UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

FACULDADE DE GEOFÍSICA

ALAN SILVA ALMEIDA

CORRELAÇÃO DE PERFIS GEOFÍSICOS DE POÇOS DA REGIÃO DE BELÉM E ILHAS DE OUTEIRO E MOSQUEIRO.

BELÉM-PA

2015

ALAN SILVA ALMEIDA

CORRELAÇÃO DE PERFIS GEOFÍSICOS DE POÇOS DA REGIÃO DE BELÉM E ILHAS DE OUTEIRO MOSQUEIRO.

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Geofísica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, em cumprimento às exigências para obtenção de grau de bacharel em Geofísica.
Orientador: Prof. Msc. José Geraldo das Virgens Alves.

BELÉM-PA

2015

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

Almeida, Alan Silva, 1991-
Correlação de perfis geofísicos de poços da região de Belém e ilhas de Outeiro e Mosqueiro / Alan Silva Almeida. – 2015.
63 f : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: José Geraldo das Virgens Alves

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geofísica, Belém, 2015.

1. Geofísica – Pará. 2. Águas subterrâneas - Pará. 3. Perfilagem geofísica de poços - Pará. 4. Raios gama. 5. Resistência elétrica I. Título.

CDD 22. ed. 558.115

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me proporcionou vida e saúde para que eu conseguisse concluir essa graduação. À minha mãe: grande incentivadora de meus estudos. A minha namorada Luzia, pelo apoio. Ao meu professor orientador José Geraldo das Virgens Alves e a Boris Chaves Freimann, pelos ensinamentos e ajuda para a elaboração deste trabalho. À Elen Amorim, pela parceria ao longo da elaboração desse TCC.

RESUMO

Este trabalho teve como primeiro objetivo digitalizar perfis geofísicos de poços que estavam apenas na forma analógica (impressa), para que essas informações tivessem maior alcance por intermédio da inserção desses perfis digitalizados no SIAGAS no site da CPRM. Os poços utilizados foram da região de Belém e ilhas de Outeiro e Mosqueiro. Os perfis digitais gerados foram colocados lado a lado e alinhados verticalmente por uma linha transversal que situava cada poço a cota zero (nível do mar). Foi feita correlação entre os poços para que se identificassem aquíferos. Com a determinação destes, buscou-se identificar a continuidade lateral dos mesmos ao longo dos poços de cada seção. E para cada seção de perfis geofísicos foi gerada uma seção geológica mostrando a continuidade lateral dos aquíferos bem como as camadas argilosas que ocorrem entre esses poços. Neste trabalho identificou-se a presença de inúmeras camadas argilosas que podem até mesmo serem compreendidas como lentes, ao longo das camadas permo-porosas, o que pode estar relacionado ao ambiente de sedimentação; no entanto, as camadas permo-porosas identificadas como aquíferos possuem boa continuidade lateral e muitas das vezes grandes espessuras, o que indica que ela têm grande potencial para abastecimento, o que se comprovou com dados dos relatórios dos poços em que os testes de vazão mostram capacidade de abastecimento superior a 140m^3/h em média.

PALAVRAS-CHAVE: Geofísica aplicada à água subterrânea. Correlação geofísica de poços. Raio gama. Potencial espontâneo. Resistência elétrica.

ABSTRACT

The first goal of this study was to scan geophysical well logs that were only available in analog form (paper printed), aiming to these information to have greater reach through the integration of these scanned well logs in SIAGAS on the CPRM site. The used wells are situated in the region of Belém, islands of Outeiro and Mosqueiro. The digital logs generated were placed side by side and vertically aligned with a transverse line situated in each well at zero elevation (sea level). Correlation was made between the well logs to identify aquifers. With these determinations, we sought to identify the lateral continuity over the wells of each section. And for each section of geophysical well logs a geological section was generated showing the lateral continuity of the aquifers as well as the clay layers that appear between these wells. In this study we identified the presence of numerous clay layers, they may even be understood as lenses along the perm-porous layers, which may be related to the sedimentation environment; however, the perm-porous layers identified as aquifer have good lateral continuity and often large thicknesses which indicates that have great supply potential, which is verified with information from reports of these wells, where the pump tests show supply capacity greater than 140m3 / h.

KEYWORDS: Applied geophysics to groundwater. Geophysical Well log correlation. Gamma ray. Spontaneous potential. Electrical resistance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.....11

Figura 2 - Instrumentação de um perfilador moderno.....15

Figura 3 - Exemplo de testemunho..... 16

Figura 4 - Comportamento do RG diante de materiais argilosos (em verde) e arenosos.....18

Figura 5 - Comportamento do SP diante de materiais permeáveis e impermeáveis.....20

Figura 6 - Comportamento do perfil de Resistência diante de materiais argilosos e arenosos..22

Figura 7 - Imagem escaneada do perfil de poço..... 26

Figura 8 - Imagem importada para o Surfer..... 27

Figura 9 - Processo de digitalização do perfil.....28

Figura 10 - Perfis Plotados..... 29

Figura 11 - Comparação da imagem escaneada (à esquerda: SP, RG e RE, respectivamente) com os perfis plotados (à direita: RG, SP, RE, respectivamente) 30

Figura 12 - Poços lado a lado alinhados verticalmente pela linha de cota.....31

Figura 13 - Mapa base..... 34

Figura 14 - Seção 1..... 36

Figura 15 - Seção 2..... 38

Figura 16 - Seção 3..... 40

Figura 17 - Seção 4..... 42

Figura 18 - Seção 5..... 44

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	**8**
2	**ÁREA DE ESTUDO**	**10**
3	**GEOLOGIA DA ÁREA ESTUDADA**	**12**
3.1	GEOLOGIA REGIONAL	12
3.1.1	**Sedimentos do Grupo Barreiras e Pós-Barreiras**	**12**
3.1.2	**Formação Pirabas**	**12**
3.2	INTERPRETAÇÃO PALEOAMBIENTAL	14
4	**PERFILAGEM GEOFÍSICA DE POÇOS**	**15**
4.1	PERFIL DE RAIO GAMA	16
4.2	POTENCIAL ESPONTÂNEO	18
4.3	PERFIL DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA	21
5	**METODOLOGIA**	**23**
5.1	CATALOGAÇÃO DE POÇOS	23
5.2	DIGITALIZAÇÃO	26
5.3	CORRELAÇÃO DOS PERFIS GEOFÍSICOS	30
6	**RESULTADOS**	**34**
6.1	SEÇÕES LITOLÓGICAS PROPOSTAS	34
6.1.1	**Seção 1**	**35**
6.1.2	**Seção 2**	**37**
6.1.3	**Seção 3**	**39**
6.1.4	**Seção 4**	**41**
6.1.5	**Seção 5**	**43**
7	**CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**	**45**
	REFERÊNCIAS	**47**
	ANEXOS	**49**
	ANEXO A - EXEMPLO DE UM REGISTRO ANALÓGICO IMPRESSO	**50**
	ANEXO B - PERFIS GEOFÍSICOS DIGITALIZADOS	**51**

1 INTRODUÇÃO

O aumento do consumo dos bens naturais é consequência do crescente aumento da população no mundo todo. Com a água ocorre ainda pior, pois além disso, a cada dia aumenta a quantidade de água doce imprópria para consumo humano, devido a poluição. Diante disso, tanto a busca de novas fontes desse bem natural para abastecimento da população quanto a reavaliação de fontes antigas são necessárias.

Nas ilhas de Mosqueiro e Outeiro o abastecimento público de água é feito pela Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA), que utiliza poços tubulares como fonte do recurso hídrico. Em Belém, a mesma companhia usa os açudes Água Preta e Bolonha, além de poços tubulares.

A UFPA, por intermédio do Instituto de Geociências e do departamento de Geofísica desde a década de 70 foi pioneira na perfilagem de poços no Estado do Pará. Desde então continua a produzir esses registros. O perfilador utilizado até o início dos anos 2000 fazia seu registro apenas em papel, o que limita o acesso as suas informações apenas de maneira física. A motivação para a elaboração do presente trabalho é a de facilitar o acesso a essas informações digitalizando-as para colocá-las na internet, além de reavaliá-las com uma maior quantidade de perfis reunidos e assim buscar dar respostas mais completas, por possuir mais informações que os trabalhos pretéritos com tais perfis.

Foram catalogados 14 poços, tendo como critério selecionar os mais profundos e com perfis de raio gama, potencial espontâneo e Resistividade. Alguns contém apenas os dois últimos, mas dão bom suporte técnico para fazer correlações dos dados dos poços.

Dentre os trabalhos anteriores de correlação de perfis geofísicos de poços, com o mesmo objetivo de identificar aquíferos foram consultados os seguintes.

- Delimitação de aquíferos através de perfilagem geofísica de poços na região de Barcarena-PA. Autor: Daniel Bezerra da Silva. Ano de 1999.

- Aquíferos na região de Belém: um estudo com base na perfilagem de poços. Autor: SOUZA, C.W.M.F. Ano de 1994.

- Estudo hidrogeológico através de perfis geofísicos de poços- Salinópolis-PA. Autor: Boris Chaves Freimann. Ano de 2013.

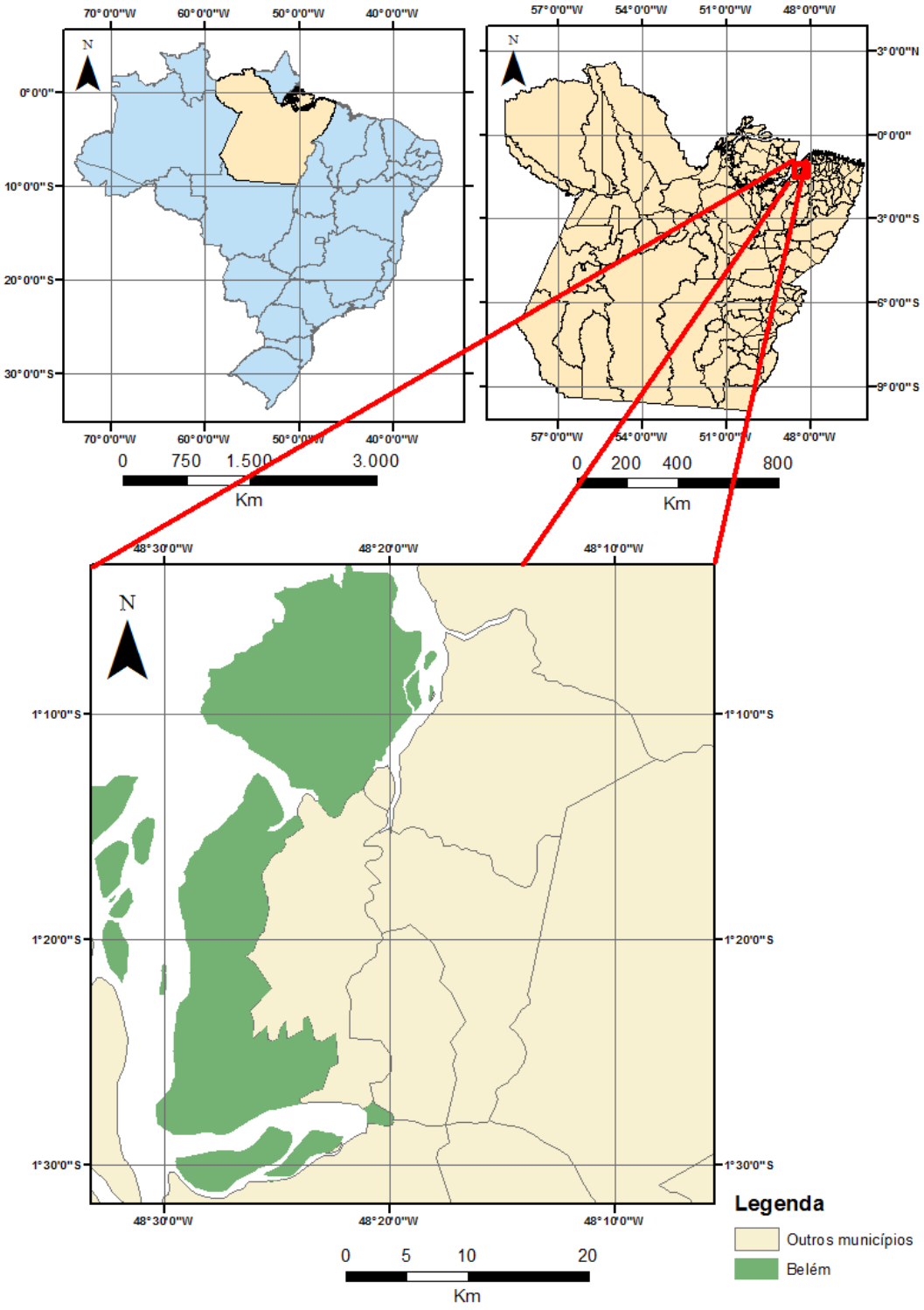
2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a cidade de Belém e a ilha de Mosqueiro. Belém é a capital do Estado do Pará, possui 1.439. 561 habitantes e 1.059,458 km^2 de extensão territorial, segundo dados do ano de 2015 do IBGE. Latitude -01° 27' 21'' S e longitude -48° 30' 16'' W.

A ilha de Mosqueiro, com superfície aproximada de 220 km^2, possui cerca de 27 mil habitantes e fica a 70 quilômetros (na direção nordeste) da capital paraense. Está situada na microrregião Guajarina em um típico ambiente estuarino com influências marinhas, possuindo 17 km de praias de água doce. Localiza-se geograficamente entre as coordenadas 1° 7' 0'' S de latitude e 48° 24' 0'' W de longitude. (VENTURIERI et al. 1998).

A figura 1 mostra a localização da área de estudo. Os “shapes” de interesse para este trabalho foram modificados via ArcGis e georeferenciados com coordenadas UTM e no datum WGS-84 para posicionamento dos dados e mapas.

Figura 1 mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Do Autor.

3 GEOLOGIA DA ÁREA ESTUDADA

3.1 GEOLOGIA REGIONAL

As unidades geológicas do Cenozoico da região metropolitana de Belém são representadas pelas formações Pirabas e Barreiras, e sedimentos Pós-Barreiras (PALHETA, 2008). A estratigrafia pode ser vista na tabela 1.

3.1.1 Sedimentos do Grupo Barreiras e Pós-Barreiras

A denominação “Barreiras” foi primeiramente usada para designar sedimentos Cenozoicos terrígenos, que em alguns trechos de litoral formam falésias e se estendem do litoral sudeste ao norte do Brasil (ALHEIROS et al.1988). Os sedimentos Barreiras são divididos em três litofáceis: Conglomerática, arenosa e argilo-arenosa (GOES & TRUKENBRODT, 1980).

3.1.2 Formação Pirabas

A formação Pirabas tem sua ocorrência sobre toda a Plataforma Continental Norte Brasileira, abrangendo todo o litoral do Estado do Pará. (FERREIRA 1982, apud FREIMANN 2012).

Esta unidade é composta por margas, calcários variados e poucos folhelhos. Possui um riquíssimo e variado conteúdo fossilífero com foraminíferos, briozoários, moluscos, corais etc. (FERREIRA 1982, apud MENDES, 2000).

Tabela 1. Coluna Estratigráfica da região nordeste (NE) do Pará.

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	UNIDADE	DESCRIÇÃO GERAL
CENOZOICO	QUATERNÁRIO	HOLOCENO	SEDIMENTO ATUAIS	Areias quartzosas de granulometria fina a média, distribuídas na orla litorânea, leitos de rios e igarapés; cascalhos fluviais; argilas e siltes ligados a manguezais.
		PLEISTOCENO	SEDIMENTOS PÓS-BARREIRAS	Sedimentos inconsolidados areno-argilosos a argilo-arenosos, amarelados a avermelhados, com grânulos de quartzo e blocos de arenito ferruginado.
	TERCIÁRIO	MIOCENO-PLIOCENO	SEDIMENTOS BARREIRAS	Sedimentos siliciclásticos que constituem argilas, siltes, arenitos e ocasionalmente conglomerados, de cores variadas e comumente ferruginados. Portadores de vegetais fósseis, tubos de ophiomorphas e estruturas sedimentares primárias.
		OLIGOCENO-MIOCENO	FORMAÇÃO PIRABAS	Calcário micríticos, bioclastos, biohérmicos, dolomicríticos, as vezes com folhas cinza-esverdeadas e margas intercaladas, com variado e abundante conteúdo fossilífero.

Fonte: Rossetti, D. F.; Truckenbrodt, W.; Goés, A. M. (1989)

3.2 INTERPRETAÇÃO PALEOAMBIENTAL

Segundo Ferreira (1982) e Ferreira e Francisco (1988) apud Mendes 2000, a formação Pirabas foi depositada primeiramente em regime de mar aberto com águas agitadas e quentes e de salinidade normal. Depois passou a depositar em lagos de borda de Bacia ou estuário e por fim em ambiente de mangue.

Farias; Nascimento; Ferreira, (1992), baseando-se nas fácies e conteúdo fossilífero concluíram que os sedimentos Barreiras da região de Belém foram depositados em ambiente estuarino.

Rossetti; Truckenbrodt; Goés. (1989) sugerem que os sedimentos Pós-Barreiras foram depositados por movimentos gravitacionais e apresentam contribuição de processos dissipativos de dunas eólicas na faixa litorânea.

Farias; Nascimento; Ferreira, (1992), admitem que os sedimentos atuais foram depositados em mangues com alguma influência de cais de maré.

4 PERFILAGEM GEOFÍSICA DE POÇOS

No procedimento da perfilagem busca-se aglutinar a maior quantidade possível de informações para que se possa inferir os tipos de rochas do local em que o poço fora perfurado, os prováveis ambientes onde foram formadas, as propriedades petrofísicas das mesmas com intenção de identificar aquíferos. Tais inferências são feitas a partir dos perfis geofísicos de poços e amostras de calhas ou eventuais testemunhos (figura 3). A figura 2 mostra os principais equipamentos da perfilagem.

Figura 2. Instrumentação de um perfilador moderno.

Fonte: Freimann, 2012.

Alguns equipamentos permitem que a perfilagem ocorra ao mesmo tempo que a perfuração, mas a maioria das perfilagens são feitas somente após a perfuração.

Figura 3. Exemplo de testemunho.

Fonte: Andrade 2010.

Perfil geofísico é a representação gráfica entre as profundidades e as propriedades petrofísicas das rochas atravessadas por um poço (NERY, 2013).

Os dados digitalizados para a elaboração deste trabalho consistem de três (03) tipos de perfis geofísicos diferentes; são: perfil de raio gama, potencial espontâneo e de resistência.

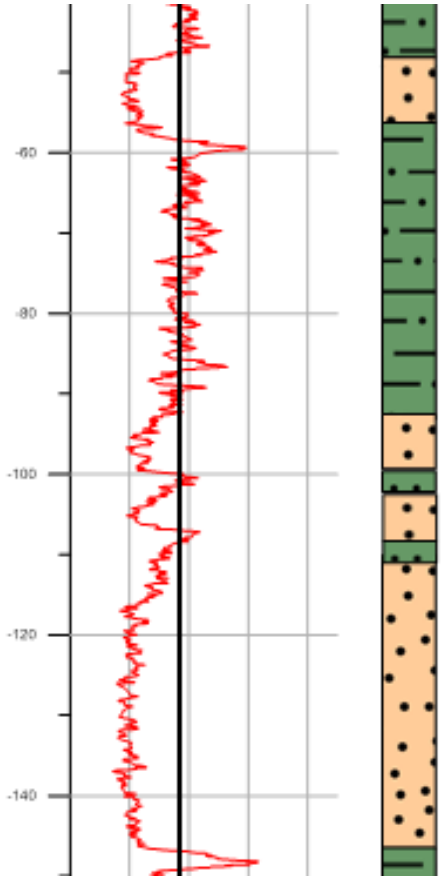
4.1 PERFIL DE RAIO GAMA

O equipamento de medição acoplado na sonda de perfilagem consiste em um cintilômetro que, basicamente, é um cristal que emite um fóton ao ser atravessado pelo raio gama. Este fóton passa por um fotomultiplicador, produzindo pulsos elétricos que são contados numa determinada janela de tempo e registrados em valores que irão gerar o perfil. A medição de Raios Gama é apresentada em Contagem total por segundo (CPS) em função da profundidade. (FREIMANN, 2012).

São três elementos radioativos que a geofísica usa em sua perfilagem: o Urânio (U^{235}), Tório (Th^{232}) e o Potássio (K^{40}). Sendo a altura de cada pulso 1,76 MeV; 2,62 MeV e 1,46 MeV respectivamente. Existem equipamentos que conseguem identificar individualmente os elementos, são os designados multicanais e os que não conseguem distingui-los, obtendo apenas a soma de seus pulsos, chamados de monocanais.

Os elementos radioativos naturais ocorrem originalmente nas rochas ígneas. Durante os processos de erosão e transporte, eles são espalhados nos sedimentos. Após os evaporitos potássicos os folhelhos são as rochas sedimentares que apresentam os mais altos valores de radioatividade. A radioatividade nos folhelhos é bastante significativa porque eles são ricos em K^{40} e em matéria orgânica, além de terem grande capacidade de realizar trocas iônicas com as soluções intersticiais do meio onde foram depositados. E os valores de radioatividade dos arenitos são menores que os do folhelho e maiores que os dos carbonatos. Para exemplificar o comportamento da curva de raio gama ao longo do poço, a figura 4 mostra o sinal de RG referentes a materiais argilosos e arenosos ao longo do poço.

Figura 4. Comportamento do RG diante de materiais argilosos (em verde) e arenosos.



Fonte: Do autor.

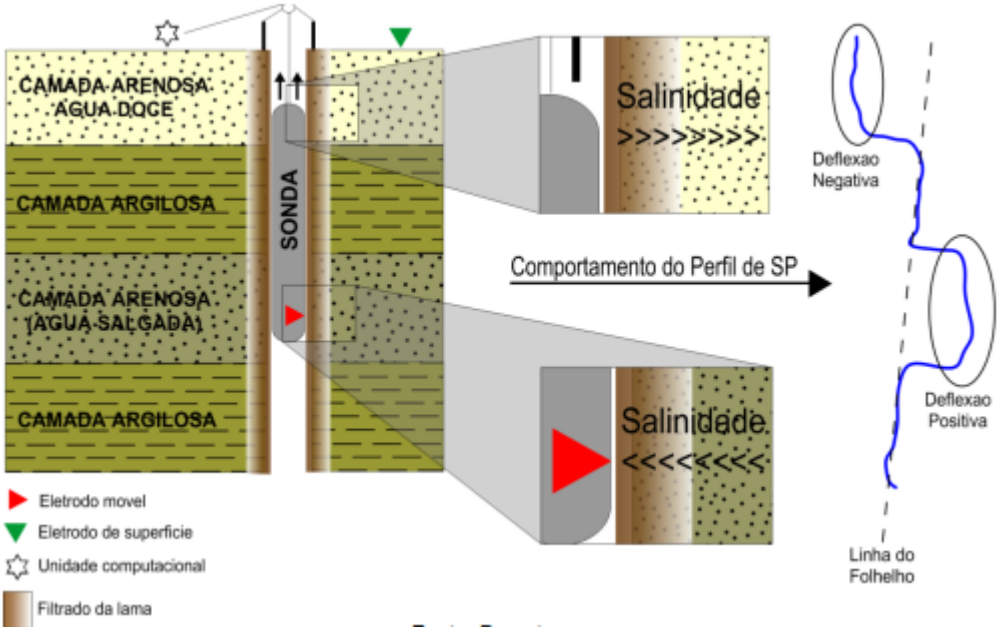
4.2 POTENCIAL ESPONTÂNEO

O perfil do Potencial Espontâneo nada mais é do que o registro de pequenas diferenças de potencial (milivolt) desenvolvidas em um poço, ao nível dos contatos entre o filtrado e as águas das formações (figura 5).

O registro é feito a partir de dois eletrodos, um acoplado à sonda de perfilagem e o outro fixo na superfície. As medidas do potencial espontâneo são dadas em milivolts (mV) e o perfil gerado é continuo em relação à profundidade em metros.

Defronte a folhelhos de iguais características petrofísicas, a curva do SP mostra uma tendência a um valor constante denominado de linha base dos folhelhos (LBF). Defronte a camadas permeáveis (onde ocorre invasão do filtrado), a curva apresenta deflexões, tanto para a direita quanto para a esquerda. Quando o filtrado for mais salgado do que a água intersticial, para a esquerda. E quando a água intersticial for mais salgada que o filtrado, para a direita. O sinal do SP é, portanto, função entre o contraste de atividades, ou resistividades, entre a água da formação e o filtrado da lama. Por convenção, dá-se o sinal positivo para as deflexões à direita da LBF e negativo, para a esquerda (NERY, 2013). Camadas impermeáveis não mostram movimentações no perfil de SP, sinalizando ausência de invasão ou difusão de sais. Também não há movimentação nas camadas com igualdade de salinidade entre o filtrado e a água. Nesses casos, o conceito de LBF não se aplica. Então, deflexões negativas representam água de melhor qualidade para consumo humano.

Figura 5. Comportamento do SP diante de materiais Permeáveis e impermeáveis.



Fonte: Freimann, 2012.

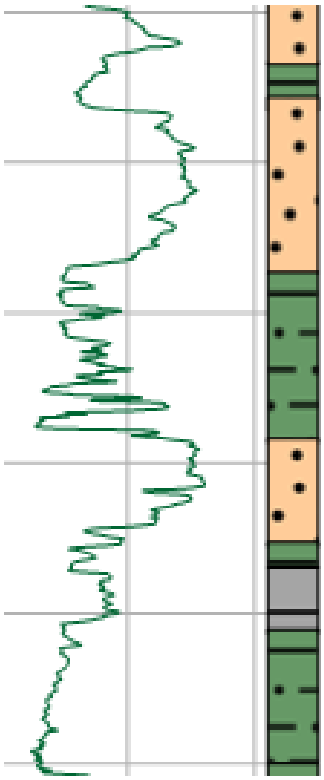
4.3 PERFIL DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Esse perfil é baseado na lei de OHM, e essa diz que um condutor que tenha resistência constante, mantido à temperatura constante, a intensidade (i) de corrente elétrica que passa por ele será proporcional à diferença de potencial (ΔV) aplicada entre suas extremidades. Assim, o registro pode ler a resistência elétrica nas camadas a partir de um eletrodo na superfície e um outro acoplado a sonda.

$$R = \frac{\Delta V}{i}$$

No contexto do estudo de águas subterrâneas em ambientes sedimentares, como no caso deste trabalho, valores baixos no Perfil de Resistência Elétrica normalmente estão relacionados com a presença de material argiloso, enquanto que altos valores normalmente estão associados a materiais arenosos. Portanto, zonas onde o perfil apresenta altos valores são de interesse para a prospecção de água, pois comumente os reservatórios estão em formações arenosas por serem bastante porosas e permeáveis. Perturbações em valores correspondentes a materiais arenosos podem ser interpretados como presença de argila disseminada no meio ou até mesmo variação de salinidade da água contida na formação (FREIMANN, 2012. Para exemplificar o comportamento da curva de Resistência elétrica ao longo do poço, a figura 6 mostra o sinal da mesma referente a materiais argilosos e arenosos ao longo do poço.

Figura 6. Comportamento do perfil de Resistência diante de materiais argilosos e arenosos.



Fonte: Do Autor

5 METODOLOGIA

5.1 CATALOGAÇÃO DE POÇOS

Nesta etapa foram reunidos os perfis geofísicos de poços tubulares da Região de Belém e Mosqueiro que pertencem ao departamento de geofísica da UFPA. Buscou-se selecionar poços que abrangessem toda a cidade de Belém e o distrito de mosqueiro como um todo, para que não ficassem muitos poços em uma área pequena da cidade e do distrito. Complementarmente a esse critério deu-se prioridade para os poços que tivessem o perfil de raio gama e fossem profundos e por fim, poços profundos e com bons perfis de resistência e SP. Foram catalogados 14 poços que atendiam a esses critérios. Para facilitar o manejo das informações obtidas, foi atribuída uma letra do alfabeto a cada poço e gerou-se duas tabelas foram montadas para mostrar várias características desses poços, como observado a seguir.

Tabela 2. Dados dos Poços

POÇO	Nome	Localização/propriedade	Profundidade(m)	Registros	Data
1	UFPA-SETOR PROFISSIONAL-3	Campus II UFPA, Belém-PA	290	RG,SP,RE	06/05/2000
2	FEMAC/COSANPA-TERRA FIRME-02	Terra Firme, Belém-PA	305	SP,RE	27/04/1992
3	TUBULAR Nº 9-TERRA FIRME	7º Setor-COSANPA, Terra firme, Belém-PA	260	RG,SP,RE	07/05/1993
4	FEMAC-FACEPA II	Sacramenta, Belém-PA	286	RG,SP,RE	14/09/1990
5	COSANPA-LOTEAMENTO-CDP 4	Providência-Belém-PA	275	RG,SP,RE	07/07/1998
6	CATALINA	Rod. Dos Trabalhadores, Belém-PA	273	RG,SP	15/10/1999
7	03 BENGUÍ	Atrás da chur. Rodeio, Rod. Augst. Montenegro, Belém-PA	296	RG,SP,RE	21/04/1994
8	CORNER 3698/2	CERPASA, Rod. Do Tapanã, Belém-PA	300	RG,SP,RE	18/05/1994
9	FEMAC-CANARINHO	Conj. Canarinho (Rod. Aug. Montenegro), Belém-PA	271,5	RG,SP	18/11/1998
10	COSANPA/CORD. DE FARIAS-P2	CORDEIRO DE FADRIAS, Belém-PA	269,7	SP,RE	25/11/2005
11	SAAEB-ICOARACI	Souza Franco c/ 7ª Rua, Icoaraci, Belém-PA	269,5	RG,SP,RE	09/04/1998
12	SAAEB-P2-5ª RUA	Mosqueiro, Belém-PA	257,5	SP,RE	23/05/2005
13	MURUBIRA-FEMAC-01	Estação COSANPA. Murubira, Mosqueiro, Belém-PA	252	SP,RE	01/06/2004
14	SAAEB-BAÍA DO SOL	Mosqueiro, Belém-PA	273	RG,RE	24/03/1999

Fonte: Do Autor .

Tabela 2.1. Dados de GPS dos Poços.

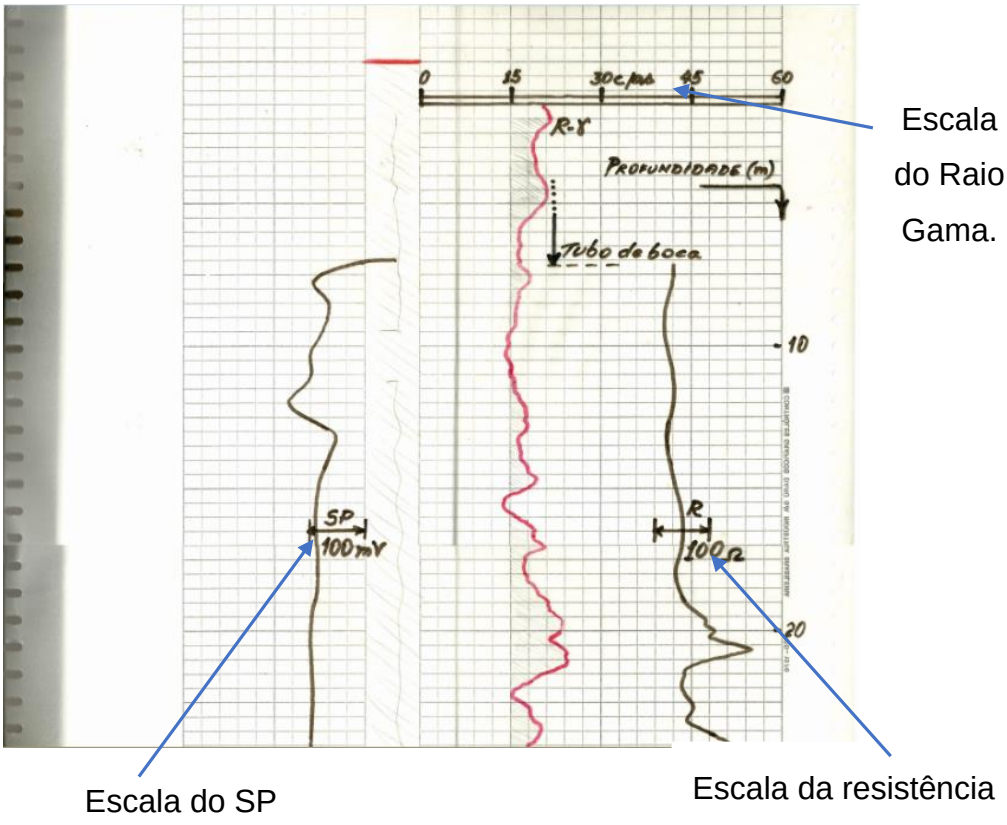
Poço	Construtora	Latitude	Longitude	UTM-E	UTM-N	Altitude (m)	Perfil Geofísico
1	PROÁGUA	12828	482659	783777	9836861	7	Sim
2	FEMAC	12718	482637	784453	9839006	4	Sim
3	FEMAC	12649	482642	784302	9839918	9	Sim
4	FEMAC	12434	482819	781303	9844039	6	Sim
5	FEMAC	12416	482846	780461	9844603	5	Sim
6	HIDROENGE	12251	482721	783104	9847210	17	Sim
7	FEMAC	12233	482633	784600	9847776	17	Sim
8	CORNER SÃO PAULO	12204	482844	780531	9848656	15	Sim
9	FEMAC	12145	482720	783130	9849250	17	Sim
10	FEMAC	12059	482754	782098	9850667	15	Sim
11	FEMAC	11815	482838	780742	9855709	10	Sim
12	FEMAC	10927	482804	781809	9871935	9	Sim
13	FEMAC	10729	482636	784535	9875559	9	Sim
14	FEMAC	10355	482008	796537	9882141	11	Sim

Fonte: Do Autor.

5.2 DIGITALIZAÇÃO

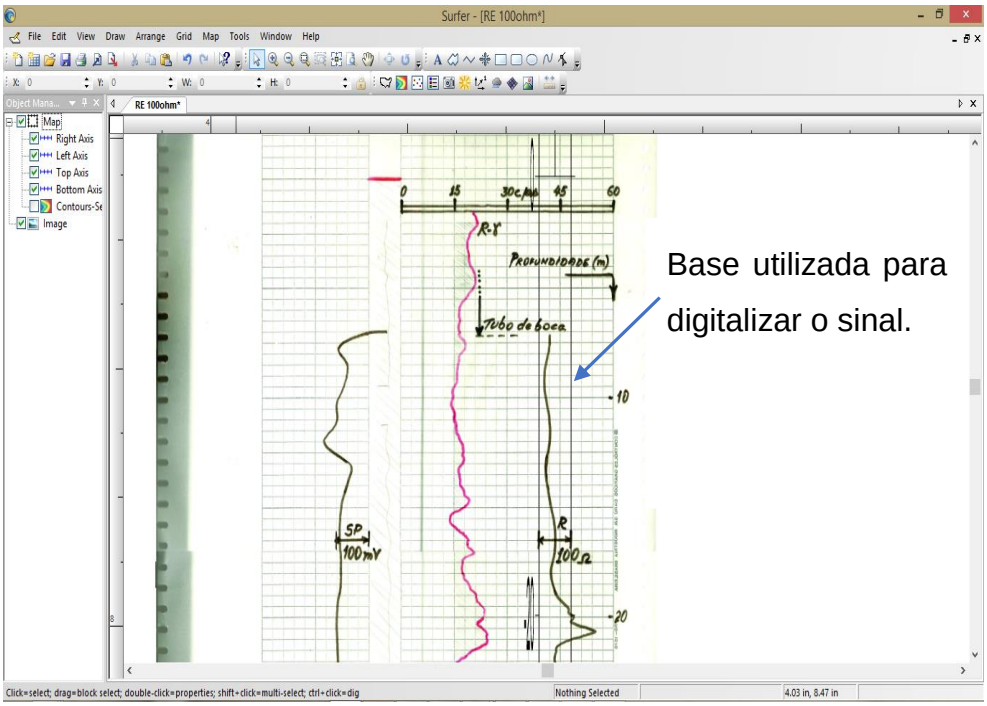
Incialmente, foram selecionados perfis impressos contidos nos arquivos do laboratório de prospecção geofísica da UFPA das regiões de Belém, Mosqueiro e Outeiro. Os escolhidos foram os mais profundos, para que fosse possível acompanhar a continuidade lateral dos aquíferos ao longo dessas regiões. Após a seleção, com o auxílio de uma impressora multifuncional, os perfis impressos foram digitalizados com o auxílio de um scanner (figura 7). Em seguida as imagens foram unidas usando o programa CorelDraw. Com a imagem do perfil contida em um único arquivo de imagem (com extensão JPEG) o passo seguinte foi digitalizar os dados do perfil e para isso, o programa Surfer foi usado (figura 8).

Figura 7- Imagem escaneada do perfil de poço.



Fonte: Do Autor.

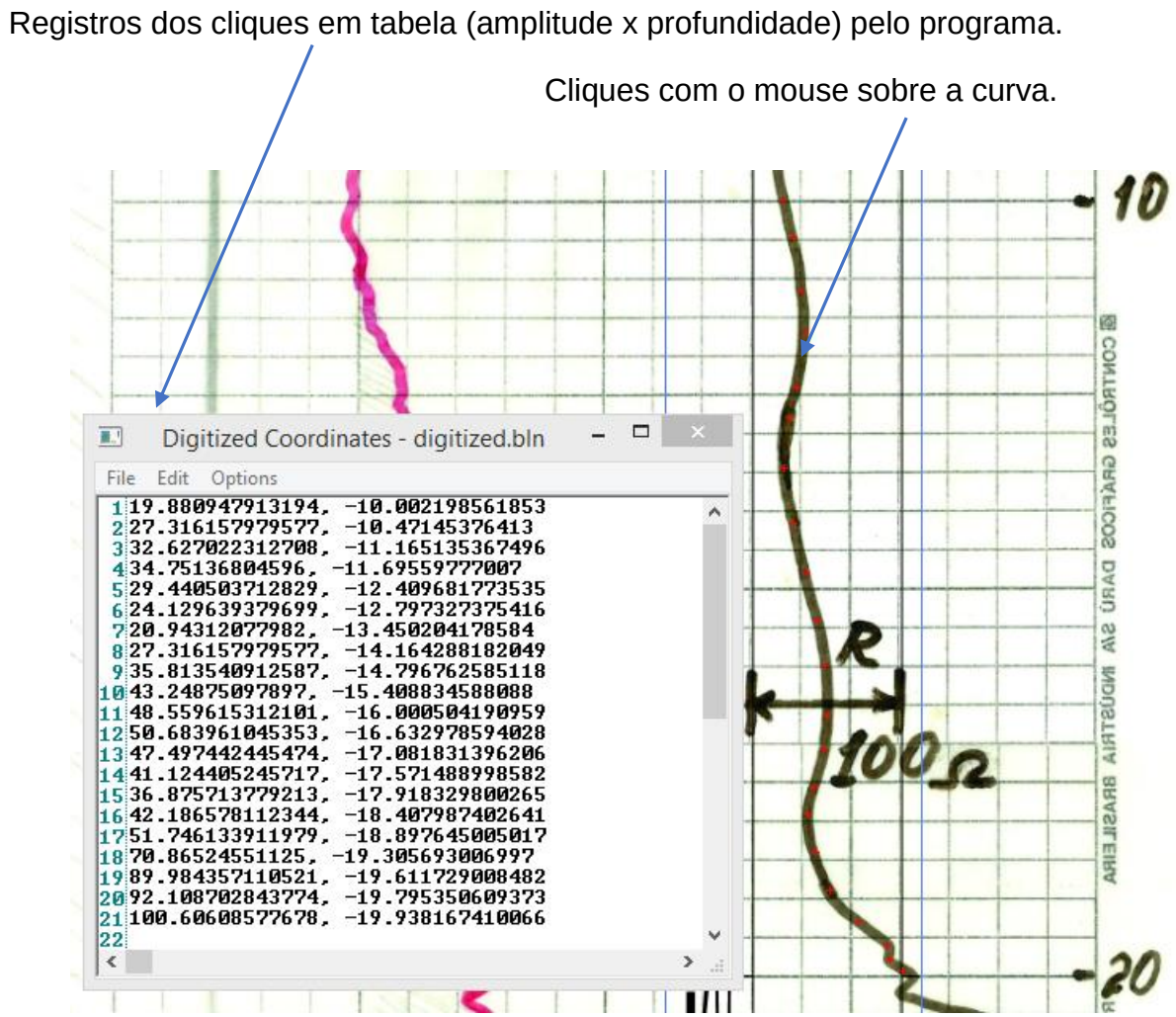
Figura 8 - imagem importada para o Surfer.



Fonte: Do Autor.

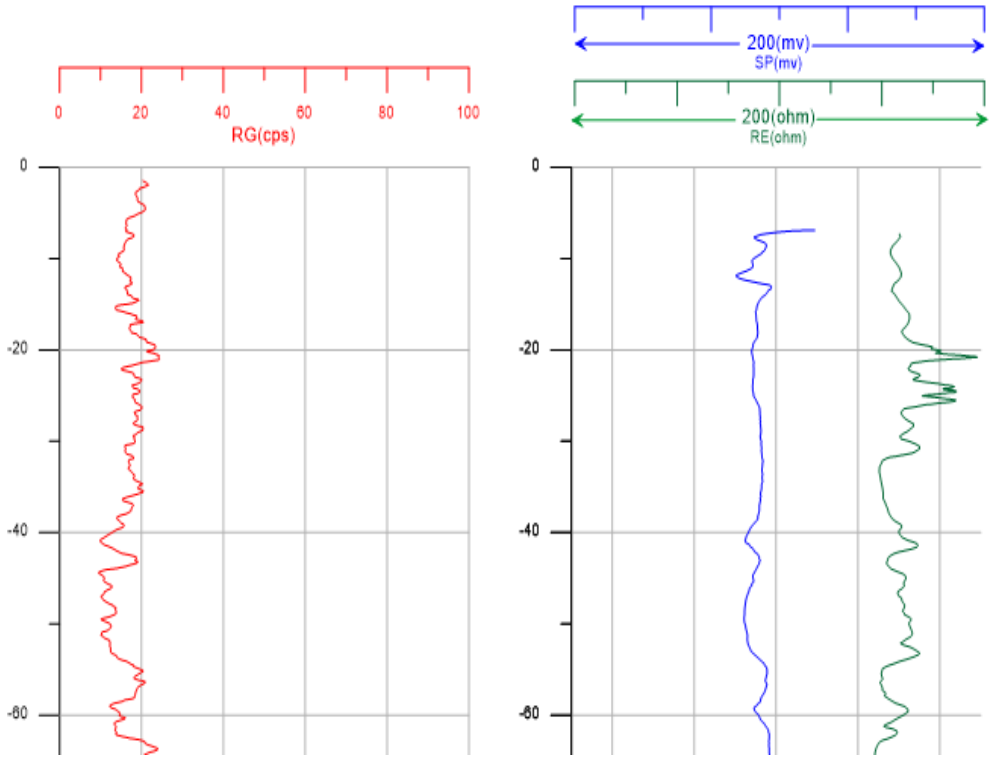
No programa Surfer, a imagem é ajustada ao mapa que captura os pontos gerados com os cliques do mouse sobre a linha do perfil e registra a posição vertical e horizontal dos mesmos, esse mapa é denominado de base e o ajuste entre ele e a imagem é com intuito de colocá-los na mesma escala, assim, a curva real será idêntica a digital gerada no arquivo. Conforme figura 9, percebe-se que o primeiro ponto digitalizado tem valor de profundidade (segunda coluna da tabela na figura) exatamente igual ao da figura, que é 10. E o último tem amplitude horizontal igual ao máximo da escala da Resistência do perfil de papel 100 ohms (última linha, primeira coluna). Ao final do perfil, os pontos marcados são salvos em um arquivo de tabela com extensão (.dat) e essa, por sua vez, será utilizada em outro programa, o Grapher, para que as curvas possam ser plotadas (figuras 10 e 11) e assim os perfis possam ser usados para compor textos, colocados à disposição na internet.

Figura 9- Processo de digitalização do perfil.



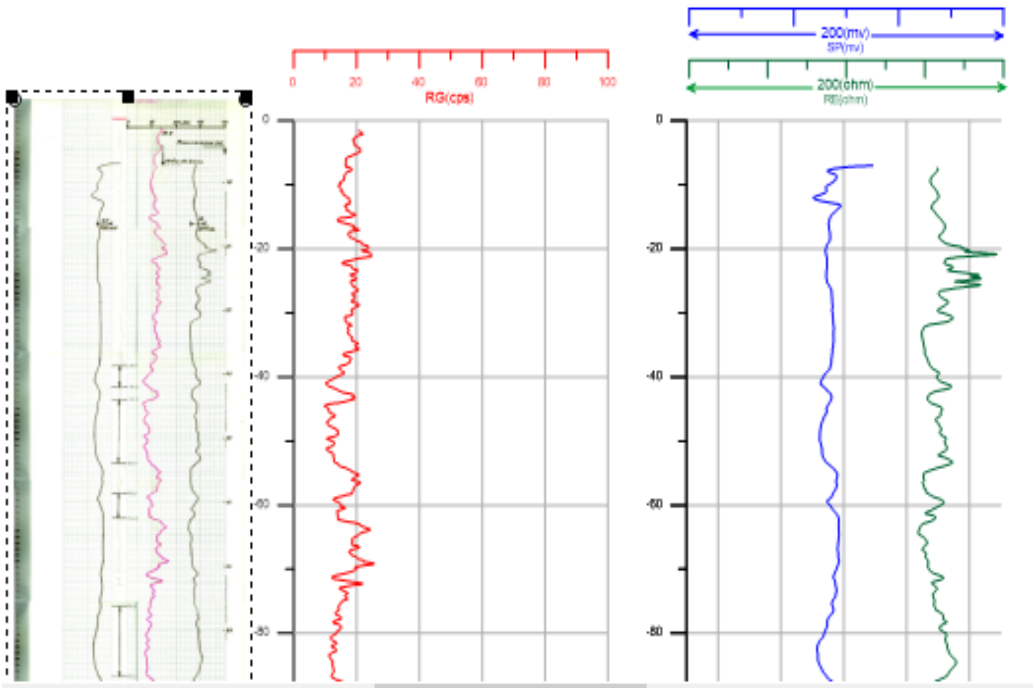
Fonte: Do Autor.

Figura 10- Perfis Plotados.



Fonte: Do Autor.

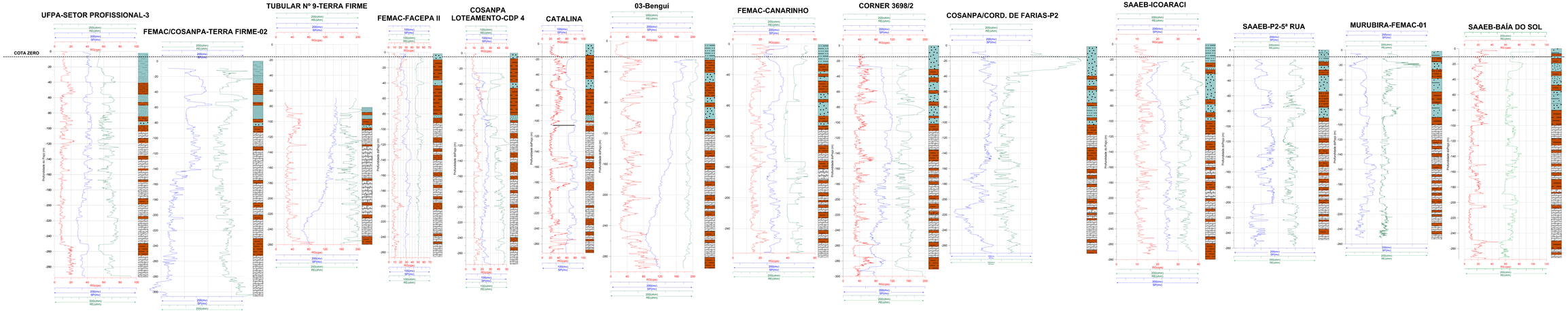
Figura 11- Comparação da imagem escaneada (à esquerda: SP, RG e RE, respectivamente) com os perfis plotados (à direita: RG, SP, RE, respectivamente)



Fonte: Do Autor.

5.3 CORRELAÇÃO DOS PERFIS GEOFÍSICOS

No que diz respeito a correlação, os perfis digitais gerados (anexo B) foram colocados lado a lado e alinhados verticalmente por uma linha transversal que situava cada poço a cota zero (nível do mar), conforme figura 12. Os poços foram organizados em seções e como critério para defini-las foi usado a proximidade entre os poços em que os quatorze poços foram agrupados em quatro seções. Para análise do que seria um aquífero foi utilizado o cálculo da argilosidade ao longo do poço utilizando o registro de RG. As zonas que possuíam índice de argilosidade menor que 25% foram consideradas aquíferos limpos, livres de argila; as que estavam acima desse índice foram consideradas argilosas, ou seja, camadas impermeáveis. A análise das deflexões da resistência elétrica e do SP corroboravam para essa afirmação.


UFPA-SETOR PROFISSIONAL-3
FEMAC/COSANPA-TERRA FIRME-02
TUBULAR Nº 9-TERRA FIRME
FEMAC-FACEPA II
COSANPA LOTEAMENTO-CDP 4
CATALINA
03-Benguí
FEMAC-CANARINHO
CORNER 3698/2
COSANPA/CORD. DE FARIAS-P2
SAAEB-ICOARACI
SAAEB-P2-5ª RUA
MURUBIRA-FEMAC-01
SAAEB-BAÍA DO SOL
COTA ZERO
Profundidade da Broca (m)
Profundidade do Poço (m)
Profundidade do Poço (m)

A argilosidade leva em consideração alguns fatores, dentre eles a idade da rocha. Neste trabalho usou-se o termo argilosidade com base apena no índice de radioatividade, para identificar zonas com baixa argilosidade (menor que 25%), conforme a expressão abaixo retirada de Nery, 2004.

$$IRG(z) = \frac{RG(z) - RG\ mín}{RG\ máx - RG\ mín}$$

Em que IRG é o índice de radioatividade numa profundidade "z", o $RG_{mín}$ e $RG_{máx}$ são, respectivamente o valor mínimo e máximo de RG medido ao longo do poço, enquanto que o $RG_{(z)}$ é o valor de RG medido em uma profundidade z qualquer do poço. Assim, o valor de RG correspondente a 25% de argilosidade foi determinado no registro de RG para cada poço.

$$RG(25\%) = [0{,}25(RG\ máx - RG\ mín)] + RG\ mín$$

Em que *RG* (25%) é o valor em que a argilosidade corresponde a exatamente 25% no registro. Assim, o valor resultante do cálculo foi assinalado em cada perfil com uma reta para discriminar as zonas limpas das zonas argilosas, gerando o perfil litológico para a correlação poço a poço.

Embora todos os poços possuíssem perfil litológico (elaborados pelas empresas que construíram os poços) eles não foram utilizados para a determinação de toda a litologia porque apresentavam grandes variações entre si, chegando ao ponto em que dois poços perfurados na mesma localidade (fábrica da Cerpasa) apresentarem perfis com bastante diferença na intepretação litológica.

Com a determinação dos aquíferos buscou-se identificar a continuidade lateral desses ao longo dos poços de cada seção. E para cada seção de perfis geofísicos foi gerada uma seção geológica mostrando a continuidade dos aquíferos bem como as camadas e lentes argilosas que ocorrem entre esses poços.

Além de avaliar a continuidade lateral dos aquíferos, também se inferiu a qual formação eles pertencem, Barreiras ou Pirabas, bem como a cota onde se encontram os limites de transição entre essas duas formações. Os dados contidos nos relatórios dos poços utilizados neste trabalho (obtidos através do SIAGAS/ RIMAS) corroboraram para essa inferência. E como a transição entre elas não ocorre de maneira abrupta, sugere-se que esta coincida com uma camada argilosa presente em todas as seções. No geral, essa transição ocorreu entre os horizontes de cotas -70m e -95m.

A deposição em ambiente de mangue ao final da formação Pirabas como afirmam Ferreira & Francisco (1988) e estuarino no início da formação Barreiras como afirmam Farias; Nascimento; Ferreira, (1992), explica a camada argilosa que foi indicada como transição entre as duas formações.

6 RESULTADOS

6.1 SEÇÕES LITOLÓGICAS PROPOSTAS

Considerando-se a distribuição desses poços no mapa base figura 13, determinou-se quatro conjuntos de pelo menos três poços para o trabalho de correlação e posteriormente a proposição de seções litológicas correspondentes. A partir da correlação geofísica propõe-se as seguintes seções litológicas, obedecendo o relevo e a relação espacial de distância entre os poços em cada um dos cinco conjuntos de poços definidos no mapa base (a seção cinco é a união das seções 3 e 4 com um único poço na ilha de Outeiro).

Figura 13. Mapa base.

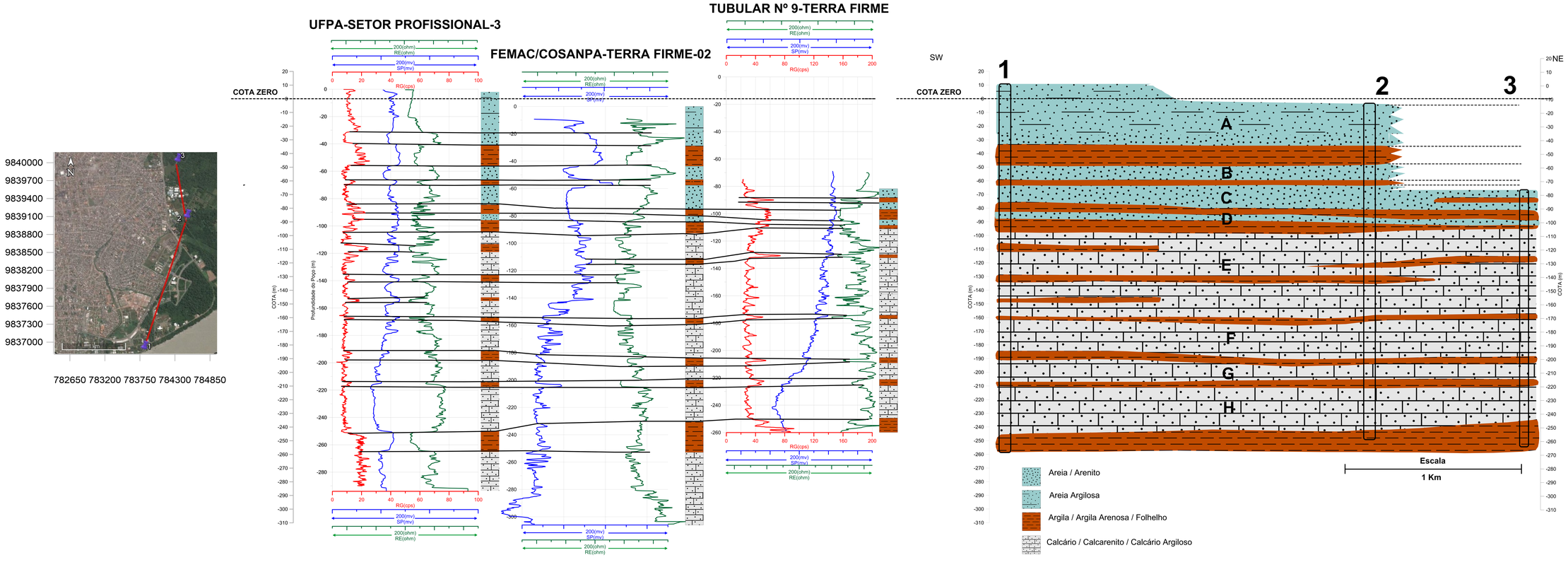
Fonte: Google Earth 2015.

6. 1. 1 Seção 1.

A seção 1 é composta por três poços situados nos bairros Guamá (poço 1) e Terra Firme (poços 2 e 3), os registros do poço 3 só iniciaram a partir da cota -57m então os estratos sedimentares que ocorreram nos poços 1 e 2 foram projetados para o 3 por linhas pontilhadas porque na interpretação do autor embora não se tenha dados para afirmar isso, provavelmente eles também ocorram no poço 3, conforme a figura 14. Nesta seção identificam-se, desde a superfície até o horizonte médio de cota -87 m, várias camadas permo-porosas que devem estar associadas a quatro aquíferos. O aquífero A é o aquífero livre. É assim denominado por não ter nenhuma barreira geológica que isole as suas águas das águas superficiais que se infiltram solo adentro. Uma camada argilosa com cerca de 14m de espessura o separa do aquífero B, que por sua vez pode estar ligado ao aquífero C tanto na direção sudoeste quanto na direção nordeste. Caso estes dois aquíferos estejam realmente conectados ter-se-ia uma camada com potencial de abastecimento bastante relevante e sua extensão vertical vai do horizonte de cota -48m até o de -75m (em média). O aquífero D é pouco espesso e na direção sudoeste pode estar ligado ao aquífero C.

Entre os horizontes de cotas -98 e -250 metros (em média) tem-se uma camada permo-porosa em que nela é possível distinguir outros Cinco aquíferos: E, F, G e H. Todos possuem boa continuidade lateral, isso já é um indicativo de serem aquíferos que podem oferecer boa vazão. O aquífero E é o mais espesso, embora possua a maior argilosidade dentre todos, haja vista nele existirem quatro camadas argilosas. Os aquíferos F, G e H, pela interpretação da correlação, não possuem camadas de argilas dentro deles, o que indica que são os melhores a serem explorados e o aquífero H se destaca ante os outros dois por ser o mais espesso, seu topo está situado no horizonte de cota -210 m e sua base, ao horizonte de cota -248 m, além de poder estar conectado ao aquífero G na direção sudoeste (SW), o que tornaria a sua capacidade de abastecimento ainda maior.

Figura 14. Seção 1



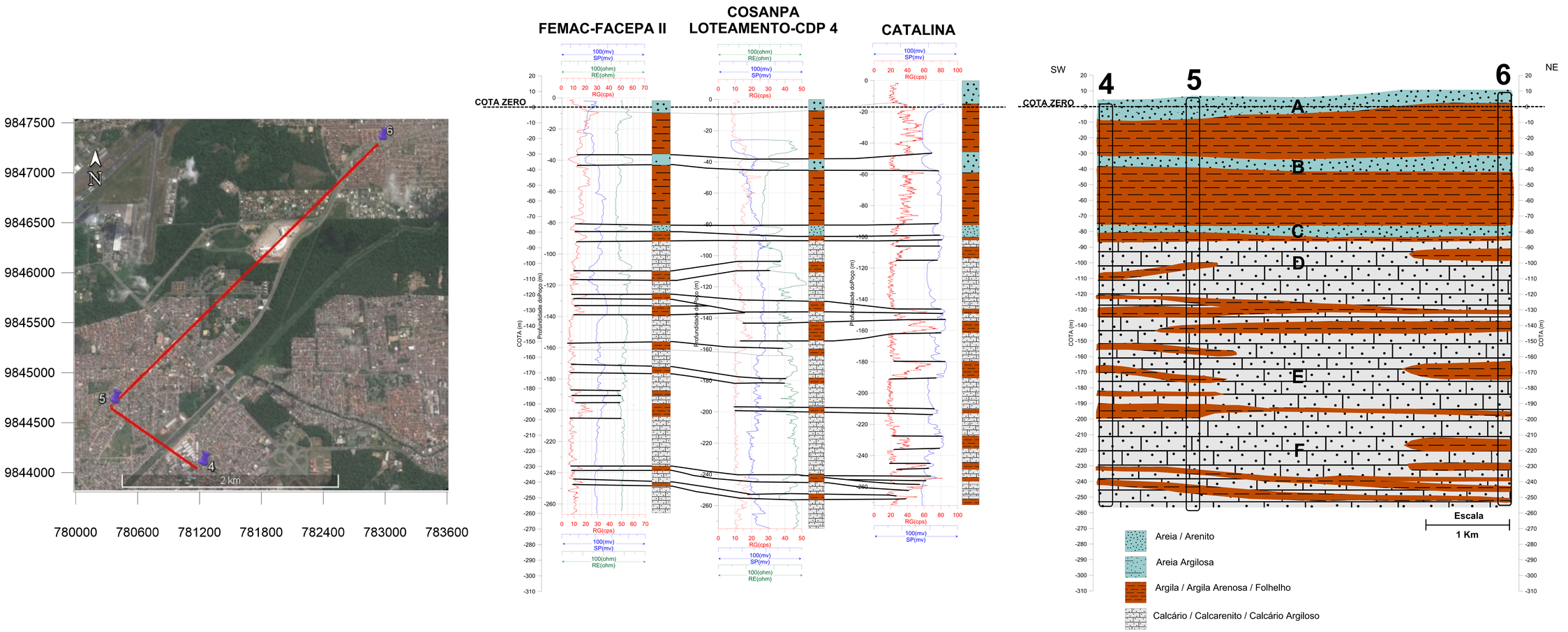
Fonte: Google / Autor

6. 1. 2 Seção 2.

A seção 2 composta pelos poços 4, 5 e 6, com direção SW-NE, situada no bairro da Sacramenta, mostra um aquífero livre, dois aquíferos confinados e duas camadas argilosas bastante extensas até o horizonte de cota de -85 metros (Figura 15). Neste trecho, o aquífero A (livre) tem baixíssimo potencial de abastecimento, pois sua base fica na cota -9 metro e essa profundidade ainda diminui em direção ao poço 6, chegando à cota zero. O B tem seu topo na cota -31 e sua base na cota -39 metros (em média) e aumenta sua espessura em torno de três metros no poço 6, tem potencial para abastecimento por ser isolado do aquífero livre e ter boa continuidade lateral. Da mesma forma, ocorre com o aquífero C que tem na espessura um diferencial em relação aos predicados do aquífero B, porque a espessura do C é menor cerca de dois metros.

Entre os horizontes de cota -85 e -230 metros (em média) há uma grande camada permo-porosa de boa continuidade lateral. Três aquíferos podem ser discriminados: D, E e F. Todos com excelentes espessuras, mesmo com alguns níveis de argilosidade.

Figura 15. Seção 2



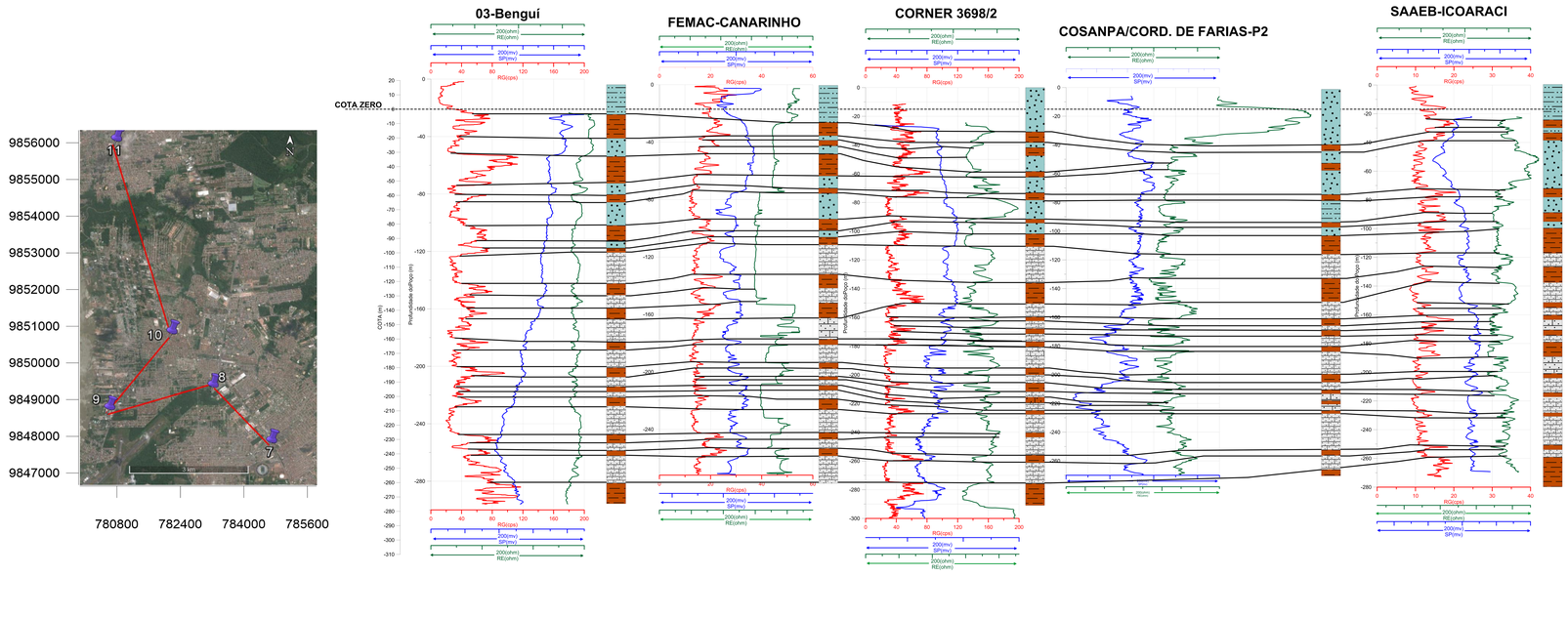
Fonte: Google / Autor

6. 1. 3 Seção 3.

A seção 3, exibida na figura 16, composta por cinco poços, com direção SE-NW, possui camadas permo-porosas que se estendem desde a cota 15m até o horizonte de cota -97 m e do horizonte de cota -98 m até o de -260m (em média). Essas camadas podem ser distinguidas em nove aquíferos: A, B, C, D, E, F, G, H e I. Sendo o aquífero A o classificado como livre e este é pouco profundo e pode estar ligado ao aquífero B entre os poços 10 e 11, já que a camada de argila que os separa é muito fina e por falta de informação pode até mesmo não existir. Os aquíferos C e D também são separados por uma delgada camada de argila entre os poços 10 e 11 e também podem estar conectados e consequentemente, o D também pode estar conectado aos aquíferos A e B. Apesar dos aquíferos B, C e D poderem estar conectados ao aquífero livre (A) tem grande potencial para abastecimento por terem boa continuidade lateral.

Entre os horizontes de cotas -98 m e -260 m um pacote sedimentar que contém inúmeras delgadas camadas argilosas ao longo da maioria dos poços e apenas uma com espessura de 10 metros presente nos poços 9, 10 e 11, contudo, as camadas não argilosas possuem boa continuidade lateral e algumas são praticamente plano-paralelas. Neste trecho o pacote permo-poroso contém cinco aquíferos: E, F, G, H e I. Dentre eles o que há de se destacar é que o F e o H são os possuem maior presença de argila e os menos indicados para se extrair água.

Figura 16. Seção 3



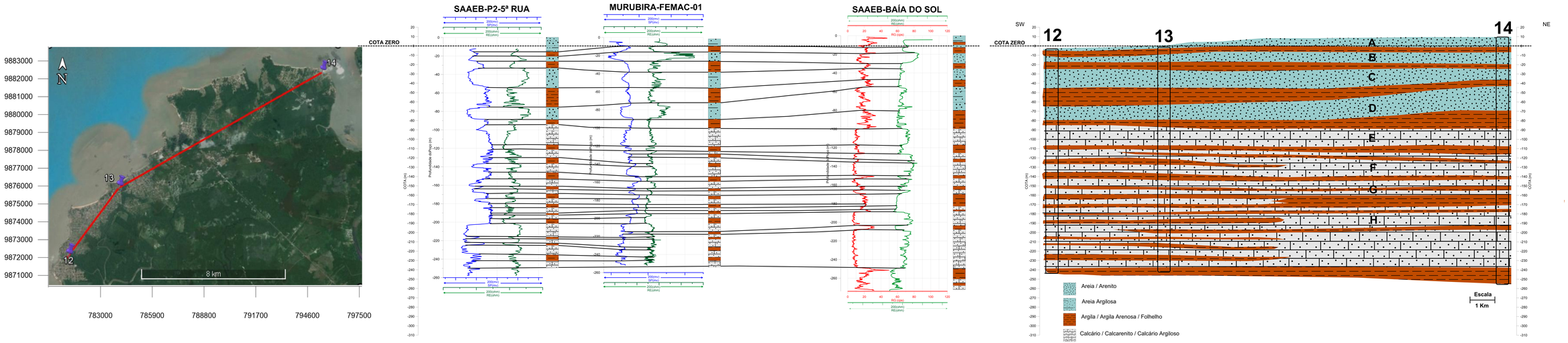
Fonte: Google / Autor

6. 1. 4 Seção 4.

Na seção 4 (figura 17), composta pelos poços 12, 13 e 14, localizada na ilha de Mosqueiro, com direção SW-NE, até o horizonte de cota -80m observa-se quatro aquíferos (A, B, C e D) bem definidos, sendo o A o aquífero livre, possui pouca espessura e não é interessante para exploração. O aquífero B também não é interessante para a exploração porque pode estar conectado ao aquífero A na direção NE. Os aquífero C e D além de possuírem excelente espessura, também possuem continuidade lateral o que os credenciam a serem explorados.

Entre os horizontes de cotas -84m e -238m (em média) outra camada permo-porosa pode ser interpretada como uma potencial fonte de abastecimento pela sua espessura e continuidade lateral, muito embora existam várias delgadas camadas argilosas ao longo da mesma. Quatro aquíferos foram destacados nela: E, F, G e H. O aquífero F é o que possui maior argilosidade e esta característica é marcante nos poços 12 e 13 e não é indicado a retirada de água deste aquífero nesses dois poços. Os aquíferos E e H são os melhores a serem explorados nessa camada.

Figura 17. Seção 4.

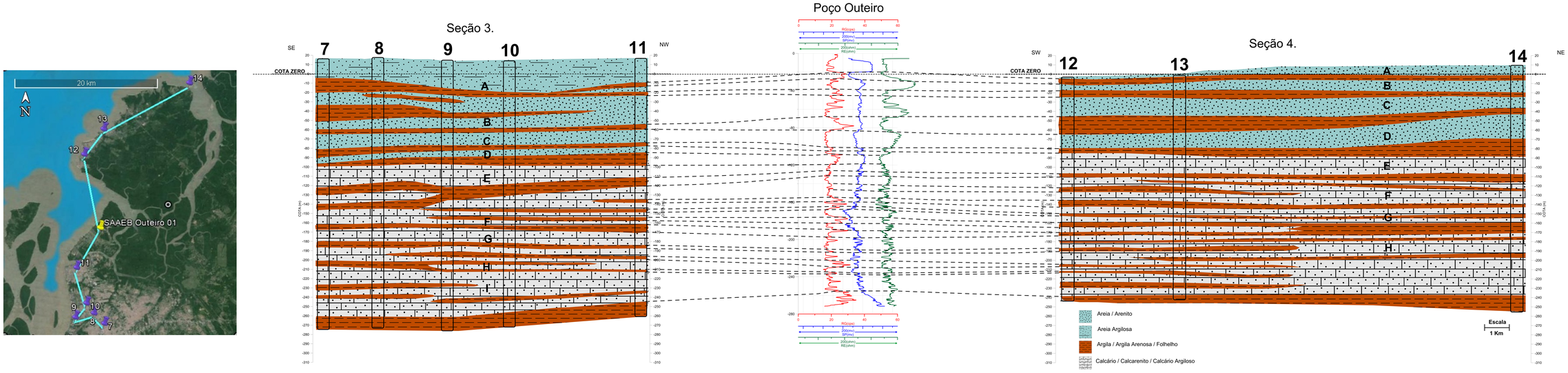


Fonte: Google / Autor

6. 1. 5 Seção 5.

A seção 5 (figura 18) é composta pela união da seção 3 situada dentro de Belém com um poço de Outeiro mais a seção 4 que corresponde a Mosqueiro. O que foi notado é que a correlação entre as seções e o poço se encaixa perfeitamente, em que apenas duas camadas delgadas de argila não puderam ser correlacionadas. Essa seção representa uma análise completa dos estratos sedimentares que se iniciam no Bairro do Guamá em Belém até a praia da Baía do Sol em Mosqueiro. A distância entre o poço inicial das correlações (1) e o final (14) em linha reta é de 47 quilômetros. Como dito anteriormente nas seções, é mais indicado que se retire água das camadas pemo-porosas referentes a formação Pirabas e esta, por sua vez, tem espessura que varia de 140 a 160 metros entre Belém e Mosqueiro. A região de Belém e ilhas de Outeiro e Mosqueiro tem potencial hidrogeológico imenso, levando-se em consideração esses dados de extensão e espessura do pacote sedimentar referente a formação Pirabas encontrada ao longo dos poços.

Figura 18. Seção 5.



Fonte: Google / Autor

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De um modo geral, há três zonas distintas dentro do pacote sedimentar avaliado conforme observado em todas as seções.

A primeira zona e mais rasa, é mais argilosa mas contém intercalações arenosas de pequena (menor que 2m) a média (de 2 a 10m) e também de grandes espessuras (acima de 10m) que aprecem em todas as seções. Pela inferência feita neste trabalho a respeito das formações, assume-se que essa primeira zona corresponde a formação Barreiras. E o fato dela ter sido depositada em ambiente estuarino (Farias; Nascimento; Ferreira, 1992) também explicam porque os aquíferos contidos nessa formação apresentam níveis de argilosidade, embora apresentem boa continuidade lateral nas seções.

A segunda zona é a menos argilosa de todas as seções, apresentando camadas pemo-porosa de grande espessura e de considerável continuidade lateral. Oferecendo, portanto, os melhores aquíferos a serem explorados. Ela possivelmente está contida na formação Pirabas. Os aquíferos nessa zona são mais limpos (menor argilosidade) quanto mais profundos. Isso condiz com a interpretação paleoambiental de Ferreira (1982) e Ferreira e Francisco (1988). Segundo eles a formação Pirabas foi depositada primeiramente em regime de mar aberto com águas agitadas e quentes e de salinidade normal. Depois passou a depositar em lagos de borda de Bacia ou estuário e por fim em ambiente de mangue.

A terceira zona é predominantemente argilosa ocorrendo na base dos poços da região metropolitana de Belém.

Como resultado final pode-se afirmar que há um imenso potencial hidrogeológico explorável, com destaque para as camadas permo-porosas da formação Pirabas.

Este trabalho pode ser ampliado utilizando-se mais registros de outros poços para a elaboração de pacotes em uma seção 3D. Também sondagens elétricas verticais (SEV´s) realizadas na posição desses poços perfilados podem ser interpretadas com modelos associados aos perfis de RG para gerar uma assinatura geofísica guiando interpretações de outras SEV´s, ampliando a investigação subterrânea.

REFERÊNCIAS

ALHEIROS, M.M.; LIMA FILHO, M.F.; MONTEIRO, F.A.J.; OLIVEIRA FILHO, J.S. Sistemas deposicionais da Formação Barreiras no Nordeste Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988, Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1988. v. 2, p. 753-760.

ANDRADE, A. J. N.; SILVA, C. B. **Geofísica de poço**. Belém: Universidade Federal do Pará, 2010. Apostila.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Senso de 2010**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Disponível em:<http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 20 out. 2015.

BRASIL. Serviço Geológico do Brasil. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php>. <rimasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php?rimas=true>. Acesso em: 10 fev. 2015.

FARIAS, E. S.; NASCIMENTO, F.S. do; FERREIRA, M.A.A. 1992. Mapeamento da área Belém-Outeiro. Estágio de campo III. Relatório Final. Belém, UFPA. 247p.

FERREIRA, C.S. Notas estratigráficas sobre o Cenozoico marinho do Estado do Pará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1., 1982, Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1982. p. 84-88.

FERREIRA, C.S.; FRANCISCO, B. H. R. As Relações da Formação Pirabas (Oligoceno – Mioceno) com as Formações Continentais Terciárias no NE do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988, Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1988. v. 2, p. 761 – 764.

FREIMANN, C. B. **Correlação de perfis geofísicos de poços – Sede do Município de Salinópolis-PA**. 2012. 65f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geofísica) – Faculdade de Geofísica, Instituto de Geociências, UFPA, Belém, 2012.

GÓES, A.M.; TRUCKENBRODT, W. Caracterização Faciológica e Interpretação Ambiental dos Sedimentos Barreiras na Região Bragantina, Nordeste do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., 1980, Camboriu. **Anais...** Camburiu: SBG, 1980. v. 2, p. 766-771.

MENDES, R. L. R. **Geofísica Aplicada ao Mapeamento de Aquíferos da Região Metropolitana de Belém**. 2000. 86f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) - Programa de Pós-Graduação em Geofísica, UFPA, Belém, 2000.

NERY, G. G. **Perfilagem geofísica**. Salvador: Hydrolog Serviços de Perfilagem Ltda., 2013. Apostila.

PALHETA, M.S.E. Estudo da compartimentação e Arcabouço Neotectônico da Ilha de Mosqueiro – Pará Empregado na prospecção Hídrica Subterrânea. 2008. 269f. Tese de Doutorado (Pós-Graduação em Geofísica) – Curso de Pós-Graduação em Geofísica, Centro de Geociências, UFPA, 2008.

ROSSETTI, D. F.; TRUCKENBRODT, W.; GOÉS, A. M. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na região Bragantina, Nordeste do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi, Serie Ciências da Terra**, v. 1, n. 1, p. 25-74, jul. 1989.

SOUZA, C.W.M.F. **Correlação de perfis geofísicos de poços da área de Belém**. 1993. 35f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Curso de Graduação em Geologia, Centro de Geociências, UFPA, Belém, 1993.

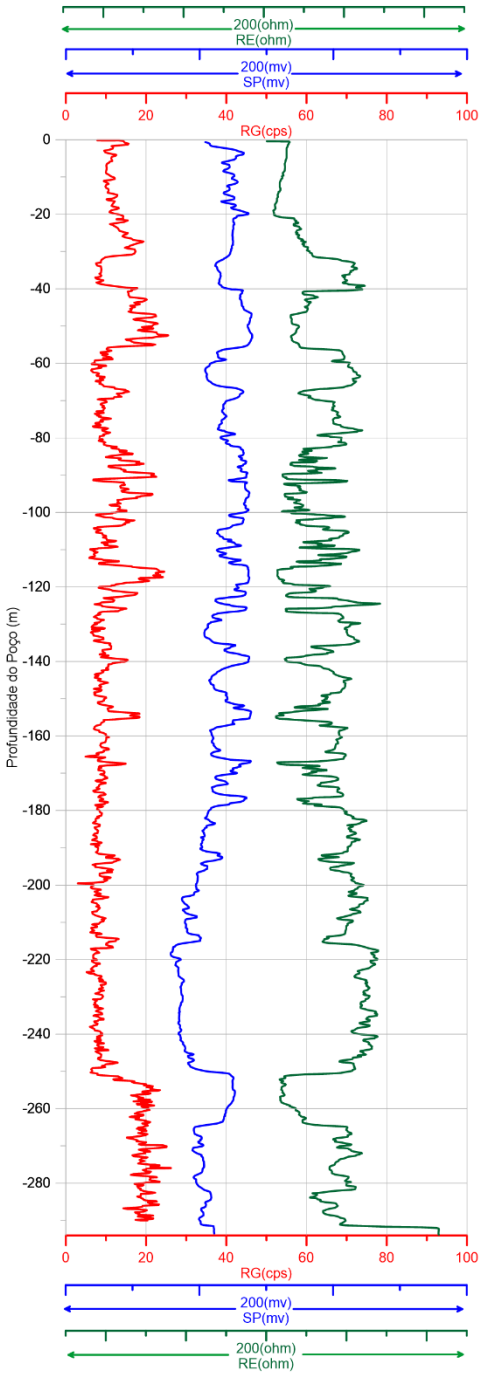
VENTURIERI et al. Avaliação da Dinâmica da Paisagem da Ilha do Mosqueiro, Município de Belém, Pará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. **Anais...** Santos: INPE, 1998. p. 247-256.

ANEXOS

Anexo A – Exemplo de um registro analógico impresso.

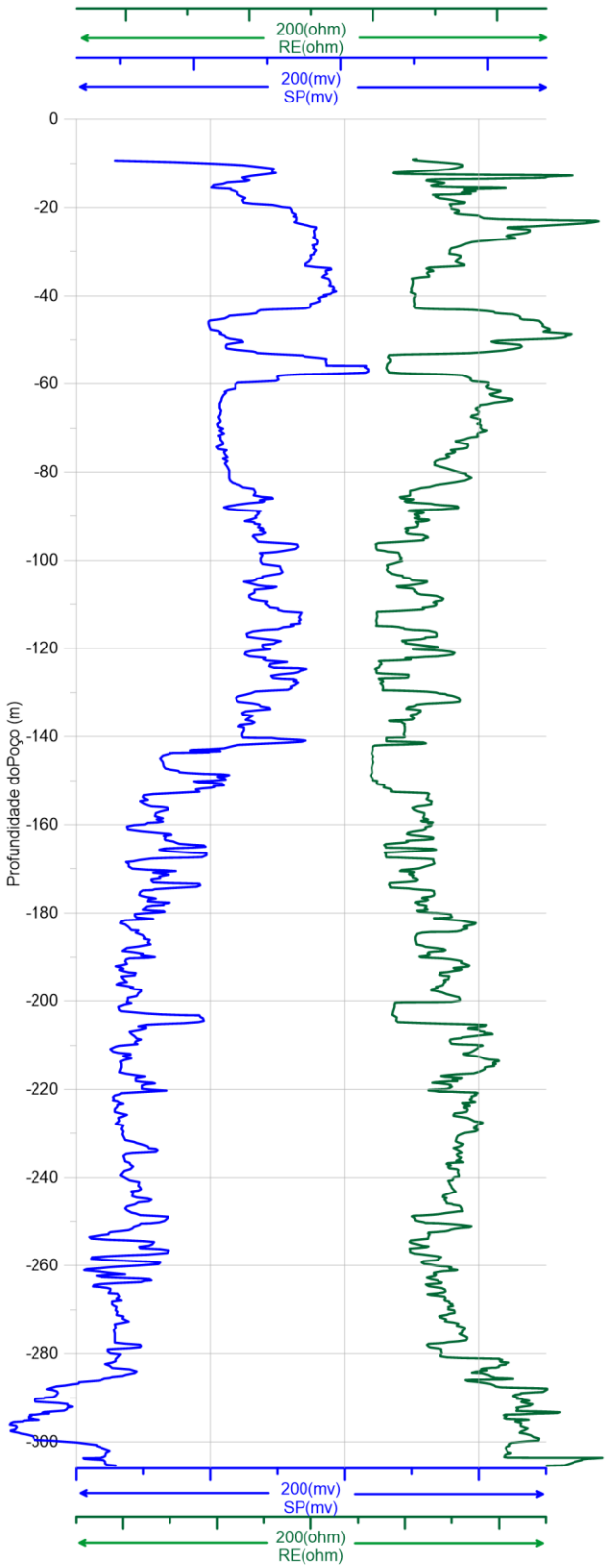
ANEXO B: PERFIS GEOFÍSICOS DIGITALIZADOS.

UFPA-SETOR PROFISSIONAL-3



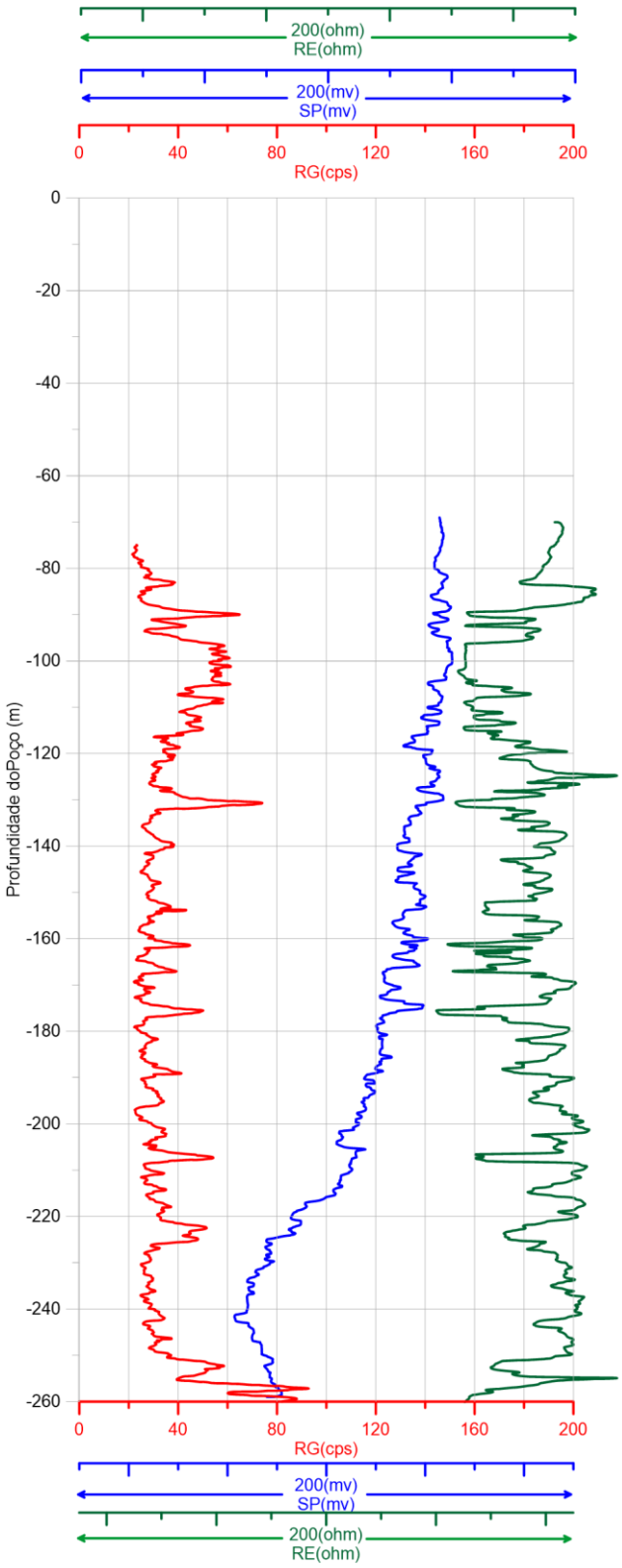
1

FEMAC/COSANPA-TERRA FIRME-02



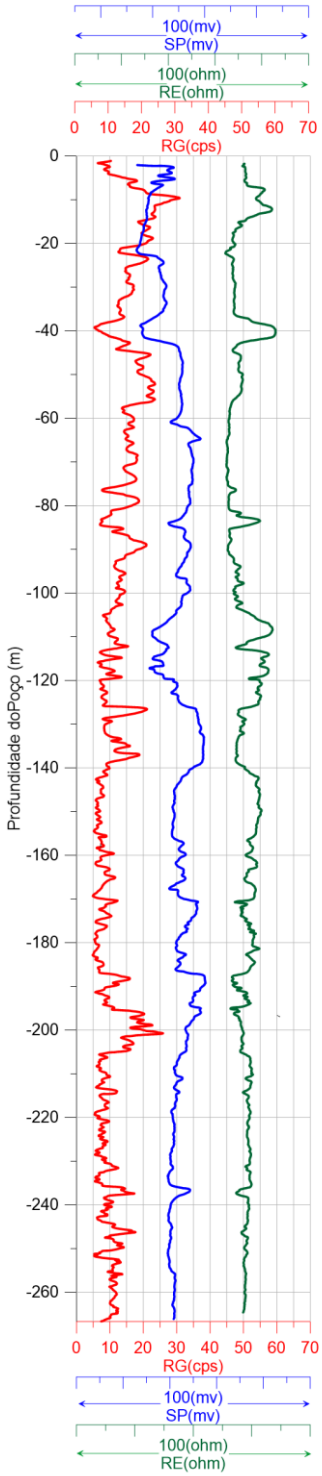
2

TUBULAR Nº 9-TERRA FIRME



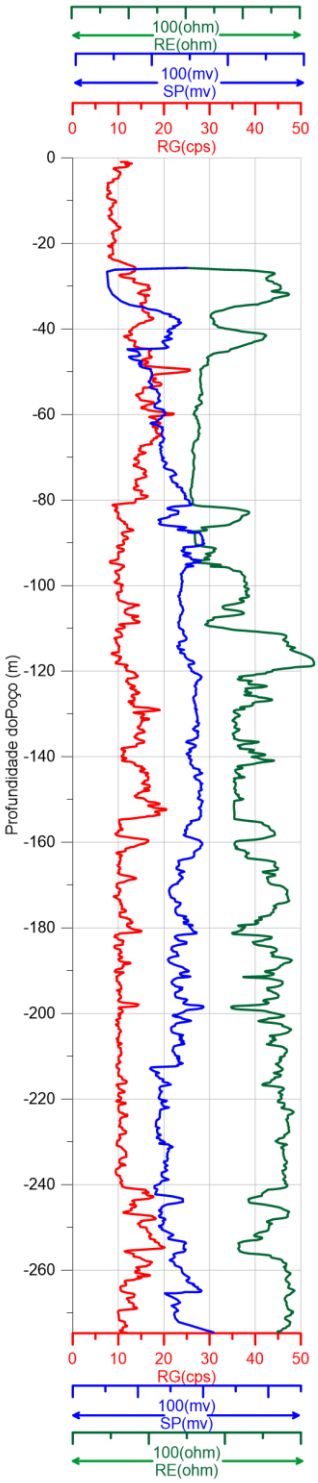
3

FEMAC-FACEPA II

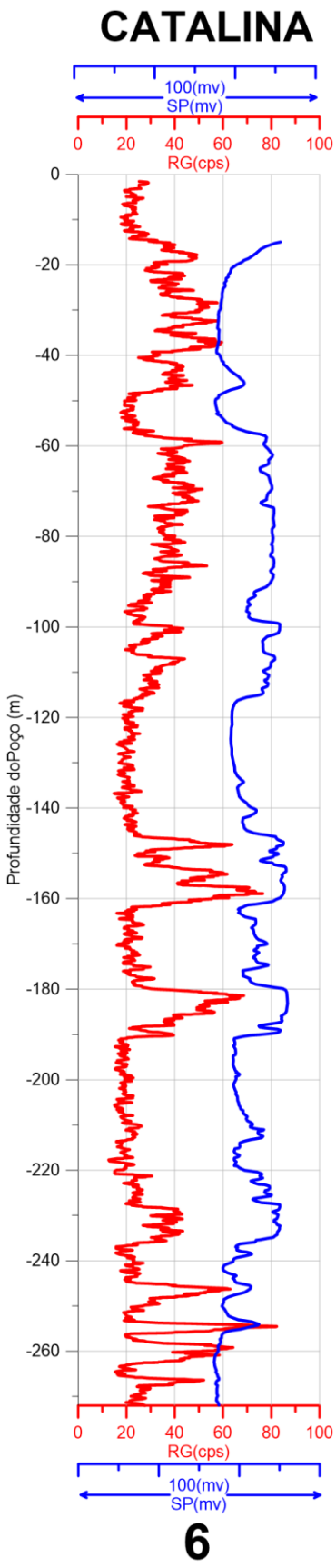


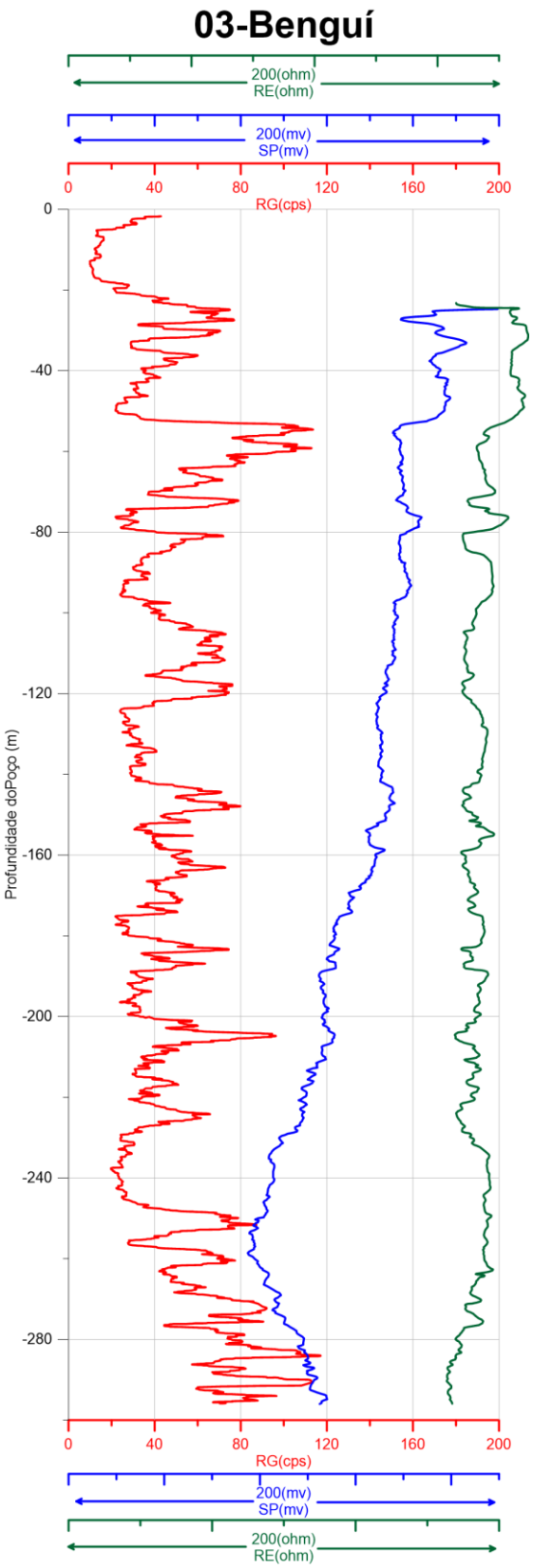
4

COSANPA
LOTEAMENTO-CDP 4

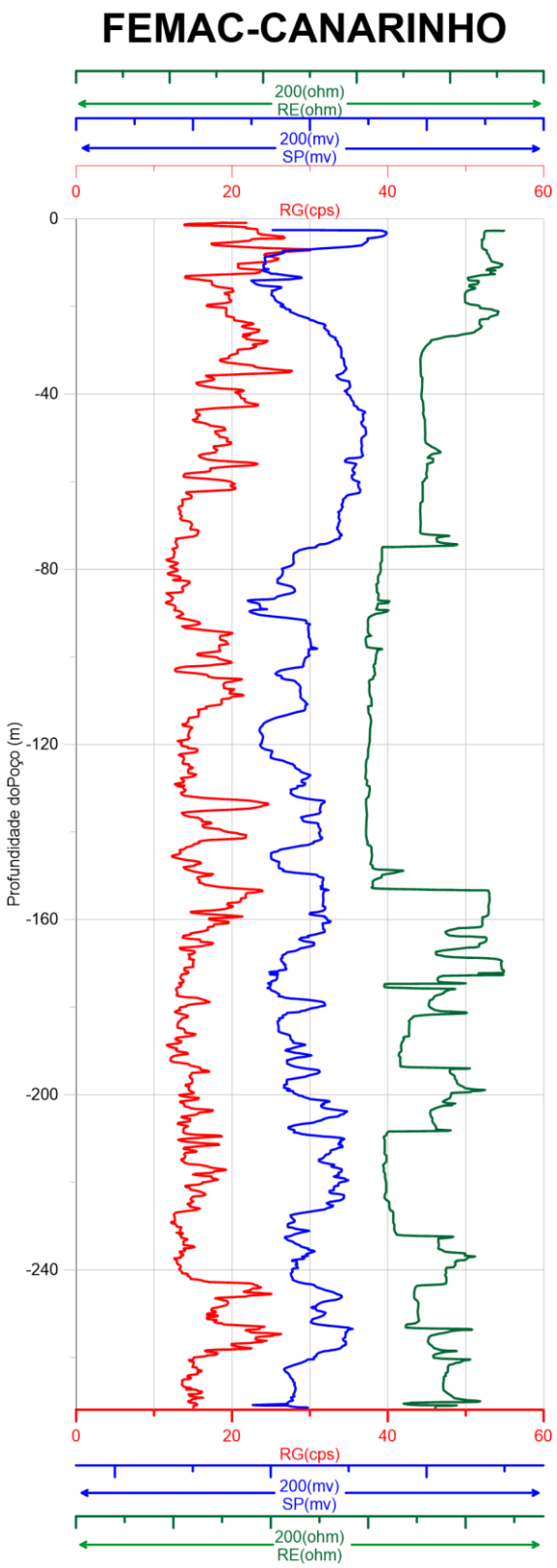


5


CATALINA
100(mv)
SP(mv)
0 20 40 60 80 100
RG(cps)
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
-180
-200
-220
-240
-260
Profundidade doPoço (m)
0 20 40 60 80 100
RG(cps)
100(mv)
SP(mv)
6

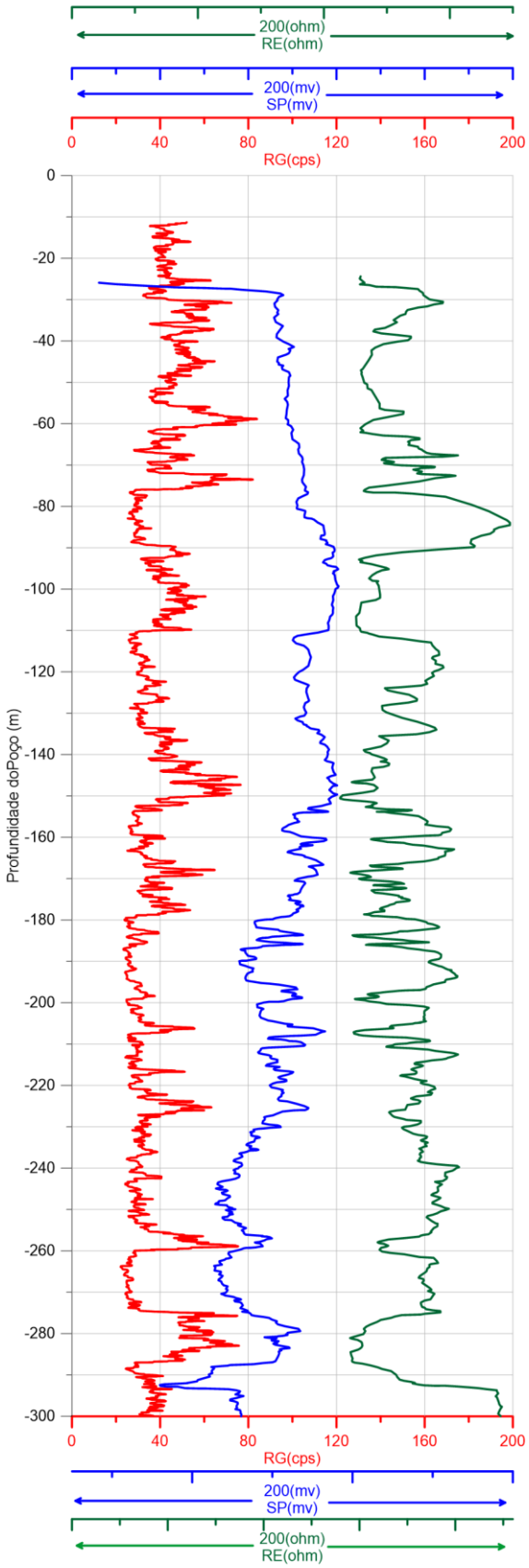

03-Benguí
200(ohm)
RE(ohm)
200(mv)
SP(mv)
0
40
80
120
160
200
RG(cps)
0
-40
-80
-120
-160
-200
-240
-280
Profundidade doPoço (m)
0
40
80
120
160
200
RG(cps)
200(mv)
SP(mv)
200(ohm)
RE(ohm)

7


FEMAC-CANARINHO
200(ohm)
RE(ohm)
200(mv)
SP(mv)
0
20
40
60
RG(cps)
0
-40
-80
-120
-160
-200
-240
Profundidade doPoço (m)
0
20
40
60
RG(cps)
200(mv)
SP(mv)
200(ohm)
RE(ohm)

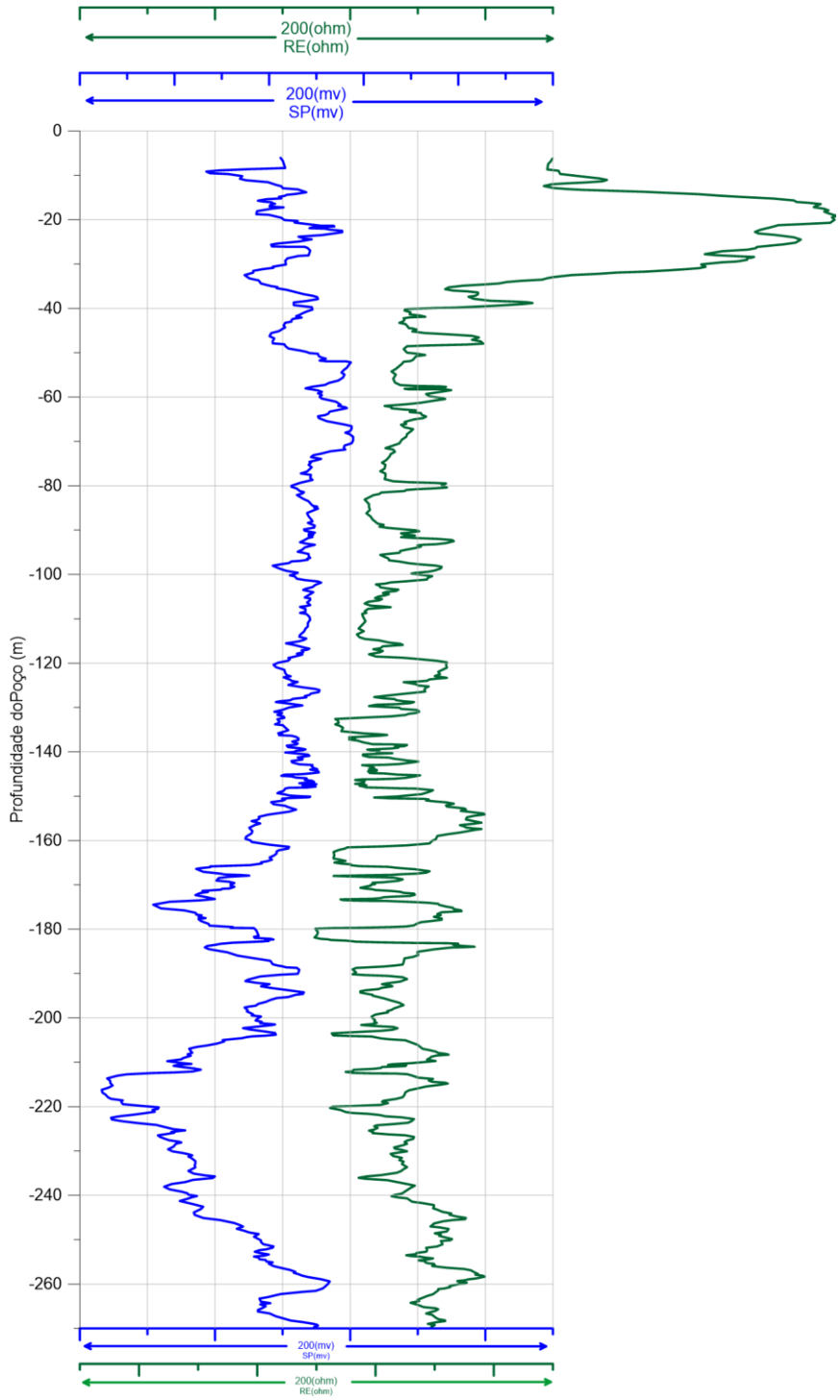
8

CORNER 3698/2



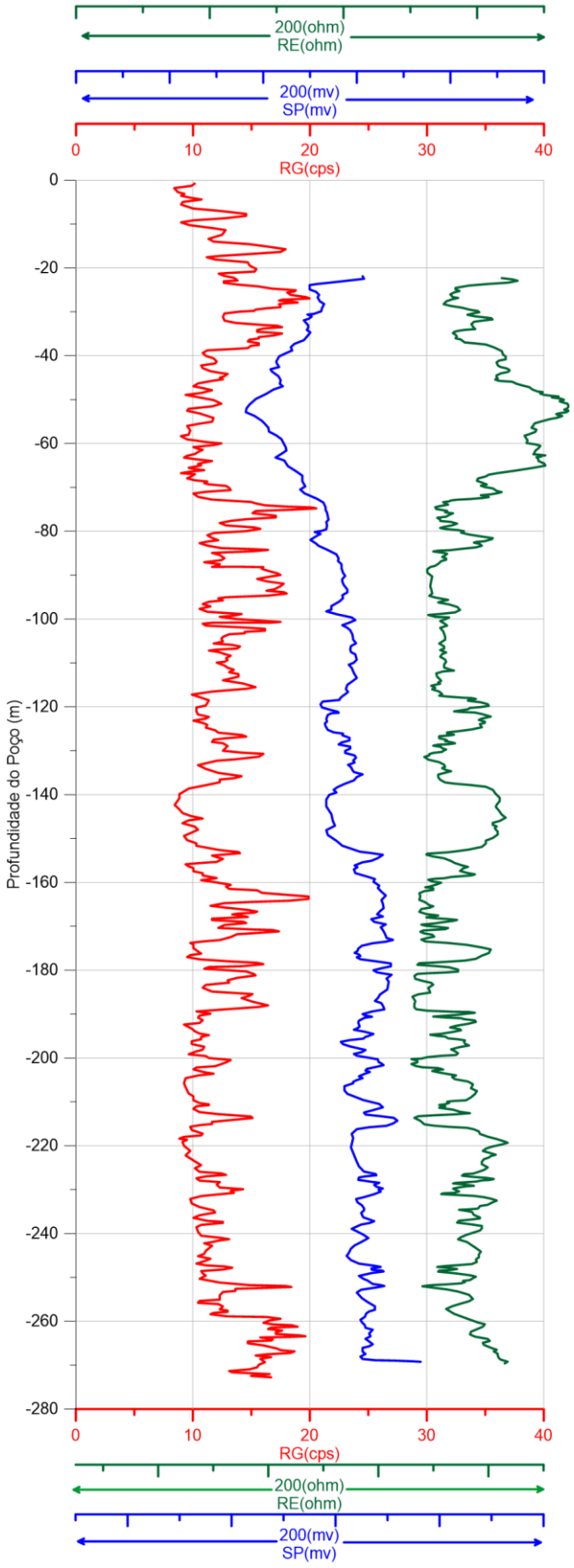
9

COSANPA/CORD. DE FARIAS-P2

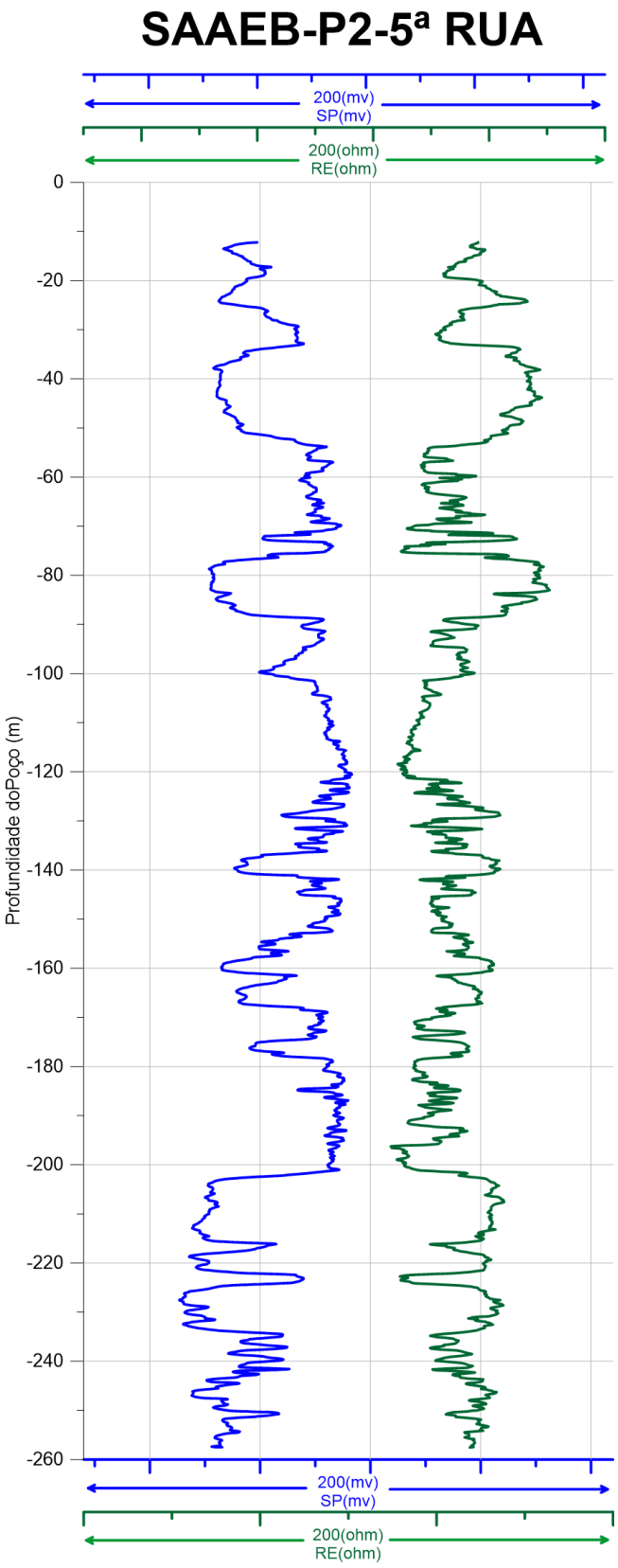


10

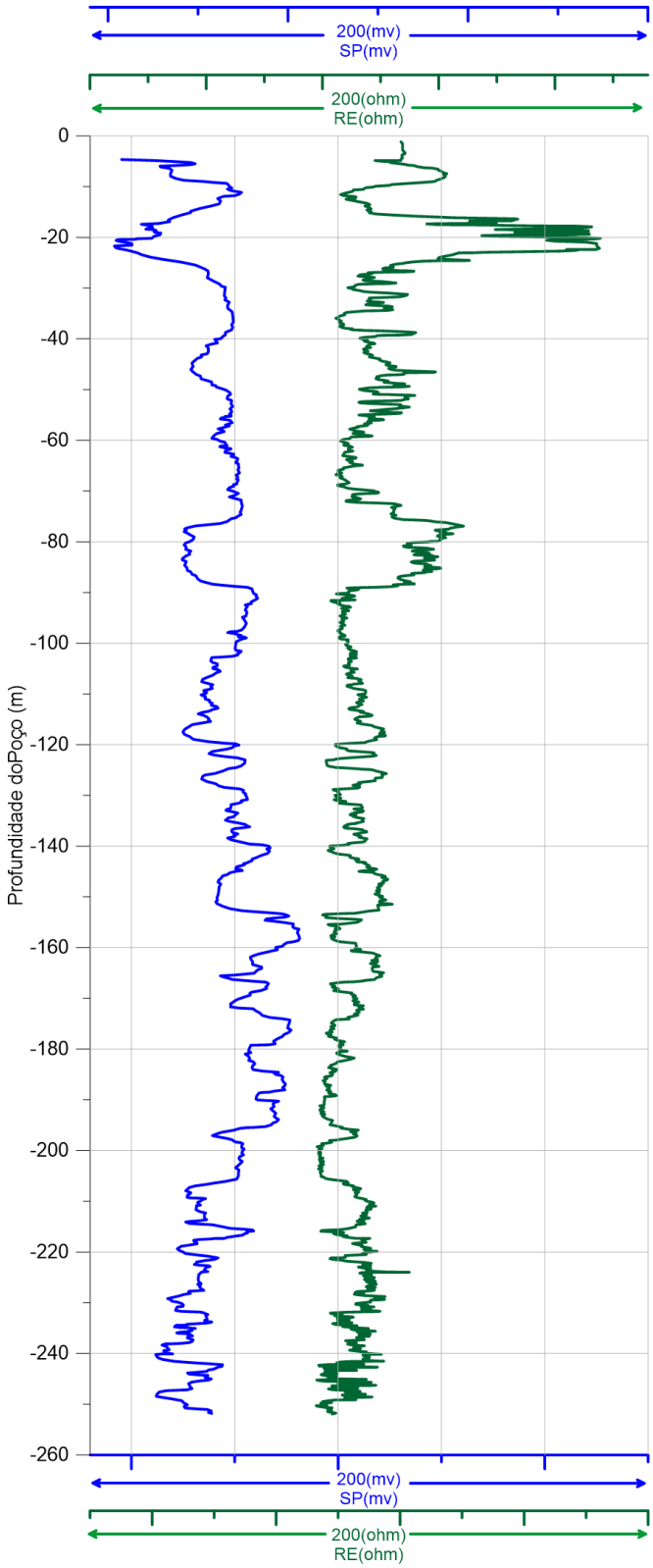
SAAEB-ICOARACI



11

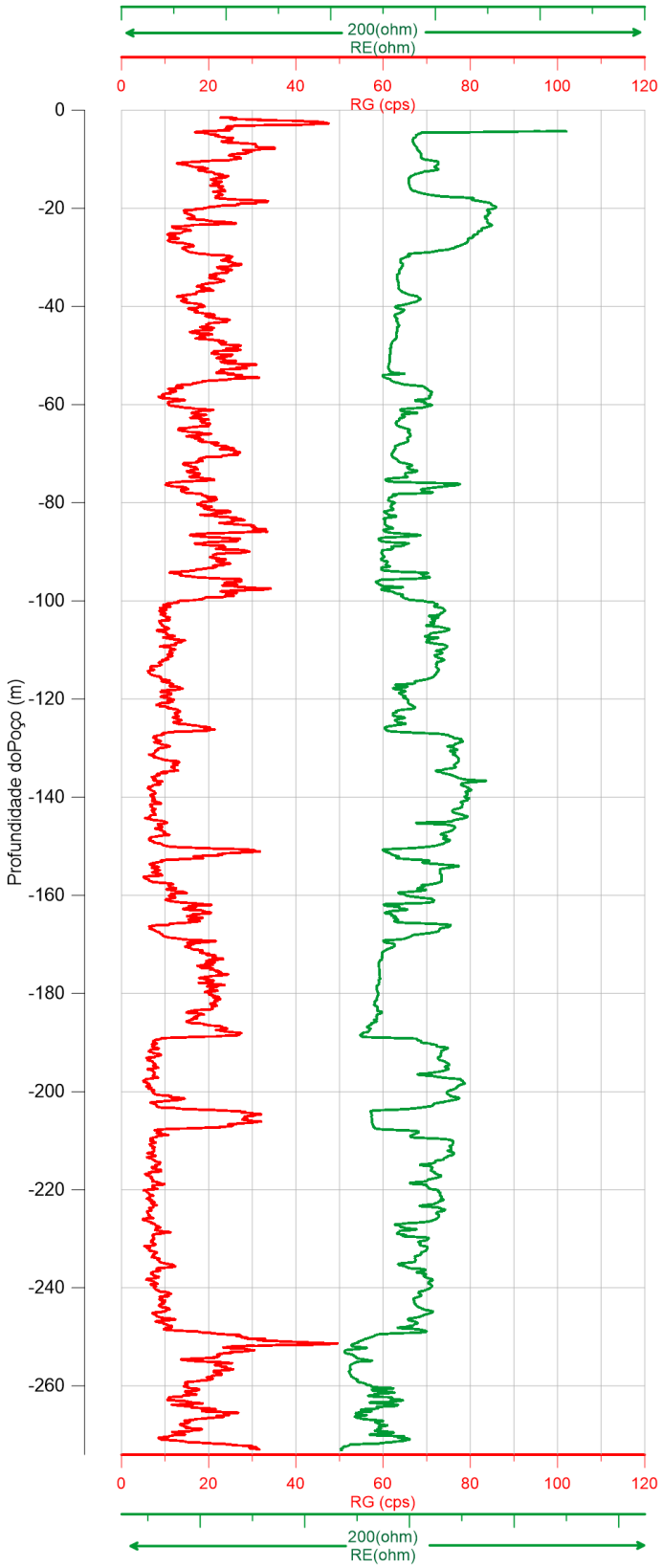

SAAEB-P2-5ª RUA
200(mv)
SP(mv)
200(ohm)
RE(ohm)
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
-180
-200
-220
-240
-260
Profundidade doPoço (m)
200(mv)
SP(mv)
200(ohm)
RE(ohm)
12

MURUBIRA-FEMAC-01



13

SAAEB-BAÍA DO SOL



14