

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**Análise do Comportamento dos Perfis de Raios Gama,
Potencial Espontâneo e Eletroresistividade Para
Determinação das Zonas de Aquíferos em Poços Tubulares**

FABÍOLA TAVARES BENTO

**Manaus
2006**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

FABÍOLA TAVARES BENTO

**Análise do Comportamento dos Perfis de Raios Gama,
Potencial Espontâneo e Eletroresistividade Para
Determinação das Zonas de Aquíferos em Poços Tubulares**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Geociências da Universidade Federal do Amazonas como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geociências, área de concentração, Geologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Rutenio Luiz Castro de Araujo

**Manaus
2006**

FABÍOLA TAVARES BENTO

**Análise do Comportamento dos Perfis de Raios Gama,
Potencial Espontâneo e Eletroresistividade Para
Determinação das Zonas de Aquíferos em Poços Tubulares**

Dissertação apresentada
ao Programa de Pós Graduação
em Geociências da
Universidade Federal do
Amazonas como requisito
parcial para a obtenção do
título de Mestre em
Geociências, área de
concentração, Geologia
Ambiental

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

**Prof. Dr. Rutenio Luiz Castro de Araujo
DEGEO/UFAM**

**Prof. Dra. Solange dos Santos Costa
DEGEO/UFAM**

**Prof. Dr. Francisco Yukio Hiddo
IAG/USP**

À minha amada mãe, dedico

À todos que contribuíram direta e indiretamente para o desenvolvimento deste trabalho, em especial :

Ao Prof. Dr. Rutenio Luiz Castro de Araujo, pelos conhecimentos compartilhados e palavras de incentivo, as quais foram fundamentais para a finalização desta pesquisa;

Aos colegas Marcelo e Aroldo pela ajuda na realização das análises e na descrição dos resultados;

Aos amigos Priscila Noronha, Priscila Carvalho, Mara Regina, Rômulo Dantas e Eduardo Abinader, pelo incentivo e carinho nos inúmeros momentos de dificuldade;

Ao meu noivo Sérgio Golz e à minha amada mãe pois sempre acreditaram na minha capacidade e não me deixaram desistir;

Ao Departamento de Geociências da Universidade Federal do Amazonas, pelo acesso aos laboratórios e demais dependências;

À empresa Construcenter Só Poços LTDA, pelo fornecimento dos dados contidos nesta pesquisa.

AGRADEÇO

“Penso, logo existo”.

Platão

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa da cidade de Manaus, apresentando a localização dos poços perfilados	18
Figura 2 – Aspectos da lei de Ohm	24
Figura 3 – Aspectos da resistividade de materiais	24
Figura 4 – Sistema de resistividade multieletrodo normal	26
Figura 5 - Atividade relativa de raios gama de diversos tipos de materiais geológicos	30
Figura 6 – Geometria da difração de raios X – Lei de Bragg	35
Foto 1 – Equipamento portátil de perfilagem geofísica	27
Foto 2 – Equipamento portátil de perfilagem geofísica. Detalhe do Notebook	27
Foto 3 – Equipamento portátil de perfilagem geofísica. Detalhe da sonda	27
Gráfico 1 - Difractometria de raios X da bentonita, a seco	43
Gráfico 2 - Difractometria de raios X do CMC, a seco	44
Gráfico 3 - Difractometria de raios X do Drillvis, a seco	45
Gráfico 4 - Difractometria de raios X do fluido bentonítico	47
Gráfico 5 - Difractometria de raios X do fluido misto	48
Gráfico 6 - Difractometria de raios X do fluido carboximetilcelulósico	50
Gráfico 7 - Quantitativo das discordâncias observadas nos perfis geofísicos estudados	55
Gráfico 8 - Quantitativo das discordâncias observadas nos perfis geofísicos estudados, considerando o fluido bentonítico	56
Gráfico 9 - Quantitativo das discordâncias observadas nos perfis geofísicos estudados considerando o fluido misto	57
Gráfico 10 - Quantitativo das discordâncias observadas nos perfis geofísicos estudados, considerando o fluido carboximetilcelulósico	58

LISTA DE QUADROS E TABELA

Quadro 1 – Valores de resistividade aparente e potencial espontâneo para diferentes tipos de rochas	30
Quadro 2 – Informações da estação climática à época da perfuração dos poços	42
Quadro 3 - Produtos utilizados na elaboração dos fluidos usados durante o processo de perfuração dos poços estudados	46
Quadro 4 - Resistividade elétrica de alguns materiais sedimentares	60
Quadro 5 – Resistividade elétrica de alguns elementos químicos.	61
Tabela 1 - Quantitativo de intervalos dos perfis analisados	54

SUMÁRIO

RESUMO	XI
ABSTRACT	XII
INTRODUÇÃO	13
Capítulo 1 – Prolegômenos	15
1.1. Importância da Presente Pesquisa	16
1.2. Objetivos da Presente Pesquisa	17
1.3. Mapa de Localização dos Perfis Geofísicos Estudados	18
Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica	19
2.1. Contexto Geológico da Área de Estudo	20
2.2. Trabalhos Anteriores	21
2.3. Métodos Geofísicos	23
2.3.1. Método da Eletroresistividade	23
2.3.2. Método do Potencial Espontâneo	27
2.3.3. Método Radiométrico	29
Capítulo 3 – Materiais e Métodos	32
3.1. Sistematização e Escolha dos Perfis Estudados	33
3.2. Técnicas Laboratoriais Utilizadas	33
3.3. Confecção do Fluido Estéril	36
3.3.1. Generalidades sobre o Método de Difração de Raios X	34
Capítulo 4 – Resultados e Discussão dos Dados Obtidos	38
4.1. Informações Sobre os Perfis Geofísicos Estudados	39
4.2. Composição Mineralógica dos Produtos Individuais Usados nos Fluidos de Perfuração Estudados	42
4.3. Composição Mineralógica das Misturas Usadas nos Fluidos de Perfuração Estudados	46

4.4. Aspectos Gerais dos Elementos Químicos Obtidos pela Análise da Difractometria de Raios X	50
4.5. Correlação dos Perfis Geofísicos Estudados	53
4.6. Considerações Finais	59
Capítulo 5 – Conclusões	63
Referências	65
ANEXO I	69
ANEXO II	70

RESUMO

Métodos geofísicos são comumente usados para mapear e identificar zonas aquíferas, otimizando a elaboração de projetos de poços tubulares, que tem como escopo a exploração de água subterrânea. Dentre os diversos métodos existentes, a resistividade elétrica, a radiometria e o potencial eletroquímico das formações rochosas são classicamente utilizados na determinação das seções filtrantes de poços tubulares semi-artesianos. Esta pesquisa teve por objetivo efetuar estudos comparativos dos traços dos perfis geofísicos de resistividade, potencial espontâneo e raios gama, com o escopo principal de pesquisar a(s) causa(s) que justificasse(m) o fato de que, em praticamente todas as perfilagens geofísicas que utilizam estes três métodos, há fatores desconhecidos operantes que mascaram o traço do perfil geofísico, de maneira tal que a configuração deste traço, representando as características litológicas atravessadas, diferem dos resultados esperados, tendo como base a conceituação teórica. Foram utilizadas amostragens de componentes e fluidos, os quais foram analisados por difratometria de raios X e os resultados obtidos comprovaram a influência do fluido utilizado na perfuração de poços no comportamento dos perfis geofísicos de eletroresistividade e potencial espontâneo.

Palavras Chave: Métodos geofísicos, poços tubulares, fluidos de perfuração, difratometria de raios X.

ABSTRACTS

Geophysical approaches are used for map and identify structures (fractures and for layers aquifers optimizing the water wells projects elaboration. Among the diverse existing approaches, to resistivity electric, the range radiation emission and the potential spontaneous of the rocky formations are utilized in the determination of the filter sections of water wells in areas you will consolidate. This researches had for objective perform comparative studies of the lines of the geophysical profiles of resistivity eletrical, spontaneous potential and rays range with the main purpose of research to cause that justified the fact of that, in practically all the profile geophysical that utilize these three approaches, there are operative unknown factors that chewed the line of the geophysical profile, of way such that the configuration of this draw, results expected, having like base the theoretical conceptualization. They were utilized samples of components and fluid, the which were analyzed by difratometry of rays x and the results obtained verified it influences of the fluid utilized in the drilling of wells as regards the behavior of the geophysical profiles of electricity, spontaneous potential and rays range.

Words Keys: Geophysical approaches, water wells, fluids of drilling, difratometry of rays X.

INTRODUÇÃO

Métodos geofísicos são comumente usados para mapear e identificar zonas aquíferas, otimizando a elaboração de projetos de poços tubulares que têm como escopo a exploração de água subterrânea. Dentre os diversos métodos existentes, a resistividade elétrica, a radiometria e o potencial espontâneo das formações rochosas são classicamente utilizados na determinação das seções filtrantes de poços tubulares semi-artesianos.

A leitura de resisitividade mostra a magnitude da facilidade com que a corrente elétrica atravessa o material, portanto, das leituras deste parâmetro geofísico obtém-se uma curva que devidamente interpretada fornece, dentre outros dados, as espessuras e alternância das camadas argilosas e arenosas e a profundidade do embasamento cristalino. A perfilagem gama representa a energia eletromagnética liberada pelos diferentes minerais radioativos presentes nos constituintes litológicos e solos que compõem as camadas subterrâneas. O potencial espontâneo (SP) avalia as diferentes

interações existentes entre a rocha, sedimentos e o aquífero, fornecendo parâmetros para delimitação de camadas sedimentares saturadas (TELFORD *et al.* 1976).

Os métodos geofísicos supra citados fornecem indicações indiretas sobre as formações analisadas, outrossim, não determinam tipos de rochas, porosidade, permeabilidade e densidade. Estes métodos medem propriedades físicas as quais variam em função das características do local pesquisado. Portanto, mesmo como auxiliares primordiais precisos na determinação de zonas de aquíferos, muitas vezes o traço do perfil geofísico resultante de uma perfilagem não apresenta o comportamento esperado, conforme a teoria. Tal situação origina interpretações errôneas sobre o posicionamento dos filtros de água, causando problemas construtivos em poços tubulares, tais como a indesejável introdução de argila e/ou poços com pouca vazão de produção, não compensando os gastos da execução da construção do poço tubular. Neste contexto, a contribuição desta pesquisa foi identificar as variantes que influenciam nos resultados dos perfis geofísicos, de tal forma que os resultados experimentais apresentaram comportamento divergente dos resultados teóricos. O conhecimento destas variantes é de fundamental importância, em face do fato de possibilitar o aprimoramento das técnicas de interpretação pertinentes.

CAPÍTULO 1
PROLEGÔMENOS

1.1. IMPORTÂNCIA DA PRESENTE PESQUISA

1.2. OBJETIVOS DA PRESENTE PESQUISA

**1.3. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS GEOFÍSICOS
ESTUDADOS**

1.1. Importância da Presente Pesquisa

No início do processo de construção de poços tubulares, os fluidos de perfuração eram constituídos de água com adição de algum tipo de argila e/ou incorporação de partículas resultantes do próprio furo perfurado. Posteriormente, produtos naturais e/ou sintéticos foram acrescentados visando resolver as dificuldades operacionais que iam surgindo. Portanto, os fluidos servem como um meio para atingir-se com eficiência a profundidade final do furo e tais fluidos apresentam características que são captadas pela análise geofísica e que podem influenciar na definição do perfil construtivo de um poço tubular.

A perfilagem geofísica registra as características petrofísicas, tais como litologia, resistividade, porosidade, densidade etc. Algumas destas propriedades são obtidas diretamente da leitura dos perfis e outras dependem de suporte laboratorial com comparações com as amostras de calha. Portanto, no que se refere a procedimentos para proporcionar um meio físico para uma leitura geofísica realista, é primordial manter o fluido de perfuração dentro dos parâmetros estabelecidos para cada projeto específico (NERY *et al.*, 2005). Com a reologia e os processos de filtração do fluido controlados, comumente, na definição de perfis construtivos de poços, a interpretação para determinação de zonas filtrantes dos poços tubulares, baseada na avaliação das interações existentes entre os perfil gama, eletroresistividade e potencial espontâneo correlacionados, apresenta comportamento distinto. Entretanto, verifica-se que, por vezes, na prática, nem sempre essa premissa é verdadeira. E quando tais falhas de interpretação ocorrem, resulta, normalmente, em poços com produção de água comprometida, presença de turbidez, pequena eficiência hidráulica, além de custos elevados para os construtores (CPRM, 2000).

Neste contexto, esta pesquisa enfocou o estudo das interações que ocorrem entre os perfis geofísicos considerados, com a finalidade de aprimorar as técnicas de avaliação existentes. Tais resultados são, portanto, de expressiva importância científica, tecnológica e social.

1.2. Objetivos da Presente Pesquisa

A determinação dos custos de produção de água subterrânea é definida, primordialmente, pela eficiência hidráulica do poço (JOHNSON DIVISION UNIVERSAL OIL PRODUCTS CO, 1978). Portanto, a decisão de revestir com filtros todas as camadas estimadas como produtoras de água, em base nas análises das amostragens de calha, a fim de maximizar a capacidade de exploração do poço, raramente configura-se em uma alternativa economicamente viável. Por isso é essencial que as seções filtrantes sejam corretamente definidas.

Neste contexto o presente trabalho teve como objetivo geral analisar o comportamento dos traços dos perfis geofísicos de raios gama, potencial espontâneo e resistividade, usados para a determinação de zonas aquíferas em poços tubulares, tendo-se como escopo identificar as fontes responsáveis pelo fato de que, às vezes, o comportamento do traço geofísico, em campo, seja diferente do comportamento do traço deste mesmo método geofísico, conforme definido pela teoria. Além deste, teve como objetivo específico efetuar correlações entre os traços dos perfis geofísicos de radiação gama, potencial espontâneo e eletroresistividade, resultantes das perfilagens selecionadas, buscando o mapeamento das semelhanças e disparidades existentes entre eles.

1.3. Mapa de Localização dos Perfis Estudados

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO

2.2. TRABALHOS ANTERIORES

2.3. MÉTODOS GEOFÍSICOS ESTUDADOS

2.3.1. MÉTODO DA ELETRORESISTIVIDADE

2.3.2. MÉTODO DO POTENCIAL ESPONTÂNEO

2.3.3. MÉTODO RADIOMÉTRICO

2.1. Contexto Geológico da Área de Estudo

A cidade de Manaus está inserida na Formação Alter do Chão, datada entre Albiano e Turoniano (DAMEON *et al.*, 1971). É citada inicialmente por KISTLER *apud* LOURENÇO *et al.*, (1978), como sendo uma unidade pertencente a era Mesozóica, onde ocorreu o desenvolvimento de falhas normais NE-SW, NNE-SSW e falhas de transferência NW-SE, das quais surgiram depressões que culminaram na deposição do sedimentos (COSTA & HASUI, 1991). Tectonicamente sua deposição deu-se com a instalação de um sistema neo-fluvial arenoso de alta energia, o qual atuou do Neocretácio até o Neogeno e estendeu-se às bacias subandinas (CUNHA *et al.*, 1994).

Segundo (KISTLER, 1954) a formação Alter do Chão é representada principalmente por arenitos grossos e conglomerados, caulíníticos, de cor esbranquiçada a rosada, algumas vezes silicificados e alterados pelo desenvolvimento de camadas lateríticas terciárias e/ou quartenárias, (ARAUJO *et al.*, 1976); (SCHOBBERHAUS & CAMPOS, 1984) complementaram a caracterização definindo que a mesma é composta por sedimentitos continentais vermelhos, representados essencialmente por arenitos argilosos, argilitos, quartzo grauvacas, quartzo arenitos e brechas intraformacionais.

Segundo (COSTA, 1996), o desenvolvimento das unidades sedimentares do Terciário Inferior na Amazônia está relacionado a manifestações finais do evento extensional Sul –Atlantiano, sendo que sobre as unidades mais antigas, provavelmente no Oligoceno, desenvolveu-se o perfil laterítico bauxítico-fosfático. Estes terrenos foram posteriormente submetidos a um intenso intemperismo, resultando na formação de um latossolo amarelo, correspondente ao nível mais evoluído do processo de lateritização (HORBE & COSTA., 1996), além de latossolo vermelho amarelo e de lateritos imaturos autóctones e alóctones (FERNANDES FILHO *et al.*, 1997).

Na cidade de Manaus constatou-se a presença de depósitos de canais, planícies de inundação efêmera e abandonada, típicas de um ambiente fluvial entrelaçado. A associação de ambiente de canal fluvial entrelaçado é composta de arenitos grossos caulínicos, com estratificação cruzada acanalada e subordinadamente estratificações plano – paralela e cruzada tabular, além de lineações de partição e conglomerados maciços, localmente apresentando fragmentos de madeira e detritos vegetais acompanhando a estratificação (VIEIRA & NOGUEIRA, 1998).

2.2. Trabalhos Anteriores

As pesquisas envolvendo eletroresistividade passaram a ter expressividade a partir de 1720, com estudos de Gray e Wheller sobre a condutividade elétrica de rochas (JAKOSKY, 1940). WATSON (1746) *apud* JAKOSKY (1940), descobriu que o solo era um condutor, pois notou que a corrente elétrica que passava entre dois eletrodos separados, aproximadamente de três metros entre si, atuava diferentemente de quando estavam conectados em um fio elétrico. Foram os problemas na prospecção de sulfetos que iniciaram os estudos de fenômenos elétricos relacionados a depósitos minerais. Robert Fox em 1815 e posteriormente Carl Baurus em 1882 ressaltaram que o fenômeno de polarização induzida em rochas e minerais permitia delinear os corpos de sulfetos. O primeiro uso comercial da técnica de potencial espontâneo foi baseado no método de prospecção desenvolvido por Schlumberger, que detectou, em 1913, o primeiro depósito de sulfetos não magnéticos sendo a primeira publicação contendo os resultados destes estudos noticiada em 1920 (JAKOSKY, 1940). Outro fator significativo no desenvolvimento dos métodos elétricos foi de que os corpos em subsuperfície, com condutividade elétrica relativamente alta, apresentavam valores diferentes de condutividade quando em superfície, e neste caso os trabalhos de Wenner, em 1916,

simplificaram os cálculos da resistividade obtida pela passagem de corrente entre dois eletrodos e as medidas de potencial obtidas em outros dois eletrodos auxiliares (JAKOSKY, 1940). Perfis elétricos visando a determinação de características e espessura de estratos sedimentares obtidos pela perfuração de poços foram desenvolvidos comercialmente por Schlumberger a partir de 1928 (JAKOSKY, 1940).

Pesquisas voltadas para a radioatividade despontaram a partir do final do século 18, entretanto, sua capacidade de penetração foi denominada de raios gama. Após a segunda guerra mundial surgiram as primeiras ferramentas de perfilagem geofísica envolvendo o uso da radiação. Um dos primeiros aparelhos utilizados foi o contador Geiger, que teve seu princípio imaginado por volta de [1913](#) por [Hans Geiger](#) e aperfeiçoado por Geiger e [Walther Müller](#) em [1928](#) (INSTITUTO BRASILEIRO DE PESQUISAS NUCLEARES, 2006).

Atualmente, o cintilômetro é mais usado como detector da radiação gama, pois este aparelho apresenta eficiência superior aos contadores Geiger e pode ser calibrado de modo a registrar valores absolutos da energia captada, ou seja, mostra um caráter quantitativo. Além disso, tais aparelhos podem discriminar diversos pulsos radioativos, através de diferentes níveis energéticos (HEILAND, 1940).

Na construção de poços artesianos os métodos geofísicos elétricos e radiométrico são essenciais na identificação das camadas litológicas armazenadoras de água (BRAGA, 1997), pois a perfilagem geofísica pode definir os lugares adequados ao posicionamento de filtros, proporcionando, dessa forma, um prolongamento da vida útil do poço, diminuindo a relação custo /benefício (CPRM, 2000).

2.3. Métodos Geofísicos

Dentre os principais métodos geofísicos de prospecção, destacam-se os métodos geoeletricos.

Os métodos geoeletricos não determinam diretamente tipos de rochas, porosidade, permeabilidade e densidade de qualquer formação, entretanto, são capazes de fornecer parâmetros sobre as propriedades elétricas da formação estudada. Tendo em vista que os vários tipos de materiais litológicos apresentam uma faixa de valores característicos de resistividade, os mesmos podem ser identificados, por exemplo, areias, cascalhos e arenitos podem ser diferenciados de materiais de baixa resistividade tais como argilas e folhelhos, ou seja, uma seção geológica pode ser considerada como um meio, cujos materiais existentes apresentam diferentes propriedades elétricas.

Pertencentes ao grupo dos métodos geoeletricos podemos destacar os métodos da eletroresistividade e do potencial espontâneo, abordados nesta pesquisa, por serem amplamente utilizados na pesquisa de águas subterrâneas, juntamente com o método gamacintilométrico.

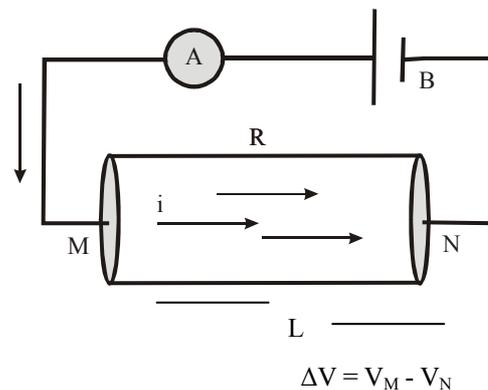
2.3.1. Método da Eletroresistividade

O método da eletroresistividade, aplicado no estudo de poços tubulares, verifica as variações de resistência elétrica dos materiais em subsuperfície, identificando, dessa forma, qual camada é mais resistiva ou menos resistiva que outra camada. A resistência elétrica medida é registrada como perfil de resistência elétrica.

O método é baseado na lei de Ohm, a qual expressa a proporcionalidade direta entre a corrente elétrica (i) num condutor metálico e a diferença de potencial (ΔV) entre seus terminais (Figura 2). Neste contexto, a lei de Ohm (Equação 1) estabelece uma

relação empírica entre a corrente (i) fluindo através de um condutor e o potencial de voltagem (ΔV) requerido, para produzir esta corrente (i).

$$R = \Delta V / i \text{ ohm} \quad (\text{Equação 1})$$



B-bateria
 A-amperímetro
 L-comprimento do condutor (m)
 i – corrente elétrica (amp)
 R – resistência (ohm)
 V_M – potencial no ponto M
 V_N – potencial no ponto N
 ΔV – diferença de potencial

Figura 2 – Aspectos da Lei de Ohm (Modificado de BRAGA, 1997).

O parâmetro resistividade elétrica (ρ) depende da natureza e estado físico do material ([INSTITUTO ASTRONÔMICO E GEOFÍSICO](#), 2006). A resistividade elétrica (ρ) descreve a habilidade dos materiais em transmitir corrente elétrica excluindo os fatores geométricos, ou seja, é um parâmetro (Equação 2) que caracteriza o material independente de suas dimensões (Figura 3).

$$\rho = R \times S / L \text{ ohm.m} \quad (\text{Equação 2})$$

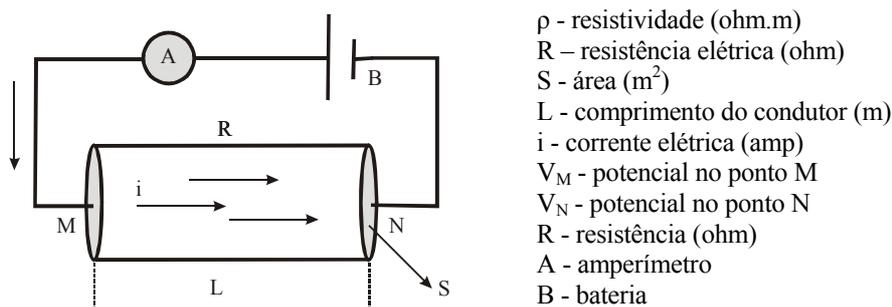


Figura 3– Aspectos da resistividade de materiais (Modificado de BRAGA, 1997).

A resistividade de determinado material geológico depende do grau de porosidade, tamanho dos grãos, quantidade de fluido que preenche os poros, intercomunicação entre os poros etc. Portanto, um mesmo tipo litológico pode apresentar variação de valores da resistividade (BRAGA, 1997).

Como na prática não podemos considerar o subsolo como um meio homogêneo, os valores medidos numa campanha geométrica são os da resistividade aparente (ρ_a). A resistividade aparente (ρ_a) é calculada pela diferença de potencial (ΔV) criada entre os eletrodos M e N, através de dois eletrodos externos A e B, quando introduzimos uma corrente elétrica (i) contínua de intensidade conhecida (Equação 3).

$$\rho_a = K \cdot \Delta V / i \text{ ohm.m} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde K é constante adimensional dependente do arranjo geométrico AMNB (Equação 4).

$$K = 2\pi (\overline{AM} - \overline{BM} - \overline{AN} + \overline{BN})^{-1} \quad (\text{Equação 4})$$

A perfilagem geométrica em poços tubulares é realizada através da inserção de três eletrodos no interior do poço (Figura 4), limitando um volume de material ao redor do

eletrodo em uma dada profundidade. Este volume pode ser considerado como esférico e inclui uma pequena seção da coluna de fluido no orifício da perfuração mais o volume dos materiais que circundam a cavidade. As resistividades do fluido diferem das dos materiais da formação.

O instrumental para a obtenção do perfil geoeletrico pode variar do equipamento manual portátil (Fotos 1, 2 e 3), usado para a obtenção dos perfis geoeletricos desta pesquisa, para instrumentos mais complexos, montados em caminhões e acionados mecanicamente.

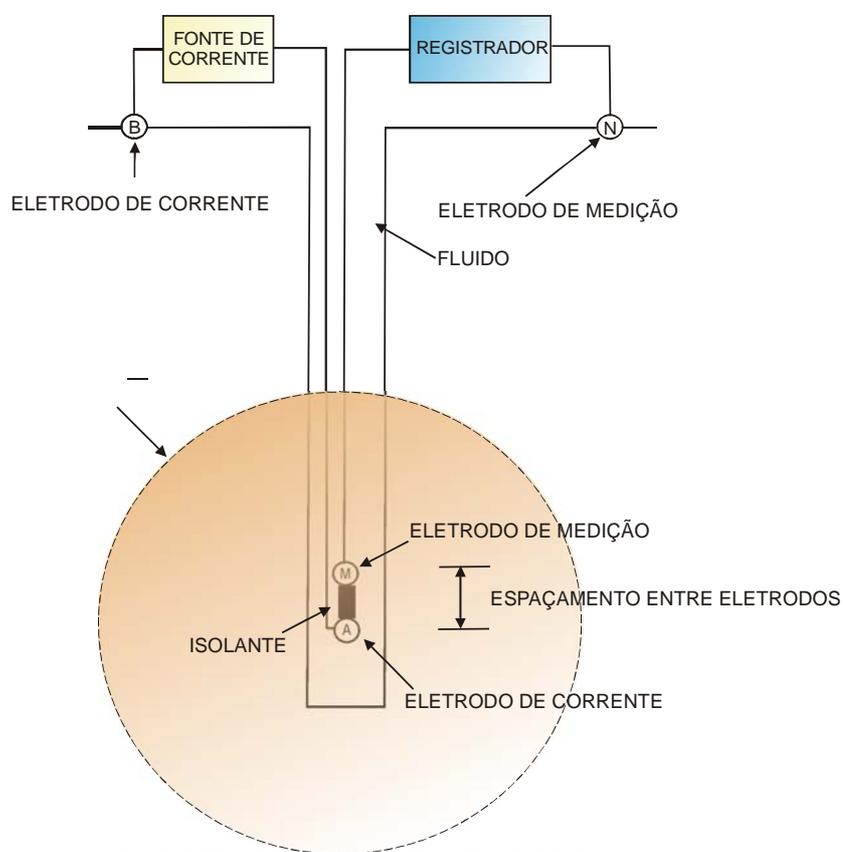


Figura 4 - Sistema de resistividade multieletrodo normal. (Fonte: CPRM, 2000).



Foto 1 – Equipamento portátil de perfilagem geofísica. Detalhe do guincho.



Foto 2 – Equipamento portátil de perfilagem geofísica. Detalhe do Notebook que apresenta a leitura gerada na sonda perfiladora.



Foto 3 – Equipamento portátil de perfilagem geofísica. Detalhe da sonda entrando no furo-guia.

A interpretação dos resultados pode ser afetada pela qualidade química da água que percola no furo de perfuração perfilado (JOHNSON DIVISION UNIVERSAL OIL PRODUCTS CO, 1978).

2.3.2. Método do Potencial Espontâneo (SP)

O método do potencial espontâneo baseia-se no princípio de que em determinadas condições, heterogeneidades condutoras do solo se polarizam, originando correntes elétricas. Estas correntes produzem uma distribuição de potenciais observáveis na superfície do terreno, indicando a presença do corpo polarizado.

O potencial espontâneo (SP) é causado por atividades eletroquímicas e mecânicas, sendo a água subterrânea um agente significativo na geração de SP. Os potenciais podem estar associados à presença de corpos metálicos, contatos entre rochas

de diferentes propriedades elétricas, atividade bioelétrica de materiais orgânicos, gradientes térmicos e de pressão nos fluidos de subsuperfície (GALLAS, 2000).

Na construção de poços tubulares, com o uso do método de perfuração rotativo pneumático, normalmente utiliza-se fluido de perfuração. O fluido constitui-se de água, argilominerais e aditivos que são incorporados com objetivo de manter a pressão hidrostática suficientemente capaz de reter fluidos intersticiais nos poros das rochas, sustentar as paredes do furo de modo a evitar desmoronamentos, favorecer a lubrificação das ferramentas de perfuração e transportar as amostras de calha do fundo do poço até a superfície.

Essa coluna de fluido exerce uma pressão hidrostática sobre as camadas permoporosas e provoca, através de um processo de filtração forçada, uma dissociação entre os seus elementos líquidos e sólidos. Portanto, o potencial é derivado do processo de eletrofiltração causado pelo movimento do fluido nos poros da formação e da interação iônica existente entre duas soluções com concentrações diferentes de sais dissolvidos.

As células cristalinas unitárias dos argilominerais apresentam, estruturalmente, uma carga periférica negativa devido à quebra mecânica ou à substituição isomórfica, que ocorre, naturalmente, durante a sua cristalização. Parte dos cátions estruturais permanece ionizada e solubilizada interagindo livremente na água porosa, enquanto que outra parte é retida eletrostaticamente à superfície dos argilominerais, capeando-os, adsortivamente. Deste modo, os argilominerais são corpos carregados positivamente em sua camada de contato com o meio aquoso. Ou seja, cada membrana apresentará um potencial diferente pois dependerá do tipo e percentual de argilominerais e de suas respectivas capacidades de troca catiônica.

O potencial máximo que pode ser desenvolvido no circuito fluido – formação permoporosa é denominado de potencial espontâneo estático (SSP). Pode-se considerar o

SSP como sendo o potencial existente, se fosse possível isolar todas as demais cargas logo acima e logo abaixo das camadas envolvidas. Entretanto, como ocorre um fluxo originado do fluido em direção à camada permoporosa e desta para o fluido, ocorrerá uma queda ôhmica em cada um dos elementos do circuito. O registro dessa queda ôhmica causada pela corrente que flui, somente na coluna de fluido com respeito a um eletrodo de referência localizado na superfície e mantido sob potencial constante, é denominado de potencial espontâneo (SP).

Conclusivamente, a curva do SP registrada nos perfis geoeletricos é somente uma fração do SSP, porquanto ela mede apenas o potencial existente entre um eletrodo que se desloca no fluido e um outro que se encontra aterrado na superfície.

Outro fator a ser considerado é que existem casos em que tanto uma formação permeável como impermeável podem estar na mesma linha de base, desde que possuam água com salidade igual a do filtrado do fluido. Além desse fator, deve-se considerar os efeitos da topografia, condições estruturais e geológicas, correntes espúrias, ocorrência de sulfetos e gradiente regional (JAKOSKY, 1940). Caso não sejam observadas, tais variáveis podem promover erros de interpretação, descartando-se possíveis áreas de aquífero. Portanto, as conclusões da interpretação devem ser realizadas em comparação com o maior número possível de perfis.

Para fins de interpretação do comportamento da curva do perfil de potencial espontâneo em relação a algumas interfaces rocha – solução iônica / rocha - rocha, considerou-se a interpretação descrita no quadro 1, outrossim sabendo-se que a mesma é genérica, visto a complexidade das condições geológicas encontradas na prática (JAKOSKY, 1940).

<i>Rochas</i>	<i>Resistividade</i>	<i>Potencial Espontâneo</i>
<i>Folhelho e argila</i>	<i>Baixa</i>	<i>Baixo</i>
<i>Areias e água salgada</i>	<i>Baixa</i>	<i>Muito negativo</i>
<i>Areias e água doce</i>	<i>Alta</i>	<i>Médio tendendo a baixo</i>
<i>Areias e óleo</i>	<i>Alta</i>	<i>Muito negativo</i>
<i>Carbonatos não porosos</i>	<i>Alta</i>	<i>Baixo</i>
<i>Carbonatos porosos, óleo</i>	<i>Muito alta</i>	<i>Muito negativo</i>
<i>Carbonatos porosos</i>	<i>Baixa</i>	<i>Extremamente negativo</i>
<i>Anidritos</i>	<i>Muito alta</i>	<i>Baixo</i>
<i>Rochas salinas</i>	<i>Muito Alta</i>	<i>Medianamente baixo.</i>

Quadro 1 – Comparativo entre a resistividade elétrica e o potencial espontâneo para diferentes tipos de rochas (Fonte: JAKOSKI, 1940).

2.3.3. Método Radiométrico

O método radiométrico é baseado na medida da radiação natural liberada pelos elementos radioativos, principalmente, urânio, tório e potássio. O perfil é um diagrama que mostra a emissão relativa de raios gama, medida por segundo. A variação da radiação captada está associada às diferenças entre os tipos de materiais que formam sucessivos estratos (Figura 5).

<i>Formação</i>	<i>Atividade dos raios γ</i>
<i>Calcário</i>	
<i>Arenito</i>	
<i>Areia ou cascalho</i>	
<i>Siltito</i>	
<i>Argila xistosa</i>	
<i>Folhelho</i>	

Figura 5 – Atividade relativa de raios gama de diversos tipos de materiais geológicos. (Fonte: Modificado de JOHNSON DIVISION UNIVERSAL OIL PRODUCTS CO, 1978).

Na maioria dos casos, as argilas e folhelhos contêm maior quantidade de elementos radioativos que os calcários, arenitos e areias. Na região amazônica, o perfil radiométrico referente às formações não consolidadas, indica que há maior possibilidade de existência de camadas argilosas nas profundidades em que a intensidade dos raios

gama é elevada e indica estratos arenosos onde a intensidade é baixa, desde de que os tipos litológicos não apresentem impregnações radioativas.

O potássio natural apresenta 0,012% do isótopo radioativo K^{40} (TELFORD *et al.*, 1976) sendo abundante em feldspatos e micas, que por sua vez, decompõem-se em argilominerais, os quais concentram outros minerais através de processos, tais como troca catiônica e adsorção. As mudanças na qualidade da água têm pouco efeito no perfil de raios gama. As exceções ocorrem em locais onde as camadas arenosas contêm partículas de rocha com conteúdo de material radioativo. Onde isso prevalece, o perfil pode apresentar a emissão de raios gama similar à argila, portanto é essencial a comparação dos dados obtidos pelos raios gama com os perfis geoeletricos.

Atualmente, para a captação da radiação gama, utiliza-se, preferencialmente, aparelhos denominados cintilômetros. Estes, são detectores cujo princípio baseia-se na luminescência provocada pela ação das radiações sobre elementos sólidos e líquidos. São constituídos de um cristal de iodeto de sódio, ativado com tálio, que emite luz para um cátodo foto-sensível quando é exposto aos raios gama. O cristal acoplado a um tubo multiplicador que apresenta vários dinodos, amplifica milhões de vezes a corrente produzida pela luminescência. Tal procedimento caracteriza o cintilômetro como um equipamento para medições quantitativas. Outra feição importante é dada pelo fato de que a intensidade de cada emissão luminosa é proporcional à energia do fóton que a produziu, ou seja, permite a discriminação dos diversos pulsos radioativos, através de seus diferentes níveis energéticos.

O raio de investigação da radiação gama é definido como sendo o volume de material em volta do sensor, do qual se obtém 90% do sinal detectado. O raio de investigação depende da energia do fóton, da litologia, do tipo de detector, do fluido, do diâmetro do poço e da massa específica das camadas (HEILAND, 1940).

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. SISTEMATIZAÇÃO E ESCOLHA DOS PERFIS ESTUDADOS

3.2. TÉCNICAS LABORATORIAIS UTILIZADAS

3.2.1. GENERALIDADES SOBRE A TÉCNICA DIFRAÇÃO DE RAIOS

X

3.3. CONFECCÃO DO FLUIDO ESTÉRIL

3.1. Sistematização e Escolha dos Perfis Estudados

Foram escolhidos para esta pesquisa dezessete poços tubulares. A escolha destes poços ocorreu em função da disponibilidade de dados sobre o controle reológico e da existência de perfis geofísicos apresentando os traços resultantes dos parâmetros de eletroresistividade, potencial espontâneo e radiação gama e, ainda, a descrição litológica, obtida via amostragem de calha, detalhada.

O controle reológico, o qual verifica a intensidade da viscosidade do fluido, foi critério obrigatório para a seleção dos perfis, pois definiu a proporção de cada material utilizado na confecção do fluido usado na construção do furo (poço) estudado. Quanto à descrição litológica, a mesma também foi critério de seleção de perfis, porque permitiu comparar os resultados obtidos pelos perfis geofísicos com os dados obtidos em campo, durante a fase da perfuração do poço.

Todos os perfis estão dispostos na cidade de Manaus – Amazonas e a localização dos mesmos foi determinada aleatoriamente, conforme a disponibilidade dos dados existentes.

3.2. Técnicas Laboratoriais Utilizadas

Foram obtidas amostras dos componentes utilizados na confecção de três composições básicas de fluidos de perfuração: bentonita em pó, caboximetilcelulose em pó, soda cáustica em pó e Drilvis em pó.

Primeiramente, foram confeccionadas lâminas destes materiais e após isso elas foram submetidas ao difratômetro de raios X, com exceção da soda cáustica, que não pôde ser analisada por ser extremamente corrosiva (a composição da Soda Cáustica foi obtida pela Fundação Duarte Amaral – anexo II). Na segunda etapa, foram utilizadas as informações do controle reológico fornecido pela empresa Construcenter Só Poços LTDA

para a reprodução, em laboratório, três amostras de fluido estéril: bentonítico, carboximetilcelulósico e misto; ou seja, sem a presença de componentes mineralógicos inerentes ao local do furo estudado. Em seguida, essas amostras de fluido também foram submetidas à análise mineralógica por meio da técnica de difração de raios X.

3.2.1. Generalidades sobre o Método de Difração de Raios X

A difração de raios X pelos cristais resulta de um processo em que os raios são dispersos pelos elétrons dos átomos, sem mudança do comprimento de onda (dispersão de BRAGG). A difração resultante de um cristal, compreendendo posições e intensidades das linhas da difração, é uma propriedade física da substância, servindo como identificação da mesma (GOMES, 1984).

Raios X são ondas eletromagnéticas acompanhadas por um campo elétrico em flutuação periódica. Um elétron de um átomo, influenciado pelos raios X, é excitado pelo campo elétrico flutuante, tornando-se uma fonte de ondas eletromagnéticas de mesma frequência e mesmo comprimento de onda que os raios X incidentes. As ondas dispersas pelos elétrons do átomo combinam-se e a intensidade da dispersão é dependente do número de elétrons no átomo, entretanto, como os mesmos são distribuídos em todo o seu volume, e não em um ponto particular, a intensidade varia conforme a direção. A combinação coerente das ondas é denominada difração.

Se um feixe de raios X atingir um feixe de átomos, estes difratam os raios X em duas direções principais. Tais direções são respectivamente, o prolongamento do feixe incidente e a reflexão do mesmo pelo plano. Qualquer plano do cristal correspondente a uma face pode ser considerado e o arranjo completo será um conjunto de planos paralelos ao primeiro.

Se considerarmos dois ou mais planos, as condições para a difração em fase vão depender da diferença de caminho percorrido pelo feixe de raios X, de acordo com a figura 6.

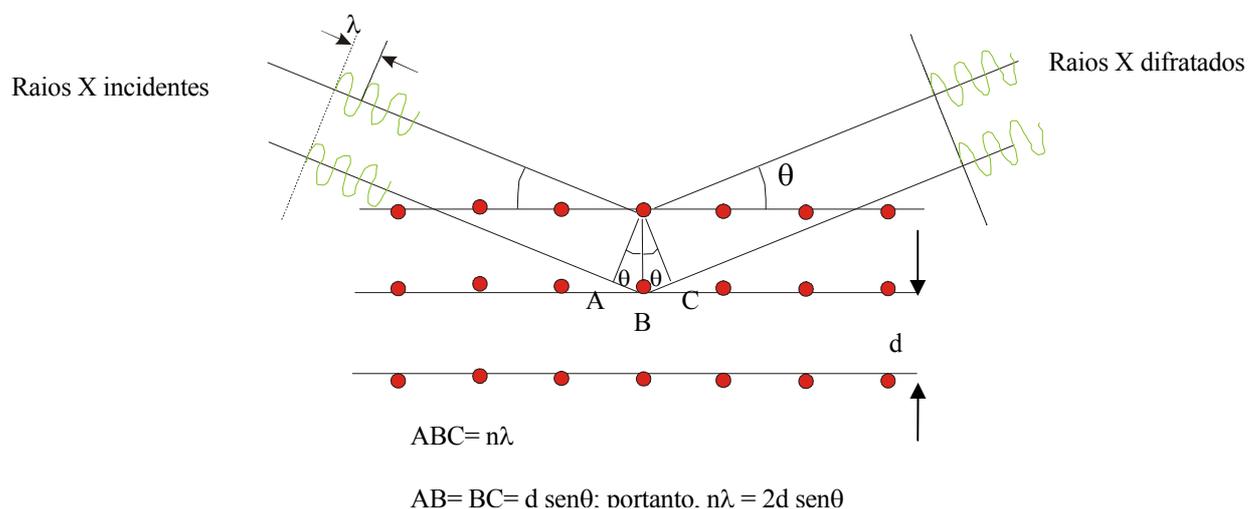


Figura 6 – Geometria da difração de raios X – Lei de Braag.
Fonte: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, 2006.

Conforme a Lei de Braag, λ é conhecido porque utiliza-se difração monocromática; θ pode ser medido no difratograma ou filme; e n , número de ordem de difração, também é conhecido.

Os ângulos θ , em que o cristal pode difratar raios X, dependem fundamentalmente dos espaçamentos interplanares da reflexão (d) do retículo, onde pode-se dizer que as posições de todas as reflexões de raios X de um cristal dependem somente das dimensões da célula unitária. Como consequência, dois minerais tendo o mesmo tipo e as mesmas dimensões da célula unitária, produzem quase o mesmo diagrama de raios X em relação a posição das reflexões, mesmo se não tiverem composições químicas semelhantes. A posição das reflexões e as intensidades relativas, as quais são respectivamente dependentes da célula unitária e do arranjo dos átomos são características da estrutura cristalina do mineral.

3.3. Confeção do Fluido Estéril

Conforme mencionado foram selecionadas, através do controle reológico, fornecido pela empresa Construcenter Só Poços LTDA, três composições básicas de fluídos utilizados em perfuração de poços tubulares: o fluído bentonítico, o fluído carboximetilcelulósico (CMC) e o fluído misto.

O fluído bentonítico foi preparado utilizando-se 5g de bentonita em pó diluída em 100ml de água. A mistura precisou ser batida manualmente por 45 minutos até adquirir a viscosidade de 40 mash, o qual é o padrão usado para sustentação do furo de sondagem.

O fluído carboximetilcelulósico (CMC) foi preparado utilizando-se 0,48g de CMC ácido em pó, 0,188g de Drivills em pó e 0,016g de soda cáustica diluídos em 100ml de água. O Drivills é um tipo de viscosificante, ou seja, tem o objetivo de espessar a mistura, enquanto que a soda cáustica é necessária para regular o pH, o qual deve oscilar entre 8,0 à 9,0. A mistura foi batida manualmente por 60 minutos até obter-se a viscosidade de 38 – 40 mash.

O fluído misto foi preparado utilizando-se 0,48g de CMC e 0,60g de bentonita diluídos em 100,0ml de água. A mistura foi batida manualmente por 60 minutos até adquirir a viscosidade de 40mash.

Para cada tipo de fluído foram confeccionadas duas lâminas, via método do pó (sendo uma lâmina do material, uma do fluído seco em estufa à temperatura de 50°C por 24 horas). Todas as lâminas foram analisadas pela técnica de difração de raios X, através do difratômetro do laboratório de difratometria do Departamento de Geociências, Universidade Federal do Amazonas.

A partir dos resultados obtidos pelos difratogramas dos materiais usados na confeção do fluído, for

Quanto aos perfis geofísicos, em cada um foi analisado o comportamento dos parâmetros de eletrorestividade, potencial espontâneo e raios gama em intervalos a cada 10,0m, com o objetivo de identificar qual o parâmetro geofísico que menos condizia com o comportamento esperado pela teoria, tomando-se como referência o perfil de raios gama como correto, pois é o que apresenta menos variação, por detectar características a nível nuclear dos elementos químicos.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS DADOS OBTIDOS

4.1. INFORMAÇÕES SOBRE OS PERFIS GEOFÍSICOS ESTUDADOS

4.2. COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DOS PRODUTOS INDIVIDUAIS USADOS NOS FLUIDOS DE PERFURAÇÃO ESTUDADOS

4.3. COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DAS MISTURAS USADAS NOS FLUIDOS DE PERFURAÇÃO ESTUDADOS

4.4. ASPECTOS GERAIS DOS ELEMENTOS QUÍMICOS OBTIDOS PELA ANÁLISE DA DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

4.5. CORRELAÇÃO DOS PERFIS GEOFÍSICOS ESTUDADOS

4.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa foi desenvolvida utilizando-se perfis geofísicos fornecidos pela empresa Construcenter Só Poços LTDA. Foram considerados somente os perfis usados na identificação de seções de filtros em poços tubulares, dos quais obteve-se informações do material perfurado, via amostragem de calha, e que apresentavam descrição do tipo de fluido utilizado durante o processo de perfuração.

Foram selecionados os perfis geofísicos de resistividade, potencial espontâneo, e radiação gama de dezessete poços tubulares, distribuídos aleatoriamente na cidade de Manaus. A disposição espacial destes poços na área estudada foi apresentada na figura 1.

Os poços abordados nesta pesquisa foram construídos pelo método rotativo, o qual se configura pelo uso de brocas de tamanhos e tipos variados. Tais variações devem-se à necessidade de serem perfuradas formações contendo materiais com distintas características e propriedades físicas, tais como dureza, compactação, coesão, viscosidade, porosidade etc.

Vale ressaltar que, neste método, para atender as necessidades de estabilização física do furo / poço e também tendo como escopo minimizar o processo de desgaste da broca perfuratriz durante todo o período atinente a perfuração, o fluido de perfuração usado deve apresentar propriedades específicas que permitam o controle da viscosidade, filtrado, reboco, lubrificação da broca, além da inibição de argilas expansivas.

A viscosidade é controlada, em campo, por meio de um ensaio realizado com um funil *mash* e um cronômetro. O funil é preenchido com fluido e então é marcado o tempo pelo qual o mesmo leva para ser esvasiado. A referência utilizada para verificação é o tempo de escoamento da água, o qual é estimado em 26s. Uma bom fluido de perfuração deve apresentar um tempo de escoamento variando entre 38 a 42s.

Se o fluido reter areia ocorre o aceleração deste escoamento, refletindo em instabilidade na manutenção das paredes do furo.

O filtrado (controle do teor de areia) é realizado por meio de uma pipeta graduada e uma peneira de 200 *mash*. Primeiramente a pipeta é preenchida com uma amostra do fluido, definindo um volume. Este fluido é transferido para a peneira e lavado com água natural, de forma que sejam retidas as partículas de areia. Posteriormente é medido o volume de areia. Sendo o resultado inferior a cinco por cento do volume original do fluido, considera-se que o mesmo apresenta baixo teor de areia e portanto, adequado ao prosseguimento das atividades de perfuração.

O reboco é a camada de fluido que preenche as paredes do furo de perfuração. Seu controle é realizado por meio de um prensa, discos de papel seda e escalímetro. Amostras do fluido são coletadas e colocadas para secar no papel por aproximadamente 1 hora, em seguida a amostra é colocada na prensa e então é medida a sua espessura com o escalímetro. No controle do reboco a espessura medida não pode ser superior a 1cm, caso contrário, o mesmo poderá impedir o fluxo de água subterrânea para dentro do poço após a instalação do revestimento.

4.1. Informações Sobre os Perfis Geofísicos Estudados

Nos perfis trabalhados a leitura dos parâmetros geofísicos supra citados foi realizada logo após a confecção do furo - guia, que é a primeira abertura no terreno, normalmente feita com uma broca de menor tamanho. Após a conclusão e análises pertinentes do furo-guia é que tem-se iniciada a perfuração do poço.

A perfuração do furo-guia tem diversas finalidades, tais como: conhecer a estratigrafia local, identificar possíveis corpos anômalos com características físicas que possam colocar em risco ou dificultar a perfuração do poço e, ainda, diminuir a resistência à passagem da broca durante o estágio final de perfuração. Apesar do atrito

da broca e da injeção do fluido durante a fase de elaboração do furo-guia provocarem interferências nas propriedades físicas do material constituinte da litologia atravessada, estas são preponderantemente menores em relação as mesmas reinantes logo após a conclusão do poço, devido que nesta última fase temporal, todos os fatores existentes na perfuração do furo-guia existem, porém com volume, intensidade e duração mais intensificados. Assim sendo, nesta pesquisa, o uso dos perfis geofísicos de resistividade aparente e potencial espontâneo, obtidos logo após a conclusão e lavagem do furo-guia, forneceram distribuições espaciais das mudanças de cada propriedade geofísica analisada, com a mínima influência possível. O perfil de radiação gama não responde às influências supra citadas, em face de que é obtido pela captação da radiação contida no núcleo do elemento químico, ou seja, esta é uma característica intrínseca presente no elemento, não sendo influenciada por quaisquer fatores externos.

Os poços referentes aos perfis geofísicos estudados apresentam profundidades variando de 60,0 a 236,0 metros, com diâmetros entre 100 e 250 milímetros (Anexo II).

Os parâmetros geofísicos de resistividade e potencial espontâneo de um mesmo material em referência podem apresentar resultados significativamente diferentes em períodos distintos de tempo. A existência ou a ausência de um ou mais destes fatores pode ocasionar mudanças nas propriedades de resistividade e condutividade elétrica de um mesmo material. Isto é possível porque os parâmetros citados são mensuravelmente influenciados por variáveis externas, tais como: grau de umidade, velocidade de percolação, além das características térmicas e químicas do fluido percolante. Neste contexto, para os materiais situados na zona de aeração, as condições climatológicas existentes na ocasião da perfilagem geofísica e/ou ocorridas a pequeno intervalo de tempo podem, seguramente, influenciar os traços dos perfis geofísicos de resistividade e de potencial espontâneo, relativos as camadas menos profundas. Assim sendo, na

presente pesquisa, também foram obtidas junto ao 1º Distrito de Meteorologia, localizado na cidade de Manaus, as condições meteorológicas à época da perfuração dos furos–guia. Tais resultados são mostrados no quadro 2.

<i>Item</i>	<i>Poços tubulares</i>	<i>Data da perfuração</i>	<i>Estação</i>
01	<i>Beija – Flor II</i>	<i>Setembro/2001</i>	<i>Seca</i>
02	<i>Texaco</i>	<i>Novembro/2004</i>	<i>Seca</i>
03	<i>Eucatur</i>	<i>Dezembro/2003</i>	<i>Seca</i>
04	<i>Getúlio Viana</i>	<i>Novembro/2002</i>	<i>Seca</i>
05	<i>Zumbi II</i>	<i>Setembro/2001</i>	<i>Seca</i>
06	<i>Bola do Coroadó</i>	<i>Agosto/2001</i>	<i>Seca</i>
07	<i>Petrópolis</i>	<i>Agosto/2001</i>	<i>Seca</i>
08	<i>Boas Novas</i>	<i>Julho/2001</i>	<i>Seca</i>
09	<i>Nova Floresta</i>	<i>Maio/2001</i>	<i>Chuva</i>
10	<i>Mutirão</i>	<i>Abril/2001</i>	<i>Chuva</i>
11	<i>Ribeiro Junior</i>	<i>Maio/2001</i>	<i>Chuva</i>
12	<i>Núcleo 13</i>	<i>Abril/2001</i>	<i>Chuva</i>
13	<i>Coroadó III</i>	<i>Outubro/2001</i>	<i>Seca</i>
14	<i>Grande Vitória</i>	<i>Janeiro/2003</i>	<i>Seca</i>
15	<i>Ministério do Exército</i>	<i>Novembro/2000</i>	<i>Seca</i>
16	<i>Moto Honda</i>	<i>Abril/2004</i>	<i>Chuva</i>
17	<i>Santa Etelvina</i>	<i>Novembro/2000</i>	<i>Seca</i>

Quadro 2 – Informações da estação climática a época da perfuração dos poços.

4.2 – Composição Mineralógica dos Produtos Individuais Usados no Fluido de Perfuração

Conforme anteriormente descrito, durante todo o período atinente a perfuração dos furos – guias e poços foram inseridos fluidos, os quais continham características químicas diferentes, dependendo da mistura dos componentes utilizados na formação de cada fluido. Foram efetuadas três misturas com os seguintes constituintes primários: bentonita, a qual é uma argila modificada quimicamente, específica para perfuração de poços; carboximetilcelulose, que é um polímero de carbono, altamente eficaz na perfuração, por apresentar maior facilidade de manuseio, maior rentabilidade e facilidade do controle reológico; Drilvis, que é um inibidor de argilas e soda cáustica, utilizada no controle do pH de algumas das misturas.

Conforme já mencionado, com o objetivo de conhecer a constituição mineralógica de cada componente presente nos fluidos utilizados na perfuração foi confeccionada uma lâmina para cada produto usado na composição da mistura que produziu os fluidos. Tais lâminas foram confeccionadas pelo método do pó e foram submetidas à análise no difratômetro de raios X no Laboratório de Geoquímica do Departamento de Geociências – Universidade Federal do Amazonas.

Os resultados obtidos forneceram os seguintes constituintes mineralógicos:

1 - Bentonita – apresentou composição mineralógica constituída de montmorillonitas $\text{NaO}_3(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ e $\text{NaMgAlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH}) \cdot \text{H}_2\text{O}$, caolinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) e quartzo (SiO_2). A curva espectral deste resultado é mostrada no gráfico 1.

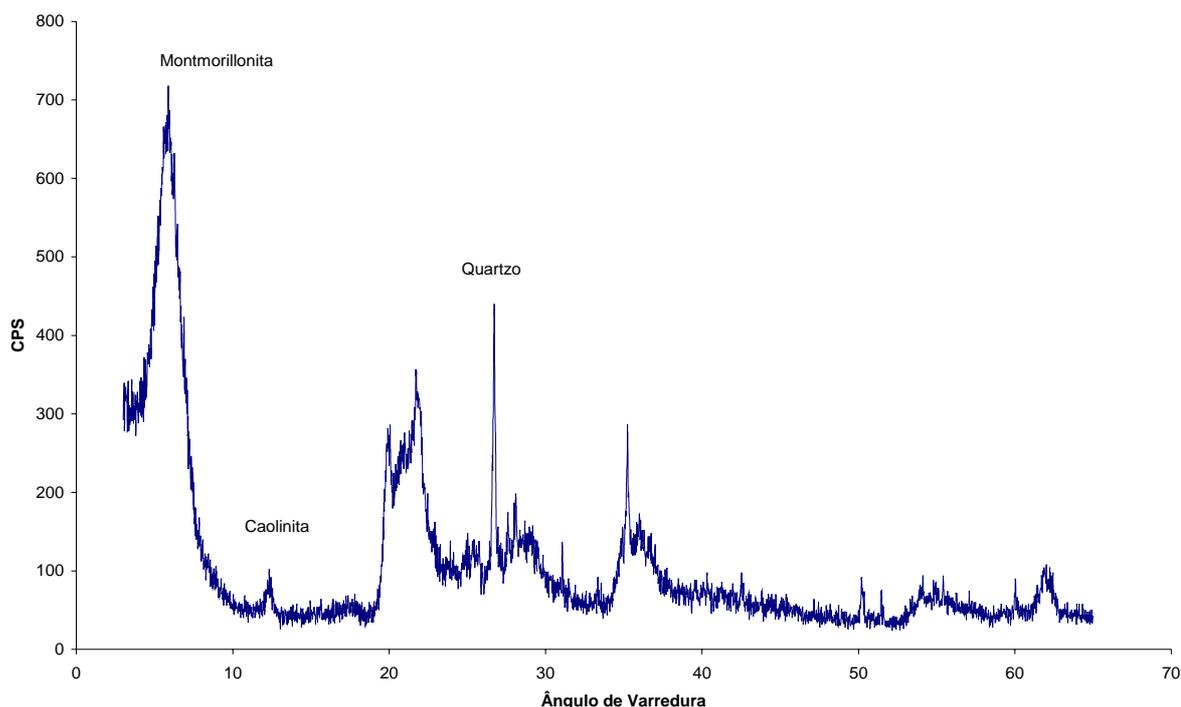


Gráfico 1 – Difractometria de raios X da Bentonita a seco.

2 – Carboximetilcelulose de sódio (CMC) – apresentou composição mineralógica formada por compostos que apresentam muito baixa cristalinidade. Os

resultados mostram a detecção de apenas uma reflexão, o que é insuficiente para a inferência de composições mineralógicas específicas. Tal resultado é mostrado no gráfico 2.

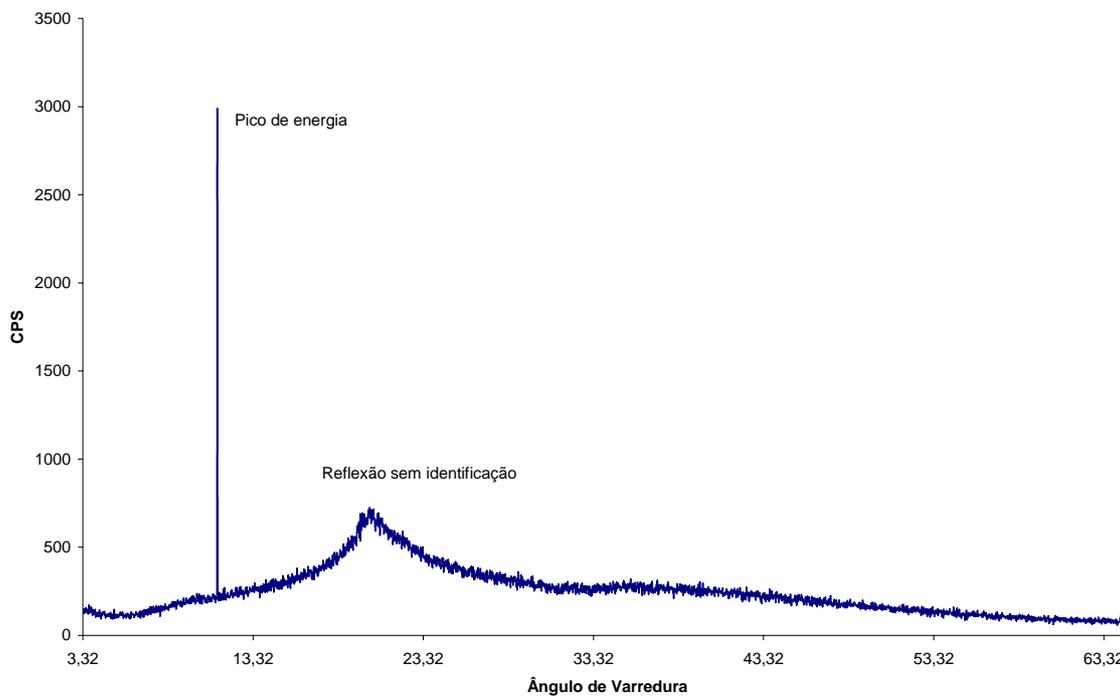


Gráfico 2 - Difractometria de raios X do CMC a seco.

3 – Drillvis – o Drillvis é um produto largamente utilizado para inibir as areias presentes no fluido, promovendo a viscosidade mínima aceitável para o trabalho da perfuração. Perfurações em locais os quais apresentam estratigrafia predominante constituída de camadas arenosas ou areno – argilosas, apresentam um fluido com incorporação de areias. O principal problema decorrente deste fato é que a areia aumenta a velocidade de escoamento do fluido diminuindo o tempo de contato com as paredes do furo-guia, ocasionando em instabilidade das paredes do furo e favorecendo desmoronamentos. Devido a este fato, durante a perfuração, se faz um controle do filtrado.

O resultado via difratometria de raios X mostrou que este composto é constituído, mineralogicamente, de silvita (KCl), conforme observa-se no gráfico 3.

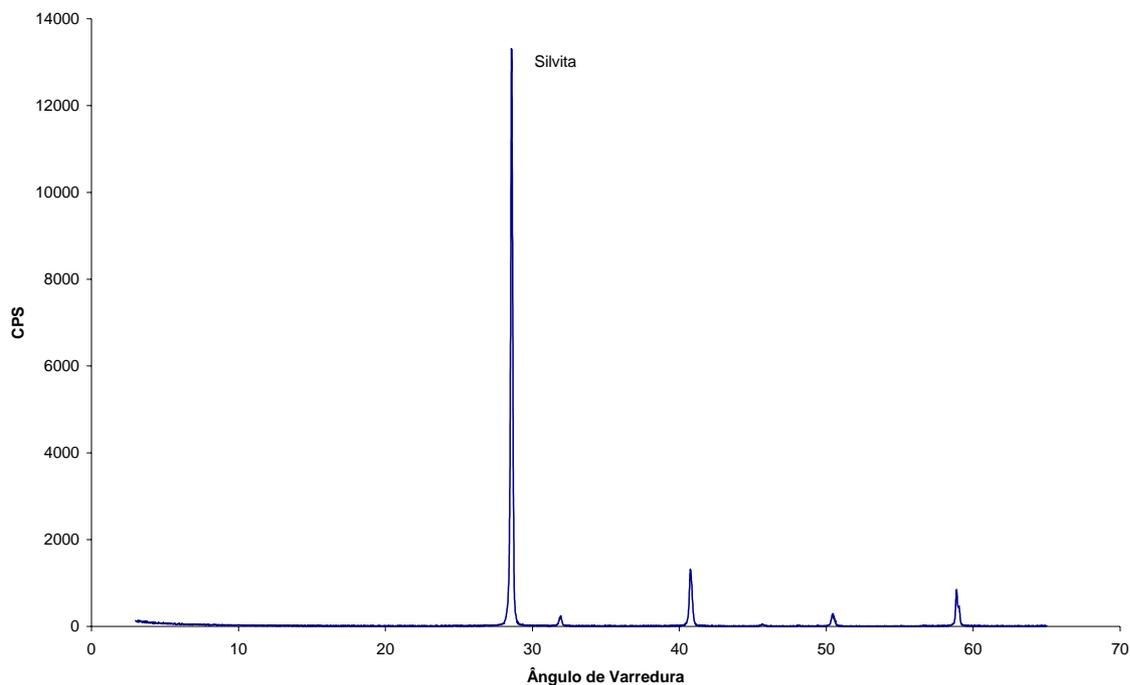


Gráfico 3 - Difratometria de raios X do Drillvis a seco

4 – Soda Cáustica – quanto a lâmina referente à soda cáustica, esta não pôde ser analisada via difração de raios X, pois o produto apresenta alto teor de corrosão, podendo danificar as lâminas de alumínio do equipamento. Contudo, sua composição química é formada por NaOH, Na₂CO₃, NaCl e Fe, segundo o laudo de análise fornecido pela Fundação Duarte Amaral e Cia LTDA (Anexo I).

4.3. Composição Mineralógica das Misturas Formadoras dos Fluidos de Perfuração Estudados

Conforme já mencionado, na confecção dos furos-guias dos poços tubulares estudados foram utilizadas diferentes combinações de produtos, as quais formaram a mistura característica de cada fluido utilizado durante o processo de perfuração.

O quadro 3 apresenta os produtos primários que constituíram cada mistura utilizada na perfuração dos poços estudados. Foram produzidos três tipos diferentes de misturas, a saber: bentonítica, carboximetilcelulósica e mista.

<i>Item</i>	<i>Poços tubulares</i>	<i>Produtos utilizados</i>	<i>Tipo de fluido</i>
01	Beija – Flor II	Carboximetilcelulose (CMC), Drillvis, Soda Cáustica, Água	Carboximetilcelulósico
02	Texaco	CMC, Drillvis, Soda Cáustica, Água	Carboximetilcelulósico
03	Eucatur	CMC, Drillvis, Soda Cáustica, Água	Carboximetilcelulósico
04	Getúlio Viana	CMC, Drillvis, Soda Cáustica, Água	Carboximetilcelulósico
05	Zumbi II	CMC, Bentonita, Drillvis, Água	Misto
06	Bola do Coroadó	CMC, Drillvis, Soda Cáustica, Água	Carboximetilcelulósico
07	Petrópolis	CMC, Drillvis, Soda Cáustica, Água	Carboximetilcelulósico
08	Boas Novas	CMC, Drillvis Soda Cáustica, Água	Carboximetilcelulósico
09	Nova Floresta	CMC, Bentonita, Drillvis, Água	Misto
10	Mutirão	CMC, Bentonita, Drillvis, Água	Misto
11	Ribeiro Junior	Bentonita, Água	Bentonítico
12	Núcleo 13	Bentonita, Água	Bentonítico
13	Coroadó III	CMC, Drillvis, Soda Cáustica, Água	Carboximetilcelulósico
14	Grande Vitória	CMC, Drillvis, Soda Cáustica, Água	Carboximetilcelulósico
15	Ministério do Exército	CM, Bentonita, Drillvis, Água	Misto
16	Moto Honda	CMC, Drillvis, Soda Cáustica, Água	Carboximetilcelulósico
17	Santa Etelvina	Bentonita, Água	Bentonítico

Quadro 3 – Produtos utilizados na elaboração do fluido utilizado durante o processo de perfuração dos poços estudados.

Em laboratório foi construída uma amostra contendo 100ml de cada tipo de componente fluido. Para cada amostra foi confeccionada, via pipetagem, uma lâmina, a qual foi seca em condições normais de temperatura e pressão. Os resultados obtidos, via difratometria de raios X, mostram as seguintes composições mineralógicas:

1 – Fluido bentonítico (Bentonita+água) - apresentou composição mineralógica constituída de montmorillonitas ($\text{NaO}_3(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH}_2)_4\text{H}_2\text{O}$ e $\text{NaMgAlSiO}_2(\text{OH})\text{H}_2\text{O}$), caolinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Tais resultados são apresentados no gráfico 4.

A inclusão de água e o processo físico, no qual se constituiu em centrifugar por aproximadamente 60 minutos a amostragem água e bentonita, até atingir a viscosidade mínima de 42 *mash*, padrão mínimo na formação do reboco na parede do furo – guia, não promoveu mudanças nas características mineralógicas da bentonita. A comparação dos resultados apresentados nos gráficos 1 e 4 mostra que a inclusão de água na bentonita não promoveu a formação de novos compostos minerais.

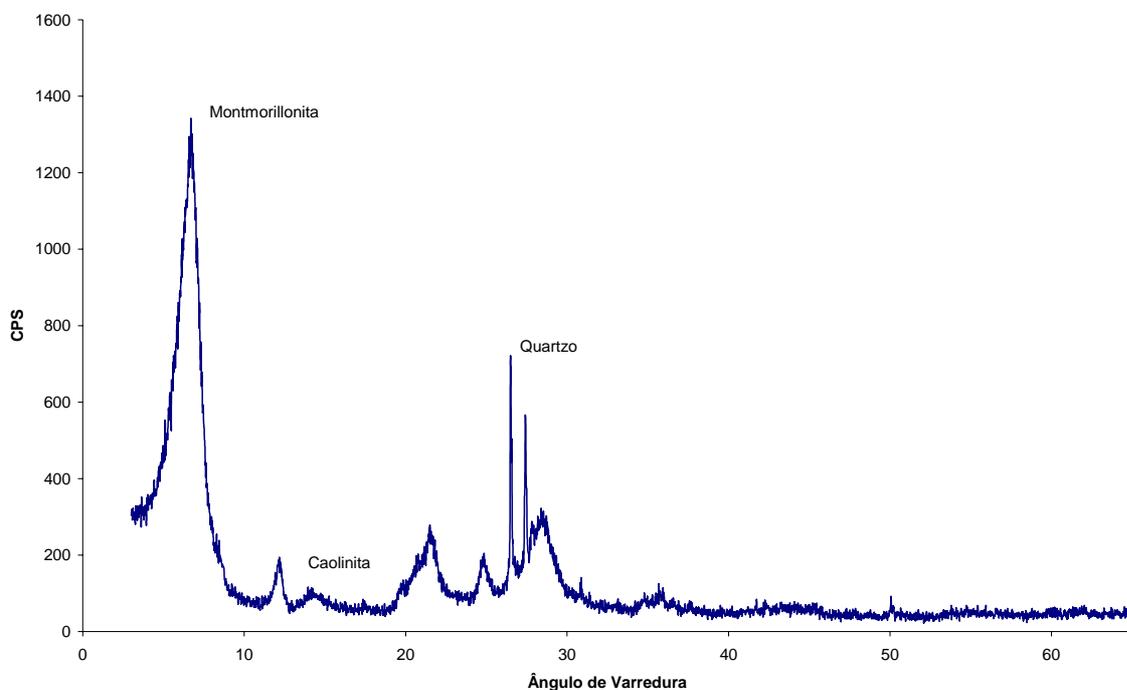


Gráfico 4 - Difratoimetria de raios X do fluido bentonítico.

2 – Fluido misto (CMC+ bentonita+Drillvis+água) – O fluido misto, normalmente é utilizado em furos-guia que apresentam composição litológica formada por sedimentos friáveis, tais como areias de granulometria fina a média. A inclusão de água e o processo físico de centrifugação produziram uma composição mineralógica formada de caolinita $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)\text{OH}_4$ e de alumossilicato hidratado de potássio ($\text{K}, \text{H}_3\text{O}$)

$\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$. O espectro gerado no difratômetro de raios X é mostrado no gráfico 5.

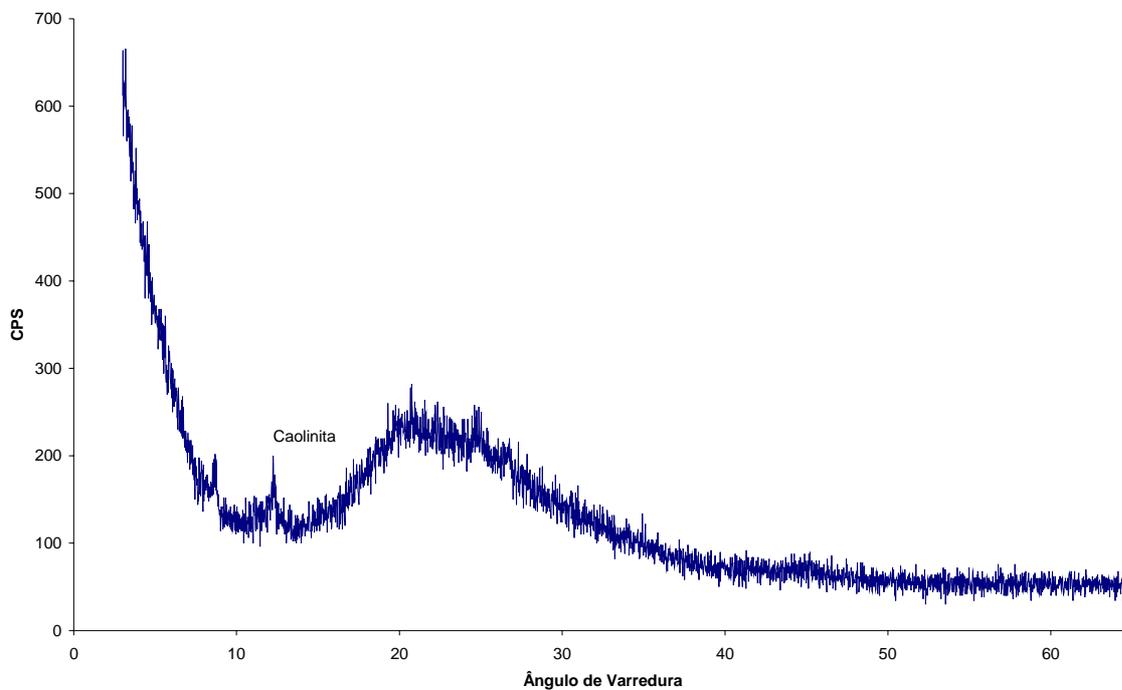


Gráfico 5- Difractometria de raios X do fluido misto.

3 – Fluido carboximetilcelulósico (CMC+Drillvis+Soda Cáustica+Água) – O fluido carboximetilcelulósico é considerado o mais adequado para a perfuração de poços tubulares, pois permite a redução das perdas de fluido por filtrações em formações permeáveis, aumenta a estabilidade do furo-guia, além de melhorar a qualidade das amostragens de calha. Isto porque a mistura dos produtos CMC, água, Drillvis e soda cáustica, produz um fluido com características importantes no processo de perfuração, além de ter seus parâmetros físicos, tais como viscosidade, filtrado e reboco, mais facilmente controlados. Tais características dificultam sua penetração nas formações geológicas permeáveis, como também preenche o espaço vazio em diáclases da litologia perfurada. Conseqüentemente, com a percolação deste fluido tem-se uma adequada refrigeração da broca de perfuração, sem uma perda substancial de volume

injetado. Uma outra vantagem é a rentabilidade do CMC, para cada 8,0kg tem-se produzido aproximadamente 1m³ de fluido de perfuração; o equivalente para a bentonita seriam aproximadamente 40 sacos de 50,0 kg. Adicionalmente, face as características mencionadas deste fluido, é comprovado, sendo fato, que o mesmo penetra parcialmente nas camadas da formação permeável, portanto, este tipo de fluido promove um estado de cimentação leve, o qual amplia significativamente a estabilidade das paredes do furo-guia (poço), sem prejudicar o fluxo de água subterrânea para o interior do poço revestido. Esta condição de melhoria na estabilidade do furo – guia permite que as atividades inerentes à perfuração sejam realizadas com maior desenvoltura e em um menor intervalo de tempo, facilitando ainda, as operações relativas às perfilagens geofísicas. Vale ressaltar que a estabilidade do furo de perfuração é de extrema importância na ocasião da realização da perfilagem geofísica, não apenas para a obtenção de resultados precisos e confiáveis, como também para se ter certeza do retorno físico das sondas utilizadas. O desmoronamento de um poço durante a perfilagem geofísica propicia inúmeros problemas, tais como: custos adicionais, especialmente com uma possível perfuração adjacente com o objetivo de recuperar as sondas geofísicas soterradas e/ ou até a perda total do equipamento e/ou do poço.

A inclusão de água e o processo de centrifugação foram realizados na amostra até a obtenção de um gel com viscosidade variando entre 38 à 42 *mash*, o qual apresentou a composição mineralógica de cloreto de potássio (KCl). Os demais componentes visualizados nas reflexões do gráfico 6 mostram baixíssima cristalinidade, não sendo possível inferir a identificação.

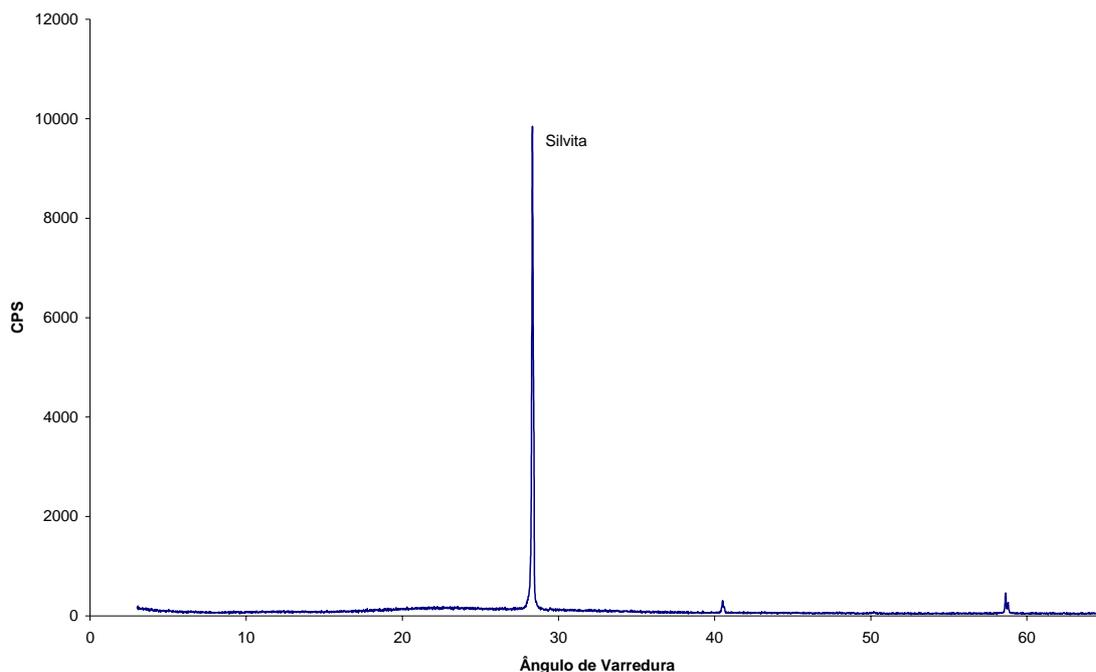


Gráfico 6 - Difratometria de raios X do fluido carboximetilcelulósico.

4.4. Aspectos Gerais dos Elementos Químicos Obtidos pela Análise da Difratometria de Raios X

Os resultados obtidos via a difratometria de raios X e também coletados junto aos manuais técnicos dos produtos analisados inferem a presença dos seguintes elementos químicos: H, Na, K, Mg, Ca, Al, C, Si, O e Cl.

O hidrogênio (H) é um gás incolor, inodoro e insípido, pouco solúvel em água e mais leve que o ar, inflamável e apesar de ser o elemento mais abundante do universo não é encontrado em seu estado puro no ambiente terrestre. Sua condutividade e resistência elétrica são desconhecidas. Apresenta três tipos de isótopos: ^1H , ^2H e ^3H , destes o deutério ^2H é empregado em reatores nucleares como moderador de nêutrons e o trítio ^3H é usado na fabricação de bombas de fissão.

O Na e o K são elementos abundantes no ambiente terrestre (2,6 e 2,4%, respectivamente) pertencentes à família 1A, apresentam natureza essencialmente iônica,

entretanto, podem ocorrer alguns casos de ligação covalente, como por exemplo as moléculas diatômicas do Na_2 . São fortemente eletropositivos. Entre os compostos binários, os sais dos metais alcalinos são caracterizados em geral, por pontos de fusão elevados, pela alta condutividade elétrica dos líquidos de fusão e pela fácil solubilidade em água. O Na não apresenta isótopos naturais e tem resistividade elétrica média calculada em $4,7 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ ([MSPC, 2006](#)). O K contém três tipos de isótopos: ^{39}K , ^{40}K e o ^{41}K , sendo que destes somente o ^{40}K apresenta decaimento radioativo natural. Sua resistividade elétrica é da ordem de $7 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ ([MSPC, 2006](#)).

Mg e Ca são elementos pertencentes à família 2A, são mais densos, possuem potenciais de ionização maiores, apresentam pontos de fusão e de ebulição mais elevados e são mais duros que os elementos da família dos metais alcalinos. Ambos formam quase sempre compostos iônicos. O Mg possui 08 isótopos, destes apenas 05 apresentam decaimento radioativo natural: ^{22}Mg , ^{23}Mg , ^{27}Mg , ^{28}Mg e ^{29}Mg . Sua resistividade elétrica é da ordem de $4,4 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ ([MSPC, 2006](#)). O Ca possui 13 isótopos, destes somente 07 apresentam decaimento radioativo natural: ^{41}Ca , ^{45}Ca , ^{47}Ca , ^{49}Ca , ^{50}Ca , ^{51}Ca e ^{52}Ca e valores de resistividade elétrica da ordem de $3,4 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ ([MSPC, 2006](#)).

O Al é o elemento metálico mais comum da crosta terrestre, altamente eletropositivo, tem suas características modificadas facilmente por solução aquosa a quente de NaOH, por halogênios e por diversos elementos não metálicos. Apresenta baixo ponto de fusão, é leve, excelente condutor de calor e eletricidade, além de ser resistente à corrosão. Possui 07 isótopos, dos quais 06 são produzidos artificialmente. Sua resistividade elétrica é da ordem de $2,65 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ ([MSPC, 2006](#)).

O C e o Si estão contidos na família 4B. Os elementos deste grupo são fundamentalmente metálicos e tendem a unirem-se em ligações covalentes. O C

apresenta alguns cátions, íons e radicais considerados espécies transientes em reações orgânicas. Os íons, por exemplo, são conhecidos como íons carbônio e somente apresentam estabilidade quando suas cargas estão deslocalizadas sobre os grupos ligados ao carbono. A característica principal do C é a tendência a ligar-se a outros átomos de C, formando cadeias e anéis e não apenas com laços simples, mas duplos também (catenação). As espécies de carbono divalente são altamente reativas, podendo ligar-se a muitos metais de transição. Foram detectados 09 isótopos de C, destes, apenas 02 são encontrados na natureza: ^{12}C e ^{13}C . Sua resistividade elétrica é aproximadamente $1 \times 10^{-5} \Omega\text{m}$ ([MSPC, 2006](#)).

O Si só perde para o oxigênio em abundância natural. Pouco reativo, facilmente tem suas características modificadas pelos halogênios, tetralogenetos e álcalis gerando soluções de silicatos. Apresenta tendência a catenação, porém com menor intensidade que o C. Para o Si foram detectados 09 isótopos, contudo, somente 03 são encontrados na natureza: ^{28}Si , ^{29}Si e ^{30}Si . É um elemento com elevada resistividade elétrica com valores de até $1 \times 10^{-3} \Omega\text{m}$ ([MSPC, 2006](#)).

O oxigênio (O) é um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre. Ocorre na forma livre (atmosfera) e combinado (água e muitos outros elementos). É um elemento pouco solúvel em água. À temperatura ambiente é inativo, porém em temperaturas elevadas, especialmente sem impurezas, reage com a maioria dos outros elementos formando óxidos. Seus isótopos mais comuns são o ^{16}O , ^{17}O e ^{18}O , todos estáveis. Não apresenta resistividade elétrica conhecida.

O Cl é um elemento pertencente à família dos halogênios que combina com quase todos os metais e H livre, com exceção dos C, Ni e O. Este elemento tem a capacidade de reduzir íons de elementos metálicos, promovendo a transferência desses

íons para os átomos de Cl. Apresenta 09 isótopos, sendo somente 02 encontrados na natureza: ^{35}Cl e ^{37}Cl . Não apresenta resistividade elétrica conhecida.

4.5. Correlação dos Perfis Geofísicos Estudados

Para os dezessete poços escolhidos foram selecionados intervalos de estudo comparativo entre os traços de perfis, conforme a resposta esperada pelos aspectos teóricos, quando comparados entre si, e entre a descrição litológica.

Os perfis (Anexo II) foram analisados e comparados entre si de forma sistemática através do traço a cada 10 metros de profundidade, onde o parâmetro raio gama foi escolhido como padrão, em função do fato de que a desintegração radioativa natural de determinado elemento constitui-se em característica intrínseca do núcleo deste elemento, não sendo afetado por qualquer fator externo. Assim sendo o processo de decaimento radioativo natural depende, apenas, da sua constante de decaimento. Por esta característica, o perfil de raios gama não é afetado por mudanças na litologia do furo/poço perfurado, o que nos fez adotar o perfil de raios gama como perfil referencial, dentre os três perfis geofísicos estudados. Informa-se, ainda, que os intervalos selecionados para o presente estudo estão dispostos após os 20 metros de profundidade, devido aos poços apresentarem tubulões de ferro galvanizado instalados externamente ao furo guia, até a profundidade de 18 metros, os quais podem, devido a sua composição química, interferir na interpretação dos traços dos perfis geofísicos.

Os intervalos selecionados foram quantificados pelo número de discordâncias apresentadas para o traço da resistividade e para o traço do potencial espontâneo, ou seja, em cada tipo de traço foi atribuído um valor indicativo para quantas vezes ao longo do perfil geofísico o seu comportamento não correspondeu ao esperado pela fundamentação teórica, em comparação ao traço do raio gama.

Ao todo foram analisados 314 intervalos e deste total 190 foram considerados intervalos discordantes. Do grupo dos intervalos discordantes, 85 intervalos foram atribuídos ao comportamento do traço da resistividade enquanto que 105 ao traço do potencial espontâneo. Proporcionalmente, do grupo dos intervalos discordantes 33,43% dos perfis de potencial espontâneo e 27% dos perfis de resistividade apresentaram variações de comportamento divergentes da fundamentação teórica. A tabela 1 mostra a quantificação destas discordâncias para cada intervalo estudado, além da definição de quantas discordâncias foram atribuídas à resistividade e ao potencial espontâneo.

Item	Poços	Qtd. de intervalos estudados	Intervalos discordantes	Parâmetros Geofísicos	
				R	SP
01	Beija – Flor II	20	15	3	12
02	Texaco	6	1	1	0
03	Eucatur	17	15	3	12
04	Getúlio Viana	7	1	0	1
05	Zumbi II	23	17	13	4
06	Bola do Coroado	23	12	7	5
07	Petrópolis	21	13	3	10
08	Boas Novas	20	13	4	9
09	Nova Floresta	22	17	9	7
10	Mutirão	21	14	9	5
11	Ribeiro Junior	20	9	4	5
12	Núcleo 13	22	14	5	9
13	Coroado III	22	13	5	8
14	Grande Vitória	21	8	6	2
15	Ministério do Exército	12	3	3	0
16	Moto Honda	15	14	4	10
17	Santa Etelvina	22	12	6	6
Total		314	190	85	105
Total das discordâncias (%)			60,50%	27 %	33,43%

Tabela 1 – Quantitativo dos intervalos de perfis analisados.

Legenda: R – resistividade; SP – potencial espontâneo

O resultado das comparações obtidas para cada traço de perfil identificou que o parâmetro geofísico potencial espontâneo apresenta o maior índice de divergência em seu comportamento, quando comparado com o perfil gama e a fundamentação teórica (gráfico 7). Este índice de divergência é especificado pelo fato do potencial espontâneo ser o resultado da interferência de uma corrente elétrica bastante fraca (da ordem de milivolts), que pode ser perturbada ou influenciada por correntes espúrias (ruídos), que

ocorram na vizinhança do furo-guia, induzidas por fontes naturais e/ou artificiais; por exemplo, um desses ruídos pode ser proporcionado pela armadura de aço que reveste o cabo de perfilagem.

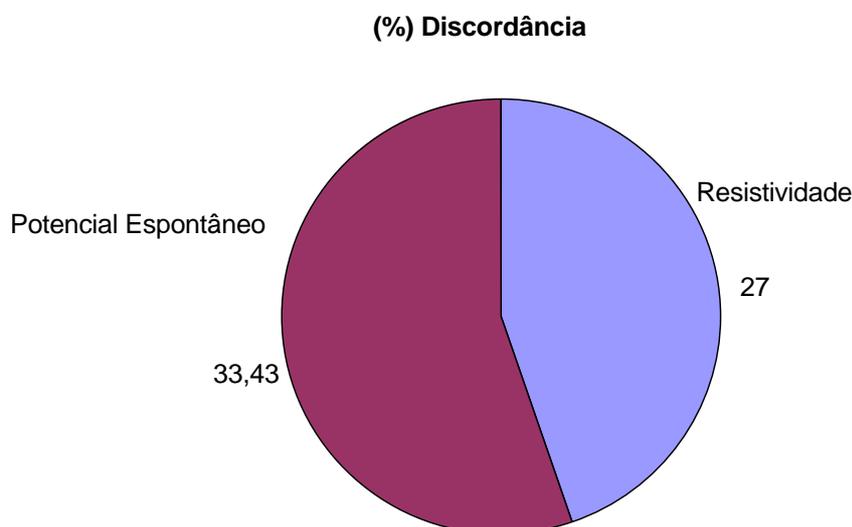


Gráfico 7 – Quantitativo das discordâncias observadas nos perfis geofísicos estudados.

Foi realizada, também, análise comparando os resultados obtidos via separação dos intervalos divergentes e a composição mineralógica dos fluídos de perfuração, considerados nesta pesquisa.

O gráfico 8 mostra a relação obtida entre o total de discordâncias para os poços construídos utilizando-se o fluido bentonítico. O parâmetro potencial espontâneo é o que apresenta variação mais significativa.

A composição química obtida pela difratometria de raios X mostra a presença dos seguintes elementos químicos como integrantes deste tipo de fluido: Na, Al, Mg, Si, O e H. Todos estes elementos, com exceção do silício, apresentam resistividade elétrica variando de $2,65 \times 10^{-8} \Omega m$ a $4,40 \times 10^{-8} \Omega m$.

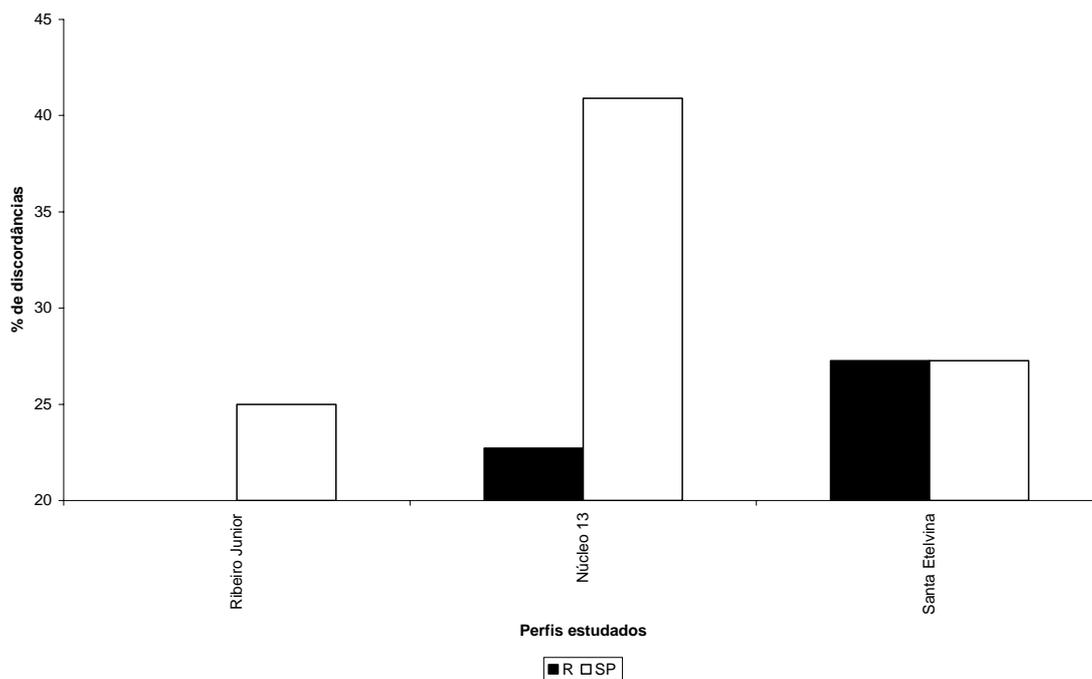


Gráfico 8 – Quantitativo das discordâncias observadas nos perfis geofísicos estudados considerando o fluido bentonítico.

O gráfico 9 mostra a relação obtida entre o total de discordâncias obtidas para os poços construídos utilizando-se o fluido misto, composto por carboximetilcelulose, bentonita, Drillvis e água. Neste gráfico o parâmetro resistividade elétrica é o que apresenta variação mais significativa. A composição química pela difratometria de raios X atribui os seguintes elementos químicos como formadores deste tipo de fluido: Al, Si, K, H, Na, C e O. Para este grupo pode-se ressaltar que a presença dos elementos K e C esteja influenciando este resultado por apresentarem um baixo e alto valor de resistividade elétrica, $7 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ e $1,0 \times 10^{-3} \Omega\text{m}$, respectivamente.

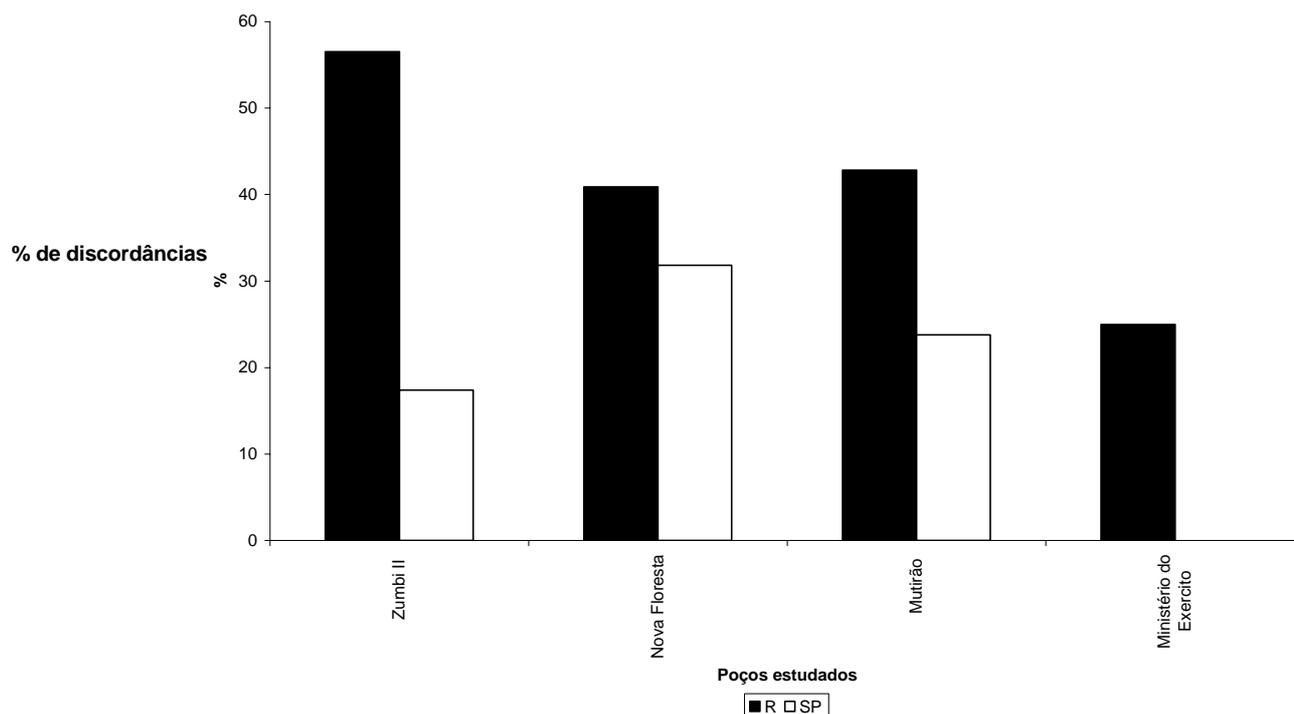


Gráfico 9 – Quantitativo das discordâncias observadas nos perfis geofísicos estudados considerando o fluido misto.

O gráfico 10 mostra a relação obtida entre o total de discordâncias obtidas para os poços construídos utilizando-se o fluido carboximetilcelusósico, composto por carboximetilcelulose de Na, Drillvis, soda cáustica e água. Neste gráfico, novamente, o potencial espontâneo é o que apresenta variação mais significativa. A composição química pela difratometria de raios X atribui os seguintes elementos químicos como formadores deste tipo de fluido: C, Na, Cl, O, H e K. O resultado da difratometria de raios X indicou somente a presença de KCl para esta composição. Entretanto, considerou-se os demais componentes, em função dos manuais técnicos dos produtos utilizados, especialmente a soda cáustica que é frequentemente colocada no fluido de perfuração, visando a correção do pH que deve ser alcalino para que o fluido tenha eficiência e estabilidade nas paredes do furo-guia. A elevada condutividade elétrica é associada à presença do KCl, a qual é uma solução que apresenta excelente condutividade elétrica.

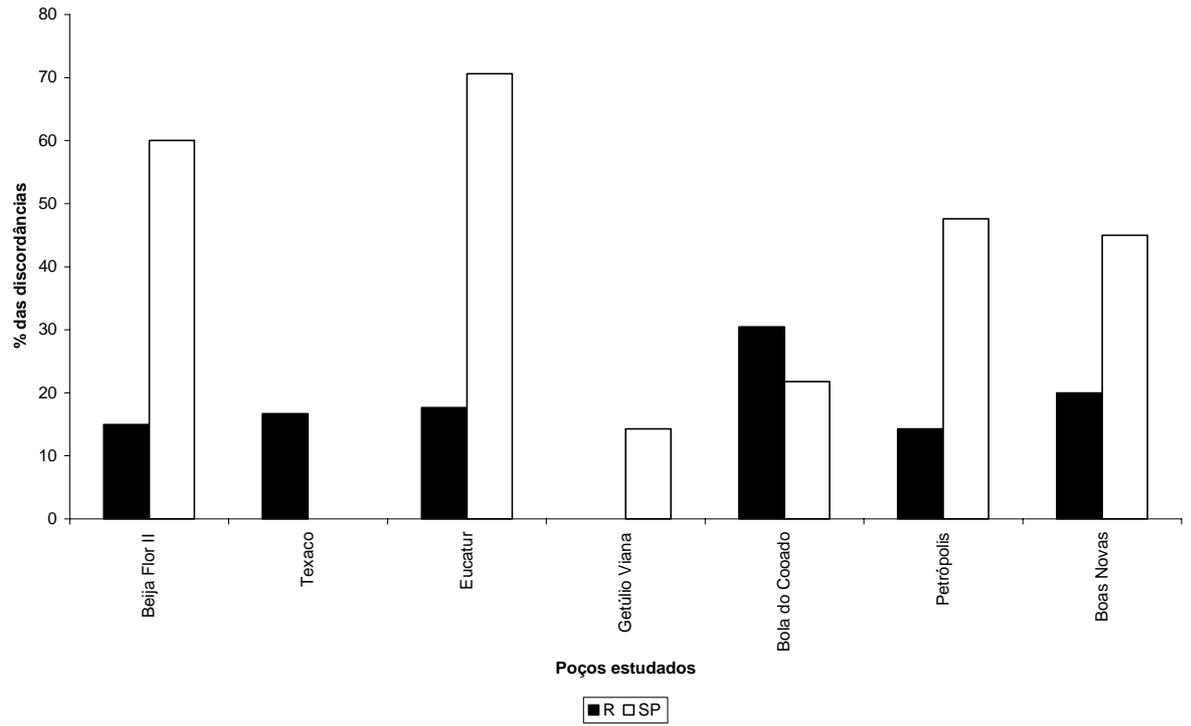


Gráfico 10 – Quantitativo das discordâncias observadas nos perfis geofísicos estudados considerando o fluido carboximetilcelulósico.

4.6. Considerações Finais

Conforme ressaltado em itens anteriores, foram efetuados estudos comparativos dos traços dos perfis geofísicos de resistividade, potencial espontâneo e raios gama. O estudo citado tinha como escopo principal pesquisar a(s) causa(s) que justificasse(m) o fato de que, em praticamente todas as perfilagens geofísicas que utilizem estes três métodos, há fatores desconhecidos operantes que mascaram o traço do perfil geofísico em pauta, de maneira tal que a configuração deste traço, representando as características litológicas atravessadas, diferem dos resultados esperados, tendo como base a conceituação teórica. Em virtude deste fato ocorrer em qualquer local pesquisado é que, normalmente, nas perfilagens geofísicas em poços tubulares, tendo como objetivo a prospecção de água subterrânea, utiliza-se ferramentas que mostrem os resultados concernentes aos três métodos acima citados. Este comportamento tem, exatamente, o objetivo de que o resultado de uma técnica seja ratificado ou retificado pelo traço das outras duas técnicas. Também como ressaltado em item anterior, neste estudo comparativo, assumiu-se como perfil padrão o traço da perfilagem de raios gama. Esta decisão foi baseada no fato de que os processos radiogênicos são características exclusivas dos núcleos radioativos; portanto, não são influenciados por quaisquer fatores externos, tais como mudanças nos parâmetros temperatura, umidade, pressão, reações químicas endo ou exotérmicas etc. No entanto, os perfis de resistividade e potencial espontâneo, por serem gerenciados por variações na estrutura eletrônica do material perfilado, são mensuravelmente influenciados por tais fatores externos. Assim sendo, foi considerado coerente a decisão de utilização do perfil raios gama como perfil referencial neste estudo.

Embora haja diversidade litológica na região amazônica, no entanto, é freqüente,

e até pode-se considerar como característica dessa região, a presença de formações contendo areia e argila, ora de maneira mais, ora de maneira menos consolidada. Assim sendo, a descrição litológica do material proveniente das perfurações rasas na região amazônica é caracterizada pela presença de material preponderantemente arenoso, ou argiloso, ou arenoargiloso ou, ainda, argiloarenoso. Em face destas características litológicas, nas perfilagens geofísicas de resistividade, potencial espontâneo e de raios gama, utilizadas para fins dessa descrição litológica, é comum se estimar, a priori, a escala de variação de valores para cada perfil geofísico em tela. O quadro 4 mostra valores de resistividade aparente destes materiais aqui mencionados.

<i>Material</i>	<i>R (Ω.m)</i>	<i>Fonte</i>
<i>Argila Seca</i>	<i>50</i>	<i>Heiland (1940)</i>
<i>Argila com Magnésio</i>	<i>1 a 2</i>	<i>Heiland (1940)</i>
<i>Arenito</i>	<i>48 a 98</i>	<i>Heiland (1940)</i>
<i>Areia</i>	<i>até 5 x 10³</i>	<i>Jakosky (1940)</i>
<i>Arenito</i>	<i>até 1 x 10³</i>	<i>Jakosky (1940)</i>
<i>Argilito</i>	<i>até 8 x 10²</i>	<i>Telford et al (1976)</i>
<i>Arenito</i>	<i>até 6,4 x 10⁸</i>	<i>Telford et al (1976)</i>
<i>Argila</i>	<i>Até 100</i>	<i>Telford et al (1976)</i>

Quadro 4 – Resistividade elétrica de alguns materiais sedimentares.

Observa-se no quadro 4 a predominante superioridade dos valores de resistividade do material arenoso, em comparação ao material argiloso. Conseqüentemente, o inverso ocorre quando o parâmetro geofísico estudado refere-se ao potencial espontâneo. Isto é óbvio, já que a resistividade aparente concerne à resistência deste material à passagem de corrente elétrica e o potencial espontâneo é atinente à condutividade elétrica. Portanto, a inclusão, no local perfilado, de qualquer elemento químico com valor extremamente elevado, ou extremamente baixo, de resistividade elétrica, com certeza provocará influência no traço resultante destes dois métodos geofísicos. Para ratificar, citamos o exemplo mostrado no quadro 4, em que a argila apresenta valores de resistividade aparente variando de 50 Ω.m (HEILAND, 1940) a 100 Ω.m (TELFORD *et al.*, 1976); no entanto, a inserção de magnésio na argila faz com que

se obtenha para este material valores de resistividade aparente variando de 1 a $2\Omega.m$ (HEILAND, 1940). Isto é perfeitamente explicado pelo valor extremamente baixo de resistividade elétrica do elemento magnésio, da ordem de $4,4 \times 10^{-8} \Omega.m$ (HEILAND, 1940).

Nas sessões anteriores foram mostrados os resultados das análises dos diferentes tipos de fluidos utilizados no processo de perfuração dos poços tubulares, via método de difratometria de raios-X. Estes resultados mostram a presença de diversos elementos químicos, tais como Na, K, Mg, Ca, Al, C, Si, O e Cl. O quadro 5 apresenta os valores de resistividade elétrica destes elementos.

<i>Elemento químico</i>	<i>R ($\Omega.m$)</i>	<i>Fonte</i>
<i>Na</i>	$4,7 \times 10^{-8}$	<i>MSPC, 2006</i>
<i>K</i>	7×10^{-8}	<i>MSPC, 2006</i>
<i>Mg</i>	$4,4 \times 10^{-8}$	<i>MSPC, 2006</i>
<i>Ca</i>	$3,4 \times 10^{-8}$	<i>MSPC, 2006</i>
<i>Al</i>	$2,6 \times 10^{-8}$	<i>MSPC, 2006</i>
<i>C</i>	1×10^{-3}	<i>MSPC, 2006</i>
<i>Si</i>	1×10^{-3}	<i>MSPC, 2006</i>

Quadro 5 – Resistividades elétricas de alguns elementos químicos.

No quadro 5 observa-se que todos estes elementos químicos têm valores extremamente baixos de resistividade elétrica, portanto, a inserção de qualquer um destes elementos provocará, indubitavelmente, mudanças significativas no comportamento resistivo/condutoivo do material litológico pertinente. Caso ocorra a inclusão de mais de um destes elementos químicos no material a ser perfurado, aí, então, as mudanças resultantes serão ainda mais significativas, principalmente se os elementos envolvidos forem o Na, K, Mg, Ca e Al, cujos valores de resistividade são da ordem de $10^{-8}\Omega.m$. Obviamente que as mudanças provocadas na resistividade elétrica do material serão acompanhadas, também, por mudanças na condutividade elétrica. Consequentemente, as influências da presença de um ou mais destes elementos químicos no traço do perfil de resistividade aparente provocam, também, influências significativas no traço do perfil de

potencial espontâneo. No entanto, deve ser diferente o índice de influência, em face da sensibilidade de cada método. Por esta razão é que no gráfico 7 há registro de 27% de discordâncias no traço do perfil de resistividade, enquanto se registrou 33,43% de discordância no traço de potencial espontâneo.

Em virtude do acima exposto, foi considerado nesta pesquisa que as discrepâncias entre os resultados teóricos e de campo, referentes aos traços dos perfis de resistividade aparente e de potencial espontâneo, tendo-se como referencial o traço do perfil de raios gama, deve-se, exclusivamente, à presença de elementos químicos, tais como Na, K, Mg, Ca, Al, C, Si, na composição do fluido utilizado no processo de perfuração dos poços tubulares.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

5. Conclusões

A análise dos resultados obtidos nesta pesquisa, nos permitiu a obtenção das seguintes conclusões:

- Nos perfis geofísicos de resistividade, potencial espontâneo, e radiação gama foram estudados 190 intervalos discrepantes, ou seja, nos quais o comportamento dos parâmetros geofísicos não condizia com o esperado pela teoria. Destes, o parâmetro que apresentou maior número de discordâncias foi o potencial espontâneo.
- A comparação realizada entre os intervalos discordantes e a presença de elementos químicos nos fluidos de perfuração estudados nesta pesquisa definiram que o fluido bentonítico provoca elevada variação no parâmetro potencial espontâneo, pois é composto de Na, Al, Mg, Si, O e H. Todos estes elementos, com exceção do oxigênio e hidrogênio, os quais não apresentam resistividade elétrica conhecida; e silício, apresentam resistividade elétrica variando de $2,65 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ a $4,40 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$, ou seja relativamente baixas;
- O fluido carboximetilcelulósico também provoca elevada variação do parâmetro potencial espontâneo devido a presença de KCl, que é uma solução com excelente condutividade elétrica.
- O fluido misto apresentou maior influência no parâmetro eletroresistividade, pois é composto de Al, Si, K, H, Na, C e O. Para este grupo pode-se ressaltar que a presença dos elementos K e C esteja influenciando este resultado por apresentar baixos valores de resistência elétrica, $7 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ e $1 \times 10^{-5} \Omega\text{m}$, respectivamente.

- Foi considerado nesta pesquisa que as discrepâncias entre os resultados teóricos e de campo, referentes aos traços dos perfis de resistividade aparente e de potencial espontâneo, tendo-se como referencial o traço do perfil de raios gama, deve-se, fundamentalmente, à presença de elementos químicos, tais como Na, K, Mg, Ca, Al, C, Si, na composição do fluido utilizado no processo de perfuração dos poços tubulares.

Referências

ARAUJO *et al.*, 1976. Geologia. In: BRASIL. Projeto RADAMBRASIL. Folha AS .21 Santarém; Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, DNPM Cap. 1, (Levantamento de Recursos Naturais, 10). p. 30-81

BRAGA, A.C.O. 1997. Métodos Geoelétricos Aplicados na Caracterização Geológica e Geotécnica – Formações Rio Claro e Corumbataí, no Município de Rio Claro – SP. Rio Claro,. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. 169p

CPRM, 2000 – Hidrogeologia Conceitos e Aplicações, 389p.

COSTA, J. B. S. & HASUI, Y. 1991. O Quadro Geral da Evolução Tectônica da Amazônia. Anais do III Simp. Nac. Estudos Tectônicos. UNESP/SBG, Rio Claro (SP), p.142-143.

COSTA, J. B. 1996. A Neotectônica na Amazônia. Bol. V Simp. Geol. Amazônia, SBG-Núcleo Norte, Belém (PA), p.35-38.

CUNHA, P.R.C.; GONZAGA, F.G.; COUTINHO, L.D.F. e FEIJÓ, F.J. 1994. Bacia do Amazonas. Bol. Geociências, PETROBRAS, Rio de Janeiro (RJ), 8(1):47-55.

DAEMON, R. F. & CONTREIRAS, C. J. A. 1971. Zoneamento Palinológico da Bacia do Amazonas. In. SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 25 SãoPaulo, Anais. 3: p. 79-88.

FERNANDES FILHO, L.A.; COSTA, M.L; COSTA, J.B.S. 1997. Registros Neotectônicos nos Lateritos de Manaus – Amazonas: Geociências, v16, no. 1. p. 9-33.

GALLAS, J.D. 2000. Principais Métodos Geométricos e suas Aplicações em Prospecção Mineral, Hidrogeologia, Geologia de Engenharia e Geologia Ambiental..Rio Claro. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Paulista. 172p.

GOMES, CELSO DE BARROS, 1984. Técnicas Analíticas Aplicadas à Geologia. 3-43p.

HEILAND, C.A. 1940. Geophysical Exploration. New York. Prentice-Hall. 1013p.

HORBE, A . M. C. E COSTA, M.L. 1996. Crostas Lateríticas Geradoras de Solos na Amazônia. In: V Simpósio de Geologia da Amazônia. Belém-PA. Anais. p. 262-264.

JOHNSON DIVISION UNIVERSAL OIL PRODUCTS CO. Ground Water And Wells, 1978. 482p.

INSTITUTO ASTRONÔMICO E GEOFÍSICO. 2006. Publicação on line. Disponível em: <http://www.iag.usp.br/siae98/eletromag/eletromag.htm>, acessada em 20 de Julho de 2006, às 11:01 horas.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PESQUISAS NUCLEARES. 2006. Publicação on line. Disponível em: <http://www.ipen.br/biblioteca>, acesso em 28 de Março de 2006 às 16:20 horas.

KISTLER. P. Historical Resume of the Amazon Basin. 1954. PETROBRAS/RENOS, Belém, rel. Interno (inédito).

LOURENÇO, R.S. *et.al.*, 1978. Geologia. In: Brasil. Projeto Radam Brasil. Folha SA.20 Manaus; Geologia, Geomorfologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra. Rio de Janeiro. Cap. I, (Levantamento de Recursos Naturais, 18). p. 18-164.

JAKOSKY, J.J. 1940. Exploration Geophysics. Times-Mirror Press. Los Angeles. 786p.

MSPC. 2006. Publicação on line. Disponível em: http://myspace.eng.br/quim/quim1_011.asp, acessada em 23 de Janeiro de 2006, às 14:15 horas.

MSPC. 2006. Publicação on line. Disponível em: http://myspace.eng.br/quim/quim1_019.asp, acessada em 23 de Janeiro de 2006, às 14:20 horas.

MSPC. 2006. Publicação on line. Disponível em: http://myspace.eng.br/quim/quim1_012.asp, acessada em 23 de Janeiro de 2006, às 14:28 horas.

MSPC. 2006. Publicação on line. Disponível em: http://myspace.eng.br/quim/quim1_020.asp, acessada em 23 de Janeiro de 2006, às 14:30 horas.

MSPC. 2006. Publicação on line. Disponível em: http://myspace.eng.br/quim/quim1_013.asp, acessada em 23 de Janeiro de 2006, às 14:40 horas.

MSPC. 2006. Publicação on line. Disponível em: http://myspace.eng.br/quim/quim1_006.asp, acessada em 23 de Janeiro de 2006, às 14:50 horas.

MSPC. 2006. Publicação on line. Disponível em: http://myspace.eng.br/quim/quim1_014.asp, acessada em 23 de Janeiro de 2006, às 15:03

horas.

NERY G. G. & MACARI, R. 2005. Os Fluidos de Perfuração Usados na Indústria da Água Subterrânea e sua Influência sobre os Perfis Geofísicos de Princípio Elétrico. In Revista Brasileira de Águas Subterrâneas, v19, n1 p. 49-60.

SCHOBBERHAUS & CAMPOS, 1984, D.A. 1984. A evolução da Plataforma Sul-Americana no Brasil e suas Principais Concentrações Minerais. In: SCHOBBERHAUS, C. D.A.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E., Coord. Geologia do Brasil. Brasília, DNPM. p. 9-53.

VIEIRA, L. C.; NOGUEIRA, A. C. R. 1998. Análise Petrográfica dos Arenitos da Formação Alter do Chão, na Praia da Ponta Negra, Manaus-AM. In: Congr. De Iniciação Científica (3º CIC – ASSER)., São Carlos, 1998.; Anais de Resumos...São Carlos – SP, p.165.

TELFORD, W.M.; GELDART, L.P.; SHERIFF, R.E. & KEYS, D.A. 1976. Applied Geophysics. Cambridge University Press. Cambridge. 860p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, 2006. Publicação on line. Disponível em: <http://www.ufsm.br/gef/Fmod11.htm>, acessada em 14 de Abril de 2006, às 15:07 horas.

ANEXO I

LAUDO DE COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA SODA CAÚSTICA

Duarte Amaral & Cia Ltda.
Fundação desde 1949
Rua Puris 157 Mooca São Paulo -SP
Fone : (11) 6604-2533 Fax (11) 6604-3991
Email = duarteamaral@uol.com.br

LAUDO DE ANALISES

SODA CAUSTICA ESCAMAS 99%

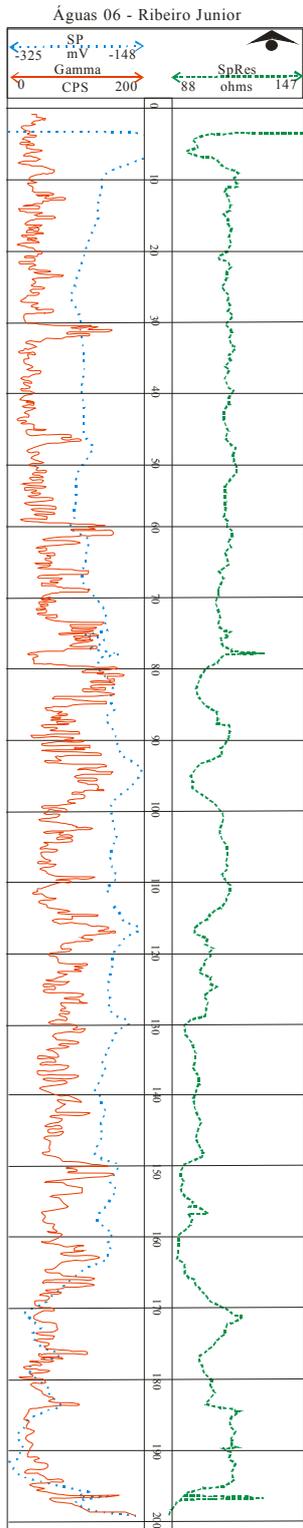
Lote N° = 24112

<u>ENSAIO</u> *****	<u>RESULTADO (%)</u> *****
Alcalinidade Total	> 97,5% M/M NaOH
Carbonatos	< 0,6% M/M Na ₂ CO ₃
Cloretos	< 0,030% M/M NaCl
Ferro	< 6,0 ppm Fe

Validade 2 Anos

Procedência - Nacional

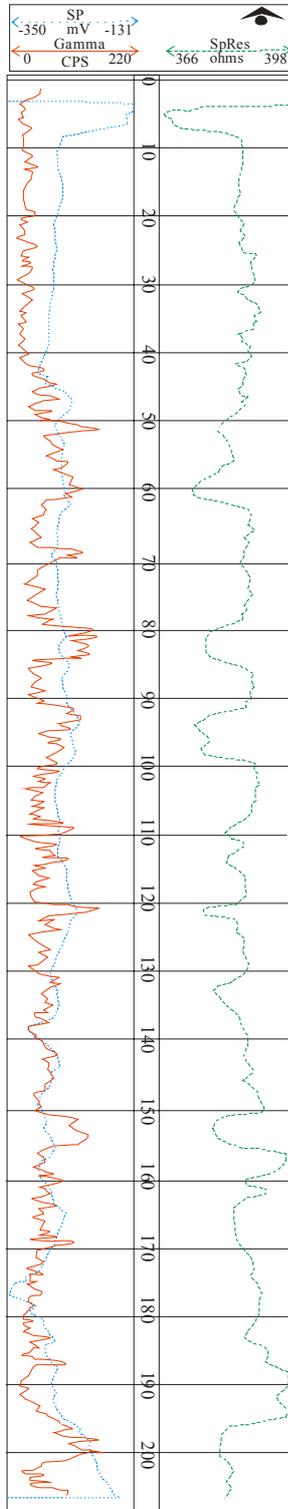
ANEXO II
PERFIS GEOFÍSICOS ESTUDADOS



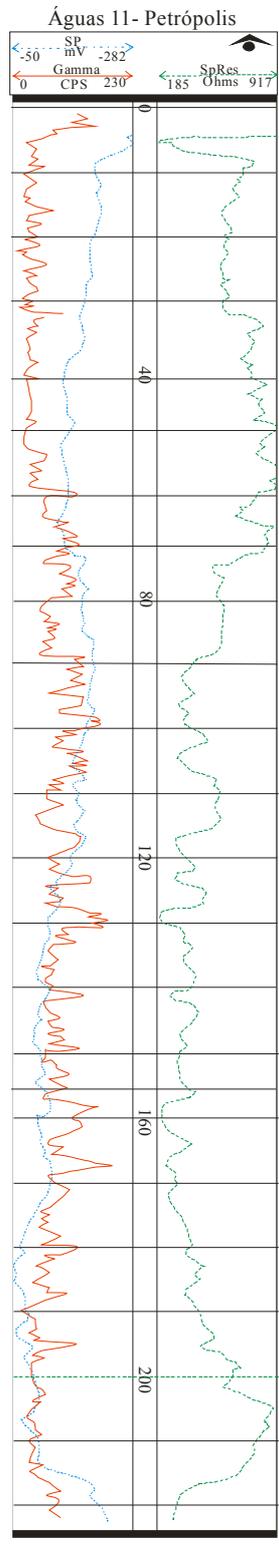
Localização - Bairro Cidade Nova I
 Perfil geofísico - Águas 06 - Ribeiro Junior
 Legenda

- ←→ Perfil de Raios Gama
- ←→ Perfil de Potencial Espontâneo
- ←→ Perfil de Eletroresistividade

Águas 10 - Conjunto Boas Novas



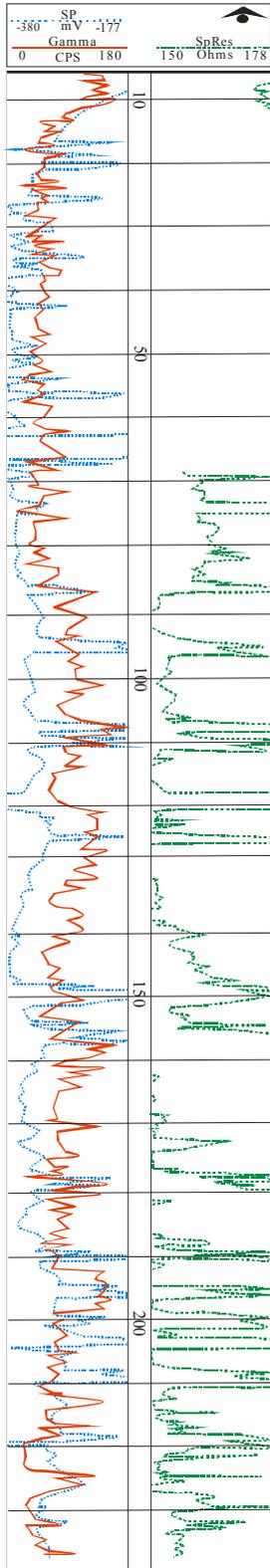
Localização - Bairro Cidade Nova
Perfil geofísico - Águas 10 - Conj. Boas Novas
Legenda
←→ Perfil de Raios Gama
←→ Perfil de Potencial Espontâneo
←→ Perfil de Eletroresistividade



Localização - Bairro Petrópolis
 Perfil geofísico - Águas 11 - Petrópolis
 Legenda

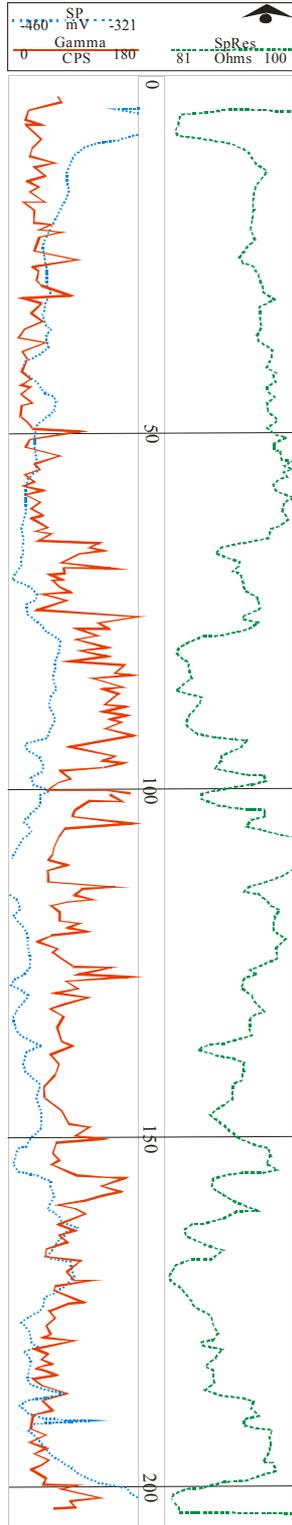
- ←→ Perfil de Raios Gama
- ←→ Perfil de Potencial Espontâneo
- ←→ Perfil de Eletroresistividade

Águas 12 - Bola do Coroado



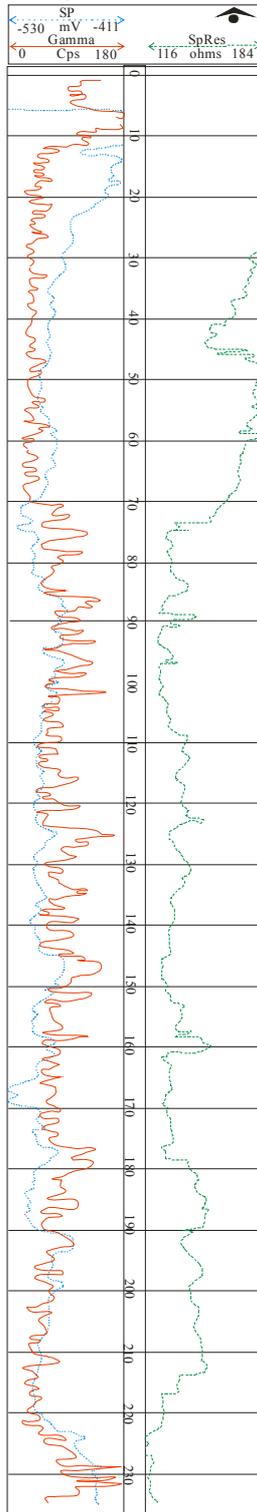
Localização - Bairro Coroado I
Perfil geofísico - Águas 12 - Bola do Coroado
Legenda
— Perfil de Raios Gama
- - - Perfil de Potencial Espontâneo
· · · · · Perfil de Eletroresistividade

Águas 17 - Beija Flor II



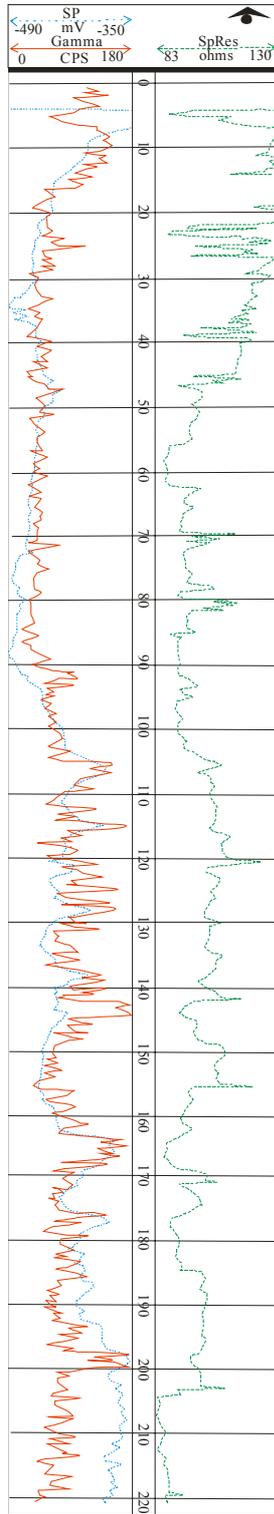
Localização - Bairro Cidade Nova I
Perfil geofísico - Águas 17 - Conj. Beija Flor
Legenda
←→ Perfil de Raios Gama
←→ Perfil de Potencial Espontâneo
←→ Perfil de Eletroresistividade

Águas 03 - Santa Etelvina



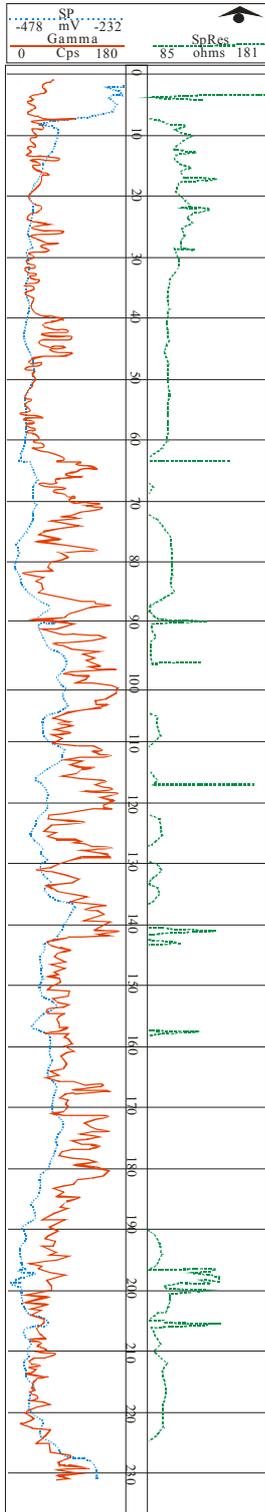
Localização - Bairro Santa Etelvina
 Perfil geofísico - Águas 03 - Santa Etelvina
 Legenda
 ← Perfil de Raios Gama
 ← Perfil de Potencial Espontâneo
 ← Perfil de Eletroresistividade

Águas 07 - Mutirão - Rua 48



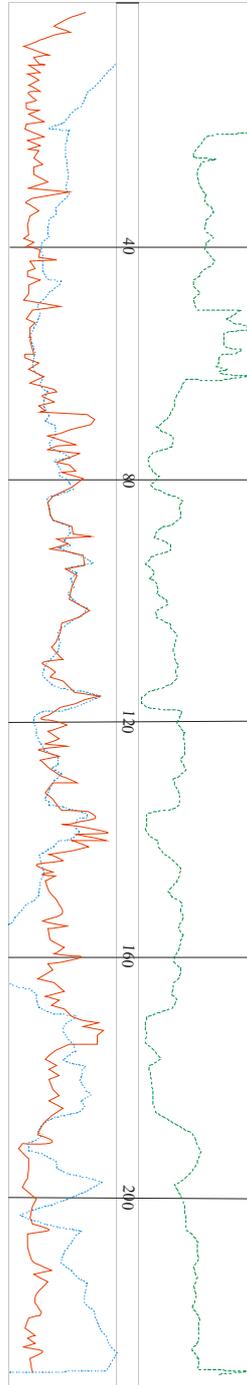
Localização - Bairro Mutirão
Perfil geofísico - Águas 07 - Mutirão Rua 48
Legenda
←→ Perfil de Raios Gama
←→ Perfil de Potencial Espontâneo
←→ Perfil de Eletroresistividade

Águas 08 - Nova Floresta



Localização - Bairro Nova Floresta
Perfil geofísico - Águas 08 - Rua das Pérolas
Legenda
— Perfil de Raios Gama
- - - Perfil de Potencial Espontâneo
... Perfil de Eletroresistividade

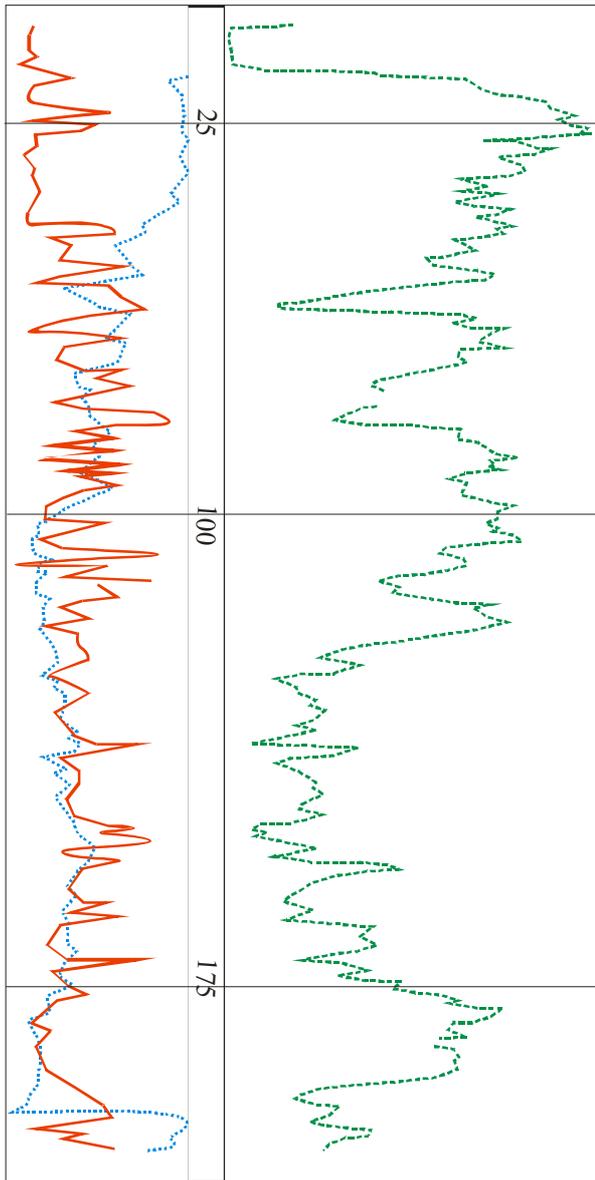
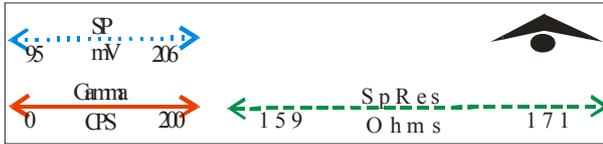
Águas 18 - Coroado III



Localização - Bairro Coroado III
Perfil geofísico - Águas 18 - Coroado III
Legenda

- ←→ Perfil de Raios Gama
- ←→ Perfil de Potencial Espontâneo
- ←→ Perfil de Eletroresistividade

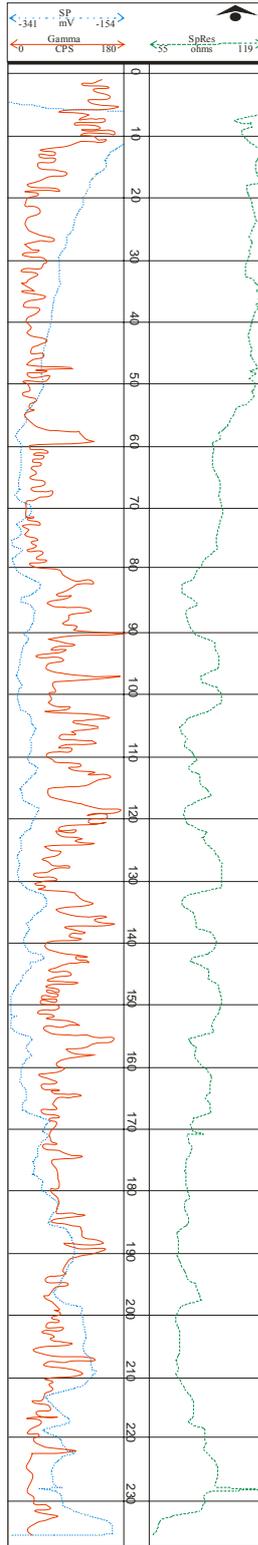
Águas 23 - Grande Vitória



Localização - Bairro Grande Vitória
Perfil geofísico - Águas 23 - Grande Vitória
Legenda

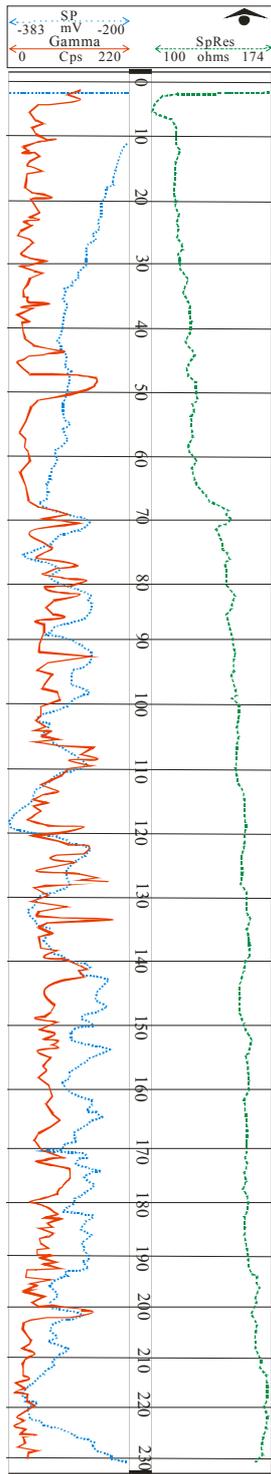
- ←→ Perfil de Raios Gama
- ←→ Perfil de Potencial Espontâneo
- ←→ Perfil de Eletroresistividade

ÁGUAS 05 - Ribeiro Junior



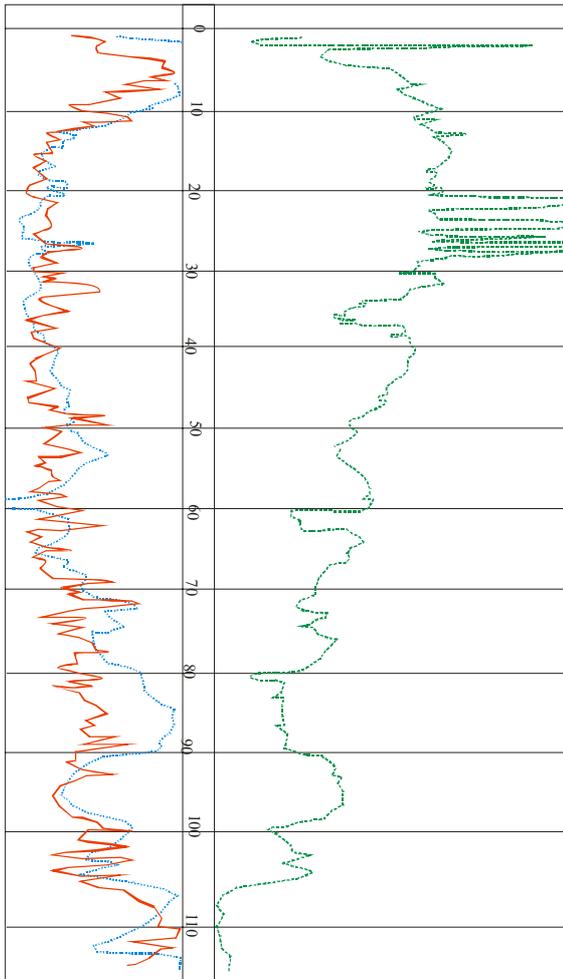
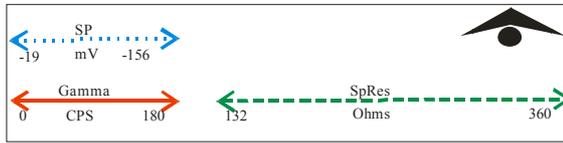
Localização - Bairro Ribeiro Junior
Perfil geofísico - Águas 05 - Ribeiro Junior
Legenda
→ Perfil de Raios Gama
← Perfil de Potencial Espontâneo
← Perfil de Eletroresistividade

Águas 14 - Zumbi II



Localização - Bairro Zumbi II
Perfil geofísico - Águas 14 - Zumbi II
Legenda
←→ Perfil de Raios Gama
←→ Perfil de Potencial Espontâneo
←→ Perfil de Eletroresistividade

Esq. De Aviação



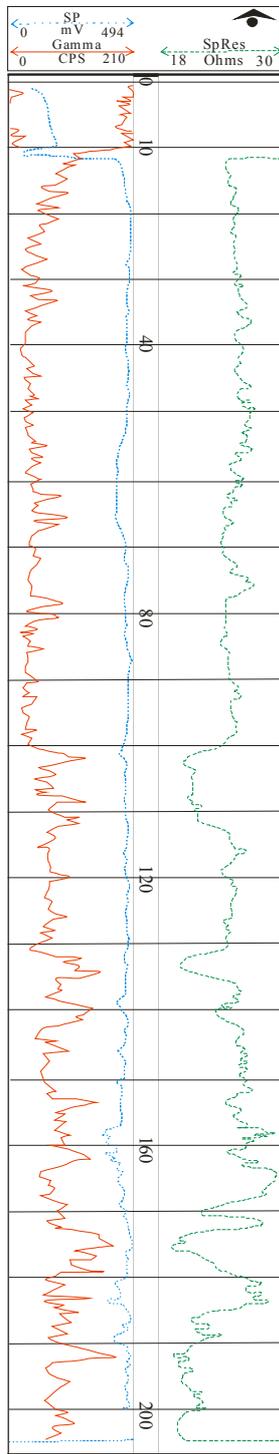
Localização - Bairro Colônia Oliveira Machado

Perfil geofísico - Esq. De Aviação

Legenda

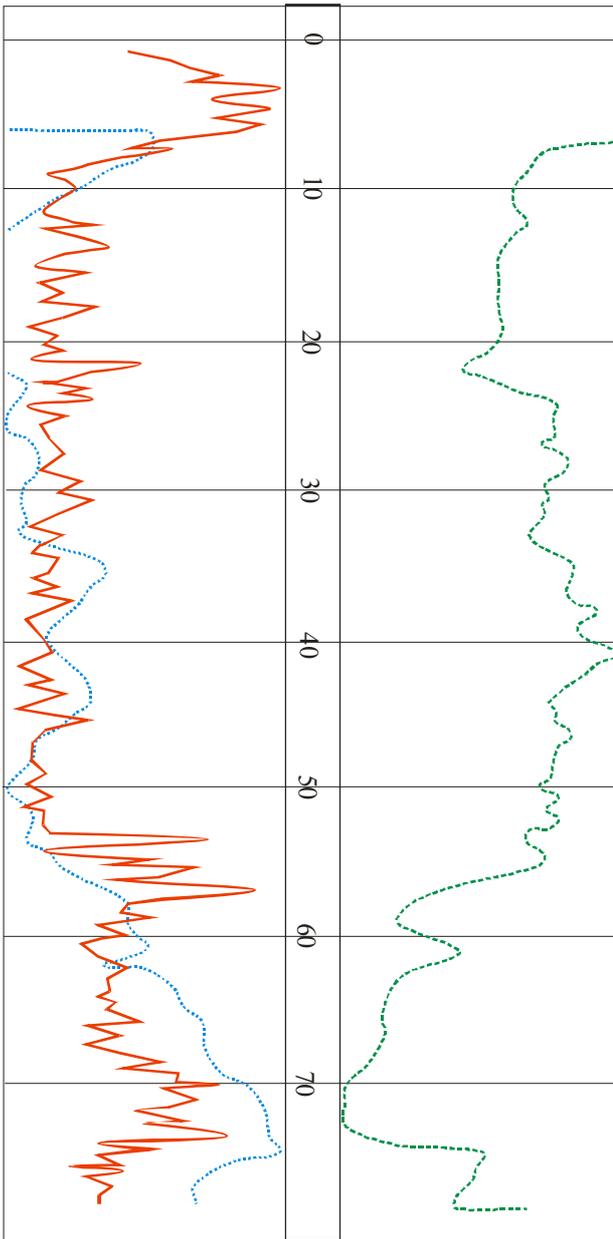
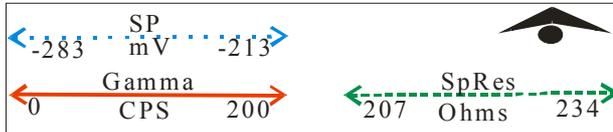
- Perfil de Raios Gama
- Perfil de Potencial Espontâneo
- - - - Perfil de Eletroresistividade

Eucatur



Localização - Bairro Cidade Nova II
Perfil geofísico - Eucatur
Legenda
←→ Perfil de Raios Gama
←---→ Perfil de Potencial Espontâneo
←...→ Perfil de Eletroresistividade

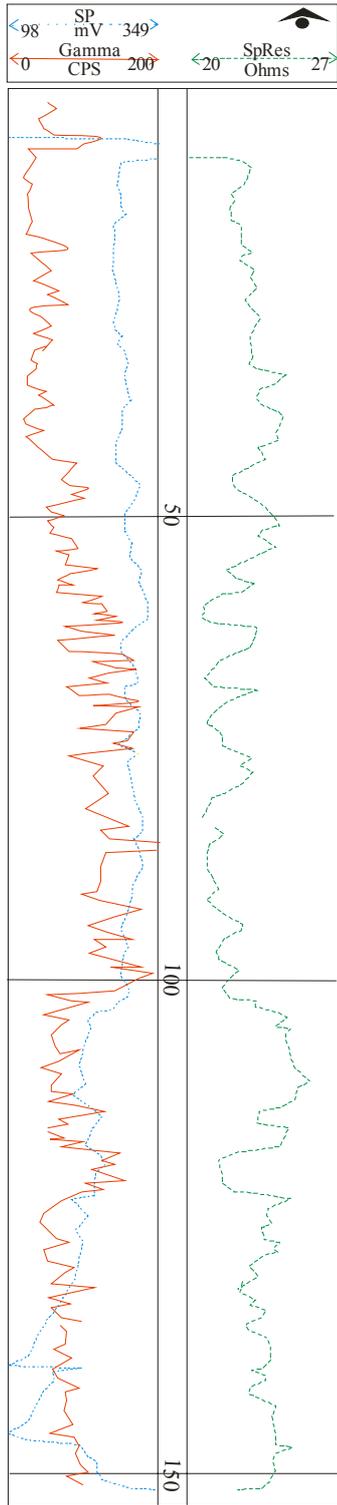
Getúlio Viana Silva



Localização - Cidade Nova I
Perfil geofísico - Getúlio Viana
Legenda

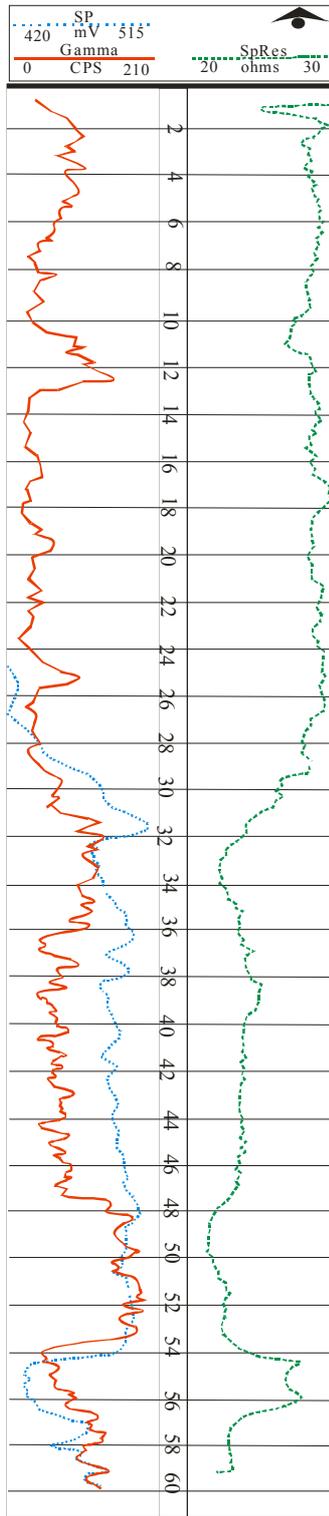
- ←→ Perfil de Raios Gama
- ←→ Perfil de Potencial Espontâneo
- ←→ Perfil de Eletroresistividade

Moto Honda



Localização - Bairro Distrito II
Perfil geofísico - Moto Honda
Legenda
→ Perfil de Raios Gama
← Perfil de Potencial Espontâneo
←→ Perfil de Eletroresistividade

Texaco - Pt01



Localização - Bairro Zumbi II

Perfil geofísico - Águas 14 - Zumbi II

Legenda

←→ Perfil de Raios Gama

←→ Perfil de Potencial Espontâneo

←→ Perfil de Eletroresistividade