

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS,  
METALÚRGICA E MATERIAIS – PPGEM**

**Breno Gorelik**

**AVALIAÇÃO DO USO DA PERFILAGEM GEOFÍSICA PARA  
RECONHECIMENTO DAS ASSINATURAS E ESTIMATIVAS DA  
QUALIDADE DO CARVÃO DOS DEPÓSITOS DO RIO GRANDE DO SUL**

**Porto Alegre**

**2014**

**AVALIAÇÃO DO USO DA PERFILAGEM GEOFÍSICA PARA  
RECONHECIMENTO DAS ASSINATURAS E ESTIMATIVAS DA  
QUALIDADE DO CARVÃO DOS DEPÓSITOS DO RIO GRANDE DO  
SUL**

**Trabalho realizado no Laboratório de Pesquisa Mineral e Planejamento Mineiro da Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgicas e Materiais – PPGEM, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia.**

**Orientador: Prof. Dr. João Felipe Coimbra Leite Costa  
Co-orientador: Prof. Dr. Paulo Salvadorette**

**Porto Alegre  
2014**

**BRENO GORELIK**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia, área de concentração em Metalurgia Extrativa e Tecnologia Mineral e aprovada em sua forma final, pelo Orientador e pela banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação.

**Orientador: Prof. Dr. João Felipe Coimbra Leite Costa**

**Co-orientador: Prof. Dr. Paulo Salvadoretti**

**Banca Examinadora:**

**Prof. Dr. Jair Carlos Koppe**

**Dra. Vanessa Cerqueira Koppe**

**Profa. Dra. Vlândia Cristina de Souza**

**Prof. Dr. Telmo Roberto Strohaecker**

**Coordenador do PPGEM**

Aos meus pais, José e  
Paulina;

à minha esposa, Eglê,

e aos meus filhos, Tamara e Rafael, pela compreensão e amor infinito.

## **AGRADECIMENTOS**

A todos que colaboraram direta ou indiretamente na elaboração deste trabalho, o meu reconhecimento.

Aos professores João Felipe Coimbra Leite Costa e Paulo Salvadoretti, pelo estímulo, dedicação, mas principalmente pela amizade mantida por todos esses anos.

À professora Vlândia Souza, pela paciência, compreensão e valiosíssimas contribuições.

Aos colegas Luciano Barse, Felipe Setiger e demais amigos do Laboratório de Pesquisa Mineral e Planejamento Mineiro, pela grande amizade e por colaborações prestadas.

À empresa Copelmi Mineração, através do geólogo Gustavo Bastiani e dos engenheiros Adolfo Carvalho, Alexandre Grigorieff, pelo apoio na realização dos trabalhos de campo.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq), pelo auxílio financeiro.

À professora Ana Maria Xavier, da CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear), e ao professor José Túlio Moro, do SPR (Serviço de Proteção Radiológica), pelas concessões disponibilizadas.

## Resumo

O presente estudo investiga a possibilidade do uso da perfilagem geofísica de Gama Natural e Resistividade na discriminação de estratos carbonosos, em relação a outras litologias presentes em quatro depósitos de carvão localizados no Rio Grande do Sul (áreas B3, CALOMBO, CERRO e SEIVAL). Uma vez observada a possibilidade de identificação dos estratos carbonosos com estes dois perfis geofísicos apenas, fez-se uma verificação da acuracidade na determinação das espessuras das camadas de carvão e também um exame da existência de correlação entre os registros geofísicos e parâmetros de qualidade do carvão (especificamente cinzas, enxofre e voláteis). Neste contexto, as espessuras das camadas de carvão foram comparadas com as espessuras observadas em testemunhos de sondagem, sendo que o reconhecimento das assinaturas das camadas pode ser feito com boa acuracidade para todos os depósitos, exceto no depósito do Cerro, onde o sinal do carvão confunde-se arenitos, inviabilizando muitas vezes a discriminação. Os parâmetros de qualidade do carvão foram determinados por meio de análise laboratorial, para posterior comparação com as leituras de perfilagem. Os resultados mostraram uma boa correlação entre a emissão de **radiação gama natural em camadas de carvão e o teor de cinzas para os depósitos do CALOMBO e CERRO, mas uma correlação apenas razoável para os depósitos de B3 e SEIVAL**. Além disso, os resultados indicaram que não há correlação entre teor de enxofre ou voláteis e os registros geofísicos. Vale ressaltar a importância deste tipo de avaliação, especialmente quanto às espessuras de camadas de carvão no planejamento de mina de curto prazo, onde não é exequível a sondagem com recuperação de testemunhos em bancadas de lavra simultaneamente ao processo extração de carvão, em função da demora da atividade de sondagem.

**PALAVRAS-CHAVE: Perfilagem, geofísica, carvão.**

## **ABSTRACT**

This study investigates the possibility of using geophysical logging of natural gamma and resistivity in the identification of carbonaceous strata in relation to other lithologies present in four coal deposits located in Rio Grande do Sul (areas B3,CALOMBO, CERRO and SEIVAL). Once observed, the possibility of identifying carbonaceous strata with these two geophysical logs, the degree of accuracy in the determination of the thicknesses of the coal seams and the existence of correlation between the geophysical logs and coal quality parameters (specifically ash, sulfur and volatile) were determined. In this context, the thicknesses of the coal seams were compared with the thickness of the core samples recovered in the boreholes and the result showed that the recognition of the coal seam signatures can be obtained with good accuracy for all deposits except the CERRO deposit, where the coal seam signature can be confused for that of sandstone which often precludes identification. The coal quality parameters were determined by laboratory analysis and later compared with the readings from geophysical logging. The results showed good correlation between **natural gamma radiation emitted by the coal seams and the ash content in the CALOMBO and CERRO deposits but weak correlation in the B3 and SEIVAL deposits**. Furthermore, the results showed no correlation between sulfur or volatile and the geophysical data. It is worth mentioning, the importance of this type of evaluation, especially in regards to the thickness of coal seams in short term mine planning, where it is not possible to recover core samples during the coal extraction process as a result of excessive time delay with respect to core sample recovery in boreholes.

**KEYWORDS:** geophysical, profiling, coal.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Exemplo de representação gráfica de um perfil geofísico de furo de sondagem (a porção superior do furo, acima de 22m, encontra-se revestida com tubos metálicos).....	28
Figura 2.2: Outro exemplo de representação gráfica de um perfil geofísico de furo de sondagem. ....	29
Figura 2.3: Representação em formato texto de um perfil de furo de sondagem.....	30
Figura 2.4: Execução da perfilagem de um furo de sondagem (desenho ilustrativo, sem escala). (Extraído de Oliveira et al., 2005). ....	31
Figura 2.5: Resolução vertical e profundidade de investigação para uma sonda com o volume de investigação esférico (Oliveira,2005). ....	32
Figura 2.6: Resolução vertical em uma sonda com volume de investigação esférico (Oliveira,2005).....	33
Figura 2.7: Efeito do furo de sondagem (variação em suas dimensões) sobre o valor lido pela sonda (Oliveira et al., 2005).....	34
Figura 2.8: Exemplo do volume (de investigação) para obtenção da resistência (Oliveira, 2005). ....	35
Figura 2.9: Respostas de perfilagem geofísica para algumas litologias (valores em ohm-m) (Oliveira, 2005). ....	37
Figura 2.10: Diagrama esquemático do equipamento de perfilagem resistência pontual (Oliveira, 2005). ....	40
Figura 2.11: À esquerda é apresentada a distribuição dos eletrodos na sonda Guard Log e à direita é mostrado o volume de investigação. ....	40
Figura 2.12: Linhas equipotenciais e de corrente em sondas para medir resistividade com focalizadores. ....	41
Figura 2.13: Séries radioativas naturais.....	44
Figura 2.14: Sumário de respostas de perfilagem geofísica em algumas litologias medidas em API (Oliveira, 2005).....	45
Figura 2.15: Aleatoriedade das contagens (decaimentos). ....	46
Figura 2.16: Indicação do zero point. ....	48
Figura 2.17: Nivelamento da posição do ponto zero com o solo (sonda resistividade) .....	49
Figura 2.18: Caixa com valores de resistividade padrão para a calibração .....	50



Figura 2.19: Caixa com valores de resistividade acoplada à sonda de resistividade.....	50
Figura 2.20: Aumento do diâmetro causado pela capa de borracha.(a) e (b) é uma projeção da polia do guincho .....	51
Figura 2.21: Sugestão de organização dos dados coletados para arquivamento digital.....	52
Figure 3.1: Coluna litológica de dois depósitos estudados: Calombo, Cerro (da esquerda para direita). .....	55
Figura 3.2: Esboço da sonda GLOG®. ....	56
Figura 3.3: Sonda GLOG® sendo introduzida no furo de sondagem. ....	57
Figura 3.4: Exemplo do perfil obtido com a sonda GLOG®. ....	58
Figura 3.5: Exemplos de valores encontrados por perfilagem, comparados com a descrição geológica do furo B3-29. ....	60
Figura 3.6: Exemplos de valores encontrados por perfilagem e comparados com a descrição geológica do furo CAL-15. ....	61
Figura 3.7: Exemplos de valores encontrados por perfilagem, comparados com a descrição geológica do furo CRN-33. ....	62
Figura 3.8: Exemplos de valores encontrados por perfilagem e comparados com a descrição geológica do furo SVN – 15.....	62
Figura 3.9 (a) e (b): Exemplos de valores encontrados por perfilagem, sem a descrição geológica do furo CAL-14.....	63
(Obs.: Aplicou-se um deslocamento vertical nos registros de perfilagem, para melhor correlação com as amostras de sondagem). ....	63
Figura 3.10: Semelhança de assinaturas das camadas M1 e M2 com a camada I1 no mesmo perfil, dificultando o reconhecimento litológico.....	65
Figura 4.1: Perfil geológico típico observado na ÁREA B3. ....	70
Figura 4.2: Perfil geológico típico observado na Área CALOMBO. ....	74
Figura 4.3: Perfil geológico típico observado na ÁREA CERRO (Obs: o estéril que está representado com aproximadamente 3 m possui, em média, 10 m).....	77
Figura 4.4 (a) e (b): Seção Estratigráfica – Jazida de carvão Candiota/Bloco Seival .....	81
Figura 4.5: Perfuratriz Sullivan 22 usada para a execução dos furos de sondagem .....	86
Figura 4.6: Recuperação de testemunho de sondagem disposto na caixa .....	86

Figura 4.7: Trecho de uma coluna estratigráfica de um dos furos de sondagem da ÁREA B3 .....	87
Figura 4.8: Posicionamento de furos na malha de sondagem com recuperação de testemunhos na ÁREA B3 (as coordenadas UTM da figura não são reais, mas estão preservadas as distâncias relativas entre furos) .....	88
Figura 5.1: Impossibilidade de individualização das camadas A1 e A2 no furo B3 – 19 .....	91
Figura 5.2: Impossibilidade de individualização das camadas M2 e M3 (em azul, limites M2/M3 verificados em testemunho de sondagem; em vermelho, limites verificados na perfilagem geofísica. De propósito, não houve correção na profundidade).....	92
Figura 5.3: Plotagem para verificação de correlação entre registros de GN e Cz na ÁREA B3. ....	95
Figura 5.4: Plotagem para verificação de correlação entre registros de GN e S na ÁREA B3.....	95
Figura 5.5: Plotagem para verificação de correlação entre registros de GN e Voláteis na ÁREA B3.....	96
Figura 5.6: Plotagem para verificação de correlação entre registros de RES e Cz na ÁREA B3.....	96
Figura 5.7: Plotagem para verificação de correlação entre registros de RES. e S na ÁREA B3.....	97
Figura 5.8: Plotagem para verificação de correlação entre registros de RES. e Voláteis na ÁREA B3.....	97
Figura 5.9: Perfil de GN característico das camadas M1 e M2.....	98
Figura 5.10: Plotagem para verificação de correlação entre registros de GN e Cz na camada M1 da ÁREA B3. ....	99
Figura 5.11: Plotagem para verificação de correlação entre registros de GN e Cz na camada M2 da Área do B3.....	99
Figura 5.12: Plotagem para verificação de correlação entre registros de GN e Cz da camada M1 na ÁREA B3. ....	100
Figura 5.13: Plotagem para verificação de correlação entre registros de RES e Cz na camada M2 da ÁREA B3. ....	101
Figura 5.14: Plotagem para verificação de correlação entre registros de RES e Cz na camada M1 da ÁREA B3. ....	101

Figura 5.15: Plotagem para verificação de correlação entre registros de RES e Cz na camada M2 da ÁREA B3.....	102
Figura 5.16: Plotagem para verificação de correlação entre registros de GN e Cz na Área do Calombo.....	106
Figura 5.17: Plotagem para verificação de correlação entre registros de GN e S na Área do Calombo.....	107
Figura 5.18: Plotagem para verificação de correlação entre registros de GN e Voláteis na Área do Calombo .....	107
Figura 5.19: Plotagem para verificação de correlação entre registros de RES e Cz na Área do Calombo.....	108
Figura 5.20: Plotagem para verificação de correlação entre registros de RES e S na Área do Calombo.....	108
Figura 5.21: Plotagem para verificação de correlação entre registros de RES. e Voláteis na Área do Calombo.....	109
Figura 5.22: Perfil geológico típico da Área do Cerro com a camada de carvão na interface com a de arenito.....	112
Figura 5.23: Plotagem para verificação de correlação entre registros de GN e Cz na Área do Cerro.....	114
Figura 5.24: Plotagem para verificação de correlação entre registros de GN e S na Área do Cerro.....	114
Figura 5.25: Plotagem para verificação de correlação entre registros de GN e Voláteis na Área do Cerro. ....	115
Figura 5.26: Plotagem para verificação de correlação entre registros de RES e Cz na Área do Cerro.....	115
Figura 5.27: Plotagem para verificação de correlação entre registros de RES e S na Área do Cerro.....	116
Figura 5.28: Plotagem para verificação de correlação entre registros de RES e Voláteis na Área do Cerro.....	116
Figura 5.29: Plotagem para verificação de correlação entre registros de GN e Cz na Área de Seival.. ....	122
Figura 5.30: Plotagem para verificação de correlação entre registros de GN e S na Área de Seival.....	123
Figura 5.31: Plotagem para verificação de correlação entre registros de GN e Voláteis na Área de Seival.....	123

Figura 5.32: Plotagem para verificação de correlação entre registros de RES e Cz na Área de Seival.....	124
Figura 5.33: Plotagem para verificação de correlação entre registros de RES e S na Área de Seival.....	124
Figura 5.34: Plotagem para verificação de correlação entre registros de RES e Voláteis na Área de Seival.....	125
Figura 5.35: Impossibilidade de discriminar a camada de carvão S do arenito no perfil GN na Área do Cerro.....	127
Figuras B.1 a B.34: perfis dos furos B3 representados no software STRATER .....	
Figuras B.35 a B.74: perfis dos furos CAL representados no software STRAER .....	
Figuras B.75 a B.98: perfis dos furos CRN representados no software STRATER .....	
Figuras B.99 a B.120: perfis dos furos SVN representados no software STRATER .....	

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Valores de alguns parâmetros geofísicos para diferentes tipos de carvão, conforme obtido por autores diversos. Assume-se que o neutron log foi calibrado em calcário.....	27
---	----

Tabela 2.2: Exemplos de valores de resistividade em alguns minerais ou rochas (TELFORD et al., 1990). *Extraído de Hearst et al.(2000). .....	36
Tabela 2.3: Valores de resistividade médios obtidos por perfilagem geofísica na bacia carbonífera na região do município de Butiá/RS. ....	37
Tabela 2.4: Velocidades típicas de perfilagem (HOFMANN et al., 1982).....	46
Tabela 4.1: Coluna Estratigráfica da Bacia de Candiota. ....	79
Tabela 5.1: Reconhecimento dos estratos carbonosos com apoio da descrição geológica. ....	90
Tabela 5.2: Reconhecimento dos estratos carbonosos sem apoio da descrição geológica. ....	92
Tabela 5.3: Dados obtidos na perfilagem geofísica para previsão de Cinza. ....	93
Tabela 5.4: Reconhecimento dos estratos carbonosos com apoio da descrição geológica. ....	102
Tabela 5.5: Reconhecimento dos estratos carbonosos sem apoio da descrição geológica. ....	104
Tabela 5.6: Dados obtidos na perfilagem geofísica para previsão de Cinza. .....	104
Tabela 5.7: Reconhecimento dos estratos carbonosos com apoio da descrição geológica. ....	110
Tabela 5.8: Reconhecimento dos estratos carbonosos sem apoio da descrição geológica. ....	112
Tabela 5.9: Dados obtidos na perfilagem geofísica para previsão de Cinza.....	113
Tabela 5.10: Reconhecimento dos estratos carbonosos com apoio da descrição geológica. ....	117
Tabela 5.11: Reconhecimento dos estratos carbonosos sem apoio da descrição geológica em Seival. ....	119
Tabela 5.12: Dados obtidos na perfilagem geofísica para previsão de cinza em Seival. ....	120
Tabela 5.13: Estimativas para as diferenças de avaliação de espessuras no reconhecimento com apoio da descrição geológica. ....	126
Tabela 5.14: Estimativas para as diferenças de avaliação no reconhecimento sem apoio da descrição geológica. ....	126

Tabela 6.1: Matriz de correlação (R2) das respostas de GN e RES referentes aos parâmetros de qualidade dos estratos de carvão.....	134
Tabela A.1: Resultados dos ensaios furo B3 - Z1.....	134
Tabela A.2 - Resultados dos ensaios furo B3 – 29.....	134
Tabela A.3: Resultados dos ensaios furo B3 – 34.....	134
Tabela A.4: Resultados dos ensaios furo B3 - 36.....	134
Tabela A.5: Resultados dos ensaios furo B3 – 37.....	134
Tabela A.6: Resultados dos ensaios furo B3 – 38.....	135
Tabela A.7: Resultados dos ensaios furo B3 – 39.....	135
Tabela A.8: Resultados dos ensaios furo CAL – 01.....	135
Tabela A.9: Resultados dos ensaios furo CAL – 03.....	135
Tabela A.10: Resultados dos ensaios furo CAL – 06.....	135
Tabela A.11: Resultados dos ensaios furo CAL – 08.....	135
Tabela A.12: Resultados dos ensaios furo CAL – 09 .....	136
Tabela A.13: Resultados dos ensaios furo CAL – 10.....	136
Tabela A.14: Resultados dos ensaios furo CAL – 12.....	136
Tabela A.15: Resultados dos ensaios furo CAL – 13. ....	136
Tabela A.16: Resultados dos ensaios furo CAL – 14. ....	136
Tabela A.17: Resultados dos ensaios furo CAL – 15. ....	137
Tabela A.18: Resultados dos ensaios furo CAL – 16.....	137
Tabela A.19: Resultados dos ensaios furo CAL – 19. ....	137
Tabela A.20: Resultados dos ensaios furo CAL – 21. ....	137
Tabela A.21: Resultados dos ensaios furo CAL – 22. ....	137
Tabela A.22: Resultados dos ensaios furo CAL – 23. ....	137
Tabela A.23: Resultados dos ensaios furo CAL – 24. ....	137
Tabela A.24: Resultados dos ensaios furo CAL – 26. ....	138
Tabela A.25: Resultados dos ensaios furo CRN – 27.....	138
Tabela A.26: Resultados dos ensaios furo CRN – 30.....	138
Tabela A.27: Resultados dos ensaios furo CRN – 31.....	138
Tabela A.28: Resultados dos ensaios furo CRN – 32. ....	138
Tabela A.29: Resultados dos ensaios furo CRN – 33.....	138
Tabela A.30: Resultados dos ensaios furo CRN – 37.....	138
Tabela A.31: Resultados dos ensaios furo CRN – 51.....	139
Tabela A.32: Resultados dos ensaios furo CRN – 53.....	139

Tabela A.33: Resultados dos ensaios furo CRN – 56.....	139
Tabela A.34: Resultados dos ensaios furo CRN – 57.....	139
Tabela A.35: Resultados dos ensaios furo SVN – 11. ....	139
Tabela A.36: Resultados dos ensaios furo SVN – 12. ....	140
Tabela A.37: Resultados dos ensaios furo SVN – 15. ....	140
Tabela A.38: Resultados dos ensaios furo SVN – 16. ....	140
Tabela A.39: Resultados dos ensaios furo SVN – 17. ....	141
Tabela A.40: Resultados dos ensaios furo SVN – 18. ....	141
Tabela A.41: Resultados dos ensaios furo SVN – 22. ....	141
Tabela A.42: Resultados dos ensaios furo SVN – 23. ....	141
Tabela A.43: Resultados dos ensaios furo SVN – 25. ....	142
Tabela A.44: Resultados dos ensaios furo SVN – 26. ....	142
Tabela A.45: Resultados dos ensaios furo SVN – 27.....	142

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

### Abreviaturas

B3→ ÁREA B3

CAL→ Área Calombo

CI1→ Camada I1

CM→ Camada M

CS1→ Camada S1

CS2→ Camada S2

CRN→ ÁREA CERRO

Cz→ Cinza

Dif e Difer→ Diferença

E→ Estéril

g: gramas

ih→ índice de hidrogênio

Kg: quilograma

Km: quilômetro

m: metro

Pcongl→ paraconglomerado

$\rho_{esp}$  (t/m<sup>3</sup>): massa específica do material

R<sup>2</sup>→ correlação

RES→ Resistividade

S→ Enxofre

Silt→ siltito

SVN→ Área Seival

t: tonelada

V→ Voláteis



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	21
1.1 OBJETIVOS DESTA DISSERTAÇÃO.....	23
1.2 ETAPAS.....	23
1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	24
<b>2 FUNDAMENTOS DE PERFILAGEM GEOFÍSICA DE GAMA NATURAL E RESISTIVIDADE</b> .....	25
2.1 PERFILAGEM GEOFÍSICA NO CARVÃO.....	25
2.2 APRESENTAÇÃO DE UM PERFIL DE FURO DE SONDAGEM.....	27
2.3 CONCEITOS BÁSICOS.....	32
2.3.1 <b>Volume de investigação</b> .....	32
2.3.2 <b>Profundidade de investigação</b> .....	33
2.3.3 <b>Resolução vertical</b> .....	33
2.3.4 <b>Efeito do furo de sondagem</b> .....	34
2.4	PERFILAGEM ELÉTRICA.....
	354
2.4.1	<b>Resistência e resistividade</b> .....
	354
2.4.2 <b>Influência da litologia</b> .....	37
2.4.3 <b>Princípio de funcionamento das sondas de resistividade</b> .....	38
2.4.3.1 Sonda <i>single-point resistance</i> (resistência pontual).....	39
2.4.3.2 Sonda de Resistividade com focalizadores ( <i>focused-resistivity logging</i> ).....	40
2.5	PERFILAGEM NUCLEAR.....
	421
2.5.1 <b>Aspectos fundamentais</b> .....	42
2.5.1.1 Radioatividade.....	42
2.5.1.2 Radiação alfa ou partícula alfa.....	42
2.5.1.3 Radiação beta ou partícula beta.....	42
2.5.1.4 Radiação gama.....	43
2.5.2 <b>Radioatividade nas rochas</b> .....	43



4.2.2 <b>Geologia regional</b> .....	72
<b>4.2.3 Geologia da área de interesse</b> .....	72
4.3 <b>ÁREA DE ESTUDO CERRO</b> .....	
4.3.1 <b>Geologia</b> .....	74
4.3.1.1 Geologia regional e local.....	74
4.3.2 <b>Síntese Geológica da Área</b> .....	76
4.3.3 <b>Faciologia do Pacote Carbonoso</b> .....	77
4.4 <b>ÁREA DE ESTUDO SEIVAL</b> .....	78
4.4.1 <b>Geologia</b> .....	78
4.4.1.1 Geologia regional.....	78
4.4.1.2 Geologia da Bacia Sedimentar de Candiota.....	80
4.4.1.3 Geologia estrutural regional.....	83
4.4.2 <b>Geomorfologia</b> .....	84
4.4.2.1 Geomorfologia regional.....	84
4.5 <b>SONDAGENS COM RECUPERAÇÃO DE TESTEMUNHOS</b> .....	85
<b>5 - ANÁLISES DE DADOS</b> .....	89
5.1	ÁREA
B3.....	900
5.1.1 Reconhecimento dos estratos carbonosos com apoio da descrição geológica.....	90
5.1.2 <b>Reconhecimento dos estratos carbonosos sem o apoio da descrição geológica</b> .....	92
5.1.3 <b>Avaliação da correlação Gama Natural e Resistividade em relação a Cinza, Enxofre e Voláteis na ÁREA B3</b> .....	93
5.1.3.1 Correlação Gama Natural <i>versus</i> (Cinza, Enxofre e Voláteis).....	94
5.1.3.2 Correlação Resistividade <i>versus</i> (Cinza, Enxofre e Voláteis).....	96
5.1.4 Discussão de resultados para ÁREA B3.....	97
5.2 <b>ÁREA DO CALOMBO</b> .....	102
5.2.1 <b>Reconhecimento dos estratos carbonosos com apoio da descrição geológica</b> .....	102
5.2.2 <b>Reconhecimento dos estratos carbonosos sem apoio da descrição geológica</b> .....	103
5.2.3 <b>Avaliação da correlação Gama Natural e Resistividade <i>versus</i> (Cinza, Enxofre e Voláteis)</b> .....	104

5.2.3.1	Correlação de Gama Natural <i>versus</i> (Cinza, Enxofre e Voláteis).....	105
5.2.3.2	Correlação de Resistividade <i>versus</i> (Cinza, Enxofre e Voláteis).....	107
5.2.4	<b>Discussão de resultados para ÁREA do CALOMBO</b> .....	109
5.3	<b>ÁREA DO CERRO</b> .....	109
5.3.1	<b>Reconhecimento dos estratos carbonosos com apoio da descrição geológica</b> .....	110
5.3.2	<b>Reconhecimento dos estratos carbonosos sem o apoio da descrição geológica</b> .....	111
5.3.3	<b>Avaliação da correlação Gama Natural e Resistividade <i>versus</i> (Cinza, Enxofre e Voláteis)</b> .....	113
5.3.3.1	Correlação de Gama Natural <i>versus</i> (Cinza, Enxofre e Voláteis).....	114
5.3.3.2	Correlação de Resistividade <i>versus</i> (Cinza, Enxofre e Voláteis).....	115
5.3.4	Discussão de resultados para ÁREA do CERRO.....	117
5.4	<b>ÁREA DE SEIVAL</b> .....	117
5.4.1	<b>Reconhecimento dos estratos carbonosos com apoio da descrição geológica</b> .....	117
5.4.2	<b>Reconhecimento dos estratos carbonosos sem o apoio da descrição geológica</b> .....	119
5.4.3	<b>Avaliação da correlação Gama Natural e Resistividade <i>versus</i> (Cinza, Enxofre e Voláteis)</b> .....	120
5.4.3.1	Correlação de Gama Natural <i>versus</i> (Cinza, Enxofre e Voláteis).....	122
5.4.3.2	Correlação de Resistividade <i>versus</i> (Cinza, Enxofre e Voláteis).....	123
5.4.4	Discussão de resultados para a ÁREA do SEIVAL.....	125
5.5	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	125
<b>6</b>	<b>- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	129
6.1	CONCLUSÕES .....	129
6.2	RECOMENDAÇÕES PARA OS PRÓXIMOS TRABALHOS .....	131
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	132
	<b>ANEXO A – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE LABORATÓRIO MOSTRANDO OS RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS PARA DENSIDADE, CINZA, ENXOFRE E VOLÁTEIS</b> .....	134
	<b>ANEXO B - CD das figuras dos perfis no software (STRATER)</b>	

## 1 INTRODUÇÃO

A técnica de perfilagem geofísica é bastante usada na mineração de carvão, em especial, por sua capacidade de discriminar estratos carbonosos e pela potencialidade na substituição das análises laboratoriais feitas para determinados parâmetros físicos e químicos, de interesse na elaboração de projetos de lavra e beneficiamento de carvão. Análises laboratoriais são, geralmente, efetivadas a partir de amostras obtidas por sondagem rotativa com recuperação de testemunhos, enquanto que a perfilagem geofísica é executada ao longo de furos não necessariamente feitos com essa finalidade. A perfilagem registra variações de propriedades das rochas interceptadas pelos furos e, eventualmente, mostra registros que se correlacionam com as litologias presentes no depósito. Assim, nas condições adequadas, essa técnica é capaz de identificar contrastes de propriedades físicas e químicas das rochas, podendo ser usada para estimar características físicas e químicas ajudar a delinear corpos de minério.

No caso de depósitos de carvão, a perfilagem serve para delinear as interfaces carvão/estéril (Hoffman et al., 1982; Borsaru & Asfahania, 2007), auxiliando no estabelecimento da correlação estratigráfica e, eventualmente, para gerar estimativas de parâmetros de qualidade e de comportamento geomecânico. No planejamento de produção de mina no curto prazo, em virtude da impossibilidade de operacionalização da sondagem testemunhada, pode-se executar a perfilagem geofísica em furos de desmonte de rocha, como alternativa para obtenção de contatos litológicos e as demais estimativas acima citadas.

Diversos perfis geofísicos registram contrastes existentes entre carvão e os materiais estéreis adjacentes, notadamente os perfis de gama natural, resistividade, sônica, densidade e neutros (Hoffman et al., 1982; Hearst et al., 2000). Aspectos negativos quanto ao uso do de densidade e de neutros relacionam-se à necessidade de emprego de fontes radioativas nessas sondas (Cesio 137 para a densidade e Amerício – Berílio para a de neutros).

As fontes radioativas acopladas a essas sondas trazem consigo preocupações ambientais, pois sempre existe a possibilidade de aprisionamento definitivo das mesmas nos furos de sondagem e operacionais. O manuseio da fonte radioativa, portanto, requer pessoal credenciado e cuidados especiais.

O teor de cinzas de uma camada de carvão, o qual representa a porcentagem em massa do resíduo de combustão, é um exemplo de parâmetro quantitativo que pode ser previsto por perfilagem geofísica. O teor de cinzas está relacionado à composição mineralógica do carvão. A técnica de perfilagem mais utilizada na sua determinação tem sido a sonda de densidade conhecida também como gama-gama (density log). Essa foi desenvolvida industrialmente na década de 70 (Borsaru et al., 1985). A sonda de densidade gama-gama gera um perfil ao longo do furo em que é introduzida que auxilia sobremaneira na separação das camadas de carvão das dos materiais estéreis, fornecendo a massa específica das rochas pelas quais a sonda atravessa.

Conforme diversos testes ao longo dos anos em que vem sendo aplicada, a sonda de densidade gama-gama e/ou gama natural, tem sido verificado uma forte correlação entre massa do teor de cinzas em certos casos.

Segundo Kayal & Das (1981), a resistividade do carvão varia com o grau de carbonização (rank). Assim, Kayal & Das (1981) basearam seu trabalho em carvões indianos sub-betuminosos a betuminosos. Eles investigaram a existência de correlação entre teor de cinzas e os registros de gama natural ou resistividade. Os contrastes de resistividade observados em perfilagem geofísica de carvão, conforme esses estudos, seriam capazes de refletir as variações no teor de cinzas (Bond et al., 1971). No entanto, para vários depósitos, incluído os daqui do Rio Grande do Sul, isso não ocorra de forma muito clara.

Para esses autores, a resistividade aumenta com a redução do teor de cinzas presente nas camadas de carvão de um mesmo rank. Kayal & Das (1981) reconheceram, em seu trabalho, que a contagem da radiação gama natural aumenta com o aumento de folhelhos (cinzas) intercalados no carvão. Diferentemente da resistividade, a contagem gama independe da saturação de água. Baseando-se nesses fatos, eles elaboraram gráficos combinando registros de resistividade e gama natural, com a finalidade de estimar teores de cinza. Os dados provenientes das camadas de carvão apresentaram uma forte correlação entre resistividade e

gama natural: maior teor de cinzas implicava maior contagem de gama e menor resistividade.

Nos depósitos de carvão brasileiros, especificamente no Rio Grande do Sul, também se observa boa correlação entre massa específica, cinza e poder calorífico, como se verifica em relatos de aplicação do density log (Webber et al., 2006 e Webber et al., 2008). Entretanto, o uso do density log, assim como ocorre com os demais perfis, ainda não se popularizou no RS, em função de diversos fatores, entre eles o pequeno número de mineradores de carvão existentes no estado (o que leva à ausência de equipes de perfilagem que disponibilizam essa sonda). Também a inexistência de uma infra-estrutura adequada para manuseio/armazenamento de fontes radioativas nas empresas interessadas tornou-se um problema. Dessa forma, os trabalhos de perfilagem, quando executados no Brasil, fazem uso das sondas gama natural e resistividade, preferencialmente.

## 1.1 OBJETIVOS DESTA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação apresenta, como objetivo principal, investigar o uso de perfilagem geofísica de GAMA NATURAL (GN) e RESISTIVIDADE (RES) na discriminação de estratos carbonosos, em relação às demais litologias presentes em algumas áreas de interesse.

Caso exista a possibilidade de identificar os estratos carbonosos, os seguintes objetivos secundários são de interesse imediato:

- avaliar o grau de acuracidade na determinação das espessuras das camadas de carvão, inferindo também a capacidade de discriminar estratos carbonosos de pequena espessura com as sondas GN e RES nas áreas em estudo.
- verificar a existência de correlação entre registros geofísicos e os parâmetros de qualidade (cinza, enxofre e voláteis).

## 1.2 ETAPAS

A metodologia empregada para atingir os objetivos propostos foi:

- i - Estudar a perfilagem geofísica e suas aplicações;

- ii – Acompanhar campanhas de sondagem com recuperação de testemunho e posterior análise química do material recuperado, objetivando ter visão do processo como um todo, suas limitações e fontes de erro;
- iii - Realizar a perfilagem geofísica em campo;
- iv - **Estudar os registros geofísicos e observar se existem “assinaturas” características dos estratos carbonosos que permitem sua identificação;**
- v – **Estabelecer regras para a definição de espessuras das camadas de carvão, verificando as particularidades e os cuidados envolvidos nessa operação;**
- vi – **Correlacionar Gama Natural e Resistividade com os parâmetros de qualidade (cinza, enxofre e voláteis), descrevendo os cuidados necessários nessas análises.**

### 1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Os capítulos seguintes estão organizados da seguinte forma:

- O Capítulo 2 apresenta o tema perfilagem geofísica, acrescido do conceito de alguns tipos de sondas e os respectivos princípios de funcionamento.
- O Capítulo 3 trata da metodologia utilizada para aquisição, registro e reconhecimento das camadas de carvão para formação do banco de dados.
- O Capítulo 4 mostra a descrição das áreas em estudo (B3, CALOMBO, CERRO e SEIVAL) e a organização dos dados de sondagem, tais como, descrições geológicas e análises químicas.
- O Capítulo 5 versa sobre análise dos dados nos quatro depósitos.
- O Capítulo 6 apresenta as conclusões e sugestões para os próximos trabalhos.



## 2 FUNDAMENTOS DE PERFILAGEM GEOFÍSICA DE GAMA NATURAL E RESISTIVIDADE

Neste item, serão abordados, de maneira concisa, o desenvolvimento da perfilagem geofísica no carvão e sua utilização para reconhecimento imediato das camadas de carvão, bem como a existência de correlação entre dados geofísicos e os parâmetros de qualidade (cinzas e voláteis, especialmente).

### 2.1 PERFILAGEM GEOFÍSICA NO CARVÃO

Os primeiros trabalhos de perfilagem geofísica em carvão foram realizados por Conrad Schlumberger, na França, em 1928, usando-se sondas capazes de medir a resistividade das rochas (Hofmann et al., 1982).

Carvão é uma rocha que contém propriedades únicas, apresentando carbono e hidrogênio como elementos de principal interesse. O carvão pode apresentar vários *ranks* (em ordem crescente: linhito, sub-betuminos, betuminoso e antracito), dependendo do grau de solidificação da matéria orgânica original.

Carvões de baixo *rank* (p.ex. linhito) podem ter uma fração de água (em volume) tão elevada quanto 0,6; o conteúdo de água diminui com o aumento do *rank*. O antracito tem massa específica da ordem de  $1.5 \text{ g/cm}^3$ , o linhito em torno de  $1,1$  ou mesmo tão baixa quanto  $0,7 \text{ g/cm}^3$ ; o tipo betuminoso fica entre esses extremos. Carvão contém frequentemente impurezas, como sílica, alumina, óxidos de ferro e enxofre.

Conforme Hearst et al., 2000, vários perfis geofísicos são usados para identificar carvão, estabelecer o *rank* e determinar o conteúdo de cinza. Os perfis de aplicação mais comum estão relacionados a seguir. A Tabela 2.1, extraída de Hearst et al.(2000), mostra algumas respostas para diferentes *ranks* de carvão.

#### Resistividade

A alta resistividade tem sido frequentemente usada para identificação de carvão. O carvão do tipo betuminoso realmente apresenta altas resistividades, mas linhito e antracito podem mostrar valores muito baixos (Reeves, 1981). De fato, resistividades do linhito podem decrescer várias ordens de grandeza, conforme a

presença de água. Dessa forma, resistividade deve ser usada com cuidado em função da ampla faixa de variação.

### Gama Natural

A maior parte dos carvões contém pouco ou nenhum potássio e tório, e seus perfis de GN registram valores muito baixos. Entretanto, alguns carvões apresentam quantidades apreciáveis de urânio, produzindo registros anormalmente elevados de GN. Desse modo, embora uma baixa contagem de GN seja um bom indicador de carvão e uma excelente forma de distinção entre folhelhos posicionados intermediariamente, uma alta leitura de gama natural não indica necessariamente a ausência de carvão.

### Neutron

Devido à presença de hidrogênio, mesmo quando o conteúdo de água é pequeno, o carvão produz contrastes significativos em relação às outras rochas, o que é visto no neutron log através do parâmetro  $ih$  – índice de hidrogênio, um parâmetro derivado desse perfil geofísico. Isso é interpretado, na maioria desses logs, como o registro de uma litologia apresentando alta porosidade. O neutron log não é muito sensível às mudanças no conteúdo de hidrogênio, mas, se houver interesse em distinguir entre valores diferentes, sondas com pequeno espaçamento fonte-detector (da ordem de 25 cm) existem no mercado. O  $ih$  pode ser algumas vezes correlacionado com a quantidade de matéria volátil, um índice de qualidade dos carvões. Folhelhos com alto conteúdo de água também produzem alto  $ih$ , mas tais litologias podem ser distinguidas de carvão devido às altas leituras de GN.

### Densidade

O melhor diagnóstico para carvão é sua baixa massa específica (ver Tab. 2.1). Mesmo os carvões mais densos, com alto conteúdo de cinzas, ainda assim apresentam densidade abaixo de  $2\text{g/cm}^3$ . Existe a possibilidade, embora bastante incomum, de carvão apresentando alta cinza ser confundido com arenitos, calcários e dolomitos muito porosos, não radioativos. Em vista da correlação aproximadamente linear entre massa específica do carvão e conteúdo de cinzas, o *density log* é bastante usado para inferir seu conteúdo de cinzas.

## Sônico

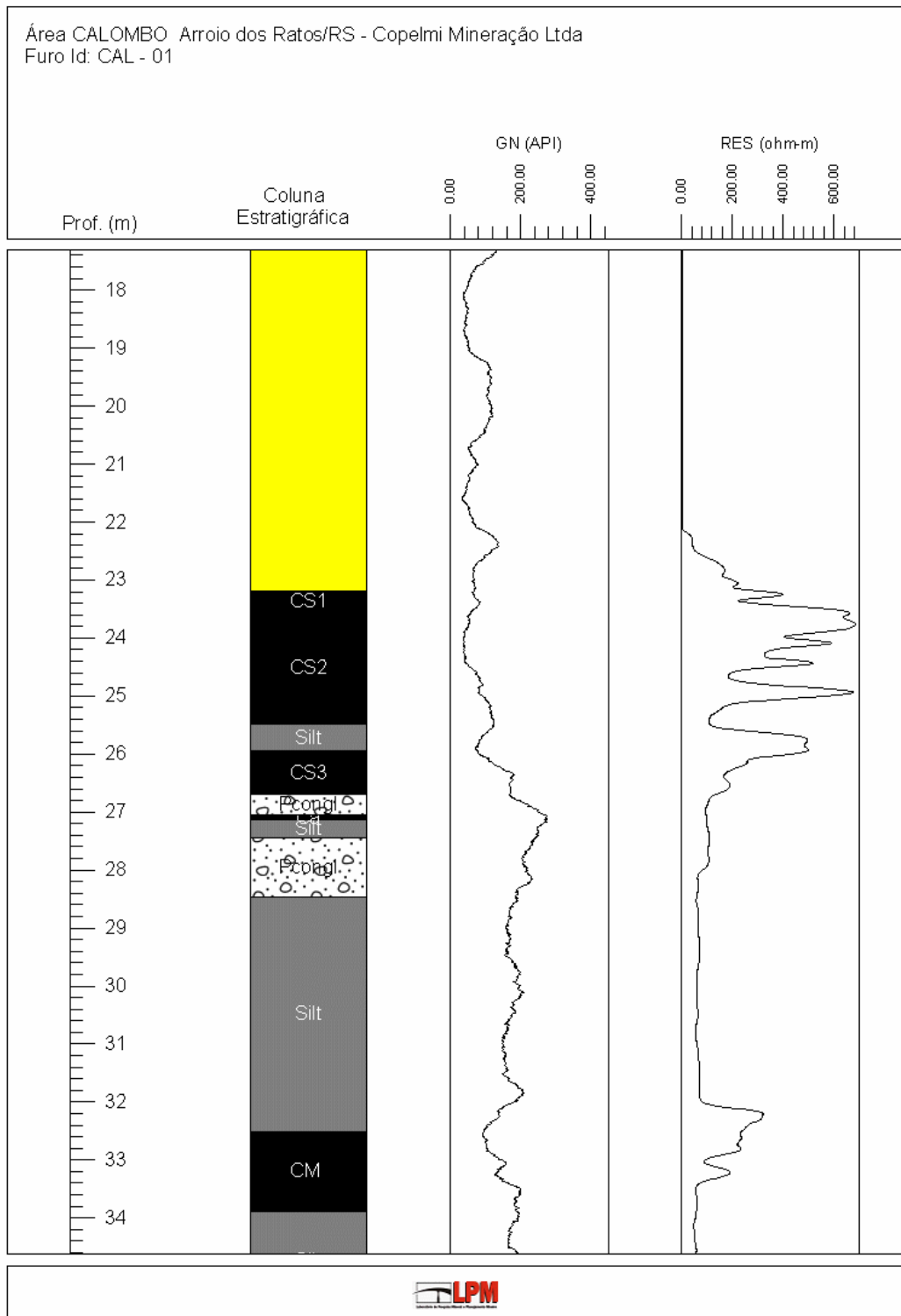
Leituras do perfil sônico (*sonic log*) apresentam baixos valores no carvão, o que pode ser usado para distinguir carvão de outras litologias. O sonic log possui também potencial para uso como indicador de *rank* (Reeves, 1981).

**Tabela 2.1: Valores de alguns parâmetros geofísicos para diferentes tipos de carvão, conforme obtido por autores diversos. Assume-se que o neutron log foi calibrado em calcário. (Extraído de Hearst et al., 2000).**

Tipo de carvão	GN (API)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Sônico (μs/ft)	Neutron (lh)	Resistividade (ohm-m)
<b>Antracito</b>	<b>10-30</b>	1.5-1.7	100-110	0.20-0.35	2-8
Antracito	-	1.4-1.8	-	-	-
Antracito	-	1.51	105	0.41	-
<b>Betuminoso</b>	<b>20-45</b>	1.2-1.4	115-127	0.35-0.45	50-200
Betuminoso	-	1.3-1.5	100-150	-	-
Betuminoso	-	1.24	-	0.5-0.6	-
<b>Sub-betuminoso</b>	<b>20</b>	1.4	128	0.62	-
<b>Linhito</b>	<b>0-25</b>	1.05-1.25	100-110	0.2-0.35	2-10000
Linhito	-	0.7-1.5	140-170	0.47-0.52	-
Linhito	-	1.23	160	0.54	-

## 2.2 APRESENTAÇÃO DE UM PERFIL DE FURO DE SONDAGEM

O perfil geofísico de um furo de sondagem é a imagem, ao longo da profundidade, de uma ou mais propriedades dos estratos geológicos atravessados pelo furo. Essas propriedades são apresentadas em formato gráfico (Figura 2.1 e Figura 2.2) no qual se observa o perfil litológico acompanhado das curvas de gama natural e resistividade. Os respectivos registros numéricos encontram-se organizados em arquivos no formato de texto (Figura 2.3).



**Figura 2.1: Exemplo de representação gráfica de um perfil geofísico de furo de sondagem (a porção superior do furo, acima de 22m, encontra-se revestida com tubos metálicos).**

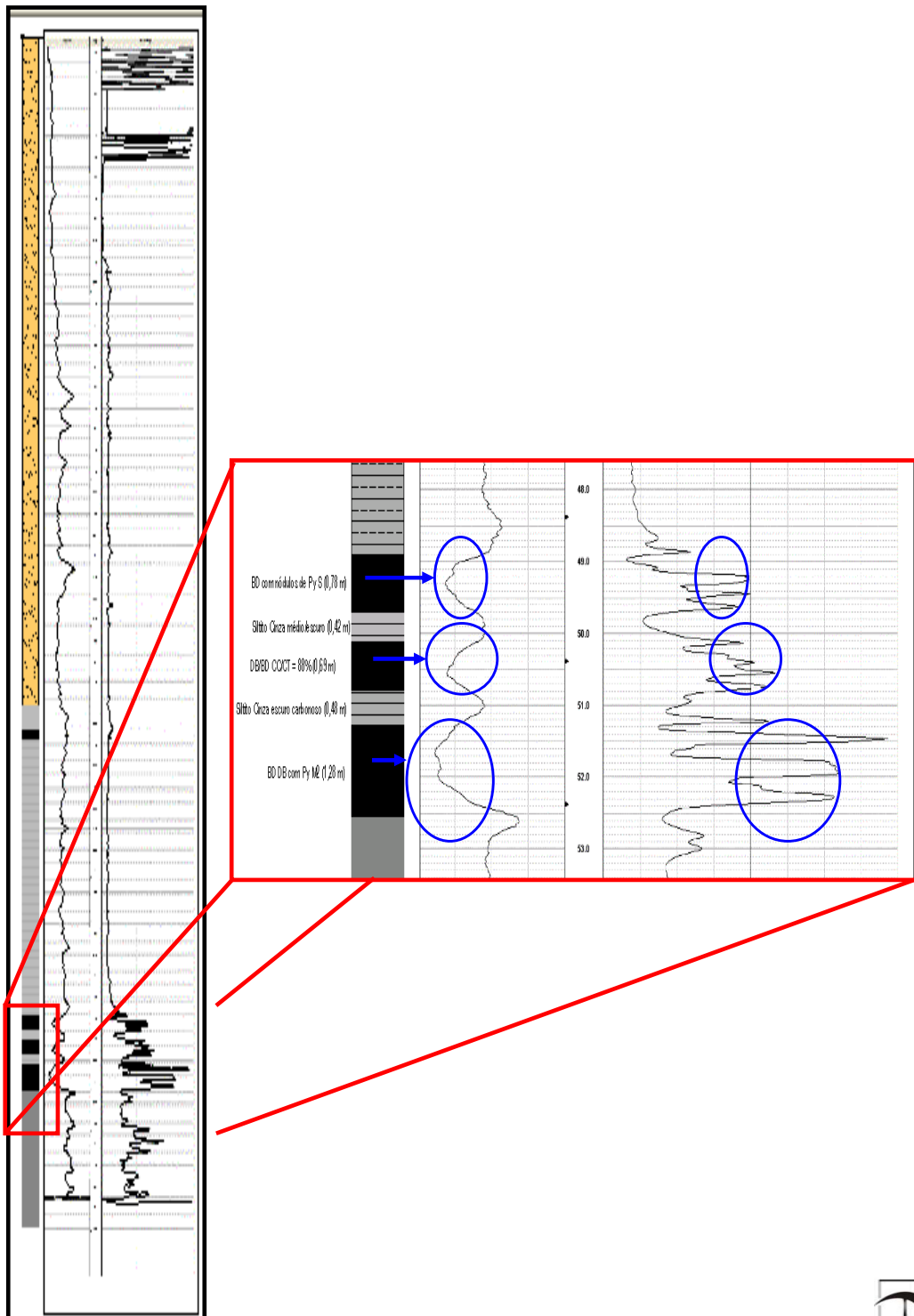


Figura 2.2: Outro exemplo de representação gráfica de um perfil geofísico de furo de sondagem.

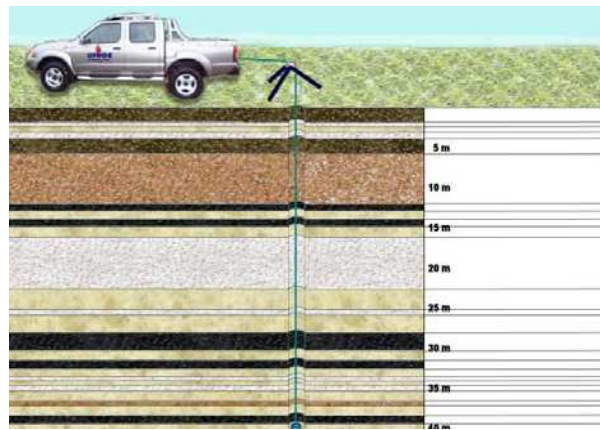
```

#written by Robertson Geologging winLogger v1.0/407
~VERSION INFORMATION
#-----
VERS. 2.0 : CWLS LOG ASCII STANDARD - VERSION 2.0
WRAP. NO : ONE LINE PER DEPTH STEP
~WELL INFORMATION
#MNE.M UNIT      DATA
#-----
STRT.M           2.7200          : START DEPTH
STOP.M           69.6000          : STOP DEPTH
STEP.M           0.0100          : STEP VALUE
NULL.           -999.2500        : NULL VALUE
COMP.            COPELMI         : COMPANY NAME
WELL.            B3 - 51         : WELL NAME
FLD.             BUTIA          : FIELD NAME
LOC.             N/A            : LOCATION
PROV.            RS             : PROVINCE
SRVC.            N/A            : SERVICE COMPANY NAME
DATE.            11 Mar 10      : DATE
UWI.             N/A            : UNIQUE WELL IDENTIFIER
~PARAMETER INFORMATION
#MNE.M UNIT      VALUE          DESCRIPTION OF MNEMONIC
#-----
~OTHER INFORMATION SECTION
#-----
~CURVE INFORMATION
#MNE.M UNIT      API CODE      CURVE DESCRIPTION
#-----
DEPTH.M          : 0          Depth
OUT0.API         : 1          Gama Natural
OUT1.Ohm-m       : 2          Resistividade
OUT2.%           : 3          Cinzas
#-----
~A  DEPTH      OUT0      OUT1      OUT2
NNNN.72      51.27      13107.00  46.74
NNNN.73      52.12      13107.00  46.90
NNNN.74      52.12      13107.00  46.90
NNNN.75      51.27      13107.00  46.74
NNNN.76      49.95      13107.00  46.49
NNNN.77      48.10      13107.00  46.14
NNNN.78      47.78      13107.00  46.08
NNNN.79      47.18      13107.00  45.96
NNNN.80      46.13      13107.00  45.76
NNNN.81      47.31      13107.00  45.99
NNNN.82      46.46      13107.00  45.83
NNNN.83      48.37      13107.00  46.19
NNNN.84      49.23      13107.00  46.35
NNNN.85      50.02      13107.00  46.50
NNNN.86      50.87      13107.00  46.67
NNNN.87      49.49      13107.00  46.40
NNNN.88      48.63      13107.00  46.24
NNNN.89      51.00      13107.00  46.69
NNNN.90      50.15      13107.00  46.53

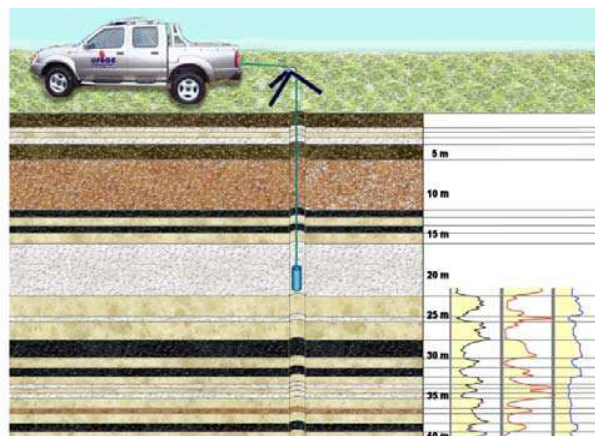
```

**Figura 2.3: Representação em formato texto dos registros de um perfil de furo de sondagem.**

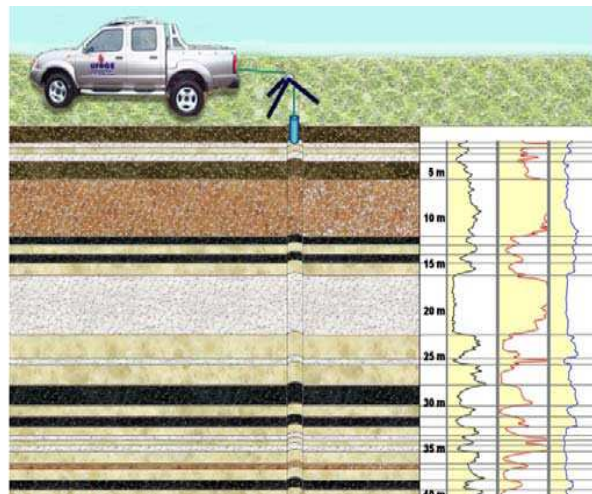
Cada perfil geofísico é coletado a partir de uma sonda que é içada ao longo do furo de sondagem, onde o parâmetro medido é registrado simultaneamente à movimentação da sonda no furo. Em uma mesma sonda, mais de um parâmetro pode ser medido. A Figura 2.4 mostra a sequência de perfilagem, inicialmente (Fig. 2.4 A) a sonda é colocada no fundo do furo, onde é obtida sua profundidade. Após o acionamento do guincho, a sonda é içada até a superfície (Fig. 2.4 B e C), medindo-se então os parâmetros geofísicos.



(A)



(B)



(C)

**Figura 2.4: Execução da perfilagem de um furo de sondagem (desenho ilustrativo, sem escala). (Extraído de Oliveira et al., 2005).**

A perfilagem em um furo de sondagem é uma prática que envolve o uso de sensores complexos, colocados no interior do furo. Com a profundidade, temperaturas e pressões começam a se tornar elevadas e suficientes para reduzir o

desempenho dos cabos, conectores e das sondas como um todo. Devido a essas condições de trabalho, os equipamentos de perfilagem geofísica devem ser de alta qualidade, resistentes e tecnologicamente capazes de medir as grandezas físicas com acuracidade.

## 2.3 CONCEITOS BÁSICOS

Alguns conceitos e definições básicas referentes à perfilagem geofísica serão discutidos a seguir.

### 2.3.1 Volume de investigação

O volume de investigação é o campo no qual o detector do equipamento de perfilagem coleta as informações para as medições dos parâmetros. O volume de investigação é relacionado com três outros conceitos básicos: profundidade de investigação, resolução vertical e efeito de furo de sondagem. A Figura 2.5 ilustra graficamente esses conceitos.

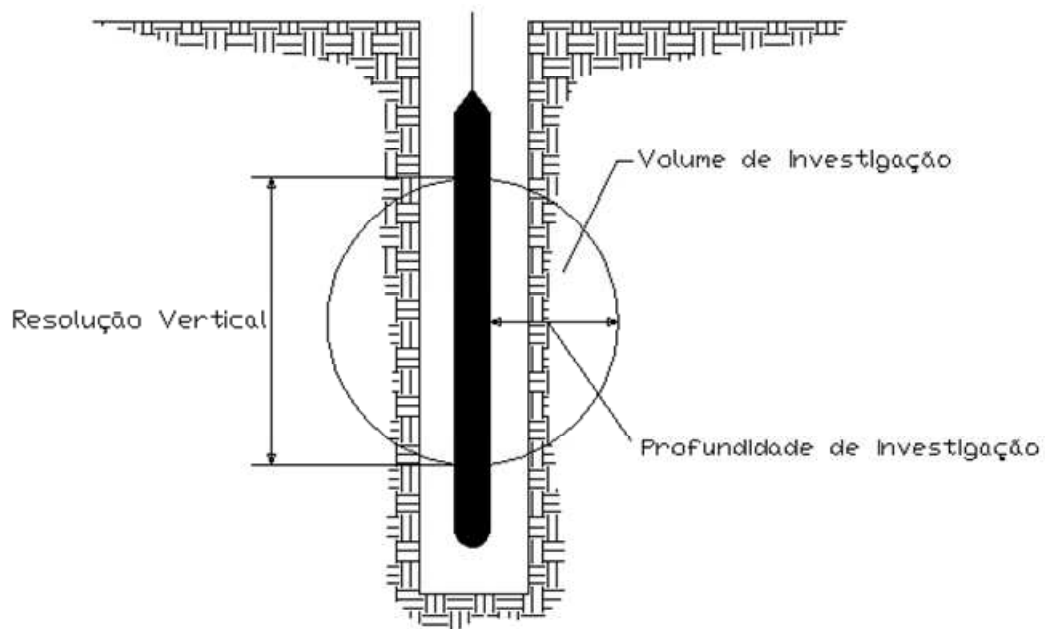


Figura 2.5: Resolução vertical e profundidade de investigação para uma sonda com o volume de investigação esférico (Oliveira,2005).



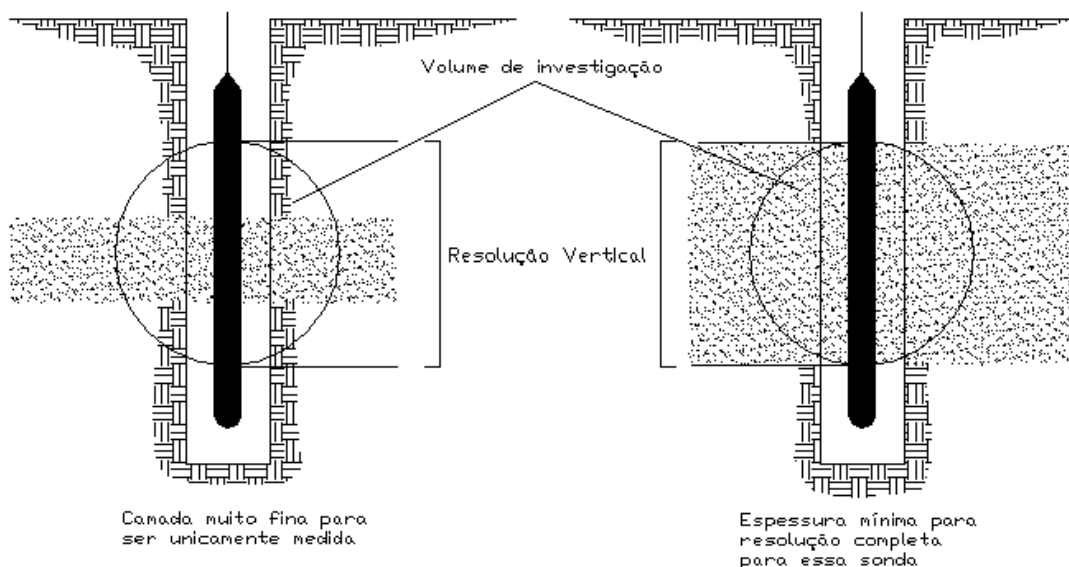
Existem diversas formas de volume de investigação: esférico, elipse, disco, cônico. A forma do volume de investigação é determinada pela maneira como foi construída a sonda. O espaçamento entre os eletrodos, em sondas elétricas, e a distância entre a fonte e receptores, nas sondas radioativas, são fatores fundamentais para definir o volume de investigação.

### 2.3.2 Profundidade de investigação

A profundidade ou raio de investigação é a extensão do volume de investigação em direção perpendicular à sonda. Os mesmos fatores que influenciam o volume de investigação também influenciam a profundidade de investigação.

### 2.3.3 Resolução vertical

A resolução vertical é a capacidade que a sonda apresenta para medir o parâmetro de uma única camada, ao invés de uma média das camadas no entorno, conforme é mostrado na Figura 2.6. Sondas capazes de medir camadas poucas espessas são chamadas de sondas de alta resolução.



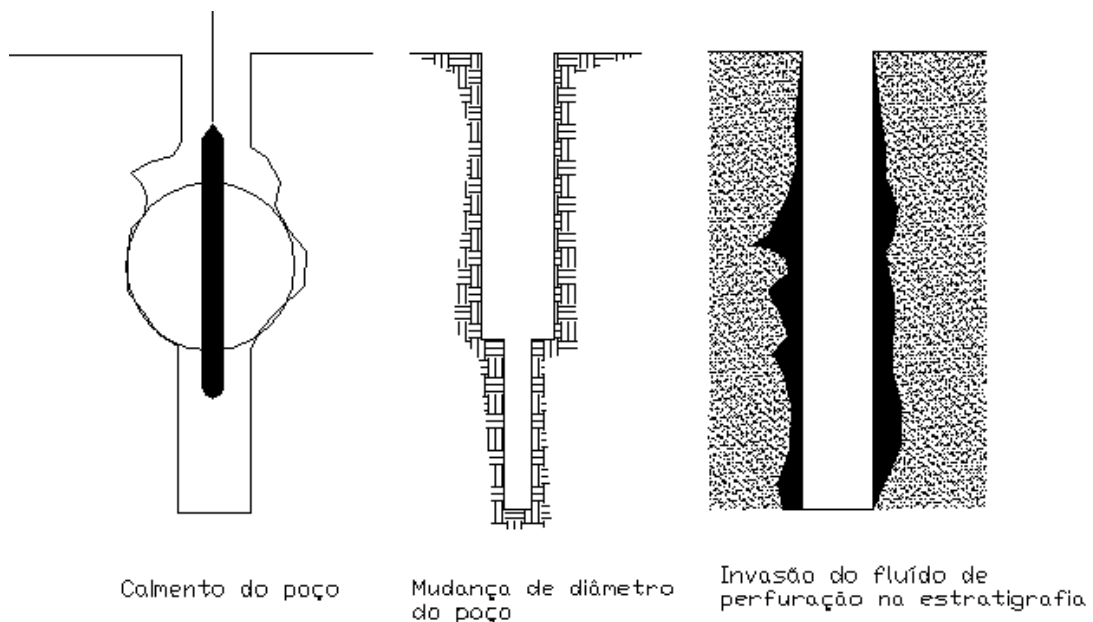
**Figura 2.6: Resolução vertical em uma sonda com volume de investigação esférico (Oliveira,2005).**

Em vista dos resultados apresentados no Capítulo 5 (Tabela 5.13 e 5.14), pode-se afirmar que a resolução da sonda utilizada para execução dos trabalhos de campo nesta dissertação está no intervalo entre 15 a 20 cm. Isso nos leva a afirmar que camadas com dimensões inferiores a 15 cm poderão ser de difícil identificação ou valores distorcidos.

Existem, porém, problemas de resolução vertical em camadas não perpendiculares à sonda. Nesses casos, o parâmetro medido tende a ser a média das leituras feitas nas várias camadas que compõem a estratigrafia no entorno do ponto medido.

### 2.3.4 Efeito do furo de sondagem

O objetivo da perfilagem geofísica é a medida de um parâmetro relacionado somente a uma litologia. Como foi visto anteriormente, o volume de investigação e a resolução vertical podem afetar a medida. Porém, as condições do furo de sondagem como mudanças de diâmetro, revestimentos e o fluido de perfuração, também, podem afetar no valor do parâmetro medido (Figura 2.7).



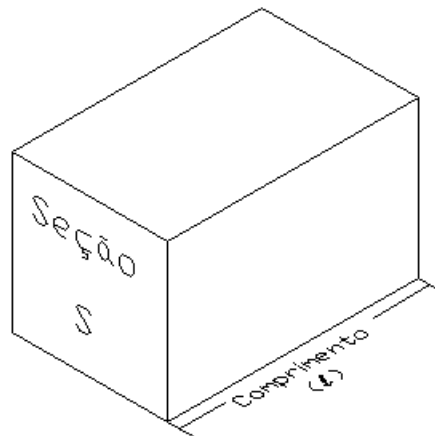
**Figura 2.7: Efeito do furo de sondagem (variação em suas dimensões) sobre o valor lido pela sonda (Oliveira et al., 2005).**

## 2.4 PERFILAGEM ELÉTRICA

A perfilagem elétrica refere-se à resposta das litologias quando percorridas por uma dada corrente elétrica.

### 2.4.1 Resistência e resistividade

Resistência e resistividade são parâmetros distintos, e, para a interpretação de um registro geofísico, essa diferença deve ser perfeitamente compreendida. A resistência de um material varia conforme o volume do material medido (Figura 2.8 e equação 2.1). Assim, quando uma corrente passa através de um fio, a resistência depende somente do comprimento total do fio. A resistência é uma medida absoluta em ohms em quaisquer condições de volume, temperatura e pressão existente no momento da medida.



**Figura 2.8: Exemplo do volume (de investigação) para obtenção da resistência (Oliveira, 2005).**

A equação da resistência em função da resistividade e volume do material é dada por:

$$R = \frac{\rho \times l}{S} \quad , \quad (2.1)$$

onde R é a resistência,  $\rho$  é a resistividade,  $l$  é o comprimento do material e S é a área da seção.

A resistividade de um material homogêneo medido em dadas condições de temperatura, saturação, é constante e independe do volume. Resistividade é

normalmente medida em ohms x metro e é definida como a resistência elétrica de um material quando uma corrente de 1 ampere é aplicada em 1 metro de comprimento de material de seção de 1 metro quadrado, nas condições normais de temperatura e pressão (Hofmann et al., 1982).

Na Tabela 2.1, são apresentados valores de resistividades (Telford et al., 1990). A partir dessa tabela, pode se concluir que, com apenas um único parâmetro, não é possível identificar o tipo de litologia.

**Tabela 2.2: Exemplos de valores de resistividade em alguns minerais ou rochas (Telford et al., 1990). \*Extraído de Hearst et al.(2000).**

<b>Mineral / Rocha</b>	<b>Resistividade (variação ou valor médio em ohm-m)</b>
Bauxita	200 – 6000
Pirita*	0.0001 – 1
Água superficial (doce)	10 – 100
Água do mar	0,2
Grafita	$10^4 - 5 \times 10^3$
Granito porfírico (saturado)	$4,5 \times 10^3$
Diabasio	$20 - 5 \times 10^7$
Basalto	$10 - 1,3 \times 10^7$
Xisto	$20 \times 10^4$
Gnaisse	$3 \times 10^6$
Quartzito	$10 - 2 \times 10^8$
Argilas consolidadas	$20 - 2 \times 10^3$
Argilas inconsolidadas (úmidas)	20
Conglomerados	$2 \times 10^3 - 10^4$
Arenito	$1 - 6,4 \times 10^8$
Calcário	$50 \times 10^7$

Alguns valores de resistividade medidos na bacia carbonífera na região do município de Butiá/RS encontram-se na Tabela 2.3. Pode-se observar a grande diferença entre silito e carvão no parâmetro resistividade; as duas litologias ocorrem quase sempre juntas naquela bacia carbonífera. Podem-se também observar, na Figura 2.9, diversas litologias comuns em bacias carboníferas, com os respectivos intervalos de resposta no parâmetro resistividade.

**Tabela 2.3: Valores de resistividade médios obtidos por perfilagem geofísica na bacia carbonífera na região do município de Butiá/RS.**

<b>Mineral / Rocha</b>	<b>Resistividade (variação ou valor médio em ohm.m)</b>
Siltito intemperizado	10
Carvão (camada S)	40
Carvão (camada I1)	70



**Figura 2.9: Respostas de perfilagem geofísica para algumas litologias (valores em ohm-m) (Oliveira, 2005).**

#### 2.4.2 Influência da litologia

Perfis de resistividade e de resistência envolvem o fluxo de corrente elétrica entre o equipamento e a estratigrafia. Dois processos controlam o fluxo de corrente: condução eletrolítica e a troca de ions. Cada litologia apresenta uma maneira de condução de corrente elétrica. A salinidade e a porosidade facilitam a condução do fluxo de corrente e reduzem a resistividade. Em rochas sedimentares clásticas, a forma, distribuição dos grãos, cimentação e a matriz também afetam o fluxo de corrente e a resistividade. Se os poros não são interligados, o fluxo de corrente é reduzido e a resistividade aumenta.

O mais importante estudo de resistividades das rochas sedimentares clásticas foi realizado por Archie (1942). Archie estabeleceu que a resistividade de uma amostra ( $\rho_o$ ) completamente saturada com água salgada é proporcional à resistividade da água salgada ( $\rho_w$ ):

$$\rho_o = F \times \rho_w, \quad (2.2)$$

onde  $\rho_o$  é a resistividade,  $\rho_w$  é a resistividade da água salgada e  $F$  é o fator de formação.

Além disso, determinando  $F$  e porosidade ( $\phi$ ) a partir de diversas amostras, Archie estabeleceu a seguinte relação:

$$F = \phi^{-m}, \quad (2.3)$$

onde o expoente  $m$  é um fator de ajuste que varia entre 1,8 a 2,0 em arenitos, porém, em areias inconsolidadas, esse valor pode chegar a 1,3. Devido a essa dependência do estado de consolidação, o expoente  $m$  é chamado de expoente de cimentação (Hearst et al., 2000).

Uma modificação realizada na equação de Archie realizada por Winsauer et al. (1952), após um estudo com amostras de arenito, introduziu a seguinte fórmula empírica:

$$F = a \times \phi^{-m}, \quad (2.4)$$

sendo  $a$  um segundo fator de ajuste.

### 2.4.3 Princípio de funcionamento das sondas de resistividade

Uma corrente elétrica gerada no equipamento é transmitida a um eletrodo simples localizado na sonda, que é chamado de eletrodo de corrente. A corrente passa entre esse eletrodo, o fluido contido no furo de sondagem e as litologias adjacentes por condução eletrônica, eletrolítica (nos fluidos) ou por trocas iônicas (nos minerais argilosos, p. ex.). A corrente aplicada no eletrodo é mantida constante. Então, a diferença de potencial elétrico entre o eletrodo de corrente e um eletrodo de referência aterrado é proporcional à soma das resistências dos materiais condutores. A resistência pode ser obtida conforme a equação desenvolvida por George Simon Ohm, lei de ohm, em 1827:

$$R = V/I, \quad (2.5)$$

onde  $V$  é a diferença de potencial (em volts),  $I$  é a corrente (em amperes) e  $R$  é a resistência (em ohms).

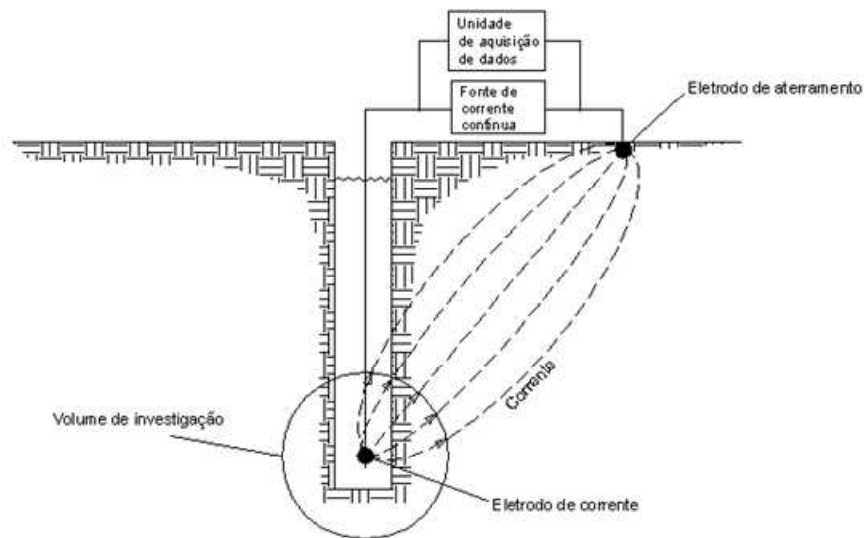
Os valores de resistência/resistividade obtidos pelas sondas são influenciados pela resistividade das rochas adjacentes à sonda, mas também pela porosidade da litologia, pela resistividade da água contida nos poros, pela

temperatura da água, pelo diâmetro e pela resistividade do fluido que preenche o furo. Quando necessário, as leituras de resistividade obtidas pelas sondas podem ser corrigidas para eliminarem-se a influência dos efeitos de diâmetro do furo, a resistividade do fluido e a temperatura. Essas correções são efetuadas através de ábacos fornecidos pelos fabricantes.

Com a evolução da técnica de resistividade, vários modelos diferentes de sondas foram desenvolvidos para medir esse parâmetro. Entre os tipos importantes de sondas de resistividade, podem-se mencionar: single-point resistance logging, normal-resistivity logging (short and long), focused-resistivity logging e micro-resistivity logging.

#### 2.4.3.1 Sonda *single-point resistance* (resistência pontual)

É o mais antigo método de obter a resistividade das litologias. O equipamento de perfilagem de resistência pontual é mostrado na Figura 2.10, onde se percebe que a sonda é provida de apenas um eletrodo de corrente. Uma corrente elétrica vinda da superfície alimentava o eletrodo; a corrente espalhava-se para a formação a partir do mesmo, retornando para a superfície e para o gerador de corrente através de um eletrodo de aterramento. O principal problema de monoeletrodos era a falta de profundidade de investigação. O tamanho do eletrodo de corrente controla a profundidade de investigação. Se o eletrodo for esférico, o volume efetivo de investigação será aproximadamente cinco vezes o diâmetro do eletrodo (Guyod, 1944b). Grosseiramente, metade da medida origina-se de uma superfície esférica na qual tem a espessura igual ao raio do eletrodo, de modo que a medida é altamente influenciada pelo fluido contido no furo de sondagem.

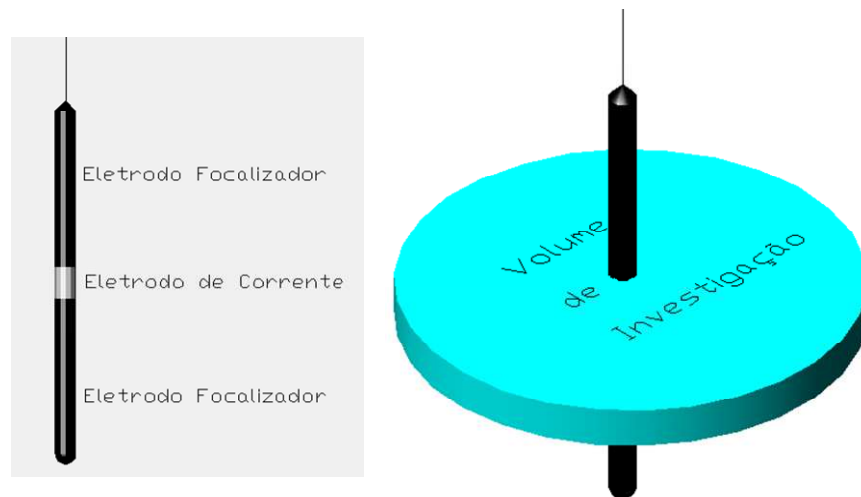


**Figura 2.10: Diagrama esquemático do equipamento de perfilagem resistividade pontual (Oliveira, 2005).**

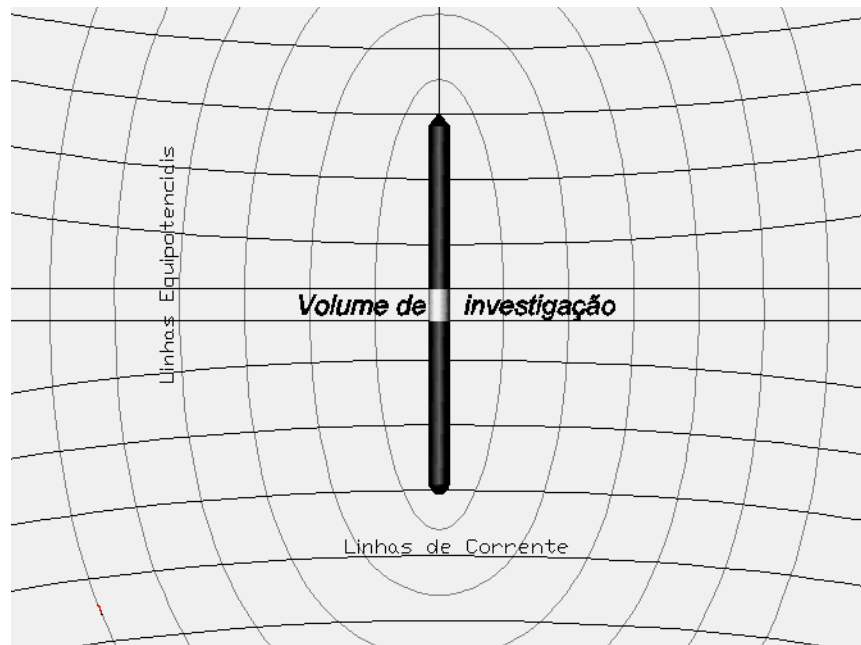
#### 2.4.3.2 Sonda de Resistividade com focalizadores (*focused-resistivity logging*)

Dispositivos focalizadores foram introduzidos para definir mais precisamente camadas pouco espessas, particularmente resistivas, e medir sua resistividade. Esse tipo de ferramenta é considerado fundamental para medir a resistividade verdadeira dos estratos, (cálculos para obtenção da resistividade verdadeira em equipamentos de perfilagem na resistividade com focalizadores é discutido em Guyod, 1951). Esses equipamentos apresentam diversas configurações de eletrodos auxiliares, denominados “eletrodos focalizadores”. Uma configuração bastante conhecida é observada em sondas do tipo Guard Log. Os equipamentos com tal configuração são providos de três eletrodos principais, eletricamente isolados entre si, sendo um localizado no centro da sonda (eletrodo de corrente) e dois eletrodos auxiliares (eletrodos focalizadores) colocados acima e abaixo do eletrodo de corrente (Figura 2.11). Uma corrente contínua é aplicada ao eletrodo central. A corrente é confinada pelos eletrodos focalizadores para que o fluxo de corrente entre o eletrodo central e a estratigrafia tenha forma de disco (Figura 2.11). Os eletrodos focalizadores são alimentados por uma tensão fornecida pelo equipamento que é idêntica ao eletrodo de corrente. Sempre que o potencial elétrico for idêntico nos três eletrodos, as distribuições das linhas de correntes e equipotenciais se apresentam conforme mostra a Figura 2.12.





**Figura 2.11:** A esquerda é apresentada a distribuição dos eletrodos na sonda Guard Log e a direita é mostrada o volume de investigação.



**Figura 2.12:** Linhas equipotenciais e de corrente em sondas para medir resistividade com focalizadores.

A aplicação atual do Guard log é grande em carvão, água subterrânea e outros minerais. Essa configuração permite que a sonda tenha excelente resolução vertical, ao mesmo tempo em que minimiza efeito do furo de sondagem. A sonda Guard Log fornece um raio de investigação de aproximadamente 3 vezes o comprimento de um eletrodo guard. Com um eletrodo de corrente de 10 cm e um guard (eletrodo focalizador) de 1m, podem-se detectar estratos desta ordem de espessura (10 cm), com um raio de investigação de aproximadamente 3m.

## 2.5 PERFILAGEM NUCLEAR

Sondas nucleares empregam processos nucleares para investigação da estratigrafia. Algumas medem o decaimento nuclear natural (perfilagem geofísica nuclear passiva), e outras utilizam uma fonte de radiação de baixa atividade (perfilagem geofísica nuclear ativa) bem como avaliam a interação entre a radiação e os átomos presentes na rocha.

Na perfilagem passiva, as emissões de radiação natural que ocorrem pelos materiais das paredes dos furos são medidas por detectores apropriados localizados na ferramenta que percorre o furo de sondagem. Na perfilagem ativa, uma fonte radioativa presa na ferramenta fornece a radiação que sofre as interações já descritas com as paredes do furo para então serem medidas por um detector preso à ferramenta.

### 2.5.1 Aspectos fundamentais

#### 2.5.1.1 Radioatividade

A radioatividade foi descoberta pelo francês Antoine Henri Becquerel em 1896, devido ao esquecimento de uma rocha de urânio sobre um filme fotográfico. Esse fato levou a uma descoberta interessante: o filme foi velado por “algo” emanado pela rocha. Comprovou-se que um núcleo muito energético, por ter excesso de partículas ou de carga elétrica, tende a estabilizar-se, emitindo algumas partículas.

#### 2.5.1.2 Radiação alfa ou partícula alfa

Um dos processos de estabilização de um núcleo com excesso de energia é o da emissão de um grupo de partículas positivas, constituídas por dois prótons e dois nêutrons (núcleos de hélio – He), e da energia a elas associada. A emissão dessas partículas é chamada de radiação alfa  $\alpha$ .

#### 2.5.1.3 Radiação beta ou partícula beta

Outra forma de estabilização, quando existe no núcleo um excesso de neutrons em relação a protons, é através da emissão de uma partícula negativa, um elétron, resultante da conversão de um nêutron em um próton. É a partícula beta ou, simplesmente, partícula beta  $\beta$ . No caso de existir excesso de cargas positivas no núcleo (protons), é emitida uma partícula beta positiva, chamada pósitron, resultante da conversão de um próton em um nêutron. Portanto, a radiação beta é constituída de partículas emitidas por um núcleo, quando da transformação de neutrons em protons (partículas beta) ou de protons em neutrons (positrons).

#### 2.5.1.4 Radiação gama

Geralmente, após a emissão de uma partícula  $\alpha$  ou  $\beta$ , o núcleo resultante desse processo, ainda com excesso de energia, procura estabilizar-se, emitindo esse excesso em forma de onda eletromagnética, da mesma natureza da luz, denominada radiação gama  $\gamma$ .

### 2.5.2 Radioatividade nas rochas

Na natureza, existem elementos radioativos que estão em desintegração desde a formação do planeta Terra. Esses elementos estão presentes no solo e nas rochas e, alguns deles, ainda continuam em desintegração. O quadro da Figura 2.13 apresenta o decaimento das séries radioativas naturais respectivas meias-vidas.

## SÉRIES RADIOATIVAS NATURAIS

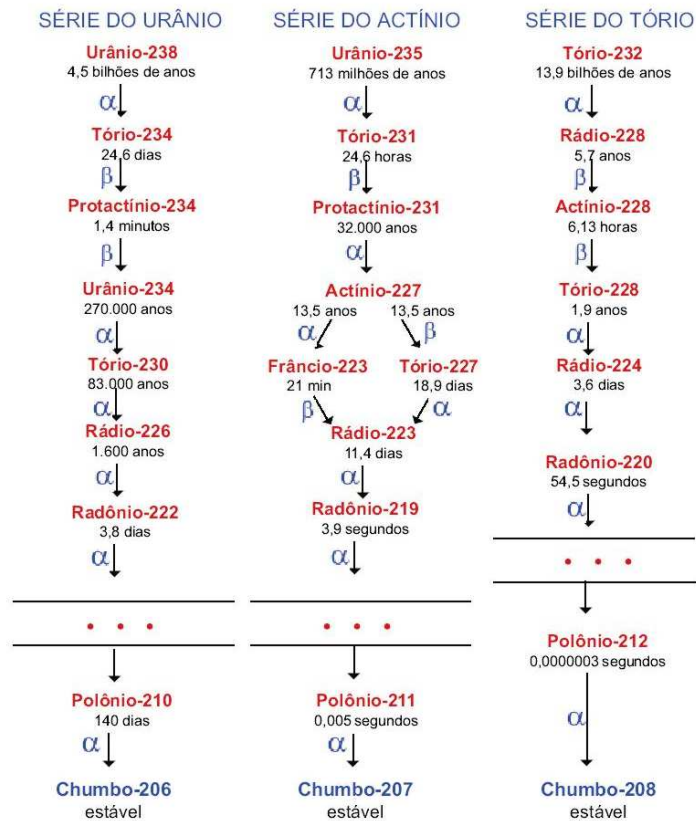


Figura 2.13: Séries radioativas naturais.

Em perfilagem geofísica, pode ser conveniente pensar em cada raio gama como um fóton ou partícula que pode ser contada por um detector. Esse tipo de sonda mede o decaimento nuclear natural da rocha perfilada.

Somente alguns elementos instáveis estão significativamente presentes em uma camada de carvão: potássio 40 (K40), urânio 238 (U238), urânio 235 (U235) e tório 232 (Th232) (Hoffman et al., 1982). Pode ser vistas, na Figura 2.14, algumas litologias com os intervalos das medidas obtidas na perfilagem geofísica no parâmetro gama natural.

Tipo de rocha		Parâmetro	Raios gama		
			0	API	150
Folhelho	Marinho				■
	Não marinho			■	
Carvão	Betuminoso	■			
	Inferior		■		
	Linhito	■			
	Antracito		■		
Arenito	Poroso		■		
	Compacto		■		
Siltito			■		
Calcáreo	Poroso	■			
	Compacto	■			

Figura 2.14: Sumário de respostas de perfilagem geofísica em algumas litologias medidas em API (Oliveira, 2005).

### 2.5.3 Removendo os efeitos estatísticos

A produção de raios gama, neutrons e de outras partículas por decaimento de um núcleo atômico instável não é uma grandeza constante mensurável. O decaimento de um núcleo é um evento randômico, o que significa que um decaimento em um dado instante pode ser diferente em outro instante. A Figura 2.15 mostra um registro geofísico onde é possível observar a aleatoriedade das contagens (decaimentos) de uma fonte de raios gama de atividade conhecida.

A natureza randômica dos decaimentos nucleares afetam os valores dos dados medidos pela sonda e os efeitos da variação estatística devem ser separados dos efeitos ocasionados referente às mudanças de litologia.

A contagem média torna-se mais representativa quanto mais longo for o período amostrado, pois, quando o número de contagens aumenta, os efeitos da variação estatística diminuem. Uma boa aproximação do erro estatístico de uma contagem para bases de tempos diferentes é obtida pela seguinte equação (Hofmann et al., 1982):

$$erro = \frac{\sqrt{\text{tempo de coleta} \times \text{contagem média}}}{\text{tempo de coleta}}, \quad (2.6)$$

A determinação do tempo de coleta e a velocidade da perfilagem é um parâmetro a ser definido pelo geofísico. O dado litológico deve ser maximizado, enquanto a variação estatística deve ser mantida em limites aceitáveis. É possível reduzir a variação estatística usando uma grande base de tempo e com baixa

velocidade de perfilagem, mas nem sempre isso é muito prático. A Tabela 2.4 apresenta velocidades apropriadas para diferentes sondas.

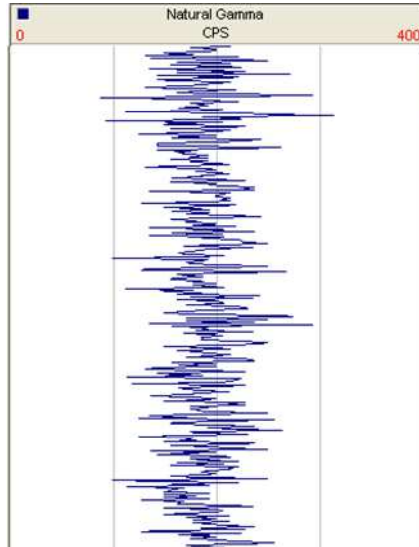


Figura 2.15: Aleatoriedade das contagens (decaimentos).

Tabela 2.4: Velocidades típicas de perfilagem (Hofmann et al., 1982).

Tipo de sonda	Velocidade geral (m/min)	Velocidade para detalhamento (m/min)
Elétrica	6 – 10	6 – 10
Radiação	3 – 10	2 – 5
Compasso de caliper	6 – 10	6 – 10
Sônica	6 – 10	6 – 10

As velocidades citadas na Tabela 2.3 são velocidades indicadas para não comprometer a qualidade dos dados coletados.

#### 2.5.4 Sonda para medição da emissão natural de raios gama

O perfil de radiação gama natural é amplamente empregado em exploração de carvão e sua principal aplicação é na identificação de litologias. Após a determinação da correlação entre o perfil e testemunhos, o perfil de radiação gama natural é uma boa ferramenta para identificação das camadas em um depósito de carvão, principalmente quando combinado com o perfil de resistividade.

A perfilagem de radiação gama natural pode ser executada tanto em furo de sondagens preenchidos com líquido ou vazio e é pouco afetado por irregularidades, fluídos de perfuração ou revestimento do furo de sondagem.

#### 2.5.4.1 Princípio de funcionamento

As sondas de perfilagem de emissão natural de raios  $\gamma$  são as mais simples das sondas nucleares, pois incluem somente um detector e não utilizam fonte radioativa. Elas detectam a radiação  $\gamma$  emitida naturalmente pela rocha. Diversos tipos de detectores podem ser utilizados nesse tipo de sonda, incluindo câmara de ionização, contadores Geiger-Müller e cintilômetros. Os cintilômetros, por serem eficientes, são os mais empregados, porém, muito frágeis (item 2.5.4.2). A profundidade de investigação, em sondas de medição de radiação gama natural, varia dependendo da densidade do material que está sendo perfilado. Em materiais densos, a profundidade de investigação diminui.

#### 2.5.4.2 Unidades de medida dos detectores

O sistema de detecção de radiação  $\gamma$  é composto por cintilômetros o qual determina o número de decaimentos por unidade de tempo (CPS – Contagens Por Segundo). Os cintilômetros são cristais de Iodeto de sódio ativado com uma pequena porção de tálio, que, quando ionizados, por partículas, emitem luz visível. A intensidade dessa luz é proporcional à energia de ionização da partícula.

A luz é detectada por um tubo foto-multiplicador, que produz um pulso com amplitude proporcional à energia da partícula detectada.

## 2.6 PROCEDIMENTOS DE CALIBRAGEM, AFERIÇÕES E DE CAMPO

Nesse item, são descritos os procedimentos de campo empregado em campanhas de perfilagem geofísica com as tecnologias disponíveis em nossa instituição.

### 2.6.1 Definição do ponto inicial (zero point)

O zero point é o ponto definido como o ponto onde inicia a coleta de dados e a medida da profundidade do furo de sondagem. O zero point é informado pelo fabricante do equipamento, tanto o valor, que normalmente é o comprimento da sonda, como a posição na sonda. É importante que o valor do zero point seja corretamente locado, pois a profundidade e o respectivo valor do parâmetro coletado dependem da correta informação do ponto zero.

É importante comentar que o zero point é sempre no encaixe do cabo do guincho com a sonda e que esse ponto independe do tipo de sonda.

A sonda utilizada apresenta a seguinte medida que define o ponto zero:

Sonda resistividade = 2,76 metros;

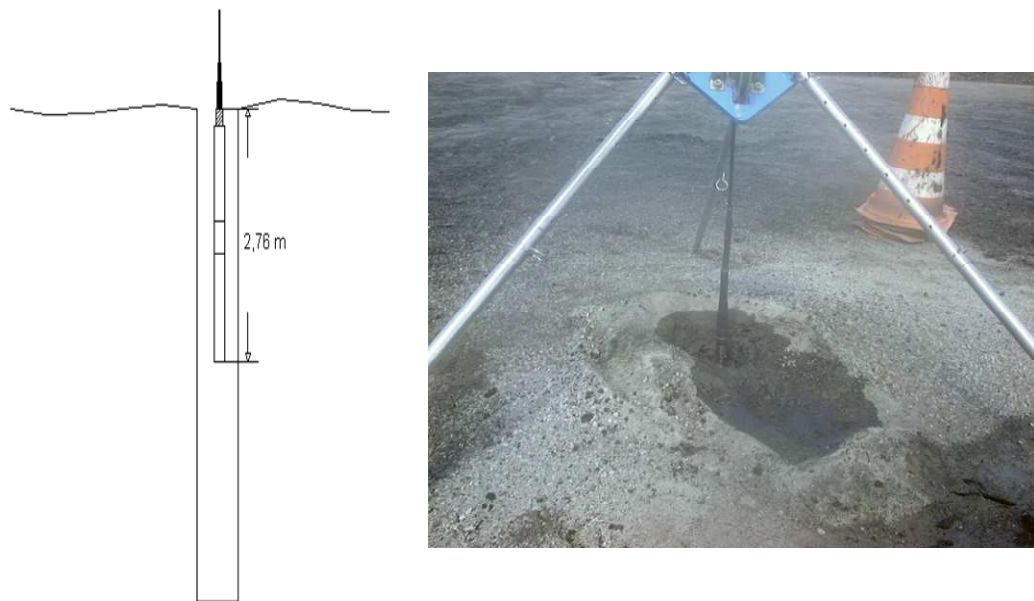
O valor citado acima deve ser informado ao equipamento conforme o tipo de sonda empregada, sempre observando a posição inicial da perfilagem (Figuras 2.16 e 2.17).



Figura 2.16: Indicação do zero point.

É importante o conhecimento da posição física do zero point na sonda, pois esse ponto deve estar sempre nivelado com o solo para iniciar a perfilagem (Figura 2.17).





**Figura 2.17: Nivelamento da posição do ponto zero com o solo (sonda resistividade).**

### **2.6.2 Aferição da sonda de resistividade**

A aferição deve ser aplicada conforme cada fabricante. A aferição normalmente é realizada com um padrão de valores conhecidos do parâmetro a ser medido (Figura 2.18). Para o caso da resistividade, existe um pequeno circuito eletrônico, composto basicamente por resistências, o qual aplica valores de resistividades conhecidos. Os valores medidos pelo equipamento devem ser os mesmos aplicados pelo padrão. É aconselhado que o procedimento de aferição seja realizado para cada dia de perfilagem.



Figura 2.18: Caixa com valores de resistividade padrão para a calibração.

Para o procedimento de calibração, os conectores devem ser acoplados nos respectivos pontos, conforme mostra a Figura a 2.19.

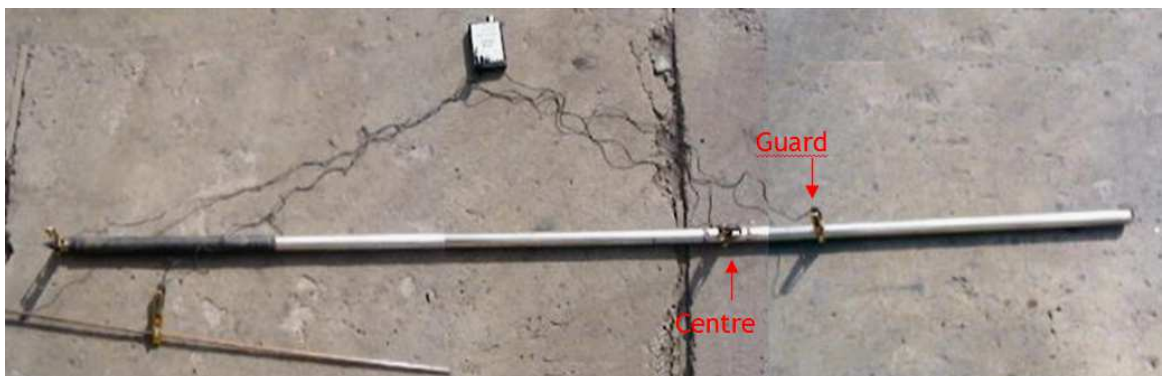


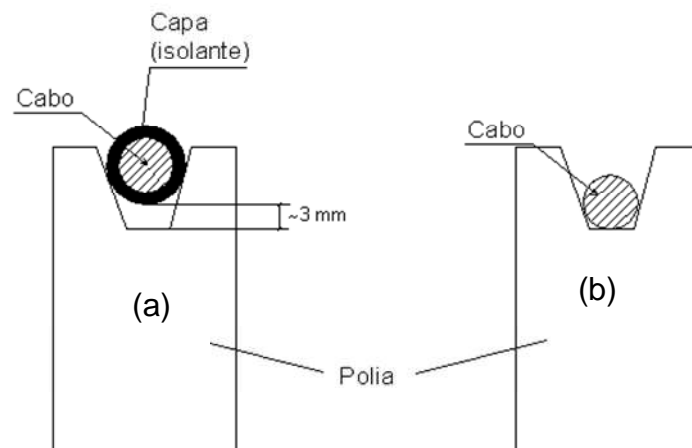
Figura 2.19: Caixa com valores de resistividade acoplada à sonda de resistividade.

O importante, no procedimento de calibração, é que os conectores *Guard* e *Centre* sejam posicionados nos pontos exatos; os dois restantes devem ser acoplados no fio terra e na extremidade da sonda onde é fixado o cabo do guincho, não havendo preferência.

### 2.6.3 Verificação da profundidade

É importante a verificação da profundidade que está sendo medida pelo equipamento de perfilagem. Sempre existe alguma diferença entre a medida do equipamento com a medida informada pela descrição geológica do furo, o que acarreta em uma discrepância entre essas profundidades. Em virtude desse fato, foram feitos ensaios de medição com o cabo de aço e guincho de movimentação das sondas de perfilagem onde se constatou, depois de diversas análises no

sistema de medição de profundidade, que existe uma diferença de aproximadamente 50cm no registro de perfilagem (as litologias mostradas na perfilagem são mostradas em torno de 50cm acima das profundidades observadas nas descrições geológicas). Tal diferença surge na parte onde o cabo de aço é revestido com borracha (10 m iniciais), devido a um aumento real de aproximadamente 3 mm no diâmetro. Com o aumento no diâmetro, não há o encaixe adequado entre o cabo e a polia que registra a profundidade [Figura 2.20 (a) e (b)].



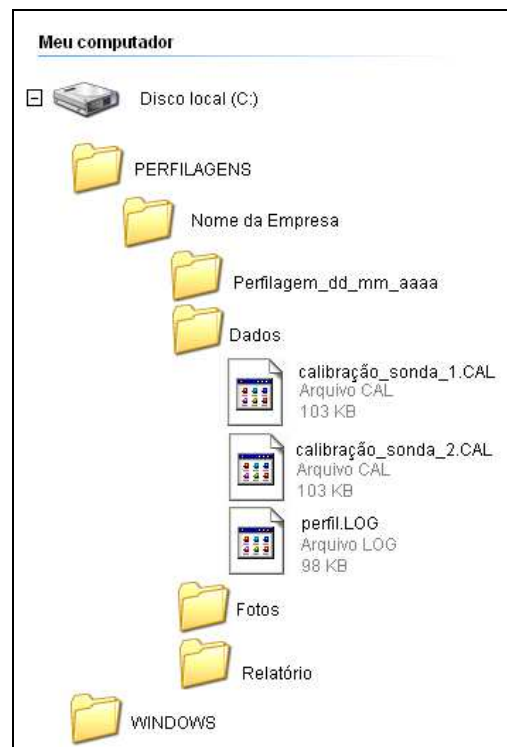
**Figura 2.20: Aumento do diâmetro causado pela capa de borracha. (a) e (b) é uma projeção da polia do guincho.**

#### 2.6.4 Arquivamento dos registros

O arquivamento dos registros deve ser realizado de maneira que qualquer usuário possa compreender e utilizar os registros geofísicos. Devem ser registradas todas as informações que possam ser importantes, como fotos e anotações de campo.

##### 2.6.4.1 Arquivamento digital

Ficam são mantidos em forma digital, raramente são impressos. Nesses casos, os arquivos devem ser dispostos de maneira que sejam facilmente compreendidos e encontrados. A Figura 2.21 abaixo faz uma sugestão de arquivamento digital.



**Figura 2.21: Sugestão de organização dos dados coletados para arquivamento digital.**

A disposição dos arquivos, conforme Figura 2.21, é apenas uma sugestão de organização dos registros geofísicos. Porém, tais documentos devem ser obrigatoriamente mantidos, junto com o arquivo do registro (perfil LOG) e os arquivos de calibração, pois são esses arquivos que mantêm os registros válidos para a época da perfilagem. As informações inerentes à perfilagem, normalmente, são preenchidas no próprio programa de aquisição dos dados.

#### 2.6.4.2 Arquivamento impresso

Os registros geofísicos na forma impressa não são tão comuns hoje em dia, apesar de serem mais fáceis de manusear. Em caso de registro impresso, é importante que o registro apresente uma folha de rosto com informações fundamentais e inerentes à interpretação dos parâmetros medidos e à localização da perfilagem.

## 2.7 DADOS COLETADOS

Para maior confiabilidade dos dados medidos, é importante que se tenha o máximo de informações sobre os equipamentos utilizados para perfilagem. Os arquivos de calibrações devem ser organizados conforme sugerido no item anterior.

### 2.7.1 Análise dos dados coletados

A identificação de litologias em perfilagem geofísica de furo de sondagem é realizada, basicamente, pelo contraste de um ou mais parâmetros físicos entre a camada de interesse e as litologias no seu entorno. Para uma definição do pacote estratigráfico, o geofísico deve ter um conhecimento prévio da área estudada. Porém, o uso exclusivo de perfilagem geofísica para definição de camada ou de outros parâmetros só pode ser realizado após um número satisfatório de correlações entre os dados geofísicos com os parâmetros obtidos por métodos diretos de amostragem.

## 2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou aspectos teóricos e princípios de funcionamento das sondas GAMA NATURAL e RESISTIVIDADE. Também foram expostos os procedimentos para a realização de calibrações e aferições com o intuito de se obter dados confiáveis por perfilagem geofísica. Posteriormente, serão apresentados alguns resultados experimentais de perfilagem geofísica em carvão. O capítulo seguinte trata de estudos de casos de perfilagem geofísica aplicada a carvão.

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 PERFILAGEM DOS FUROS**

##### **3.1.1 Campo**

O trabalho realizado no campo consistiu na perfilagem de inúmeros furos de sondagens verticais com profundidades variadas que oscilaram em um intervalo de 35 a 75 metros. Os furos interceptam as principais camadas de carvão de cada depósito (A Figura 3.1 exemplifica as colunas estratigráficas da Área do CALOMBO e do CERRO), sendo que a classificação das camadas foi feita com base na correlação estratigráfica definida pelo geólogo da COPELMI (Companhia de Pesquisa e Lavra Mineral), por meio da descrição dos testemunhos de sondagem. O reconhecimento dos litotipos está baseado na análise visual da textura, estrutura e composição dos mesmos. No caso de carvões, são descritas, detalhadamente, as características qualitativas, tais como, o conteúdo de vitrinita, seguindo o padrão da Standards Association of Australia (Anon,1993). Havendo intercalações dentro da camada de carvão, o geólogo ainda descreve quais os tipos de impurezas presentes.

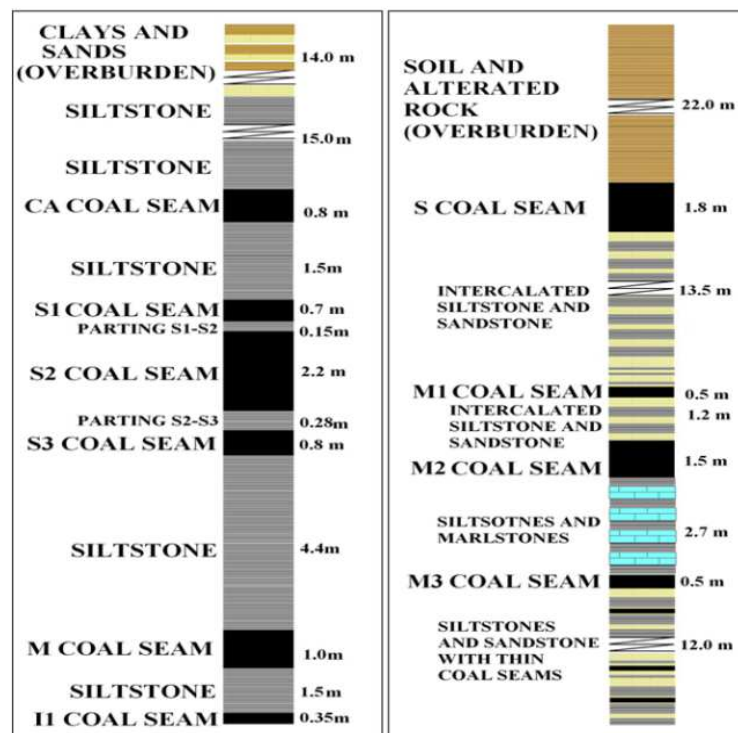


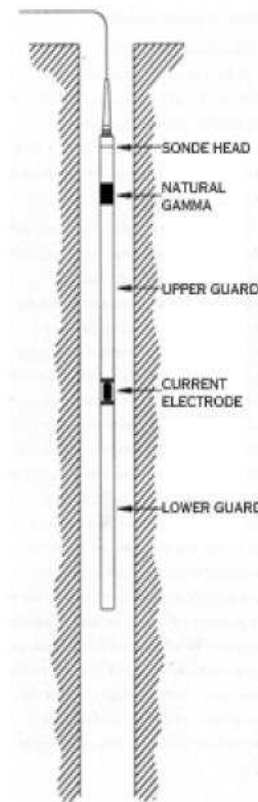
Figure 3.1: Coluna litológica de dois depósitos estudados: CALOMBO e CERRO (da esquerda para direita).

### 3.1.2 Coleta de Dados por Perfilagem Geofísica com a Sonda GLOG® - Focussed Electric Guard Log

A aplicação da perfilagem geofísica foi efetuada com a sonda GLOG® (Focussed Electric Guard Log Sonde), responsável pelo registro dos perfis de resistividade e emissão de radiação gama natural.

A sonda possui 2,82 m de comprimento, aproximadamente 8 kg, e um diâmetro de 38 mm, efetuando a medida de resistividade (RES) com o uso de focalizadores, conforme explicado no item 2.3.3.2. A medida de radiação gama natural (GN) é efetuada por um cintilômetro de Iodeto de Sódio (NaI) ativado com Tálcio (TI) (item 2.5.4.2).

Na Figura 3.2, temos um croqui da sonda GLOG®.



**Figura 3.2: Esboço da sonda GLOG®.**

Como a sonda GLOG® possui focalizadores de corrente, o seu volume de investigação tende a ter um formato de disco (Figura 2.11) com uma resolução vertical do tamanho do eletrodo de corrente (localizados entre os eletrodos focalizadores), que, de acordo com o fabricante desse equipamento, possui 10 cm de comprimento.

A aplicação da sonda GLOG® é simples e não requer cuidados especiais, pois envolve apenas pequenas cargas elétricas. A Figura 3.3 mostra a sonda GLOG® sendo introduzida no furo para a execução da perfilagem.





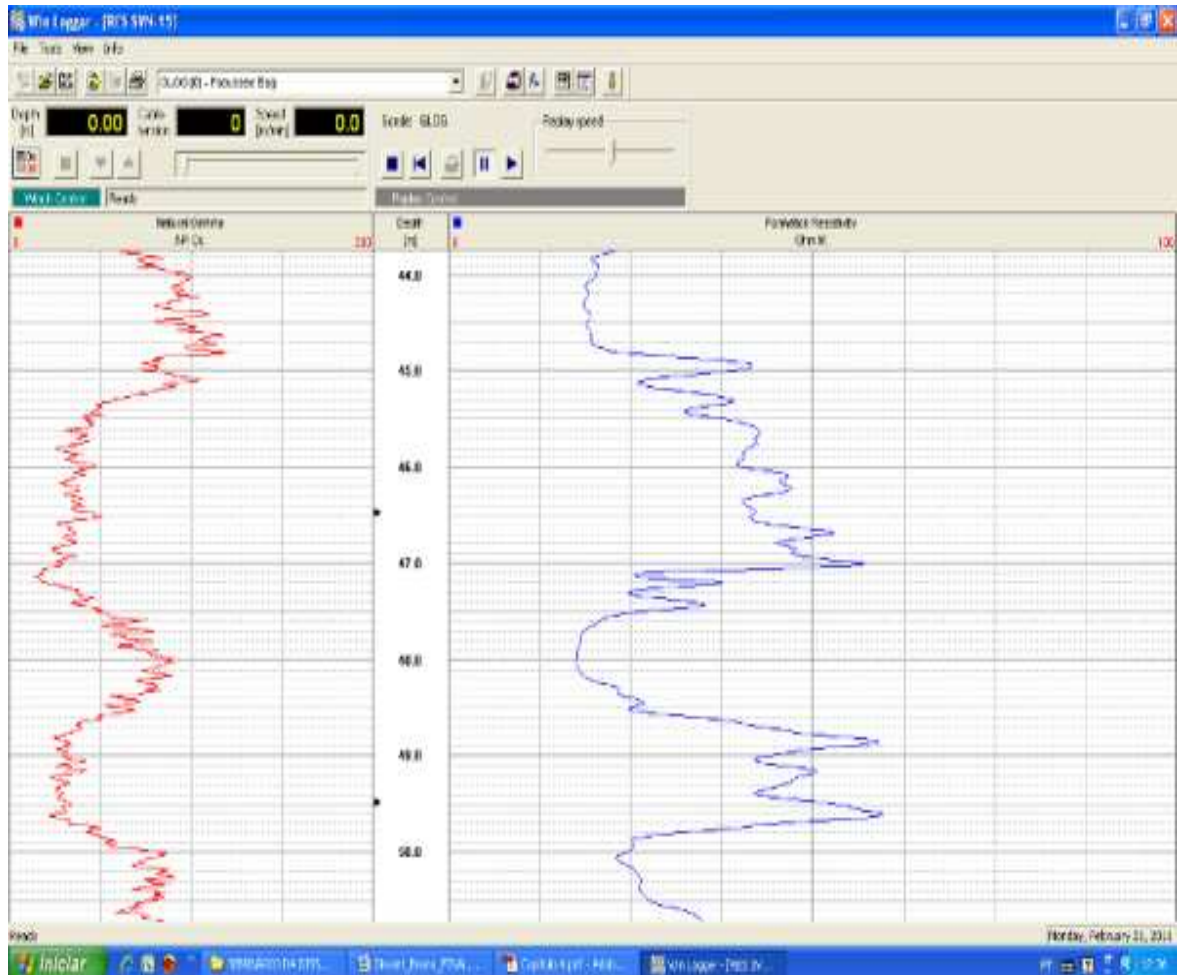
**Figura 3.3: Sonda GLOG® sendo introduzida no furo de sondagem.**

### 3.2 REGISTRO DOS DADOS

A perfilagem pode tanto ser executada no sentido da superfície para o final do furo, como ao contrário. O procedimento padrão, no entanto, consiste em posicionar a sonda no fundo do furo e, a partir daí, executar os registros até chegar-se à superfície. Os dados registrados pela sonda são enviados para uma unidade de aquisição, que os envia para um software instalado no computador.

Na Figura 3.4, têm-se os registros obtidos pela sonda. À esquerda da coluna central, que mostra a profundidade do perfil, está representada pela linha vermelha a emissão de radiação gama natural com escala em API variando de 0 a 300; à direita da coluna de profundidade, está o registro da resistividade das litologias, com escala

em ohm-m variando de 0 a 100. Essas escalas podem ser alteradas para valores que melhor visualizem as características litológicas.



**Figura 3.4: Exemplo do perfil obtido com a sonda GLOG®.**

### 3.3 TRATAMENTO DOS DADOS

O tratamento dos dados obtidos nas quatro áreas pesquisadas foi dividido em dois grupos: tratamento dos dados obtidos por sondagem com recuperação de testemunhos (ver Capítulo 4) e tratamento dos dados obtidos por perfilagem geofísica.

### 3.3.1 Dados obtidos por perfilagem geofísica

Os dados coletados nos registros de perfilagem foram interpretados visualmente na tela do computador ou, quando necessário, impressos, respeitando as diferenças nos parâmetros para cada litologia. Não foram feitas correções de diâmetro de furo e presença de fluido nos perfis geofísicos de GN e RES, de modo que se usaram os registros brutos, apenas suavizados por média móvel (10 a 15 pontos, em geral) e reposicionados por deslocamento vertical (shift) quando necessário, para melhor concordância com os testemunhos de sondagem.

**Para proporcionar confiabilidade ao trabalho de reconhecimento das assinaturas das litologias, optou-se pela análise de furos que apresentassem 100% (ou muito próximo disso) de recuperação do testemunho de sondagem.**

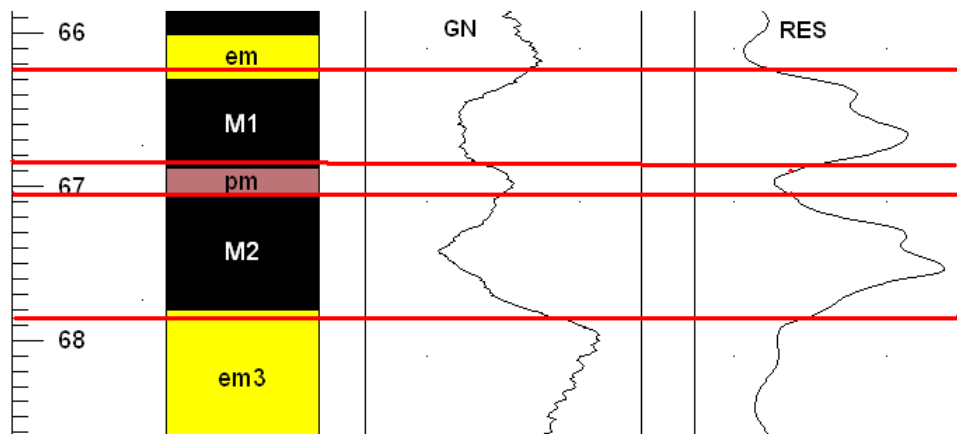
### 3.4 RECONHECIMENTOS DAS ASSINATURAS NOS PERFIS GEOFÍSICOS

Para o reconhecimento das assinaturas das camadas de carvão em cada depósito, procedeu-se de duas maneiras diferentes: a primeira usando os dados de sondagem com recuperação de testemunho para confrontar esses dados com os intervalos das camadas de carvão identificados na perfilagem. As Figuras 3.5 a 3.8 apresentam modelos de comparação de análise executados nos furos dos depósitos estudados. A segunda, mostrada nas Figuras 3.9 (a) e (b), identificando os intervalos que presumivelmente apresentavam sinais de carvão, mas sem a informação da descrição geológica. E após, confrontando com a descrição geológica para avaliar o possível erro.

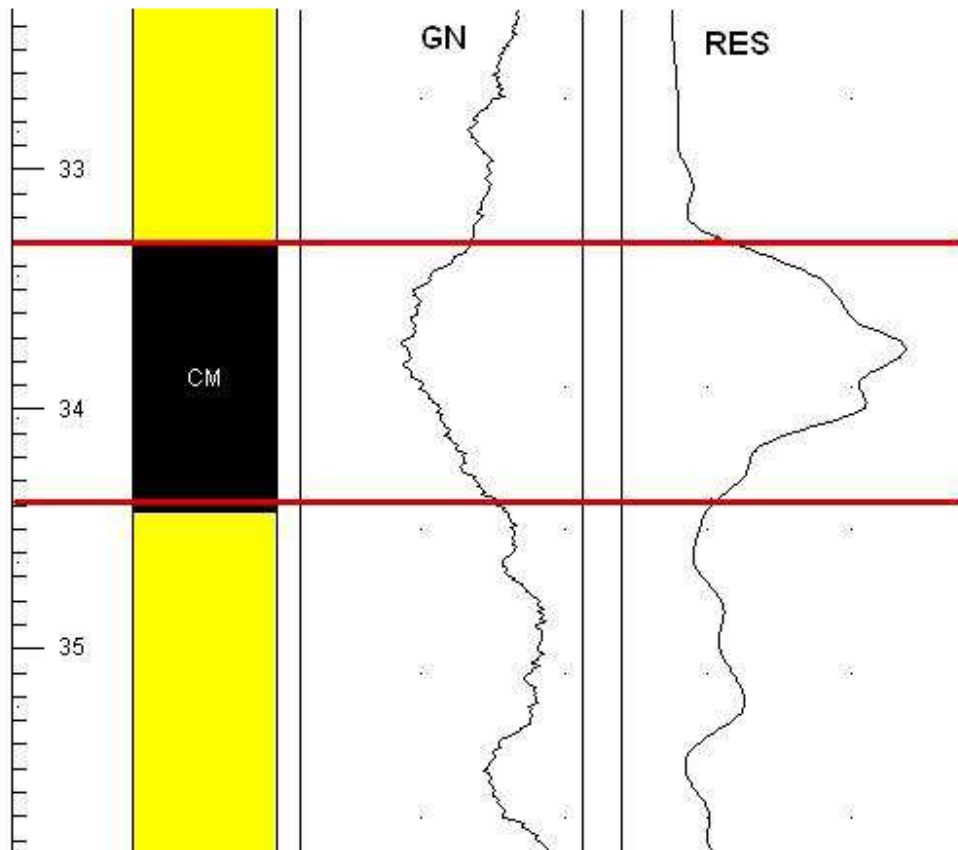
Conforme descrito no Cap.2 (item 2.6.3 - Verificação da Profundidade), existe uma diferença de profundidade entre o perfil geofísico e o perfil estratigráfico (obtido por análise de testemunhos) não constante em valores, mas de aproximadamente 0,50m, em todos os furos.

Para determinar-se, nos perfis, o início e fim das camadas de carvão, usou-se uma das possíveis metodologias descritas em Hoffman et al.(1982). Trata-se de um método baseado em testes empíricos (*ratio method*) envolvendo os perfis geofísicos e testemunhos de sondagem, no qual se estima a distância (valor da anomalia) entre a resposta do carvão e a da rocha estéril produzida em um determinado contato. Após, se designa uma fração dessa distância como sendo a

profundidade daquele contato. No caso presente, a fração designada é 20%, e foi aplicada tanto para o perfil de gama natural quanto para resistividade. Quando não houve boa coincidência entre a profundidade do contato definida por GN e por RES, usou-se o valor definido por RES, o que provou ser essa a forma de gerar as melhores estimativas de espessuras de camadas.



**Figura 3.5: Exemplo de valores encontrados por perfilagem, comparados com a descrição geológica do furo B3-29. No testemunho de sondagem, os estratos M1 e M2 possuem espessuras iguais a 0,58m (início em 66,30m e término em 66,88m) e 0,75m (início em 67,05m e término em 67,80m), respectivamente. Por perfilagem, as espessuras foram estimadas em 0,60m e 0,78m. (Obs.: aplicou-se nesta figura um deslocamento vertical nos registros de perfilagem, para melhorar a correlação com as amostras de sondagem).**



**Figura 3.6:** Exemplo de valores encontrados por perfilagem e comparados com a descrição geológica do furo CAL-15. Aplicou-se um deslocamento vertical (shift) nos registros de perfilagem, para melhor correlação com as amostras de sondagem. No testemunho de sondagem, o estrato CM possui espessura igual a 1,12m (início em 33,31m e término em 34,43m). Por perfilagem, a espessura foi estimada em 1,09m (de 33,30m a 34,39m).

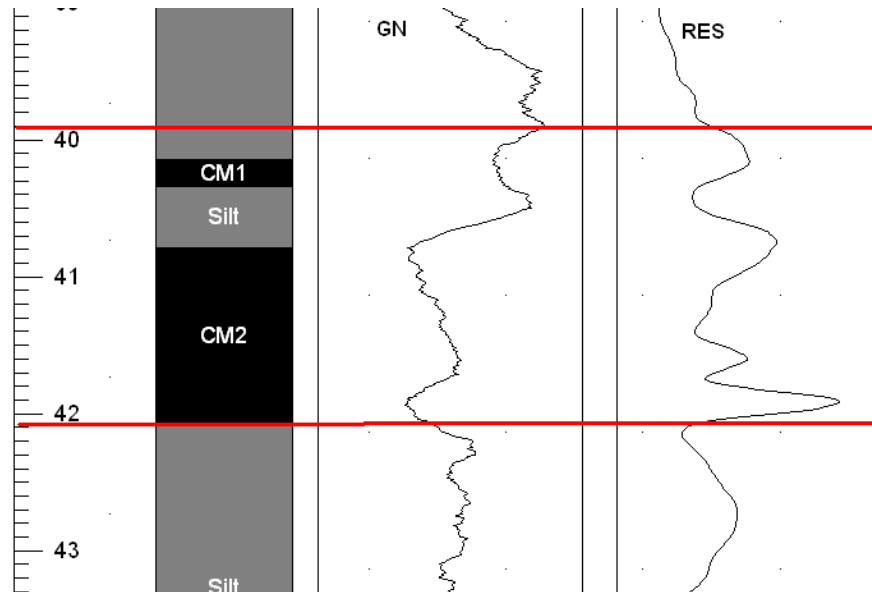


Figura 3.7: Exemplo de valores encontrados por perfilagem, comparados com a descrição geológica do furo CRN-33. No testemunho de sondagem, a soma de espessuras dos estratos M1 e M2, incluindo o siltito intermediário, resultam em uma espessura total de 1,92m (início em 40,15m e término em 42,07m). Na perfilagem, a espessura total estimada foi de 1,92m (M1: 39,50 - 39,87 = 0,37 e M2: 40,15 - 41,70 = 1,55 (Obs.1: Siltito: 39,87 - 40,15 = 28) Total M1+M2+Siltito = 2,20 (Obs.2: aplicou-se um deslocamento vertical nos registros de perfilagem, para melhor correlação com as amostras de sondagem).

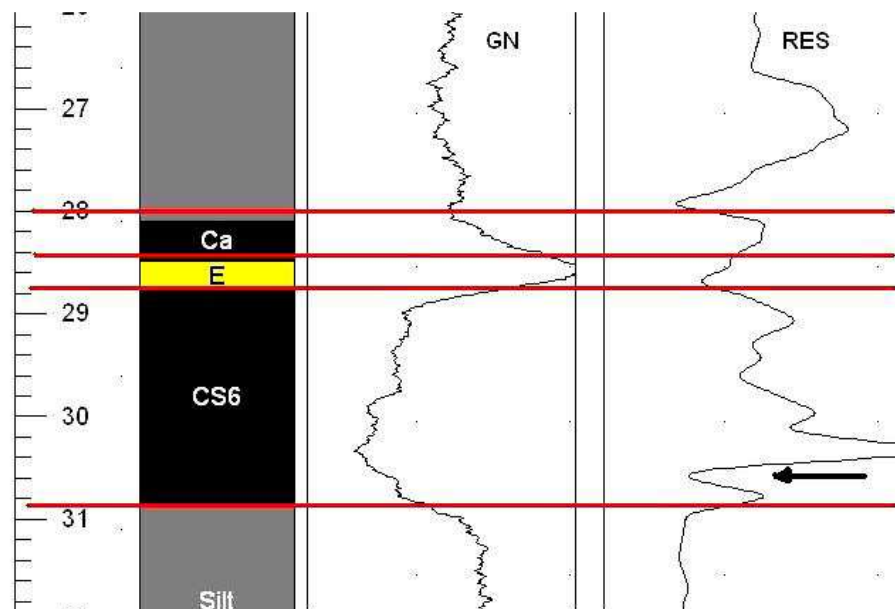
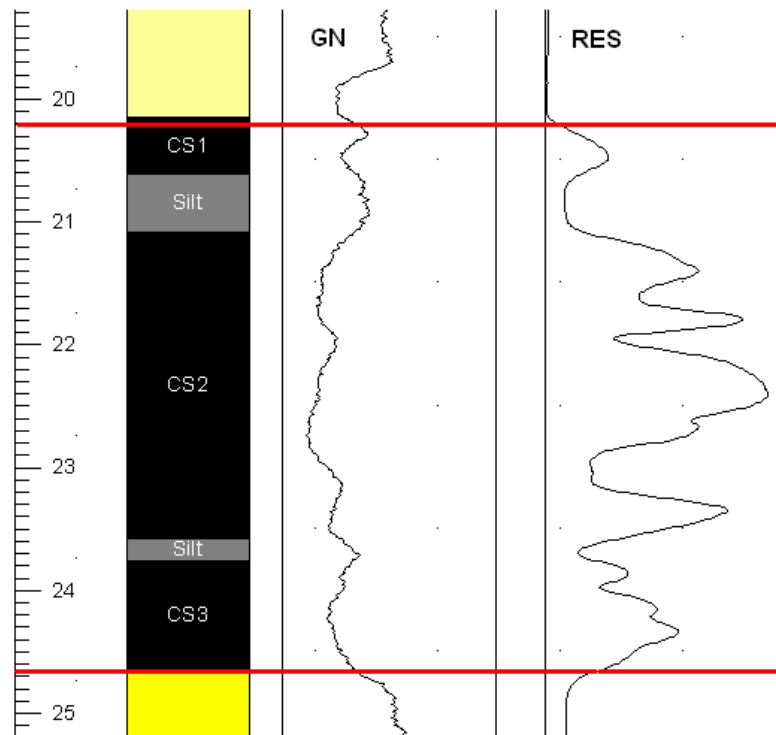
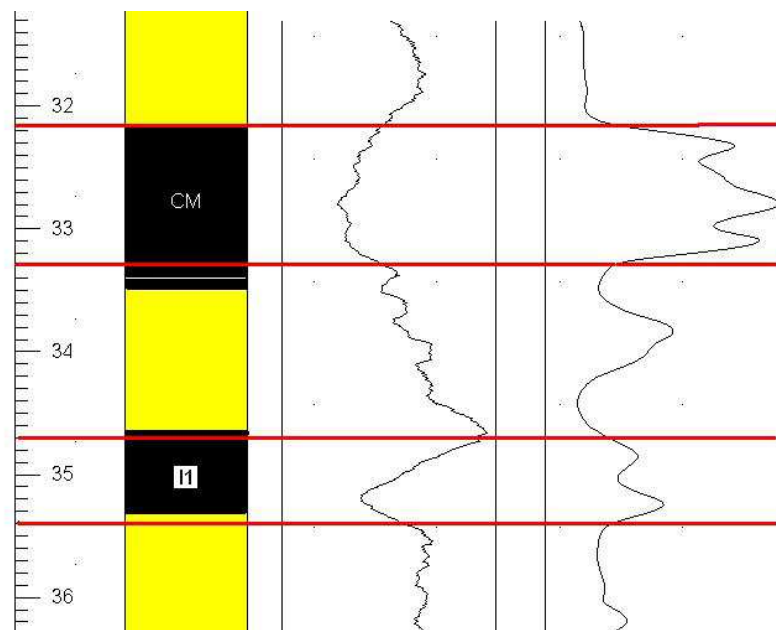


Figura 3.8: Exemplo de valores encontrados por perfilagem e comparados com a descrição geológica do furo SVN – 15. Aqui, aplicou-se um deslocamento vertical (shift) nos registros de perfilagem, para melhor correlação com as amostras de sondagem. No testemunho de sondagem, o estrato CS6 possui espessura igual a 2,09m (início em 28,77m e término em 30,86m). Por perfilagem, a espessura foi estimada em 2,10m (de 28,75m a 30,85m). A figura apresenta também, na parte superior, uma tentativa de definição de uma porção de estéril (E), e de uma camada pouco espessa de carvão (Ca), esta última mostrando contraste pobre de resistividade e sem sinal de GN. Na porção inferior da ilustração, uma intercalação de siltito carbonoso com espessura 0,08m (conforme descrição de testemunho) está assinalada por uma seta no perfil de resistividade.



(a)



(b)

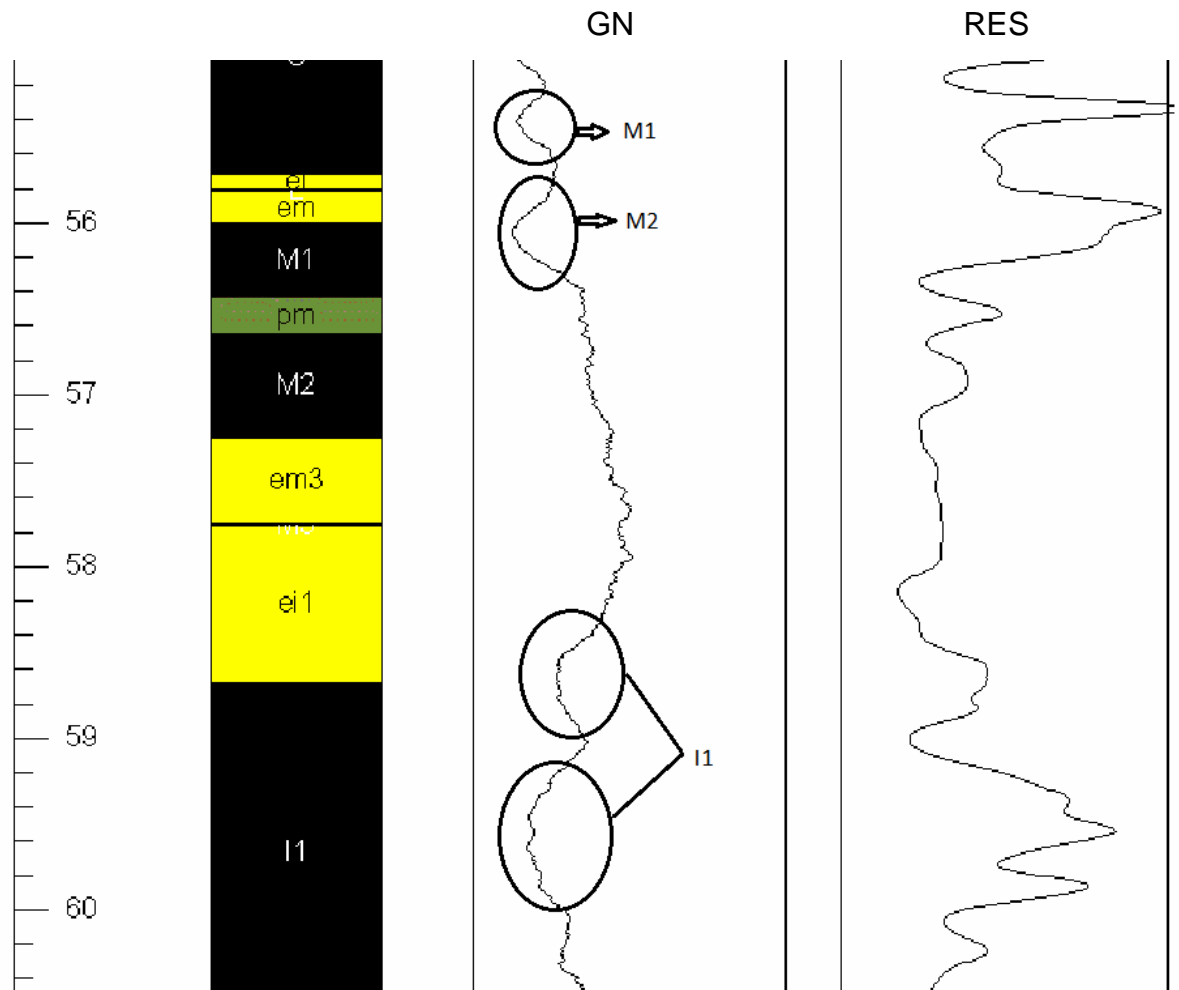
Figura 3.9 (a) e (b): Exemplo de valores encontrados por perfilagem, sem a descrição geológica do furo CAL-14. Para a figura (a), conforme testemunhos de sondagem, a soma das espessuras dos estratos S1, S2, S3 e as intercalações de siltitos resultam em um total de 4,50m (início em 20,15m e término em 24,65m). Na perfilagem, a espessura total estimada foi de 4,45m. Na figura (b), a camada M apresenta 1,22m pela sondagem, enquanto a perfilagem mostra 1,15m. A parte inferior da camada I1, com 0,65m, é suficientemente espessa para ser detectada pela perfilagem, que fornece o valor de 0,70m. (Obs.: aplicou-se um deslocamento vertical nos registros de perfilagem, para melhor correlação com as amostras de sondagem).

A análise dos perfis geofísicos e descrições litológicas permitiu visualizar que ao menos três áreas (B3, CERRO e SEIVAL) apresentam algumas feições próprias que auxiliam bastante na individualização dos depósitos e, naturalmente, no reconhecimento dos estratos carbonosos por perfilagem.

No caso de B3, é o conjunto M1/M2 que aparece em geral bastante espesso, produzindo assinatura característica, com M2 apresentando-se com boa qualidade (baixo conteúdo de cinzas). Entretanto, pode eventualmente haver o aparecimento da camada (I1), cuja assinatura geofísica é bastante semelhante ao conjunto M1/M2, como se nota na Figura 3.10. Essa ocorrência determina um grau maior de dificuldade para reconhecimento e definição adequados dos estratos carbonosos.

No CERRO, tem-se a presença intensa de arenito na interface com carvão. Em SEIVAL, as camadas Candiota Inferior e Candiota Superior aparecem com dimensões bem superiores aos demais estratos carbonosos que fazem parte do perfil geológico dos foros de SEIVAL.





**Figura 3.10: Semelhança de assinaturas das camadas M1 e M2 com a camada I1 no mesmo perfil, dificultando reconhecimento litológico.**

### 3.5 CONSTRUÇÃO DO BANCO DE DADOS

O banco de dados é composto por furos sondados com recuperação de testemunho e perfilados com a sonda elétrica medindo parâmetros de Gama Natural e Resistividade assim distribuídos:

- 14 furos da B3 - camadas: A1, A2, L, S, M1, M2, M3, I1 e I2;
- 16 furos de CALOMBO - camadas: M, S1, S2 e S3;
- 16 furos do CERRO - camadas: M1, M2 e S;
- 10 furos de SEIVAL - camadas: S6, S5, S4, S3, S2, A, BL, CS, CI, I1, I2, I3 e I4.

Os furos que foram os utilizados para o reconhecimento das assinaturas das camadas de carvão juntamente com sua descrição geológica são:

- B3 (12/18/19/21/29/34/36/37/38/50 e Z1);

- CAL (01/06/08/09/10/12/13/16/19/21/22/23 e 24);
- CRN (26/27/28/30/31/32/33/51/52/53/55/56 e 57);
- SVN (11/12/16/17/22/23 e 27).

Por outro lado, o banco de dados para o reconhecimento das assinaturas das camadas de carvão sem o auxílio da descrição geológica inicialmente é composto por:

- B3 (13/14 e 24);
- CAL (02/14 e 15);
- CRN (29/31 e 32);
- SVN (15/18 e 25).

Os furos acima mencionados foram também utilizados para formar o banco de dados para análise de correlação entre os parâmetros de qualidade e os registros geofísicos.

## 4 BANCO DE DADOS

Neste capítulo, são apresentadas as áreas de estudo onde foram executadas as perfilações geofísicas. Descreve-se a geologia local e etapas da coleta de dados por sondagem com recuperação de testemunhos, bem como as etapas da coleta de dados por perfilação geofísica. Por fim, apresenta-se o tratamento dos dados obtidos por geofísica para sua incorporação como dado secundário na avaliação de propriedades qualitativas dos carvões desses depósitos.

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO B3

#### 4.1.1 Localização

A área de estudo (ÁREA B3) localiza-se no município de Butiá, distante 86 km de Porto Alegre/RS. O local pertence às áreas de pesquisa da empresa Copelmi Mineração Ltda. e sua extensão é de aproximadamente 221 hectares.

#### 4.1.2 Geologia

##### 4.1.2.1 Geomorfologia e geologia regional

A ÁREA B3 situa-se na Depressão Periférica Central do Rio grande do Sul, na zona de transição entre o Escudo e a bacia sedimentar intracratônica. O relevo, na zona de ocorrência das camadas de carvão, caracteriza-se por coxilhas alongadas com vertentes suaves passando a áreas planas em zonas de planícies aluvionares. Ao sul do bloco, na zona de domínio do escudo cristalino, o relevo torna-se mais íngreme, com encostas mergulhando para norte em direção à bacia sedimentar. Regionalmente, a ÁREA B3 situa-se no extremo leste da Bacia Carbonífera Butiá-Leão, que está localizada na borda sul da Bacia do Paraná, a maior bacia intracratônica brasileira. Essa bacia carbonífera possui uma área total de 1070 km<sup>2</sup>, sendo dividida pela Falha do Leão, que define áreas passíveis de lavra a céu aberto, a leste, caso da ÁREA B3, e áreas passíveis de lavra em subsolo a oeste, no caso as Minas do Leão (CPRM, 1984, **Projeto Borda Leste da Bacia do Paraná**).

Na região da ÁREA B3, afloram sedimentos gonduânicos depositados, principalmente, durante as eras Paleozóica e Mesozóica, sendo limitada ao sul pelo escudo Sul-rio-grandense e, ao norte, pelas escarpas dos derrames vulcânicos da Formação Serra Geral.

#### 4.1.2.2 Geologia local

A bacia carbonífera de Butiá está inserida no contexto da Bacia Sedimentar do Paraná. Na região, afloram rochas sedimentares gonduânicas depositadas, principalmente, durante as eras Paleozóica e Mesozóica, com cobertura de sedimentos quaternários associados.

Na ÁREA B3, distinguem-se as seguintes unidades litoestratigráficas: Granito Butiá, Embasamento Metamórfico Indiferenciado, Formação Rio Bonito, Formação Palermo, Formação Irati, Formação Serra Geral e Sedimentos Recentes.

As unidades geológicas que ocorrem na área são caracterizadas de forma sucinta a seguir:

- Granito Butiá: o denominado Granito Butiá tangencia a porção sul da ÁREA B3. Caracteriza-se por sua textura granular grosseira, cores avermelhadas com mineralogia composta por acentuada proporção de feldspato alcalino e quartzo, com escassa biotita.

À medida que tais rochas estão inseridas num contexto de tectônica de horst e grabens, as mesmas estão fortemente influenciadas por fenômenos cataclásticos, tendo por consequência hidrotermalização, formação de milonitos e uma forte foliação cataclástica, impedindo, localmente, a própria identificação da rocha original. O hidrotermalismo se manifesta pela extensiva formação de epidotização e silicificação.

A Formação Rio Bonito é a principal unidade estratigráfica da área, sendo que, nessa formação, está inserido o pacote carbonoso de interesse econômico. Trata-se de uma unidade litoestratigráfica de idade Permocarbonífera, depositada sobre um substrato topograficamente irregular do embasamento granítico. O pacote carbonoso foi gerado em um ambiente lacustre não oxidante, sempre associado a intercalações pelíticas de coloração normalmente escura. A deposição dos pelitos efetuou-se num ambiente aquático calmo, relacionado à subsidência lenta e gradual da Bacia do Paraná como evento amplo e regional. Escorregamentos subaquáticos

de material mais grosseiro, denotando períodos de maior instabilidade da bacia, também, ocorreram.

Litologicamente, a Formação Rio Bonito é constituída por siltitos, argilitos, folhelhos com intercalações de camadas de carvão, pertencentes a fácies de topo da formação. Na base desse pacote, predominam paraconglomerados e arenitos grosseiros. Pequenas variações faciológicas decorrentes de microambientes sedimentares, também, ficaram registradas nas rochas da área.

A ÁREA B3 apresenta um zoneamento em função da profundidade das camadas de carvão e o aumento da espessura do pacote carbonoso. No extremo sul da área, a Camada A (Figura 4.1) encontra-se erodida e coberta por sedimentos quaternários, os quais, nessa zona, pela proximidade do embasamento granítico, são formados por areias médias a grosseiras. Nessa região, a Camada M se apresenta errática, e a Camada I1 não é registrada. Em direção ao Norte, a Camada M já apresenta boa continuidade, com início de registro da Camada A.

Na porção norte da área, o pacote encontra-se completo com a Camada I1, atingindo espessuras em torno de 2 metros. Essa condição permanece até o extremo norte da área em que a Camada A adquire espessuras em torno de 1 m.

Em toda essa zona, a Formação Palermo ocorre sobre o pacote carbonoso, registrando-se a ocorrência de uma camada de carvão adicional denominada Camada I2 juntamente com sedimentos quaternários de espessuras em torno de 4 m.

A cobertura da jazida é composta, em média, por 1 m de solo argiloso que se sobrepõe a 10 m de siltitos com níveis de arenito fino pertencentes à Formação Palermo e uma espessura variável de 15 a 20 m de folhelhos de coloração cinza médio a escura pertencente à sequência deposicional pelítica da Formação Rio Bonito.

Sotoposta a essa litologia, ocorre a primeira camada de carvão, denominada Camada A. A espessura média da cobertura da área sobre a Camada A varia de 25 a 35 metros. A cobertura apresenta-se muito alterada pela ação intempérica, conferindo características friáveis ao pacote e favorecendo a descobertura para a lavra a céu aberto sem a necessidade de desmonte por explosivos em sua maior parte.

O pacote carbonoso da ÁREA B3 é composto por quatro camadas de carvão principais, denominadas A, S, M1/M2 e I1, alcançando uma espessura média de

pacote carbonoso de 21,4 metros. O perfil geológico médio das áreas B3 é apresentado na Figura 4.1 (GERÊNCIA DE GEOLOGIA E PESQUISA – COPELMI MINERAÇÃO LTDA. **Relatório de Pesquisa. DNPM, 1984**).

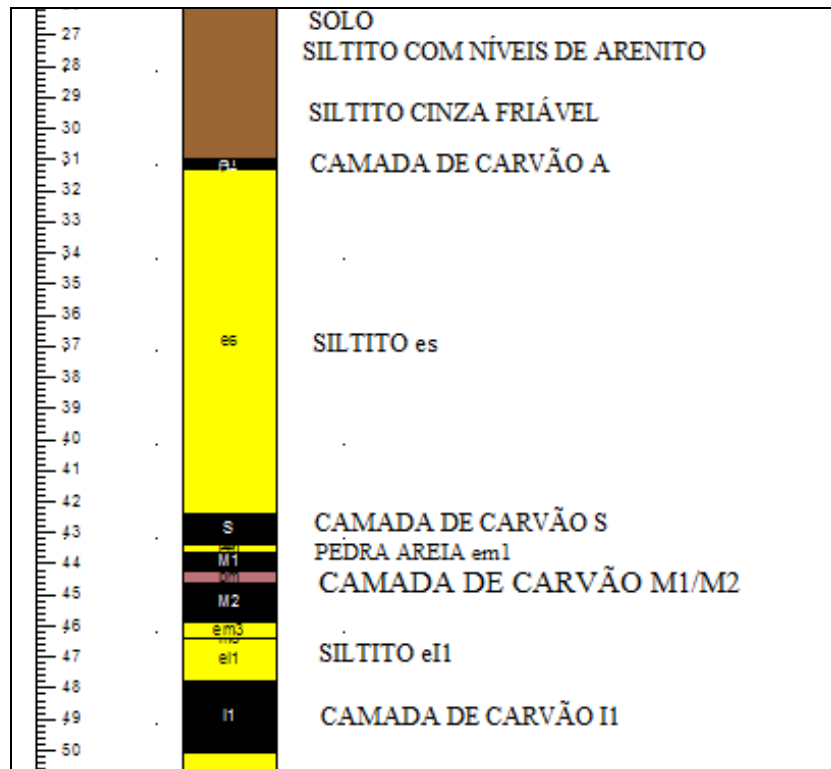


Figura 4.1: Perfil geológico típico observado na ÁREA B3.

A Camada A ocorre, na área, apenas como registro estratigráfico, com espessura total de até 0,9 m, sendo composta por alternância de leitos de vitrênio com leitos de siltito carbonoso, de aspecto friável, evidenciando baixo grau de diagênese. São características dessa camada a grande quantidade de nódulos de pirita e cleats com carbonato. Essa camada apresenta-se contínua, principalmente, na porção norte da área com aumento de espessura e melhora de qualidade. O estéril intermediário entre as Camadas A e S é constituído por siltitos cinza, friável a fragmentado, com algumas gradações carbonosas, apresentando espessura média de 10,4 m.

A Camada S apresenta espessura média de 0,98 m, normalmente sem presença de estéril intermediário. Nessa camada, predomina o carvão brilhante resultado da grande quantidade de vitrinita, com raros partings de siltito carbonoso. É comum a presença de leitos de vitrênio e grandes nódulos de pirita.

O estéril intermediário entre as Camadas S e M1/M2 é constituído por paraconglomerados, denominado de pedra-areia, com espessura média de 0,84 m.

Essa rocha foi formada por fluxos de detritos para o interior da bacia durante a deposição do pacote carbonoso.

A Camada M1/M2 possui espessura média de 1,58 m, com intercalação de parting de siltito carbonoso. Com relação à qualidade do carvão, a Camada M1 é composta pela alternância de leitos de carvão brilhante, fosco e siltito carbonoso. A Camada M2 caracteriza-se pela alta razão CC/CT (camada de carvão/camada total), próxima de 100%, com predomínio de carvão do tipo brilhante. Essa camada apresenta-se mais homogênea na porção norte da área, com pequenas variações de espessura. Na porção sul, é comum variação de espessura dessa camada, e/ou erosão sindeposicional, fenômenos comuns na borda da bacia.

Por sua vez, o estéril intermediário entre as Camadas M1/M2 e I1 é constituído por siltitos cinza, por vezes paraconglomerático, com espessura média de 4,03 metros.

A Camada I1 possui espessura média de 1,20 m, ocorrendo em quase toda a jazida exceto na porção sul da área, onde, pela condição de borda de bacia, a camada não ocorre. Nessa camada, predominam carvões foscos com média a baixa concentração de vitrinita.

A sequência basal ao pacote carbonoso é constituída por intercalações de siltitos e paraconglomerados depositados em ambiente de alta energia. Nesse pacote, eventualmente, ocorre a Camada I2 (GERÊNCIA DE GEOLOGIA E PESQUISA – COPELMI MINERAÇÃO LTDA. **Relatório de Pesquisa. DNPM, 1984**).

## 4.2 ÁREA DE ESTUDO CALOMBO

### 4.2.1 Localização

A área objeto situa-se a uma distância de 56 km de Porto Alegre, em direção a oeste. O percurso, a partir da capital do Estado, é feito seguindo-se a BR-116 em direção à cidade de Guaíba. Após percorrer-se 16 km, toma-se a BR-290 à direção oeste, por cerca de 50 km até próximo ao acesso à Barão do Triunfo onde existe um acesso à área a partir da BR 290 para norte. A pesquisa estendeu-se por uma área de aproximadamente 113 hectares.

#### 4.2.2 Geologia regional

Regionalmente são identificadas as seguintes unidades litoestratigráficas:

Complexo Canguçu- aflora ao norte e sudoeste da área em contato lateral com os sedimentos gonduânicos, por falhamentos; é representado por granitos com veios pegmatíticos associados, também formando o substrato para a deposição das formações gonduânicas.

Grupo Itararé - unidade não aflorante na área, sendo representada por sedimentos flúvio-lacustres de origem glacial e periglacial compostos por varvitos, tilitos e arenitos;

Formação Rio Bonito - formação representada por sedimentos pelíticos (siltitos, lamitos) e camadas de carvão, ocorrendo, em direção à base, paraconglomerados e arenitos. Essa formação foi minerada na área nas décadas de 1940 e 1950 em subsolo.

Formação Serra Geral - ocorre na área na forma de sills e diques de diabásio, destacando-se o sill mapeado pela antiga mineração em subsolo;

Sedimentos recentes - recobrem toda a área de interesse, sendo representados por depósitos aluvionares do arroio dos Ratos, compostos por argilas no topo, areias e grânulos, com raro cascalho na base em sequência granodecrescente com espessuras de até 20 metros (GERÊNCIA DE GEOLOGIA E PESQUISA – COPELMI MINERAÇÃO LTDA. **Relatório de Pesquisa. DNPM, 2008**).

#### 4.2.3 Geologia da área de interesse

A geologia da área de interesse é representada por sedimentos aluvionares quaternários compostos predominantemente por areias de médias a grosseiras. Subordinadamente, ocorrem níveis argilosos e de cascalho configurando um ciclotema fluvial. Esses sedimentos possuem, na maioria dos casos, matriz argilosa. No topo do depósito, ocorre solo argiloso com espessura média da ordem de 1 metro. Esse depósito recobre a formação Rio Bonito, que contém o pacote carbonoso de interesse.

A Formação Rio Bonito é representada por sedimentos pelíticos (siltitos, lamitos) e camadas de carvão. Em direção à base ocorrem paraconglomerados e arenitos com estratificações plano-paralela e cruzada acanalada. No topo dessa



unidade, ocorrem as camadas de carvão, em um pacote carbonoso principal, com espessura média de 20 m na área do empreendimento. A cobertura estéril é composta por sedimentos aluvionares e siltitos cinza em grande parte. Nesse pacote, estão presentes as camadas de carvão denominadas, do topo para a base, de A, S1, S2, S3 e M, distribuídas de acordo com o perfil geológico típico apresentado e descritas a seguir:

Camada de Carvão A - Com espessura de 1,15 m com parting de silito na base de 0,40 m, caracterizada por leitos de vitrênio com cleats preenchidos por carbonato com intercalações de silito. Essa camada encontra-se, muitas vezes, erodida pelos sedimentos aluvionares. A cinza bruta da camada é da ordem de 55% e o enxofre em torno de 4%;

Estéril Intermediário E1 (Camada A - Camada S1) - Espessura da ordem de 9,0 m, constituído por siltitos cinza homogêneo;

Camada de Carvão S1 - Apresenta espessura da ordem de 0,40 m, caracterizada por carvão brilhante. A cinza bruta da camada é da ordem 40% a 45% e o enxofre de 2% a 4%;

Camada de Carvão S2 - É a camada principal da área por sua espessura, que varia entre 2,5 m e 3,0 m. Composta predominantemente por carvão brilhante, tendo sido parcialmente minerada em subsolo. A cinza bruta da camada é da ordem de 40% e o enxofre é de 2% a 3%;

Estéril Intermediário E2 (S2-S3) - Possui espessura da ordem de 1,60 m, sendo composto por siltitos cinza, eventualmente paraconglomerado;

Camada de Carvão S3 - Caracterizada por carvão brilhante e fosco, possui espessura da ordem de 0,60 m. A cinza bruta da camada é da ordem de 40% e o enxofre é de 2% a 4%;

Estéril Intermediário E3 (S3-M) - Possui espessura da ordem de 4,0 m, sendo composto por siltitos cinza e intercalado por uma camada de paraconglomerado;

Camada de Carvão M: Essa camada tem espessura da ordem de 1,0 m, sendo composta por carvão predominantemente fosco. A cinza bruta da camada é da ordem de 50% e o enxofre é de 1% a 2% (GERÊNCIA DE GEOLOGIA E PESQUISA – COPELMI MINERAÇÃO LTDA. **Relatório de Pesquisa. DNPM, 1984**).

Apresenta-se, a seguir (Figura 4.2), o perfil geológico típico da jazida da ÁREA CALOMBO.

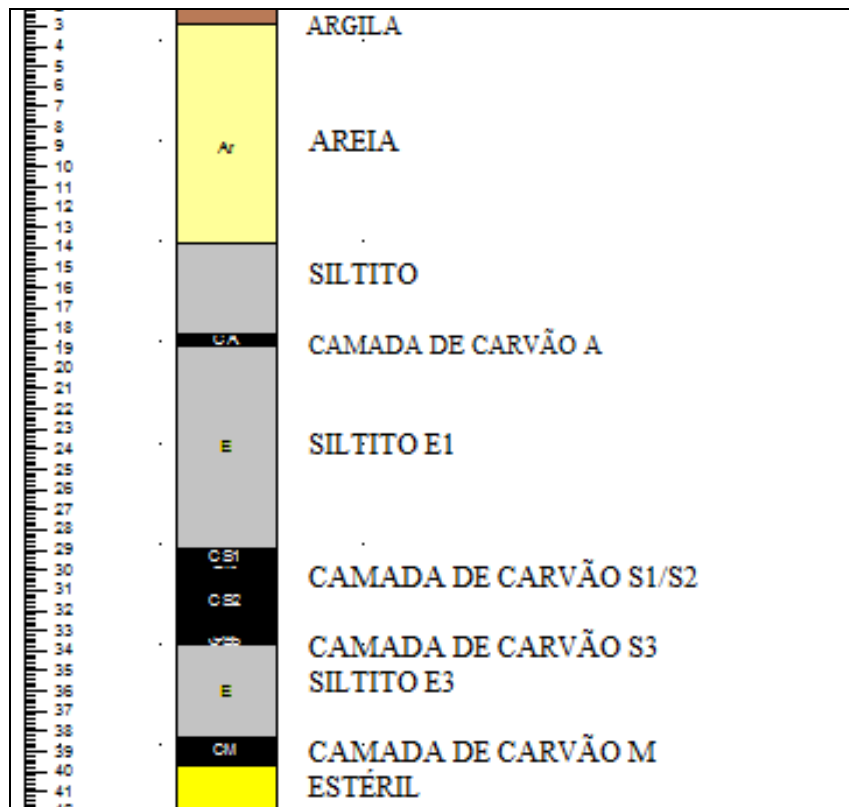


Figura 4.2: Perfil geológico típico observado na ÁREA CALOMBO.

### 4.3 ÁREA DE ESTUDO CERRO

A área de estudo (ÁREA CERRO) localiza-se no município de Cachoeira do Sul, distante 220 km de Porto Alegre/RS. São as áreas de pesquisa da empresa Copelmi Mineração Ltda. na região, e sua extensão é de aproximadamente 228 hectares.

#### 4.3.1 Geologia

##### 4.3.1.1 Geologia regional e local

A área de interesse localiza-se na borda leste da Bacia Sedimentar do Paraná, sendo que a deposição dos sedimentos nessa região ocorreu em uma fossa tectônica denominada “Fossa do Camaquã”. Sob essa condição tectônica, houve constante reativação dos falhamentos durante o período deposicional.

Ao sul da região, onde se encontram as rochas sedimentares da Bacia do Paraná, afloram rochas do Grupo Porongos representadas por quartzitos e xistos. Associadas a essas litologias, aparecem rochas eopaleozóicas da Formação Santa

Bárbara, representadas por arenitos e conglomerados avermelhados. Em direção ao norte, ocorrem as formações médias e superiores da Bacia do Paraná, destacando-se a Formação Palermo.

A tectônica que atuou na área gerou falhamentos predominantemente N30°E e N50°W. Essas falhas governam a ocorrência de blocos com carvão, cuja preservação se deu pelos mesmos estarem abatidos. Nos blocos soerguidos, as camadas de carvão de interesse econômico foram parcial ou totalmente erodidas, bem como ao longo das falhas que são representadas por vales encaixados que governam a rede de drenagens. O mergulho regional do pacote sedimentar é em torno de 1° para Norte, ou seja, à medida que nos deslocamos para o norte, vamos atingindo formações geológicas mais jovens.

As formações que afloram na área são descritas de forma sucinta a seguir:

i) Grupo Itararé: as rochas pertencentes ao Grupo Itararé afloram nas zonas de cotas mais baixas, onde os processos erosivos foram mais intensos, principalmente nos leitos das drenagens, como os arroios Capanezinho e Pedro Paulo, e ao sul da zona de interesse. Está representado por arenitos e siltitos formando ritmitos. São frequentes intercalações de paraconglomerados com seixos e boulders típicos de ambientes glaciais.

ii) Formação Rio Bonito: é a formação predominante na área de interesse, sendo representada por três sequências sedimentares denominadas inferior, intermediária e superior. Na sequência inferior, predominam arenitos finos bem classificados, localmente conglomeráticos, com lentes de siltito, camadas e leitos de carvão descontínuos. Já na sequência intermediária, além de siltitos e arenitos, ocorrem camadas de carvão contínuas denominadas I1 (Jeribá), I2 (Jeribá Inferior), M1 (Triângulo Superior), M2 (Triângulo) e M3 (Triângulo Inferior). A sequência superior apresenta um pacote de arenitos claros, finos, bem classificados, com grãos arredondados, às vezes conglomeráticos, com a principal camada de carvão sob o ponto de vista econômico da jazida denominada Camada S (Capanezinho).

iii) Formação Palermo: Recobre a Formação Rio Bonito em contato transicional. É constituída por siltitos argilosos cinza escuros com intercalações de lâminas ou camadas de arenitos finos depositados em ambiente marinho. Para o topo da sequência, predominam siltitos e siltitos arenosos laminados.

iv) Sedimentos quaternários: Constituídos por depósitos aluvionares estreitos depositados ao longo das drenagens encaixadas na Formação Rio Bonito,

bem como depósitos de encostas (CPRM, 1984, **Projeto Borda Leste da Bacia do Paraná**).

#### **4.3.2 Síntese Geológica da Área**

A Formação geológica predominante na área de interesse é a Rio Bonito, com afloramentos de rochas do Grupo Itararé restrita ao leito das drenagens mais profundas, onde a erosão foi mais intensa.

Os sedimentos aluvionares formam depósitos argilo-arenosos estreitos, já que a maioria das drenagens é encaixada em falhamentos de direção preferencial NE.

A Formação Rio Bonito é a de principal interesse na área, pois contém as camadas de carvão que estão em processo de lavra. Essas camadas situam-se nas litofácies intermediária e superior conforme já descrito na geologia regional.

As camadas de carvão presentes na área foram denominadas pela Sociedade Mineradora do CERRO como Superior (S), Média (dividida em três bancos M1, M2 e M3) e Inferior (dividida em dois bancos I1 e I2).

O perfil geológico típico é apresentado a seguir na Figura 4.3



Figura 4.3: Perfil geológico típico observado na ÁREA CERRO. (Obs: o estéril que está representado com aproximadamente 3 m possui, em média, 10 m).

#### 4.3.3 Faciologia do Pacote Carbonoso

Apresenta-se, a seguir, a descrição do pacote carbonoso do topo para a base da sequência nos blocos de lavra:

Camada Carvão S: possui espessura média de 1,69 m, e sua cobertura é representada por um banco de arenito e siltito no contato superior com a camada, com espessura média de 21,10 m. A característica principal dessa camada é a pequena quantidade de material estéril intercalado (partings), com uma percentual de carvão na camada em torno de 70%.

Intervalo Estéril S – M1: possui espessura média de 9,02 m, com litologias representadas por arenito fino a médio passando para siltito em direção à base.

Camada Carvão M1: possui espessura média de 0,22 m e caracteriza-se por leitos de vitrênio intercalados por leitos de siltito.

Intervalo Estéril M1 – M2: possui espessura média de 2,78 m, sendo composto por siltitos maciços e laminados, na maioria dos casos com leito de carvão com espessura de 0,1 a 0,2 m intercalados.

Camada Carvão M2: possui espessura que varia de 1,01m, sendo caracterizada por leitos de carvão com intercalações de siltitos cinza escuros.

Intervalo Estéril M2 – M3: possui espessura média de 3,06 m, sendo constituído por siltitos escuros.

Camada Carvão M3: possui espessura média de 0,39 m, sendo constituída por carvão com intercalações de siltitos escuros.

Intervalo Estéril M3 – I1: possui espessura média de 13,09 m, sendo as litologias representadas por arenitos e siltitos com grandes variações de espessuras e difícil correlação.

Camada Carvão I1 – I2: apresenta grandes variações de espessura com média de 0,88 m, resultado de um ambiente deposicional instável, sendo negativa em muitas porções da jazida, podendo, excepcionalmente, atingir 1,50 metros. Caracteriza-se por leitos de carvão com intercalações de siltito cinza escuro (GERÊNCIA DE GEOLOGIA E PESQUISA – COPELMI MINERAÇÃO LTDA. **Relatório de Pesquisa Interno. 2005**).

#### 4.4 ÁREA DE ESTUDO SEIVAL

A área de estudo (ÁREA SEIVAL) localiza-se no município de Candiota, distante 300 km de Porto Alegre/RS. O local, cuja extensão é de aproximadamente 1.890 hectares, pertence às áreas de pesquisa da empresa Copelmi Mineração Ltda..

##### 4.4.1 Geologia

###### 4.4.1.1 Geologia regional

A área em estudo localiza-se na Bacia Intracratônica do Paraná que contém as formações sedimentares dos grupos Passa Dois, Tubarão e Itararé, cujas litologias e sequências podem ser vistas na coluna estratigráfica apresentada na Tabela 4.1.

Dentre as unidades litoestratigráficas presentes na região de SEIVAL e Candiota, destacam-se a Formação Rio Bonito, que contém as camadas de carvão exploradas há décadas e que constituem a maior reserva brasileira desse bem mineral.

Tabela 4.1: Coluna Estratigráfica da Bacia de Candiota.

PERÍODO	UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA		LITOLOGIAS
	GRUPO	FORMAÇÃO	
<b>Quaternário</b>			Depósitos de aluviões e coluviões
<b>Triássico</b>		Rio do Rasto	Arenitos finos a médios, avermelhados com intercalações de siltitos e argilitos castanho-avermelhados
<b>Paleozóico</b>	Passa Dois	Estrada Nova	Siltitos cinza-chumbo a esverdeados com intercalações de arenitos finos a médios
		Irati	Folhelhos e siltitos cinza escuros com intercalações de folhelhos pirobetuminosos pretos e lentes de calcário.
	Tubarão	Palermo	Siltitos cinza claros a cinza-chumbo, com intercalações de lâminas e leitos de arenitos finos cinza claros, localmente carbonáticos.
		Rio Bonito	Arenitos finos a médios, localmente grosseiros, cinza-esbranquiçados intercalados com siltitos cinza-escuros, siltitos carbonosos e camadas de carvão.
	Itararé	Rio do Sul	Arenitos finos, esbranquiçados, siltitos, diamictitos e ritmitos.
<b>Pré-Cambriano</b>	Suíte Metamórfica Cambaí		Gnaisses e biotita, granitos, calcários e calcários marmorizados.

A evolução da bacia de Candiota está vinculada ao preenchimento de paleovales no embasamento, inicialmente pelos sedimentos do grupo Itararé, seguindo-se as demais formações, sempre associadas às oscilações do nível do mar. Em direção ao topo da sequência, o ambiente sedimentar passa a transicional e continental flúvio lacustre (formação Rio do Rasto).

O mergulho regional das camadas sedimentares é para sul – sudoeste, destacando-se como estrutura tectônica a falha da Sotéia, que limita a Bacia a Leste. A compartimentação tectônica decorrente dos falhamentos da bacia define as áreas preferenciais para a exploração de carvão a céu aberto (CPRM, 1984, **Projeto Borda Leste da Bacia do Paraná**).

Além do carvão, destaca-se o mármore calcítico como bem mineral explorado na região para fabricação de cimento e cujas lentes se encontram encaixadas nos gnaisses e migmatitos da suíte metamórfica Cambaí.

#### 4.4.1.2 Geologia da Bacia Sedimentar de Candiota

A geologia das áreas de SEIVAL e Candiota, onde estão localizadas as explorações de carvão, é composta pelas rochas do complexo Cambaí, grupo Itararé, formação Rio Bonito, formação Palermo e sedimentos aluvionares.

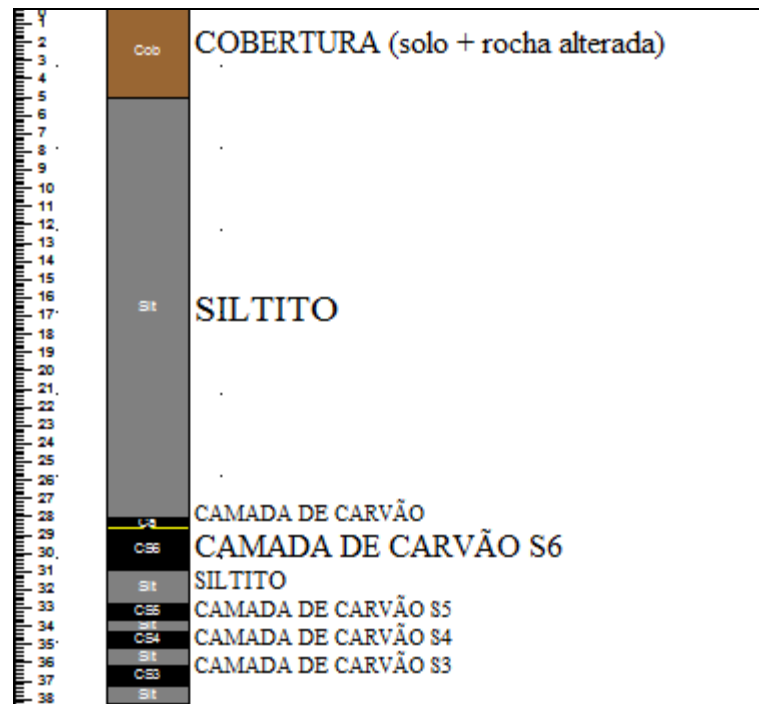
O embasamento é representado pela suíte metamórfica Cambaí, composta por gnaisses, muitas vezes recortados por granitóides mais jovens, localmente com lentes de mármore encaixadas. Em algumas zonas da bacia, o embasamento das formações sedimentares é formado por arenitos arcoseanos e conglomerados do grupo Guaritas. Essa situação só é identificada em sondagens profundas.

O grupo Itararé é formado por paraconglomerados e arenitos, evoluindo para diamictitos e ritmitos, que preenchem vales do embasamento cristalino. As rochas do grupo Itararé são encontradas em sondagens, aflorando a leste da região de estudo.

A formação Rio Bonito, de idade Permocarbonífera, é a unidade de maior importância na região, seja pela presença das camadas de carvão, seja por sua ampla distribuição. Compõe-se, basicamente, pela alternância de arenitos finos, localmente médios a grosseiros conglomeráticos e horizontes pelíticos com camadas de carvão. A espessura dessa formação, considerando-se as regiões onde se desenvolve todo o pacote, é da ordem de 60 m, sendo uma sua característica importante a homogeneidade, com raras e localizadas variações faciológicas.

A rigor, a formação Rio Bonito é composta por três horizontes pelíticos com camadas de carvão, separados entre si por arenitos finos e leitos carbonosos, decorrentes das mudanças do ambiente deposicional, conforme demonstrado na Figura 4.4 (a) e (b) e descrito a seguir.





(a)



(b)

Figura 4.4 (a) e (b): Seção Estratigráfica – Jazida de carvão Candiota/Bloco Seival.

A base da sequência é formada por sedimentos clásticos de médios a grosseiros de cor cinza clara e origem flúvio deltaica, com espessuras da ordem de 10 a 30 m. Raramente nesse intervalo são identificados leitos carbonosos. Característica importante dessas litologias é sua grande porosidade, decorrente da granulometria e baixo grau de cimentação da rocha.

Imediatamente acima dessa sequência basal, encontra-se o primeiro horizonte pelítico – carbonoso, composto por 4 camadas de carvão (I4, I3, I2, I1) separadas entre si por siltitos cinza. A espessura total desse horizonte é da ordem de 5 a 7 m, sendo característica dos carvões desse horizonte o alto teor de pirita, principalmente da camada I4.

Acima do pacote pelítico-carbonoso inferior, são encontrados siltitos que gradam para arenitos médios a grosseiros de origem deltaica e intensa cimentação carbonática, com conseqüente baixa permeabilidade e espessura da ordem de 6 a 7 metros. Sempre em direção ao topo da formação Rio Bonito, ocorre, acima dessas litologias, o horizonte “Candiota”, que é o mais importante sob o ponto de vista de exploração de carvão mineral. Esse horizonte contém a Camada Candiota, que é minerada atualmente pela Companhia Riograndense de Mineração e já foi minerada na Mina SEIVAL.

A camada Candiota compõe-se de dois bancos de carvão, a saber: Candiota Superior (CS), com espessura de 2 a 3,2 m e Candiota Inferior (CI), com espessura de 1,30 a 2,30 m, separados entre si por argilito cinza claro com espessura da ordem de 0,60 metros. No topo desse pacote, ocorre um leito de carvão com espessura em torno de 0,60 m denominado de Banco Louco (BL), constituído de carvão com alto teor de cinza e siltitos intercalados.

Acima do Banco Louco, aparecem arenitos de finos a muito finos, laminados, de cor amarela, em afloramento e com origem a partir de ilhas de barreira, e a camada de carvão S2, que, face à sua deposição em ambiente de alta energia, tem como característica grande variação de espessuras e de nível de ocorrência. A espessura desses arenitos varia de 2 a 4 m, seguidos por siltitos cinza com leitos de carvão (C1 e C2) com um nível de arenito com matéria carbonosa no topo. O pacote de arenitos, considerando-se a camada S2 e os leitos de carvão intercalados e os pelitos do topo, atingem entre 8 a 10 m de espessura.

O terceiro pacote pelítico ou pacote superior é composto por 4 camadas de carvão (S3, S4, S5 e S6), localmente ocorrendo uma quinta camada (S7) nas áreas onde foi preservada da erosão pela formação Palermo. Essas camadas possuem espessuras individuais de 1 a 2 m, separadas por siltitos, perfazendo 7 a 8 m de espessura.

A ocorrência da formação Rio Bonito integral é típica do Bloco SEIVAL. Já no Bloco Candiota, ocorrem às camadas I4 a S2, raramente S3. Essa diferença

deve-se ao processo de falhamento que soergueu o bloco Candiota, acelerando os processos erosivos na sua zona de ocorrência e suprimindo as camadas superiores.

A formação Palermo faz contato brusco com a formação Rio Bonito, muitas vezes erodindo a camada de carvão S7 e até S6. Essa formação é representada por siltitos laminados com *Wavy* e intensa bioturbação, com níveis milimétricos de arenitos finos intercalados. Localmente, sobre essas litologias ocorrem arenitos finos estratificados, denominados de “tempestitos” e também pertencentes à formação Palermo. Essa formação tem ocorrência mais comum no Bloco SEIVAL, principalmente junto ao falhamento do Passo da Conceição. A espessura total dessa formação no Bloco SEIVAL atinge 40 metros.

As formações Estrada Nova e Irati ocorrem a oeste e sudoeste da área do projeto, sendo compostas por pelitos e folhelhos, localmente com níveis calcários de origem marinha.

Os sedimentos quaternários são compostos por areias e seixos localizados ao longo das planícies aluvionares, destacando-se as do arroio Candiota e a do rio Jaguarão como as de maior expressão (GERÊNCIA DE GEOLOGIA E PESQUISA – COPELMI MINERAÇÃO LTDA. **Relatório de Avaliação Geológica da Jazida de SEIVAL. 2005**).

#### 4.4.1.3 Geologia estrutural regional

A região de SEIVAL e Candiota possui um condicionamento estrutural bem conhecido, fruto do intenso trabalho de prospecção de carvão na área e levando em conta a importância dos falhamentos na compartimentação dos blocos em grabens e horsts, o que resultou em porções mais favoráveis à exploração da camada Candiota a céu aberto.

Assim, destacam-se dois falhamentos principais na região: a falha da Soteia, que limita a bacia de Candiota e o embasamento cristalino de direção N30°E, e o falhamento do Passo da Conceição de direção NW-SE, que divide os blocos SEIVAL e Candiota. Devido à influência dessa estrutura no bloco Candiota (SW soerguido), tem-se a camada Candiota a profundidades de 8 a 10 m junto à falha, enquanto no bloco SEIVAL (NE abatido), a mesma camada encontra-se a até 150 m de profundidade. Outro aspecto peculiar é que essa falha baliza uma mudança de

espessura da camada Candiota, que passa de 6 m para 4 m nos blocos SW e NE, respectivamente.

Associadas a essas estruturas principais, estão falhamentos de pequeno rejeito de direções NE e NW, resultantes da acomodação do pacote sedimentar e efeito das estruturas maiores. Essas falhas são encontradas nas frentes de lavra ou por interpretação de sondagens.

Observa-se, nos afloramentos do pacote carbonoso afetados por falhamentos, que a deformação das rochas deu-se de forma plástica, não gerando processos de silicificação, ou constituindo zonas de fluxo da água subterrânea, como pode ser visto em afloramentos na zona falha do Passo da Conceição.

#### **4.4.2 Geomorfologia**

##### 4.4.2.1 Geomorfologia regional

A área situa-se na porção sul da unidade geomorfológica denominada Depressão Rio Ibicuí – Rio Negro, que faz parte da região geomorfológica Depressão Central Gaúcha, que corresponde a áreas assentadas em substrato geológico de rochas da Bacia do Paraná. São características desse domínio geomorfológico os padrões de drenagem dendrítico e subdendrítico (CPRM, 1984, **Projeto Borda Leste da Bacia do Paraná**).

O relevo da região é formado, em sua maioria, por elevações suaves arredondadas, denominadas de coxilhas, cujas cotas variam entre 200 e 250 metros.

A rigor, podem ser destacadas na região cinco feições geomorfológicas, condicionadas pelas litologias e falhamentos como descrito a seguir:

Áreas onde aflora a formação Palermo: nessas áreas predomina o relevo suave (coxilhas) fruto da composição siltica da formação Palermo, que desenvolve camadas de solo sítico-argiloso. Esse relevo é típico e predominante no bloco SEIVAL;

Áreas onde afloram arenitos da formação Rio Bonito: nessas áreas, desenvolvem-se encostas com quebras abruptas na sua forma, fruto da exposição dos arenitos existentes acima do Banco Louco (carvão), que possuem maior resistência à erosão. Essas encostas são cobertas por blocos de arenito;

Áreas do embasamento cristalino: nessas áreas, com cotas mais elevadas, predomina um relevo acidentado, com formação de campo de matacões. Esse relevo ocorre a leste da bacia carbonífera;

Áreas com relevo condicionado por falhamentos: as feições geomorfológicas associadas a falhamentos formam cristas ou encostas alinhadas com declividades mais acentuadas, diferenciando-se do padrão de coxilhas. Essas feições ocorrem de forma bem característica na falha da Soteia e Passo da Conceição, citadas no item relativo à geologia estrutural;

Relevo dos depósitos aluvionares: esse relevo desenvolve-se na planície aluvionar do arroio Candiota, rio Jaguarão e afluentes, conformando planícies onde é feito o cultivo de arroz irrigado. Essas zonas são popularmente denominadas de várzeas.

#### 4.5 SONDAgens COM RECUPERAÇÃO DE TESTEMUNHOS

Uma campanha de sondagem com recuperação de testemunhos para avaliação de uma jazida é composta de um grande número de furos. O conjunto de colunas estratigráficas de uma malha de sondagem é a principal ferramenta para a modelagem e avaliação de depósitos minerais.

É preciso salientar que nem todos os furos são perfilados, visto que, quando a recuperação do testemunho é 100% ou próxima desse valor, a opção é muitas vezes por não perfilar e diminuir custos para a empresa.

Para a execução dos furos, foram utilizadas sondas roto-percussivas tipo Sullivan 22 da Joy (Figura 4.5), sendo o diâmetro dos furos executados de 2'' padrão NW. Todos os furos foram feitos com recuperação de testemunhos, isto é, a cada manobra das hastes de sondagem, um cilindro de material de no máximo 3 m de comprimento era sacado fora do furo e disposto em caixas de testemunhos (Figura 4.6).

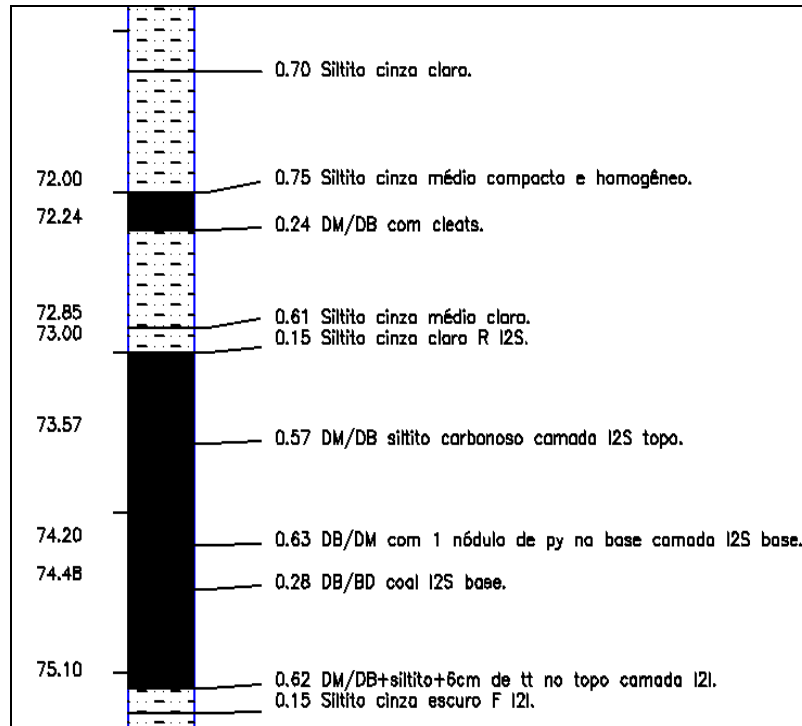


Figura 4.5: Perfuratriz Sullivan 22 usada para a execução dos furos de sondagem.



Figura 4.6: Recuperação de testemunho de sondagem disposto na caixa.

Na Figura 4.7, apresenta-se um trecho de uma das colunas estratigráficas da ÁREA B3.



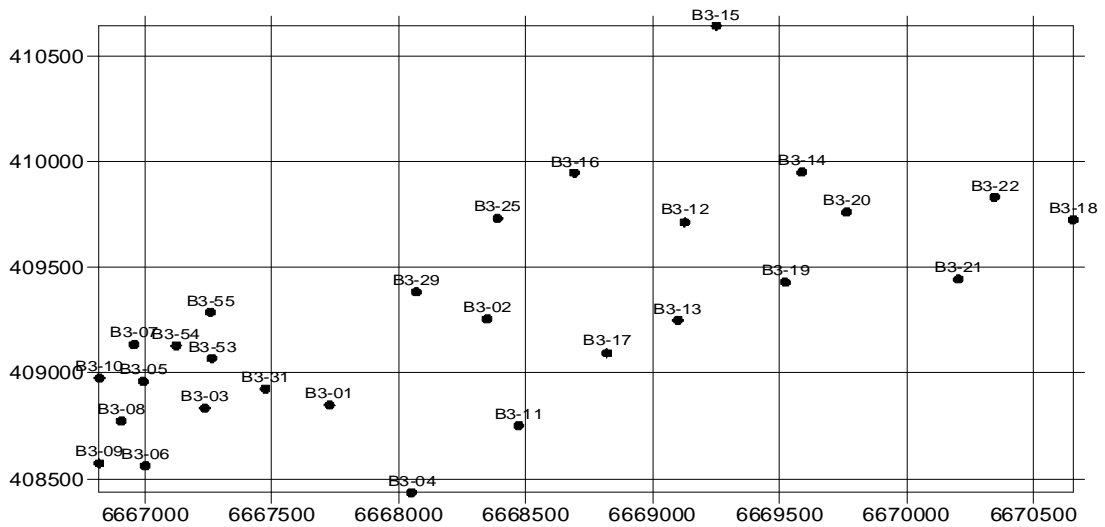
**Figura 4.7: Trecho de uma coluna estratigráfica de um dos furos de sondagem da Área B3**

Após esta etapa, as caixas com os testemunhos sondados são analisadas e é feita a descrição das litologias nelas existentes. No Anexo B, são apresentados alguns exemplos de descrições litológicas efetuadas em cada área.

Terminada essa etapa, são retirados das caixas os testemunhos de carvão e, posteriormente, enviados para o laboratório para que sejam feitas análises de densidade ( $\rho$ ) pelo método afunda-flutua e teor de cinzas (Cz), enxofre (S) e voláteis (V) queimados em forno, determinando, então, a sua qualidade. Para determinação desses parâmetros geoquímicos, foram utilizadas as seguintes normas técnicas (da ABNT): NBR 8289 (determinação de cinzas), NBR 8295 (determinação de enxofre total) e NBR 8290 (determinação de materiais voláteis). No Anexo A, são apresentados os resultados das análises químicas obtidas em laboratório de furos de sondagem.

#### 4.6 EXECUÇÃO DE PERFILAGEM GEOFÍSICA

Foram executados os trabalhos de perfilagem geofísica nas quatro áreas (B3, CALOMBO, CERRO e SEIVAL), em campanhas de pesquisa mineral, para avaliação das características e potencialidades de cada jazida. A Figura 4.8 apresenta, como exemplo, a locação dos furos na malha de sondagem na ÁREA B3, para apreciação do posicionamento relativo deles.



**Figura 4.8:** Furos onde foram feitas as sondagens com recuperação de testemunhos e perfilagens na Área B3 (as coordenadas são locais, mas estão preservadas as distâncias relativas entre furos).



## 5 ANÁLISES DE DADOS

Para cada depósito abordado neste trabalho, foram feitos quatro tipos diferentes de análises, conduzidas da seguinte forma:

(i) Através de visualização direta no perfil, fez-se o reconhecimento dos estratos carbonosos, mensurando a sua espessura com apoio da descrição geológica dos testemunhos de sondagem. Esse procedimento é importante para entender a “assinatura” geofísica dos estratos e também será usado quando se deseja, por exemplo, verificar a espessura do estrato carbonoso em testemunho de sondagem com recuperação deficiente;

(ii) Através de visualização direta nos perfis, fez-se o reconhecimento dos estratos carbonosos mensurando suas espessuras sem a utilização da descrição geológica dos testemunhos de sondagem. Salienta-se que a descrição geológica dos testemunhos de sondagem, embora existente, foi usada somente para validar as interpretações e identificar os erros cometidos nesse procedimento, fornecendo uma ideia da acuracidade da perfilagem quando se deseja estimar espessura de carvão em furos perfilados em bancada de lavra, quando não há extração de testemunhos;

(iii) Avaliação da correlação dos parâmetros de qualidade (cinza, enxofre e voláteis) obtidos por análises de laboratório em testemunhos de sondagem, com os registros de Gama Natural obtidos por perfilagem geofísica;

(iv) Avaliação da correlação dos parâmetros de qualidade (cinza, enxofre e voláteis) com os registros de Resistividade obtidos por perfilagem geofísica.

As análises (i) e (ii) acima foram feitas usando-se furos de sondagem com recuperação de 100% ou muito próximo disso, para garantir grande acuracidade na medida de espessura dos estratos de carvão a partir da descrição geológica.

Para se calcular, em todas as áreas de interesse, a diferença absoluta da espessura, fez-se a subtração do valor da espessura da camada de carvão obtida pela sondagem e a espessura da camada de carvão estimada pelo respectivo perfil geofísico. Já para o cálculo da diferença relativa da espessura, tomou-se o valor da diferença absoluta da espessura (em módulo) e dividiu-se pelo valor da espessura obtida por sondagem (medida mais acurada de espessura), atribuindo-se valor negativo quando a espessura obtida por perfilagem for maior que a espessura obtida por sondagem e, valor positivo na condição inversa.

## 5.1 ÁREA B3

A seguir serão feitas as análises referentes à ÁREA B3.

### 5.1.1 Reconhecimento dos estratos carbonosos com apoio da descrição geológica

No que se refere à identificação dos estratos carbonoso contando com o apoio de descrições geológicas obtidas a partir do exame dos testemunhos de sondagens, os resultados são apresentados na Tabela 5.1.

**Tabela 5.1: Reconhecimento dos estratos carbonosos com apoio da descrição geológica.**

Furo	Camada	SONDAGEM			PERFILAGEM			Difer.Abs. Esp (m)	Difer.Rel Esp (%)
		De	Para	Esp (m)	De	Para	Esp (m)		
B3 - 12	A1	27,50	27,65	0,15	27,28	27,45	0,17	-0,02	13,33
B3 - 12	A2	27,84	28,19	0,35	28,23	28,55	0,32	0,03	-8,57
B3 - 12	S	38,95	39,95	1,00	38,95	39,95	1,00	0	0
B3 - 12	M1	40,20	41,92	1,72	40,25	41,95	1,70	0,02	-1,16
B3 - 12	M2	42,42	43,12	0,70	42,5	43,23	0,73	-0,03	4,29
B3 - 12	I1	45,27	46,94	1,67	45,3	46,95	1,65	0,02	-1,20
B3 - 18	A1	49,60	50,56	0,96	49,30	50,30	1,00	-0,04	4,17
B3 - 18	A2	50,86	51,08	0,22	51,70	51,90	0,20	0,02	-9,09
B3 - 18	S	61,82	63,47	1,65	61,70	63,38	1,68	-0,03	1,82
B3 - 18	M1	63,84	64,54	0,70	63,75	64,50	0,75	-0,05	7,14
B3 - 18	M2	64,88	66,30	1,42	64,80	66,20	1,40	0,02	-1,41
B3 - 18	I1	67,91	70,40	2,49	67,90	70,40	2,50	-0,01	0,40
B3 - 18	I2	73,00	74,20	1,20	73,05	74,35	1,30	-0,10	8,33
B3 - 19	A1	30,00	30,22	0,22	•	•	•	•	•
B3 - 19	A2	30,40	31,40	1,00	•	•	•	•	•
B3 - 19	*A1+A2		Σ	1,22	30,15	31,40	1,25	-0,03	2,46
B3 - 19	S	43,70	44,82	1,12	43,05	44,20	1,15	-0,03	2,68
B3 - 19	M1	45,05	45,78	0,73	44,55	45,30	0,75	-0,02	2,74
B3 - 19	M2	46,05	47,43	1,38	45,70	47,00	1,30	0,08	-5,80
B3 - 19	I1	50,63	52,28	1,65	49,50	51,20	1,70	-0,05	3,03
B3 - 19	I2	53,18	53,48	0,30	52,80	53,10	0,30	0	0
B3 - 21	A1	50,05	51,44	1,39	49,30	50,70	1,40	-0,01	0,72
B3 - 21	S	62,89	63,76	0,87	62,15	63,00	0,85	0,02	-2,30
B3 - 21	L	64,00	64,27	0,27	63,20	63,45	0,25	0,02	-7,41
B3 - 21	M1	64,53	65,46	0,93	63,72	64,62	0,90	0,03	-3,23
B3 - 21	M2	65,62	66,12	0,50	•	•	•	•	•

B3 - 21	M3	66,13	67,19	1,06	•	•	•	•	•
B3 - 21	*M2		Σ	1,56	64,80	66,35	1,55	0,01	-0,64
B3 - 21	I1	69,33	72,39	3,06	68,45	71,48	3,03	0,03	-0,98
B3 - 21	I2	75,69	77,95	2,26	74,80	77,00	2,20	0,06	-2,65
B3 - 50	A1	48,70	48,98	0,28	47,80	48,10	0,30	-0,02	7,14
B3 - 50	A2	49,18	49,44	0,26	48,25	48,50	0,25	0,01	-3,85
B3 - 50	S	61,71	62,61	0,90	60,90	61,80	0,90	0	0
B3 - 50	L	62,84	63,15	0,31	61,95	62,25	0,30	0,01	-3,23
B3 - 50	M1	63,53	64,28	0,75	62,60	63,30	0,70	0,05	-6,67
B3 - 50	M2	64,33	65,2	0,87	63,40	64,30	0,90	-0,03	3,45
B3 - 50	I1	67,60	68,17	0,57	66,70	67,30	0,60	-0,03	5,26
							<b>Diferença Média</b>	<b>-0,0021</b>	
							<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,0358</b>	
B3 - 19	*A1+A2	Não foi possível individualizar as camadas na perfilagem							
B3 - 21	*M2	Não foi possível individualizar as camadas M2 e M3 na perfilagem							

Para ilustrar as observações referentes às dificuldades de individualização das camadas A1/A2 e M2/M3, são apresentadas as figuras 5.1 e 5.2

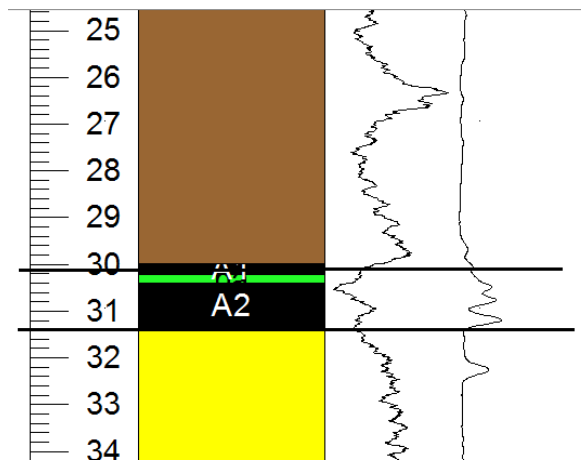


Figura 5.1: Impossibilidade de individualização das camadas A1 e A2 no furo B3-19.

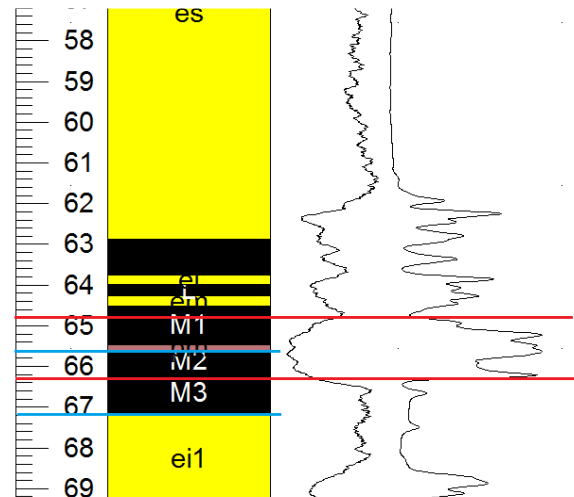


Figura 5.2: Impossibilidade de individualização das camadas M2 e M3 (em azul, limites M2/M3 verificados em testemunho de sondagem; em vermelho, limites verificados na perfilagem geofísica). De propósito, não houve correção na profundidade

### 5.1.2 Reconhecimento dos estratos carbonosos sem o apoio da descrição geológica

A Tabela 5.2 mostra os resultados obtidos no reconhecimento das camadas de carvão, sem o apoio da descrição geológica elaborada a partir de testemunhos de sondagem (utilizados somente para comparar o desvio entre previsão de perfilagem e espessura real).

Tabela 5.2: Reconhecimento dos estratos carbonosos sem apoio da descrição geológica.

Furo	Camada	SONDAGEM			PERFILAGEM			Dif. Abs. Esp. (m)	Dif. Rel. Esp. (%)
		De	Para	Esp. (m)	De	Para	Esp. (m)		
B3 - 13	*A1	27,40	27,78	0,38	27,00	27,65	0,65	-0,27	<b>71,05</b>
B3 - 13	A2	27,91	28,18	0,27	28,02	28,30	0,28	-0,01	3,70
B3 - 13	S+L	40,02	41,48	1,46	39,70	41,25	1,55	-0,09	6,16
B3 - 13	M1	42,00	42,76	0,76	41,85	42,65	0,80	-0,04	5,26
B3 - 13	M2	42,98	44,48	1,50	42,88	44,38	1,50	0,00	0,00
B3 - 13	*M3	45,44	45,51	0,07	45,37	45,52	0,15	-0,08	<b>114,29</b>
B3 - 13	I1	46,60	48,5	1,90	46,55	48,45	1,90	0,00	0,00
B3 - 14	A1	30,95	31,12	0,17	30,12	30,32	0,20	-0,03	<b>17,65</b>
B3 - 14	A2	31,13	31,32	0,19	30,50	30,75	0,25	-0,06	<b>31,58</b>
B3 - 14	S	42,39	43,37	0,98	41,70	42,70	1,00	-0,02	2,04
B3 - 14	M1	43,61	44,25	0,64	42,90	43,70	0,80	-0,16	<b>25,00</b>
B3 - 14	M2	44,60	45,89	1,29	43,90	45,00	1,10	0,19	-14,73
B3 - 24	A1	47,74	48,09	0,35	47,65	48,10	0,45	-0,10	<b>28,57</b>

B3 - 24	A2	48,39	48,59	0,20	48,25	48,45	0,20	0,00	0,00
B3 - 24	S	60,45	60,87	0,42	60,90	61,30	0,40	0,02	-4,76
B3 - 24	M1	62,86	63,56	0,70	62,00	62,80	0,80	-0,10	14,29
B3 - 24	M2	63,80	64,95	1,15	63,00	64,20	1,20	-0,05	4,35
							<b>Diferença Média</b>	<b>-0,0470</b>	
							<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,0940</b>	
B3 - 13	*M3	Espessura da camada é inferior a resolução da sonda							

### 5.1.3 Avaliação da correlação Gama Natural e Resistividade em relação a Cinza, Enxofre e Voláteis na ÁREA B3

Para a obtenção da correlação entre os valores de gama natural e resistividade de cada estrato de carvão e avaliação da diferença entre as estimativas por perfilagem e os valores reais (supostamente mais acurados) obtidos por análise de laboratório, foi montada a Tabela 5.3 abaixo. As correlações obtidas referem-se a um modelo linear de correlação entre o parâmetro geofísico (GN e RES) e o parâmetro de qualidade Cz, S e V (cinza, enxofre e voláteis respectivamente). Na elaboração da Tab.5.3, utilizaram-se médias dos registros de GN e RES obtidos no intervalo da espessura de cada estrato carbonoso, para gerar o valor a ser correlacionado com dado de análise de laboratório.

**Tabela 5.3: Dados obtidos na perfilagem geofísica para previsão de Cinza.**

Furo	Camada	Espes. (m)	Perfilagem Geofísica		Laboratório			Prevista pelo modelo	
			Res. (Ohm-m)	GN (API)	Cz. (%)	S (%)	V (%)	Cz. (%)	Difer. (%)
B3 - 38	A1	0,4	15,9	80,9	56,2	4,6	17,5	45,5	-10,6
B3 - 37	A1	0,4	4,6	75,6	59,6	4,0	13,4	43,8	<b>-15,8</b>
B3 - 29	A1	0,3	15,6	129,0	69,2	2,1	13,7	61,0	-8,2
B3 - Z1	A1	0,3	14,9	126,5	73,3	1,8	12,6	60,2	<b>-13,1</b>
B3 - 38	A2	0,3	23,3	90,9	38,8	1,5	23,1	48,8	10,0
B3 - 37	A2	0,2	5,1	95,7	51,8	5,5	18,1	50,3	-1,5
B3 - Z1	A2	0,2	13,3	127,4	54,6	5,1	24,2	60,5	5,9
B3 - 36	A2	0,3	11,0	92,2	60,5	9,1	12,4	49,2	-11,3
B3 - 29	I1	1,1	58,1	91,2	48,5	1,7	21,6	48,8	0,3
B3 - 36	I1	1,3	28,0	90,7	49,1	1,8	18,2	48,7	-0,4
B3 - 37	I1	1,3	10,1	100,5	52,7	1,0	16,4	51,8	-0,8

<b>B3 - 34</b>	<b>I1</b>	1,7	24,3	106,0	57,1	0,8	15,4	53,6	-3,5
<b>B3 - 39</b>	<b>I1</b>	0,5	27,8	132,6	69,6	0,6	12,9	62,2	-7,4
<b>B3 - 38</b>	<b>I2</b>	0,7	35,2	125,0	51,4	0,4	17,3	59,7	8,3
<b>B3 - 39</b>	<b>I2</b>	0,6	25,4	112,9	55,3	0,7	17,9	55,8	0,5
<b>B3 - 37</b>	<b>L</b>	0,4	10,6	105,6	43,4	0,7	19,9	53,5	10,1
<b>B3 - 29</b>	<b>L</b>	0,5	23,9	125,0	72,2	0,5	15,0	59,7	<b>-12,5</b>
<b>B3 - 34</b>	<b>M1</b>	0,3	30,9	76,0	37,0	6,0	20,4	43,9	6,9
<b>B3 - 38</b>	<b>M1</b>	0,6	39,8	88,7	45,7	1,7	20,0	48,0	2,3
<b>B3 - 29</b>	<b>M1</b>	0,5	51,2	94,9	47,4	4,5	24,0	50,0	2,6
<b>B3 - 37</b>	<b>M1</b>	0,6	12,5	91,4	48,1	3,7	19,1	48,9	0,8
<b>B3 - 38</b>	<b>M2</b>	1,4	45,9	58,1	29,2	2,8	26,8	38,2	9,0
<b>B3 - 37</b>	<b>M2</b>	1,2	17,1	62,0	29,3	2,1	27,4	39,4	10,2
<b>B3 - 39</b>	<b>M2</b>	1,1	31,1	58,2	31,7	3,4	26,2	38,2	6,5
<b>B3 - 29</b>	<b>M2</b>	0,6	57,6	96,9	36,9	2,6	27,6	50,7	<b>13,8</b>
<b>B3 - 34</b>	<b>M2</b>	0,5	35,1	77,8	69,3	0,4	10,3	44,5	<b>-24,8</b>
<b>B3 - 38</b>	<b>M3</b>	0,5	23,1	162,9	58,2	2,0	11,7	71,9	<b>13,8</b>
<b>B3 - 29</b>	<b>S</b>	0,9	48,5	98,8	42,4	2,8	26,4	51,3	8,9
<b>B3 - 34</b>	<b>S</b>	1,2	33,7	88,4	46,5	3,0	17,7	47,9	1,4
<b>B3 - 37</b>	<b>S</b>	0,8	6,7	98,5	48,9	2,6	17,7	51,2	2,3
<b>B3 - Z1</b>	<b>S</b>	0,8	33,1	91,1	52,5	3,3	21,1	48,8	-3,7

#### 5.1.3.1 Correlação Gama Natural versus (Cinza, Enxofre e Voláteis)

As Figs. 5.3, 5.4 e 5.5 mostram as correlações entre GN e os três parâmetros de qualidade.

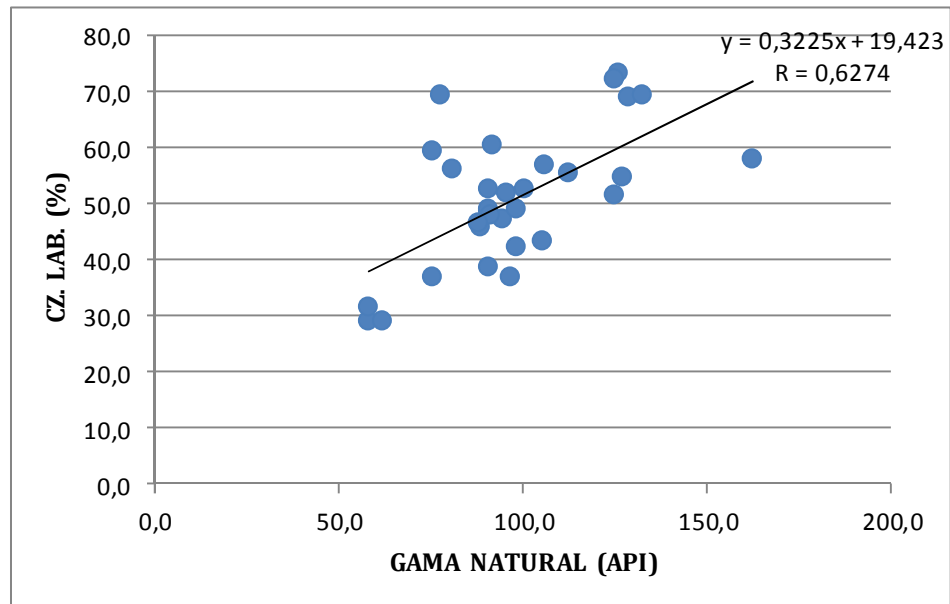


Figura 5.3: Plotagem para verificação de correlação entre registros de GN e Cz na ÁREA B3.

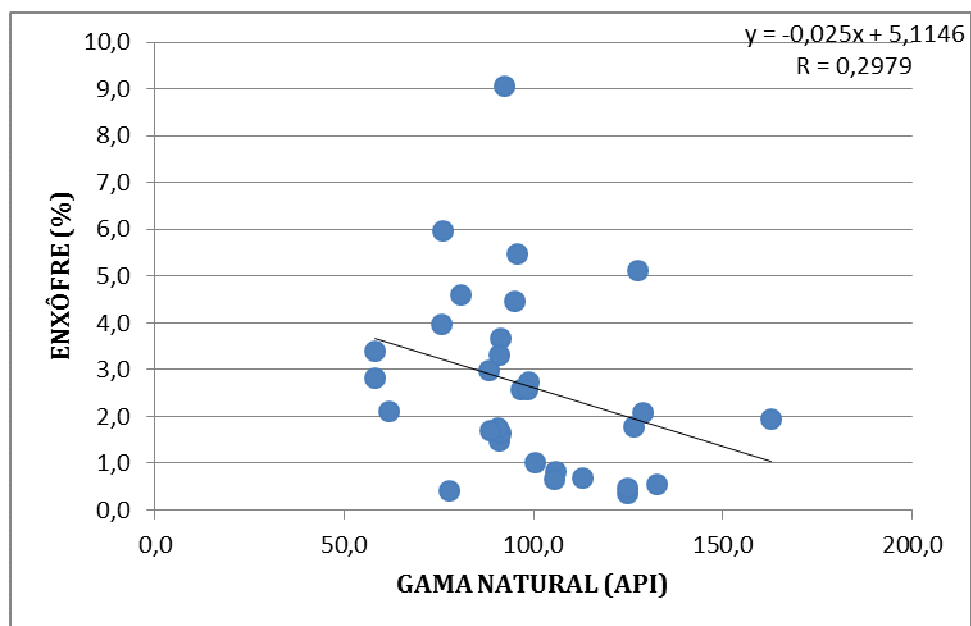


Figura 5.4: Plotagem para verificação de correlação entre registros de GN e S na ÁREA B3.

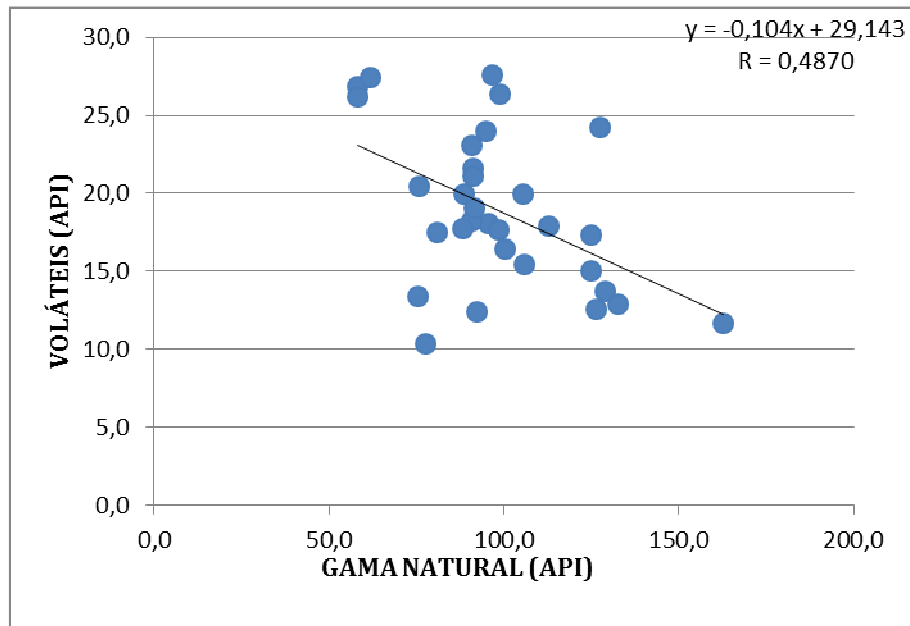


Figura 5.5: Plotagem para verificação de correlação entre registros de GN e Voláteis na ÁREA B3.

#### 5.1.3.2 Correlação Resistividade *versus* (Cinza, Enxofre e Voláteis)

As Figs. 5.6, 5.7 e 5.8 mostram as correlações entre RES e os três parâmetros de qualidade.

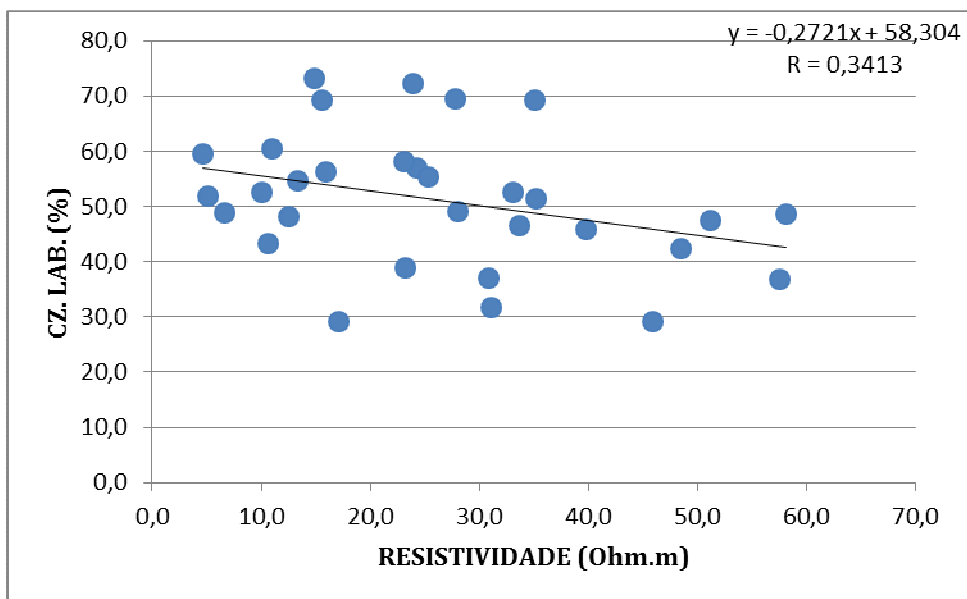


Figura 5.6: Plotagem para verificação de correlação entre registros de RES e CZ na ÁREA B3.



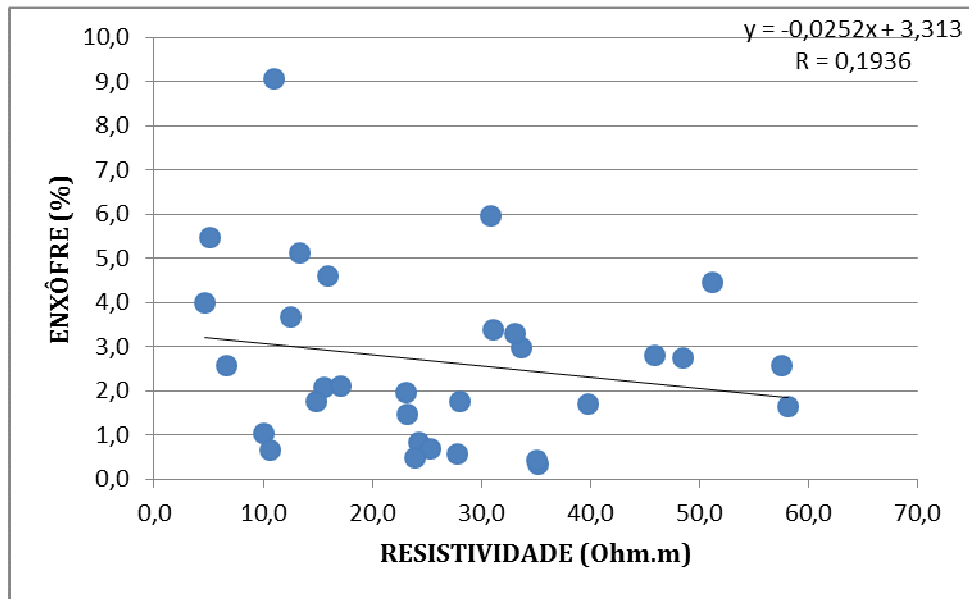


Figura 5.7: Plotagem para verificação de correlação entre registros de RES. e S na ÁREA B3

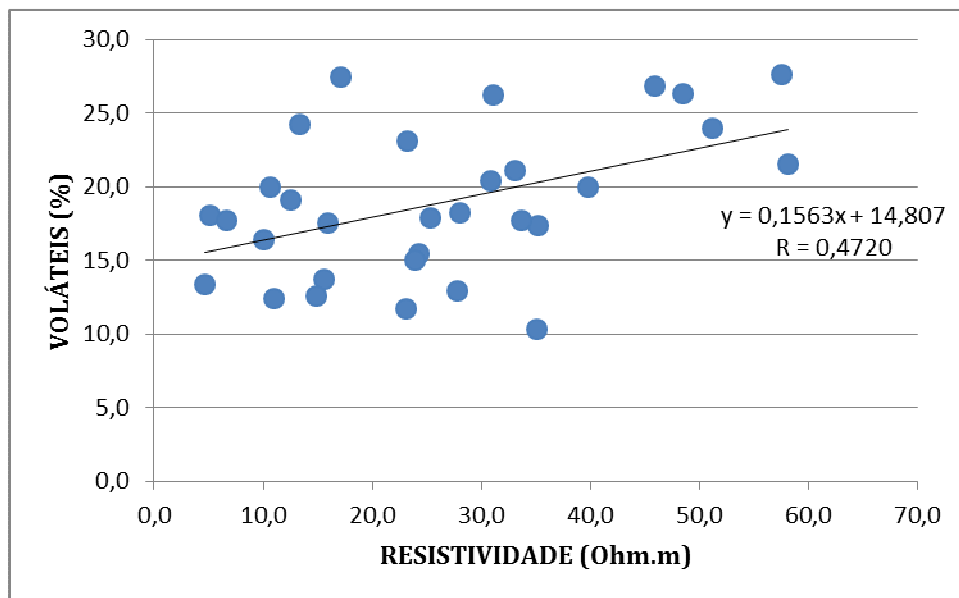


Figura 5.8: Plotagem para verificação de correlação entre registros de RES. e Voláteis na ÁREA B3.

#### 5.1.4 Discussão de resultados para ÁREA B3

A ÁREA B3 apresentou feições muito semelhantes entre os furos (que estavam dispostos aleatoriamente na ÁREA, conforme mostrado na Fig. 4.8) e, diferente das outras áreas, tornando mais seguro o reconhecimento dos estratos carbonosos, tanto com o auxílio da descrição geológica como sem ela.

As camadas M1 e M2 estão presentes em todos ou quase todos os furos e possuem assinaturas bem características e constantes na forma, como se pode observar nas Fig. 5.2 e 5.9. A partir delas, identificam-se as assinaturas das outras camadas, acima e abaixo das mesmas.

Outro fator facilitador no processo de reconhecimento é a ausência de estrato com sinal geofísico similar ao sinal do carvão (por exemplo, arenito) na sua proximidade.

A avaliação feita em B3 para a correlação do parâmetro geofísico GN é de uma correlação fraca ( $R \approx 0,63$ ) para Cz Lab, muito fraca (0,30) para S e fraca para Voláteis (0,49). Já para o parâmetro geofísico RES, aparece uma correlação muito fraca ( $R \approx 0,34$  e 0,20) respectivamente para Cz Lab e S, e fraca para V (0,5). Por isso, foi usado um modelo a partir de GN para se obter percentuais de cinza.

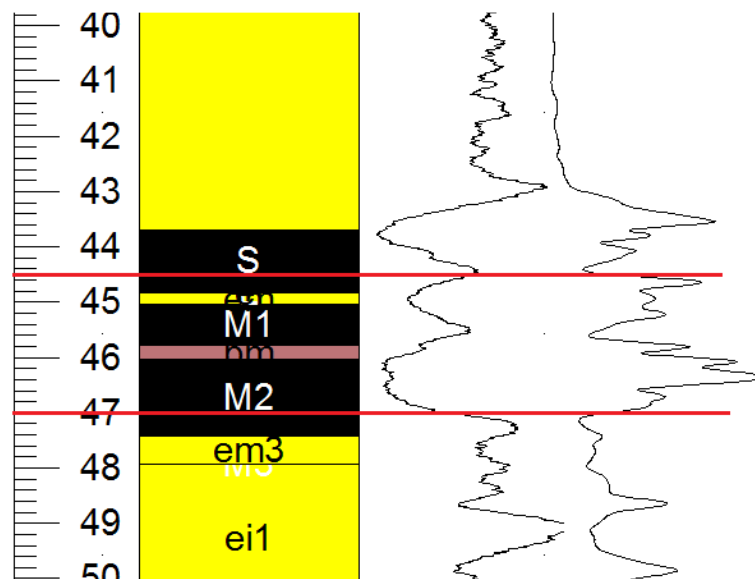


Figura 5.9: Perfil de GN característico das camadas M1 e M2.

Considerando as baixas correlações obtidas em B3, foi feita uma tentativa para observar o comportamento das variáveis GN e Cz, individualizado por camada, na expectativa de que isso produzisse melhores resultados.

Foram então selecionadas as camadas M1 e M2 para serem observadas separadamente quanto à correlação entre GN e Cz. Os resultados são mostrados nas Figs. 5.10 e 5.11. Observam-se tanto altas ( $R = 0,97$  em M1), quanto baixas ( $R = 0,4$  em M2) correlações.

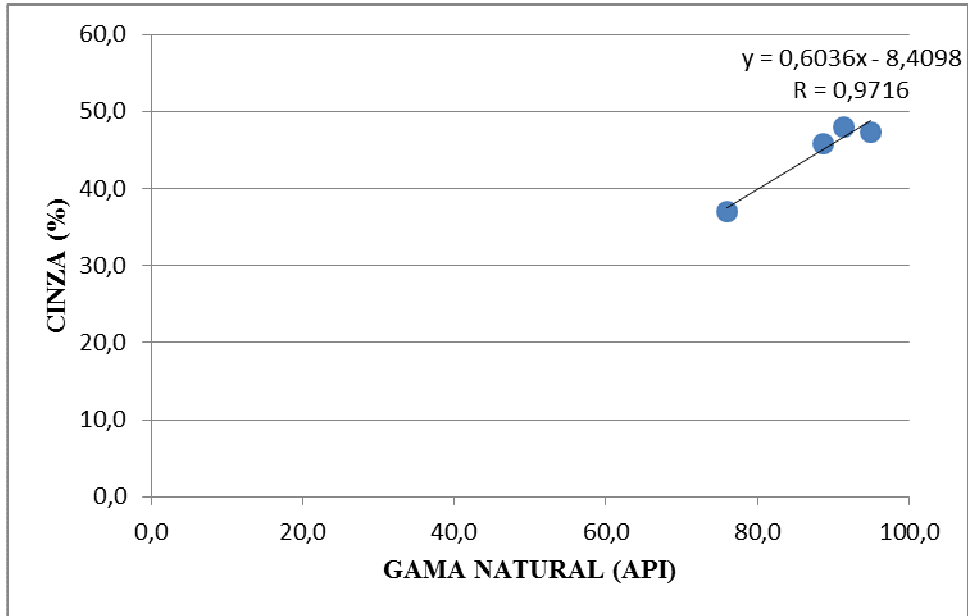


Figura 5.10: Plotagem para verificação de correlação entre registros de GN e Cz na Camada M1 da ÁREA B3.

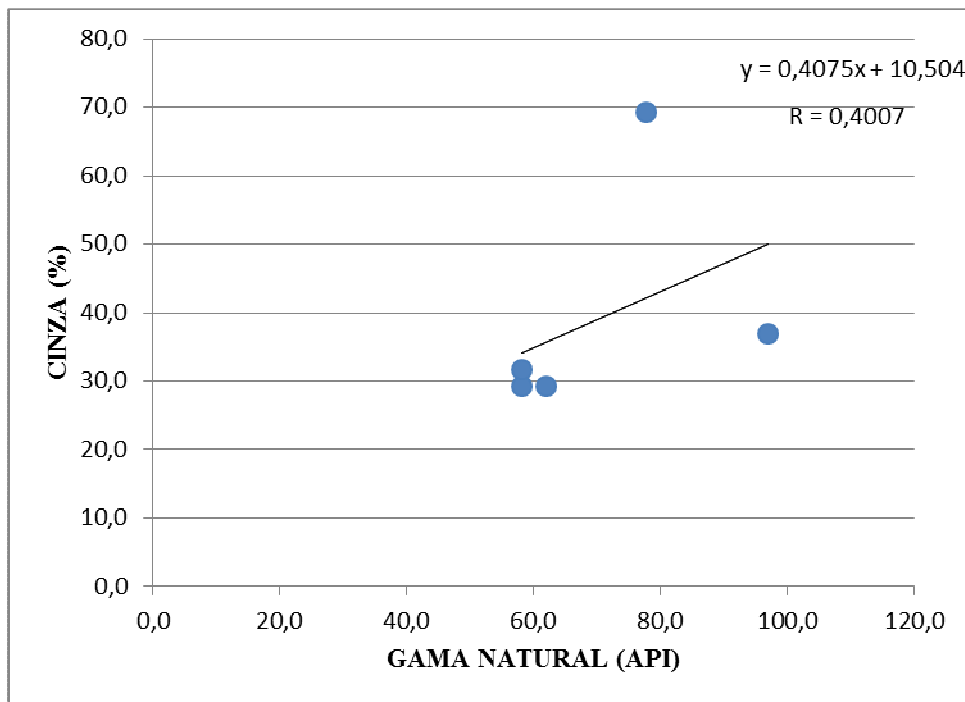


Figura 5.11: Plotagem para verificação de correlação entre registros de GN e Cz na Camada M2 da ÁREA B3.

De fato, a pouca quantidade de valores disponíveis no banco de dados de B3 não garante representatividade estatística que permita avaliações mais

conclusivas, pois as correlações podem ser facilmente modificadas pela adição de um novo valor fortemente ou fracamente correlacionado.

O mesmo pode ser dito a respeito da tentativa de correlacionar RES e Cz ou GN e RES (ver Figs. 5.12, 5.13, 5.14 e 5.15), que igualmente não apresentaram altas correlações e sofrem das mesmas restrições de dados como os já citados acima.

Tentativas de obter melhores correlações em B3 usando camadas específicas podem ser observadas em Gasper (2012), em que essa ideia foi explorada para gerar correlações da ordem de  $R = 0,84$  entre GN e Cz, usando os dados de três camadas adequadamente escolhidas (no caso, foram aglutinados os dados das camadas S, M1 e I1). Todavia, deve-se salientar que os furos utilizados no trabalho de Gasper (2012) foram furos de desmonte de rocha sem sondagem e em área de 0,25 ha bem próximos uns dos outros (no máximo na casa da dezena de metros), enquanto, neste trabalho, foram utilizados furos de sondagem com recuperação de testemunho, bem espaçados (na casa de várias centenas de metros) e em área já mencionada anteriormente de 221 ha. Isso sugere que o comportamento de uma mesma camada de carvão sofre alteração na qualidade quanto maior for sua malha de sondagem.

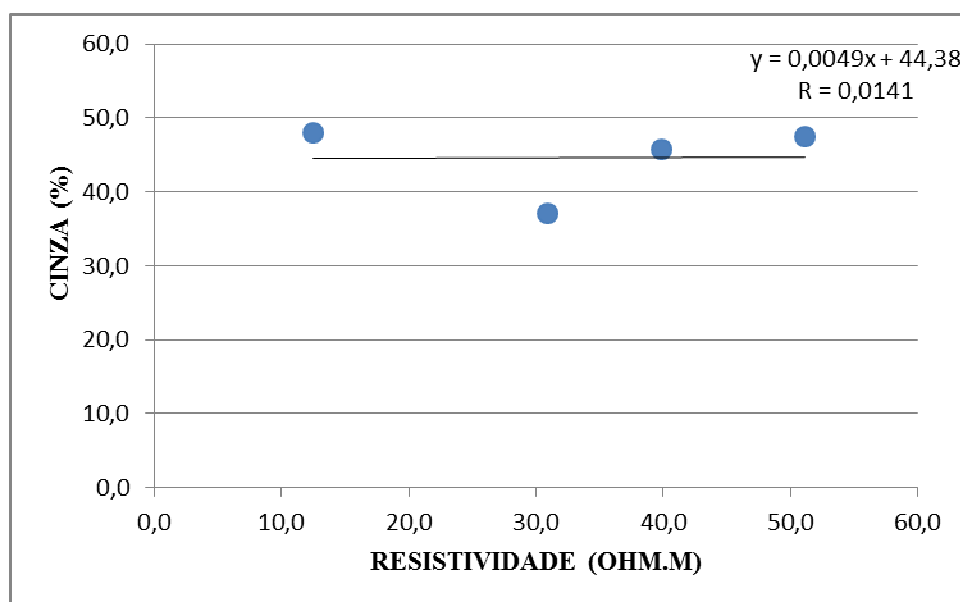


Figura 5.12: Plotagem para verificação de correlação entre registros de RES e CZ na camada M1 da ÁREA B3.

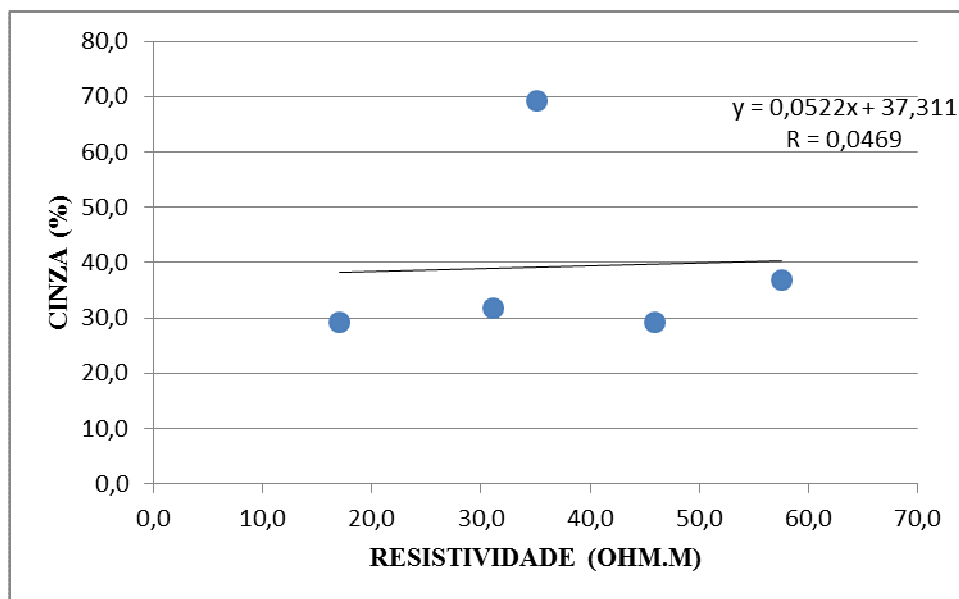


Figura 5.13: Plotagem para verificação de correlação entre registros de RES e RES na camada M2 da ÁREA B3.

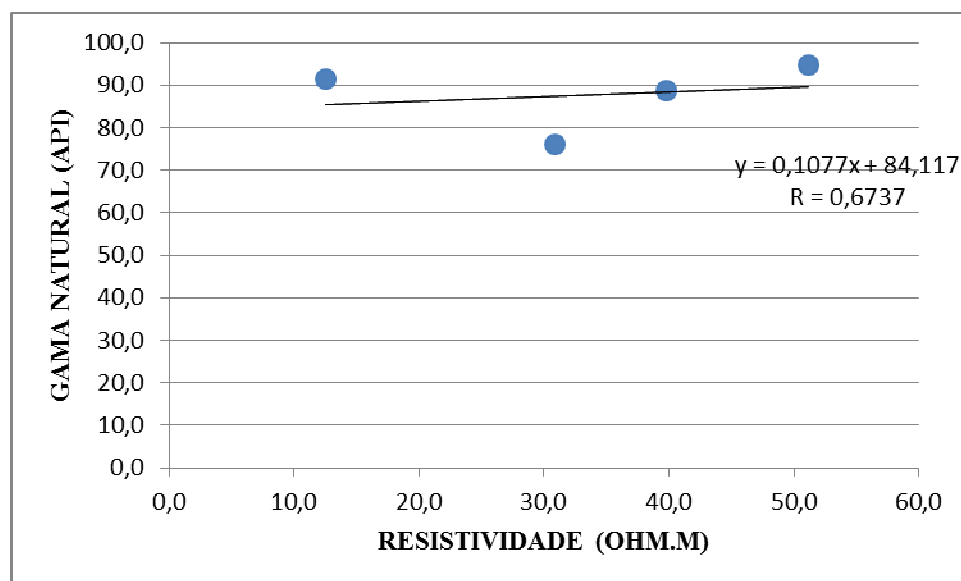


Figura 5.14: Plotagem para verificação de correlação entre registros de RES e RES na camada M2 da ÁREA B3.

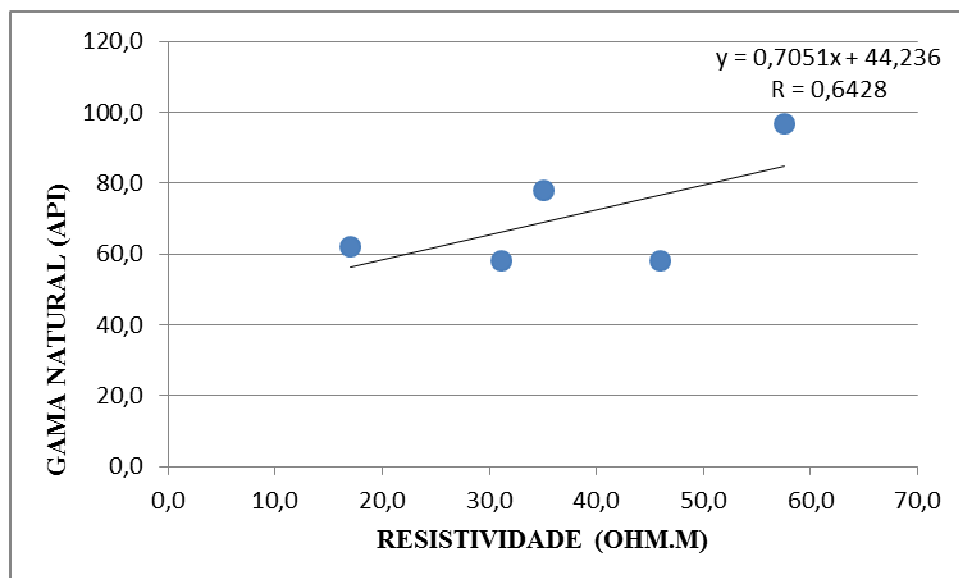


Figura 5.15: Plotagem para verificação de correlação entre registros de RES e GN na camada M2 da ÁREA B3.

## 5.2 ÁREA DO CALOMBO

A seguir, serão feitas as análises referentes à ÁREA do CALOMBO.

### 5.2.1 Reconhecimento dos estratos carbonosos com apoio da descrição geológica

No que se refere à identificação dos estratos carbonoso contando com o apoio de descrições geológicas obtidas a partir do exame dos testemunhos de sondagens, os resultados são apresentados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4: Reconhecimento dos estratos carbonosos com apoio da descrição geológica.

Furo	Camada	SONDAGEM			PERFILAGEM			Dif. Abs. Esp. (m)	Dif. Rel. Esp. (%)
		De	Para	Esp. (m)	De	Para	Esp. (m)		
CAL - 01	*S1	23,18	23,55	0,40	•	•	•	•	•
CAL - 01	*S2	23,55	25,49	2,15	•	•	•	•	•
CAL - 01	S1+S2		Σ	2,55	22,60	25,10	2,50	0,05	-1,96
CAL - 01	S3	25,94	26,7	0,82	25,50	26,30	0,80	0,02	-2,44
CAL - 01	M	32,51	33,89	1,38	32,00	33,40	1,40	-0,02	1,45
CAL - 09	A	25,61	27,17	1,56	25,00	26,6	1,60	-0,04	2,56
CAL - 09	S1	35,48	36,18	0,70	35,00	35,80	0,80	-0,10	<b>14,29</b>

CAL - 09	S2	36,37	37,95	1,58	36,10	37,60	1,50	0,08	-5,06
CAL - 09	S3	38,45	39,09	0,64	39,00	39,60	0,60	0,04	-6,25
CAL - 09	M	44,61	45,59	0,98	44,00	45,00	1,00	-0,02	2,04
CAL - 10	*A	•	•	•	19,80	20,90	1,10	0,00	•
CAL - 10	*A	•	•	•	21,20	21,70	0,50	0,00	•
CAL - 10	*A	20,10	20,80	1,27		Σ	1,60	-0,33	<b>25,98</b>
CAL - 10	A	21,30	21,70	0,40	22,55	22,95	0,40	0,00	0,00
CAL - 10	S1	30,37	31,35	0,98	30,00	31,00	1,00	-0,02	2,04
CAL - 10	S2	31,83	34,23	2,40	31,40	33,80	2,40	0,00	0,00
CAL - 10	S3	34,42	35,21	0,79	34,00	34,80	0,80	-0,01	1,27
CAL - 10	M	41,10	42,07	0,97	40,70	41,70	1,00	-0,03	3,09
CAL - 12	A	25,27	25,87	0,60	25,60	26,20	0,60	0,00	0
CAL - 12	*S1	35,75	36,18	0,43	•	•	•	•	•
CAL - 12	S2	36,18	38,60	2,42	35,20	37,60	2,40	0,02	-0,83
CAL - 12	S3	40,20	40,79	0,59	39,50	40,10	0,60	-0,01	1,69
CAL - 12	M	44,79	45,70	0,91	44,15	45,00	0,85	0,06	-6,59
CAL - 24	*A	15,95	16,55	0,60	15,75	16,35	0,60	0,00	0,00
CAL - 24	*S1	26,55	26,85	0,30	25,95	26,25	0,30	0,00	0,00
CAL - 24	S2	27,15	29,77	2,62	26,70	29,35	2,65	-0,03	1,15
CAL - 24	S3	31,30	32,27	0,97	30,85	31,80	0,95	0,02	-2,06
CAL - 24	M	36,26	37,33	1,07	35,95	37,05	1,10	-0,03	2,80
							<b>Diferença média</b>	<b>-0,0140</b>	
							<b>Desvio padrão</b>	<b>0,0750</b>	
CAL - 01	*S1	Recuperação de 93% = 0,37 m							
CAL - 01	*S2	Recuperação de 90% = 1,94 m							
CAL - 10	*A	Recuperação de 55% = 0,70 m							
CAL - 12	*S1	Impossível discriminar a camada no perfil							
CAL - 24	*A e *S1	Somente é visível por Resistividade							

### 5.2.2 Reconhecimento dos estratos carbonosos sem apoio da descrição geológica

A Tabela 5.5 mostra os resultados obtidos no reconhecimento das camadas de carvão, sem o apoio da descrição geológica elaborada pelo geólogo com testemunhos de sondagem.

Tabela 5.5: Reconhecimento dos estratos carbonosos sem apoio da descrição geológica.

Furo	Camada	SONDAGEM			PERFILAGEM			Dif. Abs. Esp (m)	Dif. Rel. Esp (%)
		De	Para	Esp. (m)	De	Para	Esp. (m)		
CAL - 02	M	30,20	31,10	0,90	29,60	30,60	1,00	-0,10	11,11
CAL - 14	S1	20,15	20,61	0,46	•	•	•	•	•
CAL - 14	S2	21,08	23,58	2,50	•	•	•	•	•
CAL - 14	S3	23,76	24,65	0,89	•	•	•	•	•
		TOTAL S1+S2+S3		3,85	20,30	24,05	3,75	0,10	-2,60
CAL - 14	M	32,17	33,39	1,22	31,45	32,60	1,15	0,07	-5,74
CAL - 14	I1	33,66	33,75	0,09	•	•	•	•	•
CAL - 14	I1	34,65	35,30	0,65	•	•	•	•	•
		TOTAL I1+I1		0,74	34,05	34,75	0,70	0,04	-5,41
CAL - 14	I2	38,17	38,71	0,54	37,40	38,00	0,60	-0,06	11,11
CAL - 15	S1	21,99	22,35	0,36	21,25	21,50	0,25	0,11	-30,56
CAL - 15	S2+S3	22,94	25,14	2,20	22,20	24,25	2,05	0,15	-6,82
CAL - 15	*N/I	30,31	30,48	0,17	29,65	29,80	0,15	0,02	-11,76
CAL - 15	M	33,31	34,43	1,12	32,80	33,85	1,05	0,07	-6,25
							<i>Diferença média</i>	0,0444	
							<i>Desvio padrão</i>	0,0807	
CAL - 15	*N/I	camada não discriminada pela geologia							

### 5.2.3 Avaliação da correlação Gama Natural e Resistividade versus (Cinza, Enxofre e Voláteis)

A metodologia para formação da Tabela 5.6 é idêntica à da ÁREA B3.

Tabela 5.6: Dados obtidos na perfilagem geofísica para previsão de Cinza.

Furo	Camada	Espes. (m)	Perfilagem Geofísica		Laboratório			Prevista pelo modelo	
			Resist. (Ohm-m)	Gama Nat. (API)	Cinza (%)	S (%)	Voláteis (%)	Cinza (%)	Erro (%)
CAL - 1	M	1,4	42,5	20,8	64,2	1,4	18,8	54,1	-10,0
CAL - 1	S2	1,9	84,1	9,6	31,6	3,9	27,0	36,4	4,8
CAL - 1	S3	0,8	81,0	13,2	42,4	2,1	23,8	42,1	-0,2
CAL - 3	S3	0,7	41,0	18,4	52,1	2,0	20,4	50,3	-1,7
CAL - 6	S3	0,6	93,5	18,0	47,9	2,0	21,2	49,7	1,8



CAL - 8	M	0,7	93,5	22,8	54,3	0,4	21,1	57,3	3,0
CAL - 9	S1	0,7	49,3	11,4	41,3	2,4	28,8	39,2	-2,0
CAL - 9	S2	0,5	112,2	12,0	40,1	2,3	27,5	40,2	0,1
CAL - 9	S3	1,1	50,1	15,0	46,0	1,8	24,2	44,9	-1,0
CAL - 10	M	1,0	65,1	10,8	45,1	2,2	29,2	38,3	-6,7
CAL - 10	S1	1,0	48,0	10,3	42,8	5,4	28,3	37,5	-5,2
CAL - 10	S2	2,4	49,1	17,1	37,6	0,9	32,7	48,2	10,6
CAL - 10	S3	0,8	41,3	15,8	35,5	2,9	32,3	46,2	10,7
CAL - 12	M	0,9	87,2	15,3	48,9	2,4	21,3	45,4	-3,4
CAL - 12	S1	0,6	68,7	17,0	56,1	1,1	35,4	48,1	-7,9
CAL - 12	S2	2,4	68,7	22,2	42,1	0,8	22,6	56,3	14,2
CAL - 12	S3	0,6	63,6	11,3	39,1	4,0	36,1	39,1	0,0
CAL - 13	M	1,4	70,0	19,8	53,0	1,4	20,3	52,5	-0,4
CAL - 13	S1	0,8	125,5	9,8	34,1	1,0	26,4	36,7	2,6
CAL - 13	S2	3,4	90,9	16,8	46,1	1,1	22,2	47,8	1,7
CAL - 14	M	1,2	74,7	17,1	51,4	2,9	21,4	48,2	-3,1
CAL - 14	S1	0,5	150,8	12,2	36,9	0,7	25,5	40,5	3,6
CAL - 14	S2	2,5	166,6	11,0	33,9	2,1	28,3	38,6	4,7
CAL - 14	S3	0,9	123,4	6,0	32,3	0,9	23,1	30,7	-1,6
CAL - 15	M	1,1	68,1	20,4	55,0	1,3	19,2	53,5	-1,4
CAL - 15	S2	1,8	116,0	7,8	28,4	2,7	28,4	33,5	5,1
CAL - 16	M	1,0	64,0	15,9	46,5	1,7	22,4	46,3	-0,1
CAL - 16	S1	0,6	46,2	9,3	39,2	4,2	26,4	35,9	-3,2
CAL - 16	S2	2,5	107,1	11,8	42,6	1,5	25,9	39,8	-2,7
CAL - 16	S3	0,5	65,7	14,3	43,5	1,0	23,6	43,8	0,3
CAL - 19	M	1,4	71,7	17,7	51,9	0,6	20,3	49,2	-2,6
CAL - 21	M	0,8	72,1	19,6	52,4	1,1	21,7	52,2	-0,1
CAL - 21	S2	2,1	114,9	10,7	35,8	5,3	24,9	38,1	2,3
CAL - 21	S3	0,9	59,2	21,6	60,9	0,4	17,7	55,4	-5,4
CAL - 22	M	1,5	60,3	19,0	52,3	1,2	21,7	51,3	-1,0
CAL - 23	M	1,0	87,5	15,8	47,6	1,8	31,5	46,2	-1,3
CAL - 24	M	1,1	77,4	17,8	50,3	2,2	23,1	49,4	-0,9
CAL - 24	S2	2,6	111,3	10,9	39,6	1,9	29,3	38,4	-1,1
CAL - 24	S3	1,0	77,2	19,0	53,2	0,6	20,5	51,3	-1,9

### 5.2.3.1 Correlação de Gama Natural versus (Cinza, Enxofre e Voláteis)

As Figs. 5.16, 5.17 e 5.18 mostram as correlações entre GN e os três parâmetros de qualidade.

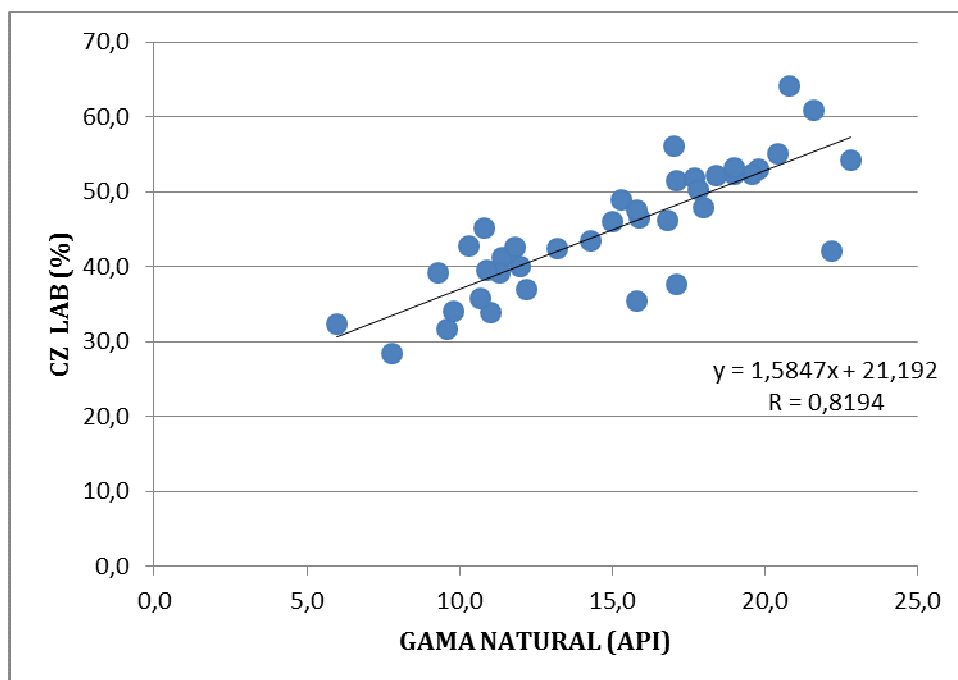


Figura 5.16: Plotagem para verificação de correlação entre registros de GN e Cz na ÁREA do CALOMBO.

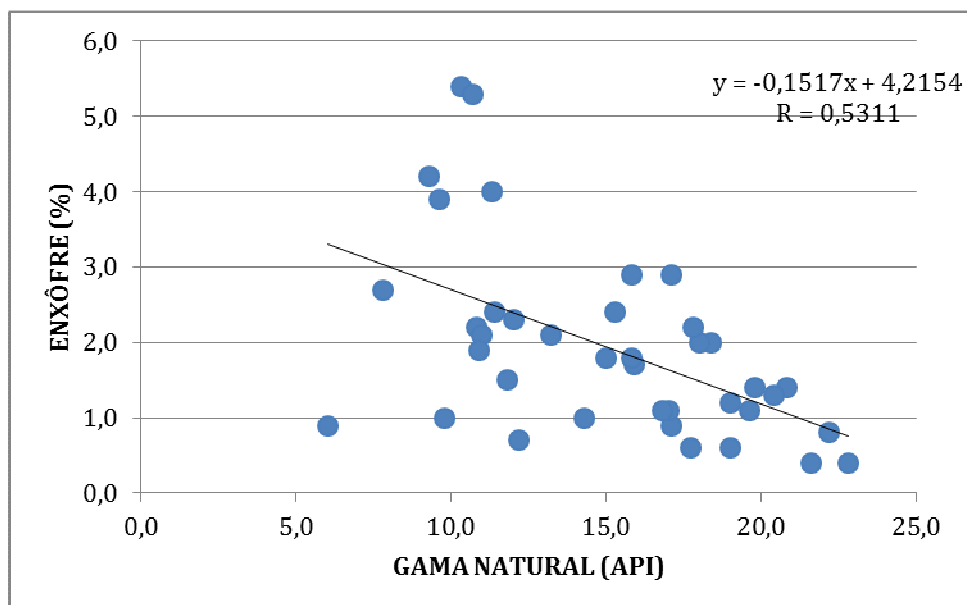


Figura 5.17: Plotagem para verificação de correlação entre registros de GN e S na ÁREA do CALOMBO.

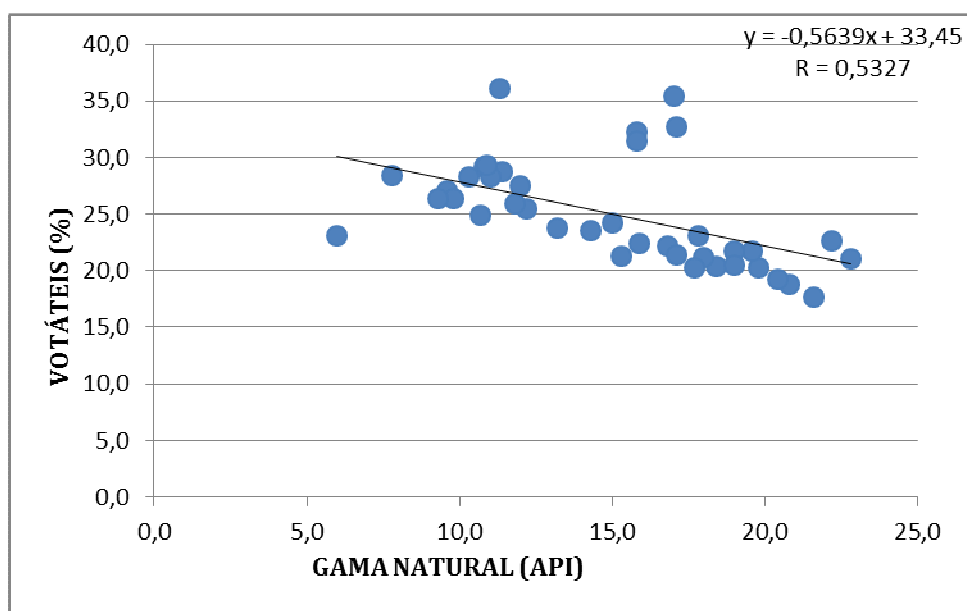


Figura 5.18: Plotagem para verificação de correlação entre registros de GN e Voláteis na ÁREA do CALOMBO.

### 5.2.3.2 Correlação de Resistividade *versus* (Cinza, Enxofre e Voláteis)

As Figs. 5.19, 5.20 e 5.21 mostram as correlações entre RES. e os três parâmetros de qualidade.

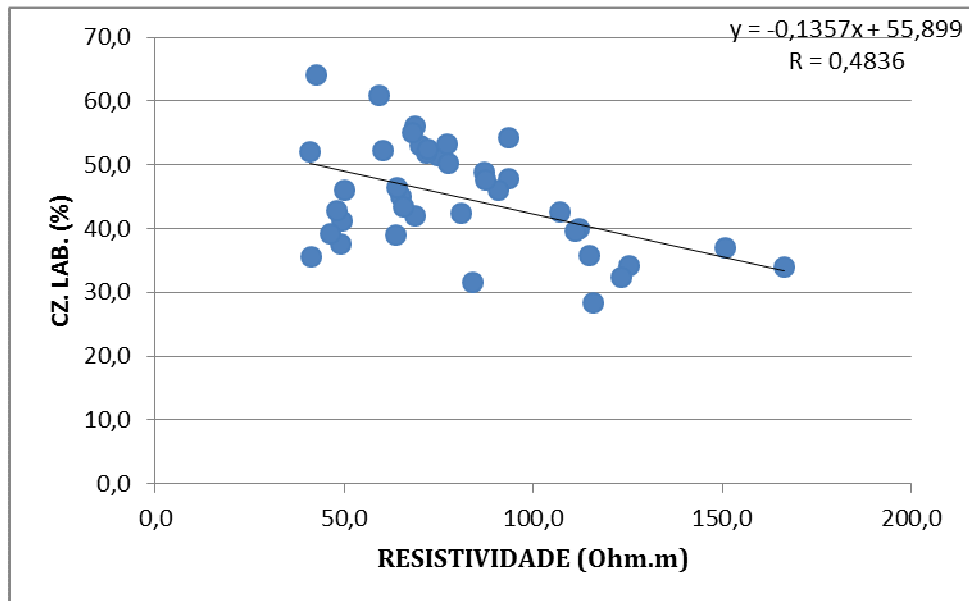


Figura 5.19: Plotagem para verificação de correlação entre registros de RES. e Cz na ÁREA do CALOMBO.

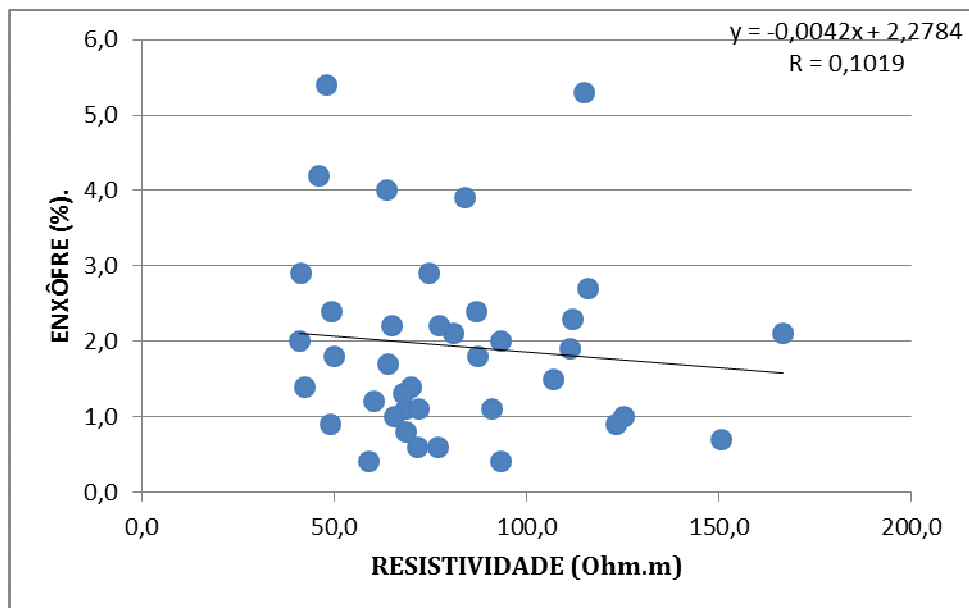


Figura 5.20: Plotagem para verificação de correlação entre registros de RES. e S na ÁREA do CALOMBO.

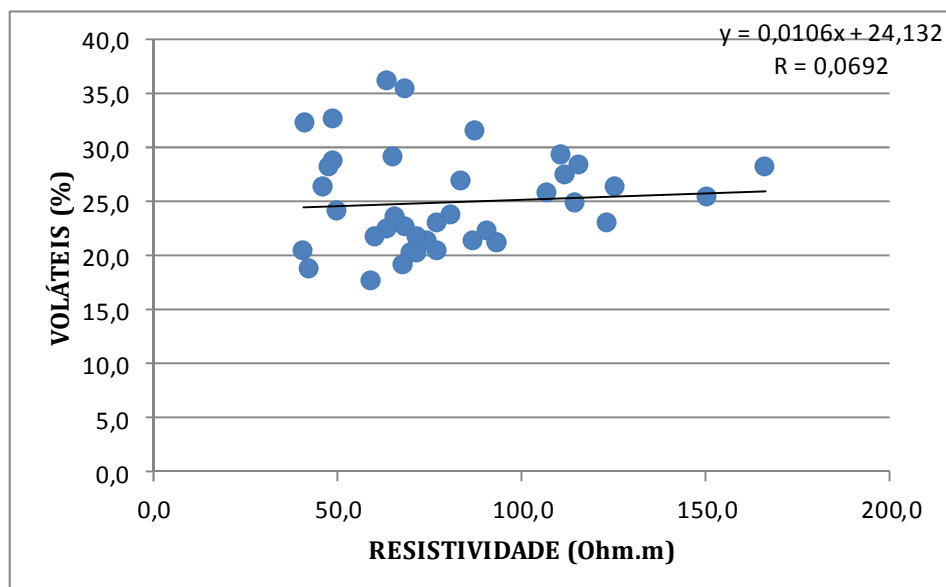


Figura 5.21: Plotagem para verificação de correlação entre registros de RES. e Voláteis na ÁREA do CALOMBO.

#### 5.2.4 Discussão de resultados para ÁREA do CALOMBO

A ÁREA do CALOMBO, em virtude da ausência de estratos com sinal geofísico semelhante ao do carvão, também apresentou facilidade na detecção e reconhecimento, tanto da espessura quanto da profundidade das camadas carboníferas.

O furo CAL-24 mostrou sinal de carvão nas camadas A e S1 apenas no perfil de Resistividade.

A avaliação feita na ÁREA CALOMBO para o parâmetro geofísico GN é de uma boa correlação ( $R \approx 0,82$ ) com Cz Lab. Para S e V, a correlação apresentou-se fraca (ambas  $\approx 0,53$ ). Já para o parâmetro geofísico de RES, aparece uma correlação fraca (0,48) para Cz Lab, muito fraca ( $R \approx 0,1$ ) para S e quase nula V.

#### 5.3 ÁREA DO CERRO

A seguir, serão feitas as análises referentes à ÁREA do CERRO.

### 5.3.1 Reconhecimento dos estratos carbonosos com apoio da descrição geológica

No que se refere à identificação dos estratos carbonosos contando com o apoio de descrições geológicas obtidas a partir do exame dos testemunhos de sondagens, os resultados são apresentados na Tabela 5.7.

**Tabela 5.7: Reconhecimento dos estratos carbonosos com apoio da descrição geológica.**

Furo	Camada	SONDAGEM			PERFILAGEM			Dif. Abs. Esp. (m)	Dif. Rel. Esp. (%)
		De	Para	Esp (m)	De	Para	Esp (m)		
CRN - 26	S	12,51	14,61	2,10	12,25	14,40	2,15	-0,05	2,38
CRN - 26	*M1	30,95	31,99	1,29	30,50	31,80	1,30	-0,01	0,78
CRN - 26	M2	34,28	35,71	1,43	33,85	35,30	1,45	-0,02	1,40
CRN - 26	M3	36,64	36,80	0,16	36,35	36,48	0,13	0,03	<b>-18,75</b>
CRN - 26	l1S	46,23	46,84	0,61	45,50	46,10	0,60	0,01	-1,64
CRN - 26	*l1I	46,97	48,22	1,60	46,20	47,90	1,70	-0,10	6,25
CRN - 26	N/I	49,87	50,11	0,24	49,95	50,15	0,20	0,04	<b>-16,67</b>
CRN - 26	N/I	50,15	50,30	0,15	50,20	50,40	0,20	-0,05	<b>33,33</b>
CRN - 30	S	18,85	20,60	1,75	18,55	20,40	1,85	-0,10	5,71
CRN - 30	M1	31,45	31,78	0,33	31,35	31,65	0,30	0,03	-9,09
CRN - 30	*M2	32,75	34,00	3,38	•	•	•	•	•
CRN - 30	•M2	34	34,35	0,53	•	•	•	•	•
CRN - 30	M2	•	Σ	3,91	32,15	36,00	3,85	0,06	-1,53
CRN - 30	M3	37,15	38,18	1,03	36,97	38,00	1,03	0,00	0,00
CRN - 33	S	28,61	30,62	2,01	28,20	30,20	2,00	0,01	-0,50
CRN - 33	M1	40,15	40,34	0,19	39,50	39,87	0,37	-0,18	<b>94,74</b>
CRN - 33	M2	40,79	42,07	1,28	40,15	41,70	1,55	-0,27	<b>21,09</b>
CRN - 33	M3	44,47	45,47	1,00	44,05	45,15	1,10	-0,10	10,00
CRN - 33	* N/I	56,90	57,40	0,54	•	•	•	•	•
CRN - 33	* N/I	57,40	57,87	0,47	•	•	•	•	•
CRN - 33	* N/I	•	Σ	1,01	57,00	57,95	0,95	0,06	-5,94
CRN - 33	* N/I	57,93	58,04	0,11	57,55	57,70	0,15	-0,04	<b>36,36</b>
CRN - 53	•S	16,07	17,28	1,21	15,75	17,00	1,25	-0,04	3,31
CRN - 53	M2	33,36	34,4	1,04	32,6	33,65	1,05	-0,01	0,96
CRN - 55	*M2	17,67	18,61	0,94	17,35	18,20	0,85	0,09	-9,57
CRN - 55	*M3	21,50	22,00	0,70	21,3	22,00	0,70	0,00	0,00
CRN - 55	•N/I	26,65	27,26	0,61	26,70	27,30	0,60	0,01	-1,64
							<b>Diferença média</b>	<b>- 0,0273</b>	
							<b>Desvio padrão</b>	<b>0,0814</b>	

CRN - 26	*M1	Recuperação 74% no intervalo 30,95→31,65=0,70
CRN - 26	*I1I	Recuperação78% = 1,25 m
CRN - 30	*M2	Recuperação37% = 1,25 m
CRN - 30	●M2	Recuperação63% = 0,30 m
CRN - 33	* N/I	Recuperação92% = 0,97 m
CRN - 53	●S	Camada c/muita pirita fazendo com que o sinal de RES esteja acima de 800 ohm-m
CRN - 55	*M2	Somente visível por Resistividade
CRN - 55	*M3	Somente visível por Resistividade e recuperação de 72%
CRN - 55	● N/I	Somente visível por Gama Natural

### 5.3.2 Reconhecimento dos estratos carbonosos sem o apoio da descrição geológica

Os furos perfilados nessa área apresentam uma característica que torna muito difícil a identificação dos estratos carbonosos sem o apoio da descrição geológica, em virtude de camadas de arenito (com sinal geofísico muito semelhante ao do carvão) estarem na interface das camadas de carvão, dificultando a individualização dos dois estratos. A Figura 5.22 mostra um perfil geológico típico da ÁREA do CERRO em que aparecem camadas de carvão na interface com arenitos. A Tabela 5.8 mostra os resultados das identificações das camadas de carvão.

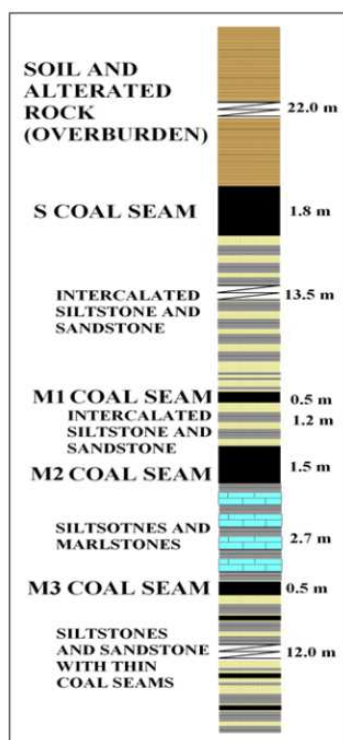


Figura 5.22: Perfil geológico típico da ÁREA do CERRO com a camada de carvão na interface com a de arenito.

Tabela 5.8: Reconhecimento dos estratos carbonosos sem apoio da descrição geológica.

Furo	Camada	SONDAGEM			PERFILAGEM			Dif. Abs. Esp. (m)	Dif. Rel. Esp. (%)
		De	Para	Esp. (m)	De	Para	Esp. (m)		
CRN - 29	S	45,21	47,01	1,80	44,90	46,60	1,70	0,10	-5,56
CRN - 29	M1	62,05	62,59	0,54	FURO OBSTRUÍDO			•	•
CRN - 31	S	12,86	14,42	1,56	12,5	14,05	1,55	0,01	-0,64
CRN - 31	M1	23,95	24,9	0,95	24,57	25,32	0,75	0,20	<b>21,05</b>
CRN - 31	M2	25,72	27,27	1,55	25	26,65	1,65	-0,10	6,45
CRN - 31	M3	29,52	30,97	1,45	29	30,45	1,45	0,00	0,00
CRN - 32	S	34,22	35,72	1,50	34	35,50	1,50	0,00	0,00
CRN - 32	M1	46,57	46,82	0,25	46,1	46,55	0,45	-0,20	80
CRN - 32	M2	47,7	49,25	1,55	47,1	48,90	1,80	-0,25	16,13
CRN - 32	M3	51,54	52,87	1,33	FURO OBSTRUÍDO			•	•
<b>Diferença média</b>								<b>-0,0300</b>	
<b>Desvio padrão</b>								<b>0,1395</b>	



### 5.3.3 Avaliação da correlação Gama Natural e Resistividade *versus* (Cinza, Enxofre e Voláteis)

A metodologia para formação da Tabela 5.9 é idêntica à da ÁREA B3.

Tabela 5.9: Dados obtidos na perfilagem geofísica para previsão de Cinza.

			Perfilagem Geofísica		Laboratório			Prevista pelo modelo	
Furo	Camada	Espes. (m)	Res. (Ohm-m)	GN (API)	Cz (%)	S (%)	V (%)	Cz (%)	Erro (%)
CRN - 26	M1	1,0	122,9	101,0	58,2	3,9	22,7	56,3	-1,9
CRN - 27	M1	0,6	28,8	113,5	45,4	1,8	23,8	60,6	15,2
CRN - 30	M1	0,3	44,4	130,9	57,2	1,6	22,8	66,6	9,4
CRN - 31	M1	0,8	57,3	132,3	70,2	1,5	25,1	67,1	-3,1
CRN - 32	M1	0,3	37,3	125,3	67,0	0,4	22,3	64,7	-2,3
CRN - 51	M1	0,4	91,0	141,4	73,0	0,3	18,9	70,2	-2,8
CRN - 57	M1	0,4	64,5	125,2	75,3	0,5	22,3	64,7	-10,6
CRN - 26	M2	1,4	42,0	140,0	66,2	6,4	21,9	69,7	3,5
CRN - 27	M2	1,4	34,0	92,2	58,6	2,5	19,2	53,3	-5,3
CRN - 28	M2	1,3	64,4	103,3	53,5	7,4	19,6	57,1	3,6
CRN - 30	M2	1,6	56,9	96,3	55,1	1,0	19,0	54,7	-0,4
CRN - 31	M2	1,6	49,8	110,3	61,5	2,6	15,9	59,5	-2,0
CRN - 32	M2	1,6	41,3	104,9	57,6	3,5	22,4	57,7	0,1
CRN - 33	M2	1,3	28,3	104,8	61,0	2,3	24,3	57,6	-3,4
CRN - 51	M2	1,8	37,5	87,4	57,5	3,5	28,9	51,7	-5,8
CRN - 52	M2	1,7	107,2	79,0	56,9	2,9	18,3	52,3	-4,6
CRN - 53	M2	1,0	63,7	102,9	58,1	2,2	21,2	57,8	-0,3
CRN - 56	M2	1,5	124,1	105,3	59,8	2,5	24,4	57,8	-2,0
CRN - 57	M2	2,2	54,4	104,1	62,4	2,3	15,8	57,4	-5,0
CRN - 26	S	2,1	335,9	74,9	45,2	5,2	18,3	47,4	2,2
CRN - 27	S	1,6	53,3	79,9	45,2	2,5	19,8	49,1	3,9
CRN - 30	S	1,8	154,1	74,6	46,0	3,6	22,4	47,3	1,3
CRN - 31	S	1,6	200,0	82,7	47,6	4,3	18,1	50,0	2,4
CRN - 32	S	1,5	65,7	86,1	50,7	4,8	21,9	51,2	0,5
CRN - 33	S	2,0	73,2	72,9	46,1	2,4	18,5	46,7	0,6
CRN - 37	S	1,3	193,8	81,5	49,7	2,7	20,5	49,6	-0,1
CRN - 51	S	1,4	194,6	73,3	45,4	7,0	22,4	46,8	1,4
CRN - 52	S	2,3	84,0	80,2	47,4	1,7	14,9	45,9	-1,5
CRN - 53	S	1,2	178,7	77,0	45,1	7,8	21,7	44,5	-0,6
CRN - 56	S	2,2	257,1	71,6	46,9	0,8	16,5	46,2	-0,7
CRN - 57	S	2,0	211,2	97,7	47,0	1,9	14,3	55,2	8,2

### 5.3.3.1 Correlação de Gama Natural versus (Cinza, Enxofre e Voláteis)

As Figs. 5.23, 5.24 e 5.25 mostram as correlações entre GN e os três parâmetros de qualidade.

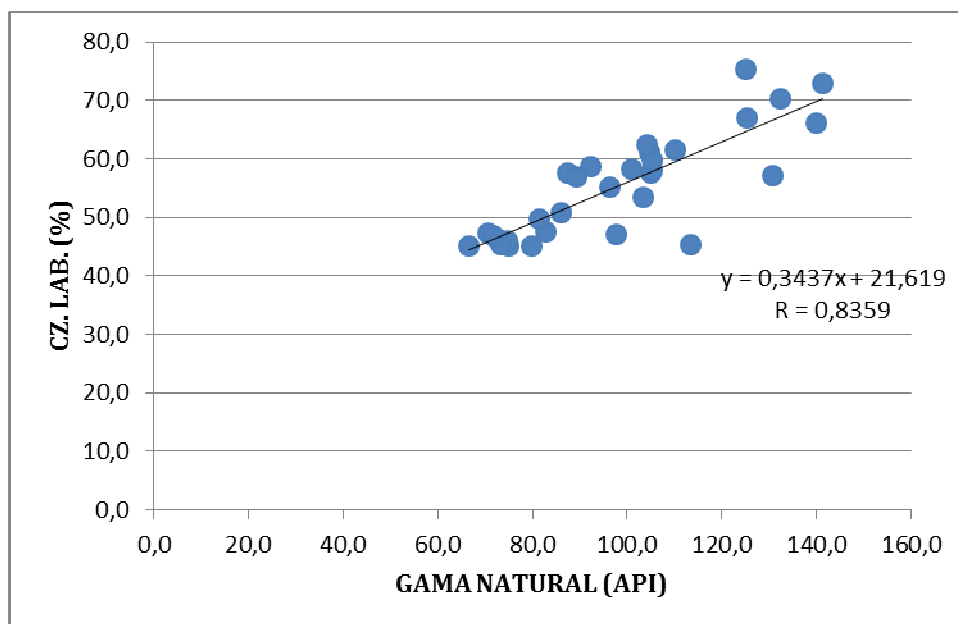


Figura 5.23: Plotagem para verificação de correlação entre registros de GN e Cz na ÁREA do CERRO.

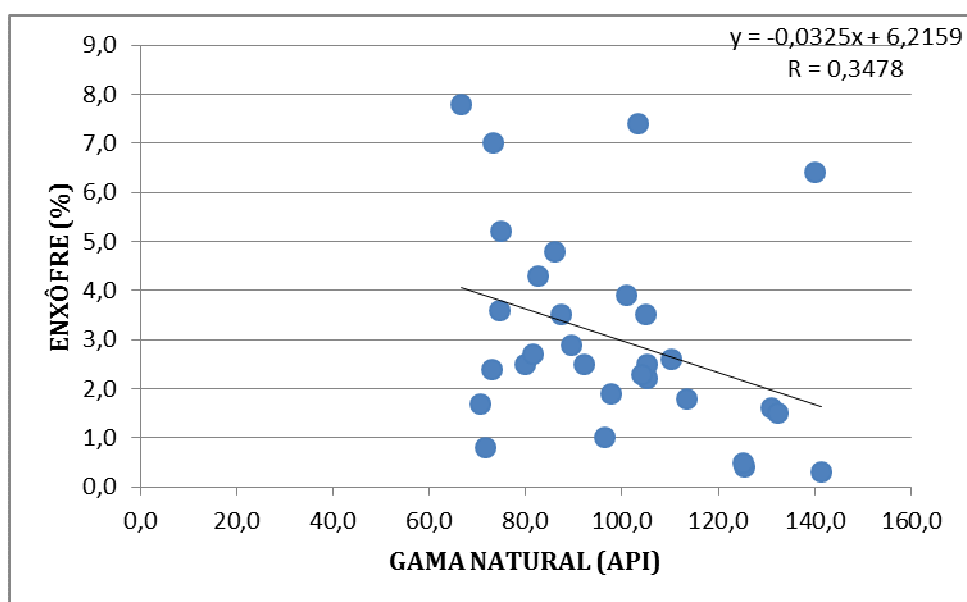


Figura 5.24: Plotagem para verificação de correlação entre registros de GN e S na ÁREA do CERRO.

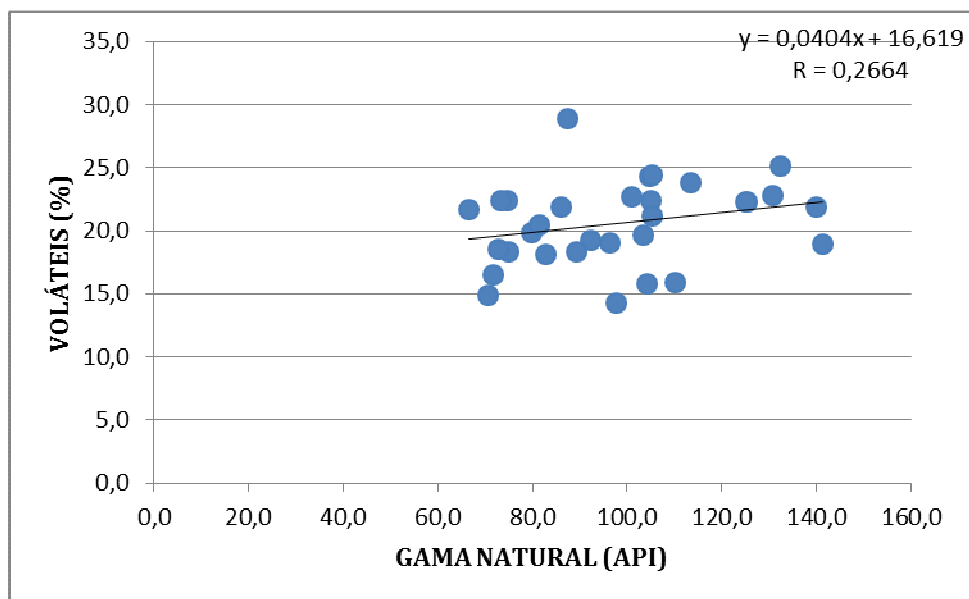


Figura 5.25: Plotagem para verificação de correlação entre registros de GN e Voláteis na ÁREA do CERRO.

### 5.3.3.2 Correlação de Resistividade *versus* (Cinza, Enxofre e Voláteis)

As Figs. 5.26, 5.27 e 5.28 mostram as correlações entre RES. e os três parâmetros de qualidade.

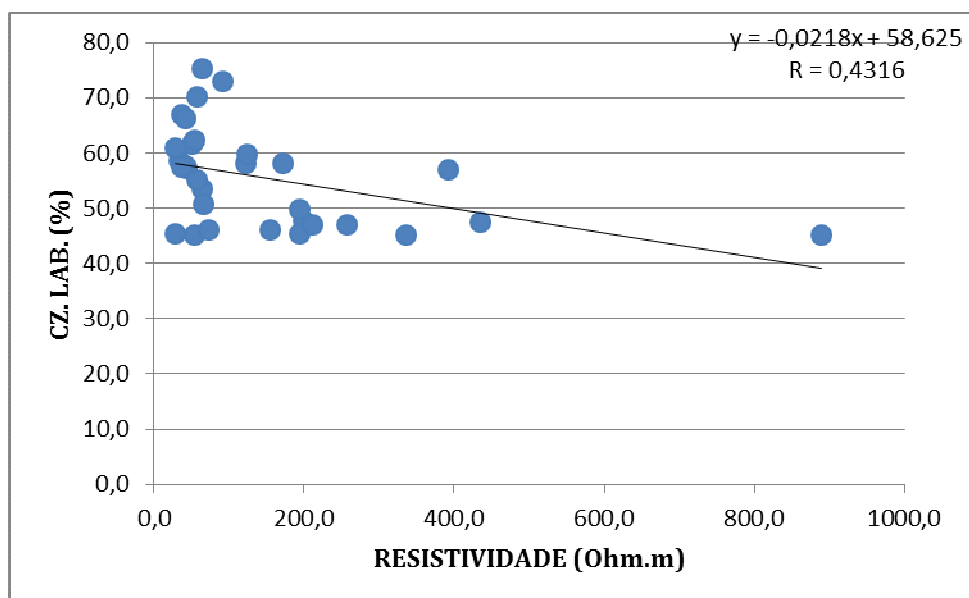


Figura 5. 26: Plotagem para verificação de correlação entre registros de RES e CZ na ÁREA do CERRO.

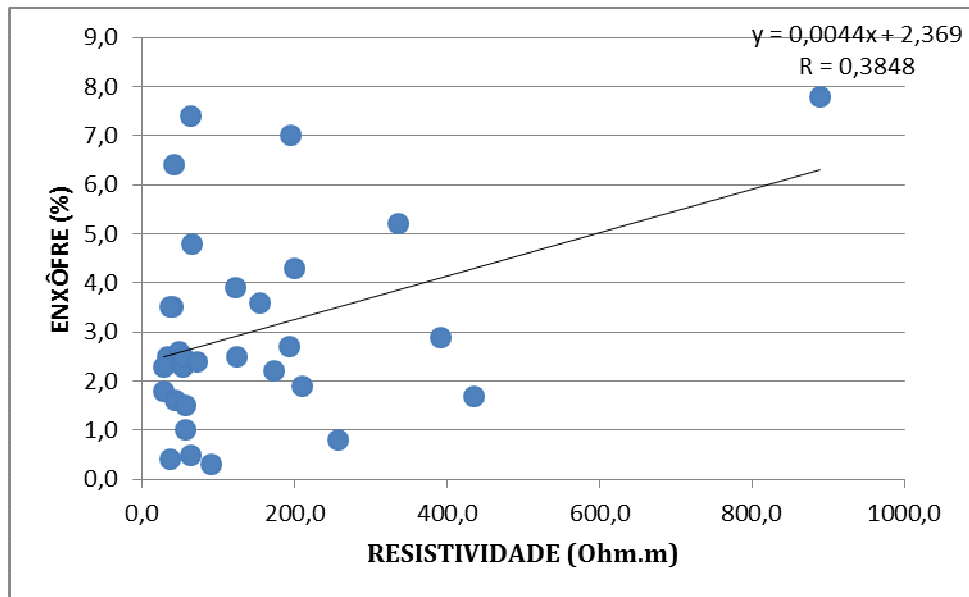


Figura 5. 27: Plotagem para verificação de correlação entre registros de RES e S na ÁREA do CERRO.

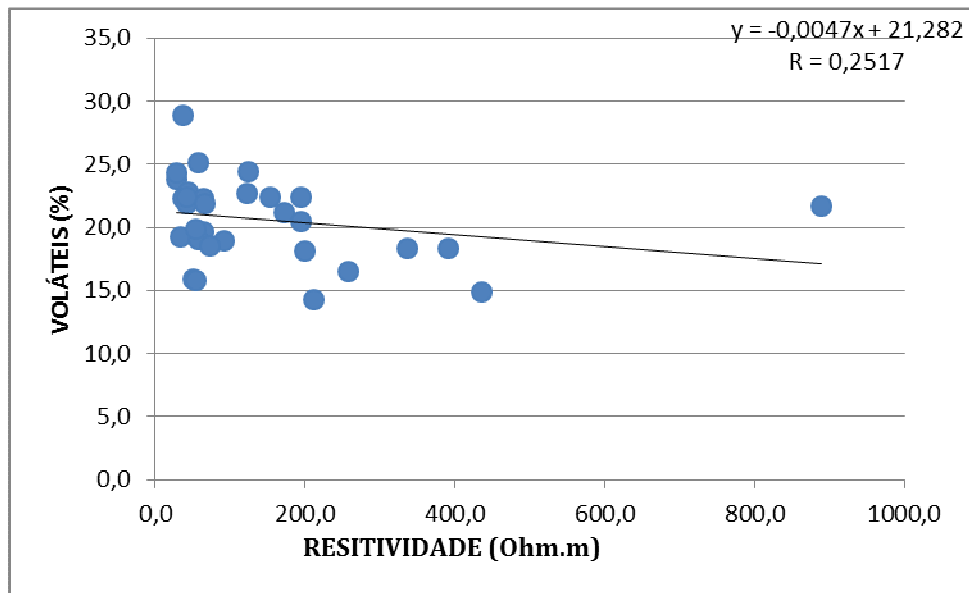


Figura 5.28: Plotagem para verificação de correlação entre registros de RES e Voláteis na ÁREA do CERRO.

### 5.3.4 Discussão de resultados para ÁREA do CERRO

A ÁREA do CERRO apresenta uma característica distinta das outras áreas, que é a presença de arenito interfaceado com as camadas de carvão, fazendo com que os erros de discriminação das camadas de carvão sejam maiores. Outro fator negativo apresentado nessa área foi a desagregação das rochas de arenito e silito, fazendo com que vários furos estivessem obstruídos, o que tornou até perigosa a perda de sondas com tais obstruções.

A avaliação feita na ÁREA do CERRO da correlação do parâmetro geofísico GN é de uma boa correlação ( $R \approx 0,84$ ) para Cz Lab., mas fraca correlação para S (0,35) e muito fraca para V ( $\approx 0,27$ ). Já para o parâmetro geofísico de RES, aparece uma correlação fraca (0,43 e 0,38) para Cz Lab e S e muito fraca para V (0,25).

### 5.4 ÁREA DE SEIVAL

A seguir, serão feitas as análises referentes à ÁREA de SEIVAL.

#### 5.4.1 Reconhecimento dos estratos carbonosos com apoio da descrição geológica

No que se refere à identificação dos estratos carbonosos contando com o apoio de descrições geológicas obtidas a partir do exame dos testemunhos de sondagens, os resultados são apresentados na Tabela 5.10.

**Tabela 5.10: Reconhecimento dos estratos carbonosos com apoio da descrição geológica.**

Furo	Camada	SONDAGEM			PERFILAGEM			Dif. Abs. Esp. (m)	Dif. Rel. Esp. (%)
		De	Para	Esp. (m)	De	Para	Esp. (m)		
SVN - 11	S5	16,75	17,60	0,85	16,30	17,27	0,97	-0,12	<b>14,12</b>
SVN - 11	S4	18,30	19,03	0,73	17,95	18,75	0,80	-0,07	9,59
SVN - 11	S3	20,01	21,10	1,09	19,75	20,85	1,10	-0,01	0,92
SVN - 11	S2	27,17	27,93	0,76	26,90	27,65	0,75	0,01	-1,32
SVN - 11	BL	30,41	30,96	0,55	30,30	30,60	0,30	0,25	<b>-45,45</b>
SVN - 11	CSS+CSI	32,80	35,55	2,75	32,20	34,90	2,70	0,05	-1,82
SVN - 11	CI	36,36	37,99	1,63	36,15	37,70	1,55	0,08	-4,91
SVN - 11	I1	44,05	45,03	0,98	43,25	44,30	1,05	-0,07	7,14
SVN - 11	I2	46,81	47,94	1,13	46,35	47,45	1,10	0,03	-2,65
SVN - 11	I3	48,35	49,17	0,82	47,85	48,90	1,05	-0,23	<b>28,05</b>

SVN - 11	I4	50,20	50,83	0,63	49,95	50,55	0,60	0,03	-4,76
SVN - 12	S5	8,20	9,20	1,00	7,65	8,65	1,00	0,00	0,00
SVN - 12	S4	10,00	10,60	0,60	•	•	•	•	•
SVN - 12	S3	11,60	12,69	1,09	•	•	•	•	•
SVN - 12		Σ S3+S4		1,69	10,75	12,35	1,60	0,09	-5,33
SVN - 12	S2	21,15	21,75	0,60	20,70	21,25	0,55	0,05	-8,33
SVN - 12	BL	22,65	23,44	0,79	22,20	23,00	0,80	-0,01	1,27
SVN - 12	CSS+CSI	24,86	27,83	2,97	24,45	27,50	3,05	-0,08	2,69
SVN - 12	CI	28,62	30,27	1,65	28,30	30,00	1,70	-0,05	3,03
SVN - 12	I1	35,46	36,51	1,05	35,15	36,20	1,05	0,00	0,00
SVN - 12	I2	37,99	39,19	1,20	37,80	38,95	1,15	0,05	-4,17
SVN - 12	I3	39,63	40,56	0,93	39,25	40,22	0,97	-0,04	4,30
SVN - 12	I4	41,39	42,59	1,20	41,05	42,35	1,30	-0,10	8,33
SVN - 16	S6	20,20	20,89	0,69	19,90	20,60	0,70	-0,01	1,45
SVN - 16	S5	21,98	22,05	0,07	21,90	22,00	0,10	-0,03	<b>42,86</b>
SVN - 16	S4	22,85	23,69	0,84	22,50	23,40	0,90	-0,06	7,14
SVN - 16	S3	24,37	25,62	1,25	24,10	25,40	1,30	-0,05	4,00
SVN - 16	S2	33,05	33,80	0,75	32,65	33,40	0,75	0,00	0,00
SVN - 16	BL	35,32	36,07	0,75	35,05	35,80	0,75	0,00	0,00
SVN - 16	CSS+CSI	37,77	40,46	2,69	37,45	40,10	2,65	0,04	-1,49
SVN - 16	CI	41,10	42,55	1,45	40,75	42,20	1,45	0,00	0,00
SVN - 16	I1	48,29	49,23	0,94	47,85	49,05	1,20	-0,26	<b>27,66</b>
SVN - 16	I2	51,05	51,80	0,75	50,75	51,55	0,80	-0,05	6,67
SVN - 16	I3	52,80	53,75	0,95	52,10	53,25	1,15	-0,20	<b>21,05</b>
SVN - 16	I4	55,57	57,04	1,47	54,85	56,25	1,40	0,07	-4,76
SVN - 22	S5	12,14	13,02	0,88	11,70	12,60	0,90	-0,02	2,27
SVN - 22	S4	13,72	14,44	0,72	13,30	14,15	0,85	-0,13	<b>18,06</b>
SVN - 22	S3	15,51	16,60	1,09	15,05	16,15	1,10	-0,01	0,92
SVN - 22	S2	25,15	25,70	0,55	24,65	25,15	0,50	0,05	-9,09
SVN - 22	BL	29,50	30,48	0,98	29,00	29,95	0,95	0,03	-3,06
SVN - 22	CSS+CSI	32,13	34,54	2,41	31,50	33,95	2,45	-0,04	1,66
SVN - 22	CI	35,24	36,54	1,30	34,65	36,05	1,40	-0,10	7,69
SVN - 22	I1	42,34	43,57	1,23	41,73	42,95	1,22	0,01	-0,81
SVN - 22	I2	45,17	45,43	0,26	44,50	44,85	0,35	-0,09	34,62
SVN - 22	I3	46,33	47,88	1,55	45,95	47,45	1,50	0,05	-3,23
SVN - 22	I4	48,76	50,16	1,40	48,40	49,65	1,25	0,15	-10,71
SVN - 23	S6	14,94	15,79	0,85	14,55	15,55	1,00	-0,15	<b>17,65</b>
SVN - 23	S5	17,64	18,47	0,83	17,50	18,20	0,70	0,13	<b>-15,66</b>
SVN - 23	S4	19,07	19,83	0,76	18,70	19,55	0,85	-0,09	11,84
SVN - 23	S3	20,86	21,83	0,97	20,40	21,45	1,05	-0,08	8,25
SVN - 23	S2	26,06	26,74	0,68	25,75	26,40	0,65	0,03	-4,41
SVN - 23	BL	34,32	35,11	0,79	34,30	34,95	0,65	0,14	<b>-17,72</b>

SVN - 23	CSS+CSI	36,69	39,12	2,43	36,40	38,75	2,35	0,08	-3,29
SVN - 23	CI	39,82	41,24	1,42	39,65	41,05	1,40	0,02	-1,41
SVN -23	I1	48,23	48,92	0,69	47,95	48,70	0,75	-0,06	8,70
SVN-23	I2	50,28	51,23	0,95	49,95	50,95	1,00	-0,05	5,26
SVN-23	I3	51,61	52,61	1,00	51,25	52,25	1,00	0,00	0,00
SVN-23	I4	53,15	54,45	1,30	53,65	54,80	1,15	0,15	-11,54
							<b>Diferença média</b>	<b>-0,0119</b>	
							<b>Desvio padrão</b>	<b>0,0929</b>	

#### 5.4.2 Reconhecimento dos estratos carbonosos sem o apoio da descrição geológica

A Tabela 5.11 mostra os resultados obtidos no reconhecimento das camadas de carvão, sem o apoio da descrição geológica dos testemunhos de sondagem.

**Tabela 5.11: Reconhecimento dos estratos carbonosos sem apoio da descrição geológica em SEIVAL.**

Furo	Camada	SONDAGEM			PERFILAGEM			Dif. Abs. Esp. (m)	Dif. Rel. Esp. (%)
		De	Para	Esp. (m)	De	Para	Esp. (m)		
SVN - 15	S6	28,77	30,86	2,09	28,30	30,50	2,20	-0,11	5,26
SVN - 15	S5	32,75	33,60	0,85	32,20	33,20	1,00	-0,15	<b>17,65</b>
SVN - 15	S4	34,30	35,2	0,90	33,90	34,90	1,00	-0,10	11,11
SVN - 15	S3	36,12	37,32	1,20	35,50	37,00	1,50	-0,30	<b>25,00</b>
SVN - 15	S2	40,48	41,22	0,74	40,10	40,80	0,70	0,04	-5,41
SVN - 15	A	41,22	42,98	1,76	40,80	42,70	1,90	-0,14	7,95
SVN - 15	BL	42,98	44,01	1,03	42,55	43,55	1,00	0,03	-2,91
SVN - 15	CSS+CSI	45,40	48,04	2,64	44,85	47,50	2,65	-0,01	0,38
SVN - 15	CI	48,83	50,29	1,46	48,50	49,90	1,40	0,06	-4,11
SVN - 15	I1	56,70	57,78	1,08	55,85	57,10	1,25	-0,17	<b>15,74</b>
SVN - 15	I2	59,78	60,63	0,85	59,10	59,90	0,80	0,05	-5,88
SVN - 15	I3	61,23	62,46	1,23	60,40	61,70	1,30	-0,07	5,69
SVN - 15	I4	63,11	64,65	1,54	62,35	63,95	1,60	-0,06	3,90
SVN - 18	S5	13,38	14,30	0,92	12,27	13,47	1,20	-0,28	<b>30,43</b>
SVN - 18	S4	15,05	15,64	0,59	14,15	15,10	0,95	-0,36	<b>61,02</b>
SVN - 18	S3	16,69	17,79	1,10	15,90	17,15	1,25	-0,15	13,64
SVN - 18	S2	20,96	21,61	0,65	20,30	20,95	0,65	0,00	0,00
SVN - 18	BL	25,13	26,13	1,00	24,70	25,60	0,90	0,10	-
SVN - 18	CSS+CSI	27,69	30,26	2,57	27,50	30,05	2,55	0,02	-0,78
SVN - 18	CI	30,96	32,59	1,63	30,75	32,25	1,50	0,13	-7,98

SVN - 18	I1	38,69	39,88	1,19	38,45	39,65	1,20	-0,01	0,84
SVN - 18	I2	41,62	42,44	0,82	41,30	42,18	0,88	-0,06	7,32
SVN - 18	I3	43,08	44,11	1,03	43,00	44,35	1,35	-0,32	<b>31,07</b>
SVN - 18	I4	45,21	46,31	1,10	45,15	46,25	1,10	0,00	0,00
SVN - 25	S2	7,66	8,16	0,50	7,50	8,00	0,50	0,00	0,00
SVN - 25	BL	12,00	13,13	1,13	11,90	12,60	0,70	0,43	<b>38,05</b>
SVN - 25	CSS+CSI	14,43	16,35	1,92	14,00	16,00	2,00	-0,08	4,17
SVN - 25	CI	17,41	18,25	0,84	17,05	17,90	0,85	-0,01	1,19
SVN - 25	I1	24,70	25,73	1,03	24,35	25,50	1,15	-0,12	11,65
SVN - 25	I2	27,44	28,04	0,60	27,05	27,75	0,70	-0,10	<b>16,67</b>
SVN - 25	I3	28,78	29,69	0,91	28,50	29,50	1,00	-0,09	9,89
SVN - 25	I4	30,69	31,4	0,71	30,30	31,10	0,80	-0,09	<b>12,68</b>
							<b>Diferença média</b>	<b>-0,0600</b>	
							<b>Desvio padrão</b>	<b>0,1482</b>	

#### 5.4.3 Avaliação da correlação Gama Natural e Resistividade *versus* (Cinza, Enxofre e Voláteis)

A seguir, a Tabela 5.12 apresenta as correlações entre parâmetros geofísicos e de qualidade na ÁREA do SEIVAL.

**Tabela 5.12: Dados obtidos na perfilagem geofísica para previsão de cinza em SEIVAL.**

Furo	Camada	Espes. (m)	Perfilagem Geofísica		Laboratório			Prevista pelo modelo	
			Res. (ohm-m)	GN (API)	Cz (%)	S (%)	V (%)	Cz (%)	Erro (%)
SVN - 11	I1	1,0	42,3	89,0	61,3	1,4	18,9	49,4	-11,9
SVN - 12	I1	1,1	39,8	81,1	62,3	1,4	18,8	49,7	-12,6
SVN - 15	I1	1,1	43,1	78,3	62,3	2,1	14,9	49,7	-12,6
SVN - 16	I1	1,1	33,4	86,8	63,8	1,1	14,9	50,3	-13,5
SVN - 18	I1	1,2	54,2	77,5	59,2	1,0	17,4	48,6	-10,5
SVN - 22	I1	1,2	34,5	88,8	69,1	1,4	13,6	52,1	-16,9
SVN - 23	I1	0,7	27,3	107,3	67,2	2,7	15,0	51,4	-15,7
SVN - 25	I1	1,0	45,6	80,7	61,0	1,5	15,4	49,3	-11,7
SVN - 26	I1	0,7	37,4	86,7	59,5	2,8	18,0	48,7	-10,8
SVN - 27	I1	1,0	31,6	80,3	59,0	0,9	16,8	48,6	-10,4
SVN - 11	I2	0,9	36,0	74,3	57,0	1,0	19,6	47,9	-9,1
SVN - 12	I2	1,2	34,5	83,0	60,4	1,6	18,4	49,1	-11,3



SVN - 16	I2	0,8	34,8	72,4	52,8	2,7	19,2	46,4	-6,4
SVN - 17	I2	0,8	36,6	69,7	52,2	1,1	19,7	46,2	-6,1
SVN - 23	I2	0,9	31,3	73,2	53,7	0,7	21,9	46,7	-7,0
SVN - 25	I2	0,6	43,4	72,8	46,7	2,1	22,5	44,2	-2,5
SVN - 26	I2	0,7	45,6	66,7	52,4	2,1	23,1	46,3	-6,2
SVN - 27	I2	0,8	28,8	60,1	55,9	1,6	18,9	47,5	-8,4
SVN - 11	I3	0,8	42,6	64,5	53,8	0,9	20,1	46,7	-7,1
SVN - 12	I3	1,0	43,5	75,6	55,3	1,0	21,0	47,3	-8,0
SVN - 15	I3	1,3	43,0	72,1	55,8	0,8	18,3	47,4	-8,3
SVN - 16	I3	1,0	36,5	68,8	56,8	2,6	17,4	47,8	-9,0
SVN - 18	I3	1,0	47,4	84,1	62,3	1,2	15,3	49,7	-12,6
SVN - 22	I3	1,6	28,7	80,4	60,9	1,6	17,3	49,3	-11,7
SVN - 23	I3	1,0	28,7	76,4	61,1	1,5	18,4	49,3	-11,8
SVN - 25	I3	0,9	49,3	67,1	54,9	1,5	18,4	47,1	-7,8
SVN - 26	I3	1,2	41,0	71,0	55,2	1,0	18,2	47,2	-8,0
SVN - 27	I3	0,8	36,4	63,1	52,1	1,1	19,1	46,1	-6,0
SVN - 15	I4	1,5	33,7	59,1	52,1	4,0	20,9	46,1	-6,0
SVN - 17	I4	0,9	47,9	75,0	63,5	1,6	17,3	50,2	-13,3
SVN - 18	I4	1,1	52,6	48,0	45,9	4,0	21,6	43,9	-1,9
SVN - 26	I4	0,7	42,1	52,4	41,7	7,6	24,1	42,4	0,8
SVN - 27	I4	1,1	31,9	52,6	39,9	8,5	23,0	41,8	1,9
SVN - 11	S2	0,7	37,7	81,3	48,4	0,7	22,9	44,8	-3,5
SVN - 12	S2	0,6	43,3	89,4	51,5	0,8	21,2	45,9	-5,6
SVN - 15	S2	0,6	36,5	73,8	48,5	0,7	19,3	44,9	-3,7
SVN - 16	S2	0,7	42,8	73,3	56,0	0,7	17,6	47,5	-8,5
SVN - 18	S2	0,6	65,8	65,0	52,3	0,5	17,6	46,2	-6,1
SVN - 22	S2	0,6	29,9	83,4	61,3	1,6	17,8	49,4	-11,9
SVN - 23	S2	0,6	29,1	79,3	45,8	0,4	8,5	43,9	-1,9
SVN - 25	S2	0,5	41,3	66,0	56,8	0,7	21,4	47,8	-9,0
SVN - 26	S2	0,8	39,9	81,1	53,7	0,7	18,7	46,7	-7,0
SVN - 11	S3	1,0	41,4	71,3	46,8	1,3	21,9	44,3	-2,6
SVN - 12	S3	1,1	45,2	68,8	46,5	1,2	21,8	44,1	-2,3
SVN - 15	S3	1,2	33,6	69,0	48,4	3,0	18,2	44,8	-3,6
SVN - 16	S3	1,2	35,4	75,9	50,7	1,9	18,2	45,6	-5,1
SVN - 22	S3	1,1	37,1	70,2	48,7	1,2	22,5	44,9	-3,8
SVN - 23	S3	1,0	22,0	76,2	46,9	2,4	19,8	44,3	-2,6
SVN - 11	S4	0,7	27,8	92,0	60,1	1,1	19,3	48,9	-11,1
SVN - 12	S4	0,6	59,9	91,0	61,3	1,2	17,0	49,4	-11,9
SVN - 16	S4	0,8	25,2	91,5	62,5	1,9	15,5	49,8	-12,7
SVN - 22	S4	0,8	27,7	89,8	50,3	1,8	22,0	45,5	-4,8
SVN - 23	S4	0,8	17,2	92,0	61,1	0,7	17,8	49,3	-11,8
SVN - 11	S5	0,8	31,9	98,1	54,1	1,2	20,6	46,9	-7,3
SVN - 15	S5	0,9	29,4	95,2	56,8	1,1	17,0	47,8	-9,0

SVN - 22	S5	0,9	32,1	91,3	56,3	1,7	19,2	47,6	-8,7
SVN - 23	S5	0,9	18,4	92,8	58,2	0,8	18,2	48,3	-9,9
SVN - 15	S6	2,1	35,0	65,7	49,4	1,6	19,3	45,2	-4,2
SVN - 16	S6	0,7	35,6	81,2	50,1	1,1	25,3	45,4	-4,7
SVN - 23	S6	0,8	33,9	53,2	37,6	1,0	25,6	41,0	3,4

#### 5.4.3.1 Correlação de Gama Natural *versus* (Cinza, Enxofre e Voláteis)

As Figs. 5.29, 5.30 e 5.31 mostram as correlações entre GN e os três parâmetros de qualidade.

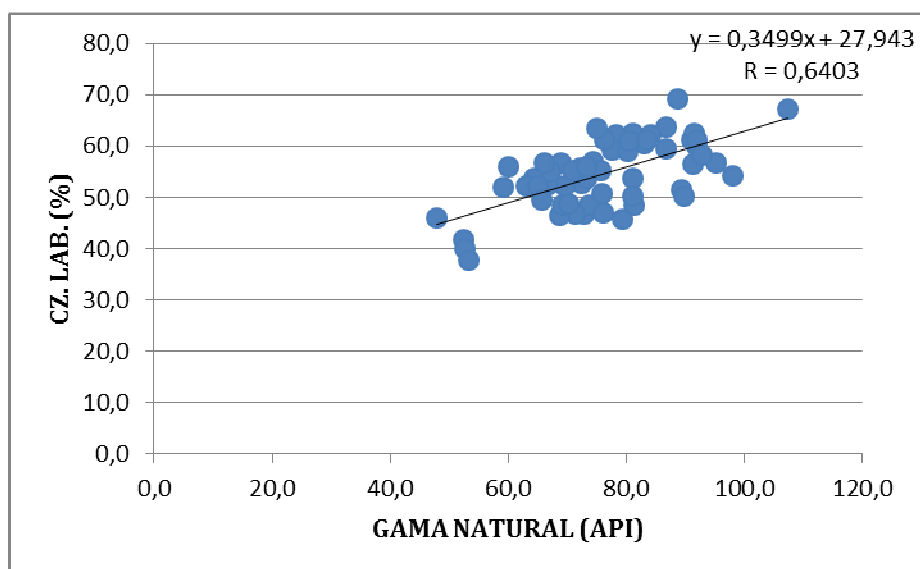


Figura 5.29: Plotagem para verificação de correlação entre registros de GN e Cz na ÁREA do SEIVAL.

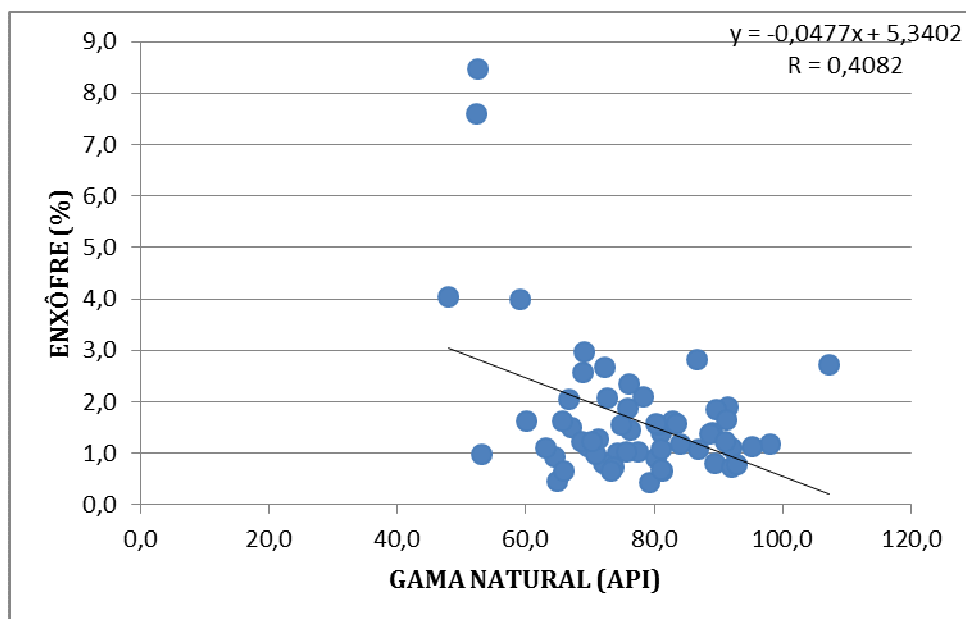


Figura 5.30: Plotagem para verificação de correlação entre registros de GN e S na ÁREA do SEIVAL.

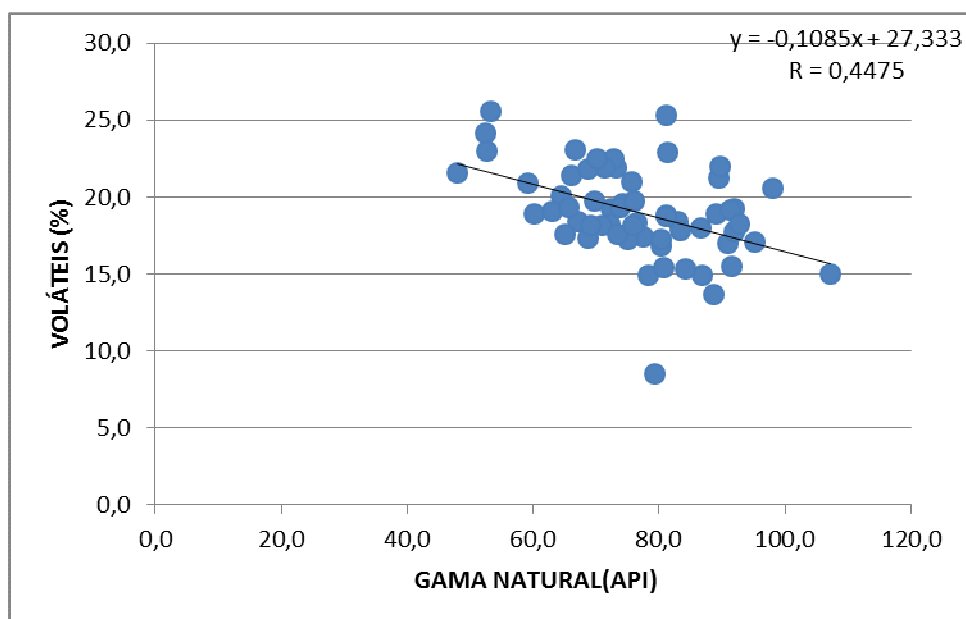


Figura 5.31: Plotagem para verificação de correlação entre registros de GN e Voláteis na ÁREA do SEIVAL.

#### 5.4.3.2 Correlação de Resistividade versus (Cinza, Enxofre e Voláteis)

As Figs. 5.32, 5.33 e 5.34 mostram as correlações entre GN e os três parâmetros de qualidade.

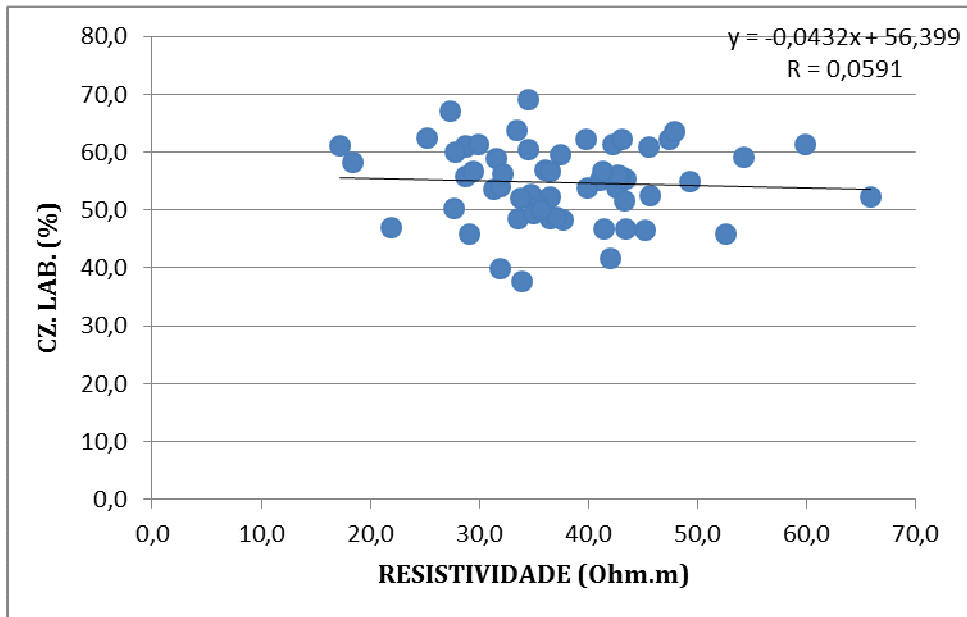


Figura 5.32: Plotagem para verificação de correlação entre registros de RES e CZ na ÁREA do SEIVAL.

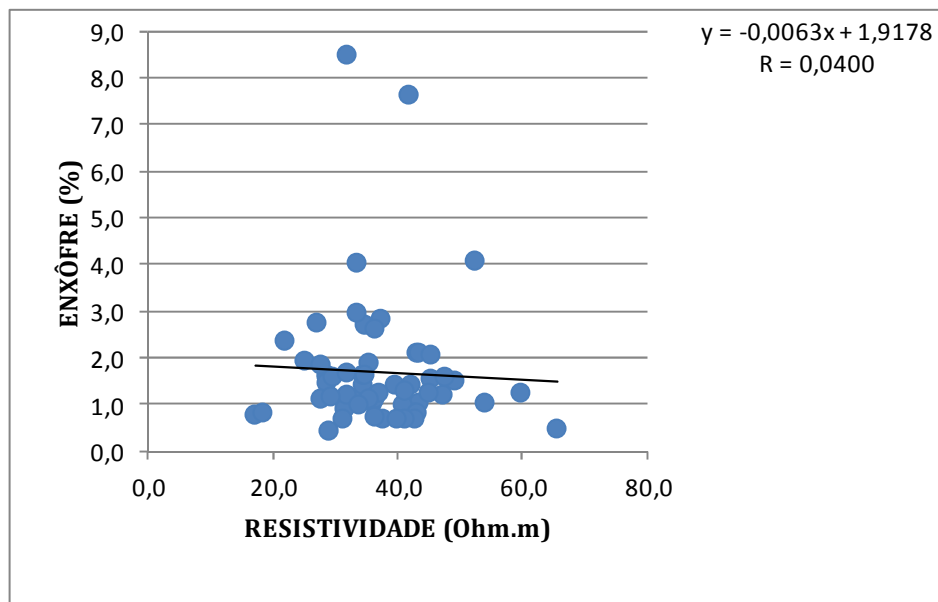


Figura 5.33: Plotagem para verificação de correlação entre registros de RES e S na ÁREA do SEIVAL.

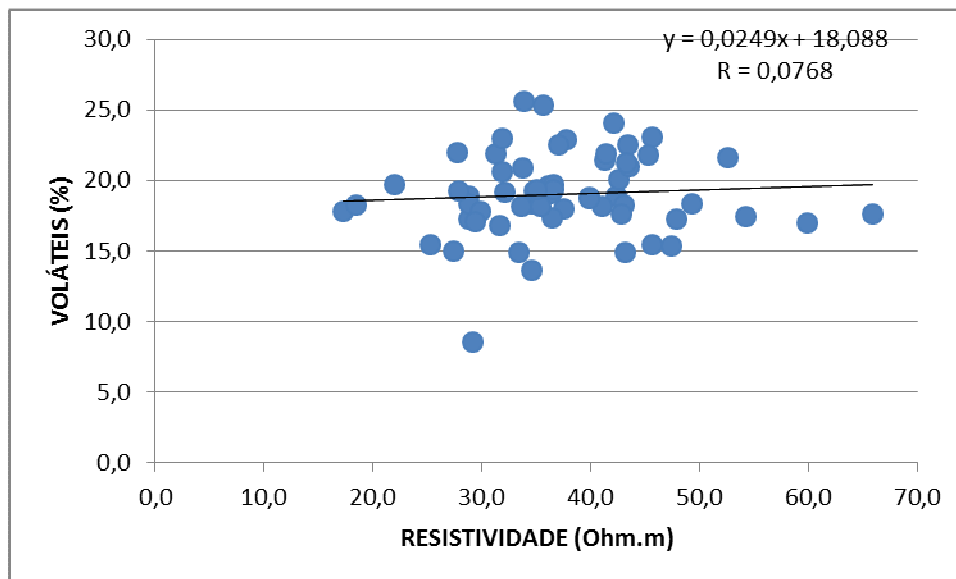


Figura 5.34: Plotagem para verificação de correlação entre registros de RES e Voláteis na ÁREA do SEIVAL.

#### 5.4.4 Discussão de resultados para a ÁREA do SEIVAL

A ÁREA do SEIVAL, assim como a ÁREA B3, apresentou muita similaridade entre estratos de carvão posicionados em diferentes furos de sondagem, o que proporcionou um reconhecimento razoavelmente seguro via perfilagem. As camadas CCS e CCI estão presentes em quase todos os furos e possuem espessuras bem característica e diferente das outras. A partir delas, identificam-se as assinaturas das outras camadas acima e abaixo das mesmas. A avaliação feita na ÁREA SEIVAL da correlação do parâmetro geofísico GN é de uma correlação fraca ( $R \approx 0,64$ ) para Cz e fraca ( $\approx 0,41$ ) para S e ( $0,44$ ) para V. Já para o parâmetro geofísico de RES, aparece uma correlação quase nula ( $\approx 0,05$ ,  $0,04$  e  $0,07$ ) para Cz, S e V.

#### 5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo mostrou as análises feitas em furos de sondagem de cada área de interesse.

Numa primeira etapa, onde foram utilizados cinco furos de sondagem em cada área, a identificação da espessura dos estratos de carvão foi feita com o auxílio da descrição geológica. Após, fez-se a identificação dos estratos carbonosos sem o

auxílio da descrição geológica. As Tabelas 5.13 e 5.14 ilustram os dois métodos de avaliação, apresentando os percentuais de diferenças de espessura entre a descrição geológica e a perfilagem geofísica.

**Tabela 5.13: Estimativas para as diferenças de avaliação de espessuras no reconhecimento com apoio da descrição geológica.**

Área	Diferença ≤ 5 cm	Diferença ≤ 10 cm	Diferença ≤ 15 cm
B3	90%	97%	100%
CAL	82%	96%	96%
CRN	65%	91%	91%
SVN	40%	80%	90%

**Tabela 5.14: Estimativas para as diferenças de avaliação no reconhecimento sem apoio da descrição geológica.**

Área	Diferença ≤ 5 cm	Diferença ≤ 10 cm	Diferença ≤ 15 cm
B3	53%	82%	82%
CAL	22%	78%	100%
CRN	38%	50%	63%
SVN	30%	50%	70%

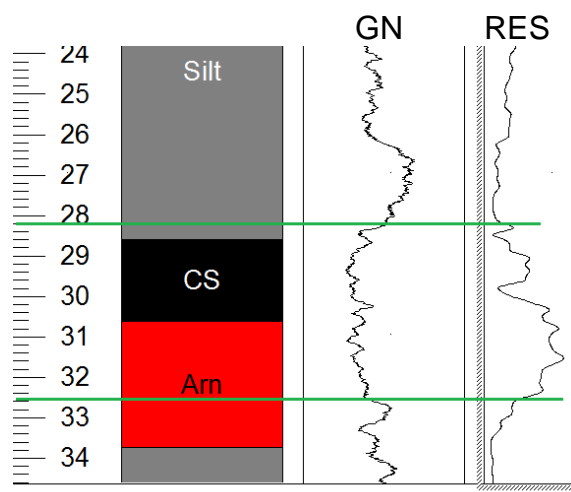
Percebe-se, nas tabelas, que, com apoio da descrição geológica, somente no CERRO e SEIVAL têm-se estimativas abaixo de 80% (52% e 40%) para diferenças entre a descrição geológica e a perfilagem geofísica iguais ou menores a 5 cm. As demais situações ficaram acima de 80%, o que garante a viabilidade de certificação da descrição geológica de uma jazida com o auxílio da perfilagem geofísica.

A presença de arenito na interface do carvão nas ÁREAS do CERRO e SEIVAL pode ser considerada como um indicativo de diferenças maiores, visto que os perfis de GN e RES não discriminam bem este contato litológico.

Para análises das camadas de carvão sem o auxílio da descrição geológica, é possível ter boas previsões para diferenças entre 10 e 15 cm, principalmente na ÁREA B3 e CALOMBO, as quais não sofrem a influência do arenito.

É importante salientar que, com apoio da descrição geológica, a identificação dos estratos carbonosos ocorreu em todos os casos, sendo que, em algumas situações, houve dificuldade em individualizar camadas (p.ex. estratos

A1/A2, em B3) ou estas foram identificadas somente por um dos perfis (GN ou RES, como na ÁREA do CERRO). Isso acontece quando o arenito está em contato com carvão, apresentando o mesmo sinal de GN e então somente consegue-se demarcar limites através do perfil de Resistividade. Também vale salientar que, sem a descrição geológica, a discriminação no CERRO é quase impossível (ver Fig. 5.35, abaixo).



**Figura 5.35: Impossibilidade de discriminar a camada de carvão S do arenito no perfil GN na ÁREA do Cerro.**

Numa segunda etapa, com o acréscimo de outros furos de sondagem, fizeram-se correlações entre os parâmetros de perfilagem (GN e RES) e indicadores de qualidade dos estratos carbonosos (cinza, enxofre e voláteis analisados em laboratório), buscando mostrar o potencial da técnica de perfilagem geofísica na estimativa desses parâmetros de qualidade. Desse modo, plotou-se gráficos com Cz, S e V *versus* GN e RES, para obter-se a correlação entre os parâmetros geofísicos e de qualidade.

A análise de correlação mostrou que, em dois depósitos (CALOMBO e CERRO), pôde-se estimar cinzas através de Gama Natural com boa correlação ( $R \approx 0,82$  e  $0,84$  respectivamente), sendo que os demais parâmetros de qualidade (enxofre e voláteis) apresentaram fraca correlação ( $R \approx 0,50$  e  $0,30$ ).

Para as ÁREAS B3 e SEIVAL, foram fracas as correlações entre gama natural e cinza ( $R \approx 0,63$  e  $0,64$ ), mas muito fracas correlações ( $R \approx 0,40$ ) para os demais parâmetros.

Para o perfil geofísico de resistividade, os parâmetros de qualidade (cinza, enxofre e voláteis) apresentaram correlação muito fraca ( $R \approx 0,30$ ) na ÁREA B3 e quase nula em SEIVAL.

Alguns fatores que contribuem para explicar as baixas correlações entre GN/RES e os parâmetros de qualidade (Cz, S e V) estão relacionados a seguir:

- Camadas muito finas ( $\leq 15$  cm) são menores que a resolução da sonda levando consigo dados de material estéril e afetando de maneira negativa os gráficos de GN e RES x Cz nas Figuras 5.3, 5.6, 5.19, 5.26, 5.29 e 5.32;

- A presença de partings em quase todas as camadas de carvão, também contribui para baixar a correlação desses gráficos;

- As diferentes características (Classificação da Australian Standard AS 2519/1993 BB, BD, DM...) na camada e entre camadas faz com que diminua as correlações sugerindo que, se fizermos gráficos de correlações de GN entre camadas iguais, melhoraremos bastante as correlações. Isso vale também para o perfil de RES, onde a participação de vitrênio e pirita na camada e a presença ou não de umidade nas camadas faz com que tenhamos resultados diferentes neste perfil.

- Conteúdo de umidade diferenciado entre diferentes estratos de carvão, o que afeta muito as leituras de resistividade.



## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÃO

Neste capítulo, são apresentadas conclusões e considerações finais sobre os trabalhos apresentados nesta dissertação e recomendação para os trabalhos futuros.

### 6.1 CONCLUSÕES

Em virtude da sondagem com recuperação de testemunho ser dispendiosa (do ponto de vista de custos) mas indispensável para avaliar todos os parâmetros envolvidos em um jazimento de carvão, este trabalho objetivou verificar, através da perfilagem geofísica, o reconhecimento das assinaturas das camadas de carvão nas áreas propostas e definir a confiabilidade dessa técnica. Em última análise, verificou-se se é possível a redução na malha de sondagem com recuperação de testemunho com uso de perfilagem em furos não testemunhados e sua utilização no planejamento de lavra, especialmente no curto prazo, onde é inviável a colocação de equipamentos de sondagem com recuperação de testemunho.

A análise de diversos furos em cada jazida mostrou razoável similaridade nas assinaturas geofísicas entre furos de um mesmo depósito. Isso faz com que a análise de alguns furos de sondagem testemunhados e perfilados forneça informações suficientes para que se obtenham informações relevantes do jazimento, basando-se unicamente nos perfis geofísicos.

Nas sondagens do depósito B3, tem-se a assinatura de duas camadas M1 e M2 muito características e não encontradas nos outros depósitos, permitindo facilmente a identificação e a diferenciação dos demais.

A jazida de SEIVAL apresenta duas camadas CS (Candiota Superior) e CI (Candiota Inferior) com espessura bem superior a quaisquer outras camadas das outras jazidas, tornando fácil sua identificação.

No depósito do CERRO, a presença de arenito na interface com o carvão é um fator que caracteriza essa jazida. Ao mesmo tempo, gera extrema dificuldade para individualizar as camadas de carvão unicamente por perfilagem, tornando quase impossível a discriminação dessas camadas sem o auxílio da descrição geológica.

No depósito de CALOMBO, não foi observada nenhuma característica que pudesse identificá-lo com facilidade em relação aos demais depósitos. Entretanto, dada a distribuição de estratos em termos de espessura e sequência de deposição e também a ausência de estratos com característica geofísica similar ao carvão (arenito p. ex.), foi a jazida com valores de diferenças relativas menores dentre os quatro depósitos, mostrando que isso facilitou na identificação das camadas de carvão.

Observando-se a Tabela 5.14 dos dados das quatro Áreas (B3, CALOMBO, CERRO e SEIVAL), onde são plotados os valores dos reconhecimentos das espessuras das camadas de carvão, com o apoio da sondagem com recuperação de testemunho e atribuindo que um erro de até 10 cm na imprecisão entre a identificação na perfilagem geofísica e a sondagem geológica como uma “boa” identificação do estrato carbonoso, percebe-se que, nas Áreas B3 e CALOMBO, acima de 90% dos furos estarão com diferenças abaixo desse valor, sendo que, nas Áreas CERRO e SEIVAL, acima de 80%.

Para o reconhecimento, sem apoio da sondagem geológica, somente com diferenças até 15 cm teremos percentuais melhores que 60%.

Em relação aos parâmetros de qualidade Cz, S e V, somente para os depósitos de CALOMBO e CERRO o parâmetro geofísico GN pode estimar Cz com muito boa correlação ( $R \approx 0,80$ ). Nos depósitos de B3 e SEIVAL, se estimará cinzas com uma boa correlação ( $R \approx 0,64$ ). Os demais parâmetros mostraram fraca ou nenhuma correlação. Os resultados gerais encontram-se na Tabela 6.1.

**Tabela 6.1: Matriz de correlação (R) das respostas de GN e RES referentes aos parâmetros de qualidade dos estratos de carvão.**

Área	Perfil geofísico	Cz %	S %	V %
B3	GN	0,6	0,3	0,5
	RES	0,3	0,2	0,5
CAL	GN	0,8	0,5	0,5
	RES	0,5	0,1	0,0
CRN	GN	0,8	0,3	0,2
	RES	0,4	0,3	0,2
SVN	GN	0,6	0,4	0,4
	RES	0,0	0,0	0,0

Para o planejamento de mina de carvão de curto prazo, a perfilagem de gama natural e resistividade mostrou-se uma ferramenta de resposta rápida e versátil (desde que consideradas as limitações já citadas), não interferindo nas operações da mina. Faz-se necessária a utilização de modelos de perfis executados na fase de pesquisa.

## 6.2 RECOMENDAÇÕES PARA OS PRÓXIMOS TRABALHOS

Neste trabalho, foi utilizado o método visual nos perfis geofísicos para identificar as espessuras das camadas de carvão e a descrição geológica para certificá-las. Sugere-se a utilização complementar de outra ferramenta de perfilagem geofísica, podendo ser uma sonda tipo Optical Viewer (filmagem da parede interna do furo), para confrontar os resultados e diminuir a incerteza da perfilagem geofísica.

Em razão das correlações entre dados geofísicos e parâmetros de qualidade das camadas de carvão não apresentarem bons resultados, sugere-se que a análise de correlação seja feita camada por camada, separadamente.

## REFERÊNCIAS

- ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8289:1983** (versão Corrigida: 1987) -Carvão mineral - Determinação do **teor de cinzas**- (Esta Norma prescreve o método para determinar o teor de cinzas em carvão mineral, 1983. 4p).
- ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8295:1983** - Carvão mineral - Determinação do **enxofre total** pelo processo de combustão (Hidróxido de sódio)- (Esta Norma prescreve o método para determinar o teor de enxofre total em carvão mineral, 1983, 7p).
- ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8290:1983**- Carvão mineral - Determinação do **teor de materiais voláteis** – (Esta Norma prescreve o método para determinar o teor de materiais voláteis de carvão mineral, 3p).
- ANON., 1993. **Guide to the Technical Evaluation of Higher Rank Coal Deposits**. Australian Standard: Committee MN/1 Coal and Coke 1993, Australian Standard AS 2519/1993.
- ARCHIE, G.E., 1942. **The Electrical Resistivity Log as an Aid in Determining Some Reservoir Characteristics**. Trans, AIME, Vol. 146, p. 54 – 62.
- BOND, L.O., ALGER, R.P. e SCHMIDT, A.W, 1971. **Well log interpretation in coal mining and rock mechanics**, *Soil Mech. Eng.*, Trans, 250:355-362.
- BORSARU, M., ASFAHANIA, J., 2007. **Low-activity spectrometric gamma-ray logging technique for delineation of coal/rock interfaces in dry blast holes**. *Applied Radiation and Isotopes*, v. 65, n.6, p.748-755.
- BORSARU, M., CHARBUCINSKI, J., EISLER, P. L., YOUL, S. F., 1985. **Determination of ash content in coal by borehole logging in dry boreholes using gamma-gamma methods**. *Geoexploration*, v. 23, n.4, p.503-518.
- CPRM, 1984, **Projeto Borda Leste da Bacia do Paraná**.
- ELLIS, D. V., SINGER, J. M., 2007. *Well logging for Earth Scientists*. Second edition, Springer, 692 p.
- GASPER, G.O., 2012. **ESTIMATIVA DE QUALIDADE DE CARVÃO A PARTIR DE PERFILAGEM GEOFÍSICA E SEU USO NO PLANEJAMENTO A CURTO PRAZO**. Dissertação de Mestrado, PPGEM – EE – UFRGS, Porto Alegre (RS), 104 p.73.
- GERÊNCIA DE GEOLOGIA E PESQUISA – COPELMI MINERAÇÃO LTDA. **Relatório de Avaliação Geológica da Jazida de SEIVAL. 2005**
- GERÊNCIA DE GEOLOGIA E PESQUISA – COPELMI MINERAÇÃO LTDA. **Relatório de Pesquisa. DNPM, 1984.**
- GERÊNCIA DE GEOLOGIA E PESQUISA – COPELMI MINERAÇÃO LTDA. **Relatório de Pesquisa. DNPM, 2005.**
- GERÊNCIA DE GEOLOGIA E PESQUISA – COPELMI MINERAÇÃO LTDA. **Relatório de Pesquisa Interno. 2008.**

- GUYOD, H., 1944b. **The single-point resistance methode**. Oil Weekly. v. 114 no. 12.
- GUYOD, H. 1951. **The Shielded – Electrode Methode**. World Oil.
- HEARST, J.R. & NELSON, P.H. & PAILLETT, F.L. 2000. **Well Logging for Physical Properties**. 2<sup>a</sup> ed., John Wiley and Sons, Ltd., 483 p.
- HOFFMAN, G.L., JORDAN, G.R. & WALLIS, G.R. 1982. **Geophysical Borehole Logging Handbook for Coal Exploration**. Alberta (CAN), The Coal Mining Research Centre, 270 p.
- KAYAL, J.R., DAS, L.K., 1981. **A method of estimating ash content of coal from combined resistivity and gamma-ray logs**. *Geoexploration*, v. 19, n.3, p.193-200.
- KAYAL, J.R., CHRISTOFFEL, D.A., 1989. **Coal quality from geophysical logs: Southland lignite region, New Zealand**. *The Log Analyst* 30, 343–352.
- OLIVEIRA, L.J. de. 2005. **Avaliação do Uso da Perfilagem Geofísica para Obtenção de Informações Secundárias para Utilização em Co Estimativas de Variáveis Geológico – Mineiras**. Dissertação de Mestrado, PPGEM – EE – UFRGS, Porto Alegre (RS), 164 p.*ng and rock mechanics, Soil Mech. Eng., Trans*, 250:355-362.
- REEVES, D.R., 1976. **Application of wire-line logging techniques of coal exploration**. Proc. Int. Coal Exploration Symp., 1st, London, pp. 112-128.
- REEVES, D.R., 1981. **Coal Interpretation Manual**, BPB Instruments, East Leake, England.
- TELFORD, W.M., GELDART, L.P. e SHERIFF, R.E., 1990. **Aplied Geophysics**. Cambridge University Press, Second Edition, 770 p.
- WEBBER, T., SALVADORETTI, P., OLIVEIRA, L. J., COSTA, J. F. C. L., KOPPE, J. C., CARVALHO FILHO, J. A. de, BASTIANI, G. A., 2006. **Estimativa de parâmetros indicadores de qualidade de carvão a partir de perfilagem geofísica - Mina do CERRO - Cachoeira do Sul/RS**. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE MINA A CÉU ABERTO E CONGRESSO BRASILEIRO DE MINA SUBTERRÂNEA, 4. Anais...** Belo Horizonte: IBRAM, p. 1-13. (CDROM)
- WEBBER, T., SALVADORETTI, P., COSTA, J. F. C. L., KOPPE, J., 2008. **Estimativa de qualidade de carvão usando krigagem das indicatrizes aplicadas a dados obtidos por perfilagem geofísica**. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE MINA A CÉU ABERTO E CONGRESSO BRASILEIRO DE MINA SUBTERRÂNEA, 5. Anais...** Belo Horizonte: IBRAM, v. 1. p. 1-16.
- WINSAUER, W.O., SHEARIN, H., MASON Jr., P.H. & WILLIAMS, M. 1952. **Resistivity of Brine – Saturated Sand in Relation to Pore Geometry**. Bull. AAPG, Vol. 36, No. 2, p. 253 – 277.
- YAMAMOTO, J.K. 2001. **Avaliação e Classificação de Reservas Minerais**. São Paulo (SP), Edusp – Editora da Universidade de São Paulo, 232 p.

**ANEXO A – RESULTADO DAS ANÁLISES DE LABORATÓRIO MOSTRANDO OS RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS PARA DENSIDADE, CINZA, ENXOFRE E VOLÁTEIS**

Tabela A.1: Resultados dos ensaios furo B3 - Z1

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
B3-Z1	A1	2,13	73,27	1,77	12,57
B3-Z1	A2	2,06	54,60	5,13	24,23
B3-Z1	B	1,93	61,40	2,99	17,62
B3-Z1	S	1,85	52,51	3,30	21,14
B3-Z1	L	2,06	66,49	0,92	16,43
B3-Z1	M1	1,72	45,40	2,16	23,49
B3-Z1	M2	1,52	28,77	2,87	32,05
B3-Z1	I1	1,92	51,57	3,94	21,90

Tabela A.2 - Resultados dos ensaios furo B3 – 29

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
B3-29	A1	1,36	69,22	2,07	13,73
B3-29	A2	1,80	53,01	4,14	23,05
B3-29	B	2,98	66,16	15,80	17,30
B3-29	S	1,70	42,35	2,75	26,35
B3-29	L	2,09	72,19	0,47	15,03
B3-29	M1	1,65	47,39	4,46	23,98
B3-29	M2	1,61	36,89	2,56	27,60
B3-29	I1	1,75	48,54	1,65	21,56

Tabela A.3: Resultados dos ensaios furo B3 – 34

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
B3-34	A1	2,13	62,72	6,47	10,32
B3-34	S	1,73	46,54	2,97	17,73
B3-34	M1	1,74	37,00	5,96	20,44
B3-34	M2	1,98	69,29	0,42	10,34
B3-34	I1	1,85	57,05	0,82	15,42

Tabela A.4: Resultados dos ensaios furo B3 - 36

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
B3-36	A1	2,18	66,44	6,20	12,40
B3-36	A2	2,05	60,51	9,06	12,40
B3-36	I1	1,74	49,10	1,75	18,21

Tabela A.5: Resultados dos ensaios furo B3 – 37

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
B3-37	A1	1,86	59,56	3,98	13,40
B3-37	A2	1,83	51,83	5,47	18,09

Tabela A.6: Resultados dos ensaios furo B3 – 38

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
B3-38	A1	1,75	59,15	4,61	17,53
B3-38	A2	1,77	38,78	1,48	23,07
B3-38	M1	1,63	45,74	1,70	19,96
B3-38	M2	1,53	29,16	2,81	26,84
B3-38	M3	2,04	58,16	1,95	11,68
B3-38	I2	1,79	51,44	0,35	17,33

Tabela A.7: Resultados dos ensaios furo B3 – 39

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
B3-39	M2	1,58	31,72	3,39	26,20
B3-39	I1	1,93	69,57	0,56	12,93
B3-39	I2	1,70	55,33	0,68	17,91

Tabela A.8: Resultados dos ensaios furo CAL – 01

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
CAL-01	CS2	1,61	31,58	3,94	26,99
CAL-01	CS3	1,68	42,38	2,09	23,80
CAL-01	CM	1,95	64,17	1,36	18,80

Tabela A.9: Resultados dos ensaios furo CAL – 03

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
CAL-03	C3	1,77	52,12	1,95	20,35

Tabela A.10: Resultados dos ensaios furo CAL – 06

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
CAL-06	C3	1,57	47,94	1,95	21,22

Tabela A.11: Resultados dos ensaios furo CAL – 08

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
CAL-08	C3	1,66	45,47	0,38	23,08

Tabela A.12: Resultados dos ensaios furo CAL – 09

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
CAL-09	CA (c/ P)	2,23	61,97	2,28	17,87
CAL-09	CS1 (c/P)	2,67	39,25	0,18	18,06
CAL-09	CS2 (c/P)	2,10	62,95	0,27	15,54
CAL-09	CS3	1,75	45,98	1,75	24,15

\* P = parting

Tabela A.13: Resultados dos ensaios furo CAL – 10

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
CAL-10	CS1	1,66	42,80	2,88	32,26
CAL-10	CS2	1,60	37,58	2,17	29,21
CAL-10	CS3	1,59	35,52	5,43	28,31
CAL-10	CM	1,64	45,11	0,91	32,72

Tabela A.14: Resultados dos ensaios furo CAL – 12

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
CAL-12	CA	1,95	63,95	2,93	24,84
CAL-12	CS1 (c/P)	1,88	56,08	0,84	22,59
CAL-12	CS2	1,67	42,13	2,37	21,28
CAL-12	CS3	1,75	39,07	4,04	36,06
CAL-12	CM	1,74	48,87	1,12	35,42

\* P = parting

Tabela A.15: Resultados dos ensaios furo CAL – 13

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
CAL-13	CS1	1,46	34,10	0,99	26,36
CAL-13	CS2+CS3 (c/P)	1,83	55,54	1,27	23,81
CAL-13	CM	1,74	53,03	1,38	20,30

\* P = parting

Tabela A.16: Resultados dos ensaios furo CAL – 14

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
CAL-14	CS2	1,55	33,92	2,11	28,32
CAL-14	CS3	1,56	32,33	0,94	23,11
CAL-14	CM	1,69	51,42	2,87	21,40
CAL-14	CI1	1,91	58,19	2,48	19,55
CAL-14	CI2	1,83	57,10	0,70	24,45



Tabela A.17: Resultados dos ensaios furo CAL – 15

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
CAL-15	CS2+CS3 (c/P)	1,62	33,95	1,62	26,96
CAL-15	CM	1,84	54,97	1,32	19,15

\* P = parting

Tabela A.18: Resultados dos ensaios furo CAL – 16

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
CAL-16	CA (c/P)	1,93	64,17	3,37	17,12
CAL-16	CS1	1,65	39,17	4,19	26,42
CAL-16	CS2	1,56	42,57	1,48	25,94
CAL-16	CS3	1,68	43,51	0,99	23,60
CAL-16	CM	1,53	46,48	1,68	22,43

Tabela A.19: Resultados dos ensaios furo CAL – 19

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
CAL-19	CM	1,71	51,92	0,63	20,33

Tabela A.20: Resultados dos ensaios furo CAL – 21

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
CAL-21	CS2	1,59	35,82	5,27	24,88
CAL-21	CS3	1,88	60,88	0,39	17,66
CAL-21	CM	1,76	52,37	1,13	21,68

Tabela A.21: Resultados dos ensaios furo CAL – 22

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
CAL-22	CM	1,68	52,34	1,19	21,66

Tabela A.22: Resultados dos ensaios furo CAL – 23

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
CAL-23	CM	1,42	47,59	1,78	31,53

Tabela A.23: Resultados dos ensaios furo CAL – 24

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
CAL-24	CS2	1,56	39,56	1,85	29,30
CAL-24	CS3	1,73	53,20	0,62	20,50
CAL-24	CM	1,69	50,31	2,22	23,10

Tabela A.24: Resultados dos ensaios furo CAL – 26

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
CRN-26	CS	1,68	45,21	5,15	22,66
CRN-26	CM1	1,86	58,19	3,86	24,44
CRN-26	CM2	2,02	66,21	6,40	16,48

Tabela A.25: Resultados dos ensaios furo CRN – 27

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
CRN-27	CS	1,65	45,19	2,52	22,66
CRN-27	CM1	1,45	45,44	1,80	24,44
CRN-27	CM2	1,83	58,55	2,45	22,35

Tabela A.26: Resultados dos ensaios furo CRN – 30

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
CRN-30	CS	1,71	46,00	3,55	25,05
CRN-30	CM1	1,68	57,19	1,60	18,30
CRN-30	CM2	1,55	55,07	0,99	21,88

Tabela A.27: Resultados dos ensaios furo CRN – 31

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
CRN-31	CS	1,67	47,60	4,30	24,29
CRN-31	CM1	1,94	70,22	1,53	15,75
CRN-31	CM2	1,79	61,52	2,55	22,39

Tabela A.28: Resultados dos ensaios furo CRN – 32

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
CRN-32	CS	1,68	45,21	5,15	22,66
CRN-32	CM1	1,86	58,19	3,86	24,44
CRN-32	CM2	2,02	66,21	6,40	16,48

Tabela A.29: Resultados dos ensaios furo CRN – 33

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
CRN-33	CS	1,62	46,05	2,41	18,86
CRN-33	CM2	2,03	61,02	2,33	18,13

Tabela A.30: Resultados dos ensaios furo CRN – 37

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
-------------	---------------	---------------------------	------------------	--------------------	---------------------

CRN-37	CS	1,78	49,66	2,72	21,71
--------	----	------	-------	------	-------

Tabela A.31: Resultados dos ensaios furo CRN – 51

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
CRN-51	CS	1,57	45,35	6,97	23,80
CRN-51	CM1	1,98	72,97	0,28	14,90
CRN-51	CM2	1,66	57,46	3,47	19,58

Tabela A.32: Resultados dos ensaios furo CRN – 53

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
CRN-53	CS	1,72	45,09	7,80	22,31
CRN-53	CM2	1,77	58,05	2,23	18,99

Tabela A.33: Resultados dos ensaios furo CRN – 56

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
CRN-56	CS	1,59	46,92	0,80	22,33
CRN-56	CM2	1,81	59,76	2,47	18,33

Tabela A.34: Resultados dos ensaios furo CRN – 57

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
CRN-57	CS	1,61	46,99	1,87	21,94
CRN-57	CM1	2,20	75,33	0,28	14,90
CRN-57	CM2	1,83	57,46	3,47	19,58

Tabela A.35: Resultados dos ensaios furo SVN – 11

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
SVN-11	S5	1,79	54,13	1,17	20,58
SVN-11	S4	1,97	60,05	1,11	9,25
SVN-11	S3	1,59	46,83	1,29	21,92
SVN-11	S2	1,59	48,35	0,65	22,88
SVN-11	BL	1,93	73,76	0,88	13,47
SVN-11	CSS	1,82	56,59	0,87	19,24
SVN-11	CSI	1,70	50,18	2,73	20,12
SVN-11	CI	1,79	57,50	0,53	18,30
SVN-11	I1	1,81	61,31	1,40	18,89
SVN-11	I2	1,73	56,98	1,00	19,59
SVN-11	I3	1,73	53,79	0,94	20,09
SVN-11	I4	1,65	38,91	6,88	26,17

Tabela A.36: Resultados dos ensaios furo SVN – 12

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
SVN-12	S5	1,70	56,91	1,80	20,06
SVN-12	S4	1,87	61,30	1,23	16,96
SVN-12	S3	1,62	46,47	1,23	21,78
SVN-12	S2	1,66	51,51	0,81	21,23
SVN-12	BL	1,85	72,02	1,02	14,01
SVN-12	CSS	1,72	55,73	0,80	19,05
SVN-12	CSI	1,63	47,80	1,64	21,60
SVN-12	CI	1,71	55,69	0,76	19,34
SVN-12	I1	1,82	62,33	1,40	18,79
SVN-12	I2	1,75	60,41	1,62	18,39
SVN-12	I3	1,74	55,28	1,02	21,02
SVN-12	I4	1,61	44,28	4,21	25,88

Tabela A.37: Resultados dos ensaios furo SVN – 15

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
SVN-15	S6	2,10	49,39	1,63	19,31
SVN-15	S5	1,88	56,80	1,14	17,04
SVN-15	S4	1,98	64,01	2,57	16,26
SVN-15	S3	1,69	48,42	2,96	18,16
SVN-15	S2	1,65	48,54	0,73	19,33
SVN-15	BL	2,02	67,23	0,84	15,59
SVN-15	CSS	1,76	53,10	1,00	19,09
SVN-15	CSI	1,71	47,88	1,88	20,94
SVN-15	CI	1,67	53,70	0,76	18,38
SVN-15	I1	1,83	62,30	2,09	14,93
SVN-15	I3	1,72	55,75	0,81	18,26
SVN-15	I4	1,73	52,08	4,00	20,88

Tabela A.38: Resultados dos ensaios furo SVN – 16.

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
SVN-16	S6	1,68	50,10	1,09	25,33
SVN-16	S4	1,91	62,51	1,91	15,46
SVN-16	S3	1,67	50,72	1,88	18,15
SVN-16	S2	1,69	56,04	0,66	17,59
SVN-16	CI	1,93	58,17	1,02	16,56
SVN-16	I1	2,23	63,77	1,08	14,88
SVN-16	I2	1,57	52,77	2,68	19,22
SVN-16	I3	1,55	56,78	2,58	17,35

Tabela A.39: Resultados dos ensaios furo SVN – 17

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
SVN-17	CI	1,69	57,17	0,81	16,87
SVN-17	I2	1,70	52,24	1,13	19,71
SVN-17	I4	1,88	63,50	1,56	17,26

Tabela A.40: Resultados dos ensaios furo SVN – 18

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
SVN-18	S2	1,79	52,32	0,45	17,59
SVN-18	CSS	1,80	58,18	0,95	16,40
SVN-18	CSI	1,65	51,02	5,89	18,27
SVN-18	CI	1,70	54,05	0,53	17,36
SVN-18	I1	1,84	59,16	1,03	17,43
SVN-18	I3	1,85	62,30	1,18	15,31
SVN-18	I4	1,68	45,85	4,04	21,61

Tabela A.41: Resultados dos ensaios furo SVN – 22

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
SVN-22	S5	1,83	56,33	1,66	19,18
SVN-22	S4	1,86	50,33	1,84	22,02
SVN-22	S3	1,64	48,69	1,24	22,48
SVN-22	S2	1,75	61,29	1,57	17,79
SVN-22	CSS	1,86	60,59	1,50	16,23
SVN-22	CSI	1,74	51,80	3,30	18,58
SVN-22	CI	1,81	59,07	2,67	16,00
SVN-22	I1	1,95	69,06	1,38	13,64
SVN-22	I2	1,59	43,45	3,77	26,55
SVN-22	I3	1,87	60,94	1,58	17,25

Tabela A.42: Resultados dos ensaios furo SVN – 23

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
SVN-23	S6	1,56	37,64	0,98	25,59
SVN-23	S5	1,80	58,24	0,78	18,22
SVN-23	S4	1,89	61,13	0,74	17,76
SVN-23	S3	1,63	46,88	2,35	19,75
SVN-23	S2	1,63	45,77	0,76	21,61
SVN-23	CSS	1,71	55,16	0,63	16,55
SVN-23	CSI	1,73	50,51	1,73	20,08
SVN-23	CI	1,83	63,07	0,73	14,62
SVN-23	I1	2,04	67,15	2,73	15,02
SVN-23	I2	1,76	53,70	0,68	21,89
SVN-23	I4	1,78	61,13	1,46	18,35

Tabela A.43: Resultados dos ensaios furo SVN – 25

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
SVN-25	S2	1,78	56,77	0,65	21,44
SVN-25	CSS	1,70	52,28	0,70	18,69
SVN-25	CSI	1,70	50,20	2,61	19,47
SVN-25	CI	1,76	57,35	1,61	17,13
SVN-25	I1	1,90	60,98	1,54	15,41
SVN-25	I2	1,83	46,70	2,08	22,48
SVN-25	I3	1,90	54,86	1,49	18,37
SVN-25	I4	1,58	39,45	2,83	24,77

Tabela A.44: Resultados dos ensaios furo SVN – 26

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
SVN-26	S2	1,75	53,74	0,68	18,72
SVN-26	CSS	1,73	55,82	0,92	16,46
SVN-26	CSI	1,72	51,00	1,11	18,05
SVN-26	CI	1,15	58,30	0,75	17,02
SVN-26	I1	1,88	59,50	2,83	17,98
SVN-26	I2	1,92	52,43	2,05	23,10
SVN-26	I3	1,77	55,18	0,99	18,15
SVN-26	I4	1,95	41,65	7,60	24,10

Tabela A.45: Resultados dos ensaios furo SVN – 27

<b>Furo</b>	<b>Camada</b>	<b>Densidade (Kg/cm3)</b>	<b>Cinza (%)</b>	<b>Enxofre (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>
SVN-27	CI	1,65	51,69	0,74	17,76
SVN-27	I1	1,92	58,99	0,90	16,84
SVN-27	I2	1,71	55,92	1,63	18,87
SVN-27	I3	1,79	52,14	1,11	19,07
SVN-27	I4	1,75	39,94	8,48	22,98