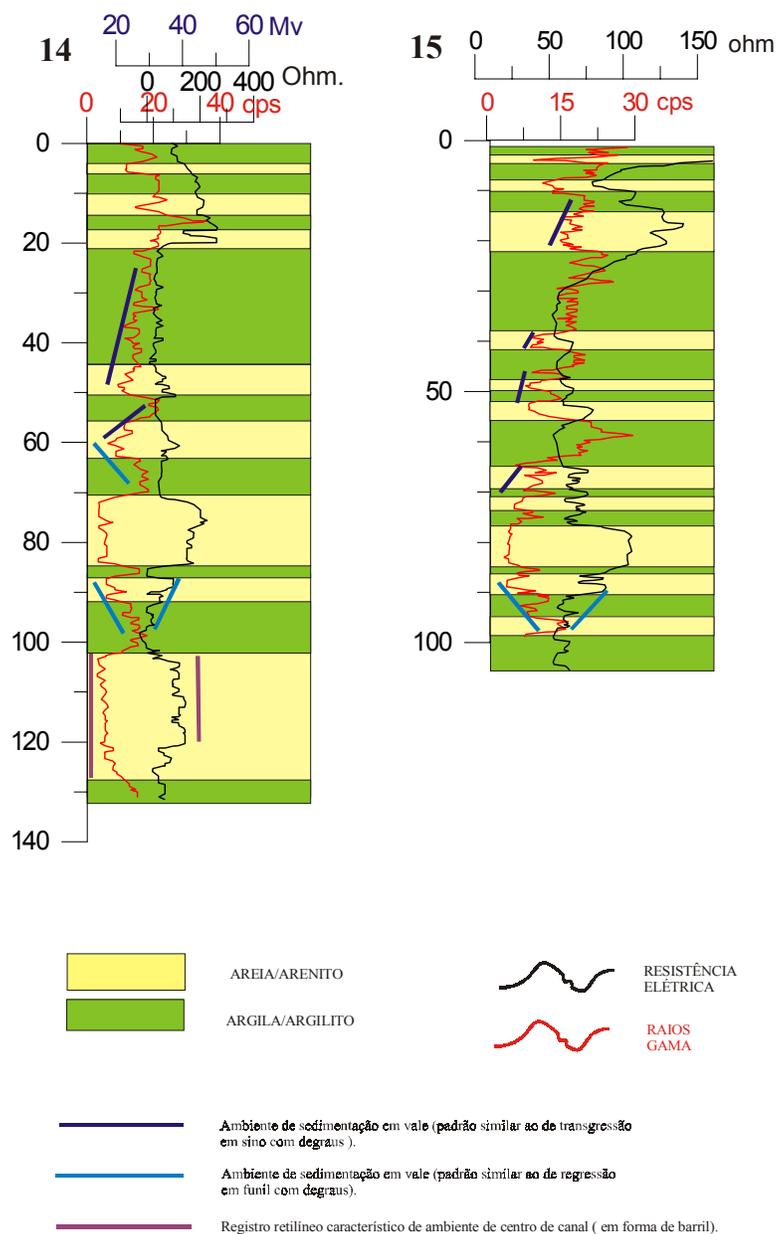


Figura 9 – Continuação dos perfis de poços do Grupo V, localizados na porção oeste da RMB.

GRUPO VI

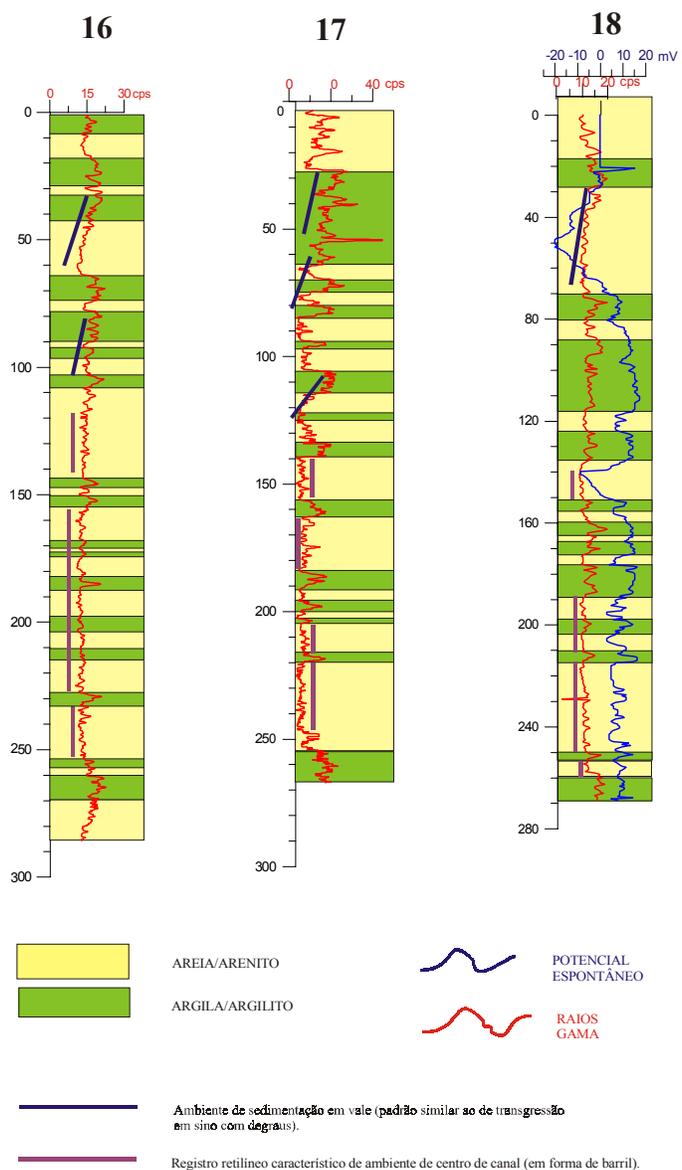


Figura 10 - Perfis do Grupo VI, localizados na porção norte da RMB.

GRUPO VII

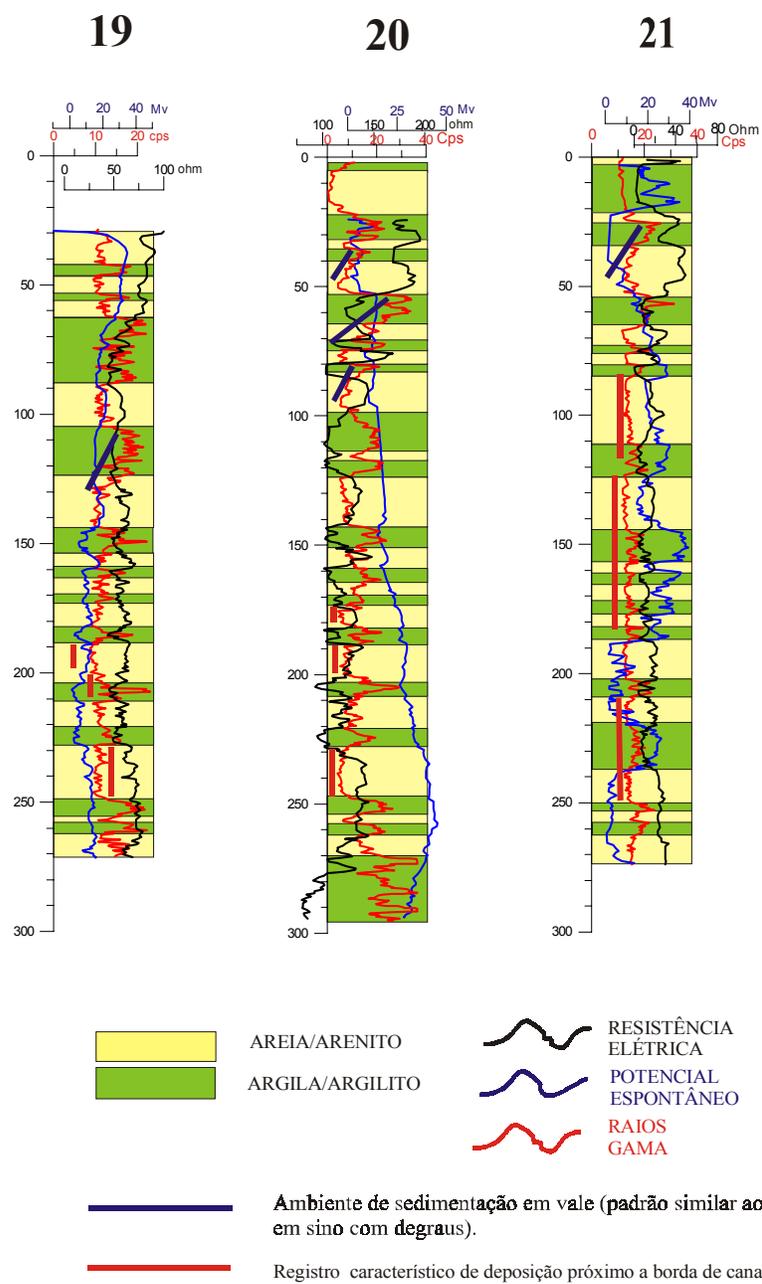


Figura 11 – Perfis do Grupo VII, localizado na porção central da RMB.

GRUPO II

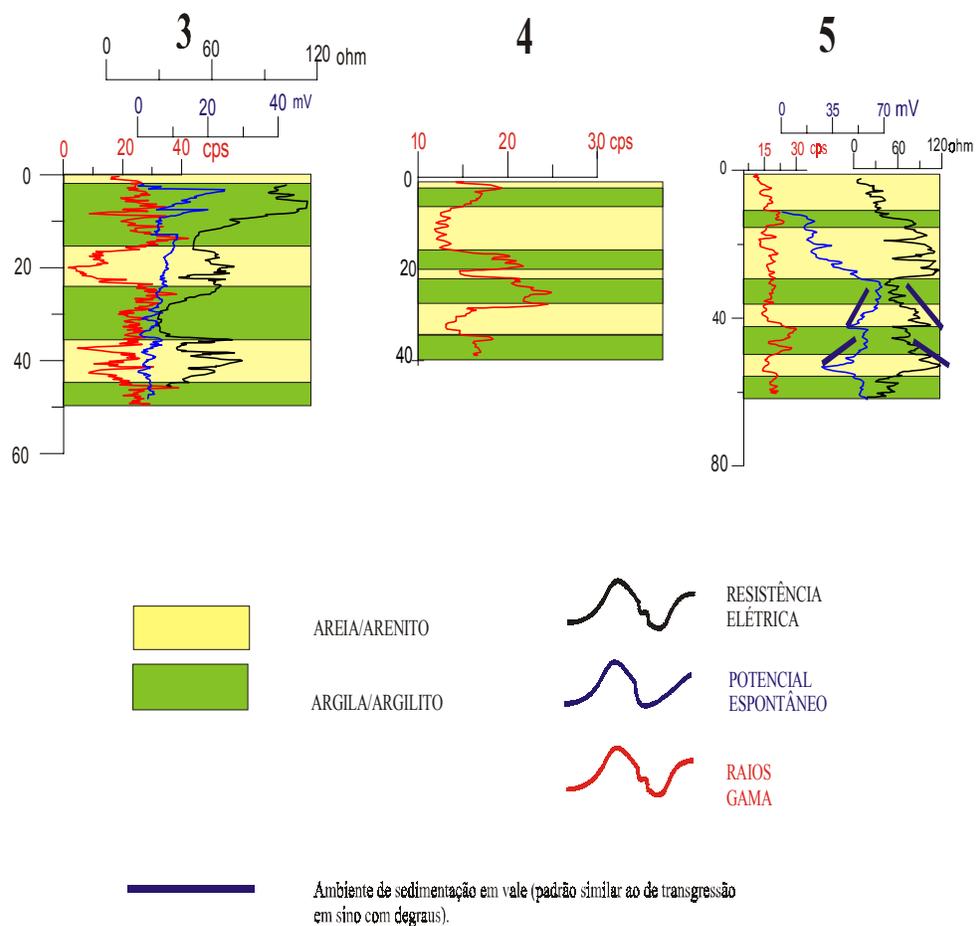


Figura 12 – Perfis do Grupo II, localizado na porção sudoeste da RMB.

GRUPO IV

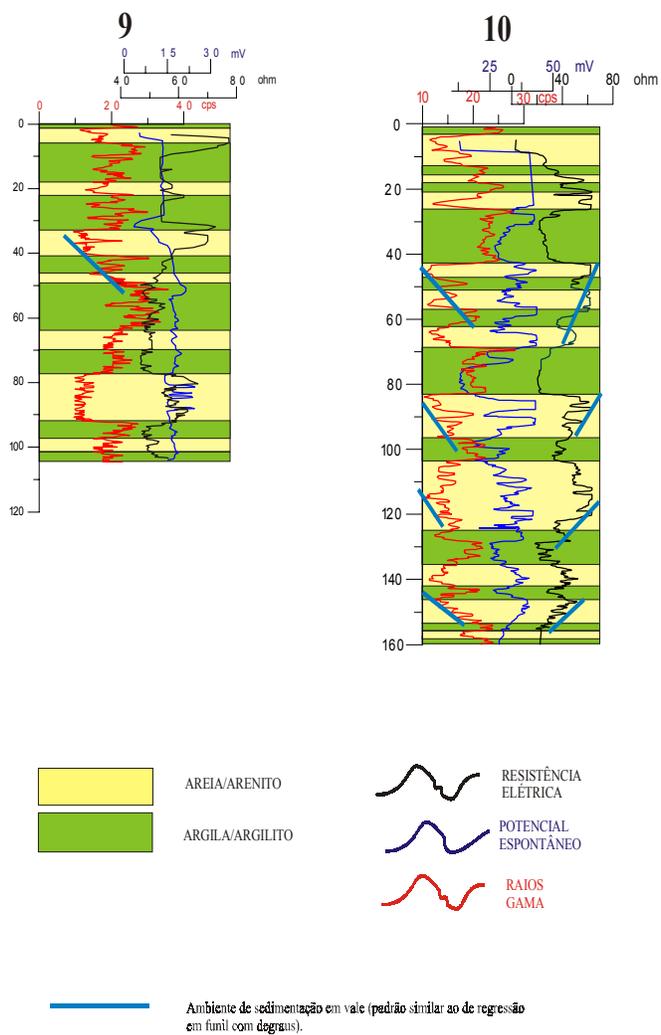


Figura 13 – Perfis do Grupo IV, localizado na porção sudoeste da RMB.

GRUPO I

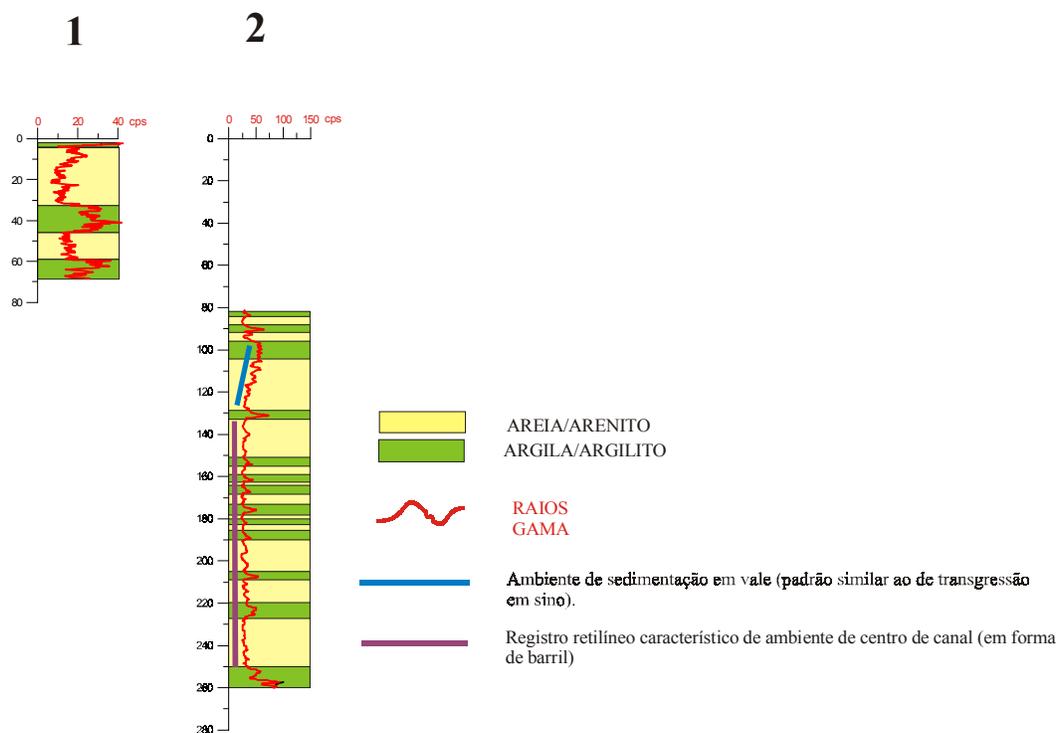


Figura 14 - Perfis do Grupo I, localizado na porção sul da RMB.

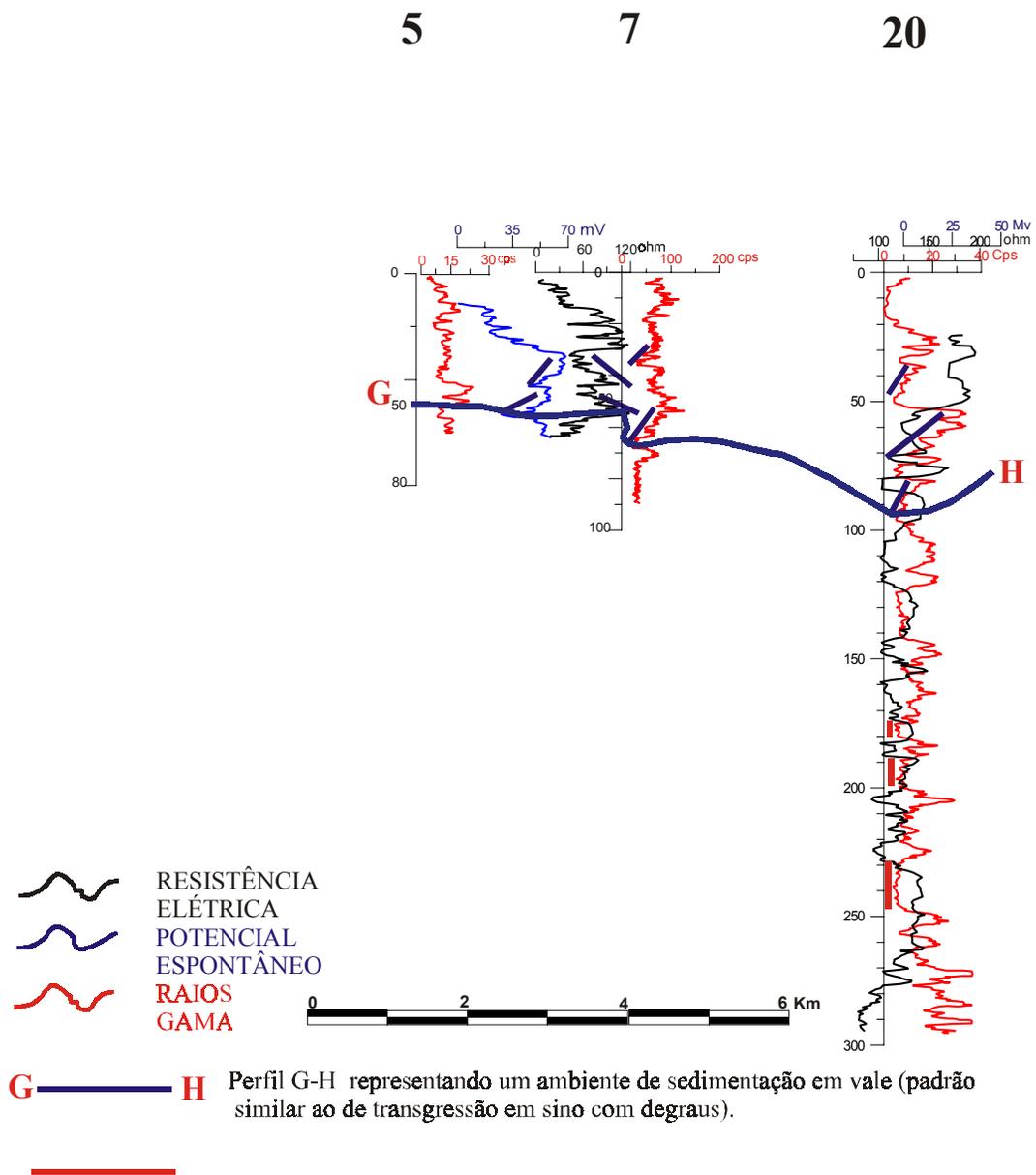


Figura 17 – Correlação entre perfis dispostos no sentido sul-norte, localizados na parte inferior da RMB.

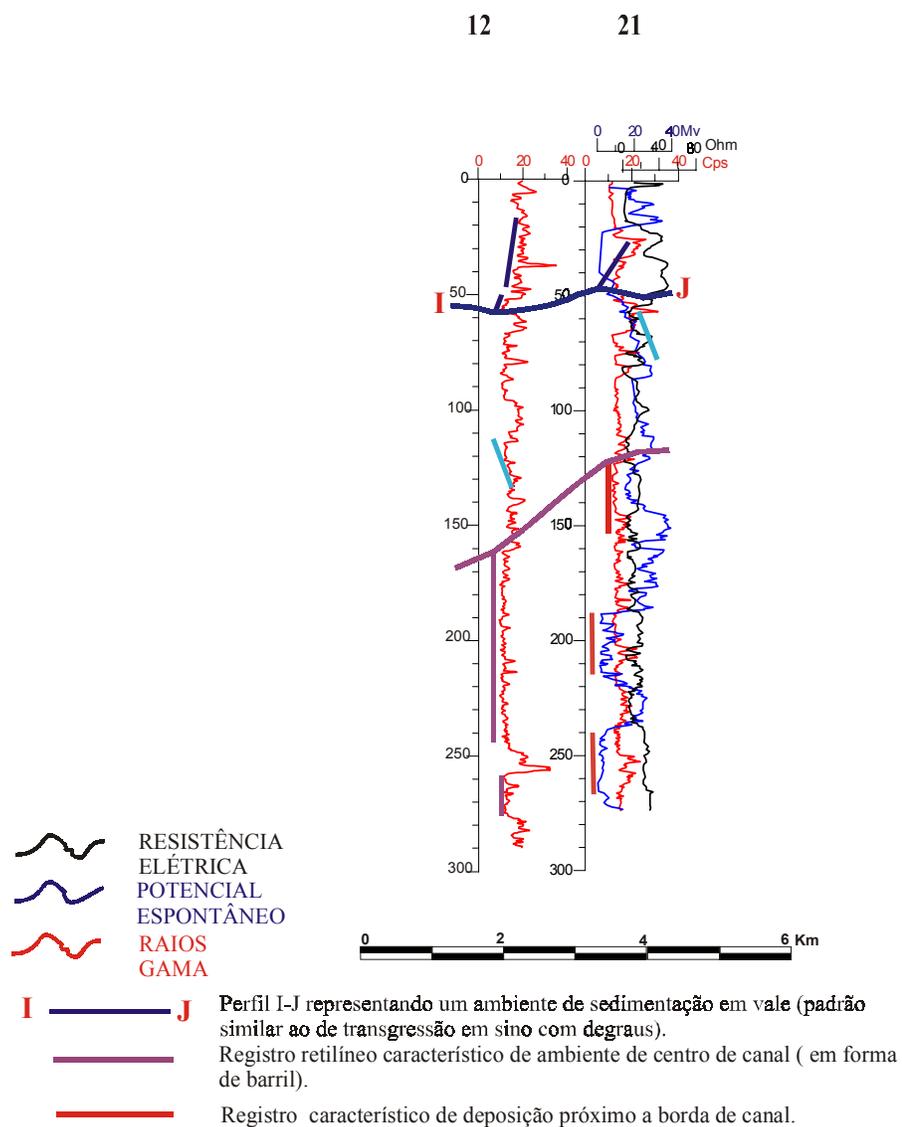


Figura 18 – Correlação entre perfis dispostos no sentido oeste-leste na porção central da RMB.

5 – CONCLUSÕES

O reconhecimento de padrões estratigráficos em subsuperfície na RMB, através do estudo das formas dos registros de perfis de Potencial Espontâneo, Raios Gama, Resistividade, possibilitou a identificação de dois pacotes de sedimentos, um até a profundidade de 160 m, onde predominam essencialmente camadas de sedimentos mais finos, caracterizado como um ambiente de baixa energia. O outro, abaixo da profundidade de 160 m, contém sedimentos arenosos mais espessos, caracterizando um ambiente de alta energia.

O primeiro pacote, no intervalo de profundidade até 160 m, foi correlacionado às seqüências B e C descritas por Rossetti (2000), enquanto o pacote abaixo da profundidade de 160 m, foi correlacionado com a seqüência A.

No pacote superior, entre as profundidades de 15 e 70 m identificou-se um padrão de sedimentação em vale com a característica de transgressão em degraus, representado nos Grupos II, V, VI e VII. Por outro lado, nesse pacote, no Grupo V, os perfis 11 e 13 (profundidade entre 90 e 160m), o perfil 14 (entre 60 e 100m) e o perfil 15 (90 a 100m), foram caracterizados por um padrão similar ao de regressão em degraus.

Abaixo da profundidade de 160 m, foi observado que o registro do perfil Raios Gama é bastante retilíneo (forma de barril), característico de ambiente de centro de canal, isto ocorre em quase todos os grupos com exceção do Grupo VII, onde aparece um padrão característico de borda de canal.

Para a definição de ambientes de sedimentação, a metodologia aqui abordada permite uma interpretação preliminar bastante razoável no caso de não haver nenhuma outra informação disponível. Desse modo, os ambientes de canal e vale identificados no presente estudo devem ser tomados como uma primeira aproximação, uma vez que os padrões reconhecidos também podem ser encontrados em outros ambientes, como por exemplo naqueles associados às seqüências deltaicas.

A metodologia pode, entretanto, ser usada eficientemente como ferramenta de reconhecimento e correlação quando os perfis geofísicos tiverem sido aferidos com a ajuda de outras informações tais como: condições físico-químicas e biológicas do ambiente, granulometria, estruturas, textura, geometria, conteúdo fossilífero, etc. Por esse motivo, recomenda-se que o presente estudo seja aprofundado através da correlação dos padrões

identificados com dados de sedimentologia obtidos em amostras de calha e de testemunhos de poços, bem como com dados paleontológicos.

Os sedimentos que ocorrem em profundidades maiores que 160 m (seqüência A), foram caracterizados como os de maior potencial para a exploração de água subterrânea, pois apresentam como característica principal grande espessura dos pacotes arenosos e pequenas intercalações de argila.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAI, M.; VESUGUI, N.; ROSSETTI, D. de F.; GOES, A.M. 1988. Considerações sobre a idade do Grupo Barreiras no Nordeste do Estado do Pará. In: CONG. BRAS. GEOL., 35., Belém, *Anais...*, SBG, v.2, p. 738-752.
- FERNANDES, J.M.G. 1988. Bioestratigrafia da Formação Pirabas. In: CONG. BRAS. GEOL., 35., Belém, *Anais...*, SBG, v.6., p.2376-2382.
- FERNANDES, J.M.G. & TÁVORA, V.A. 1990. Estudo dos Foraminíferos da Formação Pirabas Procedentes do Furo CB-UFPa-P1 (85), Município de Capanema, Estado do Pará. In: CONG. BRAS. GEOL., 36., Natal, *Anais...*, SBG, v.1, p.470-475.
- FERREIRA, C.S. 1977. Fácies da Formação Pirabas (Mioceno Inferior). Notas conceitos de aplicações. *Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, 49 (2): 253.
- FERREIRA, C.S.; VICALVI, M.A.; MACEDO, A. C.1984. Os limites meridionais da Bacia de Pirabas, Estado do Pará. In: CONG. BRAS. GEOL., 33., RJ, *Anais...*, SBG, V.1, p. 326-29.
- FISHER, W. L. 1969. Facies characterization of Gulf Coast basin delta systems, with some Holocene analogues. Gulf Coast Association Geological Society. *Transactions*, 19: 239-261.
- GALLOWAY, W.E., & HABDAY, D.K. 1983. *Terrigenous Clastic Depositional Systems*. New York: Springer.
- GÓES, A.M. & TRUNCKENBRODT, W. 1980. Caracterização faciológica e interpretação ambiental dos sedimentos Barreiras na Região Bragantina, nordeste do Pará. In: CONG. BRAS. GEOL., 31., Camboriu. *Anais...*, SBG, v.2, p. 766-771.
- GÓES, A.M.; ROSSETTI, D. de F.; NOGUEIRA, A.C.R.; TOLEDO, P.M .1990. Modelo deposicional preliminar da Formação Pirabas no nordeste do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*. Série Ciências da Terra, Belém, 2: 3-15.
- NERY, G.G. 1997. Perfilagem geofísica aplicada a água subterrânea. In: FEITOSA, A.C. & FILHO, J.M., (Coord.) *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. Fortaleza; CPRM. p. 203-241.

- NERY, G.G. & BARROS, S.B.R. 2000. O uso dos perfis geofísicos na definição de Ambientes Depositionais. In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1., Fortaleza, ABAS. p. 20.
- PIRSON, S.J. 1977. *Geologic Well Log Analysis*. 2. ed. Houston: Gulf Publishing, 377p.
- ROSSETTI, D. de F. 2000. Late Cenozoic sedimentary evolution in Northeastern Pará, Brazil, within the context of sea level changes. *Journal of South American Earth Sciences*, 14 : 77-89.
- ROSSETTI, D. de F.; TRUCKENBRODT, W.; GÓES, A. M. 1989. Estudo Paleoambiental e Estratigráfico dos Sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na Região Bragantina, Nordeste do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, 1(1):25-74.
- SÁ, J.H.S. 1969. Contribuição aos Sedimentos Terciários e Quaternários da Região Bragantina. *Boletim do Instituto Geológico*, Rio de Janeiro, 3:21-36.
- SAUMA FILHO, M. 1996. *As Águas Subterrâneas de Belém e Adjacências: influência da Formação Pirabas e Parâmetros Físico-químico para medidas de qualidade*. Belém, UFPa. Centro de Geociências, 128p. (Dissertação de Mestrado).
- SERRA, O. 1985. *Sedimentary environments from wireline logs*, Schlumberger. 203p.
- SOARES, A.D.V. 1984. *Novo registro em subsuperfície de sedimentos Terciários (Formação Pirabas) dentro da área da grande Belém*. Belém, UFPa. 21p. (Trabalho de Conclusão de Curso).
- SOUZA, C.W.M & LUIZ, J.G. 1994. Aquíferos na região de Belém: um estudo com base em perfilagem de poços. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra*, Belém, 6: 31-52.
- TÁVORA, V.A. & FERNANDES, J.M.G. 1999. Estudio de los Foraminíferos de la Formación Pirabas (Mioceno Inferior), Estado do Pará, Brasil y su Correlación con Faunas del Caribe. *Revista Geológica de America Central*, Costa Rica.
- VISHER, G.S. 1965. Use of vertical profile in environmental reconstruction. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 49: 41-61.

WALKER, RG. (Ed). 1979. *Facies Models*. Geoscience Canada, reprint series 1, published by Geol. Assoc. Canada.

WALKER, RG. & JAMES, N.P. 1992. *Facies Models: Response to sea level change*. Geological Association of Canada. Chapter 3, p. 27-45