



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP  
NUGEO - NÚCLEO DE GEOTECNIA DA ESCOLA DE MINAS  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA GEOTÉCNICA



INVESTIGAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DE MACIÇOS ROCHOSOS  
(Ênfase em Sondagem)

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO DESEMPENHO DA SONDAÇÃO AOS  
PARÂMETROS OPERACIONAIS.

**Orientador:** Dr. José Agnelo Soares (UFOP/UFOP)

**Mestrando:** Osvaldo Gonçalves Costa Filho (UFOP/VALE)

ESCOLA DE MINAS / UFOP

OURO PRETO – MG

OUTUBRO DE 2015



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP  
NUGEO - NÚCLEO DE GEOTECNIA DA ESCOLA DE MINAS  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA GEOTÉCNICA



**ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO DESEMPENHO DA SONDAGEM AOS  
PARÂMETROS OPERACIONAIS.**

OURO PRETO – MG  
OUTUBRO DE 2015



C837a Costa Filho, Osvaldo Gonçalves.  
Análise de sensibilidade da sondagem aos parâmetros operacionais  
[manuscrito] / Osvaldo Gonçalves Costa Filho. - 2015.  
109f.: il.; color; grafs; tabs; mapas.

Orientador: Prof. Dr. José Agnelo Soares Soares.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica.

I. Sondagem. 2. Minério de Ferro. 3. Teoria operacional. 4. Mina de Alegria. I. Soares, José Agnelo Soares. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 622.2

Catálogo: [www.sisbin.ufop.br](http://www.sisbin.ufop.br)



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO PROFISSIONAL

1 Aos seis dias do mês de novembro de 2015, às 08h30min, na sala 43 do prédio do CTGA-NUGEO da  
2 Universidade Federal de Ouro Preto – Campus Universitário Morro do Cruzeiro, em Ouro Preto / MG, foi  
3 instalada a sessão pública para a defesa da dissertação do mestrando **Oswaldo Gonçalves Costa Filho**,  
4 sendo a banca examinadora composta pelo Prof. Dr. José Agnelo Soares (UFCG), pelo Prof. Dr. Romero  
5 César Gomes (UFOP) e pelo Dr. Marco Antonio Braga (VALE). Dando início aos trabalhos, o presidente,  
6 com base no regulamento do curso e nas normas que regem as sessões de defesa de dissertação, concedeu  
7 ao mestrando Oswaldo Gonçalves Costa Filho 50 (cinquenta) minutos para apresentação do seu trabalho  
8 intitulado “ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO DESEMPENHO DA SONDAÇÃO AOS  
9 PARÂMETROS OPERACIONAIS.”. Terminada a exposição o presidente da banca examinadora  
10 concedeu, a cada membro, um tempo máximo de 30 (trinta) minutos para perguntas e respostas ao  
11 candidato sobre o conteúdo da dissertação, na seguinte ordem: Primeiro Dr. Marco Antonio Braga;  
12 segundo, Dr. Romero César Gomes e em último, o Dr. José Agnelo Soares. Dando continuidade, ainda de  
13 acordo com as normas que regem a sessão, o presidente solicitou aos presentes que se retirassem do recinto  
14 para que a banca examinadora procedesse à análise e decisão, anunciando, a seguir, publicamente, que o  
15 mestrando foi aprovado por unanimidade, sob a condição de que a versão definitiva da dissertação deva  
16 incorporar todas as exigências da banca, devendo o exemplar final ser entregue no prazo máximo de 60  
17 (sessenta) dias à Coordenação do Programa. Para constar, foi lavrada a presente ata que, após aprovada, vai  
18 assinada pelos membros da banca examinadora e pelo mestrando. Ouro Preto, 06 de novembro de 2015.



Presidente: Prof. Dr. José Agnelo Soares (Orientador)



Prof. Dr. Romero César Gomes (UFOP)



Dr. Marco Antonio Braga



Mestrando: Oswaldo Gonçalves Costa Filho

*“Não se pode criar experiência.  
É preciso passar por ela.”  
Albert Camus*

## DEDICATÓRIA

Ao meu avô Duca Alves (*In Memoriam*):

Homem exemplar, que sempre apoiou os estudos e prezou pelo conhecimento.

À minha irmã Donária: Educadora nata!

Aos meus netinhos Lucas e Maria: Alegria na minha vida.

## AGRADECIMENTOS

O agradecimento maior a Deus, por estar sempre comigo, guiando e abençoando minhas conquistas.

À minha esposa Rosana, por mais esta jornada, às minhas filhas Carol e Aninha, aos genros Roney e Guilherme, e principalmente ao meu filho Thiago, que sempre esteve ao meu lado incentivando e cobrando dedicação desde o início deste mestrado.

Aos meus pais senhor Osvaldo e dona Santa, base da minha vida e que nunca mediram esforços para nos educar com dignidade. Aos meus irmãos Donária, Joaquim, Aparecida e Ana Paula pelo amor fraterno, apoio e amizade de sempre. Aos cunhados (as) e afilhados (as).

À VALE, nas pessoas dos senhores Dr. Marco Antônio da Silva Braga, gerente de Geotecnia e Henry Francisco Galbiatti, gerente de Exploração/Geologia, não só pela oportunidade única, mas também pela confiança, pelo apoio e pelo incentivo. Ao Gustavo Mafra Moreira, supervisor de Aquisição de Dados Geológicos e Infraestrutura pelas dicas, companheirismo e amizade.

Ao meu orientador, Dr. José Agnelo Soares pela receptividade, atenção dedicada, pela clareza e objetividade nos comentários e direcionamentos adotados, essenciais para elaboração desta dissertação.

Ao pessoal do NUGEO, nas pessoas dos senhores Dr. Romero César e Dr. Adilson Leite, da Jussara e da Viviane pela oportunidade de fazer parte do corpo discente da UFOP, aos professores do curso de Investigação Geológico-geotécnica em maciços rochosos, em especial ao professor Normando Duarte de Almeida pela dedicação, ensinamentos práticos e coleta de dados, imprescindíveis neste projeto. Aos colegas de mestrado, Igor, Samir e Humberto e todos os outros, pelas experiências de vida e profissional compartilhadas, pelos momentos de descontração e pelo esforço dispensado aos trabalhos de grupo. Valeu pessoal!

A toda equipe da Exploração Mineral de Ferrosos, que de direta ou indiretamente contribuíram para que este trabalho fosse desenvolvido. Especialmente ao Renato Arcebispo, Priscila Coelho, M<sup>a</sup> de Lourdes, Marcelo Aniceto, Carlos Mello e Thiago Lima. Aos geólogos do complexo Mariana, Adilson Dias e Valéria Ribeiro, pela disponibilização de material e informações geológicas da área alvo.

Ao Dr. Dionísio Carlos e ao Wanderson Pereira, fundamentais na ajuda das interpretações e parametrizações dos dados referentes à perfilagem geofísica.

Ao Huanderson Castro e Simone Jesus pela ajuda na formatação e ao Edson Correa na apresentação.

Às empresas GEOSOL e PASON pelo apoio indispensável e fundamental a esta dissertação, referente à disponibilidade de sonda e ao EDR para o controle dos parâmetros operacionais.

Ao Silvério, “Caçadô” e Vial, pelo apoio, ensinamentos, oportunidades e amizade no começo da carreira.

A todos meus AMIGOS.

## RESUMO

Nos dias atuais, com o aumento da competitividade pela busca de mercado, somado à queda no preço da *commodity* minério de ferro, é fundamental trabalhar com baixo custo operacional. Este trabalho, desenvolvido em um furo de sondagem testemunhada a diamante na mina de Alegria, Complexo Minerador de Mariana, Estado de Minas Gerais, teve como objetivo principal o monitoramento da operação de sondagem através do sistema EDR e o estabelecimento de procedimentos para subsidiar operadores, fiscais de sonda e geólogos na tomada de decisões, através dos parâmetros de perfuração, antes e durante a operação de sondagem. Os dados obtidos do acompanhamento deste furo foram compilados e correlacionados com as perfilagens geofísicas, descrições geológicas e geomecânicas, boletins de sondagem e fotografias das caixas de testemunhos. Os resultados mostraram que com a implantação do EDR poderemos obter ganhos em produtividade, aumento no percentual de recuperação dos testemunhos, diminuição no consumo de coroas diamantadas, diminuição no trancamento de furos, diminuição no desgaste de hastes e barriletes, controle do fluido de perfuração, implantação de boletim de sondagem eletrônico, controle de performance e gestão de equipe. Contudo, somente com execução de mais furos monitorados será possível criar um padrão operacional (furos de correlação) para a otimização do planejamento da operação de sondagem.

Palavras Chaves: sondagem rotativa diamantada, EDR, parâmetros operacionais, minério de ferro, Mina de Alegria.

## **ABSTRACT**

*Nowadays increased competition for market share, in addition to the fall in the iron ore price, becomes low operating costs an obligation. This work, developed into a diamond drilled borehole in Alegria mine of the Mariana Complex, Minas Gerais, aimed to monitor the drilling operation through the EDR system and the establishment of procedures to support operators, drill witnesses and geologists in decision-making, through drilling parameters, before and during the drilling operation. The data obtained from the monitoring of this hole were compiled and correlated with the geophysical borehole logging data, geological descriptions, geomechanical properties, coring reports and photographs of core boxes. The results showed that EDR allowed an increase in productivity and recovery of drilling cores, as well as a decrease in bit consumption, hole obstructions, and abrasion of rods and barrels, drilling fluid control, establishment of the electronic drilling report, team management and performance control. The operational system, however, needs a bigger amount of monitored holes to be implemented, allowing parameter definition for a particular target as an optimization process. However, more monitored holes are needed to create an operating pattern for future core drilled holes.*

*Key words : rotary diamond drilling , EDR , operating parameters , iron ore , Alegria Mine.*



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - SISTEMA EDR INSTALADO EM SONDA CS14. (FONTE: PASON – EDR – O AUTOR).....	2
FIGURA 1.2 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO COM AS VIAS DE ACESSO À ÁREA ESTUDADA(FONTE: ACERVO VALE – MODIFICADO PELO AUTOR).....	3
FIGURA 1.3 - VISTA PARA SUL DA CAVA DA MINA DE ALEGRIA (FONTE: ACERVO VALE/MARCELO ROSA).....	4
FIGURA 2.1 – EQUIPE (UFOP, VALE E PASON) DURANTE A COLETA DE DADOS NA OPERAÇÃO DE SONDAGEM (FONTE: O AUTOR).....	5
FIGURA 2.2 – PERFILAGEM GEOFÍSICA EM FURO DE SONDAGEM ROTATIVA (FONTE: ACERVO VALE / KLAYTON FERREIRA).....	6
FIGURA 2.3 – DESCRIÇÃO DE TESTEMUNHOS DE SONDAGEM (FONTE: O AUTOR).....	7
FIGURA 2.4 – EXEMPLO DE CORRELAÇÃO DE DADOS (FONTE: O AUTOR).....	8
FIGURA 3.1 - MAPA GEOLÓGICO SIMPLIFICADO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO (MODIFICADO DE DORR 1969, ENDO ET AL. 2005). COMPLEXO METAMÓRFICOS DO BAÇÃO (CMB), BONFIM (CMBF), BELO HORIZONTE (CMBH), CAETÉ (CMC), SANTA BÁRBARA (CMSB), MANTIQUEIRA (CMM), JOÃO MONLEVADE (JM), BARÃO DE COCAIS (BC), OURO PRETO (OP), BELO HORIZONTE (BH), CONGONHAS (CG). .....	10
FIGURA 3.2 - MAPA GEOLÓGICO DA MINA DE ALEGRIA (FONTE: ACERVO VALE).....	12
FIGURA 3.3 - ÁREAS GEOLÓGICAS DA MINA DE ALEGRIA (FONTE: ACERVO VALE – LITOTIPOS_ALEGRIA) .....	13
FIGURA 3.4 - HEMATITA FRIÁVEL (FONTE: ACERVO VALE – LITOTIPOS_ALEGRIA) ..	14
FIGURA 3.5 - HEMATITA GOETHÍTICA (FONTE: ACERVO VALE – LITOTIPOS_ALEGRIA) .....	15
FIGURA 3.6 - ITABIRITO FRIÁVEL RICO (FONTE: O AUTOR).....	16
FIGURA 3.7 - ITABIRITO FRIÁVEL (FONTE: O AUTOR) .....	17
FIGURA 3.8 - ITABIRITO COMPACTO (FONTE: ACERVO VALE – LITOTIPOS_ALEGRIA) .....	18
FIGURA 3.9 - ITABIRITO GOETHÍTICO (FONTE: O AUTOR) .....	19
FIGURA 3.10 - ITABIRITO ARGILOSO RICO (FONTE: ACERVO VALE – LITOTIPOS_ALEGRIA) .....	20

<b>FIGURA 3.11 - ITABIRITO ARGILOSO (FONTE: ACERVO VALE – LITOTIPOS_ALEGRIA)</b> .....	<b>21</b>
<b>FIGURA 3.12 - ITABIRITO MANGANESÍFERO (FONTE: ACERVO VALE – LITOTIPOS_ALEGRIA)</b> .....	<b>21</b>
<b>FIGURA 3.13 – CANGA (FONTE: ACERVO VALE – LITOTIPOS_ALEGRIA)</b> .....	<b>22</b>
<b>FIGURA 3.14 – INTRUSIVA (FONTE: ACERVO VALE – LITOTIPOS_ALEGRIA)</b> .....	<b>23</b>
<b>FIGURA 3.15 – FILITO (FONTE: ACERVO VALE – LITOTIPOS_ALEGRIA)</b> .....	<b>24</b>
<b>FIGURA 3.16 – LATERITA (FONTE: O AUTOR)</b> .....	<b>25</b>
<b>FIGURA 4.1 – FOTOGRAFIA DA PRIMEIRA SONDA DE TESTEMUNHOS, CONSTRUÍDA EM NORBERG, SUÉCIA, EM 1886. (FONTE: CURSO DE PROCEDIMENTOS DE SONDAAGEM, EQUIPAMENTOS E FERRAMENTAS – ALMEIDA, N.D, 2012)</b> .....	<b>27</b>
<b>FIGURA 4.2 - TESTEMUNHO DE SONDAAGEM ROTATIVA DIAMANTADA (O AUTOR). ....</b>	<b>28</b>
<b>FIGURA 4.3 - PROGRAMAÇÃO DE SONDAAGEM DESTACANDO O FURO EM ESTUDO, ALG-FD00134 (FONTE: ACERVO VALE – MODIFICADO PELO AUTOR).</b> .....	<b>29</b>
<b>FIGURA 4.4 - PAINEL DE CONTROLE DA SONDA HIDRÁULICA CS14 (FONTE: O AUTOR).</b> .....	<b>32</b>
<b>FIGURA 4.5 - MODELOS DE COROAS DIAMANTADAS (FONTE: CURSO DE PROCEDIMENTOS DE SONDAAGEM, EQUIPAMENTOS E FERRAMENTAS – ALMEIDA, N.D, 2012)</b> .....	<b>33</b>
<b>FIGURA 4.6 - POSICIONAMENTO DOS DIAMANTES NA MATRIZ DA COROA (FONTE: CURSO DE PROCEDIMENTOS DE SONDAAGEM, EQUIPAMENTOS E FERRAMENTAS – ALMEIDA, N.D, 2012)</b> .....	<b>35</b>
<b>FIGURA 4.7 – COMPONENTES DA COLUNA DE PERFURAÇÃO (FONTE: CURSO DE PROCEDIMENTOS DE SONDAAGEM, EQUIPAMENTOS E FERRAMENTAS – ALMEIDA, N.D, 2012)</b> .....	<b>36</b>
<b>FIGURA 4.8 - PRAÇA DE SONDAAGEM (FONTE: O AUTOR).</b> .....	<b>37</b>
<b>FIGURA 4.9 - CAIXA DE TESTEMUNHOS CONTENDO HEMATITA COMPACTA FRATURADA (FONTE: O AUTOR)</b> .....	<b>38</b>
<b>FIGURA 4.10 - VISTA INTERNA DE UM ARQUIVO DE TESTEMUNHOS DE SONDAAGEM PADRÃO VALE (FONTE: ACERVO VALE)</b> .....	<b>39</b>
<b>FIGURA 5.1 - DISPOSIÇÃO DE CAIXAS DE TESTEMUNHOS E EQUIPAMENTOS PARA DESCRIÇÃO DOS TESTEMUNHOS (FONTE: ACERVO VALE)</b> .....	<b>41</b>

<b>FIGURA 6.1 - REPRESENTAÇÃO DE RESPOSTAS DE VÁRIOS SENSORES NA PERFILAGEM GEOFÍSICA (FONTE: INTRODUÇÃO À GEOFÍSICA DE POÇO – CARRASQUILLA, A.G, 2012).....</b>	<b>43</b>
<b>FIGURA 6.2 - EQUIPAMENTOS NO INTERIOR DA UNIDADE MÓVEL DE PERFILAGEM GEOFÍSICA (FONTE: INTRODUÇÃO À GEOFÍSICA DE POÇO – CARRASQUILLA, A.G, 2012).....</b>	<b>47</b>
<b>FIGURA 6.3 - SONDAS DE PERFILAGENS GEOFÍSICAS EVIDENCIANDO DIFERENTES CALIPERS (FONTE: INTRODUÇÃO À GEOFÍSICA DE POÇO – CARRASQUILLA, A.G, 2012).....</b>	<b>49</b>
<b>FIGURA 7.1 – EVOLUÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA SONDAGEM (FONTE: O AUTOR)....</b>	<b>52</b>
<b>FIGURA 7.2 – METRAGEM EXECUTADA POR TURNO E DIA TRABALHADO. (FONTE: ACERVO VALE / IGOR ROSA) .....</b>	<b>53</b>
<b>FIGURA 7.3 – DISPONIBILIDADE DO FURO (FONTE: O AUTOR) .....</b>	<b>54</b>
<b>FIGURA 7.4 - SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DOS DADOS CAPTADOS PELOS SENSORES (FONTE: O AUTOR).....</b>	<b>55</b>
<b>FIGURA 7.5 - MONITOR MOSTRANDO OS DADOS DE SAÍDA EM TEMPO REAL (FONTE: O AUTOR) .....</b>	<b>56</b>
<b>FIGURA 7.6 - ENVIO DE DADOS À DISTÂNCIA PARA O SONDADOR (FONTE: O AUTOR)56</b>	
<b>FIGURA 7.7 - PAINEL DE VISUALIZAÇÃO DO SONDADOR (FONTE: O AUTOR).....</b>	<b>57</b>
<b>FIGURA 7.8 - SENSOR DE PROFUNDIDADE INSTALADO NA ROLDANA DA TORRE (FONTE: O AUTOR).....</b>	<b>58</b>
<b>FIGURA 7.9 - SENSOR DE ROTAÇÃO INSTALADO NO MANDRIL DA COLUNA DE PERFURAÇÃO (FONTE: O AUTOR) .....</b>	<b>59</b>
<b>FIGURA 7.10 - SENSOR DE PRESSÃO INSTALADO NA SAÍDA DA BOMBA DE LAMA (FONTE: O AUTOR).....</b>	<b>60</b>
<b>FIGURA 7.11 - SENSOR DE CONTRAPRESSÃO INSTALADO NO REGISTRO DO ALIMENTADOR DO FLUIDO (FONTE: O AUTOR) .....</b>	<b>61</b>
<b>FIGURA 7.12 - CAIXAS DE TESTEMUNHOS MOSTRANDO LITOLOGIAS E COMPACIDADES DIFERENTES (FONTE: ACERVO VALE/O AUTOR) .....</b>	<b>63</b>
<b>FIGURA 7.13 – INTERVALO 1 DO LOG DE PERFILAGEM GEOFÍSICA (FONTE: ACERVO VALE/GEOFÍSICO WANDERSON PEREIRA).....</b>	<b>64</b>
<b>FIGURA 7.14 – INTERVALO 2 DO LOG DE PERFILAGEM GEOFÍSICA (FONTE: ACERVO VALE/GEOFÍSICO WANDERSON PEREIRA).....</b>	<b>65</b>

<b>FIGURA 7.15 – INTERVALO 3 DO LOG DE PERFILAGEM GEOFÍSICA (FONTE: ACERVO VALE/GEOFÍSICO WANDERSON PEREIRA).....</b>	<b>66</b>
<b>FIGURA 7.16 – INTERVALO 4 DO LOG DE PERFILAGEM GEOFÍSICA (FONTE: ACERVO VALE/GEOFÍSICO WANDERSON PEREIRA).....</b>	<b>66</b>
<b>FIGURA 7.17 – INTERVALO 5 DO LOG DE PERFILAGEM GEOFÍSICA (FONTE: ACERVO VALE/GEOFÍSICO WANDERSON PEREIRA).....</b>	<b>67</b>
<b>FIGURA 7.18 – INTERVALO 6 DO LOG DE PERFILAGEM GEOFÍSICA (FONTE: ACERVO VALE/GEOFÍSICO WANDERSON PEREIRA).....</b>	<b>68</b>
<b>FIGURA 7.19 – INTERVALO 7 DO LOG DE PERFILAGEM GEOFÍSICA (FONTE: ACERVO VALE/GEOFÍSICO WANDERSON PEREIRA).....</b>	<b>68</b>
<b>FIGURA 7.20 – INTERVALO 8 DO LOG DE PERFILAGEM GEOFÍSICA (FONTE: ACERVO VALE/GEOFÍSICO WANDERSON PEREIRA).....</b>	<b>69</b>
<b>FIGURA 7.21 – INTERVALO 9 DO LOG DE PERFILAGEM GEOFÍSICA (FONTE: ACERVO VALE/GEOFÍSICO WANDERSON PEREIRA).....</b>	<b>70</b>
<b>FIGURA 7.22 – INTERVALO 10 DO LOG DE PERFILAGEM GEOFÍSICA (FONTE: ACERVO VALE/GEOFÍSICO WANDERSON PEREIRA).....</b>	<b>71</b>
<b>FIGURA 7.23 – PRECISÃO ENTRE LEITURAS A E B (FONTE: ACERVO VALE/IGOR ROSA). .....</b>	<b>73</b>
<b>FIGURA 7.24 – VARIAÇÃO DO DIP EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE. (FONTE: ACERVO VALE/IGOR ROSA).....</b>	<b>74</b>
<b>FIGURA 7.25 – CRESCIMENTO DO DESVIO COM O AVANÇO DA PROFUNDIDADE. (FONTE: ACERVO VALE/IGOR ROSA).....</b>	<b>74</b>
<b>FIGURA 7.26 - LOG DO EDR REFERENTE À CORRELAÇÃO A (FONTE: PASON – MODIFICADO PELO AUTOR). .....</b>	<b>75</b>
<b>FIGURA 7.27 – CAIXA DE TESTEMUNHOS EVIDENCIANDO A BAIXA RECUPERAÇÃO. REFERENTE À CORRELAÇÃO A (FONTE: ACERVO VALE / GEÓLOGA PRISCILA COELHO / MODIFICADO PELO AUTOR).....</b>	<b>76</b>
<b>FIGURA 7.28 - LOG EDR CORRESPONDENTE À CORRELAÇÃO B (FONTE: PASON – MODIFICADO PELO AUTOR) .....</b>	<b>77</b>
<b>FIGURA 7.29 – CAIXAS DE TESTEMUNHOS EVIDENCIANDO INTERVALOS COM MATERIAL MISTURADO. REFERENTE À CORRELAÇÃO B (FONTE: ACERVO VALE / GEÓLOGA PRISCILA COELHO / MODIFICADO PELO AUTOR).....</b>	<b>78</b>
<b>FIGURA 7.30 - LOG EDR CORRESPONDENTE À CORRELAÇÃO C (FONTE: PASON – MODIFICADO PELO AUTOR) .....</b>	<b>79</b>

FIGURA 7.31 – FOTOGRAFIA EVIDENCIANDO O SENSOR DE ROTAÇÃO FORA DA DIREÇÃO DO OBJETIVO INSTALADO NO MANDRIL DA SONDA (FONTE: O AUTOR) ....	80
FIGURA 7.32 – LOG EDR DA CORRELAÇÃO D (FONTE: PASON – MODIFICADO PELO AUTOR).....	81
FIGURA 7.33 – LOG DA PERFILAGEM GEOFÍSICA REFERENTE À CORRELAÇÃO D (FONTE: ACERVO VALE – GEOFÍSICO WANDERSON PEREIRA).....	82
FIGURA 7.34 – CAIXAS DE TESTEMUNHOS DE SONDAGEM REFERENTE À CORRELAÇÃO D (FONTE: ACERVO VALE – GEÓLOGA PRISCILA COELHO).....	83
FIGURA 7.35 – TAXA DE RECUPERAÇÃO VERSUS TAMANHO DO AVANÇO REFERENTE À CORRELAÇÃO E (FONTE: O AUTOR).....	84
FIGURA 7.36 – LOG EDR REFERENTE À CORRELAÇÃO E (FONTE: PASON – MODIFICADO PELO AUTOR).....	85
FIGURA 7.37 – LOG DA PERFILAGEM GEOFÍSICA REFERENTE À CORRELAÇÃO F (FONTE: ACERVO VALE – GEOFÍSICO WANDERSON PEREIRA – MODIFICADO PELO AUTOR).....	86
FIGURA 7.38 – LOG EDR REFERENTE À CORRELAÇÃO F (FONTE: PASON - MODIFICADO PELO AUTOR).....	87
FIGURA 7.39 – LOG EDR REFERENTE À CORRELAÇÃO F (FONTE: PASON - MODIFICADO PELO AUTOR).....	88
FIGURA 7.40 – LOG EDR REFERENTE À CORRELAÇÃO F (FONTE: PASON - MODIFICADO PELO AUTOR).....	89
FIGURA 7.41 – LOG EDR REFERENTE À CORRELAÇÃO G (FONTE: PASON - MODIFICADO PELO AUTOR).....	91
FIGURA 7.42 – CAIXAS DE TESTEMUNHOS REFERENTES À CORRELAÇÃO G (FONTE: ACERVO VALE / GEÓLOGA PRISCILA COELHO).....	92
FIGURA 7.43 – DESVIO VERSUS LITOLOGIA REFERENTES À CORRELAÇÃO H (FONTE: ACERVO VALE/IGOR ROSA).....	93
FIGURA 7.44 – LOG EDR REFERENTE À CORRELAÇÃO H (FONTE: O AUTOR).....	94
FIGURA 7.45 – LOG EDR REFERENTE À CORRELAÇÃO I (FONTE: O AUTOR).....	95
FIGURA 7.46 – CAIXA DE TESTEMUNHOS MOSTRANDO A MUDANÇA DE MATERIAL REFERENTE À CORRELAÇÃO I (FONTE: O AUTOR).....	96
FIGURA 8.1 - CÂMERA DE FILMAGEM MÓVEL DE LONGO ALCANCE (FONTE: O AUTOR).....	100

**FIGURA 8.2 - PAINEL DE VISUALIZAÇÃO DO SISTEMA DE FILMAGEM (FONTE: O  
AUTOR)..... 101**

## LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 - COLUNA ESTRATIGRÁFICA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO [MODIFICADO DE DORR (1969), SCHORSCHER (1978), LADEIRA (1980), RENGER ET AL. (1994)].....	11
TABELA 7.1 - DADOS DE AMARRAÇÃO DO FURO DE SONDAAGEM (FONTE: ACERVO VALE MODIFICADO PELO AUTOR).....	50
TABELA 7.2 – FERRAMENTAL E SUAS CARACTERÍSTICAS (FONTE: GEOSOL).....	50
TABELA 7.3 – COROAS UTILIZADAS E SUA DURAÇÃO. (FONTE: GEOSOL) .....	51
TABELA 7.4 – COMPONENTES UTILIZADOS NO FLUIDO DE PERFURAÇÃO (FONTE: GEOSOL).....	51
TABELA 7.5 - DESCRIÇÃO GEOLÓGICA DOS TESTEMUNHOS (FONTE: ACERVO VALE – GEÓLOGA PRISCILA COELHO) .....	62
TABELA 7.6 – INTERVALO DO BOLETIM DE SONDAAGEM CORRESPONDENTE À CORRELAÇÃO A (FONTE: PLANILHA DE COLETA DE DADOS DE SONDAAGEM – GEOSOL – MODIFICADO PELO AUTOR) .....	76
TABELA 7.7 – INTERVALO DO BOLETIM DE SONDAAGEM CORRESPONDENTE À CORRELAÇÃO B (FONTE: PLANILHA DE COLETA DE DADOS DE SONDAAGEM – GEOSOL – MODIFICADO PELO AUTOR) .....	78
TABELA 7.8 – DADOS DO BOLETIM DE SONDAAGEM (FONTE: GEOSOL – MODIFICADO PELO AUTOR).....	81
TABELA 7.9 – DADOS DO BOLETIM DE SONDAAGEM REFERENTES À CORRELAÇÃO E (FONTE: GEOSOL – MODIFICADO PELO AUTOR).....	84
TABELA 7.10 – DESCRIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA REFERENTE À CORRELAÇÃO E (FONTE: ACERVO VALE – MODIFICADO PELO AUTOR) .....	85
TABELA 7.11 – BOLETIM DE SONDAAGEM REFERENTE À CORRELAÇÃO F (FONTE: GEOSOL – MODIFICADO PELO AUTOR) .....	87
TABELA 7.12 – COROAS UTILIZADAS NA PERFURAÇÃO REFERENTE À CORRELAÇÃO G (FONTE: GEOSOL – MODIFICADO PELO AUTOR).....	90
TABELA 7.13 – CONTAMINAÇÃO DE UM INTERVALO NA PRODUTIVIDADE REFERENTE À CORRELAÇÃO G (FONTE: GEOSOL – MODIFICADO PELO AUTOR).....	90
TABELA 7.14 – BOLETIM DE SONDAAGEM APONTANDO BAIXA RECUPERAÇÃO. REFERENTE À CORRELAÇÃO I .....	95

<b>(FONTE: GEOSOL – MODIFICADO PELO AUTOR).....</b>	<b>95</b>
<b>TABELA 8.1 – ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA – VISÃO DA CONTRATANTE PARA PAGAMENTO (FONTE: O AUTOR).....</b>	<b>97</b>
<b>TABELA 8.2 – ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA – ECONOMIA COM MÃO-DE-OBRA (FONTE: O AUTOR).....</b>	<b>98</b>
<b>TABELA 8.3 – ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA – ECONOMIA COM CONSUMO DE COROA (FONTE: O AUTOR) .....</b>	<b>98</b>
<b>TABELA 8.4 – ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA .....</b>	<b>99</b>
<b>TABELA 8.5 – ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA – CUSTO DE IMPLANTAÇÃO DO EDR (FONTE: O AUTOR).....</b>	<b>99</b>
<b>TABELA 8.6 – ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA. ECONOMIA COM COROAS NUMA CAMPANHA DE SONDAÇÃO (FONTE: O AUTOR).....</b>	<b>99</b>



## LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

<b>EDR</b>	<i>Electronic Drilling Recorder</i>
<b>RPM</b>	Rotação por Minuto
<b>DIP</b>	Mergulho (Ângulo em relação à horizontal)
<b>ROP</b>	Taxa de Avanço (ou de penetração)
<b>LOG</b>	Representação Gráfica da Geologia, Geofísica e EDR
<b>CG</b>	Canga
<b>USGS</b>	<i>United States Geological Survey</i>
<b>DNPM</b>	Departamento Nacional de Produção Mineral
<b>UTM</b>	Universal Transversa de Mercator
<b>HC</b>	Hematita compacta
<b>SAD69</b>	<i>South American Datum 1969</i>
<b>HF</b>	Hematita friável
<b>HE</b>	Hematita
<b>HGO</b>	Hematita Goethítica
<b>IFR</b>	Itabirito Friável Rico
<b>IF</b>	Itabirito Friável
<b>IC</b>	Itabirito Compacto
<b>IGO</b>	Itabirito Goethítico
<b>IAR</b>	Itabirito Argiloso
<b>IMN</b>	Itabirito Manganésífero
<b>FL</b>	Filito
<b>LT</b>	Laterita
<b>CLV</b>	Classificação litológica visual
<b>NA</b>	Não aplicável
<b>E2</b>	Área Geológica da Mina de Alegria
<b>RQD</b>	<i>Rock Quality Designation</i>
<b>PPQ</b>	Pedras por quilate

<b>H</b>	Diâmetro de Perfuração (Ø interno 77,8mm)
<b>N</b>	Diâmetro de Perfuração (Ø interno 50,5mm)
<b>GDMS</b>	<i>Geological Data Management Solution</i>
<b>GR</b>	Raios Gama
<b>K</b>	Potássio
<b>Th</b>	Tório
<b>U</b>	Urânio
<b>CMC</b>	Carboximetilcelulose de sódio
<b>PHPA</b>	Policramida parcialmente Hidrolizada
<b>MA</b>	Miliampere
<b>VQ</b>	Veio de quartzo
<b>IGOF</b>	Itabirito Goethítico Friável
<b>IARS</b>	Itabirito Argiloso Semi-compacto
<b>PRO</b>	Procedimento Operacional

## TAXONOMIA

<b>Taxonomia</b>	Classificação sistemática de assuntos ou termos, utilizada como ferramenta de organização intelectual.
<b>Vale</b>	Empresa mineradora especializada em exploração e produção de minério de ferro e pelotas, níquel, manganês, cobre, ferro ligas, carvão, fosfatos, potássio, cobalto e metais do grupo da platina.
<b>Embuchamento</b>	Perfuração em material friável a seco com percussão e baixíssima rotação objetivando ganho em recuperação.
<b>Pescaria</b>	Operação utilizada para resgatar ferramentas e/ou testemunhos que ficaram presos dentro do furo.
<b>Boletim de Sondagem</b>	Formulário de preenchimento por turno de trabalho que contempla os dados referentes ao furo e a operação de sondagem.
<b>Desvio de furo de sondagem</b>	Diferença espacial entre a trajetória do furo executado em relação ao furo programado.
<b>DIP</b>	Ângulo de mergulho do furo de sondagem referenciado ao plano horizontal.
<b>Manobra</b>	Operação de sondagem referente a um intervalo contínuo de perfuração e ao transporte do testemunho para a superfície.
<b>Perfilagem Geofísica</b>	Medidas realizadas no interior do furo com equipamentos geofísicos.

<b>Lama</b>	Fluido de perfuração.
<b>Revestimento</b>	Tubos de aço instalados no interior do furo, com diâmetro maior que as hastes, com objetivo principal de evitar o fechamento do mesmo.
<b>Alvo</b>	Região da mina ou área de pesquisa onde será realizada a perfuração.
<b>Amarração</b>	Georreferenciamento do furo de sondagem.
<b>Recuperação</b>	Metragem de testemunho que é armazenado dentro do barrilete. Em percentual é a razão entre a metragem armazenada e a perfurada (avanço).
<b>Destrancamento</b>	Operação realizada para soltar ferramentas aprisionadas no furo.
<b>Caimento</b>	Fragmentos rochosos que desprendem da parede do furo alojando-se no fundo do mesmo.
<b>Roletado</b>	Fragmento compacto que toma forma arredondada após ser girado solto do fundo do furo pela coroa.

## SUMARIO

<b>1 – INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 - APRESENTAÇÃO.....	1
1.2 - JUSTIFICATIVA E OBJETIVO PARA O PROJETO .....	2
1.3 – LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO.....	3
1.4 – A MINA DE ALEGRIA.....	3
<b>2 - METODOLOGIA .....</b>	<b>5</b>
2.1 – PRIMEIRA ETAPA:.....	5
2.2 - SEGUNDA ETAPA: .....	6
2.3 – TERCEIRA ETAPA: .....	6
2.4 - QUARTA ETAPA:.....	7
<b>3 – GEOLOGIA .....</b>	<b>9</b>
3.1 – GEOLOGIA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO .....	9
3.2 - GEOLOGIA LOCAL .....	12
<b>4 – SONDAGEM .....</b>	<b>26</b>
4.1 - INTRODUÇÃO.....	26
4.2 - MÉTODOS DE SONDAGEM .....	27
4.3 - SONDAGEM ROTATIVA DIAMANTADA .....	28
4.4 - PROGRAMAÇÃO DE SONDAGEM.....	29
4.5 - PARÂMETROS OPERACIONAIS .....	30
4.6 - TIPOS DE COROAS .....	33
4.7 - ACONDICIONAMENTO DOS TESTEMUNHOS .....	37
4.8 - ARQUIVAMENTO DOS TESTEMUNHOS.....	38
<b>5 – DESCRIÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA .....</b>	<b>40</b>
5.1 - DESCRIÇÃO GEOLÓGICA .....	40
5.2 - DESCRIÇÃO GEOTÉCNICA .....	41
<b>6 – PERFILAGEM GEOFÍSICA .....</b>	<b>43</b>
6.1 - INTRODUÇÃO.....	43
6.2 - AQUISIÇÃO DOS DADOS GEOFÍSICOS .....	45
6.3 - GAMA GAMA .....	47
6.4 - GAMA NATURAL .....	48
6.5 - CALIPER .....	49

<b>7 – DADOS UTILIZADOS NA PARAMETRIZAÇÃO.....</b>	<b>50</b>
7.1 – DADOS DE AMARRAÇÃO DA PERFURAÇÃO .....	50
7.2 – EQUIPAMENTOS E FERRAMENTAL .....	50
7.3 – FLUIDO DE PERFURAÇÃO.....	51
7.4 – PRODUTIVIDADE.....	52
7.5 – DISPONIBILIDADE .....	53
7.6 – O SISTEMA EDR (ELECTRONIC DRILLING RECORDER).....	54
7.6.1 - FUNÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA.....	55
7.6.2 – SENSORES.....	58
7.7 – LITOLOGIA E GEOMECÂNICA.....	61
7.8 – PERFILAGEM GEOFÍSICA.....	63
7.9 – DESVIO DO FURO.....	72
7.10 – CORRELAÇÃO DOS DADOS .....	75
7.10.1 – CORRELAÇÃO “A” .....	75
7.10.2 – CORRELAÇÃO “B” .....	76
7.10.3 – CORRELAÇÃO “C” .....	79
7.10.4 – CORRELAÇÃO “D” .....	80
7.10.5 – CORRELAÇÃO “E” .....	83
7.10.6 – CORRELAÇÃO “F” .....	86
7.10.7 – CORRELAÇÃO “G” .....	89
7.10.8 – CORRELAÇÃO “H” .....	93
7.10.9 – CORRELAÇÃO “I” .....	94
<b>8 – ECONOMIA.....</b>	<b>97</b>
8.1 – VIABILIDADE ECONÔMICA.....	97
8.2 – ASSOCIAÇÃO DO EDR COM SISTEMA DE SEGURANÇA .....	100
<b>9 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>102</b>
9.1 – CONCLUSÕES .....	102
9.2 - RECOMENDAÇÕES.....	103
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>I</b>
<b>ANEXO I. BOLETIM DE SONDAAGEM .....</b>	<b>I</b>
<b>ANEXO II. LOG GERADO PELO SISTEMA EDR .....</b>	<b>II</b>
<b>ANEXO III. LOG DA PERFILAGEM GEOFÍSICA .....</b>	<b>III</b>
<b>ANEXO IV. DESCRIÇÃO GEOLÓGICA.....</b>	<b>IV</b>

<b>ANEXO V. DESCRIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA.....</b>	<b>V</b>
<b>ANEXO VI. MEDIDAS DE DESVIO.....</b>	<b>VI</b>
<b>ANEXO VII. FOTOGRAFIA DOS INTERVALOS DESCRITOS .....</b>	<b>VII</b>

## 1 – INTRODUÇÃO

### 1.1 - APRESENTAÇÃO

Considera-se que existe, em termos gerais, grande perda de eficiência nas operações da sondagem rotativa diamantada testemunhada, causada principalmente pela ausência ou controle ineficaz dos parâmetros operacionais de perfuração. Estes parâmetros têm importância fundamental nos resultados obtidos na perfuração, permitindo ganhos de produção, aumento na recuperação de testemunhos, evita o trancamento de furo e perda de ferramental, reduz o desgaste de hastes e barriletes, diminui o consumo de coroas diamantadas por queima e polimento, auxilia no controle do fluido de perfuração, entre outros.

A busca pelo controle eficaz destes parâmetros conduzirá, num futuro breve, na automatização da sondagem através da instalação de sensores, monitorada à distância por transmissão *online*, assim como já é feito há bastante tempo na indústria do petróleo, com o objetivo de obter informações de forma rápida, segura e com qualidade. Este monitoramento permitirá retornar para o sondador, em tempo real, informações sobre o desempenho da operação, propiciando ajustes que poderão resultar em ganhos de produtividade e economia.

O sistema utilizado neste estudo foi o EDR (*Electronic Drilling Recorder*) (Figura 1.1) disponibilizado pela empresa Pason, instalado em sonda CS14 da empresa Geosol. Os dados gravados foram correlacionados com os demais dados obtidos, da perfilagem geofísica, descrição geológico-geotécnica e boletim de sondagem.





**Figura 1.1** - Sistema EDR instalado em Sonda CS14. (Fonte: PASON – EDR – o autor)

## **1.2 - JUSTIFICATIVA E OBJETIVO PARA O PROJETO**

Este projeto busca ganhos em produtividade, economia e segurança nas operações de sondagem rotativa diamantada.

O objetivo é mostrar que uma perfuração com parâmetros monitorados apresenta resultados melhores que uma perfuração não controlada.

Visa elaborar e implantar procedimentos na operação e na gestão da sondagem rotativa diamantada para subsidiar operadores, fiscais de sondagem, geólogos e geotécnicos na tomada de decisões, antes e durante a operação de sondagem.

A correlação entre furos programados em ambientes geológicos similares a furos já executados (furos de correlação) permite que os profissionais envolvidos possam identificar, através da perfilagem geofísica, dos perfis geológicos e das propriedades geomecânicas, os limites aceitáveis para os parâmetros operacionais, bem como ferramental e fluído de perfuração mais indicados para o furo.

### 1.3 – LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A mina de Alegria da Vale, onde a perfuração objeto deste estudo foi realizada, está localizada na borda leste do Quadrilátero Ferrífero, porção central do estado de Minas Gerais, no município de Mariana, próxima ao distrito de Santa Rita Durão, a cidade de Catas Altas e ao distrito de Antônio Pereira pertencente à cidade de Ouro Preto, a sul da serra da Caraça. A principal via de acesso à área é a MG 129, que une Mariana à Santa Bárbara (Figura 1.2). Fica a aproximadamente 120 quilômetros a sudeste de Belo Horizonte, cujo acesso pode ser realizado pelas rodovias BR-040 e rodovia dos Inconfidentes (BR-356).



**Figura 1.2** - Mapa de localização com as vias de acesso à área estudada (Fonte: acervo Vale – modificado pelo autor)

### 1.4 – A MINA DE ALEGRIA

Esta mina pertence a Vale e está inserida no Complexo Minerador de Mariana. Este Complexo é formado pelas minas de Alegria (Figura 1.3) e Fábrica Nova, no município

de Mariana, pela mina de Timbopeba, no município de Ouro Preto e também pela mina de Fazendão, localizado no município de Catas Altas.

Os principais minérios de Alegria estão inseridos na Formação Cauê e são representados por minérios de ferro de caráter estrutural e supergênico, com itabiritos e corpos de hematítos de variadas dimensões e geometrias. Esta mina apresenta uma complexa estruturação geológica em função da superposição de vários eventos tectônicos.



Nº do Arquivo: 051614\_0434 - Mai/2014 - Lat: 20°8'50" S - Long: 43°28'50" W - Datum SAD\_69  
Foto: Marcelo Rosa - (31) 9957 0027 - 3297 0582



**Figura 1.3** - Vista para sul da cava da mina de Alegria (Fonte: Acervo Vale/Marcelo Rosa).



### 2 - METODOLOGIA

Este estudo foi conduzido em quatro etapas, sendo:

#### 2.1 – PRIMEIRA ETAPA:

Levantamento dos dados de programação do furo, tais como, coordenadas da boca, profundidade e inclinação, boletim de sondagem, coleta dos dados dos parâmetros operacionais através do sistema EDR, do ferramental e do fluido de perfuração utilizados (Figura 2.1).



**Figura 2.1** – Equipe (UFOP, VALE e PASON) durante a coleta de dados na operação de sondagem (Fonte: o autor).

## 2.2 - SEGUNDA ETAPA:

Coleta dos dados da perfilagem geofísica (Figura 2.2) gama natural, gama gama, temperatura e caliper para obtenção do perfil de densidade e análise da rugosidade da parede do furo.



**Figura 2.2** – Perfilagem geofísica em furo de sondagem rotativa (Fonte: acervo Vale / Klayton Ferreira)

## 2.3 – TERCEIRA ETAPA:

Esta etapa consistiu na coleta dos dados da descrição geológica e geotécnica dos testemunhos de sondagem (Figura 2.3) para observação dos aspectos a seguir:

Descrição Geológica: litotipos, contatos litológicos, compactidade, hidratação, cor, bandamento e granulometria.

Descrição Geotécnica: *rank*, classe, litotipo, consistência, alteração, fraturamento, descontinuidade, rugosidade e RQD.



**Figura 2.3** – Descrição de testemunhos de sondagem (Fonte: o autor)

#### **2.4 - QUARTA ETAPA:**

Esta etapa destinou-se ao estudo comparativo, ou seja, às correlações (Figura 2.4) entre os dados dos parâmetros operacionais com os perfis geofísico, geológico e geotécnico e boletim de sondagem em intervalos de mesma profundidade e tempo.

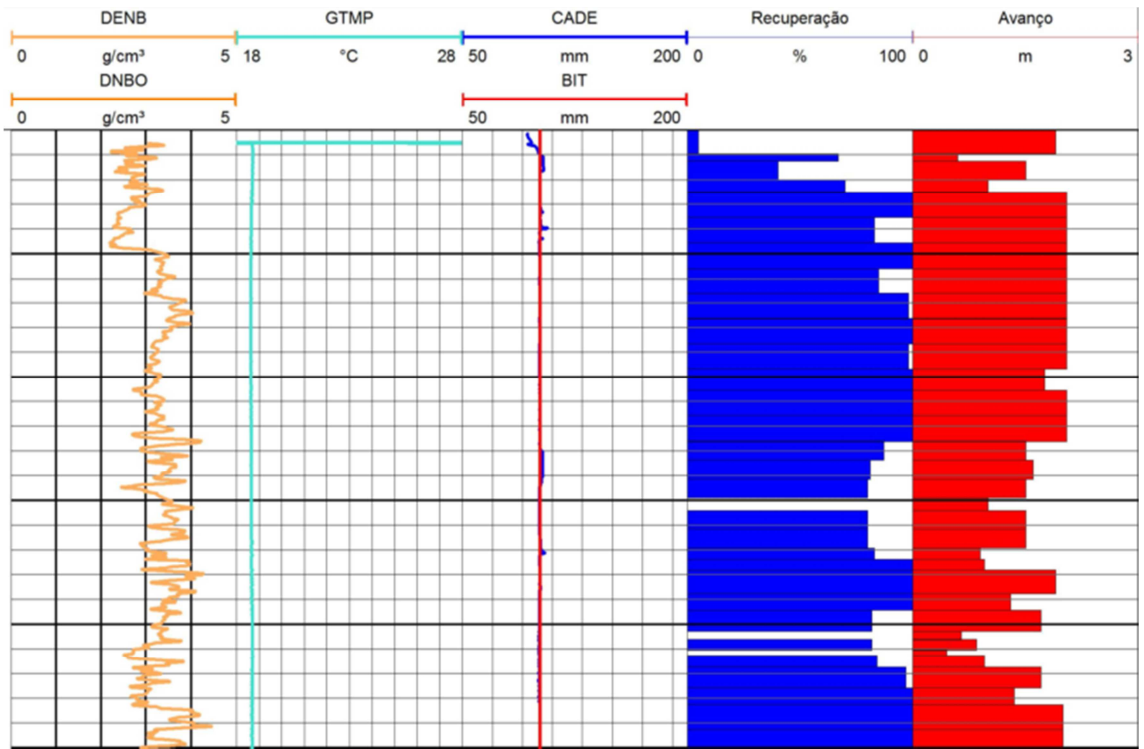


Figura 2.4 – Exemplo de correlação de dados (Fonte: o autor)

### 3 – GEOLOGIA

#### 3.1 – GEOLOGIA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

O Quadrilátero Ferrífero se estende por uma área aproximada de 7.000 km<sup>2</sup>, na porção central do Estado de Minas Gerais, e representa uma região geologicamente importante do Pré-Cambriano brasileiro, devido a suas riquezas minerais, principalmente ouro, ferro e manganês.

Desde os estudos pioneiros de Eschwege (1822, 1832, 1833), Gorceix (1881, 1884) e Derby (1881, 1906), o Quadrilátero Ferrífero tem sido alvo de estudos geológicos de diversos tipos. Na primeira metade do século XX, surgiu uma série de publicações que, entre outras contribuições, terminou por estabelecer uma primeira coluna estratigráfica para a região, sendo que considerável avanço para o conhecimento geológico da região foi atingido durante as atividades do convênio USGS-DNPM, nas décadas de 50 e 60. Este trabalho permitiu a cartografia da região na escala 1:25.000 e levou à consolidação de um modelo da evolução geológica, compilado por Dorr (1969), e que serve de ponto de partida para todos os estudos posteriores.

Segundo Dorr (1959), o Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais foi assim denominado por Gonzaga de Campos, devido aos vastos depósitos de minério de Ferro que ocorrem numa área limitada aproximadamente pelas linhas que ligam Itabira, Rio Piracicaba, Mariana, Congonhas do Campo, Casa Branca e Itaúna. Constituí uma das áreas clássicas da Geologia Pré-Cambriana do mundo.

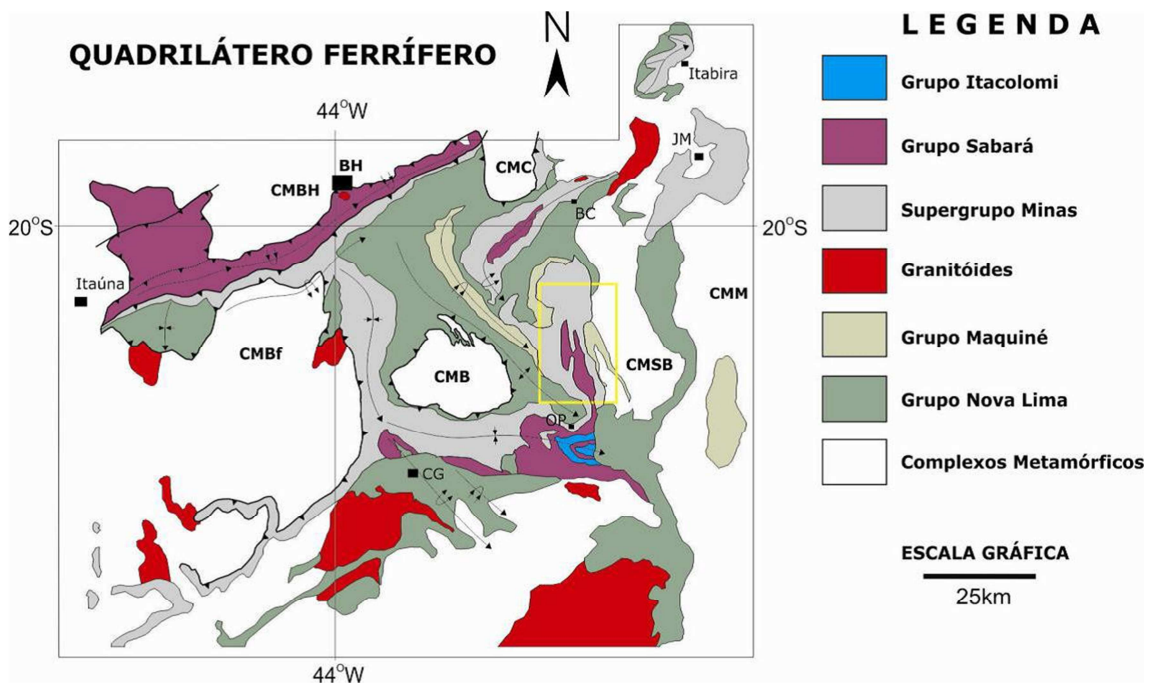
A geologia do Quadrilátero Ferrífero (Figura 3.1) é bastante complexa. Há no mínimo três séries de rochas sedimentares separadas por discordâncias principais. As rochas da área encontram-se dobradas, falhadas e foram metamorfasadas em graus variados (Dorr 1959).



Do ponto de vista geotectônico, o Quadrilátero Ferrífero está inserido na Província São Francisco, situando-se no extremo sul da área ocupada pelo Cráton de mesmo nome (Almeida 1977, Almeida & Hassuy 1984) e corresponde a um fragmento crustal poupado, em parte, da Orogênese Brasileira.

O Cráton do São Francisco é, em grande parte, resultado do retrabalhamento, em eventos posteriores de um maior e mais antigo núcleo estável, denominado Cráton Paramirim, de idade pré-transamazônica (Almeida 1981). Durante o Evento Brasileiro (640-450 ma), foram geradas faixas de dobramentos que hoje margeiam e definem a forma do Cráton do São Francisco.

As unidades litoestratigráficas (Tabela 3.1) que compõem o Quadrilátero Ferrífero são: o Embasamento Cristalino (Complexos Metamórficos), o Supergrupo Rio das Velhas, o Supergrupo Minas e o Grupo Itacolomi. Localmente são observadas bacias terciárias como Fonseca e Gandarela.



**Figura 3.1** - Mapa Geológico Simplificado do Quadrilátero Ferrífero (modificado de Dorr 1969, Endo et al. 2005). Complexo Metamórficos do Bação (CMB), Bonfim (CMBf), Belo Horizonte (CMBH), Caeté (CMC), Santa Bárbara (CMSB), Mantiqueira (CMM), João Monlevade (JM), Barão de Cocais (BC), Ouro Preto (OP), Belo Horizonte (BH), Congonhas (CG).

**Tabela 3.1** - Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero [modificado de Dorr (1969), Schorsch (1978), Ladeira (1980), Renger et al. (1994)].

<i>Idade</i>	<i>Supergrupo</i>	<i>Grupo</i>	<i>Formação</i>	<i>Litologia</i>	
				Sedimentos cenozóicos Discordância angular	
<b>Paleo-proterozóico</b>		Itacolomi	Indiviso	Ortoquartzitos, quartzitos (matriz ferruginosa), filitos quartzosos, filitos e conglomerados com seixos de itabirito Discordância erosiva	
		Sabará	Indiviso	Clorita-xistos, grauvacas, metatufos, conglomerados, quartzitos, diamictitos, turbiditos e itabiritos	
	<b>Supergrupo Minas</b>	<b>Piracicaba</b>	Barreiro		Filitos e filitos grafitosos
			Taboões		Ortoquartzitos
			Fecho do Funil		Filitos, filito dolomítico e dolomitos silicoso
			Cercadinho		Quartzito ferruginoso, quartzitos, filitos ferruginosos e dolomitos
		<b>Itabira</b>	Gandarela		Dolomitos, filitos dolomíticos e calcário
			Cauê		Itabiritos, itabirito dolomítico, hematita, lentes de xistos e filitos
		<b>Caraça</b>	Batatal		Filitos e filitos grafitosos
			Moeda		Metaconglomerados, quartzito sericítico e filitos Discordância erosiva e angular
<b>Arqueano</b>	<b>Supergrupo Rio das velhas</b>	Maquiné	Indiviso	Quartzitos, conglomerados, xistos e filitos	
		Nova Lima	Indiviso	Filitos, xistos, formações ferríferas, quartzitos, dolomitos, metacherts, rochas máficas e ultramáficas	
		Quebra Ossos	Indiviso	Komatiitos, formações ferríferas e metacherts	
	<b>Complexos Metamórficos</b>	Indiviso	Indiviso	Gnaisses bandados, gnaisses migmatíticos, augen gnaisses e granitos Discordância erosiva e angular	

### 3.2 - GEOLOGIA LOCAL

A jazida de Alegria faz parte da estrutura tectônica conhecida como “Sinclinal de Alegria” e encontra-se inserida na porção Leste do Quadrilátero Ferrífero, a Sul da Serra do Caraça. É constituída por itabiritos e hematitas pertencentes à Formação Cauê, Grupo Itabira, Supergrupo Minas. Inclui ainda canga, rolado e intrusiva metabásica. Todo o pacote de rochas (Figura 3.2) que compõe essa jazida sofreu processos tectônicos metamórficos e superimposição de processos supergênicos que definiram sua composição/estruturação.

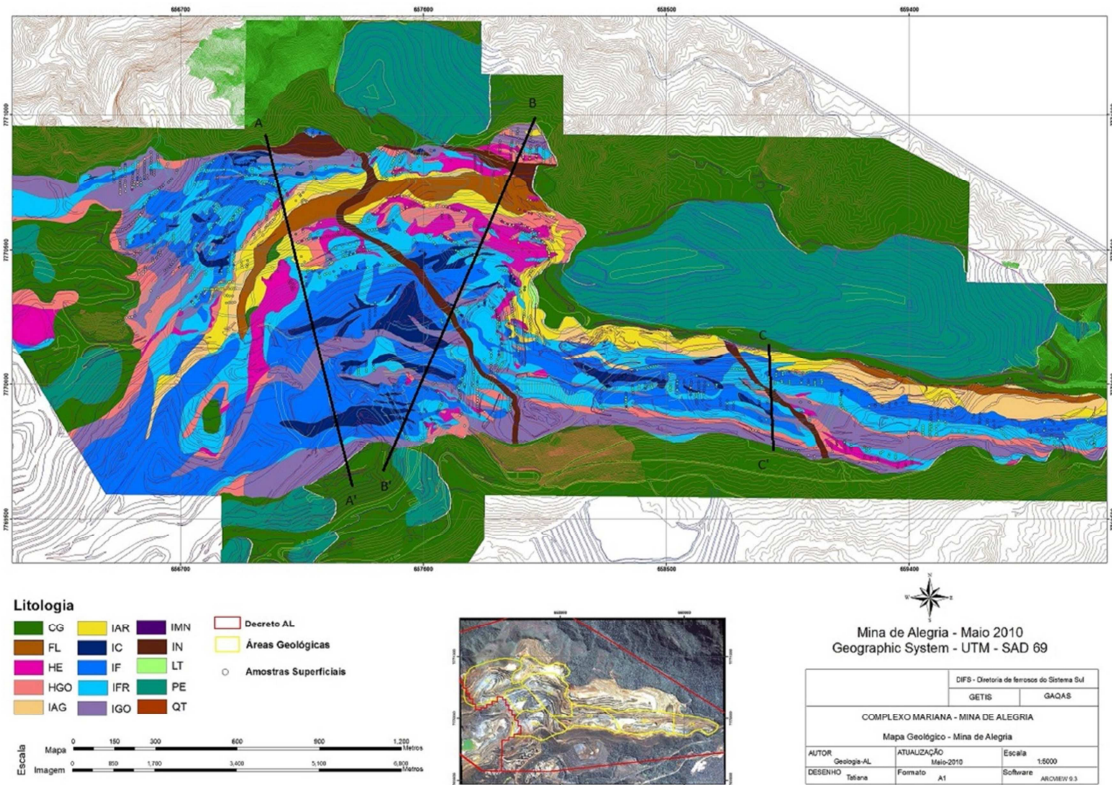
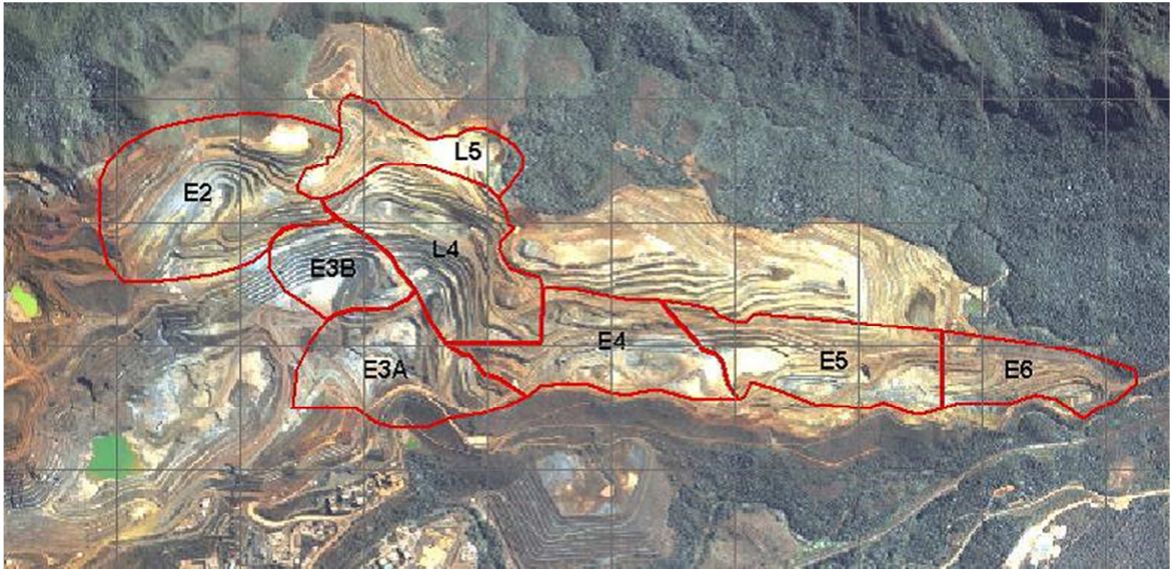


Figura 3.2 - Mapa Geológico da Mina de Alegria (Fonte: acervo Vale)

Para melhor operacionalização a mina de Alegria foi setorizada (Figura 3.3) geologicamente.



**Figura 3.3** - Áreas Geológicas da Mina de Alegria (Fonte: acervo Vale – Litotipos\_Alegria)

A definição da tipologia básica dos minérios de Alegria é feita tomando como base critérios mineralógicos, mineral-minério predominante. Dentro do pacote de rochas da jazida são identificados os seguintes litotipos:

- Hematita (HE)

Minério com teor de ferro global acima de 62%, e níveis baixos de contaminação (P, Al). Ocorre na maioria das vezes de forma friável (Figura 3.4), em média com 20% de material maior que 10 mm, sendo formada principalmente a partir do enriquecimento supergênico dos itabiritos e/ou por fatores estruturais (eixo de dobramentos). São identificadas por lentes descontínuas, principalmente na região do E3, L4 e L5. São formadas ainda, na zona de contato com rochas intrusivas e filitos. A densidade típica desta hematita é de 2.92 g/cm<sup>3</sup>.





**Figura 3.4 - Hematita Friável (Fonte: acervo Vale – Litotipos\_Alegria)**

- Hematita Goethítica (HGO)

Minério hematítico rico em goethita (Figura 3.5), com teor de ferro global geralmente acima de 60% e perda ao fogo (PF) acima de 5%. A fração acima de 10 mm comporta em torno de 28,0% da soma granulométrica. Diferencia-se da HE pela coloração avermelhada devido à hidratação, o que lhe confere alta perda por calor, da ordem de 6.0%. Ocorre normalmente associada com a hematita friável, abaixo da cobertura de canga, ao longo de toda a mina de Alegria. A densidade típica desta hematita goethítica é de 2.64 g/cm<sup>3</sup>.



**Figura 3.5 - Hematita Goethítica** (Fonte: acervo Vale – Litotipos\_Alegria)

- Itabirito Friável Rico (IFR)

O itabirito friável (Figura 3.6) apresenta bandamento e xistosidade bem definidos, composto por intercalações milimétricas de quartzo (sílica branca) e hematita cinza azulada a negra. O teor de ferro global é entre 52% e 63% e os teores dos elementos contaminantes são relativamente baixos. Ocorre logo abaixo da hematita no perfil de enriquecimento supergênico e formando camadas isoladas. O grau de porosidade é alto, sobretudo nos níveis de lâminas areno-quartzosas onde a percolação de fluidos pode conferir níveis de coloração amarela ou avermelhada. O “tingimento” amarelado ocorre principalmente junto aos contatos com os horizontes de itabiritos argiloso e argiloso rico. É um tipo de minério abundante na mina de Alegria estando associado com itabiritos pobres e goethíticos. A densidade típica deste tipo de itabirito friável rico é de 2.54 g/cm<sup>3</sup>.





**Figura 3.6 - Itabirito Friável Rico (Fonte: o autor)**

- Itabirito Friável (IF)

O Itabirito friável (Figura 3.7) possui uma coloração mais esbranquiçada que o itabirito friável rico devido ao maior teor de sílica; fragmenta-se mais facilmente que o IFR. Possui teor de ferro global inferior a 52 %, e baixos teores de contaminantes (P, Al). Atualmente é o minério superficial mais abundante na mina de Alegria e ocorre sempre em contato com o Itabirito Friável Rico. A densidade típica deste tipo de itabirito friável é de 2,48 g/cm<sup>3</sup>.



**Figura 3.7** - Itabirito Friável (Fonte: o autor)

- Itabirito Compacto (IC)

Itabirito semi-compacto a compacto (Figura 3.8), cuja fração  $\geq 10$  mm encontra-se acima de 40% e teor médio de ferro global de 45,0%. Possui bandamento e xistosidade bem definidos, é constituído por bandas de hematita e quartzo, por vezes lâminas contendo anfibólios, este último frequentemente alterado. Possui alto grau de compacidade e ocorre em corpos lenticulares intercalados aos demais tipos de itabirito. A densidade típica deste tipo de itabirito compacto é de 3.06 g/cm<sup>3</sup>.





**Figura 3.8** - Itabirito Compacto (Fonte: acervo Vale – Litotipos\_Alegria)

- Itabirito Goethítico (IGO)

Itabirito hidratado, rico em goethita (Figura 3.9), apresentando teores de ferro global relativamente alto, podendo chegar a 59%. Possui elevados teores de contaminantes, principalmente fósforo (P).

A goethita confere alta perda ao fogo (acima de 5%). Apresenta coloração avermelhada/amarelada, podendo ainda ser identificadas lâminas formadas por pseudomorfos de anfibólio radial ou acicular. Apresenta-se friável a granular, com cerca de 29% da granulometria acima de 10mm. Ocorre segundo uma faixa contínua ao longo do E5, E4 e E3 e descontínua nas demais regiões da mina de Alegria. Possui maior expressão ao norte da região do E2. A densidade típica deste tipo de itabirito goethítico é de 2.23 g/cm<sup>3</sup>.



**Figura 3.9** - Itabirito Goethítico (Fonte: o autor)

- Itabirito Argiloso Rico (IAR)

Este tipo de itabirito (Figura 3.10) apresenta geralmente teor de ferro global acima de 52%, podendo chegar até 60%. Possui coloração ocre e é constituído basicamente por níveis ferruginosos intercalados com bandas argilosas de cor ocre e finas laminações de quartzo (praticamente inexistentes). Apresenta teor médio de FeGL de 58.73%, valores de perda ao fogo em média de 6.0% e presença elevada de contaminantes (P e Al). A alumina é geralmente acima de 2,0%. Geralmente este tipo é formado na zona de contato entre o filito e a formação ferrífera, possuindo faixas granulométricas distintas; por vezes sendo aproveitado como minério quando a fração acima de 10mm for superior a 30% e FeGL acima de 61%. A densidade típica deste tipo de itabirito argiloso rico é de 2.41 g/cm<sup>3</sup>.





**Figura 3.10** - Itabirito Argiloso Rico (Fonte: acervo Vale – Litotipos\_Alegria)

- Itabirito Argiloso (IAG)

Itabirito de baixo teor de Fe (Figura 3.11). Possui teores médios de ferro global em torno de 42% e granulometria fina. O itabirito argiloso é semelhante ao IAR, porém ocorrem bandas de sílica amarelada em maior proporção do que as bandas argilosas, geralmente mais delgadas. Possui coloração ocre a acinzentada. Ocorre em maior proporção na porção leste da mina ao longo dos corpos E4, E5 e E6, sempre em contato com o itabirito argiloso rico. A densidade típica deste tipo de itabirito argiloso é de 2,17 g/cm<sup>3</sup>.



**Figura 3.11 - Itabirito Argiloso** (Fonte: acervo Vale – Litotipos\_Alegria)

- Itabirito Manganésífero (IMN)

Itabirito com teor de manganês (Figura 3.12) superior a 1%, constituído principalmente por bandas ricas de hematita contendo minerais óxidos e/ou hidróxidos de manganês, intercaladas com bandas de quartzo. Geralmente a coloração é negra e aderente à pele pelo toque dos dedos. O teor médio de ferro global é de 47.26% e 1.70% de Mn. A densidade típica deste tipo de itabirito manganésífero é de 2,17 g/cm<sup>3</sup>.



**Figura 3.12 - Itabirito Manganésífero** (Fonte: acervo Vale – Litotipos\_Alegria)



- Canga (CG)

Rocha de natureza detrítica (Figura 3.13), gerada pela lixiviação da sílica e concentração do ferro na camada de formação ferrífera localizada na porção superficial do terreno. Possui espessura pouco significativa, geralmente inferiores a 10 m. O teor médio de FeGL é de 62% e possui altos teores de P e Al. A perda ao fogo é da ordem de 5% . Ocorre ao redor da mina de Alegria recobrendo toda a formação ferrífera. A densidade típica deste tipo de canga é de 3,09 g/cm<sup>3</sup>.



**Figura 3.13** – Canga (Fonte: acervo Vale – Litotipos\_Alegria)

- Intrusiva

Rocha intrusiva básica (Figura 3.14), de protólito anfíbolítico, contendo minerais acessórios de turmalina, rutilo, moscovita/sericita e raro quartzo. Dispõem-se preferencialmente em diques e apófises discretas cortando a formação ferrífera. Mostra-se sempre alterada e apresenta uma coloração vermelha a amarelada. Na mina, existem duas ocorrências mais significativas da rocha intrusiva que marcam os limites entre as regiões do E4 e E5 e região do E3 e L4. A densidade típica deste tipo de intrusiva é de 1,91 g/cm<sup>3</sup>.



**Figura 3.14** – Intrusiva (Fonte: acervo Vale – Litotipos\_Alegria)

- Filito (FL)

A camada de filito (Figura 3.15) é representada pela Formação Batatal. Possui aspecto multicolorido, variando de tonalidades cinza prateado na base para bege a avermelhado no topo. Em melhores exposições, apresenta-se como o típico filito batatal, apresentando sericita, quartzo e finíssimas palhetas de hematita ou grafita, com coloração cinza clara. Às vezes bandado, mostra alternância de lâminas mais claras e ricas em sericita com níveis cinza, mais ricos em hematita, carbonatos ou grafita. Os filitos estão localizados junto a zonas de falhamentos, posicionados por cavalgamentos sobre itabiritos ocre. Ocorrem a norte da área do L4, onde se estende para SW, passando pela área do E2 até desaparecer sob a canga (porção oeste da mina) e norte das áreas do E5 e E6, na porção leste da mina. A densidade típica deste tipo de filito é de 1,86 g/cm<sup>3</sup>.





**Figura 3.15** – Filito (Fonte: acervo Vale – Litotipos\_Alegria)

- Laterita (LT)

A laterita (Figura 3.16) é constituída por material argiloso, subordinadamente ferruginoso, com coloração variando de amarela a avermelhada gerada por sedimentação pelágica. Localmente ocorrem blocos de formação ferrífera caracterizados por um rolado argiloso, provavelmente resultante da sedimentação primária da bacia - *debris flow*. Ocorre nas regiões do L4 e L5. A densidade típica deste tipo de laterita é de 2.08 g/cm<sup>3</sup>.



**Figura 3.16** – Laterita (Fonte: o autor)



### 4 – SONDAGEM

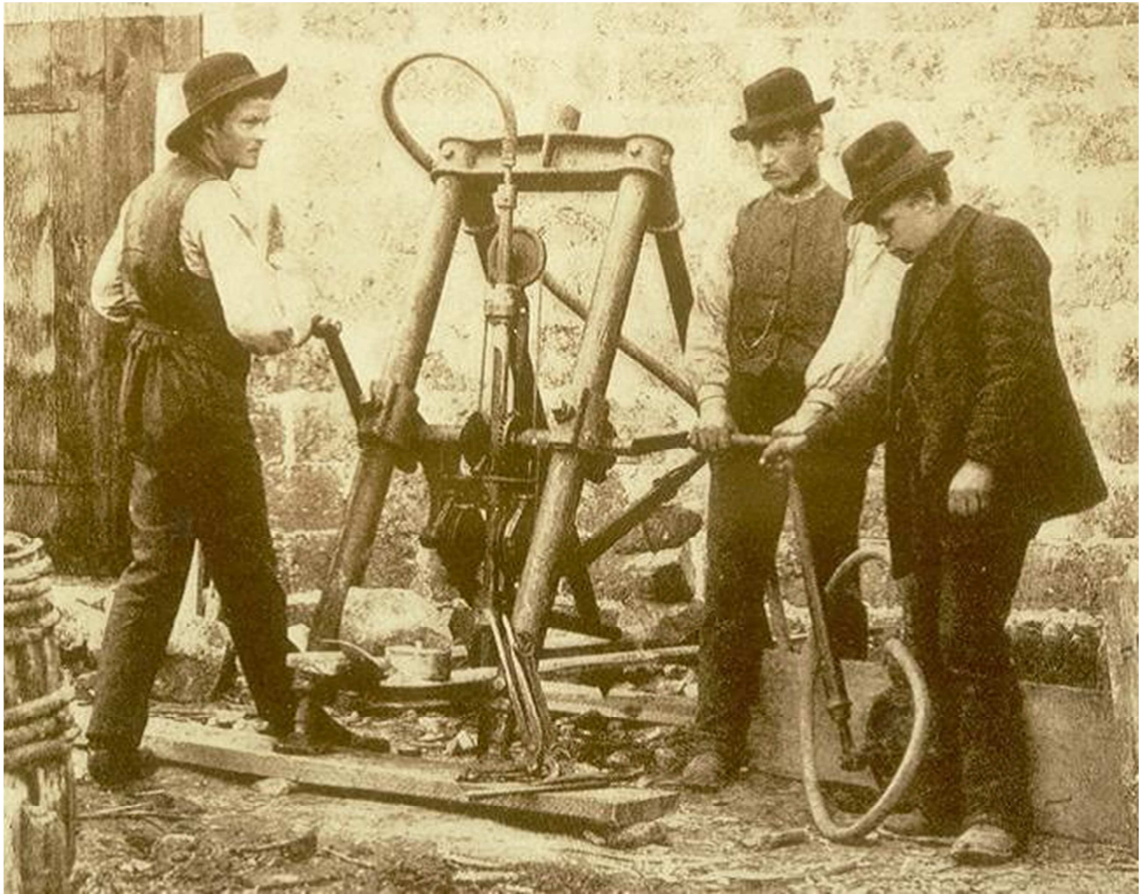
#### 4.1 - INTRODUÇÃO

A sondagem (Figura 4.1) é considerada o principal método de prospecção mineral, por propiciar o contato direto com a rocha que se encontra em profundidade, permitindo a análise granulo-química do corpo pesquisado, sendo que, com a utilização de outros métodos, a obtenção dos dados só é possível de forma indireta ou inferida. Seus objetivos podem ser geológicos e/ou geotécnicos.

Os furos podem ser rasos, não chegando a 50 metros, ou profundos, superando 1.000 metros de extensão. Para investigação de ocorrências de minério de ferro, a maioria deles está em torno de 200 metros de profundidade. Eles podem ser verticais, inclinados ou ascendentes, dependendo do objetivo a ser atingido.

A escolha do tipo de sistema de perfuração a ser utilizado, será determinada pelo tipo do equipamento, diâmetro e profundidade dos furos, como também das condições das formações geológicas.

O processo de sondagem envolve vários profissionais, sendo que o sondador é o profissional de maior conhecimento prático nesta atividade. Além dele, geólogos, geotécnicos, geofísicos, fiscais de sondagem, auxiliares de sondagem e outros fazem parte deste processo que contempla desde a programação da malha a ser sondada até o modelamento geológico e cálculo das reservas de minério.



**Figura 4.1** – Fotografia da primeira sonda de testemunhos, construída em Norberg, Suécia, em 1886.  
(Fonte: Curso de Procedimentos de Sondagem, Equipamentos e Ferramentas – Almeida, N.D, 2013)

## 4.2 - MÉTODOS DE SONDAGEM

Existem quatro métodos de sondagem:

- A Percussão
- A Trado
- RC – Circulação reversa
- Rotativa a Diamante

Para este estudo utilizamos apenas a rotativa diamantada que é o método mais amplamente utilizado pela Vale, seguido da circulação reversa.

### 4.3 - SONDAGEM ROTATIVA DIAMANTADA

A sondagem rotativa a diamante é o método mais utilizado na exploração mineral para a definição de jazidas e desenvolvimento de lavra, com diâmetros que variam de 48 a 122mm podendo chegar a 165mm.

São obtidas amostras (testemunhos) (Figura 4.2) desde a superfície até grandes profundidades, que retratam fielmente as características físicas, químicas e geológicas das rochas atravessadas.

Conforme o avanço na perfuração com coroas diamantadas, são efetuadas as recuperações da rocha atravessada, armazenadas cilíndricamente dentro da camisa interna do barrilete.

Os equipamentos de perfuração são montados sobre plataformas ou caminhões.

A operação consiste basicamente na realização de manobras consecutivas (rotação + avanço + fluido de perfuração), isto é, a sonda imprime à haste os movimentos rotativos e de avanço na direção do furo e estas os transferem ao barrilete provido da coroa, e o fluido faz a limpeza e a refrigeração.



**Figura 4.2** - Testemunho de Sondagem Rotativa diamantada (o autor).

#### 4.4 - PROGRAMAÇÃO DE SONDAGEM

A programação de sondagem (Figura 4.3) é realizada pelos geólogos da exploração, longo, médio e curto prazos, geotecnia e hidrogeologia. É fornecida através de mapas com representação da malha de sondagem em planta, acompanhado de planilha contendo as seguintes informações:

- Coordenadas da boca do furo;
- Profundidade;
- Inclinação (DIP).



**Figura 4.3** - Programação de Sondagem destacando o furo em estudo, ALG-FD00134 (fonte: acervo VALE – modificado pelo autor).



## 4.5 - PARÂMETROS OPERACIONAIS

- RPM (Rotações Por Minuto):

As RPMs são dadas num intervalo bem amplo assim, escolhido um número dentro deste, os ajustes serão feitos de acordo com a taxa de avanço.

Como regra geral, as coroas impregnadas necessitam de velocidades de rotação mais elevadas para atingir índices de penetração aceitáveis em circunstâncias normais de perfuração. Esta velocidade de rotação tem a finalidade de manter os diamantes afiados e manter sua exposição com o desgaste e liberar os desgastados naturalmente da matriz que o sustenta.

Uma RPM excessiva, sem correspondente taxa de penetração, pode resultar num polimento da coroa, afetando negativamente a economia de toda a operação de sondagem.

- PRESSÃO:

É o peso ou a força aplicada em cima da coroa, sempre dentro de uma variação de peso. O peso aplicado na coroa depende da dureza da rocha, e de sua formação, do tipo da matriz da coroa, da RPM, da taxa de avanço e do fluxo de água.

Baixa pressão de avanço poderá resultar no impedimento da coroa se auto afiar, fazendo com que os diamantes fiquem polidos.

Pressão excessiva poderá resultar em:

- Desgaste prematuro das coroas impregnadas. Descalibre do diâmetro interno é a maior causa.
- Desvio do furo
- Danos ao barrilete e às hastes

- TAXA DE AVANÇO (ROP):

É o resultado de uma combinação, de RPMs, pressão e fluido e das características da formação rochosa.

- FLUIDOS DE PERFURAÇÃO (Lama):

A utilização de fluidos na perfuração rotativa a diamante é extremamente necessário pelos seguintes motivos:

- Suspender, transportar e descarregar os fragmentos da rocha até a superfície.
- Controlar as pressões de formação.
- Vedar as formações permeáveis.
- Estabilizar a formação perfurada.
- Resfriar e lubrificar a broca e a coluna de perfuração.
- Suportar parte do peso da coluna de perfuração.
- Para monitorar o comportamento da perfuração e da formação que está sendo perfurada, com as seguintes informações para o operador:
  - A perda de retorno fluido.
  - O aumento ou diminuição da pressão do sistema.
  - Vibração. Sempre que possível, o uso de polímeros viscosos e lubrificantes são recomendados para melhorar o desempenho da coroa. Com a utilização de aditivos em circulação no fluido, estes materiais tendem a reduzir o torque da haste e vibração em furos mais profundos.

Normalmente, o fluido circulante é bombeado desde a superfície através da coluna de perfuração, entre os tubos interno e externo do barrilete, passando pela face da coroa e depois retorna à superfície através do espaço anular entre a coluna de perfuração e a parede do furo. A regra básica é que a velocidade ascendente do fluido circulante deve ser maior que a velocidade de precipitação dos fragmentos maiores transportados pelo fluido.

Como as condições variam consideravelmente de uma operação de perfuração para outra, é difícil definir parâmetros absolutos para furos em termos de circulação de fluidos. Algumas experiências no local podem ser necessárias. Enquanto a hidráulica da coroa é controlada até certo ponto, a regulagem da bomba, a viscosidade do fluido e a quantidade real de circulação do líquido que se aplica, são em grande parte determinado pela configuração da face da coroa, bem como pelo diâmetro anular.

- VELOCIDADE ANULAR:

É definida como a taxa na qual o fluido circulante e os fragmentos são retornados para a superfície através do espaço anular entre a parede do furo e a coluna de perfuração.

Velocidade anular excessiva pode causar erosão hidráulica da parede do furo em formações moles, e contrapressão em formações compactas, enquanto a velocidade anular insuficiente fará com que os fragmentos permaneçam em suspensão, e resultará em hastes presas, desgaste de equipamentos e baixas taxas de penetração. Como uma alternativa para maior velocidade anular, o operador da sonda pode aumentar a viscosidade do fluido circulante para uma limpeza mais eficaz.

Grande parte dos parâmetros operacionais pode ser monitorada através do painel de controle (Figura 4.4) através de manômetros, válvulas e alavancas.



Figura 4.4 - Painel de Controle da Sonda Hidráulica CS14 (Fonte: o autor).

#### 4.6 - TIPOS DE COROAS

De um modo geral é a ferramenta de maior custo e de maior importância utilizada para cortar a rocha. As coroas (Figura 4.5) são compostas de uma carcaça de aço que é fundida com material cortante. As coroas são classificadas da seguinte forma:

- Coroas cravadas
- Coroas impregnadas
- Coroas poli-cristalinas (PDC)
- Coroas de carbeto de tungstênio



**Figura 4.5** - Modelos de coroas diamantadas (Fonte: Curso de Procedimentos de Sondagem, Equipamentos e Ferramentas – Almeida, N.D, 2012)

Neste estudo vamos nos ater apenas às coroas cravadas e impregnadas.

- Coroa cravada:

Como indica o nome, são aquelas onde os diamantes são cravados em sua superfície. O tamanho dos diamantes e as quantidades é que vão definir para qual tipo de rocha é mais apropriada.



O tamanho do diamante cravado se expressa na quantidade de pedras que se requer na coroa, geralmente o tamanho da pedra varia de 8 a 125 PPQ (pedras por quilate). Um quilate corresponde a 0,2 gramas.

A quantidade de pedras que será cravada na face da coroa obedece à seguinte regra: quanto mais competente (dura) for a formação rochosa, menores serão os tamanhos dos diamantes e maior a quantidade.

- Coroa impregnada:

Ao contrário das coroas cravadas, as coroas impregnadas ao longo dos anos passaram por grandes mudanças e sofisticação, mesmo com todo avanço tecnológico, a sua confecção continua artesanal.

A função da matriz da coroa cravada é de sustentar os diamantes sem que ela se desgaste, já as coroas impregnadas, tem uma função muito mais complexa, a matrix tem que sustentar os diamantes sintéticos e se desgastar expondo os diamantes para cortar a rocha. Seu desgaste deve ser uniforme e gradual para que os diamantes possam completar sua função de corte até o final de sua vida útil. A escolha do tipo da série da matriz com a correspondente situação geológica tem que ser bem balanceada.

Em geral as séries utilizadas em rochas muito duras e competentes, comparadas com aquelas utilizadas em rochas macias e ou fraturadas, são opostas em termo de grau de dureza da matriz.

Características a serem observadas para seleção das coroas:

- Matriz:

A matriz é constituída por uma mistura de diamantes sintéticos, pó de tungstênio e binder. Cada série tem uma resistência diferente à dureza e à abrasão.

- Calibre:

Refere-se aos diâmetros externo e interno da coroa, que estão em contato direto com a rocha e tem a função de proteger a matriz. Podem ser reforçados, caso seja necessário.

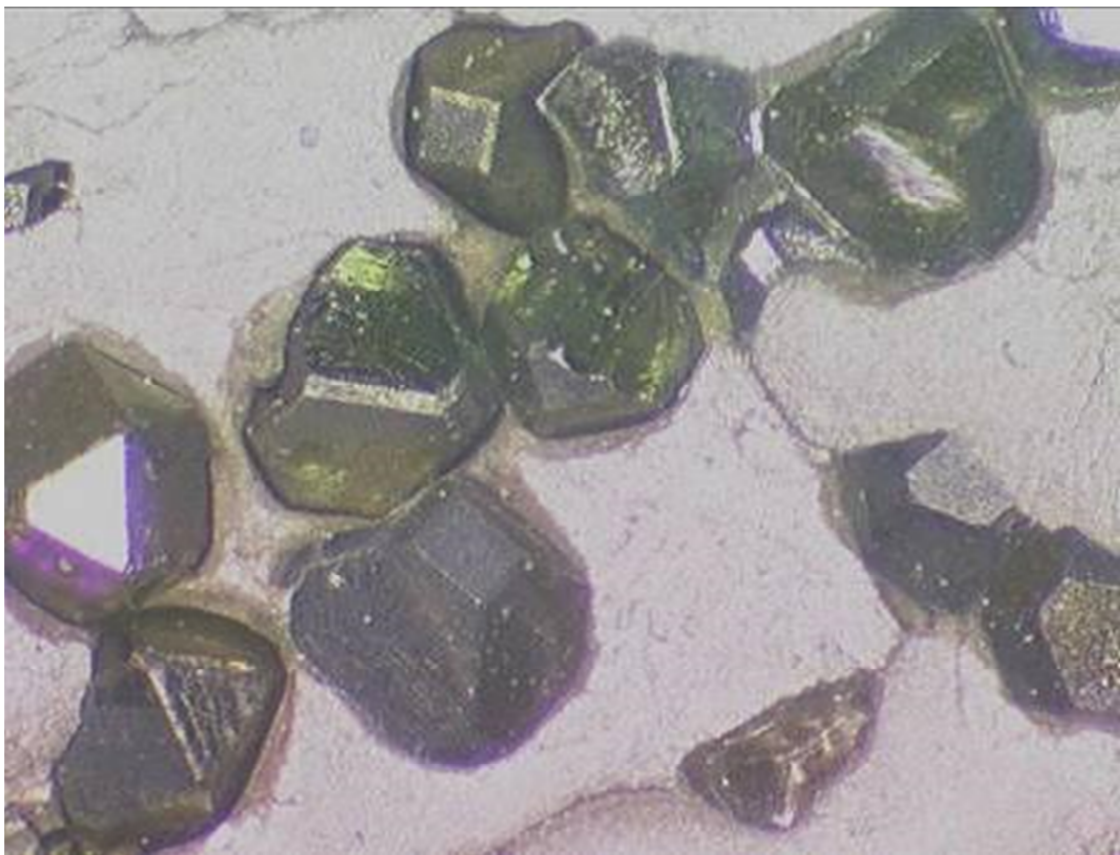
- Saídas de água:

Existem disponíveis várias configurações de saídas de água, as quais dependem da formação da rocha. Geralmente as rochas competentes exigem maior quantidade de saídas de água, e as rochas fraturadas menos saídas de água, porém mais largas.

- Altura da coroa:

Existem boas opções da altura da matriz, ela começa com 10, 12, 13 e 16 e até 25 mm. A altura da matriz da coroa é uma decisão de custo, baseada na profundidade do furo e na taxa de desgaste.

O posicionamento dos diamantes (Figura 4.6) e um desgaste balanceado entre a matriz e os diamantes, dará a certeza de uma boa taxa de avanço e uma boa vida útil da coroa.



**Figura 4.6** - Posicionamento dos diamantes na matriz da coroa (Fonte: Curso de Procedimentos de Sondagem, Equipamentos e Ferramentas – Almeida, N.D, 2013).

Além das características citadas acima, devemos adotar os seguintes procedimentos para escolha da coroa:

- Dureza da rocha:

Classificada em rocha macia, média dura, dura, muito dura e extremamente dura.

- Tamanho do grão:

Classificado em rocha de grão fino, médio e grosso.

- Abrasividade:

Classificada como rocha não abrasiva, ligeiramente abrasiva e muito abrasiva.

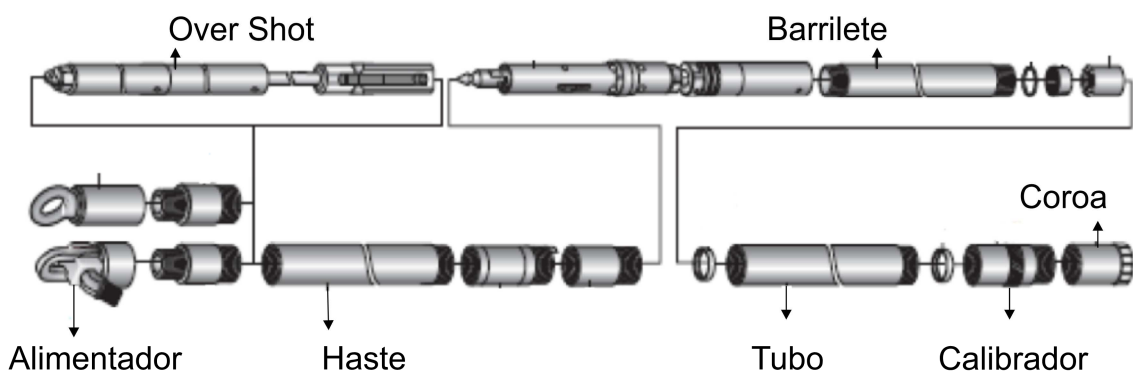
- Resistência:

Classificada como rocha competente, muito competente, fraturada e muito fraturada.

Outros componentes que afetarão também no desempenho da sondagem:

- Calibradores.
- Hastes.
- Barriletes.
- Revestimento.
- Tubos.
- *Overshot*.
- Cabeça içadora de hastes.
- Cabeça d'água

Na figura 4.7 é mostrada a sequência da coluna de perfuração.



Fonte: Adaptado de (SANDVIK WXPLOATION MARKETING, 2013).

**Figura 4.7** – Componentes da coluna de perfuração (Fonte: Curso de Procedimentos de Sondagem, Equipamentos e Ferramentas – Almeida, N.D, 2013).

Além dos componentes citados acima, a organização da praça de sondagem (Figura 4.8) é fundamental não só para o bom desempenho da sondagem como também para os aspectos relacionados à segurança.



**Figura 4.8** - Praça de Sondagem (Fonte: o autor).

#### **4.7 - ACONDICIONAMENTO DOS TESTEMUNHOS**

Os testemunhos de sondagem são acondicionados em caixas de madeira (Figura 4.9), de forma geral, bipartidas em três calhas de um metro, para perfuração em diâmetro H e quatro calhas de um metro, para perfuração em diâmetro N. São dispostos no sentido de avanço da perfuração e separados por placas de madeira de acordo com cada manobra.





**Figura 4.9** - Caixa de testemunhos contendo hematita compacta fraturada (Fonte: o autor).

#### **4.8 - ARQUIVAMENTO DOS TESTEMUNHOS**

As caixas de testemunhos são arquivadas de forma ordenada em galpões, geralmente com dimensões 60 X 20 X 6 metros. Estes galpões são dotados de prateleiras metálicas com células individuais para o arquivamento de cada caixa (Figura 4.10). A localização/rastreamento de cada caixa é controlada através de um *software* denominado GDMS na funcionalidade *Coreshed*.



**Figura 4.10** - Vista interna de um arquivo de testemunhos de sondagem padrão VALE (Fonte: acervo Vale).

### 5 – DESCRIÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

#### 5.1 - DESCRIÇÃO GEOLÓGICA

A descrição geológica dos testemunhos de sondagem (Figura 5.1) é uma atividade realizada pelos geólogos com o intuito de reconhecer a geologia em subsuperfície. Essa consiste na identificação tátil-visual das características faciológicas, texturais e estruturais das rochas em testemunhos de sondagem.

Os dados adquiridos na descrição geológica suportam a análise qualitativa e quantitativa do corpo de minério, tornando-se uma ferramenta fundamental nos estudos de viabilidade econômica do projeto mineiro de Ferro.

A descrição geológica dos testemunhos inclui os seguintes parâmetros:

- a) Intervalos geológicos são unidades geológicas fisicamente distintas, cuja representação nos modelos geológicos e geotécnicos é possível, face a características como contatos definidos, identificação inequívoca, correlação e continuidade espacial e, seletividade da lavra.
- b) Os tipos litológicos incluem minérios e rochas estéreis “in situ”, isto é, antes de terem sofrido movimentação de lavra. Os tipos litológicos devem corresponder a horizontes mapeáveis na jazida.
- c) Uma formação ferrífera é um grupo de rochas que possuem como componentes mais representativos os minerais de ferro (hematita e magnetita).
- d) O minério de ferro é uma rocha composta basicamente de minerais de ferro (hematitas e magnetita) e quartzo, secundariamente.
- e) A rocha estéril não possui valor econômico para a área de minério de ferro.





**Figura 5.1** - Disposição de caixas de testemunhos e equipamentos para descrição dos testemunhos  
(Fonte: acervo Vale)

## **5.2 - DESCRIÇÃO GEOTÉCNICA**

A descrição geotécnica dos testemunhos de sondagem (Figura 5.1) é realizada pelo mesmo geólogo, devendo a descrição geotécnica ser feita sempre anteriormente à geológica.

Todas as descrições geotécnicas são necessariamente acompanhadas da descrição geológica, mesmo se o furo atravessar somente material estéril.

A Caracterização Geotécnica é baseada em conceitos e símbolos internacionais sugeridos pela ISRM (*Internacional Society for Rock Mechanics – Suggested Methods*). Devido às características geológico-geotécnicas do maciço, os critérios e parâmetros da ISRM foram ajustados aos da Vale. O sistema de classificação geotécnica utilizado é baseado no trabalho de Bieniawski (1989).

Portanto, serão observados os seguintes parâmetros:



- a) Grau de alteração: baseado nas características macroscópicas de alteração da rocha;
- b) Grau de Consistência: apreciação tátil-visual das características de resistência ao impacto, risco, compressão uniaxial e trabalhabilidade do material;
- c) Grau de Fraturamento: ponderado de acordo com espaçamento médio das descontinuidades ou pela quantidade de descontinuidade por intervalo;
- d) Condições das descontinuidades: apreciadas segundo o tipo de descontinuidade, de abertura, rugosidade, alteração das paredes e preenchimento;
- e) RQD – *Rock Quality Designation*: no mapeamento de superfície, avaliado segundo o grau de fraturamento. Em sondagens, avaliado para trechos de isofraturamento, de acordo com o procedimento usual, considerando a somatória dos fragmentos maiores que 10 cm. São levadas em conta apenas as descontinuidades naturais e não aquelas induzidas pelo processo de sondagem.

6 – PERFILAGEM GEOFÍSICA

6.1 - INTRODUÇÃO

Perfis geofísicos de furo de sondagem geológica registros contínuos de medições feitas ao longo de um furo e correspondem à resposta da variação de algumas propriedades físicas das rochas (Figura 6.1). São obtidos através da corrida de uma sonda de perfilagem geofísica equipada com diversos sensores, sensíveis às variações das diferentes propriedades físicas, que registram tais variações ao longo do espaço percorrido no interior do furo.

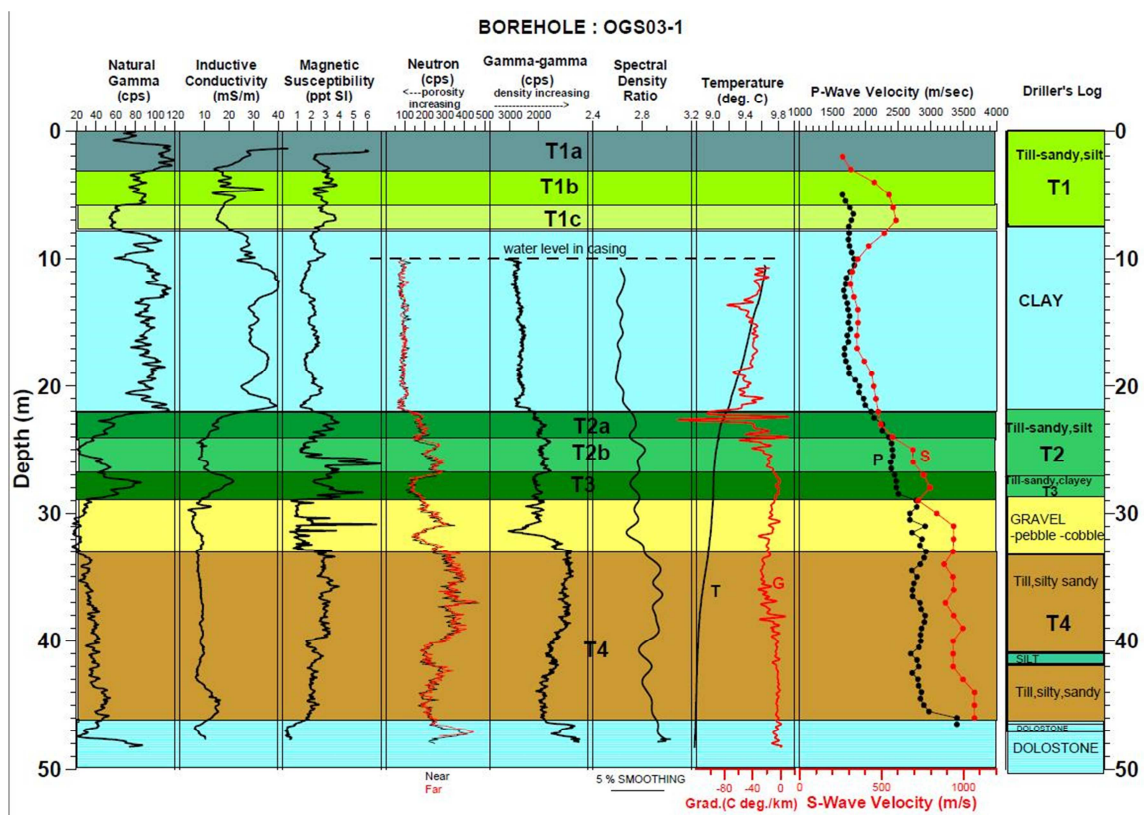


Figura 6.1 - Representação de respostas de vários sensores na perfilagem geofísica (Fonte: Introdução à geofísica de poço – Carrasquilla, A.G, 2012)

A perfilagem geofísica de um furo de sondagem geológica é um método usado em pesquisa mineral e que consiste em obter a variação das propriedades físicas das rochas ao longo do furo. Para a obtenção das propriedades de interesse em uma pesquisa mineral, as sondas geofísicas são movimentadas dentro do furo de sondagem, sendo registradas as propriedades desejadas, conferindo-se a integridade do furo e sua profundidade total. Para isto, a sonda geofísica é içada até a superfície a uma determinada velocidade efetuando o registro das propriedades referentes a cada sensor utilizado (Webber,2008). Sondagens geofísicas são constituídas por longas hastes de metal cujo comprimento é da ordem de metros. No caso de furos profundos, onde se deseja obter um conjunto de medidas de propriedades físicas distintas, a inserção e o içamento da sonda geofísica em número de vezes igual ao número de ferramentas de perfilagem utilizadas, ou seja, uma sonda para cada tipo de medida pode significar um custo alto, além de um tempo de execução longo. Desse modo, pode-se obter múltiplas medidas de propriedades físicas diferentes em uma única corrida, podendo ser modular, com diversas sondas geofísicas conectadas, ou fixa, com diversos sensores em uma única sonda geofísica. Desde a primeira perfilagem durante a década de 20, esse método foi sendo adaptado e aperfeiçoado para utilização em diversos tipos de aplicações na indústria mineral.

Os equipamentos se tornaram mais robustos permitindo a sua aplicação desde poços profundos de petróleo até simples furos de desmonte em bancada de mina. Durante muitos anos, o registro dos parâmetros era feito em meio físico, em bobinas de papel que corriam sob penas móveis, compondo os perfis geofísicos. Atualmente, foram desenvolvidos softwares específicos para o registro, Robertson WinLogger® apresentação e Strater® da Golden Softwares e processamento de dados de perfilagem geofísica.

O advento da perfilagem geofísica e seu subsequente desenvolvimento em uma tecnologia sofisticada revolucionaram a exploração de óleo e gás e a produção industrial. A habilidade de “olhar e medir” os tipos de formação, inclinação das formações, porosidade, densidade, tipo de fluidos e outros importantes fatores transformaram a perfuração e pesquisas para óleo e gás em uma ciência refinada.

O desenvolvimento da perfilagem de poços contempla três áreas: perfilagem com métodos elétricos, perfilagem sônica (ou acústica) e perfilagem nuclear, esta última importante neste estudo.

A perfilagem utilizando radiação de origem nuclear teve início em 1940. As primeiras ferramentas de perfilagem nuclear mediam a radiação de gama natural emitida pelas formações de rocha atravessadas pelos furos de sondagem. Das três radiações nucleares identificadas – alfa, beta e gama – apenas a radiação gama pode ser utilizada em perfilagem de furos, já que apenas esta radiação possui poder de penetração suficiente para atravessar as formações de rocha e revestimentos metálicos presentes nos furos de sondagem (ALMEIDA *et al*, 2008).

A indústria de perfilagem geofísica moveu rapidamente sua atenção do monitoramento da radiação passiva para o bombardeamento nuclear ativo e sua medição nos furos. Na perfilagem de densidade da formação rochosa, introduzida em 1962, a parede do furo de sondagem é irradiada com fonte de raios gama e um contador gama grava a quantidade de partículas recuperadas da interação da radiação gama com a matéria. O perfil de densidade (Gama-Gama) registra ocorrências na faixa de energia do espalhamento Compton, relacionando a contagem registrada com a emissão da fonte, com a densidade do meio atravessado pela radiação gama.

É objeto de discussão deste trabalho, a perfilagem geofísica com raios gama irradiados na formação, com apresentação do método, caracterização técnica da ferramenta, as limitações, os fatores operacionais que podem ocorrer e as aplicações do perfil gama-gama (densidade).

## **6.2 - AQUISIÇÃO DOS DADOS GEOFÍSICOS**

A aquisição de dados de perfilagem geofísica (Figura 6.2) pode ser dividida em fases distintas, que vão desde a escolha do furo a ser perfilado até a entrega do equipamento e da fonte radioativa ao local de armazenamento, após a realização da perfilagem.

Resumidamente, as etapas são:

- escolha do alvo e furo(s) a ser(em) perfilado(s);
- retirada da fonte radioativa da área de armazenamento;
- transporte de equipamentos e chegada ao local de trabalho;
- verificação das condições do furo de sondagem (profundidade, presença ou não de água, desmoronamentos, revestimento, lama de perfuração, etc.);
- verificação da área de trabalho, observando condições que poderiam dificultar a instalação dos equipamentos de perfilagem e determinação de um local para a operação com a fonte radioativa (presença de sondas de perfuração, equipe de sondagem, iluminação no caso de uma perfilagem ao entardecer, etc.);
- instalação do equipamento de perfilagem, posicionamento do guincho e do tripé, conexões entre sonda, guincho, unidade de aquisição, computador e alimentação de um gerador.
- inicialização do software (*WELL MANAGER*) para coleta de dados;
- testes da sonda com procedimentos padronizados;
- inserção da sonda no furo a ser perfilado, respeitando o plano de radioproteção e verificando o ponto inicial da perfilagem (referência de profundidade zero);
- aquisição de dados (executada do fundo do furo para a superfície);
- verificação do perfil e repetição da perfilagem conforme o caso;
- retirada da sonda do furo, respeitando o plano de radioproteção, com limpeza/lubrificação da mesma;
- desacoplamento e acondicionamento do equipamento de perfilagem em suas respectivas embalagens;
- devolução da fonte radioativa e demais equipamentos à área de estoque. Os procedimentos citados acima são executados sistematicamente nas coletas de dados.



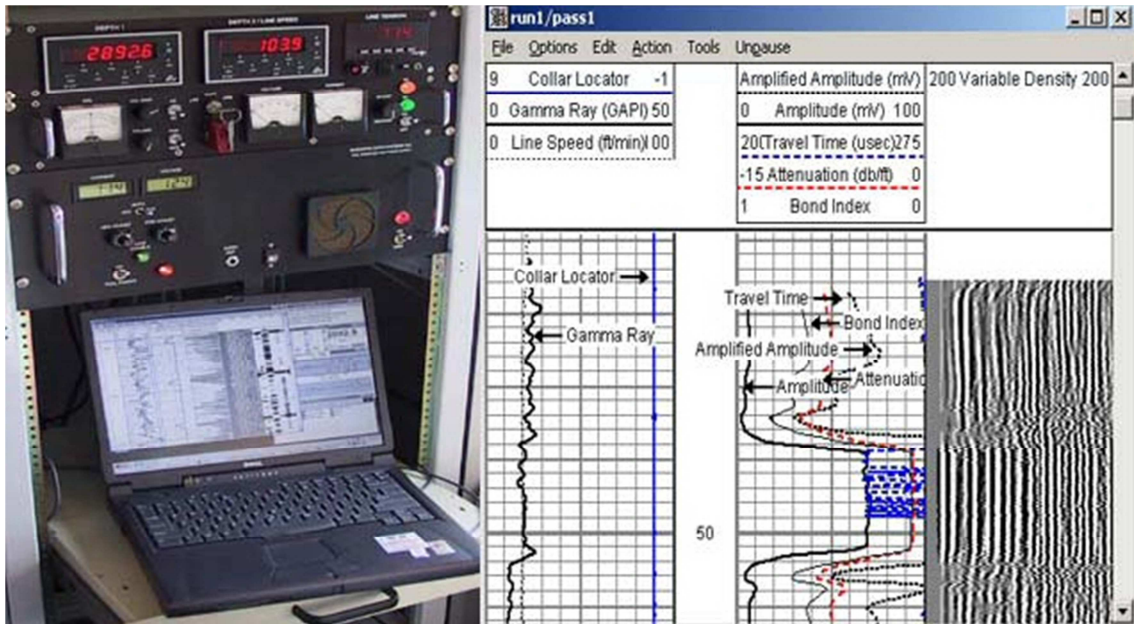


Figura 6.2 - Equipamentos no interior da unidade móvel de perfilagem geofísica (Fonte: Introdução à geofísica de poço – Carrasquilla, A.G, 2012)

### 6.3 - GAMA GAMA

Registra as variações das densidades das rochas com a profundidade, pois existe uma relação entre a participação volumétrica de cada elemento constituinte e a densidade total da rocha.

A medida da densidade é realizada pelo bombardeio das camadas por um feixe monoenergético de raios gama com uma fonte radioativa de céscio 137.

A probabilidade de ocorrência de um choque entre os raios gama e a matéria depende das propriedades nucleares do material envolvido e da energia da partícula. Quanto maior a seção eficaz (diâmetro aparente de um núcleo a ser atingido) maior a probabilidade de uma interação se realizar.

Quando os raios gama atravessam um meio qualquer, eles interagem com os elétrons orbitais de seus constituintes de três modos distintos:

- podem ser absorvidos e um par elétron-pósitron é produzido em contrapartida - é o efeito de produção de pares, e requer uma radiação gama com energias superiores a 10 MeV;

- podem ser absorvidos por um elétron, deslocando-o de sua órbita normal - é o efeito fotoelétrico. Ocorre primariamente com raios gama de energia menor que 0,5 MeV ;e,  
- Os raios gama podem ser defletidos pelos elétrons, os quais cede parte da energia cinética. Este processo é denominado de efeito Compton e é a interação preferencial entre os raios gama e as rochas, pelo fato de se usar a fonte de Césio 137 com energia na faixa de 1 MeV.

A fonte de raios gama é utilizada para bombardear a formação, e a energia gama espalhada que volta ao poço é medida. A fonte é pressionada à parede do furo de sondagem por uma mola. Dois detectores são usados em diferentes distâncias da fonte para corrigir o efeito do fluido. A intensidade da energia difusa que volta ao poço após as colisões com os elétrons da formação pode ser interpretada para obter a densidade da rocha (i.e., a massa por unidade de volume dos grãos minerais mais os fluidos presentes nos poros).

#### **6.4 - GAMA NATURAL**

Os raios gama (GR) são ondas eletromagnéticas de alta energia que são emitidas pelo núcleo atômico como uma forma de radiação, um cintilômetro mede a radiação natural emitida pela formação geológica

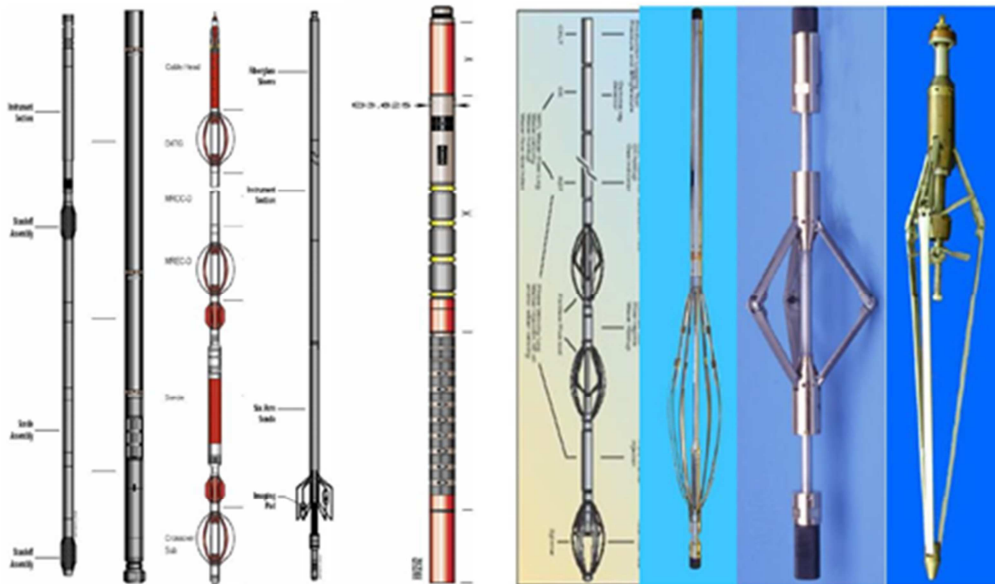
Como principais características da radiação gama natural (GR), pode-se relacionar:

- O perfil de Raios Gama é a medição da radioatividade natural na formação em função da profundidade;
- Formações arenosas de composição homogênea têm baixo nível de radioatividade;
- Pode ser executado em furos de sonda abertos ou revestidos;
- A radiação natural se deve ao decaimento radioativo dos núcleos de K, Th e U em subsuperfície, sendo medida apenas a contribuição das partículas gama.
- Na sonda GR, um contador de cintilação detecta as desintegrações totais de todas as fontes na região próxima da parede do furo de sonda (150-250 mm).

## 6.5 - CALIPER

Equipamento (Figura 6.3) que mede a forma/rugosidade da parede do furo de sonda (restrições, desmoronamentos, distorções) através de braços mecânicos e sistema hidráulico com potenciômetro calibrado.

As medidas de caliper são utilizadas para correção do gama-gama e do gama natural, para cálculo de volume de material para cimentação do furo de sonda, informações sobre descontinuidades nas formações rochosas e propriedades das formações através dos desmoronamentos nas paredes do furo.



**Figura 6.3** - Sondas de Perfilagens Geofísicas evidenciando diferentes calipers (Fonte: Introdução à geofísica de poço – Carrasquilla, A.G, 2012)

### 7 – DADOS UTILIZADOS NA PARAMETRIZAÇÃO

#### 7.1 – DADOS DE AMARRAÇÃO DA PERFURAÇÃO

Abaixo (Tabela 7.1) são mostrados os dados de amarração do furo realizado, tais como: identificação, localização, coordenadas da boca, profundidade, direção, inclinação e diâmetro.

**Tabela 7.1** - Dados de amarração do furo de sondagem (Fonte: acervo Vale modificado pelo autor)

Dados do Furo de Sondagem									
Nº do Furo	Localização	Coordenadas da Boca			Profundidade	Azimute	DIP	Diâmetro	Recuperação Global
		N	E	Z					
ALGFD00134	Mina de Alegria	7.770.645,613	656.426,863	1.278,949	240,65 m	135°	-70°	HQ2	225,55 m

#### 7.2 – EQUIPAMENTOS E FERRAMENTAL

O ferramental utilizado (Tabela 7.2), bem como as coroas (Tabela 7.3), na execução do furo, objeto deste estudo, foi todo de fabricação própria da empresa executora.

**Tabela 7.2** – Ferramental e suas características (Fonte: Geosol)

FERRAMENTAL UTILIZADO					
PRODUTO	EMPRESA	DIAMETRO	Ø EXTERNO	Ø INTERNO	FUNÇÃO
COROA	GEOSOL	HQ2	95,7 mm	67,4 mm	Cortar a rocha.
CALIBRADOR	GEOSOL	HQ2	95,9 mm		Estabilizar o tubo externo.
MANGA TRAVA	GEOSOL	HQ2	95,9 mm		Estabilizar a parte superior do tubo externo.
TUBO EXTERNO	GEOSOL	HQ	92,1 mm	77,8 mm	Alojar ferramental interno.
TUBO INTERNO	GEOSOL	HQ	73,0 mm	66,7 mm	Alojar o testemunho.
HASTE	GEOSOL	HQ	88,9 mm	77,8 mm	Transmitir torque, avanço e conduzir o fluido.

**Tabela 7.3** – Coroas utilizadas e sua duração. (Fonte: Geosol)

COROAS UTILIZADAS			
TIPO DA PEÇA	NÚMERO	DE	ATÉ
COROA HQ2 EXTRA TURBO IMP. LATERAL (S-10)	2248628-10	0,00	116,45
COROA HQ2 EXTRA TURBO IMP. LATERAL (S-10)	2243112-10	116,45	208,75
COROA HQ2 EXTRA TURBO IMP. LATERAL (S-10)	2232228-10	208,75	228,20
COROA HQ2 EXTRA TURBO IMP. LATERAL (S-11)	2601217-11	228,20	240,65

### 7.3 – FLUIDO DE PERFURAÇÃO

O fluido de perfuração utilizado (Tabela 7.4) mostrou ser de importância fundamental durante a operação, permitindo ganho de produtividade sem desgaste excessivo de ferramental e com elevada taxa de recuperação.

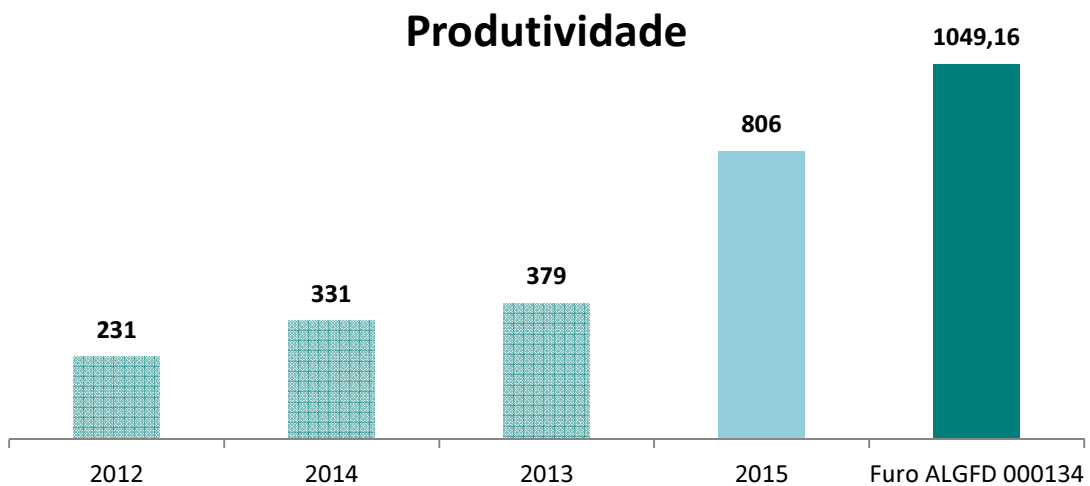
**Tabela 7.4** – Componentes utilizados no fluido de perfuração (Fonte: Geosol).

FLUIDO DE PERFURAÇÃO - RECEITA UTILIZADA NO FURO				
PRODUTO	Empresa	COMPOSIÇÃO	FUNÇÃO	DOSAGEM
CELUTROL HV1 (Alta Viscosidade)	System Mud	Carboximetilcelulos e de sódio (CMC)	<b>Controle de filtrado</b>	500 ml/1000 l
			Redutor de filtrado de alta viscosidade / Reduz perdas por filtrações em formações permeáveis / Aumenta a estabilidade do furo / Melhora a limpeza dos recortes durante a perfuração	
SUPERVIS RD (Rápida Dispersão)	System Mud	PHPA (Policrilamida parcialmente)	<b>Viscosificante encapsulador de argilas</b>	400 ml/1000 l
			Evita a expansão das argilas com alto poder de encapsulação	
GOMA GEL	System Mud	Biopolímero Goma Xantana	<b>Agente tixotrópico</b>	500ml/1000 l
			Proporciona excelentes características tixotrópicas e reológicas para o fluido / Minimiza os problemas de limpeza do furo / Evita desagregação / desmoronamento nas formações inconsolidadas, estabilizando-as.	
CASE LUBE	System Mud	Graxa Vegetal	<b>Graxa lubrificante para Hastes</b>	Camada de 2 a 3 mm sobre a haste ou 200 g/m
			Utilizado para perda de retorno de fluido durante a operação / Reduz significativamente o torque necessário para movimentar a coluna de perfuração	
BENTONITA				
BENTONITA	CBB	Argila cálcica transformada para sódica. Bentonita ativada e aditivada. Na sua composição	<b>Agente tixotrópico e formador de reboco</b>	25 kg/1000 l
			A bentonita tem todas as características (boa viscosidade, reduz filtrado, lubrifica), porém não nas quantidades corretas. Apesar de aditivada, ainda é preciso inserir os corretores.	



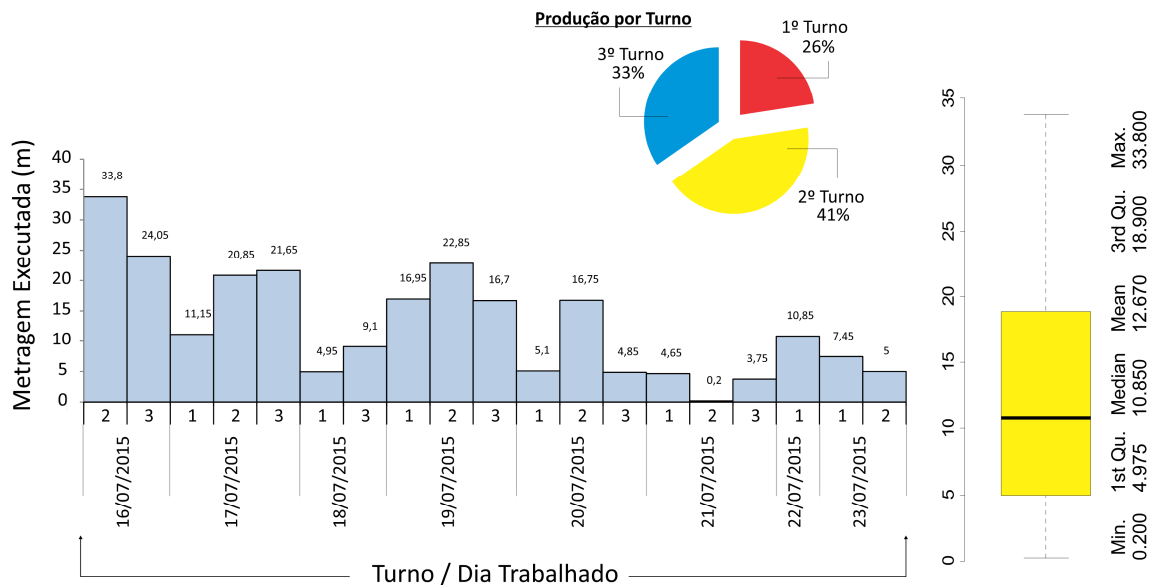
## 7.4 – PRODUTIVIDADE

A produtividade (Figura 7.1) da sondagem cresceu de forma significativa neste último ano devido à maior disponibilidade e ao melhor controle do fluido de perfuração, ou seja, a sonda ficou a maior parte do tempo perfurando e a composição do fluido foi adequada às características da formação rochosa. Os resultados mostram um avanço de 250% em relação à média do último triênio e 330% em relação ao furo onde foi instalado o EDR, especificamente. Embora o furo tenha sido somente monitorado e não controlado através do sistema, houve aumento da produtividade, acredita-se que imputável à presença do sistema instalado.



**Figura 7.1** – Evolução da produtividade da sondagem (Fonte: o autor)

O gráfico da figura 7.2 demonstra a evolução da metragem executada por turno e dia trabalhado, sendo evidente a atenuação da produção com o passar dos dias. De forma geral, essa queda de produção está atrelada à profundidade do furo, ou seja, quanto mais profundo menor a produtividade. 75% da metragem executada, demonstra que houve uma produção de 18,9 m por turno trabalhado sendo que 41% da produção geral do furo executado está atrelado a metragem executada no 2º turno.

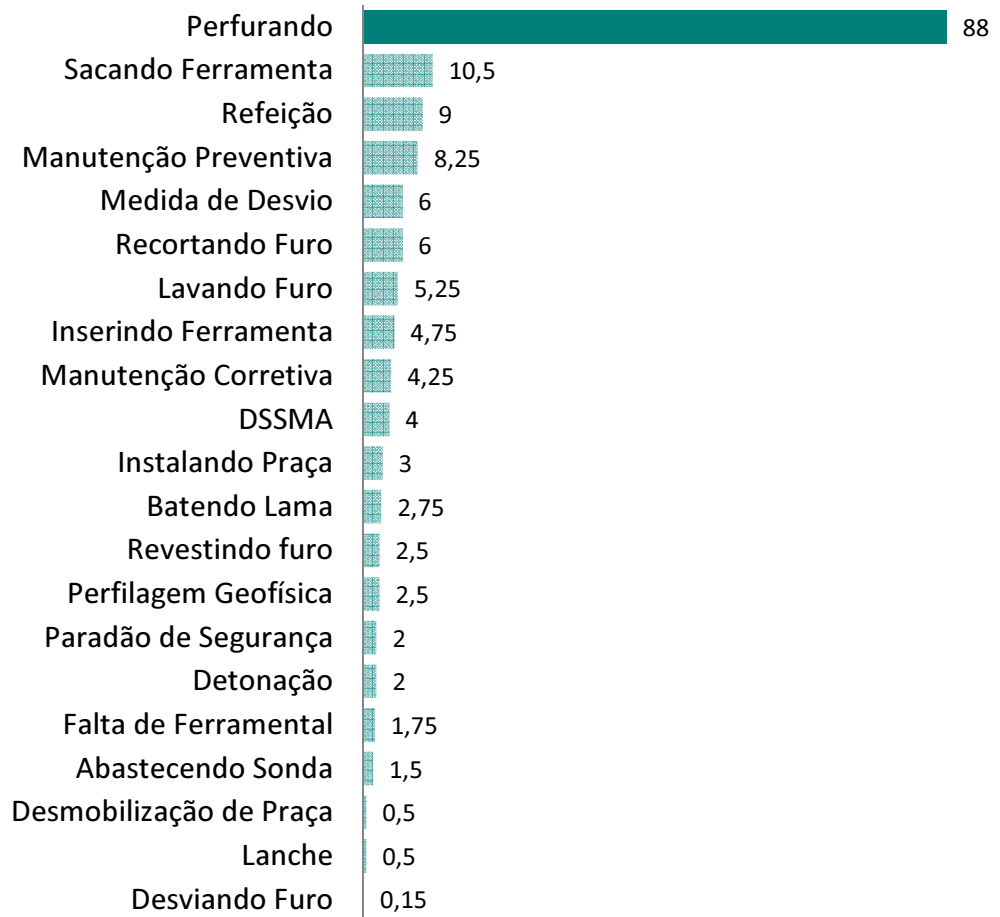


**Figura 7.2** – Metragem executada por turno e dia trabalhado. (Fonte: acervo Vale / Igor Rosa)

### 7.5 – DISPONIBILIDADE

Das 165 horas dispendidas para execução do furo, 88 horas foram consumidas com a perfuração propriamente dita (Figura 7.3). Esta disponibilidade mostra que a empresa executora está aplicando mais horas à manutenção preventiva que à corretiva.

## Disponibilidade (Atividade / Hs)



**Figura 7.3** – Disponibilidade do furo (Fonte: o autor)

### 7.6 – O SISTEMA EDR (Electronic Drilling Recorder)

O Registrador de Perfuração Eletrônico fornece os dados de perfuração tanto na sonda como à distância, utilizando-se de um sistema de sensores e computadores. O EDR pode ser configurado conforme demanda do cliente, ou seja, fornece fácil acesso às informações necessárias referentes aos parâmetros operacionais.

### 7.6.1 - FUNÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA

Este sistema tem como função principal o registro dos dados da perfuração. Quando utilizado em grande potencial, o sistema permite a conexão entre toda a equipe envolvida na sondagem, ou seja, conectar gerente, supervisor, fiscal, sondador e geólogo, ou qualquer outro usuário no local da sonda juntos em uma rede de dados. Os dados são registrados e armazenados no local (Figura 7.4) de perfuração e podem ser visualizados por quaisquer destas estações de trabalho (Figura 7.5). Os dados são transmitidos através de satélites banda larga e acessados remotamente à rede do fornecedor do sistema. A conectividade da internet é fornecida para todos os usuários no local da sonda. O sistema também pode fornecer base para outras instrumentações, como por exemplo, o analisador de lama.



**Figura 7.4** - Sistema de armazenamento dos dados captados pelos sensores (Fonte: o autor)



Figura 7.5 - Monitor mostrando os dados de saída em tempo real (Fonte: o autor)

Uma funcionalidade extremamente importante do sistema é o envio de informações e determinação de limites com alarme (Figura 7.6) para o sondador através de mensagens que aparecerão no monitor instalado na sonda (Figura 7.7).



Figura 7.6 - Envio de dados à distância para o sondador (Fonte: o autor)

O sistema além de outras funcionalidades possibilita:

- Monitorar a posição da coroa todo momento;
- Armazenar todos os dados de perfuração;
- Acessar os dados históricos do furo;
- Escalonar todos os traços de sensor, individualmente;
- Incluir um sistema de memorando e mensagem;
- Calcular e rastrear o desgaste da linha de perfuração, a velocidade de penetração, o peso sobre a broca, e saída total da bomba;
- Rastrear as horas de broca e de circulação;
- Incluir telas de exibição intuitivas e de fácil leitura para auxiliar no monitoramento de operações críticas na sonda, tais como perfuração, circulação e manobras.



**Figura 7.7** - Painel de visualização do sondador (Fonte: o autor)



## 7.6.2 – SENSORES

- SENSOR DE PROXIMIDADE

Os sensores de proximidade (Figuras 7.8 e 7.9) têm como objetivos monitorar bomba de fluido, rotação da ferramenta e avanço e profundidade.

Os sensores são induzidos por um ou mais objetivos (peças metálicas/cantoneiras de aço) instalados a uma profundidade ideal, fazendo com que o sensor atue e envie um pulso elétrico ao sistema. O sistema EDR recebe esta informação e a transforma em informação/dados. Cada variável possui sua opção de calibração no menu, registrando e exibindo graficamente os dados.



**Figura 7.8** - Sensor de profundidade instalado na roldana da torre (Fonte: o autor)



**Figura 7.9** - Sensor de rotação instalado no mandril da coluna de perfuração (Fonte: o autor)

- **SENSOR DE PRESSÃO**

Este sensor (Figura 7.10) tem como objetivo monitorar a pressão de injeção. Trata-se de um transdutor elétrico que trabalha em escala de corrente entre 4-20 mA, onde o menor valor destina-se ao zero de pressão nas linhas e o maior ao máximo de pressão ao qual o sensor foi designado. São utilizados sensores de 5.000, 6.000, 10.000 e 15.000 psi, todos calibrados e certificados.



**Figura 7.10** - Sensor de pressão instalado na saída da bomba de lama (Fonte: o autor)

- **SENSOR DE CONTRAPRESSÃO**

É um sensor hidráulico (Figura 7.11), para sistema fechado, que tem como objetivo monitorar a pressão, o torque e o peso sobre broca. Este sensor é um transdutor elétrico que trabalha em escala de corrente entre 4-20 mA. Pode-se receber qualquer variação de circuito hidráulico e relacioná-lo ao parâmetro desejado.





**Figura 7.11** - Sensor de contrapressão instalado no registro do alimentador do fluido (Fonte: o autor)

## **7.7 – LITOLOGIA E GEOMECÂNICA**

A descrição dos testemunhos mostra que no furo observam-se rochas ferruginosas friáveis, semi-compactas e algumas passagens compactas fraturadas (Tabela 7.5). Há predominância de material goethítico hidratado composto basicamente por quartzo, goethita, hematita, magnetita e argilominerais. As rochas apresentam granulometria média (areia fina à grossa), magnetismo moderado e taxa de liberação de sílica variável de acordo com a compactidade.

**Tabela 7.5 - Descrição geológica dos testemunhos (Fonte: acervo Vale – Geóloga Priscila Coelho)**

LITOLOGIA	PROFUNDIDADE INICIAL (m)	PROFUNDIDADE FINAL (m)	DESCRIÇÃO GEOLÓGICA
LT	0	9,35	Material friável, muito hidratado, de cor laranja arroxeada escura. Composto por quartzo, bauxita, limonita e hematita. Granulometria média, porosidade alta, magnetismo médio, liberação de sílica média, contato inferior gradacional.
IGOF	9,35	32,3	Material friável, muito hidratado, de cor cinza ocreado escuro, com estrutura bandada. Composto por quartzo, hematita, goethita e anfíbio. Granulometria média, porosidade alta, magnetismo médio, liberação de sílica alta, contato inferior brusco.
VQ	32,3	34	Material semi-compacto, hidratado, de cor branca amarronzada clara. Composto por quartzo, argilominerais e hematita. Granulometria média, grau de fraturamento alto, porosidade média, magnetismo baixo, liberação de sílica baixa, contato inferior brusco.
IGOF	34	59,45	Material friável, muito hidratado, de cor cinza amarronzada escura. Composto por quartzo, goethita, hematita e argilominerais. Granulometria fina à média, porosidade alta, magnetismo médio, liberação de sílica alta, contato inferior gradacional.
IF	59,45	113,95	Material friável, muito hidratado, de cor cinza esbranquiçada escura. Composto por quartzo, hematita, argilominerais e goethita. Granulometria fina à média, porosidade alta, magnetismo médio, liberação de sílica alta, contato inferior gradacional.
HGOC	113,95	117,45	Material compacto, hidratado, de cor cinza amarronzada escura. Composto por hematita e goethita. Granulometria média, grau de fraturamento alto, porosidade baixa, magnetismo médio, liberação de sílica baixa, contato inferior gradacional.
IF	117,45	136,6	Material friável, muito hidratado, de cor cinza esbranquiçada clara. Composto por quartzo, hematita, argilominerais e goethita. Granulometria fina à média, porosidade alta, magnetismo médio, liberação de sílica alta, contato inferior gradacional.
HGOC	136,6	137,15	Material compacto, hidratado, de cor cinza amarronzada escura. Composto por hematita e goethita. Granulometria média, grau de fraturamento alto, porosidade baixa, magnetismo médio, liberação de sílica baixa, contato inferior gradacional.
IF	137,15	179,2	Material friável, muito hidratado, de cor cinza esbranquiçada escura. Composto por quartzo, hematita, argilominerais e goethita. Granulometria fina à média, porosidade alta, magnetismo médio, liberação de sílica alta, contato inferior gradacional.
IC	179,2	185,15	Material compacto, hidratado, de cor cinza esbranquiçada escura, com estrutura bandada. Composto por: Quartzo, hematita, martita e anfíbio. Granulometria fina à média, grau de fraturamento alto, porosidade baixa, magnetismo médio, liberação de sílica baixa, contato inferior gradacional.
IF	185,15	205,8	Material friável, muito hidratado, de cor cinza esbranquiçada escura. Composto por quartzo, hematita, argilominerais e goethita. Granulometria fina à média, porosidade alta, magnetismo médio, liberação de sílica alta, contato inferior gradacional.
IC	205,8	226	Material compacto, hidratado, de cor cinza esbranquiçada escura, com estrutura bandada. Composto por quartzo, hematita, martita e anfíbio. Granulometria fina à média, grau de fraturamento alto, porosidade baixa, magnetismo médio, liberação de sílica baixa, contato inferior gradacional.
IARS	226	231,7	Material semi-compacto, muito hidratado, de cor cinza ocreada escura, com estrutura bandada. Composto por hematita, argilominerais, anfíbio e quartzo. Granulometria fina à média, grau de fraturamento alto, porosidade alta, magnetismo alto, liberação de sílica alta, contato inferior gradacional.
IC	231,7	237,7	Material compacto, muito hidratado, de cor cinza ocreada escura, com estrutura bandada. Composto por goethita, anfíbio, quartzo e hematita. Granulometria fina à média, grau de fraturamento alto, porosidade baixa, magnetismo alto, liberação de sílica baixa, contato inferior gradacional.
IARS	237,7	240,65	Material semi-compacto, muito hidratado, de cor cinza amarronzada escura, com estrutura bandada. Composto por argilominerais, hematita, quartzo e anfíbio. Granulometria fina à média, grau de fraturamento alto, porosidade alta, magnetismo alto, liberação de sílica média.



Os testemunhos de três intervalos crescentes (Figura 7.12) evidenciam os materiais presentes nas diferentes cotas do furo. Na caixa da esquerda (topo do furo) observa-se a cobertura superficial (laterita) seguida por material ferroso friável. A caixa do meio (cota mediana do furo) é composta por itabirito friável com maior teor aparente de ferro e a da direita (base do furo) é composta por itabirito goethítico semi-compacto com bandamento regular.

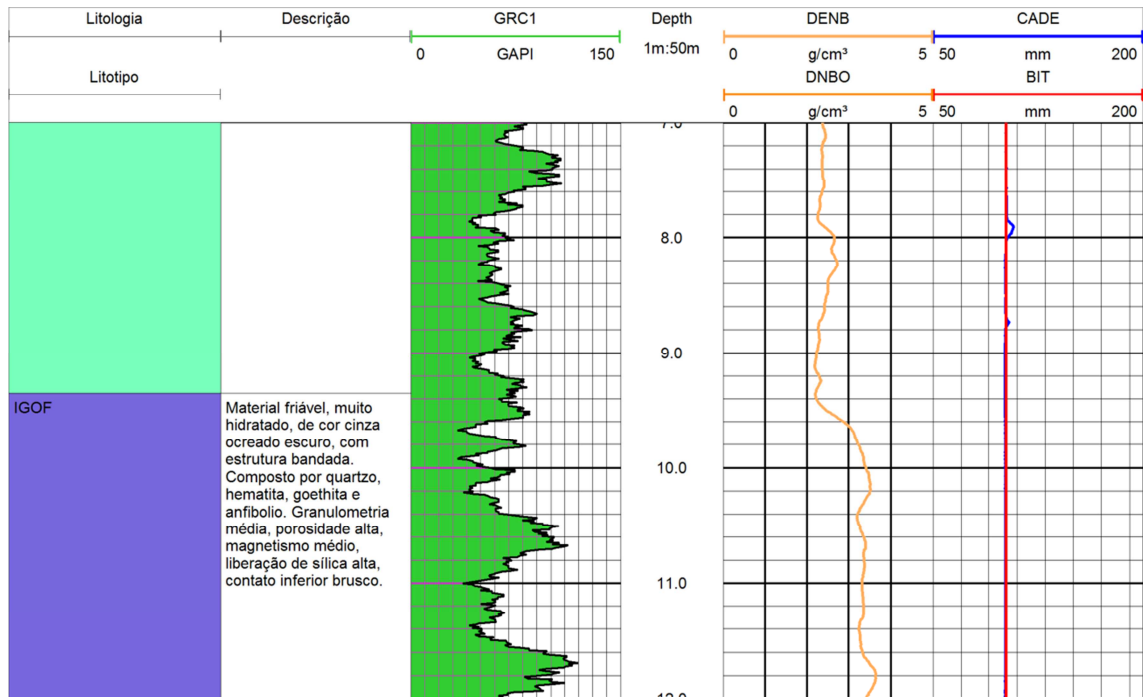


**Figura 7.12** - Caixas de testemunhos mostrando litologias e compacidades diferentes (Fonte: acervo Vale/o autor)

## 7.8 – PERFILAGEM GEOFÍSICA

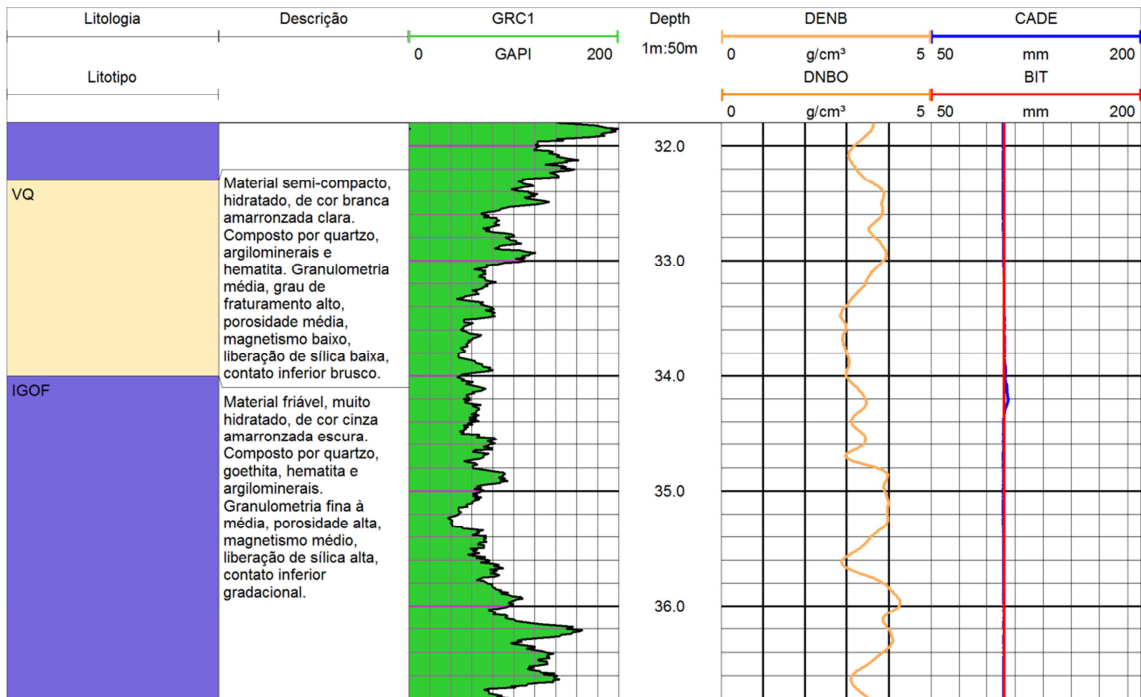
Os resultados da perfilagem geofísica do furo ALGFD00134 serão descritos por intervalos, conforme a seguir:

O log de perfilagem (Figura 7.13) apresenta densidades entre  $2.00\text{g/cm}^3$  e  $3.00\text{g/cm}^3$  em sua porção inicial até 9m de profundidade, onde ocorre a passagem de laterita para Itabirito goethítico não havendo, no entanto, mudança nas leituras de gama natural, o que sugere que haja uma transição suave, ou que a composição de ambas tenha graus parecidos de heterogeneidade.



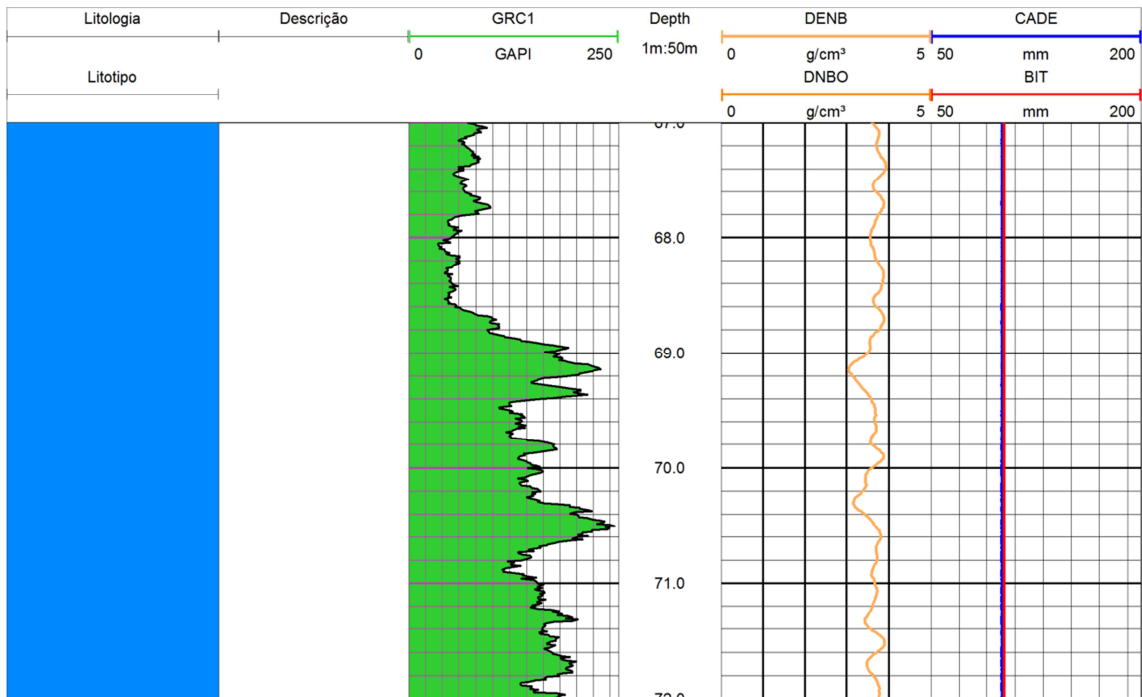
**Figura 7.13** – Intervalo 1 do log de perfilagem geofísica (Fonte: acervo Vale/Geofísico Wanderson Pereira)

A partir de 9m de profundidade (Figura 7.14), as densidades se tornam mais altas, apresentando valores em torno de  $3.50\text{g/cm}^3$ , com uma variação de amplitude maior, ou seja, com maiores variações possivelmente condicionadas pelo bandamento, havendo um aumento das contagens de gama natural, até a profundidade de 32.4m onde ocorre um veio de quartzo e uma diminuição pontual das contagens de gama natural.



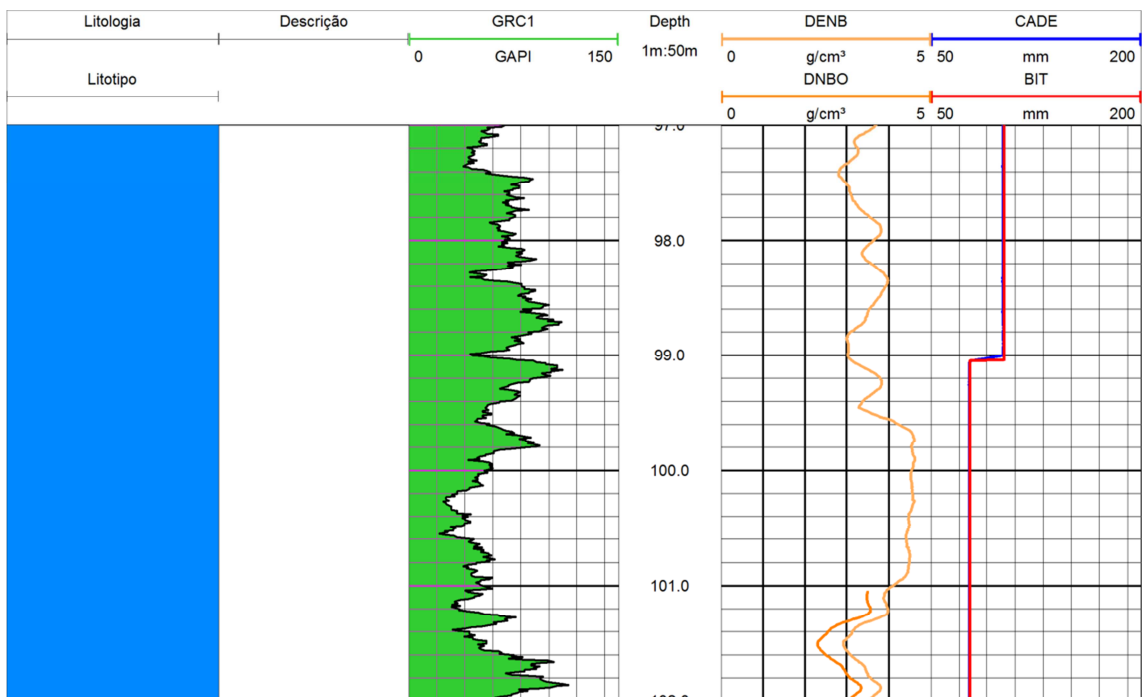
**Figura 7.14** – Intervalo 2 do log de perfilagem geofísica (Fonte: acervo Vale/Geofísico Wanderson Pereira)

De 36m até 59m onde ocorre novamente itabirito goethítico, as contagens são sistematicamente mais altas, passando a contagens em torno de 100 API até 68m a partir (Figura 7.15) de onde ocorre um aumento sistemático das contagens gama natural e sucessões de diminuição a aumento sem que haja mudança significativa nas densidades.



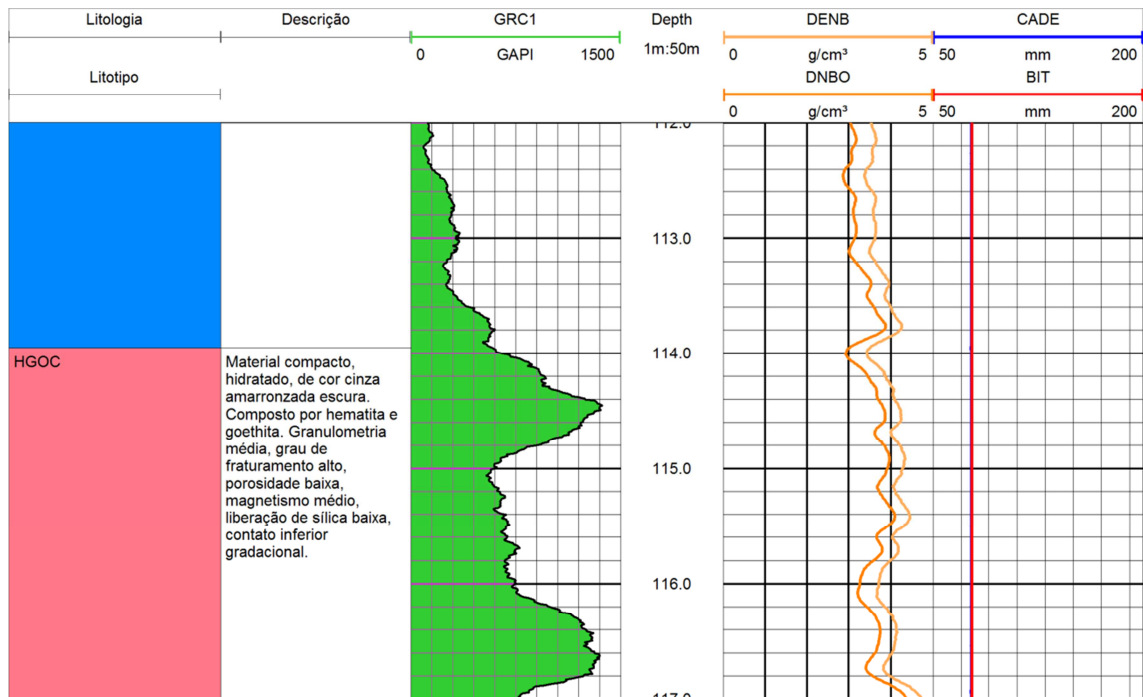
**Figura 7.15** – Intervalo 3 do log de perfilagem geofísica (Fonte: acervo Vale/Geofísico Wanderson Pereira)

Na profundidade de 99m (Figura 7.16), verifica-se uma diminuição do diâmetro do furo.



**Figura 7.16** – Intervalo 4 do log de perfilagem geofísica (Fonte: acervo Vale/Geofísico Wanderson Pereira)

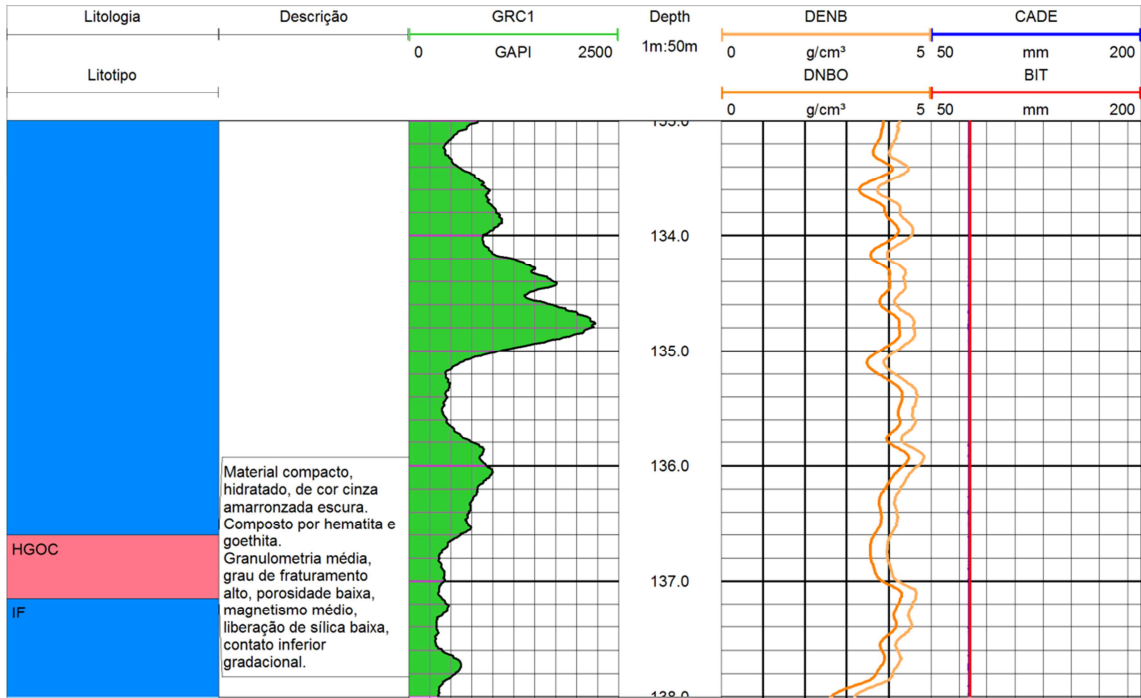
Sendo que o trecho é composto por um pacote de itabirito friável que se estende até a profundidade de 114m (Figura 7.17).



**Figura 7.17** – Intervalo 5 do log de perfilagem geofísica (Fonte: acervo Vale/Geofísico Wanderson Pereira)

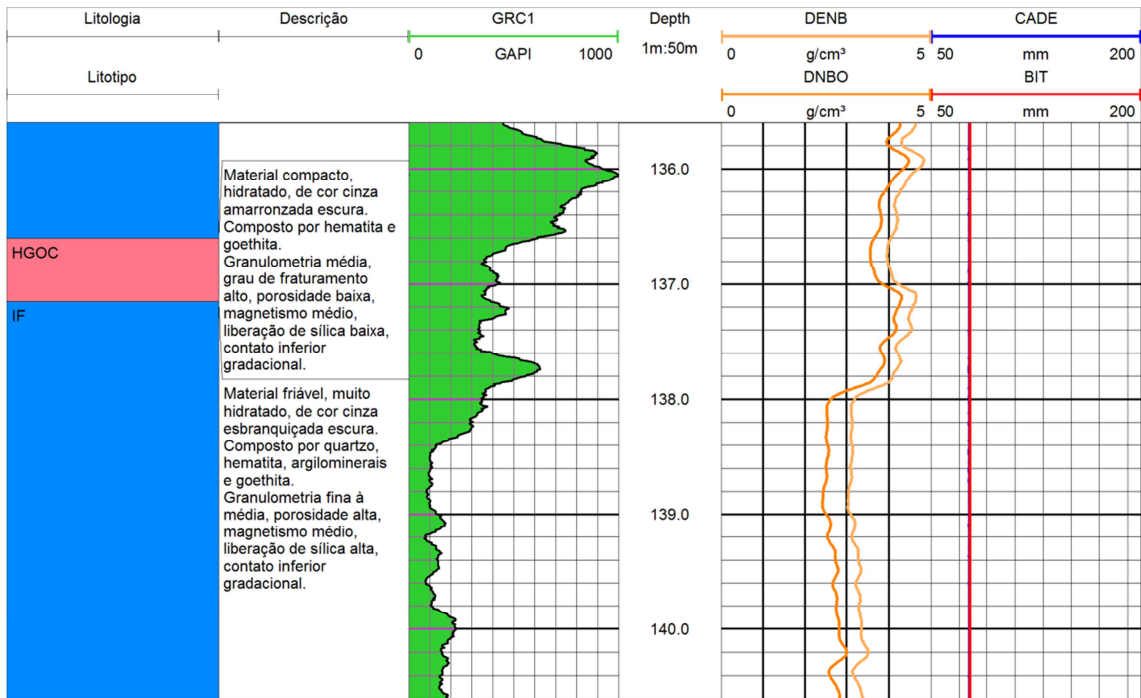
A partir desse ponto, ocorre um aumento na frequência de variação tanto da densidade como da contagem gama natural (Figura 7.18), atingindo valores de pico sistematicamente maiores com relação aos pacotes sobrejacentes, sugerindo um alto grau de faturamento em material de densidade alta, que persiste até 138m, marcando os contatos de um pacote de itabirito delimitado por hematitas goethíticas.





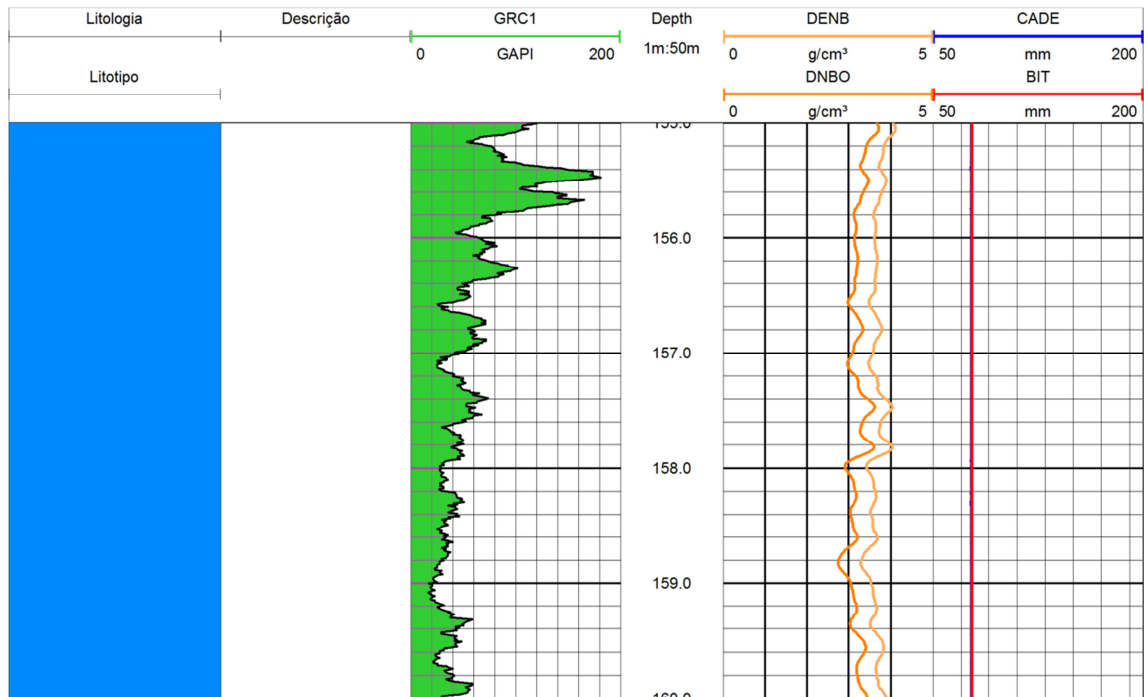
**Figura 7.18** – Intervalo 6 do log de perfilagem geofísica (Fonte: acervo Vale/Geofísico Wanderson Pereira)

A figura 7.19 mostra que a densidade desse ponto em diante é sistematicamente menor.



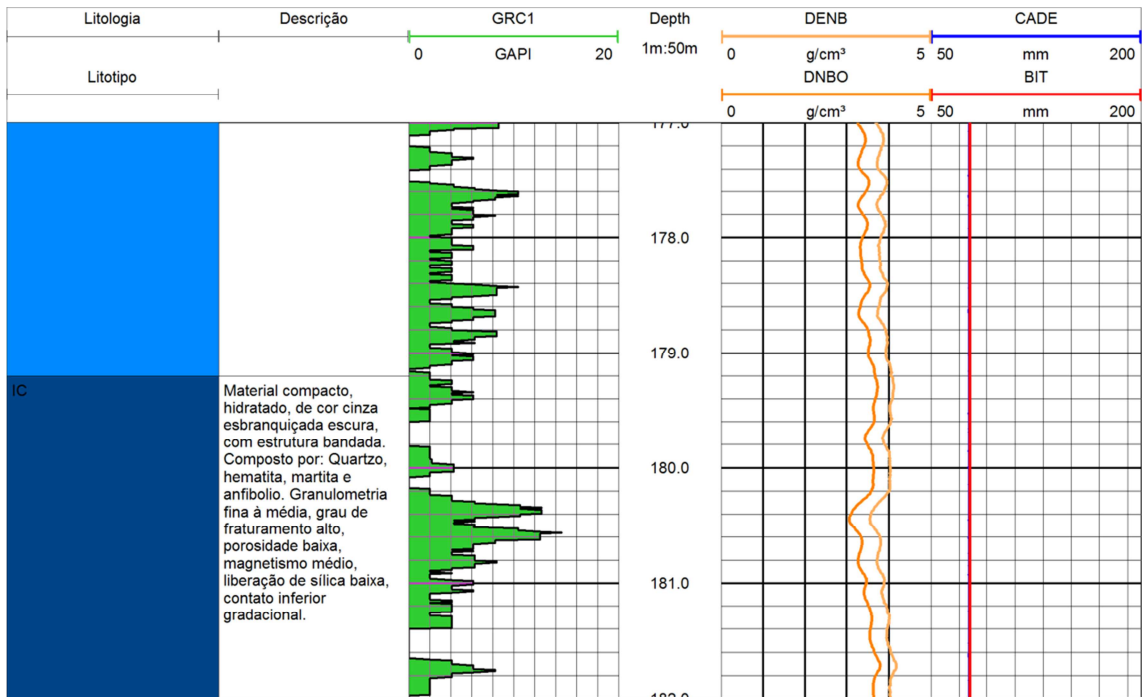
**Figura 7.19** – Intervalo 7 do log de perfilagem geofísica (Fonte: acervo Vale/Geofísico Wanderson Pereira)

Sendo que a contagem de gama natural começa alta e sofre uma diminuição gradual com a profundidade (Figura 7.20).



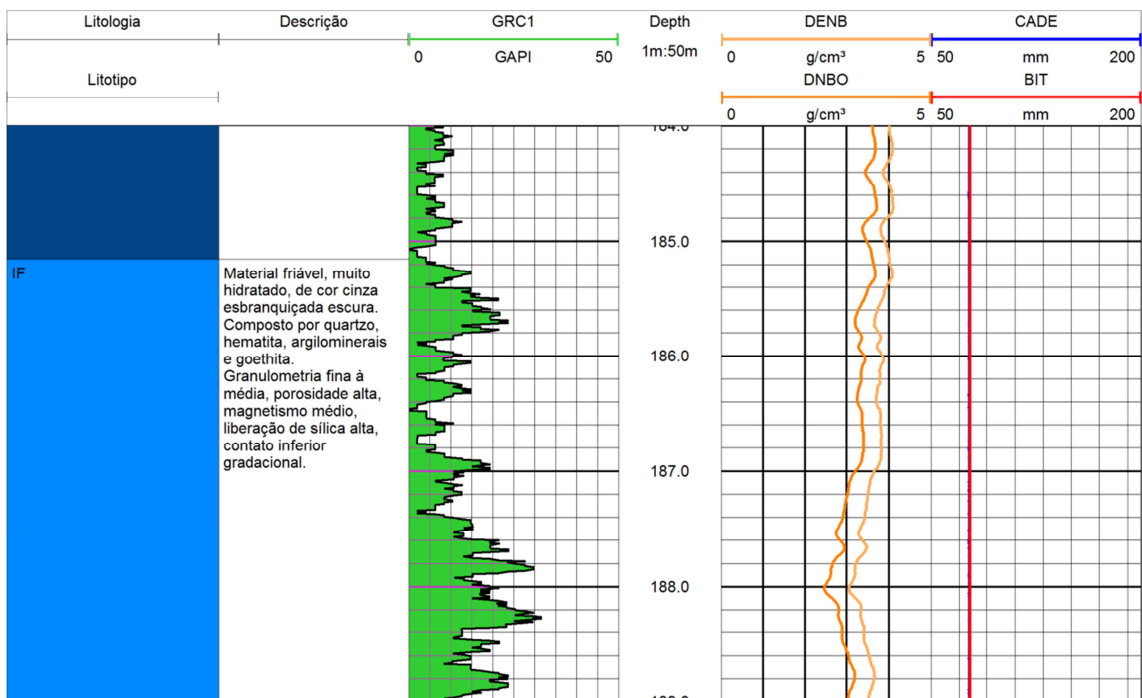
**Figura 7.20** – Intervalo 8 do log de perfilagem geofísica (Fonte: acervo Vale/Geofísico Wanderson Pereira)

Sugere-se que a formação rochosa, vai passando de friável a compacto com a profundidade até 179m onde a rocha exibe um comportamento compacto, com aumento da densidade e baixos valores de contagem gama natural (Figura 7.21).



**Figura 7.21** – Intervalo 9 do log de perfilagem geofísica (Fonte: acervo Vale/Geofísico Wanderson Pereira)

Tal comportamento perdura até a profundidade de 185m, onde as contagens gama natural começam a aumentar novamente, e ocorre uma diminuição dos valores de densidade. Tal comportamento pode ser indicativo de um novo pacote de material friável, novamente com transição gradacional (Figura 7.22).



**Figura 7.22** – Intervalo 10 do log de perfilagem geofísica (Fonte: acervo Vale/Geofísico Wanderson Pereira)

## 7.9 – DESVIO DO FURO

Um dos processos de validação das leituras obtidas pelos equipamentos de media de desvio está relacionado à precisão entre a primeira e a segunda corrida realizada (A e B), sendo que quanto mais próximo uma corrida da outra, maior será a precisão do equipamento. Essas corridas podem ser realizadas de diversas formas, levando em consideração a avaliação técnica do operador que determinará se as leituras serão realizadas uma no sentido descendente e a outra no sentido ascendente ou as duas no sentido descendente ou as duas no sentido ascendente ou uma no sentido ascendente e a outra descendente. Com os dados obtidos das duas leituras processados é avaliado a distância entre o ponto da primeira leitura em relação à segunda com base na estação percorrida, sendo esse processo realizado a cada 48m mais a leitura final e o nível aceitável de precisão deve ser igual ou inferior a 1%:

$D_{AB}$  (m) – Distância entre o ponto da leitura A e B.

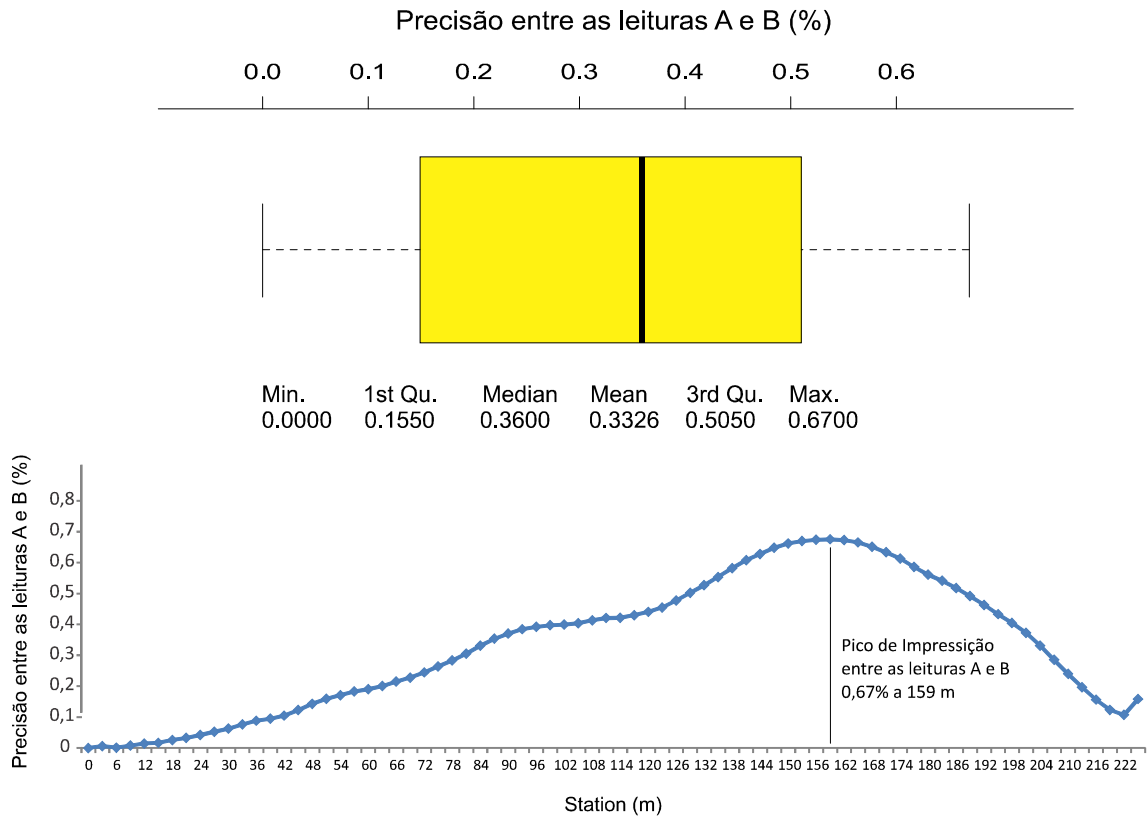
$S_1$  (m) – Estação percorrida.

P (%) – precisão entre as leituras A e B.

$$(D_{AB} / S_1) \times 100 = P$$

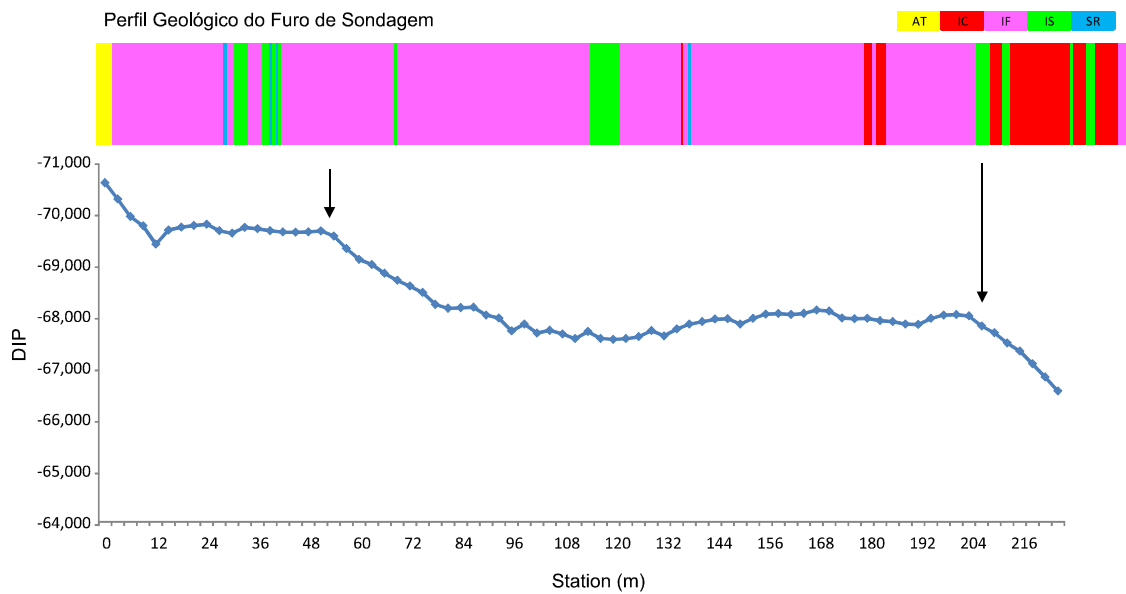
As leituras realizadas pelo equipamento de medida de desvio no furo analisado tem como princípio a aquisição relativa, ou seja, a leitura posterior depende do registro da leitura anterior, desta forma aumenta a possibilidade de erros acumulativos ao longo da metragem perfilada. Na **Figura 7.23**, 75% das leituras tiveram índices igual ou inferior a 0,505% sendo registrado nível máximo na ordem de 0,670% na estação (*station*) 159m. Embora se perceba que com o aumento da metragem perfilada aumenta a impressão entre leituras, após a estação 159m esse índice tende a diminuir chegando a valores próximos a 0,1%.





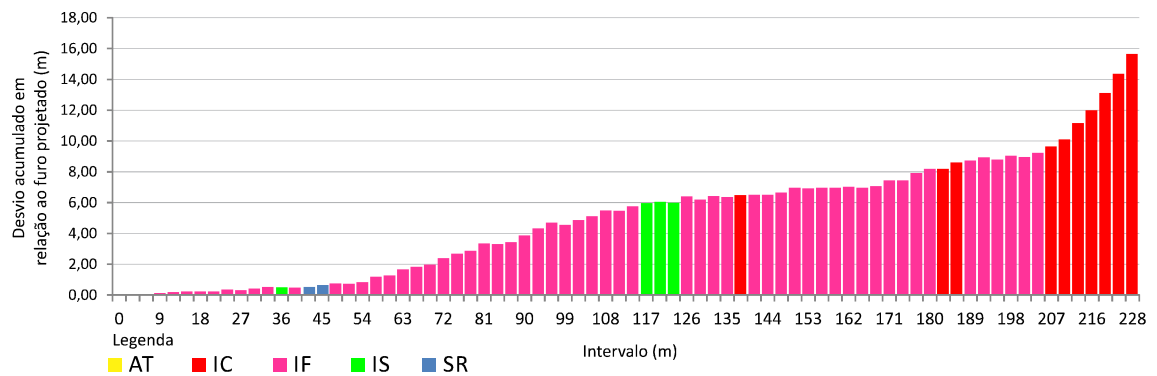
**Figura 7.23** – Precisão entre leituras A e B (Fonte: acervo Vale/Igor Rosa).

O gráfico abaixo (Figura 7.24) mostra três pontos de maior desvio, o primeiro de 0 a 10 metros, certamente causado pelo material composto principalmente de aterro, o segundo, aos 50 metros, provavelmente causado pela mudança de mergulho das camadas e o último causado pela transição do material friável para o compacto.



**Figura 7.24** – Variação do DIP em função da profundidade. (Fonte: acervo Vale/Igor Rosa)

Na Figura 7.25 fica evidente o crescente desvio ao longo da metragem executada do furo realizado tomando como referencia o furo projetado, atingindo uma metragem final na ordem de 15,65 metros em relação ao idealizado. Aproximadamente entre as leituras 54 a 114 metros de perfurados é possível perceber uma constância na inclinação do desvio realizado saindo de 0,85 para 5,98 metros, nas leituras de 114 a 207 metros o furo passa a ter uma diminuição na inclinação saindo de 5,98 para 9,65 metros, entretanto essa inclinação se torna acentuada após a metragem de 207 metros na passagem pela litologia (IC) onde o furo finaliza com 15,65 metros de desvio.



**Figura 7.25** – Crescimento do desvio com o avanço da profundidade. (Fonte: acervo Vale/Igor Rosa)

## 7.10 – CORRELAÇÃO DOS DADOS

### 7.10.1 – CORRELAÇÃO “A”

INTERVALO	DATA	HORÁRIO
0,00 a 4,00 metros	16/07/2015	16:35 hs às 17:40 hs

O EDR mostra que as altas taxas de avanço são correspondentes às rotações mais altas. Mostra também que a pressão do fluido sobe junto com a taxa de bombeio, nestes intervalos o torque diminui. (Figura 7.26).

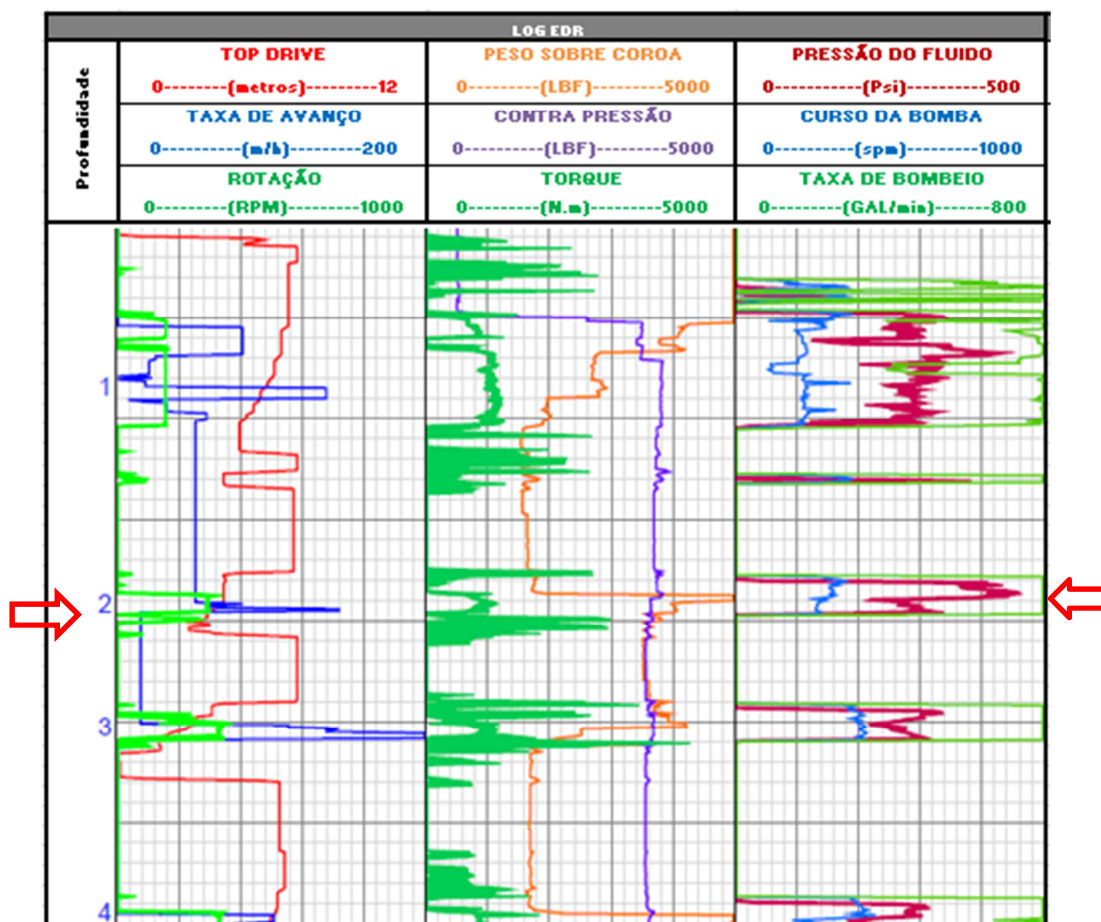


Figura 7.26 - LOG do EDR referente à correlação A (Fonte: PASON – modificado pelo autor).

O boletim de sondagem (Tabela 7.6) mostra as baixas taxas de recuperação.

**Tabela 7.6** – Intervalo do boletim de sondagem correspondente à correlação A (Fonte: Planilha de coleta de dados de sondagem – Geosol – modificado pelo autor)

Profundidade		Avanço	Recuperação	
De	Até		Metros	%
0,00	1,90	1,90	0,10	5%
1,90	2,50	0,60	0,40	67%
2,50	4,00	1,50	0,60	40%
4,00	5,00	1,00	0,70	70%

A caixa de testemunhos (Figura 7.27) evidencia a perda de recuperação do material desagregado, principalmente na primeira manobra com 1,90 metros de avanço e somente 10 centímetros de recuperação.



**Figura 7.27** – Caixa de testemunhos evidenciando a baixa recuperação. Referente à correlação A (Fonte: acervo Vale / geóloga Priscila Coelho / modificado pelo autor).

**Comentário:** decisão do sondador em não furar embuchando para não comprometer a fixação da sonda que ainda estava fresca, utilizou de altas taxas de rotação, avanço e de bombeamento do fluido ocasionando o carreamento do material desagregado pela lama, impactando negativamente na taxa de recuperação.

### 7.10.2 – CORRELAÇÃO “B”

INTERVALO	DATA	HORÁRIO
58,00 a 60,00 metros	17/07/2015	4:15 hs às 8:25 hs

O log do EDR (Figura 7.28) mostra que num intervalo de 10 minutos o sondador desceu e subiu o top drive dezoito vezes utilizando de baixas rotações, em torno de 50 rpm. Neste intervalo, observa-se também que durante os picos de rotação o torque também sobe e o peso sobre a coroa permanece menor que a contrapressão. O circuito de bombeamento está fechado.

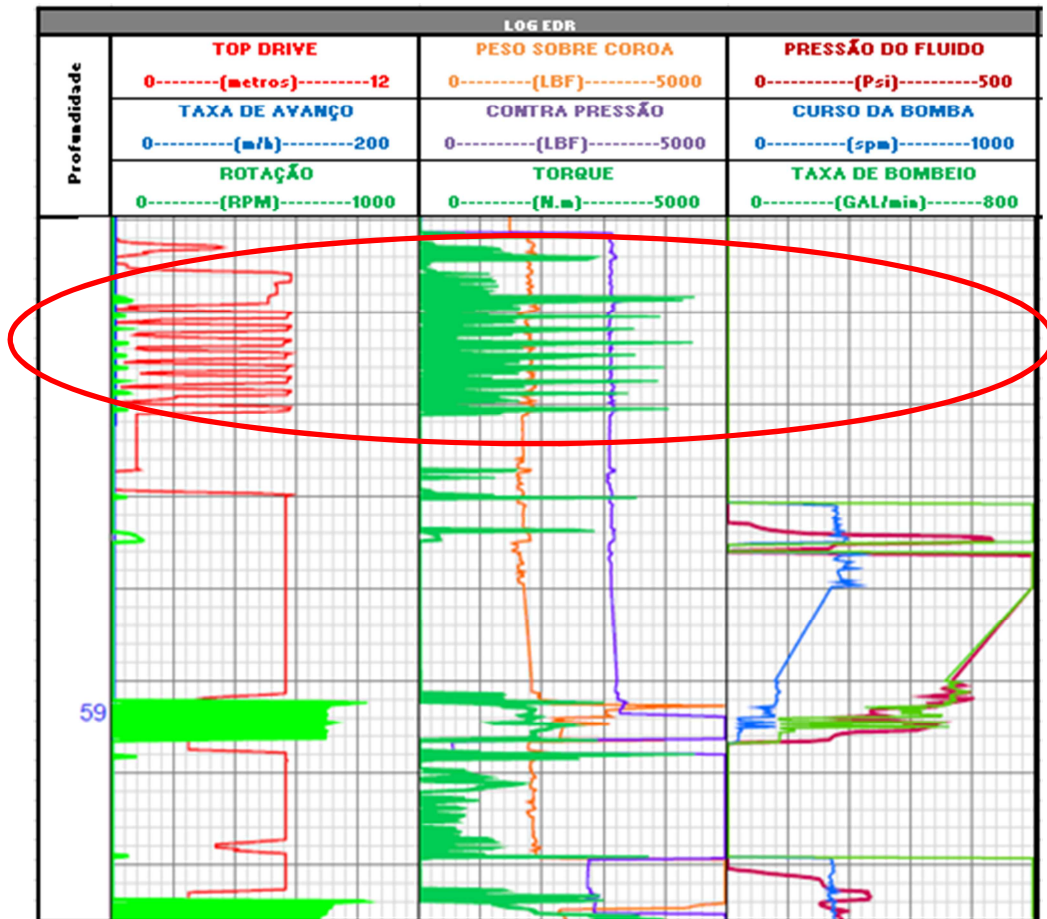


Figura 7.28 - LOG EDR correspondente à correlação B (Fonte: PASON – modificado pelo autor)



O boletim de sondagem (Tabela 7.7) mostra intervalo com baixa taxa de recuperação.

**Tabela 7.7** – Intervalo do boletim de sondagem correspondente à correlação B (Fonte: Planilha de coleta de dados de sondagem – Geosol – modificado pelo autor)

Profundidade		Avanço	Metros	Recuperação	
De	Até				%
57,30	57,85	0,55	0,10		18%
57,85	59,35	1,50	1,30		87%
59,35	61,10	1,75	1,75		100%
61,10	63,00	1,90	1,55		82%

A caixa de testemunhos (Figura 7.29) evidencia, além de perda de recuperação, intervalos com material misturado.



**Figura 7.29** – Caixas de testemunhos evidenciando intervalos com material misturado. Referente à correlação B (Fonte: acervo Vale / geóloga Priscila Coelho / modificado pelo autor)



**Comentário:** este tipo de manobra na operação de sondagem sugere a geração de material da parede do furo para aumentar a taxa de recuperação, porém no boletim de sondagem consta atividade relacionada à manutenção preventiva, contudo com o equipamento em funcionamento.

### 7.10.3 – CORRELAÇÃO “C”

INTERVALO	DATA	HORÁRIO
116,45 a 161,50 metros	19/07/2015	1:20 hs às 18:55 hs

O log do EDR (Figura 7.30) mostra todos os parâmetros em funcionamento com exceção da rotação (encostada na margem esquerda do log).

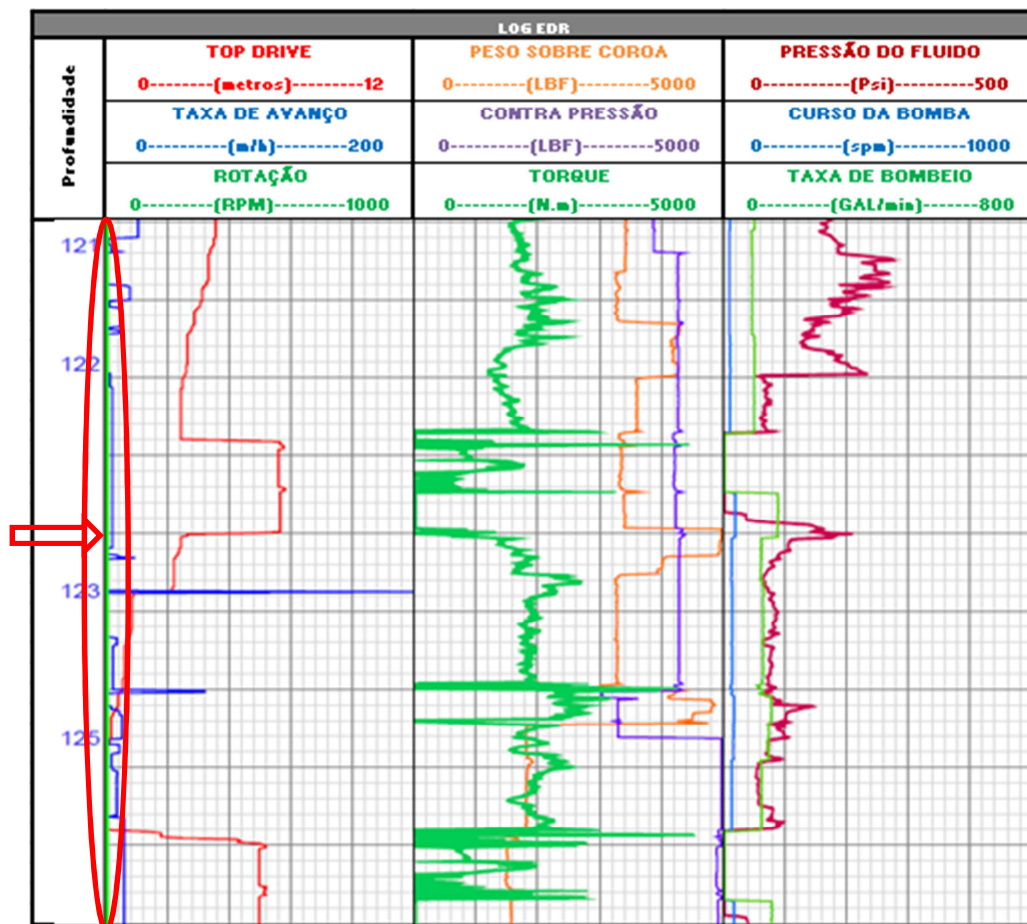


Figura 7.30 - LOG EDR correspondente à correlação C (Fonte: PASON – modificado pelo autor)

A placa de sustentação do sensor de rotação (Figura 7.31) se deslocou para baixo impedindo que o mesmo captasse o sinal do objetivo instalado no mandril da sonda.



**Figura 7.31** – Fotografia evidenciando o sensor de rotação fora da direção do objetivo instalado no mandril da sonda (Fonte: o autor)

**Comentário:** com todos os parâmetros em funcionamento, principalmente com taxa de avanço durante longo período de tempo e intervalo perfurando, conclui-se que o sensor de rotação encontrava-se inoperante. Este problema ocorreu durante período de sacar ferramentas e/ou recorte do furo, evidenciado em outra correlação mais à frente.

#### 7.10.4 – CORRELAÇÃO “D”

INTERVALO	DATA	HORÁRIO
116,45 a 161,50 metros	19/07/2015	1:20 hs às 18:55 hs

No LOG EDR (Figura 7.32) verifica-se inicialmente uma grande rotação, em torno de 1000 rpm, de curto prazo, com alto peso sobre broca, alta pressão do fluido e *top drive* embaixo, seguido de queda brusca na rotação, em torno de 50 rpm, subida do *top drive*, diminuição do torque e do peso sobre a coroa, com alívio da pressão de fluido. Neste

intervalo a taxa de avanço é nula. Observa-se que nos intervalos anteriores existem intercalações de altas e baixas rotações, o mesmo acontecendo com a taxa de avanço, torque e pressão do fluido.

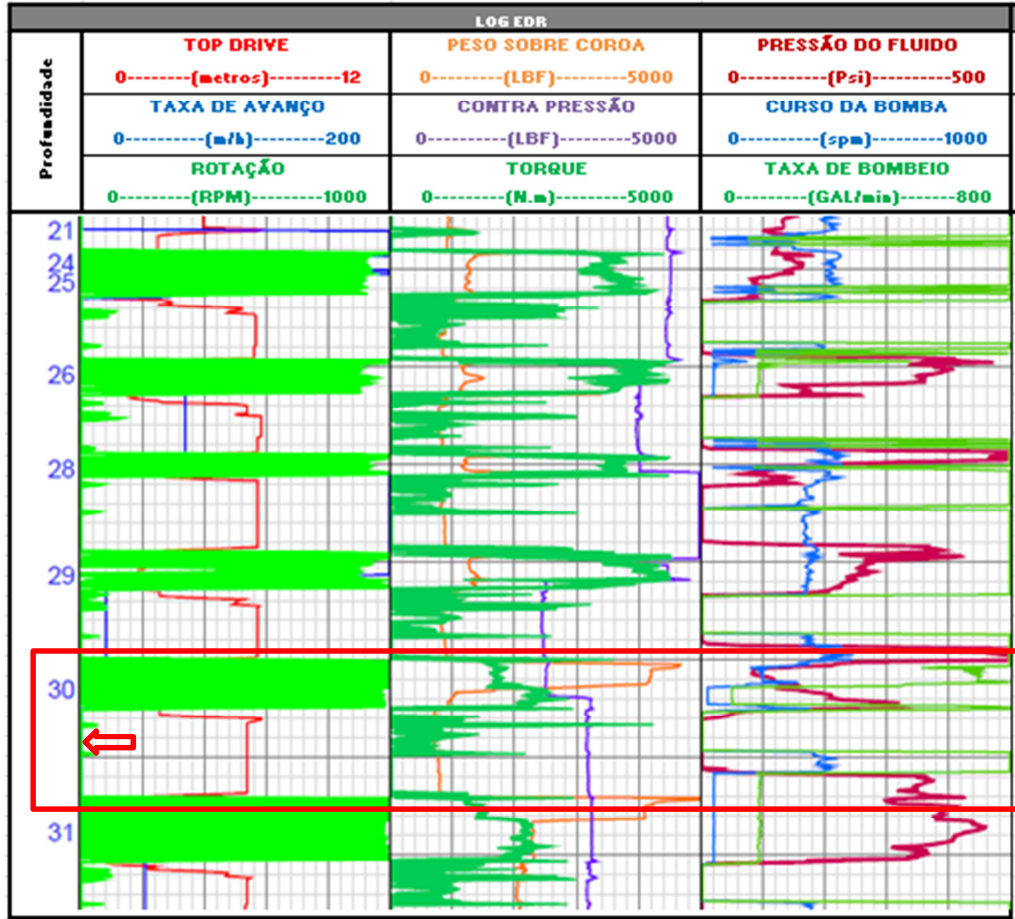


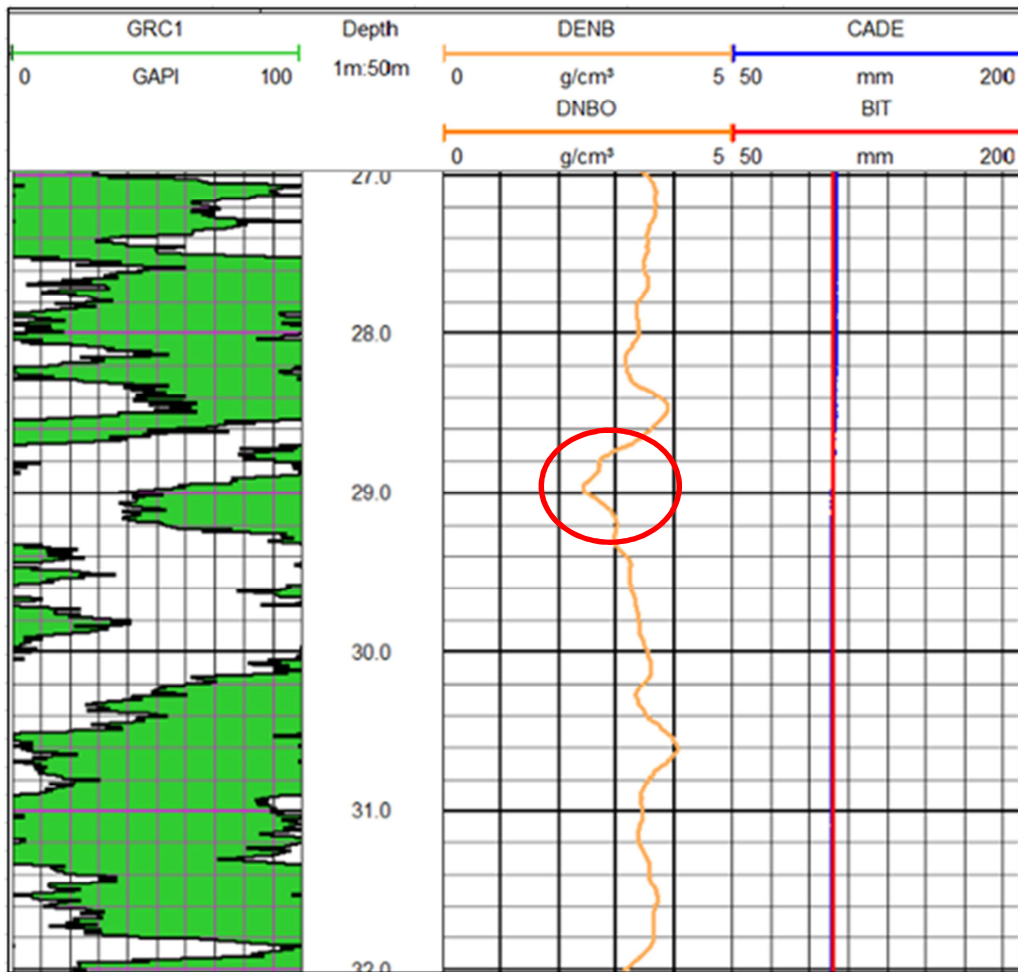
Figura 7.32 – LOG EDR da correlação D (Fonte: PASON – modificado pelo autor)

O Boletim de sondagem (Tabela 7.8) mostra o registro deste intervalo com 1 metro de avanço e taxa de recuperação igual zero.

Tabela 7.8 – Dados do Boletim de Sondagem (Fonte: Geosol – modificado pelo autor)

Profundidade		Avanço	Recuperação	
De	Até		Metros	%
28,30	29,80	1,50	1,20	80%
29,80	30,80	1,00	0,00	0%
30,80	32,30	1,50	1,20	80%

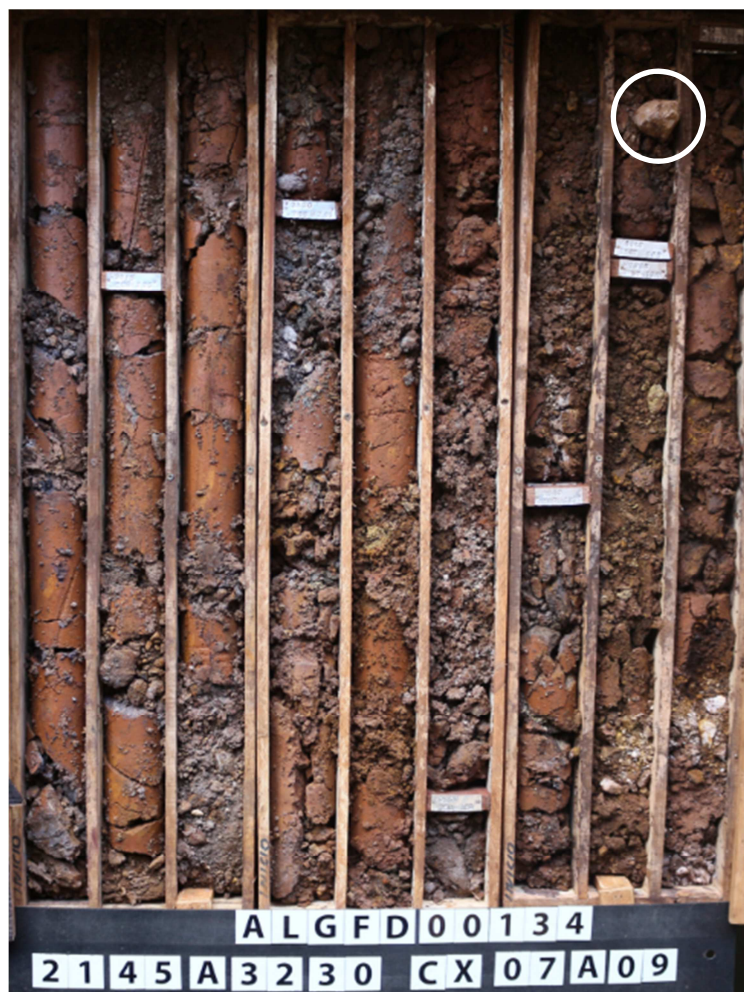
O LOG Geofísico (Figura 7.33) mostra uma queda no perfil de densidade.



**Figura 7.33** – LOG da Perfilagem Geofísica referente à correlação D (Fonte: acervo Vale – Geofísico Wanderson Pereira)

Na caixa de testemunhos pode-se ver que o material das manobras anterior e posterior é muito fraturado contendo fragmentos de veios de quartzo, sendo que na posterior mostra um fragmento roletado pela coroa.





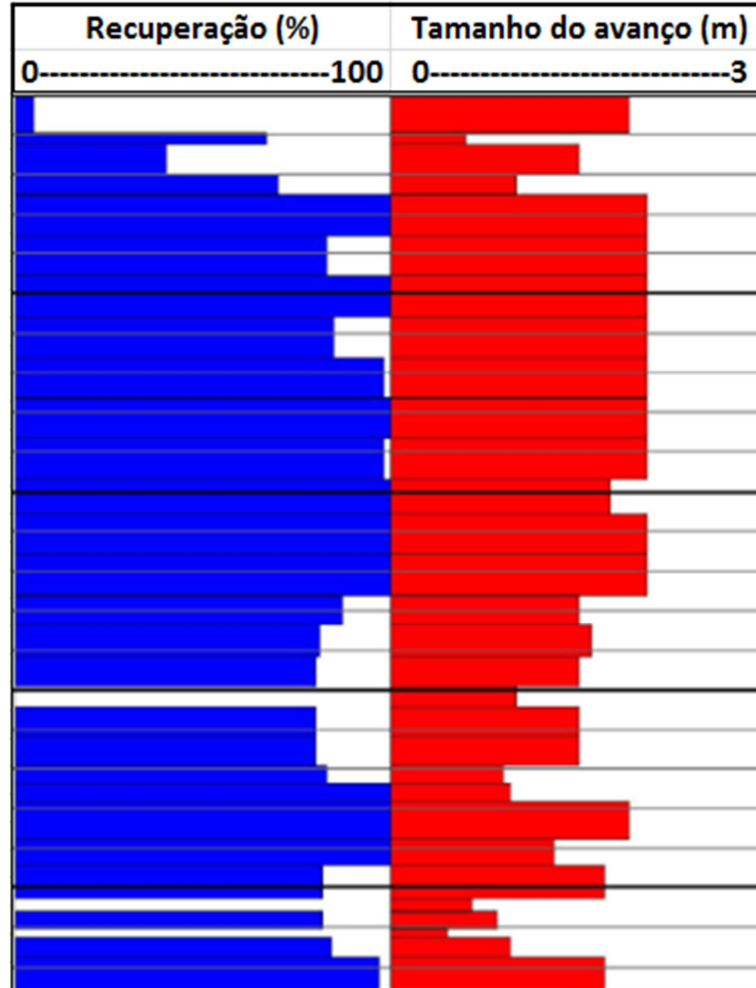
**Figura 7.34** – Caixas de testemunhos de sondagem referente à correlação D (Fonte: acervo Vale – geóloga Priscila Coelho)

**Comentário:** o perfil de densidade indica a ocorrência de uma zona com maior quantidade de quartzo, o que justifica a queda da densidade. O EDR nos mostra taxas de avanço muito altas, em alguns pontos superiores a 200 metros por hora, o que sugere a perda de recuperação no intervalo contendo quartzo fraturado e/ou fragmento de quartzo preso na entrada da coroa. A caixa de testemunhos nos permite visualizar que o fragmento desprende da manobra sem recuperação, caiu no fundo do furo, e foi pescado na manobra seguinte.

#### 7.10.5 – CORRELAÇÃO “E”

INTERVALOS	DATAS	HORÁRIO
Variados	Variadas	Variados

No gráfico abaixo (Figura 7.35), podemos ver altas taxas de recuperação com grandes tamanhos de avanços e também o inverso, baixas recuperações com pequenos tamanhos de avanço.



**Figura 7.35** – Taxa de recuperação versus tamanho do avanço referente à correlação E (Fonte: o autor)

O boletim de sondagem (tabela 7.9) mostra em sequência três tamanhos diferentes de avanço com taxa de recuperação 100%.

**Tabela 7.9** – Dados do boletim de sondagem referentes à correlação E (Fonte: Geosol – modificado pelo autor)

Profundidade		Avanço	Recuperação	
De	Até		Metros	%
34,70	35,65	0,95	0,95	100%
35,65	37,55	1,90	1,90	100%
37,55	38,85	1,30	1,30	100%



No log EDR (Figura 7.36) verificam-se altas rotações e altas pressões de fluido com boa taxa de avanço, em torno de 12 metros por hora.

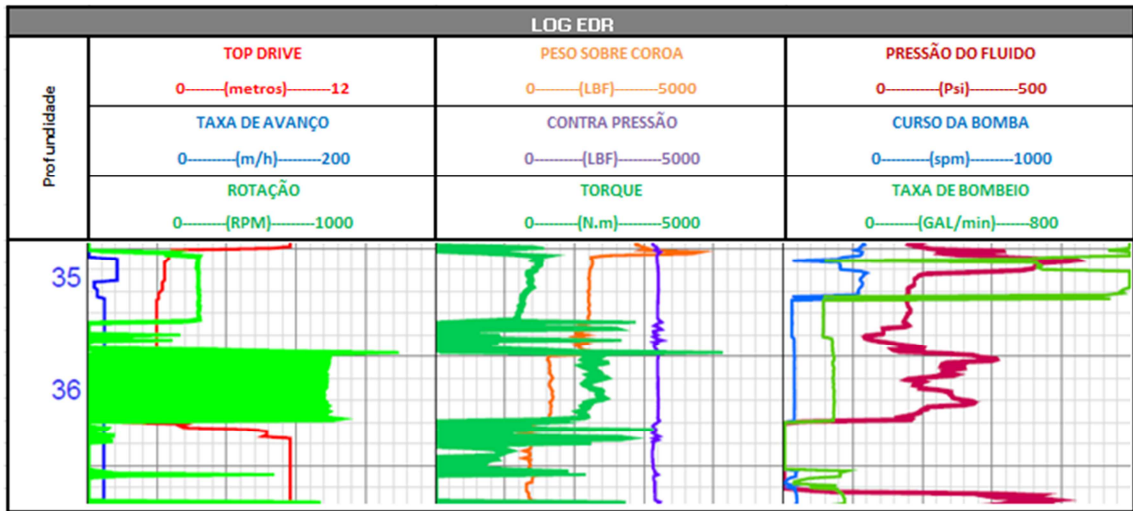


Figura 7.36 – Log EDR referente à correlação E (Fonte: PASON – modificado pelo autor)

Na descrição e classificação geomecânica (tabela 7.10) verifica-se que o intervalo é de rocha macia, altamente alterada e desagregada.

Tabela 7.10 – Descrição e classificação geomecânica referente à correlação E (Fonte: Acervo Vale – modificado pelo autor)

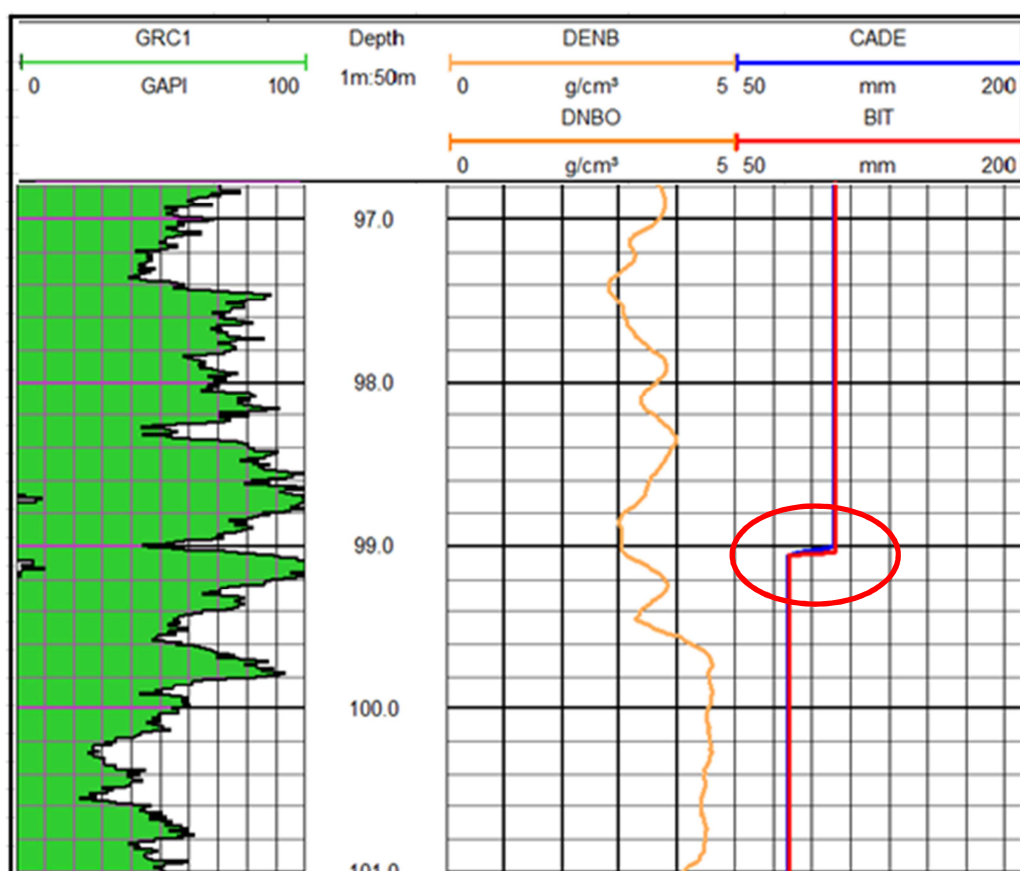
Descrição e Classificação Geomecânica													
De	Até	Rank	Classe	Lito	Grau Consistência	Grau Alteração	Grau Fraturamento	Descontinuidade	Abertura Parede	Alteração Parede	Rugosidade	Preenchimento	% RQD
0,00	9,35	4,00	I	LT	Macia	Solo Residual	Desagregado						0,00
9,35	32,30	4,00	I	IGOF	Macia	Altamente Alterada	Desagregado						0,00
32,30	34,10	5,00	I	VQ	Macia	Levemente Alterada	Desagregado						0,00
34,10	59,45	4,00	I	IGOF	Macia	Altamente Alterada	Desagregado						0,00
59,45	113,95	4,00	I	IF	Macia	Altamente Alterada	Desagregado						0,00
113,95	117,45	36,00	II	HGOC	Macia	Altamente Alterada	Moderadamente Fraturado	Fratura	Moderada	Pouco Alterada	Levemente Rugosa		42,86
117,45	136,60	4,00	I	IF	Macia	Altamente Alterada	Desagregado						0,52
136,60	137,15	46,00	III	HGOC	Dura	Levemente Alterada	Pouco Fraturado	Fratura	Moderada	Pouco Alterada	Levemente Rugosa		90,91
137,15	179,20	4,00	I	IF	Macia	Altamente Alterada	Desagregado						0,48

**Comentário:** diferentemente do que é dito sobre perfuração em minério de ferro friável e/ou desagregado, é possível obter altas taxas de recuperação perfurando com altas rotações e altas taxas e grandes tamanhos de avanço

### 7.10.6 – CORRELAÇÃO “F”

INTERVALOS	DATAS	HORÁRIO
Variados	Variadas	Variados

A perfilagem geofísica mostra através do perfil do *bit size* que o furo teve redução de diâmetro próximo dos 90 metros de profundidade.



**Figura 7.37** – Log da perfilagem geofísica referente à correlação F (Fonte: acervo Vale – geofísico Wanderson Pereira – modificado pelo autor)

O log EDR (Figura 7.38) mostra interrupção na taxa de avanço aos 115,50 metros. Logo em seguida o circuito de bombeamento é fechado com *top drive* subindo e descendo. A contrapressão é superior à pressão sobre coroa.

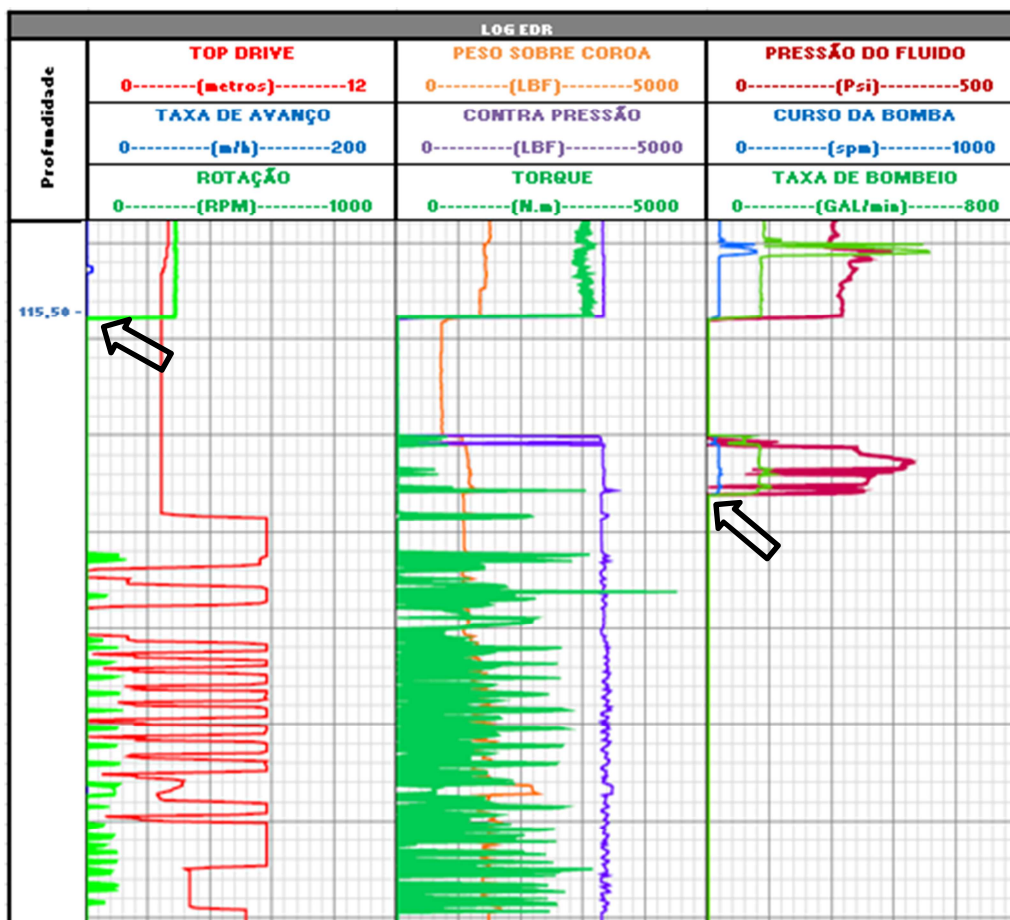


Figura 7.38 – Log EDR referente à correlação F (Fonte: PASON - modificado pelo autor)

O boletim de sondagem (Tabela 7.11) mostra atividades de recortar furo e manutenção corretiva para troca de mordentes e mangueira do alimentador de lama.

Tabela 7.11 – Boletim de sondagem referente à correlação F (Fonte: Geosol – modificado pelo autor)

Profundidade De	Profundidade Até	Avanço	Recuperação Metros	Recuperação %	Atividades X tempo
116,45	116,45	NA	NA	NA	Data: <b>18/07/15</b> De 13:00 às 13:30hs <b>DDS, manutenção preventiva</b> De 13:30 às 15:30hs <b>recortando furo</b> De 15:30 às 16:00hs <b>manutenção corretiva (trocando mordentes e mangueira do alimentador de lama)</b> De 16:00 às 16:30hs <b>falta de ferramental</b> De 16:30 às 17:30hs <b>recortando furo</b> De 17:30 às 18:15hs <b>sacando ferramenta</b> De 18:15 às 18:30hs <b>desviando furo</b> De 18:30 às 20:30hs <b>revestindo furo</b> De 20:30 às 21:00hs <b>abastecendo sonda</b>

O log EDR (Figura 7.39) mostra *top drive* em cima, trabalho de bombeamento interrompido, sem taxa de avanço e sem rotação. A contrapressão superior à pressão sobre coroa.

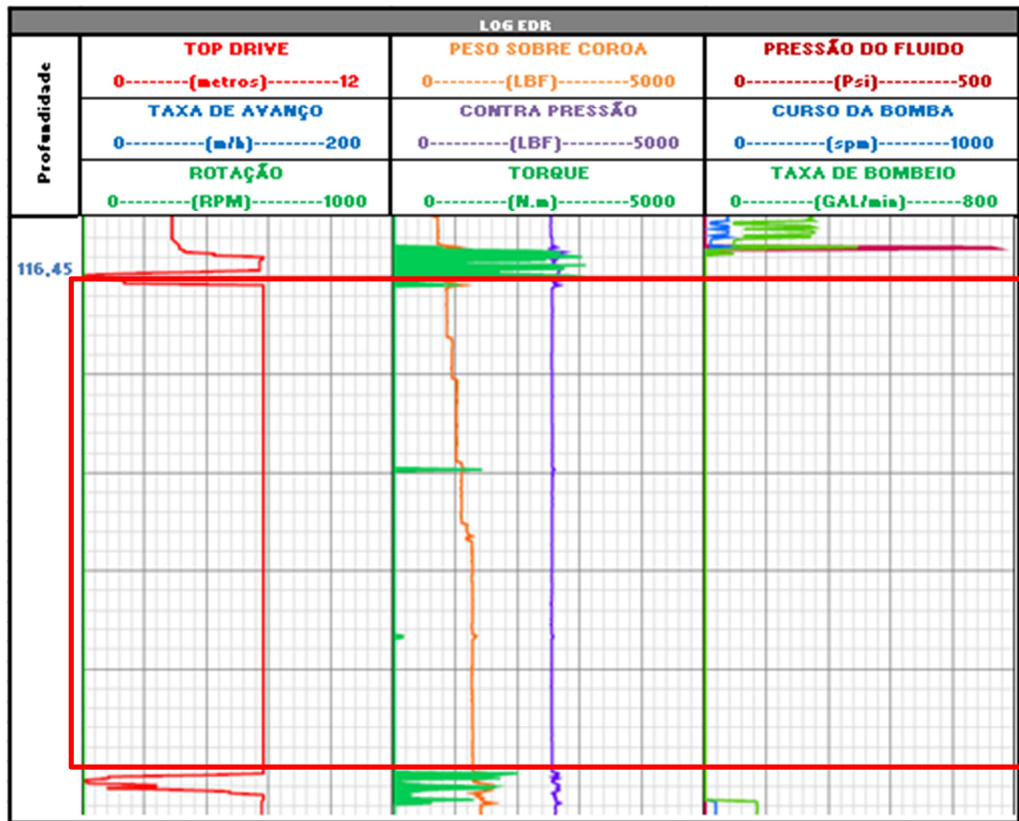


Figura 7.39 – Log EDR referente à correlação F (Fonte: PASON - modificado pelo autor)

O log EDR (Figura 7.40) mostra o retorno do trabalho de bombeamento, pressão sobre coroa maior que a contrapressão e descida do *top drive*. A rotação não aparece, pois neste intervalo o sensor de rotação encontrava-se inoperante.

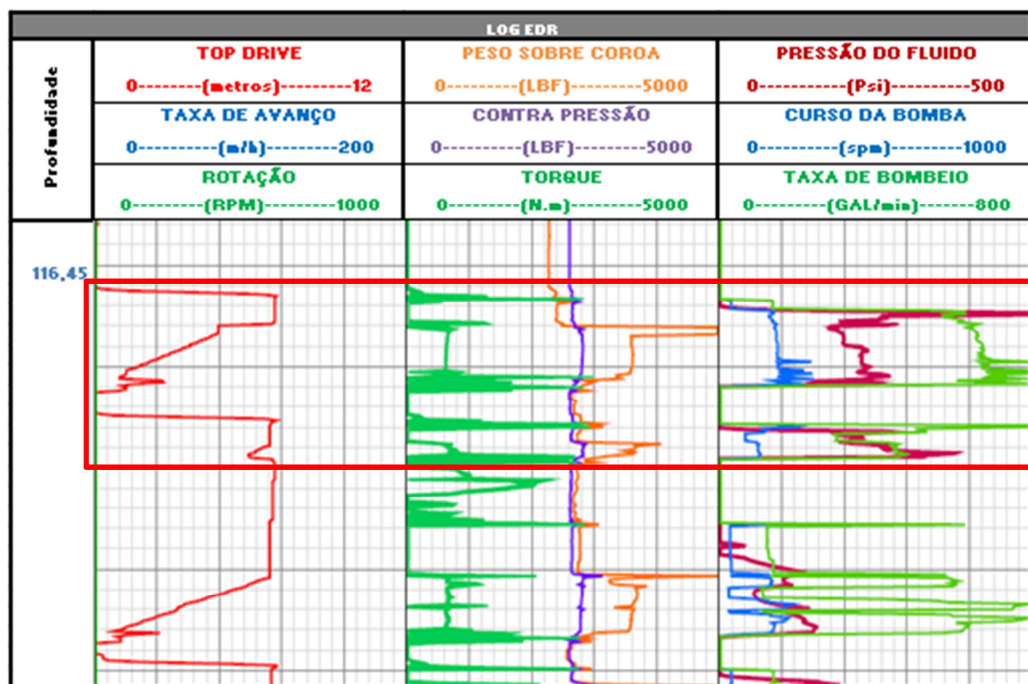


Figura 7.40 – Log EDR referente à correlação F (Fonte: PASON - modificado pelo autor)

**Comentário:** a evidência da redução do diâmetro do furo mostrado no log da perfilagem geofísica foi ratificada pelos logs do EDR mostrando inicialmente a interrupção do avanço, em seguida a operação de sacar ferramentas e recortar o furo para revestimento. Durante esta manobra houve parada para manutenção corretiva, mais especificamente para troca de mordentes e alimentador de lama.

### 7.10.7 – CORRELAÇÃO “G”

INTERVALO	DATA	HORÁRIO
208,75 a 228,20 metros	21/07/2015	1:20 hs às 18:55 hs

A tabela 7.12 de coroas utilizadas na perfuração mostra um desempenho muito ruim da coroa número 2232228-10 da série S-10 com apenas 19,45 metros perfurados que representam apenas 0,08 % da metragem total. Após este baixo desempenho, a coroa foi substituída por outra da série S-11 que perfurou 12,45 metros no furo ALGFD00134 e mais 61,60 metros no furo ALGFD00135, totalizando 94,05 metros.



**Tabela 7.12** – Coroas utilizadas na perfuração referente à correlação G (Fonte: Geosol – modificado pelo autor)

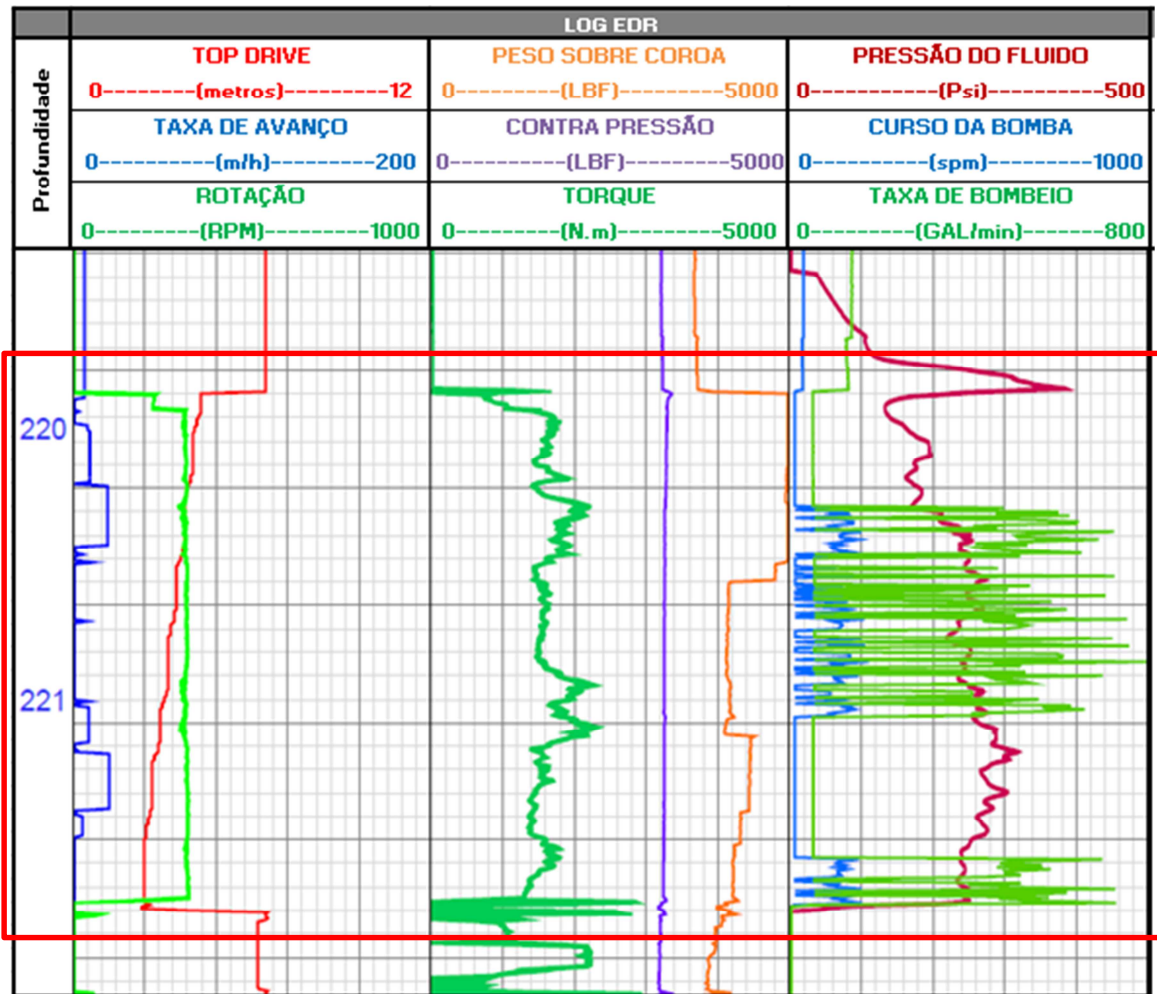
COROAS UTILIZADAS					
TIPO DA PEÇA	NÚMERO	DE	ATÉ	METRAGEM	%
COROA HQ2 EXTRA TURBO IMP. LATERAL (S-10)	2248628-10	0,00	116,45	116,45	0,48
COROA HQ2 EXTRA TURBO IMP. LATERAL (S-10)	2243112-10	116,45	208,75	92,30	0,38
→ COROA HQ2 EXTRA TURBO IMP. LATERAL (S-10)	2232228-10	208,75	228,20	19,45	0,08
→ COROA HQ2 EXTRA TURBO IMP. LATERAL (S-11)	2601217-11	228,20	240,65	12,45	0,05

A tabela 7.13 mostra o como exemplo o impacto de um intervalo com problemas operacionais no resultado final do furo.

**Tabela 7.13** – Contaminação de um intervalo na produtividade referente à correlação G (Fonte: Geosol – modificado pelo autor)

CONTAMINAÇÃO DE INTERVALO COM PROBLEMAS NA PRODUTIVIDADE GLOBAL					
Descrição	Metragem Perfurada (m)	Tempo Gasto (h)	Tempo Gasto (dias)	Taxa de Avanço Média (m/h)	Produtividade (m/sonda/mês)
<b>Furo</b>	240,65	88	3,7	2,7	1049,15
<b>Intervalo</b>	19,45	21	0,9	0,9	355,33
<b>Expurgando o intervalo</b>	<b>240,65</b>	<b>64 ↓</b>	<b>2,7 ↓</b>	<b>3,8 ↑</b>	<b>1457,87 ↑</b>

O log EDR (Figura 7.41) mostra alta rotação, *top drive* embaixo, retorno da taxa de avanço, torque alto e peso excessivo sobre a coroa, com pressão de fluido e taxa de bombeamento bem altas.



**Figura 7.41** – Log EDR referente à correlação G (Fonte: PASON - modificado pelo autor)

Nas caixas de testemunhos (Figura 7.29) pode-se ver a transição do material de friável a semi-compacto e de semi-compacto a compacto.



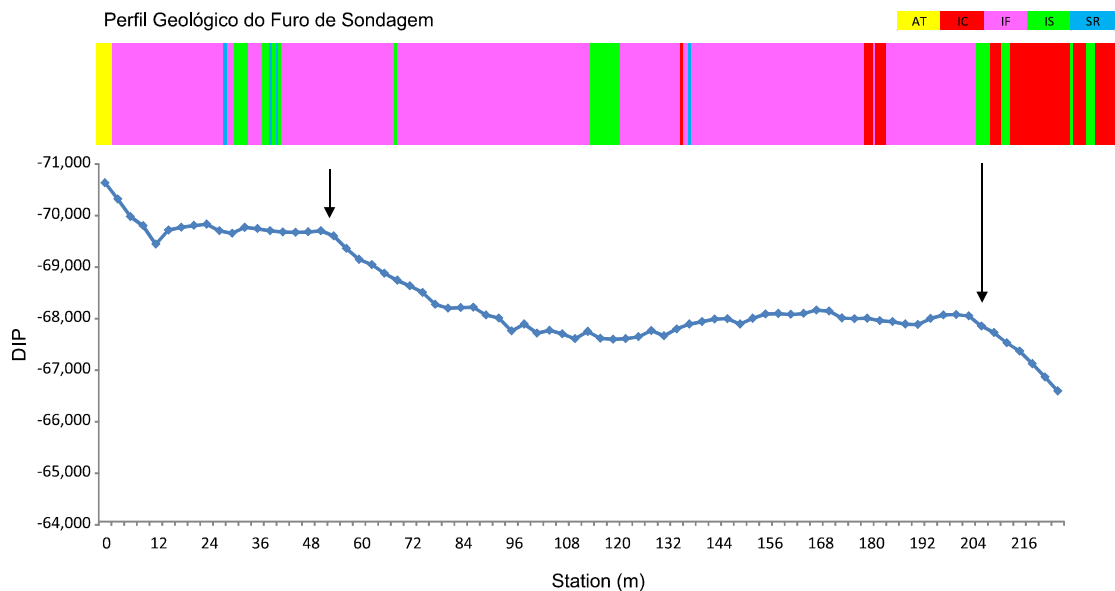
**Figura 7.42** – Caixas de testemunhos referentes à correlação G (Fonte: acervo Vale / geóloga Priscila Coelho)

**Comentário:** a provável causa do baixo desempenho da coroa é a transição de uma formação rochosa mais macia para uma mais dura e fraturada, esta ocorrência pode causar a quebra do material cortante ou o afundamento dos diamantes na matriz. O log EDR mostra o esforço do sondador para tentar atravessar o maciço rochoso, ou seja, aumenta a rotação e descarrega o peso da composição sobre a coroa. Como a pressão do fluido aumenta, é aumentada também a taxa de bombeamento, isto para evitar a falta de lama na base do furo e consequentemente a queima da coroa.

### 7.10.8 – CORRELAÇÃO “H”

INTERVALO	DATA	HORÁRIO
205 a 206 metros	20/07/2015	22:00hs às 22:30hs

O gráfico abaixo (Figura 7.43) mostra que o maior desvio acontece na passagem da rocha friável para rocha compacta.



**Figura 7.43** – Desvio versus litologia referentes à correlação H (Fonte: acervo Vale/Igor Rosa)

O log EDR (Figura 7.44) mostra a interrupção e retorno da taxa de avanço, top drive subindo, contrapressão superior à pressão sobre coroa e trabalho de bombeamento interrompido e logo após, retornado.

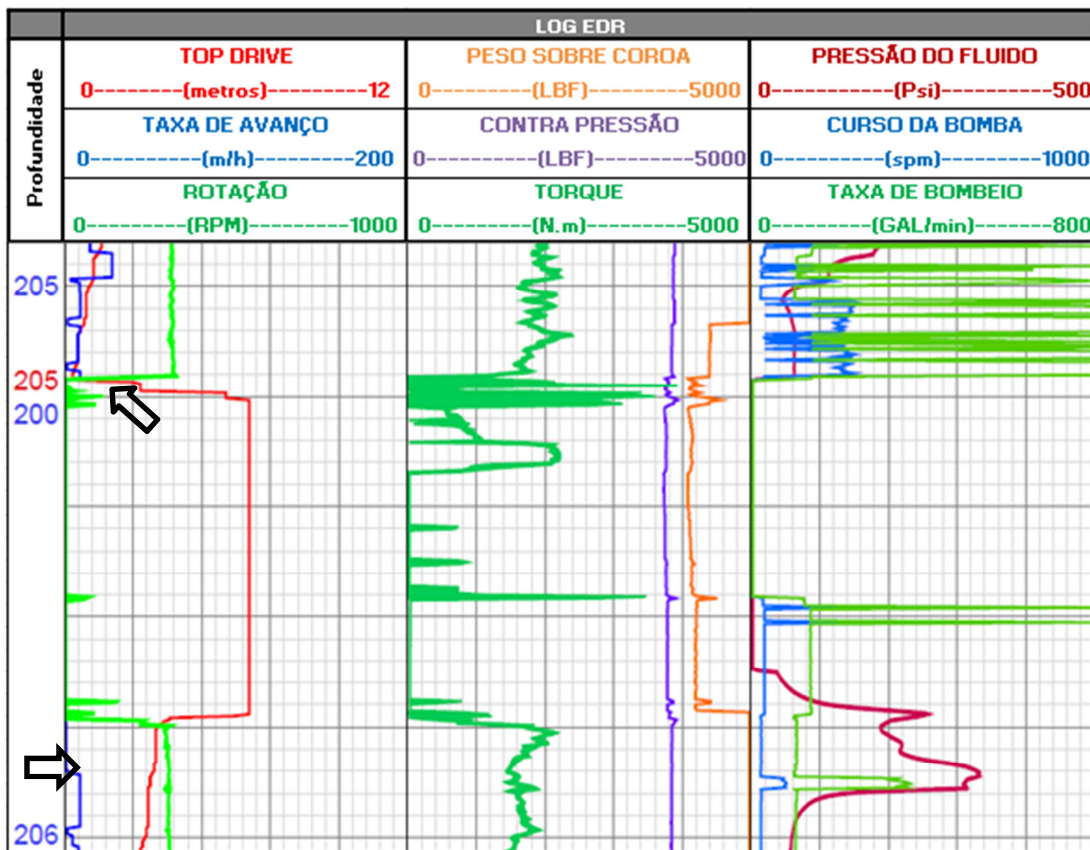


Figura 7.44 – Log EDR referente à correlação H (Fonte: o autor)

**Comentário:** região de transição entre a formação friável e a compacta já começando a interferir na taxa de avanço. Sugere-se o início do desgaste prematuro da coroa.

### 7.10.9 – CORRELAÇÃO “I”

INTERVALO	DATA	HORÁRIO
70,50 metros	17/07/2015	15:30hs

O log EDR (Figura 7.45) mostra pressão de fluido zero.



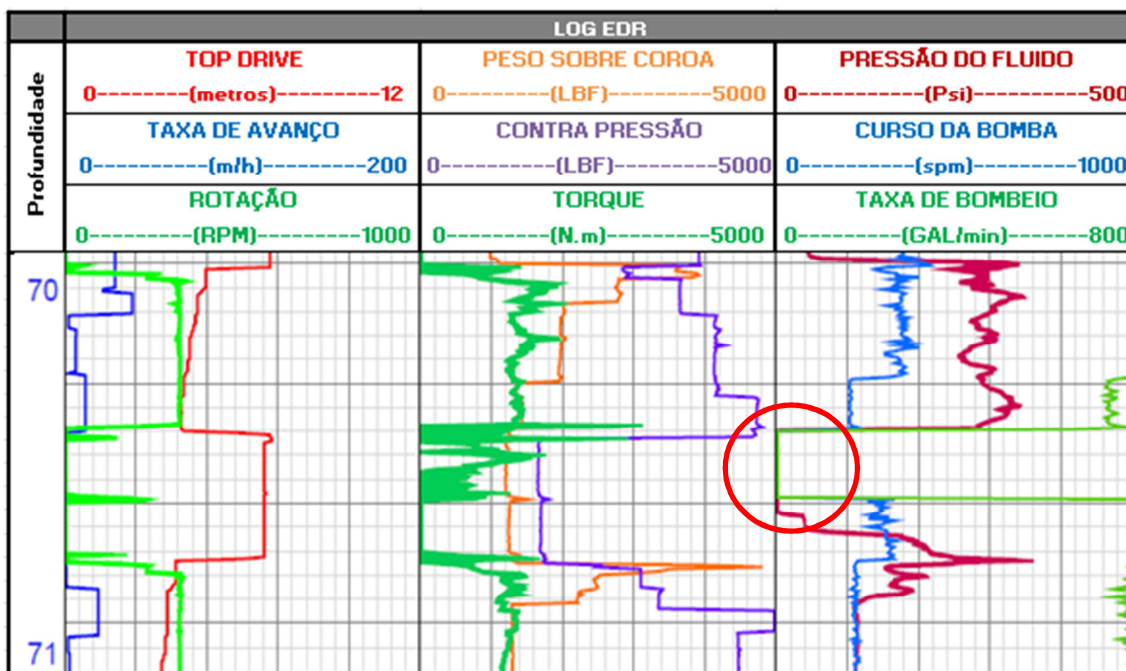


Figura 7.45 – Log EDR referente à correlação I (Fonte: o autor)

O boletim de sondagem (Tabela 7.14) mostra baixa recuperação neste intervalo.

Tabela 7.14 – Boletim de sondagem apontando baixa recuperação. Referente à correlação I

(Fonte: Geosol – modificado pelo autor)

Profundidade		Avanço	Recuperação	
De	Até		Metros	%
68,00	69,00	1,00	1,00	100%
69,00	69,70	0,70	0,55	79%
69,70	70,50	0,80	0,20	25%
70,50	70,95	0,45	0,35	78%
70,95	71,45	0,50	0,45	90%
71,45	73,50	2,05	2,05	100%

A caixa de testemunhos (Figura 7.46) evidencia a transição do testemunho contínuo para material todo fragmentado.



**Figura 7.46** – Caixa de testemunhos mostrando a mudança de material referente à correlação I (Fonte: o autor)

**Comentário:** neste local, devido ao faturamento, houve dificuldade na recuperação do testemunho e também ocasionou da perda do fluido de perfuração e conseqüente falta do retorno.

## Capítulo 8

### 8 – ECONOMIA E SEGURANÇA

#### 8.1 – VIABILIDADE ECONÔMICA

O estudo abaixo (Tabela 8.1) focado na visão da contratante para pagamento mostra que somente o ganho em produtividade, de 7 (sete) para 5 (cinco) dias, incidindo nos custos fixos, refletiria em uma economia de R\$ 13.242,00 no furo ALGFD00134.

**Tabela 8.1** – Estudo de viabilidade econômica – Visão da Contratante para Pagamento (Fonte: o autor)

GANHO ECONÔMICO - VISÃO DA CONTRATANTE PARA PAGAMENTO								
ALG-FD00134 - PERFURAÇÃO								
Avanços	7,11	(H) INCLINADA COMPACTO Faixa de 100,01 a 200 metros						4.130,98
Avanços	21,84	(H) INCLINADA COMPACTO Faixa de 200,01 a 400 metros						13.319,77
Avanços	99,15	(H) INCLINADA DE MAIS LITOLOGIAS Faixa de 0 a 100 metros						39.511,93
Avanços	91,64	(H) INCLINADA DE MAIS LITOLOGIAS Faixa de 100,01 a 200 metros						39.381,37
Avanços	18,11	(H) INCLINADA DE MAIS LITOLOGIAS Faixa de 200,01 a 400 metros						8.158,55
<b>Prod.Paga</b>	<b>237,85</b>							
<b>Prod.real</b>	<b>240,65</b>	<b>RESUMO</b>						<b>R\$ 104.502,60</b>
ALG-FD00134 CUSTOS FIXOS								
Serviços	data início	data fim	dias	qtde	Preço Serviço		R\$ pago	
SANITÁRIO	16/07/2015	23/07/2015	5	0,17	R\$ 2.006,00	R\$	334,33	
TORRE ILUMINAÇÃO	16/07/2015	23/07/2015	5	0,17	R\$ 6.822,00	R\$	1.137,00	
RETRO	16/07/2015	23/07/2015	5	0,17	R\$ 42.739,00	R\$	7.123,17	
PIPA	16/07/2015	23/07/2015	5	0,17	R\$ 27.885,00	R\$	4.647,50	
<b>TOTAL</b>							<b>R\$</b>	<b>13.242,00</b>
ALG-FD00134 CUSTOS VARIÁVEIS								
Serviços	data início	data fim	dias	qtde	Preço Serviço		R\$ pago	
CAIXAS MODULARES	16/07/2015	23/07/2015	7	79	R\$ 50,00	R\$	3.950,00	
TRANSPORTE TESTEMUNHO	16/07/2015	23/07/2015	7	21,17	R\$ 16,00	R\$	338,72	
MUDANÇA DE SONDA	16/07/2015	23/07/2015	7	1	R\$ 2.775,00	R\$	2.775,00	
PERFILAGEM DESVIO	16/07/2015	23/07/2015	7	150	R\$ 48,00	R\$	7.200,00	
HORAS PARADAS PERF.GEOF	16/07/2015	23/07/2015	7	2,66	R\$ 446,00	R\$	1.186,36	
<b>TOTAL</b>							<b>R\$</b>	<b>15.450,08</b>
<b>CUSTO TOTAL DO FURO:</b>		<b>R\$</b>	<b>138.491,48</b>					
<b>GANHO ECONÔMICO:</b>		<b>R\$</b>	<b>13.242,00</b>					
<b>CUSTO DO FURO CONTROLADO:</b>		<b>R\$</b>	<b>125.249,48</b>					

A tabela 8.2, mostra uma economia com mão-de-obra na fiscalização de sondagem de R\$ 8.800,00, isto mantendo a fiscalização da contratante e de segurança.

**Tabela 8.2** – Estudo de viabilidade econômica – Economia com mão-de-obra (Fonte: o autor)

<b>Economia Direta - Fiscalização</b>	
<b>Descrição</b>	<b>Custo*</b>
Fiscalização Diurna - Contratada (inclui equipamentos e materiais)	R\$ 6.363,64
Fiscalização Diurna - Própria (inclui equipamentos e materiais) - Corte Zero	R\$ -
Fiscalização Segurança - Corte Zero	R\$ -
Fiscalização de Sondagem (Supervisor - GS)	R\$ 2.436,36
<b>GANHO ECONÔMICO:</b>	<b>R\$ 8.800,00</b>

A figura 8.3 mostra uma economia obtida de R\$ 2.768,77 com o consumo de coroas caso o furo tivesse sido controlado.

**Tabela 8.3** – Estudo de viabilidade econômica – Economia com consumo de coroa (Fonte: o autor)

<b>Economia de Ferramental</b>					
<b>Baseado em Desgaste Prematuro de Coroas</b>					
<b>Coroas Utilizadas na Perfuração</b>	<b>Duração (metros)</b>	<b>Custo Unitário</b>	<b>Custo por metro</b>	<b>Média com Controle</b>	<b>Custo com Controle</b>
COROA HQ2 EXTRA TURBO IMP. LATERAL (S-10)	116,45	R\$ 3.588,01	R\$ 30,81	R\$ 35,94	R\$ 11.583,27
COROA HQ2 EXTRA TURBO IMP. LATERAL (S-10)	92,3	R\$ 3.588,01	R\$ 38,87		
COROA HQ2 EXTRA TURBO IMP. LATERAL (S-10)	19,45	R\$ 3.588,01	R\$ 184,47		
COROA HQ2 EXTRA TURBO IMP. LATERAL (S-11)	94,05	R\$ 3.588,01	R\$ 38,15		
<b>TOTAL:</b>	<b>322,25</b>	<b>R\$ 14.352,04</b>			<b>R\$ 11.583,27</b>
<b>GANHO ECONÔMICO:</b>	<b>R\$</b>	<b>2.768,77</b>			
<b>EM PERCENTUAL:</b>	<b>19%</b>				

Somente com os dados das três tabelas acima, permitiu ganho de R\$ 24.810,77 (Tabela 8.4). A falta de acesso aos dados da contratada com os gastos na execução do furo, que certamente representa um valor expressivo, impediu medir esta economia neste estudo. Contudo, em virtude ao ganho na produtividade, pode-se afirmar ganhos em itens, tais como:

- Redução com consumo de combustível;
- Redução com transporte;
- Redução com folha de pagamento;
- Redução com alimentação;

**Tabela 8.4** – Estudo de viabilidade econômica  
Economia com Produtividade, mão-de-obra e coroas (Fonte: o autor).

<b>GANHO EM PRODUTIVIDADE:</b>	<b>R\$ 13.242,00</b>
<b>GANHO EM MÃO-DE-OBRA:</b>	<b>R\$ 8.800,00</b>
<b>GANHO EM COROAS:</b>	<b>R\$ 2.768,77</b>
<b>TOTAL:</b>	<b>R\$ 24.810,77</b>

A tabela 8.5 mostra os custos com implantação do sistema EDR, perfazendo um total de R\$ 27.840 para cada sonda. Ressalta a cotação do dólar em alta, portanto a relação com os custos atuais que já é atraente, poderá se tornar mais interessante ainda.

**Tabela 8.5** – Estudo de viabilidade econômica – Custo de Implantação do EDR (Fonte: o autor).

<b>VIABILIDADE ECONÔMICA</b>	
<b>Implantação do Sistema EDR</b>	
<b>Descrição</b>	<b>Custo*</b>
EDR (Registrador Eletrônico de Perfuração) - <i>Work Station</i>	R\$ 15.540,00
<i>SIDEKICK</i> (Painel instalado no <i>Choke Panel</i> )	R\$ 5.550,00
<i>VSAT</i> (Comunicação por satélite tecnologia TDMA)	R\$ 1.200,00
<i>LVR</i> (Transmissão e visualização de dados em tempo real)	R\$ 5.550,00
Analizador de fluido de perfuração	R\$ -
Mobilização, instalação dos sistemas e treinamento de 10 dias**	R\$ 3.500,00
<b>No primeiro mês - Total:</b>	<b>R\$ 31.340,00</b>
<b>**A partir do segundo mês - Total:</b>	<b>R\$ 27.840,00</b>
* Valor do dólar utilizado: R\$ 3,70	

Apenas a título de exemplo, a tabela 8.6 mostra uma economia na ordem de R\$ 800.000,00 numa campanha de sondagem de 100.000 metros apenas com consumo de coroas.

**Tabela 8.6** – Estudo de viabilidade econômica. Economia com coroas numa campanha de sondagem (Fonte: o autor).

<b>ECONOMIA COM COROA EM UM FURO:</b>	<b>R\$ 2.768,77</b>
<b>ECONOMIA EM 100.000 METROS:</b>	<b>R\$ 859.198,53</b>



## 8.2 – ASSOCIAÇÃO DO EDR COM SISTEMA DE SEGURANÇA

Sugere-se como complemento ao sistema EDR a implantação de um sistema de filmagem (Figura 8.1) para melhor controle e acompanhamento não só da operação de sondagem, mas principalmente dos itens relacionados à segurança, que são prioritários a Vale. Este sistema permitirá, assim como na operação do EDR, o monitoramento à distância (Figura 8.2) voltado para utilização dos EPIs, atos inseguros, condições inseguras e outros, ou seja, o sistema será mais uma ferramenta de prevenção de acidentes e valorização da vida.



**Figura 8.1** - Câmera de filmagem móvel de longo alcance (Fonte: o autor)



Figura 8.2 - Painel de visualização do sistema de filmagem (Fonte: o autor)

### 9 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

#### 9.1 – CONCLUSÕES

- A implantação do sistema EDR para controle dos parâmetros operacionais será de grande valia no acompanhamento da sondagem rotativa diamantada, visto que, propiciará ganho econômico, operacional, em qualidade e segurança;
- A eficácia do sistema, por se tratar de inovação e mudança de cultura na sondagem rotativa diamantada, dependerá de um período para amadurecimento, treinamentos e envolvimento dos usuários;
- Com a quantidade de informações, obtidas somente de um furo, ainda não será possível definir um PRO (“Furo de Correlação”) para os profissionais envolvidos na sondagem, mas será possível, através de um banco de dados de um determinado alvo com a evolução do monitoramento;
- O sistema permite acompanhar e monitorar a perfuração, inclusive enviar instruções para o sondador em tempo real;
- O sistema permite a interpretação através do monitor, de qual operação o sondador faz no momento (furando, manobrando, destrancando, embuchando, parado, etc);
- Diminuirá significativamente a necessidade de fiscalização no campo, propiciando ganhos em economia e exposição ao risco, pois a grande parte da fiscalização poderá ser feita à distância;
- Possibilidade de substituição do Boletim de Sondagem atual por um boletim eletrônico, mais consistente, que sairá diretamente do EDR;

- A composição de fluido de perfuração, adequada ao tipo de formação rochosa, permite alterações dos parâmetros operacionais, por exemplo, alta rotação em rocha friável;
- Um pequeno problema operacional sem ser controlado pode comprometer muito o resultado global do furo;
- O sistema fornece dados que auxiliam na gestão da equipe;
- Os dados mostram que a produção (taxa de avanço) foi privilegiada em detrimento à recuperação, respeitando o limite para pagamento total (>80%);
- As correlações entre as ferramentas utilizadas validam os resultados da perfuração;
- Por se tratar de projeto piloto (duração de curto prazo), o cabeamento e sensores utilizados no sistema ficaram vulneráveis a rompimentos e desconexões, devido ao atrito com outros objetos e componentes da sonda;
- A implantação do sistema EDR trará ganhos na gestão da sondagem para a contratante, como também para a executora;

## **9.2 - RECOMENDAÇÕES**

- Implantação do sistema EDR em todas as sondas, inclusive com a funcionalidade de instrumentação com o “analisador do fluido de perfuração”, acompanhado de treinamentos para operadores, fiscais de sondagem, geólogos e equipe da contratante que faz a gestão da sondagem;
- Implantação de uma sala de controle para gestão da operação de sondagem;
- Construção de módulo compacto e exclusivo para alimentação de energia elétrica do sistema EDR, independente do sistema da sonda, além de proteção mais robusta do cabeamento e sensores;

- Substituição do Boletim de Sondagem atual por um boletim eletrônico que sairia automaticamente do EDR;
- Em paralelo ao EDR, que não objetiva monitorar situações de risco e atos inseguros, sugere-se, como complemento, a implantação de um sistema de filmagem, para monitoramento de segurança e 5S;
- Embora este estudo tenha mostrado ganhos consideráveis, é necessário um acompanhamento num prazo mais extenso para confirmação e otimização dos valores;
- Por se tratar de uma atividade carente de estudos específicos, sugere-se mais estudos neste assunto, que certamente proporcionarão além de ganhos científicos, avanços tecnológicos e redução de custos.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. F. M. (1977). *O Cráton de São Francisco*. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, 7(4): 349-364.

ALMEIDA, F. F. M.; HASSUY, Y. (1984). *O Precambriano do Brasil*. São Paulo. Edgard Blücher. 542p.

ALMEIDA, F. F. M. (1981). *O Cráton do Paramirim e suas relações com o do São Francisco*. In: SBG, Simp. sobre o Cráton do São Francisco e suas Faixas Marginais. Salvador. Anais. p. 1-10.

ALMEIDA, N.D. (2013). *Nota de Aula – Disciplina Técnicas de Perfuração – GTA 770*. Belo Horizonte – MG: UFOP - NUGEO, 2012.

ALMEIDA, T. (2011). *A perfilagem geofísica gama-gama em depósito de ferro do Quadrilátero Ferrífero – Uma ferramenta para medição de densidade de rochas*. s.l.: Dissertação de Mestrado, PPGEM / UFRS, 2011.

ALMEIDA, T.; BRAGA, M. A. S.; SILVA, J. C.; SALVADORETTI, P.; WEBBER, T.; COSTA, J. F. C. L.. (2008). *Estimativa de densidades a partir de perfilagem geofísica efetuada em furos de sondagem em jazidas de ferro da Companhia Vale do Rio Doce – Minas Gerais*. V Congresso Brasileiro de Mina a Céu Aberto & V Congresso Brasileiro de Mina Subterrâneo, IBRAM, 16p.

ALVES, M. L. P. (2015). *A Influência do Monitoramento do Fluido de Perfuração e dos parâmetros de perfuração na eficiência da Sondagem de Minério de Ferro* – Um Estudo de caso. Dissertação de Mestrado, NUGEO – UFOP, Ouro Preto – MG.

ASSIS, L. M. (2012). PRO de Amostragem - *Procedimento Operacional para Plano de Amostragem de Sondagem Rotativa Diamantada*. (Documento interno VALE).

BIENIAWSKI, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*. Wiley: New York.

CARNEIRO, M. A. (2009). *Fundamentos de Geologia*. São Paulo: CENGAGE LEARNING, 2009.p.67.

CARRASQUILLA, A. G. (2013). *Perfilagem de Poços – GTA 760*. Belo Horizonte – MG: UFOP/NUGEO, 2012.

CHIOSSI, N. J. (1971). *Geologia Aplicada à Engenharia*. São Paulo: D. L. P, 1971.

DERBY, O. A. (1881). *Observações sobre algumas rochas diamantíferas da Província de Minas Gerais*. Rio de Janeiro. Arc. Museu. Nac., v. IV. p. 121-132.

DERBY, O. A. (1906). *The Serra do Espinhaço, Brazil*. Journ. Geol., v. 14 p. 374-401.

DIAS, A. G. (2015) *Tipos Litológicos* – Complexo Mariana - Mina de Alegria. (Documento interno VALE).

DORR, J. V. N. II. (1969). *Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*. USGS/DNPM. Professional Paper 641-A. 110p.

DORR, J. V. N. (1959). *Esboço Geológico do Quadrilátero Ferrífero de MG*. In: DNPM-USGS. Publicação Especial 1.

EMERSON, P. (2015). *Monitoring While Drilling*. EMD – Moore Drilling Ltd.

ESCHWEGE, W.L. V. (1822). *Geognostisches Gemälde von Brasilien und wahrscheinliches Muttergestein der Diamanten*. Berlin. Weimer. 44p.

ESCHWEGE, W.L. V. (1832). *Beitraege zur gebirgskunde Brasiliens*. Berlin. G. Reimer Verlag. 488p.

ESCHWEGE, W.L. V. (1833). *Pluto Brasiliensis*. Berlin. G. Reimer Verlag. 622p.

EUZÉBIO, L.; JESUS, S. O.; PORFIRO, V.; PREZOTTI, F. P. S.; SILVA, P. C.; CARMO, E. M. (2015). *Procedimento operacional para descrição geológica de testemunhos de sondagem rotativa para minério de ferro*. (Documento interno VALE).

GIRÃO, N. G. (2004). *Perfilagem Geofísica*. Hidrolog – Serviços de Perfilagem Ltda.

GORCEIX, C. H. (1881). *Estudo químico e geológico das rochas do centro da Província de Minas Gerais*. Primeira parte: Arredores de Ouro Preto. Annaes Escola de Minas de Ouro Preto, 1. p. 1-14.

GORCEIX, C. H. (1884). *Bacia Terciária d'água doce nos arredores de Ouro Preto*. (Gandarella e Fonseca). Annaes Escola de Minas de Ouro Preto, 3. p. 75-92.

GUERRA, G. J. Z. (2011). *Caracterização geomecânica de maciços rochosos intemperizados*. Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UNB, Brasília, Dissertação de Mestrado.

HERMANN, C. (1972). *Manual de Perfuração de Rochas*. Rio de Janeiro – RJ: Polígono, 1972. Vol. 2ª Edição.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. (2011). *Controle tecnológico dos concretos com diferentes densidades empregadas na execução dos blocos de calibração da sonda de perfilagem de raios gama-gama*. (Relatório interno VALE).

LADEIRA, E. A. (1980). *Metallogenesis of gold at the Morro Velho mine and in the Nova Lima district, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. University of Western Ontario, Canadá, Ontario, PhD. Thesis, 272p.

MATIAS, P. (2009). *Curso de Mineração Básica*. s.l.: VALER – Educação Vale, 2009.

MOREIRA, G. M. (2008). PRO de Desvio de Furo. *Controle de Desvio de Trajetória de Furos de Sonda*. (Documento interno Vale).

OLIVEIRA, L. J.; SALVADORETTI, P.; WEBBER, T.; (2007). *Aplicação de perfilagem geofísica em furos de sondagem nos alvos Dois Irmãos e Maquiné* – Cia Vale do Rio Doce/MG. Fundação Luiz Englert, Porto Alegre. (Relatório Interno Vale).

OLIVEIRA, S. J.; UENDRO, D. C.; PARANHOS, G. C.; CARMO, R.; BRAGA, M. A. (2011). *Perfilagem Geofísica gama-gama como ferramenta para auxílio na descrição e interpretação geológica*. 2º Seminário Vale de Geologia do Minério de Ferro e 1º de Espeleologia. Belo Horizonte – MG.

COSTA FILHO, O. G.; ROSA, I. B. C.; KHAOULE, S. S.; ALMEIDA, N. D. *Nota de Aula - Trabalho de Campo - GTA 780*. Belo Horizonte – MG: UFOP - NUGEO, 2012.

PASON – ELECTRONIC DRILLING RECORDER, (2015). *Tecnologia Implementada com Simplicidade* – Catálogo Empresarial.

PEREIRA, E. (2012). *Nota de Aula – Engenharia de Lama – GTA 730*. Belo Horizonte – MG: UFOP - NUGEO, 2012.

PEREIRA, W. R. (2012). *Perfilagem Geofísica. Apresentação em reunião setorial* – VALE/GAEMF, Nova Lima – MG (Relatório interno).

RENGER, F. E.; NOCE, C. M.; ROMANO, A. W.; MACHADO, N. (1994). *Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil*. Geonomos, 2(1): 1-11.

ROSA, I. B. C. (2015). *Avaliação das Trajetórias dos Furos de Sondagem em Maciços Rochosos na Mina de S11D*. Dissertação de Mestrado, NUGEO – UFOP, Ouro Preto – MG.

SANTOS, R.P. (2009). PRO de Geotecnia - *Procedimento Operacional para Descrição Geotécnica de Furos de Sonda*. (Documento interno VALE).

SCHORSCHER, H. D. (1978). *Komatiitos na estrutura greenstone belt da Série Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30. Recife, 1978. Anais .... Recife, SBG. 1, p.292-293.

SOBREIRA, F.; PARIZZI, M. G. (2012). *Nota de Aula – Geologia de Engenharia – GTA 150*. Belo Horizonte – MG: UFOP - NUGEO, 2012.

SOARES, J. A. (2012). *Nota de Aula – Geofísica de Poços – GTA 735*. Belo Horizonte – MG: UFOP - NUGEO, 2012.

TEIXEIRA, W. (2003). *Decifrando a terra*. São Paulo – SP: Editora Nacional, 2003. P. 195. Vol. 2º.

WEBBER, T. (2008). *Estimativa de qualidade de carvão usando krigagem dos indicadores aplicados a dados obtidos por perfilação geofísica*. Dissertação de Mestrado, PPGEM – EE – UFRGS, Porto Alegre (RS), 236 p.

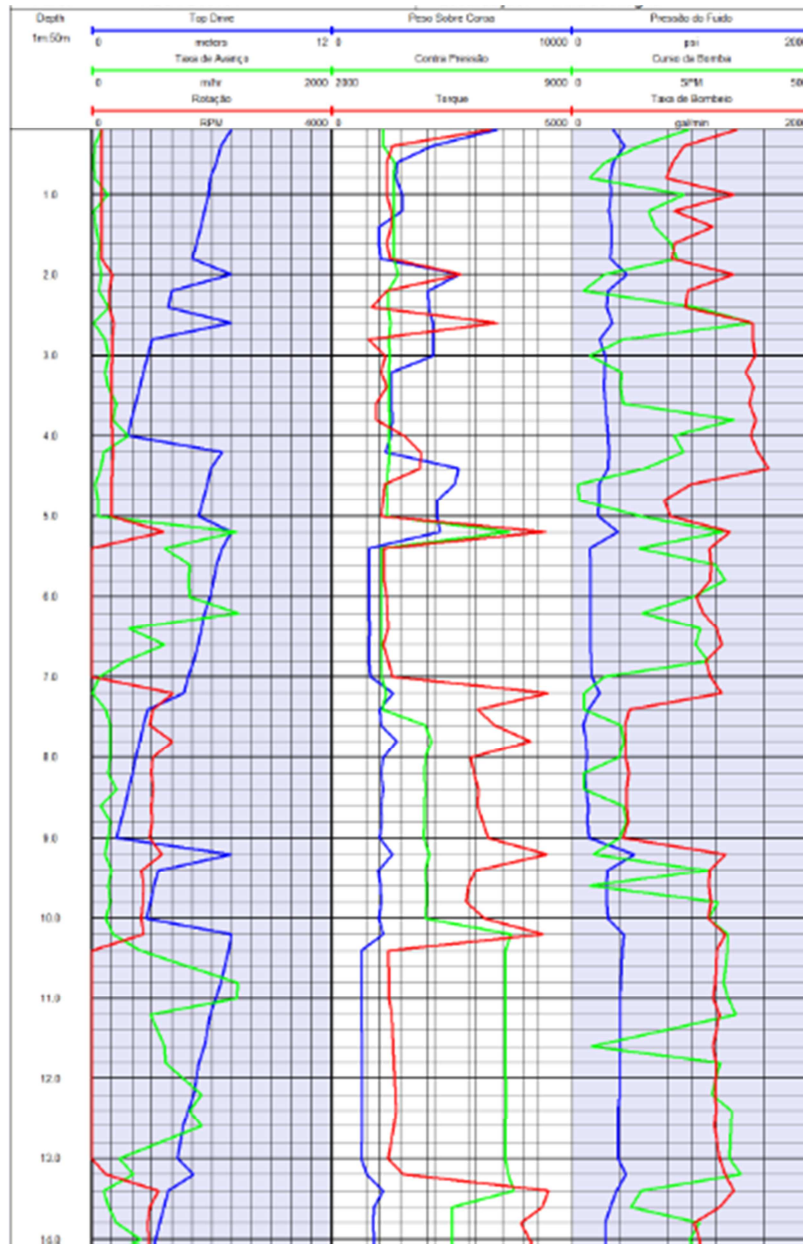
ANEXOS

Anexo I. BOLETIM DE SONDAGEM

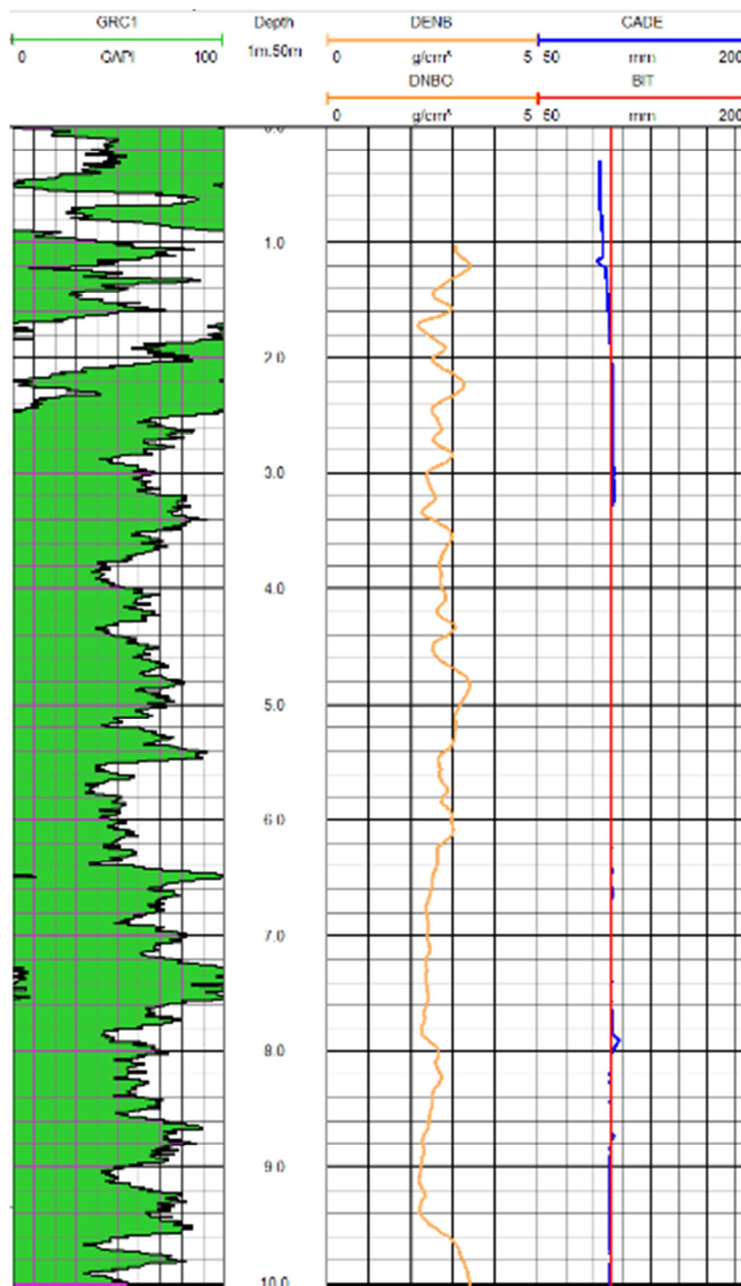
GEOSOL		PLANILHA DE COLETA DE DADOS DE SONDAGEM											
Unidade de Negócio N°: 1542													
SONDA N°: C5-14-528		DIA: 21.04.2015		TURNO: 3º		HOR. INICIAL: 0950		HOR. FINAL: 3958					
CLIENTE: VA 12		LOCAL: M. ALEGRI				FURO N°: 016P00134		INCLINAÇÃO: 70º					
ÁGUA: Caminhão Pipa <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO		Distância de Bombeamento: m				DTM		Distância: Km					
Avanço Acumulado do Furo: 213-60		Recuperado Acumulado do Furo: 198-40				Percentual de Recuperação do Furo: 92%							
PROFUNDIDADE	De	Até	AVANÇO		RECUPERAÇÃO		LITOLOGIA	DIAM.	MÉT.	COROA			N° da Luva
			Metros	%	Metros	%				N°	min	cm/min	
213-60	214-30	0-40	0-40	100	1015(0.20)	402	W.L	2232208	25	2.8	TC114		
214-30	215-10	0-80	0-80	100	1015(0.50)	"	"	5-10 EX	48	1.7	440 EX		
215-10	215-55	0-45	0-45	100	1015(0.20)	"	"	"	39	1.1	"		
215-55	215-95	0-30	0-30	100	1015(0.20)	"	"	"	30	1.0	"		
215-95	216-35	0-80	0-80	100	1015(0.35)	"	"	"	30	1.3	"		
216-35	217-20	0-85	0-85	100	1015(0.35)	"	"	"	40	2.1	"		
217-20	217-35	0-15	0-15	100%	1015(0.10)	"	"	"	10	0.6	"		
217-35													
TOTAL		3-95	3-95	100	Revestimento HW: 101-10	Revestimento NW:							
Avanço Acumulado do Furo: 217-35		Recuperado Acumulado do Furo: 202-15				Percentual de Recuperação do Furo: 93%							
ATIVIDADES	1ª Hora	2ª Hora	3ª Hora	4ª Hora	5ª Hora	6ª Hora	7ª Hora	8ª Hora	CÁLCULO PROF. FINAL TURNO				
	01	02	03	04	05	06	07	08	Tipo	Quant.	Metragem		
102 Transportando sonda									N° Colunas				
103 Instalando praça									N° Hastes				
104 Desmontando praça									Barrilete				
105 DDS ou treinamento									Altura Sonda				
106 Batendo lama / limpando poço									Sobra				
107 Inserindo ferramenta									Profundidade				
108 Injetando lama									CONFERÊNCIA AO MANOBRAR FERRAMENTAL				
109 Perfurando									PROF. BOLETIM =				
110 Sacando ferramenta									Tipo	Quant.	Metragem		
111 Retirando lastiminho									N° Colunas				
112 Pescando camisa									N° Hastes				
113 Inserindo camisa									Barrilete				
114 Revestindo furo									Altura Sonda				
115 Trocando barrilete ou camisa									Sobra				
116 Pescando ferramenta									Profundidade				
117 Cimentando furo									MATERIAIS DE CONSUMO				
118 Recortando furo									Nome	Qtd.			
119 Destrancando furo									OLEO DIESEL (LT)				
120 Lavando furo									BENTONITA (SC)				
121 Desviando furo									CELUTROL (KG)				
122 Linha d'água									SUPERVIS (KG)				
123 Perfurando o furo									CASE LUB (KG)				
124 Instalando piezômetro									SUPERVIS (KG)				
125 Manutenção preventiva									GOMA GEL (KG)				
126 Manutenção corretiva									OLEO SOLUVEL (LT)				
127 Refeição									CAIXAS TESTEMUNHO				
129 Falta de ferramental									GRAXA LUB. (kg)				
130 Falta de materiais									OLEO 40 (LT)				
131 Falta de pessoal									OLEO 68 (LT)				
132 Causas extremas									OLEO 90 (LT)				
133 Cliente									CIMENTO (SC)				
134 Detonação									ADITIVO DE PEGA (LT)				
135 Acidente									INSTALAÇÃO PIEZÔMETRO				
136 Falta d'água									TUBO DE PVC	m			
137 Destruindo furo									CÉLULA DRENANTE	m			
138 Orientando Testemunho									Observações				
139 Abastecendo Sonda													
140 Recortando Cimentação													
141 Aguardando perfuração													
Matrícula: 008833	Sondador: Leirison Fabricio f. Silva												
Matrícula: 008128	Ajudante 1: Thiago												
Matrícula:	Ajudante 2:												
Matrícula:	Supervisor:												
Matrícula:	Gerente:												
Cliente/Fiscal													



## Anexo II. LOG GERADO PELO SISTEMA EDR



### Anexo III. LOG DA PERFILAGEM GEOFÍSICA



## Anexo IV. DESCRIÇÃO GEOLÓGICA



### Descrição Geológica de Testemunhos

Projeto: ALG  
Furo: ALG-FD00134

Geólogo Descritor: Priscila Coelho Silva      Sist. Coordenadas: UTM-23S      Prof. Final: 240,86  
 Data Descrição: 27/07/2015      Coordenada X: 656.428,86      Metr. Avançada: 240,86  
 Emp. Descritora: Vale      Coordenada Y: 7.770.645,81      Metr. Recuperada: 225,56  
 N° de Caixas: 79,00      Cota Z: 1.278,95      Rec. Total (%): 93,73  
 DIP: -70,56      Azimute: 135,00      Metr. Perfurada: 222,00

De (m)	Até (m)	Comp.	Lito	Descrição
0,00	9,35	9,35	Laterita	Material frável, muito hidratado, de cor laranja arroxeado escuro. Composto por: Quartzo, bauxita, limonita e hematita. Porosidade alta, médio, liberação de sílica média, contato inferior gradacional.
9,35	32,30	22,95	Tabirito Goethítico Frável	Material frável, muito hidratado, de cor cinza ocreado escuro, com estrutura bandada. Composto por: Quartzo, hematita, goethita e anfibólio. Porosidade alta, médio, liberação de sílica alta, contato inferior brusco.
32,30	34,10	1,80	Veio de Quartzo	Material semi-compacto, hidratado, de cor branco amarronzado claro. Composto por: Quartzo, argilominerais e hematita. Grau de fraturamento alto, porosidade média, baixo, liberação de sílica baixa, contato inferior brusco.
34,10	59,45	25,35	Tabirito Goethítico Frável	Material frável, muito hidratado, de cor cinza amarronzado escuro. Composto por: Quartzo, goethita, hematita e argilominerais. Porosidade alta, médio, liberação de sílica alta, contato inferior gradacional.
59,45	113,96	54,50	Tabirito Frável	Material frável, muito hidratado, de cor cinza esbranquiçado escuro. Composto por: Quartzo, hematita, argilominerais e goethita. Porosidade alta, médio, liberação de sílica alta, contato inferior gradacional.

## Anexo V. DESCRIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA



**Descrição e Classificação Geomecânica - Sistema**

**VALE**

Projeto: ALG  
Furo: ALG-FD00134

De	Até	Rank	Classe	Lito	Grau Consistência	Grau Alteracao	Grau Fraturamento	Descontinuidade	Abertura Parede	Alteracao Parede	Rugosidade	Preenchimento	% RQD
0,00	9,35	4,00	I	LT	Macia	Solo Residual	Desagregado						0,00
9,35	32,30	4,00	I	I/GOF	Macia	Altamente Alterada	Desagregado						0,00
32,30	34,10	5,00	I	VQ	Macia	Levemente Alterada	Desagregado						0,00
34,10	59,45	4,00	I	I/GOF	Macia	Altamente Alterada	Desagregado						0,00
59,45	113,95	4,00	I	IF	Macia	Altamente Alterada	Desagregado						0,00
113,95	117,45	30,00	II	HGOC	Dura	Levemente Alterada	Moderadamente fraturado	Fratura	Moderada	Pouco Alterada	Levemente rugosa		42,98
117,45	136,60	4,00	I	IF	Macia	Altamente Alterada	Desagregado						0,52
136,60	137,15	46,00	III	HGOC	Dura	Levemente Alterada	Pouco fraturado	Fratura	Moderada	Pouco Alterada	Levemente rugosa		90,91
137,15	179,20	4,00	I	IF	Macia	Altamente Alterada	Desagregado						0,48
179,20	185,15	17,00	I	IC	Média	Moderadamente Alterada	Intensamente fraturado	Bandamento	Moderada	Pouco Alterada	Lisa		14,29
185,15	205,80	4,00	I	IF	Macia	Altamente Alterada	Desagregado						0,00
205,80	228,00	19,00	I	IC	Média	Moderadamente Alterada	Muito fraturado	Bandamento	Pequena	Pouco Alterada	Lisa		22,62
228,00	231,90	15,00	I	IARS	Média Macia	Moderadamente Alterada	Muito fraturado	Bandamento	Pequena	Moderadamente Alterada	Lisa		23,73

Fonte: Banco de dados GOMG

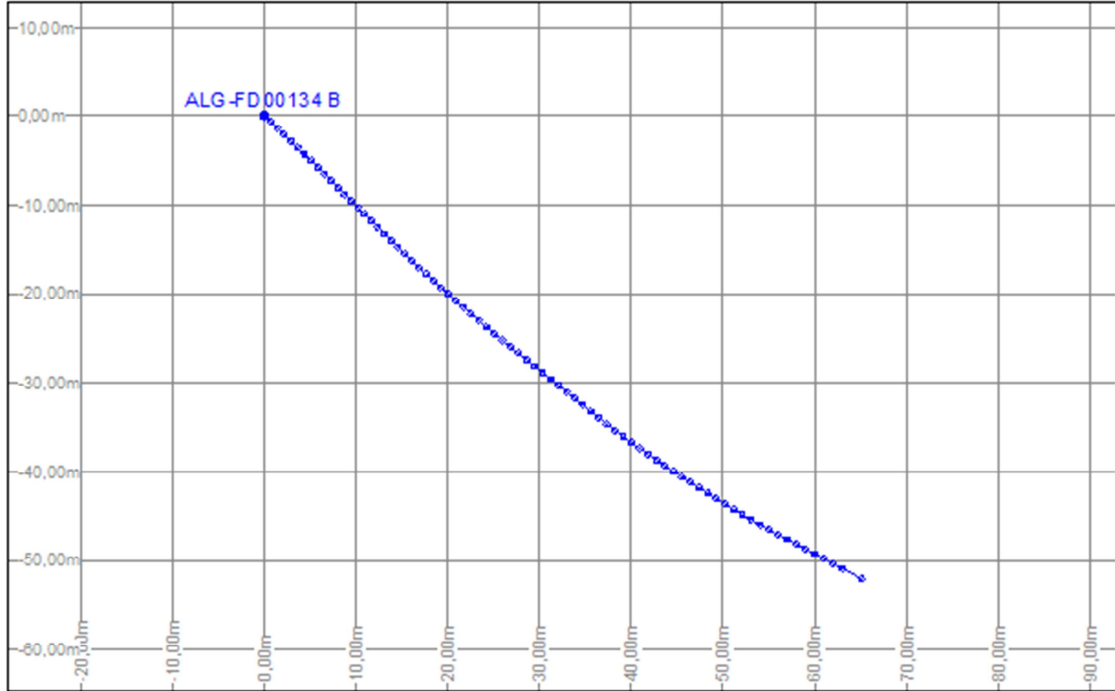
31/07/2015

Página 1 de 2

Hora oficial do Brasil, 180. Horário brasileiro de verão, -60:10.3.6:23:59.2.3.6:23:59

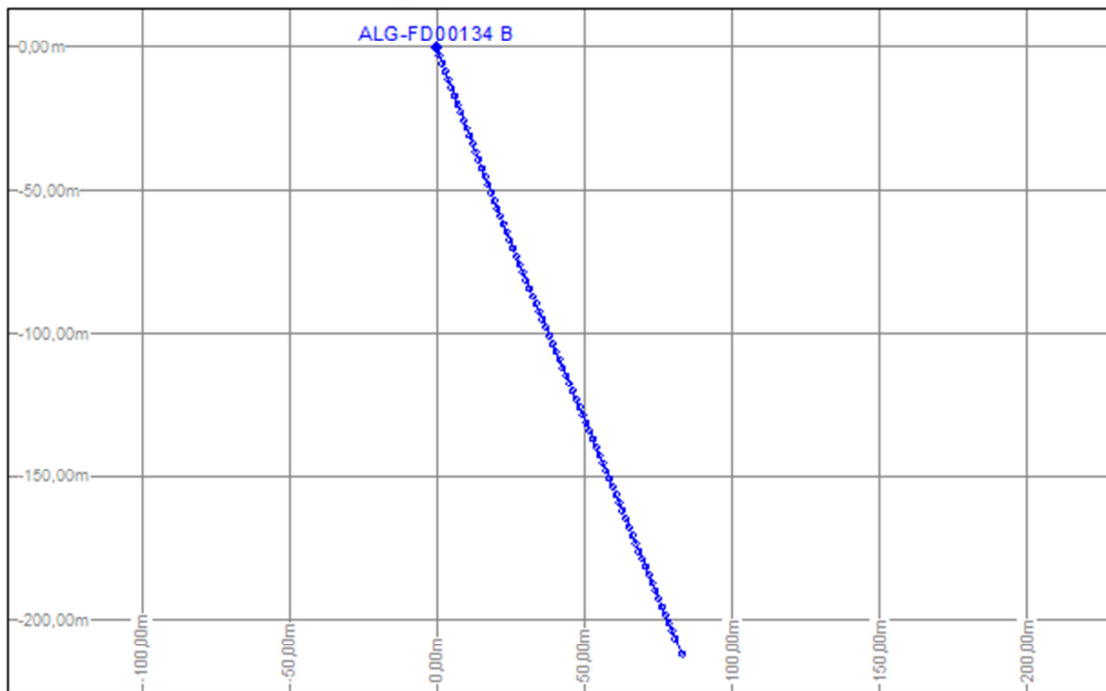
## Anexo VI. MEDIDAS DE DESVIO

Plan view of survey "ALG-FD00134 B"



Scale 1:856,0

"Line of Hole" section of survey "ALG-FD00134 B"



Scale 1:2028

Printed on 25/07/2015 11:47:24



**Anexo VII. FOTOGRAFIA DOS INTERVALOS DESCRITOS**

