



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS
MESTRADO PROFISSIONAL**

JULIANA ESTER MARTINS MOURA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
**EMPILHAMENTO DE REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO: UMA AVALIAÇÃO
DA CONTRATIBILIDADE E SUSCETIBILIDADE A LIQUEFAÇÃO**

**ARAXÁ- MINAS GERAIS
2024**

JULIANA ESTER MARTINS MOURA

**EMPILHAMENTO DE REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO: UMA AVALIAÇÃO
DA CONTRATIBILIDADE E SUSCETIBILIDADE A LIQUEFAÇÃO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Minas do Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas Gerais —
CEFET-MG, Campus Araxá, como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Bomjardim
Porto

ARAXÁ

2024

**ATA DA 35ª DEFESA DE DISSERTAÇÃO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS –
MESTRADO PROFISSIONAL**

Aos 12 (doze) dias do mês de julho do ano de 2024 (dois mil e vinte e quatro), às 18h00min (dezoito horas), através da Plataforma Microsoft TEAMS, foi instalada a Sessão Pública para a Defesa de Dissertação do(a) Mestrando(a) JULIANA ESTER MARTINS MOURA, *sob a forma totalmente remota (Resolução CPPG 08/2020, de 09/07/2020; Resolução CEPE 09/2020, de 17/11/2020)*, sendo a banca examinadora composta pelo(a) Prof. Dr. THIAGO BOMJARDIM PORTO (Presidente) – CEFET- MG, Prof. Dr. Mário Guimarães Júnior (Membro interno) – (CEFET-MG), Prof. Dr. Felipe de Moraes Russo (Membro externo) – VALE, Profa. Me. Andréa Mírian Costa Portes (Membro externo) – VALE, Prof. Me. Marcus Vinícius Lima Dias (Membro externo) – VALE e Profa. Me. Angélica dos Santos Silva (Membro externo) – VALE. Dando início aos trabalhos o Presidente, com base no Regulamento do Programa e nas Normas que regem as Sessões de Defesa de Dissertação, concedeu ao (a) Mestrando(a) **JULIANA ESTER MARTINS MOURA**, até 40 (quarenta) minutos para a apresentação do seu trabalho intitulado “Empilhamento de Rejeito de Minério de Ferro: uma avaliação da contratibilidade e suscetibilidade a liquefação”, na Área de Concentração: *Engenharia de Minas* e Linha de Pesquisa de *Geologia de Engenharia na Mineração*. Terminada a exposição, o Presidente da Banca examinadora passou a arguição do(a) candidato(a) pelos membros da banca examinadora. Dando continuidade, ainda de acordo com as normas que regem a Sessão, o Presidente solicitou aos presentes que se retirassem do recinto para que a banca examinadora procedesse a análise e decisão, anunciando, a seguir publicamente, que o(a) Mestrando(a) foi aprovado (a) com recomendações, por unanimidade. Para constar, foi lavrada a presente ATA que, após aprovada, vai assinada pelos membros da Banca Examinadora e pelo(a) Mestrando(a).

Araxá-MG, 12 de julho de 2024.

Prof. Dr. Thiago Bomjardim Porto
Presidente (CEFET-MG)

Prof. Dr. Felipe de Moraes Russo
Membro externo (VALE)

Prof. Dr. Mário Guimarães Júnior
Membro interno (CEFET-MG)

Profa. Me. Andréa Mírian Costa Portes
Membro externo (VALE)

Prof. Me. Marcus Vinícius Lima Dias
Membro externo (VALE)

Profa. Me. Angélica dos Santos Silva
Membro externo (VALE)

Eng^a. Juliana Ester Martins Moura
Discente



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO Nº 01/2024 - DECMCV (11.59.04)
(Nº do Documento: 1)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 12/07/2024 22:56)

MARIO GUIMARAES JUNIOR

COORDENADOR

PPGEMIN (11.52.17)

Matrícula: ###395#8

(Assinado digitalmente em 12/07/2024 22:39)

THIAGO BOMJARDIM PORTO

PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO

DECMCV (11.59.04)

Matrícula: ###247#0

(Assinado digitalmente em 12/07/2024 23:25)

JULIANA ESTER MARTINS MOURA

DISCENTE

Matrícula: 2022#####4

Visualize o documento original em <https://sig.cefetmg.br/documentos/> informando seu número: **1**, ano: **2024**, tipo:
ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO, data de emissão: **12/07/2024** e o código de verificação: **5840ec136b**

M929e	Moura, Juliana Ester Martins Empilhamento de rejeito de minério de ferro: uma avaliação da contratibilidade e suscetibilidade a liquefação / Juliana Ester Martins Moura . – 2024. 230 f. : il. Orientador: Prof. Thiago Bomjardim Porto. Dissertação (mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Araxá, 2024. Bibliografia. 1.Rejeitos de minérios – Teses. 2. Empilhamento de rejeitos – Teses. 3. Susceptibilidade à liquefação – Teses. I. Porto, Thiago Bomjardim. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. IV. Título. CDU 622'17
-------	---

EMPILHAMENTO DE REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO: UMA AVALIAÇÃO DA CONTRATIBILIDADE E SUSCETIBILIDADE A LIQUEFAÇÃO

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Minas do Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas Gerais —
CEFET-MG, Campus Araxá, como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Engenharia de Minas

JULIANA ESTER MARTINS MOURA

Discente PPGEMIN

THIAGO BOMJARDIM PORTO

Orientador – PPGEMIN

Defesa de Mestrado apresentado em sessão pública em 12 de julho, pela
banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Mário Guimarães Junior (CEFET-MG)

Felipe de Moraes Russo (VALE)

Andréa Mírian Costa Portes (VALE)

Marcus Vinícius Lima Dias (VALE)

Angélica dos Santos Silva (VALE)

Araxá

2024

À Deus e Nossa Senhora pelas benções infinitas. Aos meus pais, cujo amor, orientação e esforço me trouxeram até aqui. Aos meus irmãos, que me inspiraram diariamente. E aos meus amigos, que estiveram ao meu lado em cada passo desta jornada. Dedico este trabalho a todos vocês.

AGRADECIMENTOS

O primeiro agradecimento é para Deus, à Nossa Senhora e à São Bento que sempre estiveram no meu caminho, me dando força para lutar pelos meus sonhos.

À minha Mãezinha, Idalina Martins, que batalhou por tudo isso, pelos ensinamentos, pelo cuidado, por ser minha companheira de jornada, de vida, por ser minha primeira professora, minha primeira gestora, que me fez a guerreira que sou. Por me trazer o sentido da vida no Amor mais puro e eterno entre uma mãe e uma filha!

Ao meu pai, Ivo Moura, que com o tempo pude entender sem julgar, sua história e sua resiliência e sua caminhada nessa vida, sempre incentivando o melhor de nós. Aos meus irmãos, Beatriz e Gabriel, que são constantemente um pilar de apoio e uma fonte diária de incentivo. A certeza de sua presença me dá a confiança de que sempre terei alguém para me apoiar.

Às minhas queridas tias, primas e avôs (Vitália e Pedro), que nos momentos mais desafiadores estiveram ao meu lado, oferecendo apoio e tornando possível a minha jornada até aqui.

Aos meus amigos, com destaque especial para a "Família Mineira", que compartilhou comigo cada etapa da minha trajetória no mestrado e sempre esteve presente quando precisei. Vocês não têm ideia da importância que tiveram nesta conquista. Miguel, Mariana, vocês são parte integrante e especial disso.

À minha orientadora de vida, Angélica dos Santos, que explora o mundo e com todo cuidado mostrar-me um lugar seguro por onde eu possa seguir.

Ao meu coordenador e meus irmãos do coração Marcos e Bia que me ensinam que a bondade e o esforço nos levam à lugares inimagináveis.

Aos meus colegas de trabalho, agradeço a paciência e orientação. À equipe de mestrado do CEFET, professores, orientador e coordenação, pelo trabalho incrível que realizaram.

À todos os profissionais que compõem a minha banca, que são inspiração para mim.

E, finalmente, às inúmeras pessoas que contribuíram para o caminho que estou trilhando, que me apoiaram e ajudaram desde a minha infância. A todos vocês, minha eterna gratidão.

RESUMO

Em resposta aos desastres globais envolvendo barragens de rejeitos, a prática de empilhamento de rejeitos a seco tem sido cada vez mais adotada como uma alternativa a essa forma de disposição. No entanto, este é um tema que ainda carece de normatização adequada em relação à sua construção (diretrizes operacionais) e às geometrias aceitáveis. Portanto, os critérios de projeto, a umidade e o grau de compactação aceitáveis devem ser estabelecidos levando em consideração as características específicas de cada rejeito, que variam de acordo com a área geológica onde a mina está localizada. Este estudo analisou as investigações geotécnicas realizadas em uma pilha de rejeitos de uma mina de ferro no estado de Minas Gerais. A estrutura em questão possuía aproximadamente 26,00 metros de altura de empilhamento de rejeito a seco, seguindo duas diretrizes operacionais distintas, e uma área em planta na ordem de 180.000 m². A primeira diretriz (até a cota 1206,00 m) estabelecia um grau de compactação mínimo de 95%, com um desvio de umidade de $\pm 2\%$, utilizando um trator de esteira (D10) como equipamento de compactação. Já a segunda diretriz requeria um grau de compactação mínimo de 98%, com o mesmo desvio de umidade de $\pm 2\%$, porém, o equipamento de compactação utilizado era um rolo compactador pé de carneiro. Os dados analisados incluíram os controles tecnológicos de compactação e umidade durante a operação da estrutura, realizados através de ensaios do tipo HILF (metodologia de cravação de cilindro). Além disso, foram considerados catorze ensaios de penetração de cone, dez ensaios de sondagem mista, quatro poços de inspeção para coleta de amostras deformadas (para caracterização) e indeformadas (para ensaios especiais), bem como duas amostras do tipo Denison. Em termos gerais, a pesquisa correspondeu ao esperado em relação aos resultados obtidos em relação a resistência de ponta no ensaio penetração de cone e os valores de NSPT (Índice de Resistência à Penetração do Solo) se refletissem na classificação preliminar de susceptibilidade à liquefação. Esta foi uma avaliação importante dos critérios construtivos de compactação, umidade e equipamentos utilizados. Esta pesquisa de avaliação integrada dos dados permitirá orientar futuras avaliações em estruturas de empilhamento de rejeitos.

Palavras-chave: Empilhamento de rejeito, suscetibilidade a liquefação, ensaios.

ABSTRACT

In response to global disasters involving tailings dams, the practice of dry stacking tailings has increasingly been adopted as an alternative disposal method. However, this topic still lacks adequate standardization regarding its construction (operational guidelines) and acceptable geometries. Therefore, design criteria, moisture content, and acceptable compaction degree must be established considering the specific characteristics of each tailing, which vary according to the geological area where the mine is located. This study analyzed geotechnical investigations conducted on a tailings pile from an iron mine in the state of Minas Gerais. The structure in question had approximately 26.00 meters of dry tailings stacking height, following two distinct operational guidelines, and a plan area of around 180,000 m². The first guideline (up to elevation 1206.00 m) established a minimum compaction degree of 95%, with a moisture deviation of $\pm 2\%$, using a bulldozer (D10) as compaction equipment. The second guideline required a minimum compaction degree of 98%, with the same moisture deviation of $\pm 2\%$, but the compaction equipment used was a sheep's foot roller. The analyzed data included technological controls of compaction and moisture during the structure's operation, conducted through HILF tests (cylinder penetration methodology). Additionally, fourteen cone penetration tests, ten mixed drilling tests, four inspection pits for collecting disturbed samples (for characterization) and undisturbed samples (for special tests), as well as two Denison samples, were considered. In general terms, the research met expectations regarding the results obtained in terms of tip resistance in the cone penetration test and the NSPT values (Standard Penetration Test Index) reflected in the preliminary classification of liquefaction susceptibility. This was an important evaluation of the construction criteria for compaction, moisture, and equipment used. This integrated data evaluation research will guide future assessments of tailings stacking structures.

Keywords: Tailings stacking, liquefaction susceptibility, tests.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Comportamento não drenado em areias em ensaios de compressão triaxial. A-Índice de vazios versus Tensão efetiva média. B-Tensão cisalhante versus Tensão efetiva média. C-Tensão cisalhante versus Deformação cisalhante.....	24
Figura 2 – Resultados típicos de ensaios de compressão triaxial não drenados em areias contráteis	25
Figura 3 – Linha de Estado Crítico nos planos p' - q e p' - e	26
Figura 4 – Linha de Estado Crítico no espaço p' – u – q	28
Figura 5 – Curva granulométrica para avaliação de suscetibilidade à liquefação.....	29
Figura 6 – Limites de curva granulométrica para avaliação de suscetibilidade à liquefação.....	30
Figura 7 – Faixa de valores para os casos que sofreram liquefação.....	32
Figura 8 – Limites de curva granulométrica para avaliação de suscetibilidade à liquefapadronizarção.....	34
Figura 9 - Distribuição granulométrica de diferentes tipos de rejeitos de algumas minerações do Quadrilátero Ferrífero	37
Figura 10 – Diferentes tipos de rejeitos, aspectos e tipos de depósitos	44
Figura 11 – Etapas do processo de filtragem	49
Figura 12 – Linha do tempo com histórico de acidentes e publicações de instrumentos legais	50
Figura 13 – Peneiramento do rejeito para adequação de granulometria	52
Figura 14 – Processo de Peneiramento do rejeito	52
Figura 15 – Formação de cones no processo de peneiramento do rejeito	53
Figura 16 – Fluxograma metodológico da pesquisa	61
Figura 17 – Linha do tempo do empilhamento.....	62
Figura 18 – Setorização da área do empilhamento	63
Figura 19 – Imagem aérea da área de empilhamento	64
Figura 20 – Área de geologia da pilha	65
Figura 21 – Principais materiais que compõem a fundação da pilha	66
Figura 22 – Seção em que mostra a fundação da pilha	66

Figura 23 – Trajetória de tensões efetivas das amostras moldadas com grau de compactação de 90%.....	68
Figura 24 – Trajetória de tensões efetivas das amostras moldadas com grau de compactação de 95%.....	68
Figura 25 – Ciclo operacional de empilhamento.....	74
Figura 26 – Metodologia dos ensaios de compactação (método HILF)	75
Figura 28 – Modelo expandido da ficha do ensaio Hilf	76
Figura 28 – Localização dos ensaios CPTU's	77
Figura 29 – Localização das sondagens (SM), poços de inspeção (AI) e amostras tipo Denison (DE)	78
Figura 30 – Perfis de sondagem SM PDR 01, SM PDR 02 e SM PDR 03	81
Figura 31 – Perfis de sondagem SM PDR 04, SM PDR 05 e SM PDR 07	81
Figura 32 – Perfis de sondagem SM PDR 06, SM PDR 08, SM PDR 09 e SM PDR 10	82
Figura 33 – Localização das seções.....	84
Figura 34 – Seção A	85
Figura 35 – Seção B	85
Figura 36 – Seção C	86
Figura 37 – Seção D	86
Figura 38 – Seção E	87
Figura 39 – Gráficos UN CPT 01	88
Figura 40 – Gráficos UN CPT 02	89
Figura 41 – Gráficos UN CPT 03	89
Figura 42 – Gráficos UN CPT 04	90
Figura 43 – Gráficos UN CPT 05	91
Figura 44 – Gráficos UN CPT 06	91
Figura 45 – Gráficos UN CPT 07	92
Figura 46 – Gráficos UN CPT 08	93
Figura 47 – Gráficos UN CPT 09	94
Figura 48 – Resultado da distribuição do comportamento do material segundo a classificação Normalized Soil Behavior Type da primeira diretriz...	95
Figura 49 – Resumo da classificação SBTn da primeira diretriz.....	95

Figura 50 – Gráficos UN CPT 10	97
Figura 51 – Gráficos UN CPT 11	98
Figura 52 – Gráficos UN CPT 12	98
Figura 53 – Gráficos UN CPT 13	99
Figura 54 – Gráficos UN CPT 14	100
Figura 55 – Resultado da distribuição do comportamento do material segundo a classificação Normalized Soil Behavior Type da segunda diretriz	101
Figura 56 – Resumo da classificação SBTn da segunda diretriz	101
Figura 57 – Curvas de compactação derivadas dos ensaios de HILF .	103
Figura 58 – Variação da umidade ótima obtidos pelo ensaio HILF.....	104
Figura 59 – Sequência temporal dos ensaios a respectiva umidade de campo	105
Figura 60 – Dispersão da densidade de campo em relação à sequencialmente nos ensaios	106
Figura 61 – Identificação da fundação e do rejeito	107
Figura 62 – Resistividade da fundação e do rejeito	108
Figura 63 – Locação das sondagens na seção da pilha.....	109
Figura 64 – Histograma de NSPT	110
Figura 65 – Compartimentação da área do empilhamento	111
Figura 66 – Seção A da classificação dos materiais.....	112
Figura 67 – Curva granulométrica	115
Figura 68 – Curva granulométrica com os contornos para os solos	115
Figura 69 – Curva de compactação – Proctor Normal.....	116
Figura 70 – Resultado dos ensaios de adensamento oedométrico inundado	117
Figura 71 – Resultado dos ensaios de adensamento oedométrico inundado em 200KPa.....	117
Figura 72 – Gráficos CIU AI PDR 01	121
Figura 73 – Gráficos CIU AI PDR 02	123
Figura 74 – Gráficos CIU AI PDR 03	124
Figura 75 – Gráficos CIU AI PDR 04	126
Figura 76 – Gráficos CIU DE PDR 02.....	127
Figura 77 – Parâmetros obtidos nos ensaios CIU a partir da regressão linear	130

Figura 78 – Gráficos CIDsat AI PDR 01.....	133
Figura 79 – Gráficos CIDsat AI PDR 02.....	134
Figura 80 – Gráficos CIDsat AI PDR 03.....	136
Figura 81 – Gráficos CIDsat AI PDR 04.....	137
Figura 82 – Gráficos CIDsat DE PDR 01	139
Figura 83 – Gráficos CIDsat DE PDR 02	140
Figura 84 – Parâmetros obtidos nos ensaios CID a partir da regressão linear	142
Figura 85 – Parâmetros obtidos nos ensaios CID a partir da regressão linear	143
Figura 86 – Parâmetros obtidos nos ensaios CID a partir da regressão linear	144
Figura 87 – Parâmetros obtidos nos ensaios CID a partir da regressão linear	145
Figura 88 – Gráficos CID DE PDR 01.....	147
Figura 89 – Gráficos Umidade in situ versus sequência de ensaios....	150
Figura 90 – Gráficos de sondagem mista SM PDR 09 e ensaio de penetração de cone UN CPT 10	151
Figura 91 – Gráficos CIU da amostra AI PDR 04	152
Figura 92 – Gráficos da amostra AI PDR 04.....	155

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Comportamentos possíveis de acordo com a classificação SBTn	33
Tabela 2 –	Resumo dos trabalhos mais recentes sobre o tema da pesquisa	38
Tabela 3 –	Parâmetros de utilização dos equipamentos de compactação	47
Tabela 4 –	Resumo dos ensaios de laboratório	55
Tabela 5 –	Resumo dos ensaios de campo	59
Tabela 6 –	Áreas da divisão dos setores	63
Tabela 7 –	Diretriz operacional 01	70
Tabela 8 –	Equipamentos utilizados na diretriz operacional 01	70
Tabela 9 –	Diretriz operacional 02	71
Tabela 10 –	Equipamentos utilizados na diretriz operacional 02	71
Tabela 11 –	Capacidade x Desempenho do Rolo Compactador Hamm 3411	72
Tabela 12 –	Ficha técnica do Trator de esteira (D10)	72
Tabela 13 –	Lista das investigações realizadas na área do empilhamento	80
Tabela 14 –	Ensaio de laboratório	81
Tabela 15 –	Status das camadas avaliadas pelo método HILF	108
Tabela 16 –	Compacidade dos materiais conforme NBR 6484/2020	111
Tabela 17 –	Compacidade dos materiais da pilha	112
Tabela 18 –	Proporção da compacidade dos materiais no empilhamento	113
Tabela 19 –	Caracterização completa das amostras indeformadas	115
Tabela 20 –	Granulometria das amostras indeformadas	116
Tabela 21 –	Caracterização, Proctor Normal e Permeabilidade das amostras indeformadas	116
Tabela 22 –	Umidade ótima e densidade máxima seca	118
Tabela 23 –	Umidade ótima e densidade máxima seca das amostras AI PDR 01, 02 e 03	120

Tabela 24 –	Umidade ótima e densidade máxima seca das amostras AI PDR 01, 02 e 03	120
Tabela 25 –	Resumo dos principais dados do ensaio AI PDR 01	121
Tabela 26 –	Resumo dos principais dados do ensaio AI PDR 02	122
Tabela 27 –	Resumo dos principais dados do ensaio AI PDR 03	122
Tabela 28 –	Resumo dos principais dados do ensaio AI PDR 04	122
Tabela 29 –	Resumo dos principais dados do ensaio DE PDR 02	122
Tabela 30 –	Resumo dos parâmetros de resistência CIU	131
Tabela 31 –	Resumo dos principais dados do ensaio AI PDR 01	133
Tabela 32 –	Resumo dos principais dados do ensaio AI PDR 02	133
Tabela 33 –	Resumo dos principais dados do ensaio AI PDR 03	133
Tabela 34 –	Resumo dos principais dados do ensaio AI PDR 04	133
Tabela 35 –	Resumo dos principais dados do ensaio DE PDR 01	134
Tabela 36 –	Resumo dos principais dados do ensaio DE PDR 02	134
Tabela 37 –	Resumo dos parâmetros de resistência CID	144
Tabela 38 –	Resumo dos principais dados do ensaio DE PDR 01	148
Tabela 39 –	Resultados dos pontos pelo método HILF	151
Tabela 40 –	Resumo dos dados dos ensaios na amostra AI PDR 04	154
Tabela 41 –	Resumo dos dados dos ensaios na amostra AI PDR 04	156
Tabela 42 –	Resultados de umidade e grau de compactação no ponto analisado	158

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas
IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IP: Índice de Plasticidade
LL: Limite de Liquidez
LP: Limite de Plasticidade
GISTM: Padrão Global da Indústria para a Gestão de Rejeitos
CPT: Cone Penetration Test
SPT: Standard Penetration Test
SM: Sondagem Mista
NSPT: Teste de Penetração Padrão
SBTn: Normalized Soil Behavior Type
c: Coesão
Phi: ângulo de atrito
CCS: Comportamento contrátil – argilas sensíveis
CC: Comportamento contrátil – argilas
CD: Comportamento dilatante – argilas
TC: Comportamento contrátil – transicional
TD: Comportamento dilatante – transicional
SC: Comportamento contrátil – areias
SD: Comportamento dilatante – areias
GC: Grau de compactação no ponto do local de controle
 γ_{sa} : densidade seca no campo;
 γ_{sd} : densidade seca máxima;
 w_u : Desvio de umidade;
W: Teor de umidade do solo compactado no aterro;
 w_{opt} : Umidade ótima
AI: Poços de Inspeção
DE: Amostras indeformadas tipo Denison
Bq: Parâmetro de poropressão
Qtn: Resistência de ponta normalizada
Fr: Razão de atrito normalizada

SUMÁRIO

1.0	INTRODUÇÃO	18
1.1	OBJETIVO GERAL	20
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
1.3	JUSTIFICATIVA	21
1.4	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	22
2.0	REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	22
2.1	MECÂNICA DOS SOLOS	22
2.1.1	Mecânica dos solos dos estados críticos	25
2.1.2	Análise de suscetibilidade à liquefação baseada na distribuição granulométrica	28
2.1.3	Metodologia de Robertson (2016)	30
2.2	REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO	34
2.3	MÉTODOS DE DISPOSIÇÃO DE REJEITO	42
2.3.1	Empilhamento de rejeitos	44
2.3.2	Rejeitos Filtrados	48
2.3.3	Rejeitos Peneirados	51
2.3.4	Controle Tecnológico do empilhamento	53
2.4	ENSAIOS DE LABORATÓRIO	55
2.5	ENSAIOS DE CAMPO	58
3.0	MATERIAIS E MÉTODOS	61
3.1	ESTUDO DE CASO	62
3.1.1	Ciclo operacional de empilhamento	72
3.1.2	Malha de investigação	78
4.0	RESULTADOS	82
4.1	AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DE CAMPO	82
4.1.1	Sondagens mistas	82
4.1.2	Ensaio de penetração de cone in situ	89
4.1.3	Controle Tecnológicos – Ensaio de HILF	104
4.2	MODELAGEM – DISCRETIZAÇÃO DO EMPILHAMENTO	109

4.3	AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DE LABORATÓRIO	114
4.3.1	Caracterização Completa	115
4.3.2	Ensaio Triaxiais	121
4.4	CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE CONJUNTA DOS DADOS	145
4.4.1	Integração dos dados	145
5.0	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	159
	REFERÊNCIAS	162
	ANEXOS	170

1. INTRODUÇÃO

As atividades de mineração no Brasil são de suma importância para a economia do país. Após os desastres que envolvem rompimentos de barragens de mineração no Brasil, como Mariana em 2015 e Brumadinho 2019, intensificar o monitoramento através de instrumentos instalados na estrutura, aumentar o controle dos dados de inspeção e monitoramento, ter conhecimento sobre a estrutura e, conseqüentemente, proporcionar a segurança do armazenamento de rejeito, como por exemplo, no empilhamento de rejeito, tornou-se ainda mais indispensável (Russo 2007; Soares 2022; Magalhães, 2023; Silva, 2023; Souza, 2022).

Para as atividades de mineração, a disposição de rejeitos pode ocorrer de várias maneiras, sendo a sua escolha de acordo com as características de cada sistema e os seus riscos associados. Sendo algumas opções a disposição em barragens de rejeito, empilhamento drenado e preenchimento de cavas desativadas. Dentre as opções de disposição, barragens de rejeitos, que até então, eram as estruturas mais comumente utilizadas como forma de armazenamento, passaram a ser substituídas por um empilhamento drenado.

Para Oliveira-Filho e Abrão (2015) o empilhamento de rejeitos tem características interessantes que favorecem a utilização deste método, sendo uma delas a possibilidade de utilizar o próprio rejeito na elevação da estrutura. Além de quê, essas estruturas podem ser construídas em topografias onde a implantação de barragens convencionais seria mais desafiadora (Davies, 2011; Lupo e Hall, 2010; KCB, 2017; Crystal et al., 2018).

Permanecendo na linha de Oliveira-Filho e Abrão (2015, o empilhamento de rejeitos necessita da execução de gestão do empilhamento e de controle tecnológico para certificação da segurança da estrutura. Esta metodologia de empilhamento pode ser executada com o material compactado ou semi-compactado, sendo constituído através de transporte mecânico até a área de disposição. É necessário manter a rastreabilidade dos dados a partir do arquivamento dessas informações, juntamente com as coordenadas do controle tecnológico realizado.

A utilização da metodologia de compactação do material apresenta vantagens significativas. Nicholson (2015) destaca que esse processo reduz a compressibilidade do solo, evitando recalques elevados. Isso resulta em um aumento na resistência, estabilidade e durabilidade do solo. Além disso, a compactação diminui a

permeabilidade e o potencial de liquefação, especialmente no caso de solos granulares.

A definição de critérios de compactação devem estar presentes nos projetos das estruturas, esses critérios envolvem a seleção e especificação do material adequado e inadequado para cada zona ou faixa de aceitabilidade das áreas da estrutura. Isso permite a execução de correções e tratamentos no material para garantir que ele esteja dentro dos parâmetros estabelecidos. Esses ajustes podem incluir, por exemplo, a correção granulométrica e os ajustes de umidade.

Os critérios de compactação envolvem a verificação de diversos fatores. Isso inclui a espessura da camada, os equipamentos que serão utilizados em cada etapa do empilhamento, o número de passadas, a energia de compactação, o teor de umidade e a definição do grau de compactação necessário. A definição do grau de compactação envolve a porcentagem da densidade seca obtida em um teste padronizado de aferição. Esses valores levam em consideração as propriedades mecânicas e hidráulicas desejadas do material compactado, bem como a variação dessas propriedades em função da densidade seca e do teor de umidade (Pinto, 1971; Pickens, 1993; Daniel, 1983).

Após a definição dos critérios de empilhamento é necessário a aferição das propriedades do material e do seu comportamento através de ensaios que possibilitam o estudo de liquefação estática. Este estudo é baseado nos dados obtidos das investigações (como ensaios de penetração de cone e sondagem mista), pode ser observado em solos com altos níveis de saturação. Esses solos perdem resistência quando submetidos ao cisalhamento, devido à tendência de gerar poropressão positiva em carregamentos não drenados. Isso é comum em materiais como areias e siltes muito fofos, além de argilas sensíveis.

Sobre as argilas sensíveis, de acordo com Rosenqvist (1953), são assim classificadas quando a sensibilidade desse material (calculada pela divisão da resistência à compressão da amostra de argila indeformada pela resistência à compressão da amostra de argila amolgada) resulta em um valor menor que 1. Para os materiais classificados como areias, a avaliação de susceptibilidade à liquefação torna-se muito, visto que, no cenário da mineração brasileira, considerando que uma grande parcela do material analisado é composta por rejeitos granulares.

O estudo dos materiais através de sua caracterização e a subsequente avaliação da susceptibilidade à liquefação reduzem as consequências provocadas por

esse fenômeno, incluindo deslizamentos de terra e colapsos estruturais. Portanto, é de suma importância realizar análises minuciosas para identificar áreas potencialmente em risco e implementar medidas preventivas adequadas, como demonstrado neste trabalho.

Uma maneira eficaz de avaliar áreas potenciais de risco, como metodologia desse trabalho é a elaboração de uma modelagem 3D para a estrutura com a consolidação dos dados de campo (Sondagem mista e ensaio de Penetração de Cone). Turner et al. (2012) descreveram que a prática de construir modelos tridimensionais se torna viável através da integração de imagens bidimensionais.

A modelagem 3D é crucial porque a compreensão e extração de informações de dados isolados em 2D é uma prática comum, mas muitas vezes tendenciosa. Diferentes metodologias de investigações diretas e/ou indiretas podem produzir respostas variadas para a mesma área de estudo.

Neste estudo, os ensaios de campo e laboratório desempenham um papel fundamental na orientação da avaliação da susceptibilidade à liquefação da estrutura em foco. A modelagem 3D, por sua vez, proporciona uma visualização abrangente desses dados. Esta abordagem possibilita avaliar a contratibilidade e suscetibilidade a liquefação.

O empilhamento de rejeito não é normatizado em seus processos, sendo um grande agravante para essa situação o fato de este material possuir características distintas que variam de acordo com a área mineralógica de exploração. Esta pesquisa demonstra que as condições geotécnicas e controle de qualidade do empilhamento influenciam na suscetibilidade a liquefação do material, e para essa avaliação foram utilizados os ensaios de campo e laboratório executados na pilha. Importante ressaltar que a análise 3D deve ser usada sempre que não temos o contínuo em uma das direções respeitada.

1.1 Objetivo geral

Avaliar o comportamento de rejeitos de minério de ferro, utilizando análise técnica de dados de investigações geotécnicas por meio de estudo de caso.

1.2 Objetivos específicos

- (a) Identificar a aplicabilidade das diretrizes de empilhamento do rejeito executadas neste estudo de caso;
- (b) Analisar os resultados existentes de campo e laboratório executados na pilha deste material;
- (c) Verificar o comportamento do rejeito de minério de ferro do estudo a partir das metodologias de avaliação de susceptibilidade a liquefação;
- (d) Associar os dados das investigações a partir dos pontos de coletas.

1.3 Justificativa

O histórico de rupturas de grandes estruturas geotécnicas para a disposição de rejeitos, especialmente barragens, evidenciou a necessidade de revisão de normas, procedimentos e processos de disposição de rejeitos. Isso é particularmente verdadeiro em relação a dois eventos de grande magnitude ocorridos no Brasil: Mariana (2015) e Brumadinho (2019), ambos no estado de Minas Gerais. A disposição de rejeitos filtrados e com baixa umidade em forma de pilhas emergiu como uma alternativa viável para a continuação das atividades mineralógicas.

No entanto, é crucial entender que os rejeitos têm comportamentos individuais, que variam de acordo com a área mineralógica onde o material está inserido. Portanto, não existem diretrizes operacionais universais que orientem a maneira eficiente e segura de empilhar rejeitos. Cada estrutura deve ser estudada minuciosamente e ter um projeto exclusivo.

Esta dissertação é justificada pela necessidade de compreender as características desse material em diferentes diretrizes operacionais e pelo interesse em conduzir estudos sobre o comportamento do rejeito quando empilhado, levando em consideração suas propriedades através da análise das investigações realizadas. Essa análise detalhada é essencial para melhor compreender o comportamento geotécnico do rejeito e tomar decisões operacionais em relação a seu manejo e disposição.

1.4 Organização da dissertação

Esta dissertação é estruturada em cinco capítulos, complementados por um anexo. O primeiro capítulo apresenta uma introdução ao tema central, abordando a problematização, a hipótese ou pergunta norteadora, os objetivos e a justificativa do estudo.

O segundo capítulo consiste em uma revisão bibliográfica da literatura, destacando aspectos importantes relacionados à mecânica dos rejeitos de mineração, com informações sobre a linha de estados críticos e a análise de susceptibilidade à liquefação. Este capítulo também descreve os métodos de empilhamento de rejeito, bem como os ensaios de laboratório e de campo realizados, todos devidamente normatizados.

O terceiro capítulo detalha os procedimentos metodológicos adotados, fornecendo uma descrição do estudo de caso deste projeto. O quarto capítulo apresenta os resultados das avaliações dos ensaios de campo, a modelagem tridimensional realizada, a avaliação dos ensaios de laboratório e a análise conjunta dos dados.

A dissertação é concluída com o quinto capítulo, que traz as conclusões e sugestões para estudos futuros, seguido pelas referências e anexos.

2.0 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Mecânica dos Solos

O comportamento do solo, que abrange desde cascalhos até argilas, é governado pela tensão efetiva. O pesquisador Casagrande (1975) evidenciou que solos muito fofos tendem a diminuir de volume durante o cisalhamento drenado. Em contrapartida, solos inicialmente densos, sob as mesmas condições de carregamento, tendem a aumentar o índice de vazios até alcançar o estado crítico, no qual não ocorre mais variação volumétrica com deformações axiais.

Durante carregamentos não drenados, solos contráteis geram excesso de poropressão positiva, o que resulta na redução da tensão efetiva e, conseqüentemente, da resistência ao cisalhamento. O oposto ocorre com solos que apresentam comportamento dilatante, os quais tendem a gerar excesso de

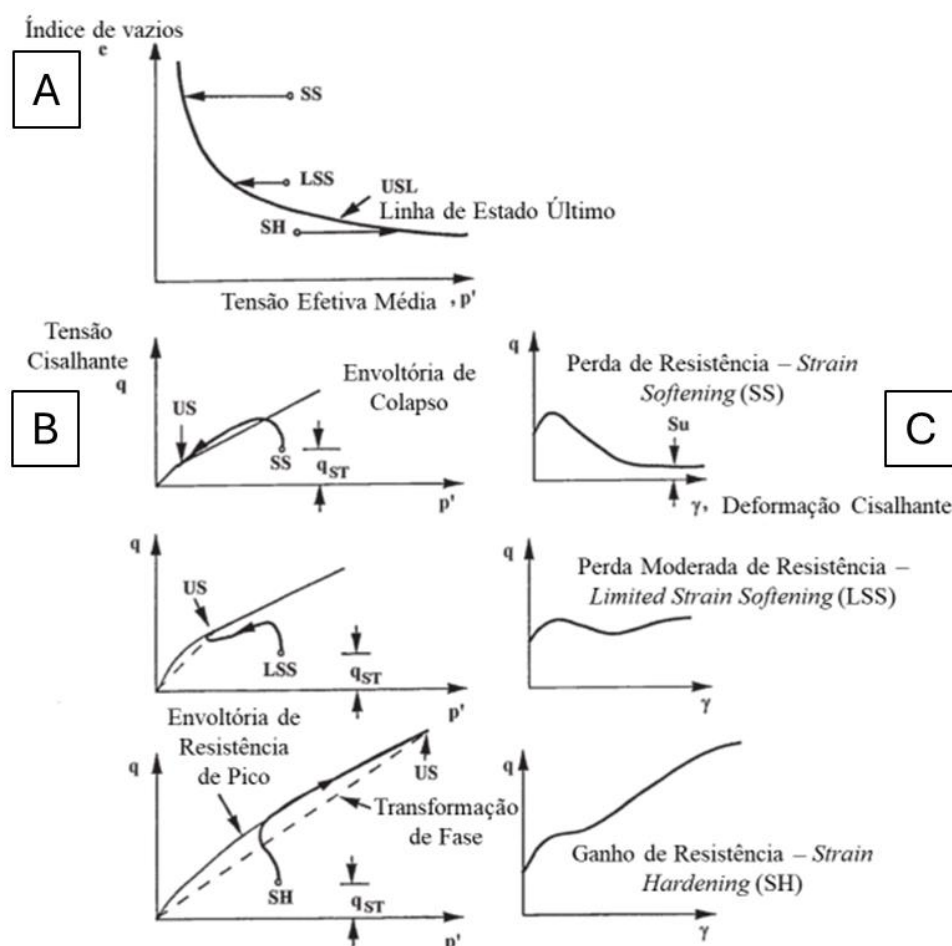
poropressões negativas durante a fase de cisalhamento, embora a maioria dos solos com comportamento dilatante apresente uma fase inicial de contração.

Os detalhes desse comportamento são mais diretamente observados nos testes drenados. Por essa razão, há uma preferência por estudar a física do comportamento do solo usando areias, uma vez que os testes drenados em argila são demorados. Solos saturados que exibem comportamento contrátil sob condições drenadas possuem resistência ao cisalhamento inferior em carregamentos não drenados quando comparada à sua resistência em carregamentos drenados.

Por outro lado, solos que dilatam durante o cisalhamento drenado tendem a apresentar resistência ao cisalhamento igual ou superior em carregamentos não drenados em relação à sua resistência em carregamentos drenados. O estudo de liquefação estática, baseado nos dados obtidos das investigações, pode ser observado em solos com altos níveis de saturação (acima de 90%). Esses solos perdem resistência quando submetidos ao cisalhamento, devido à tendência de gerar poropressão positiva em carregamentos drenados.

A avaliação do índice de vazios é crucial para a compreensão do estado crítico do material. Quando este coeficiente é superior ao índice de vazios do estado crítico para uma determinada tensão efetiva, ocorre a geração de poropressão positiva durante o cisalhamento não drenado. Esta intensa geração de poropressão pode resultar em uma perda significativa de resistência, caracterizando um comportamento conhecido como 'Strain Softening' (SS). A Figura 1 mostra o comportamento não drenado em areias em ensaios de compressão triaxial. Na figura é possível ver a linha de estados críticos, a perda moderada de resistência, estabelecida como LSS, o ganho de resistência, estabelecido como SH e a envoltória de colapso.

Figura 1 – Comportamento não drenado em areias em ensaios de compressão triaxial. A-Índice de vazios versus Tensão efetiva média. B-Tensão cisalhante versus Tensão efetiva média. C-Tensão cisalhante versus Deformação cisalhante.



Fonte: Robertson e Wride (1998) *apud* Junior, 2021

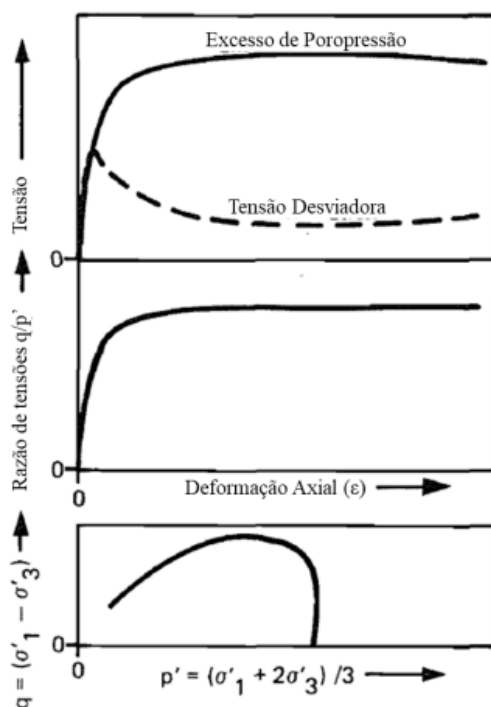
Robertson (2016) ressaltou as características que os solos geralmente apresentam e que podem influenciar a ocorrência de rupturas por liquefação. Segundo ele, estruturas geotécnicas formadas por solos jovens, sem cimentação, não plásticos ou de baixa plasticidade, e que demonstram um comportamento frágil, conhecido como 'strain softening', estão propensas a experimentar perdas consideráveis de resistência sob baixas deformações durante o cisalhamento não drenado. Isso aumenta a probabilidade de rupturas por liquefação. Em contraste, quando as estruturas são compostas por solos maduros, densos e de alta plasticidade, nota-se um comportamento dúctil, no qual a resistência ao cisalhamento não drenado é mantida.

Para avaliar o potencial de liquefação, algumas metodologias são utilizadas, como as propostas por Olson (2001), Robertson (2010) e Robertson (2016). Essas abordagens classificam o comportamento dos solos durante o cisalhamento, levando em consideração se são contráteis ou dilatantes. Nesta dissertação, o comportamento do solo será analisado por meio dos ensaios de piezocones realizados na estrutura, seguindo a metodologia de Robertson (2016).

2.1.1 Mecânica dos solos dos estados críticos

O comportamento típico de solos arenosos contráteis em ensaios de compressão triaxial não drenado é apresentado na Figura 2. Nessa figura, a tensão desviadora atinge seu máximo valor em baixas deformações axiais, mas depois ocorre uma significativa perda de resistência. É necessário a avaliação dos materiais para que ele se mantenha longe da curva do estado crítico e não mude para o comportamento contrátil.

Figura 2 – Resultados típicos de ensaios de compressão triaxial não drenados em areias contráteis



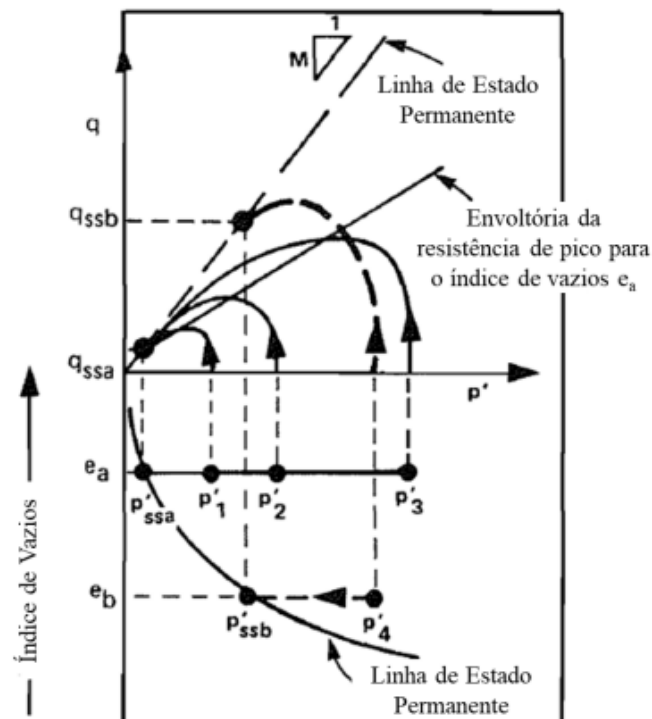
Fonte: Sladen et al. (1985) *apud* Junior, 2021

A geração de poropressão positiva indica que o material tende à contração durante o cisalhamento, chegando a valores da ordem de grandeza da tensão de confinamento. Isso implica que a tensão efetiva principal σ'_{3f} se aproxima de zero ao final do ensaio, conforme mostrado por Casagrande (1975).

A razão de tensões (q/p') em grandes deformações tende a ser aproximadamente a mesma para todos os ensaios, correspondendo à inclinação da linha de estado crítico no espaço $p' - q$ (parâmetro M).

A Figura 3 ilustra a projeção da linha de estado crítico nos planos p' - e e p' - q . Nesta figura, é possível observar que amostras química e fisicamente idênticas, com o mesmo índice de vazios (e_a) e diferentes tensões confinantes (p'_1 , p'_2 e p'_3) alcançam a mesma tensão no estado crítico (ou estado permanente). Essa tensão corresponde aos pontos q_{ssa} e p'_{ssa} , que representam a tensão desviadora e a tensão efetiva média no estado permanente, respectivamente, referentes ao ponto com o índice de vazios inicial e_a .

Figura 3 – Linha de Estado Crítico nos planos $p' - q$ e $p' - e$



Fonte: Sladen et al. (1985) *apud* Junior, 2021

Adicionalmente, conforme demonstrado por Sladen et al. (1985), a tensão correspondente à condição de resistência máxima ao cisalhamento (resistência de pico) pode ser ajustada por uma envoltória de colapso. Esta envoltória também passa pelo ponto que corresponde à tensão no estado crítico para um determinado índice de vazios.

No plano p' - q , a inclinação da linha de estado crítico é representada pelo símbolo M . Frequentemente, usa-se o subscrito 'tc' para denotar o parâmetro derivado do ensaio de compressão triaxial, conhecido como M_{tc} . O M_{tc} é definido como a razão entre a tensão desviadora e a tensão efetiva média no estado crítico. Assim, pode ser expresso da conforme Equação 1 (em que o 'c' indica o estado crítico)

$$M_{tc} = \frac{q_c}{p'_c} \quad (1)$$

A inclinação da linha de estado crítico no plano p' - q , também conhecida como M_{tc} , pode ser descrita em relação ao ângulo de atrito no estado crítico. Este ângulo é frequentemente referido como ângulo de atrito a volume constante, ou ϕ_c . Portanto, a relação entre M_{tc} e ϕ_c pode ser expressa pela Equação 2.

$$M_{tc} = \frac{6 \sin \phi_c}{3 - \sin \phi_c} \quad (2)$$

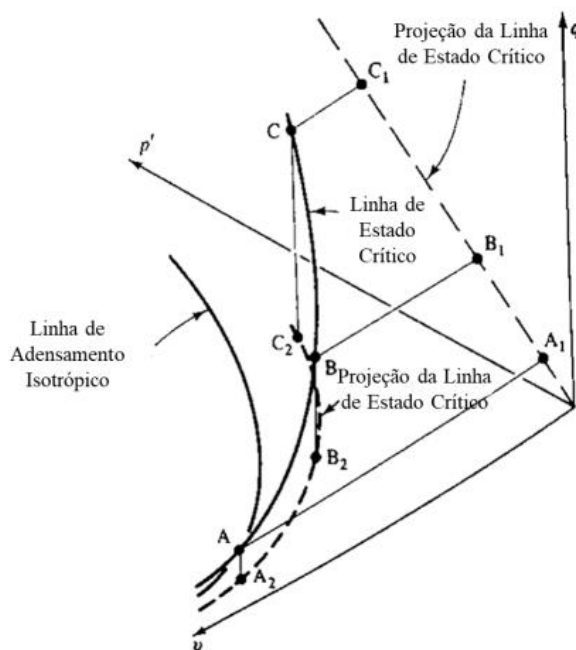
No espaço p' - e (que representa a tensão efetiva média em relação ao índice de vazios), a linha de estado crítico é geralmente expressa em formato semi-logarítmico no eixo das abcissas. Sua expressão matemática consta na Equação 3.

$$e_c = \Gamma - \lambda \ln p'_c \quad (3)$$

Nesta equação, Γ e λ são propriedades intrínsecas do solo, assim como o parâmetro M . O "c" na Equação 3 refere-se ao índice de vazios e à tensão efetiva média no estado crítico. A linha de estado crítico pode ser representada com o eixo das abcissas em logaritmo natural ou logaritmo na base 10. Nesse caso, λ (ou λ_e) é usado para a primeira condição e λ_{10} para a última, onde $\lambda_{10} = 2,303\lambda$. Portanto, a

linha de estado crítico é uma envoltória tridimensional nos planos p' - e - q , conforme ilustrado na Figura 4. A projeção dessa envoltória nos planos p' - e e p' - q resulta nas linhas de estado crítico bidimensionais, cujas inclinações são representadas por λ (ou λ_{10}) e M_{tc} , respectivamente.

Figura 4 – Linha de Estado Crítico no espaço $p' - u - q$



Fonte: Atkinson e Bransby (2012) *apud* Junior, 2021

2.1.2 Análise da suscetibilidade à liquefação baseada na distribuição granulométrica

Segundo Terzaghi et al. (1996), os solos que não possuem coesão e apresentam altos índices de vazios podem estar propensos à liquefação, uma vez que essas características permitem que o material demonstre um comportamento contrátil durante o cisalhamento. Além disso, é necessário que a permeabilidade do solo seja suficientemente baixa para impedir a dissipação do excesso de poropressão gerado durante um carregamento, seja ele estático ou dinâmico. Vários fatores influenciam essas características, incluindo a forma dos grãos, a distribuição granulométrica, o índice de vazios, o estado das tensões *in situ*, a existência de microestrutura no solo e o histórico de tensões. Na linha de distribuição granulométrica, quanto maior a granulometria do rejeito, maior a chance de dissipação de poropressão e por isto é

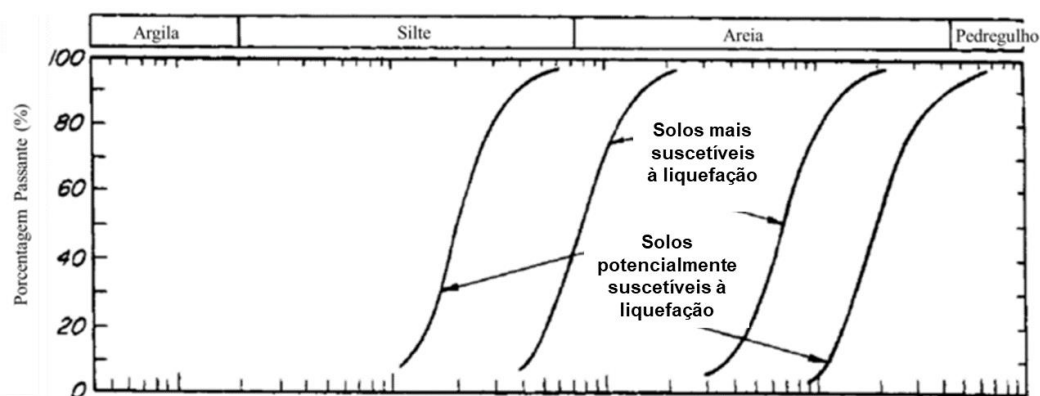
tão deletério que sejam misturados os finos com os grossos. Deve-se evitar ao máximo esta mistura, pois pode-se mover a curva de estado crítico de forma negativa.

As areias finas, das quais menos de 5% passam pela peneira nº200, e as areias siltosas não plásticas são os materiais que apresentam maior propensão à liquefação quando dispostos in situ com altos índices de vazios. Por outro lado, as misturas de areias grossas e médias tendem a ter uma menor propensão à liquefação, uma vez que são geralmente materiais de alta permeabilidade, a menos que estejam confinados por camadas de baixa permeabilidade. Para solos que têm mais de 5% passando pela peneira nº200, torna-se necessário avaliar a quantidade e a plasticidade dos finos.

Os rejeitos de mineração geralmente possuem uma proporção significativamente maior do que 5% que passa pela peneira nº200, o que indica um alto potencial de liquefação. Isso é particularmente verdadeiro para rejeitos que são não plásticos ou de baixa plasticidade. Além disso, Terzaghi et al. (1996) salientam que as areias mal graduadas ou uniformes têm uma tendência maior à liquefação em comparação com as areias bem graduadas.

Tsuchida (1970) propôs um critério para avaliar a propensão à liquefação com base na distribuição granulométrica do solo, conforme ilustrado na Figura 5. O autor sugeriu dois contornos de curvas granulométricas, o primeiro destinado para Solos mais propensos à liquefação (*Most Liquefiable Soils*) e o segundo para solos potencialmente propensos à liquefação (*Potentially Liquefiable Soil*).

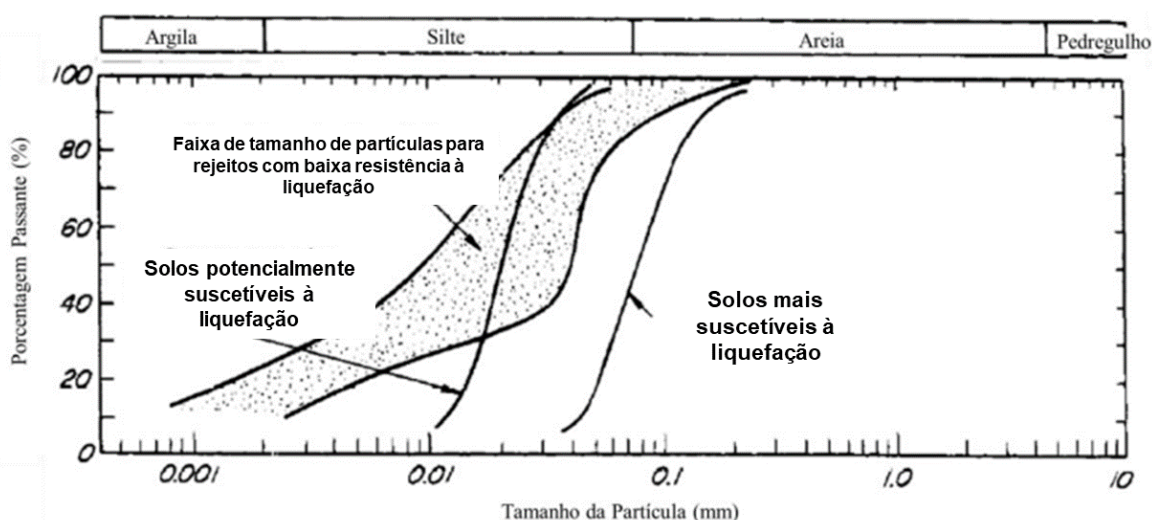
Figura 5 – Curva granulométrica para avaliação de suscetibilidade à liquefação



Fonte: Tsuchida (1970) *apud* Junior, 2021

Considerando que os rejeitos de mineração podem conter uma alta porcentagem de partículas finas (comparáveis em tamanho a siltes e argilas) que não apresentam plasticidade e argilominerais, Ishihara (1985) propôs um conjunto de curvas granulométricas para avaliar a propensão à liquefação desses rejeitos de mineração, conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Limites de curva granulométrica para avaliação de suscetibilidade à liquefação



Fonte: Ishihara (1985) *apud* Junior, 2021

Para as duas Figuras é possível verificar que materiais que apresentem composições granulométricas siltosas apresentam-se como potencialmente suscetíveis e os materiais cuja composição granulométrica arenosas apresentam-se como mais suscetíveis.

2.1.3 Metodologia de Robertson (2016)

As metodologias de avaliação que se baseiam nos ensaios de penetração de cone, com ou sem incremento de poropressão, utilizam parâmetros classificados como não normalizados. Isso inclui a resistência de ponta e a razão de atrito. Além disso, também se utiliza um parâmetro normalizado, como o parâmetro de poropressão, conhecido como 'Bq'. A metodologia proposta por Robertson (2016) é produto de atualizações necessárias.

O método apresentado por Robertson (2016) baseia-se em uma carta de classificação dos solos para a avaliação da susceptibilidade à liquefação. O método de classificação utiliza a resistência de ponta normalizada, Q_{tn} , e a razão de atrito normalizada, F_r , para a tipificação do comportamento observado para o material analisado. A metodologia recebe o nome de *Normalized Soil Behavior Type* (SBTn), tratando-se da atualização de estudos previamente realizados por Robertson.

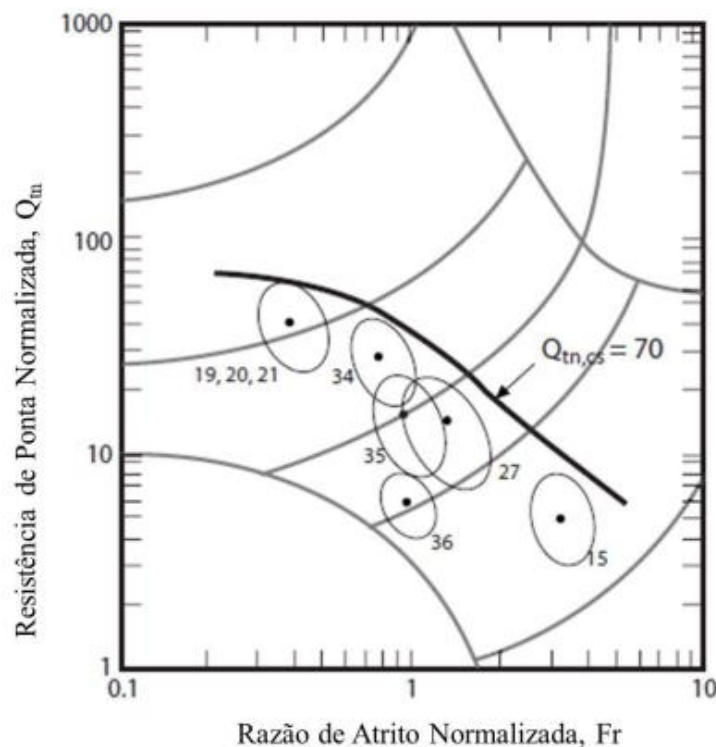
Robertson (2010) categorizou os históricos de ruptura, previamente apresentados por Olson (2001), em cinco classes distintas: A, B, C, D e E. Essas classificações são baseadas na confiabilidade dos dados disponíveis do ensaio de Penetração de Cone. A Classe A é definida quando o ensaio de CPT permite a determinação do atrito lateral e da resistência de ponta.

A Classe B está disponível quando apenas a resistência de ponta pode ser determinada. A Classe C é aplicada quando apenas os ensaios de SPT estão disponíveis. A Classe D é usada quando apenas a densidade relativa é conhecida e a Classe E é aplicada quando apenas os dados estimados estão disponíveis.

Robertson (2010) mapeou todos os casos de ruptura por liquefação, classificados como Classe A, no espaço Q_{tn} - F_r . Ele levou em consideração os valores de Q_{tn} e F_r que estavam dentro da faixa do valor médio ± 1 desvio padrão (ou seja, aproximadamente 70% dos dados) para os materiais onde ocorreu a liquefação.

Robertson (2016) notou que esses casos ficavam abaixo do contorno $Q_{tn,cs}=70$. Portanto, ele sugeriu o uso do contorno $Q_{tn,cs}=70$ como critério para separar os materiais em contráteis ($Q_{tn,cs}<70$) e dilatantes ($Q_{tn,cs}>70$). A Figura 7 consta a faixa de valores para os casos que sofreram liquefação.

Figura 7 – Faixa de valores para os casos que sofreram liquefação



Fonte: Robertson (2010) *apud* Junior, 2021

Robertson (2016) atualizou a classificação do comportamento normalizado com a inserção de outras informações, como as características físicas do material, o que incluem granulometria e plasticidade. O ábaco, presente na Figura 7, passou a ser dividido em regiões que representam materiais com comportamento típico de solos argilosos (comportamento tipo argila), comportamento típico de solos arenosos (comportamento tipo areia) ou um comportamento que transita entre os dois (comportamento transicional).

No mesmo gráfico, Robertson (2016) introduziu o contorno $CD=70$ (*Contractive-Dilatative*), proposto para representar a divisão entre solos que exibem comportamento contrátil e dilatante em grandes deformações. O contorno $CD=70$ foi desenvolvido utilizando o contorno $Q_{tn,cs}=70$, proposto por Robertson (2010), com a adição do contorno de $OCR=4$ na região de materiais transicionais e argilosos (*Transitional e Clay-Like*). Assim, são determinadas estratégias distintas para estabelecer o estado do solo, a primeira através do OCR (razão de sobreconsolidação) para solos finos e a segunda através do $Q_{tn,cs}$ para solos granulares. De acordo com Robertson (2016), o comportamento dos materiais é dividido por dois

tipos de linhas: as primeiras, definidas pelo índice normalizado de tipo comportamental do solo, I_B , calculado por meio da Equação 4. A segunda, apresentada pela Equação 5, é definida como CD.

A linha CD é divisora dos comportamentos dilatante e contrátil dos materiais analisados, dividindo, portanto, materiais susceptíveis à liquefação de materiais dilatantes. Adicionalmente, define-se, de acordo com Robertson (2016) a área correspondente aos comportamentos de argilas sensíveis, delimitada pelas assíndotas $F_R=2\%$ e $Q_{tn}=12$.

$$I_B = \frac{100(Q_{tn} + 10)}{(Q_{tn}F_r + 70)} \quad (4)$$

$$CD = 70 = (Q_{tn} - 11)(1 + 0,06F_r)^{17} \quad (5)$$

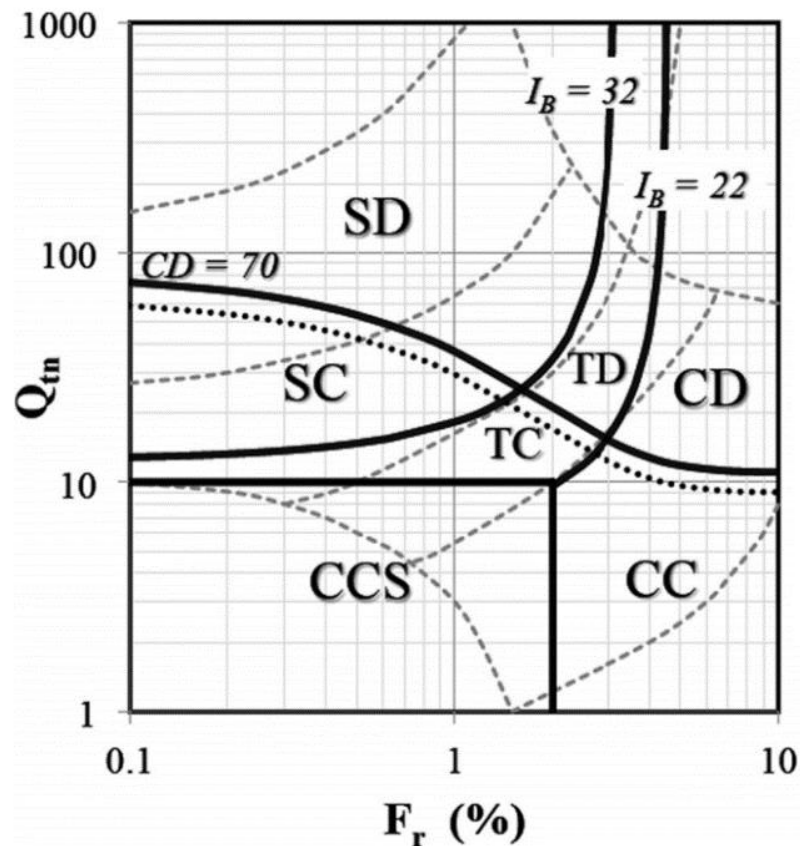
Em relação a classificação dos materiais foi utilizada a classificação SBTn, *Normalized Soil Behavior Type*, proposta por Robertson (2016) e a classificação de Fear e Robertson (1995), sugerida por Olson e Stark (2003) para a classificação de materiais susceptíveis a liquefação. Essa metodologia de classificação consiste na definição do material analisado através dos valores de Q_{tn} e F_r no ábaco apresentado na Tabela 1 e ilustrado na Figura 8.

Tabela 1 - Comportamentos possíveis de acordo com a classificação SBTn

ZONA	CLASSIFICAÇÃO SBTn
1	CCS: Comportamento contrátil – argilas sensíveis
2	CC: Comportamento contrátil – argilas
3	CD: Comportamento dilatante – argilas
4	TC: Comportamento contrátil – transicional
5	TD: Comportamento dilatante – transicional
6	SC: Comportamento contrátil – areias
7	SD: Comportamento dilatante – areias

Fonte: Robertson (2016)

Figura 8 – Limites de curva granulométrica para avaliação de suscetibilidade à liquefapadronizarção



Fonte: Robertson (2016)

É importante ressaltar, no contexto dos estudos de liquefação, que a perda de resistência a baixas deformações (*Strain-Softening*) não é uma característica de todos os solos contráteis. Além disso, nem todos os solos que exibem o comportamento de *Strain-Softening* são altamente frágeis, conforme observado por Robertson (2017). Por este motivo, a avaliação completa dos dados em um contexto tridimensional se faz necessário para melhor interpretação e entendimento.

2.2 Rejeito de minério de ferro

Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM) (2024), após um pequeno declínio no faturamento em 2023 em comparação com o ano anterior, o primeiro trimestre de 2024 trouxe resultados mais positivos para a indústria da mineração. Comparado ao mesmo período em 2023, o faturamento cresceu 25%, passando de R\$ 54,6 bilhões para R\$ 68 bilhões.

O minério de ferro foi responsável por 64,2% desse total, representando R\$ 43,9 bilhões. Além disso, as exportações de minérios aumentaram 18,3% em dólares e 11,3% em toneladas, enquanto as importações diminuíram 31% em dólares. O recolhimento de tributos e encargos sobre minérios também registrou um crescimento de cerca de 24%, totalizando R\$ 23,3 bilhões. Segundo a pesquisa setorial do Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), no primeiro trimestre de 2024, o faturamento da indústria de mineração apresentou variações significativas em diferentes estados brasileiros. Minas Gerais liderou o ranking registrando um faturamento expressivo de R\$ 28,2 bilhões. Isso representa 42% do faturamento nacional.

Dentre a indústria de mineração, que representa 42% do faturamento nacional, o minério de ferro foi o grande protagonista, contribuindo com 64,2% desse valor (equivalente a R\$ 43,9 bilhões). O estado do Pará também obteve resultados sólidos, com um faturamento de R\$ 25,1 bilhões. Isso representa 37% do total nacional. O minério de ferro desempenhou um papel crucial nesse cenário, contribuindo com 34% do faturamento. Embora em menor escala, São Paulo ainda contribuiu com R\$ 2,5 bilhões para o faturamento total. Isso representa 4% do montante nacional. Goiás registrou um faturamento de R\$ 2 bilhões, representando 1% do total nacional.

A indústria de mineração consta com algumas padronizações normatizadas que buscam organizar os processos associados. Dentre as normas, consta na NBR 13028 (ABNT, 2017) (Mineração – Elaboração e apresentação de projetos de barragem para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água – Requisitos) o significado do rejeito como *“todo e qualquer material não aproveitável economicamente, gerado durante o processo de beneficiamento dos minérios”*.

Milonas (2006) classifica, em sua publicação, os rejeitos de minérios de ferro, em grande parte, como granulares, de baixa deformabilidade e boas condições de drenagem e resistência. Porém, para qualquer classificação do granulométrica e do comportamento do material deve ser estudado de maneira particular e única para cada caso. Os rejeitos advindos da mineração, incluindo os rejeitos de minério de ferro, são subprodutos, com baixos teores de minerais resultados do beneficiamento. Esses teores variam, sendo possível verificar rejeitos com teores mais elevados de minério, mas que economicamente são inviáveis processamentos por conta da necessidade de tecnologias avançadas. Quando ocorre a baixa recuperação no beneficiamento o volume de rejeitos gerados aumenta consideravelmente, sendo necessário

implantações de cada vez mais estruturas geotécnicas, ou estruturas maiores para absorção destes materiais.

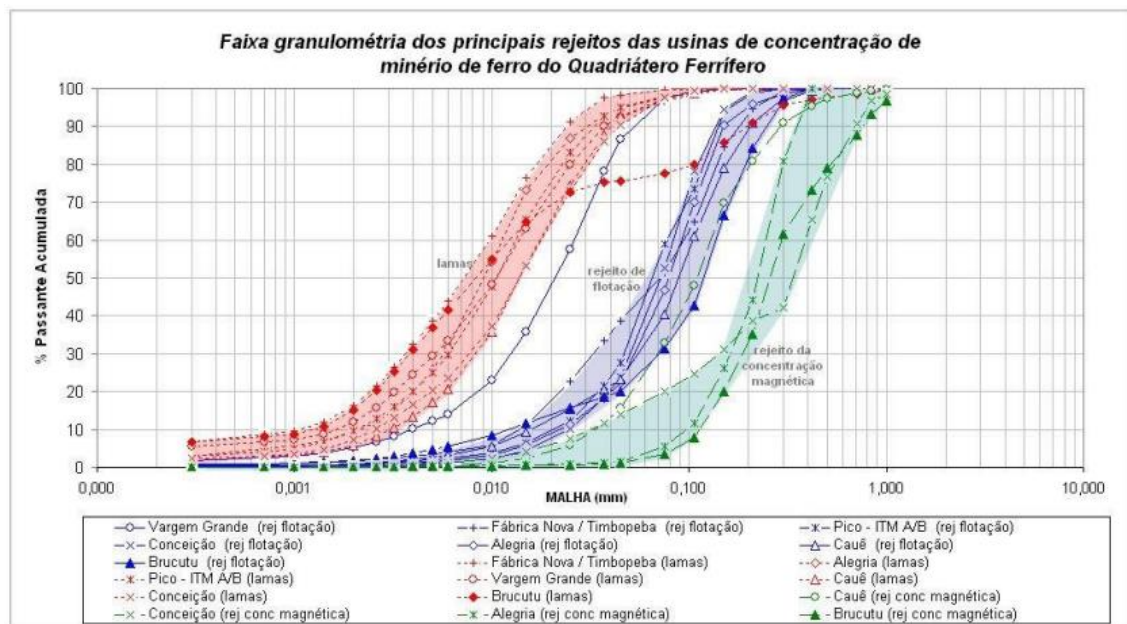
Vasconcelos (2008) cita que são gerados anualmente muitas toneladas de resíduos de mineração, sejam eles estéril e rejeito, proporcionais às quantidades extraídas de minério no mundo. Este número evidencia a necessidade de gerenciamento adequado desses resíduos, sendo fontes potenciais de contaminação do meio ambiente. O rejeito é constituído por porções sólidas e líquidas, dependendo da forma em que o beneficiamento for realizado. As classificações globais desse material são divididas entre rejeitos finos e rejeitos granulares, em relação às partículas são discordantes entre autores como Lima (2007) e Somasundaran (1980). Para Lima (2007) a classificação acontece em relação ao tamanho das partículas, sendo as grossas como maiores de 500 μm , intermediárias entre 100 e 500 μm , finas entre 20 e 100 μm , muito finas entre 5 e 20 μm , ultrafinas entre 1 e 5 μm , colóides 0,2 e 1 μm e super colóides com partículas menores que 0,2 μm .

Somasundaran (1980) classifica o rejeito em relação ao tamanho das partículas e aos seus comportamentos. Sendo as grossas tendo tamanho médio superior à 1000 μm , as finas são facilmente separáveis através de processos físicos e de tamanho médios entre 10 e 100 μm . Os ultrafinos são verificados através de fácil separação convencional e seus tamanhos médios entre 1 e 10 μm , colóides com tamanhos médios inferiores a 1 μm .

Wolff (2009) caracterizou alguns rejeitos de minério de ferro de uma mineradora através da técnica de difração de laser, utilizando um granulômetro a laser. Segundo Xu (2002) este método mede o tamanho das partículas a partir de um cálculo estatístico em função do ângulo de espalhamento e intensidade de detecção. As curvas granulométricas típicas dos principais rejeitos das usinas de concentração de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero constam na Figura 9.

As características de cada rejeito são influenciadas pela área geológica em que a mina está inserida e, especificamente na área do estudo (Quadrilátero Ferrífero), a granulometria pode ser dividida entre três faixas, sendo elas as lamas, os rejeitos de flotação e os rejeitos de flotação magnética.

Figura 9 - Distribuição granulométrica de diferentes tipos de rejeitos de algumas minerações do Quadrilátero Ferrífero



Fonte: Guimarães (2011)

Boccamino (2017) relata que os rejeitos de minério de ferro do quadrilátero estão essencialmente em dois tipos, o primeiro deles são os rejeitos arenosos, originados do processo de flotação e os rejeitos finos, sendo eles originados do processo de deslamagem. A partir da publicação de Boccamino (2017) vê-se que os processos em que os materiais são submetidos têm uma parcela de importância quando avaliado as características do material. Quando citado Milonas (2006) que os rejeitos do quadrilátero estão em sua maioria classificados como arenosos, o método em que esses materiais são inseridos tem grande influência, sendo em sua maioria submetidos em processos de flotação.

Apresenta-se na Tabela 2 um resumo dos trabalhos mais recentes relacionados ao tema da presente pesquisa, com avaliações sobre o rejeito minério de ferro e como este rejeito tem se comportado quando empilhados.

Tabela 2 – Resumo dos trabalhos mais recentes sobre o tema da pesquisa

Referência	Título	Resumo
Consoli et al. (2023a)	Critical state analysis of two compacted filtered iron ore tailings with different gradings and mineralogy at different stages of treatment	Este estudo compara dois tipos de rejeitos de minério de ferro de uma mesma planta de beneficiamento, mostrando que as mudanças na granulometria e na compactação afetam o comportamento do material em níveis de estresse mais baixos, mas convergem para um comportamento semelhante em níveis de estresse mais altos, com linhas de compressão normais únicas e paralelas no plano m - $\ln p_0$. No plano p_0 - q , ambos os rejeitos mostram comportamento semelhante.
Consoli et al. (2023b)	Dry stacking of iron ore tailings: Possible particle breakage during compaction	Este estudo investiga a quebra de partículas nesses rejeitos durante a compactação das camadas, simulando condições de construção de pilhas. Usando rejeitos típicos do Quadrilátero Ferrífero, o estudo constata que a quebra de partículas ocorre somente sob altas pressões de teste de edômetro, não refletindo as condições de campo usuais. A frequência de carga e os ciclos não influenciaram significativamente a quebra das partículas em pressões de campo.
Consoli et al. (2023c)	Evaluation of Strength Parameters for Application in Cemented Iron Ore Tailings Stacks	A pesquisa avalia misturas de rejeitos de minério de ferro com cimento para empilhamento a seco, usando testes de densidade, resistência e triaxiais. Os resultados permitem estimar características importantes sem a necessidade de testes complexos, sendo úteis para estudos de viabilidade e pré-projetos

(continua)

Referência	Título	Resumo
		de empilhamentos a seco.
Consoli et al. (2023d)	Response of Artificially Cemented Iron Ore Tailings for Dry Stacking Disposal over a Wide Range of Stresses	O estudo avaliou o uso de cimento para fortalecer a disposição de rejeitos filtrados empilhados em vez de armazenados em barragens de polpa. A adição de pequenas quantidades de cimento permitiu a construção de montes mais altos e inclinados. Os testes mostraram que o cimento transformou a resposta dos rejeitos de friccional para coesiva, sem afetar significativamente o ângulo de atrito máximo. Os resultados iniciais foram correlacionados com sucesso com o índice de porosidade/cimento, e houve uma relação entre os resultados de compressão não confinada e os testes triaxiais.
Chaves, Rodrigues da Costa (2023)	Laís Tailings dry stacking : retroanalysis of an experimental stack	A pesquisa se concentra no comportamento mecânico de uma pilha experimental construída com rejeitos de minério de ferro estabilizados com cimento. A pilha foi analisada quanto ao comportamento mecânico e microestrutural após cura em campo, comparando-o com cura em laboratório. Resultados indicam um comportamento ligeiramente superior da cura em campo em termos de resistência mecânica e rigidez. A análise sugere a viabilidade de extrapolar o método para o campo com poucas interferências devido à cura.

(continua)

Referência	Título	Resumo
Souza et al. (2023)	Disposição de rejeito por empilhamento como alternativa para Barragens de montante: uma revisão de literatura	O trabalho apresenta um panorama das pesquisas sobre essa técnica, identificando desafios e oportunidades. A análise revelou que a variação da composição mineralógica e os custos operacionais são fatores que dificultam a implementação dessa tecnologia nas plantas de mineração.
Consoli et al. (2022a)	Behaviour of Compacted Filtered Iron Ore Tailings– Portland Cement Blends: New Brazilian Trend for Tailings Disposal by Stacking	O estudo propõe empilhar rejeitos de minério de ferro filtrados com cimento Portland como uma alternativa de descarte mais segura. Ele investiga o comportamento dessas misturas sob diferentes níveis de compactação, realizando vários testes, visando melhorar o projeto geotécnico por meio do índice porosidade/cimento (η/Civ).
Consoli et al. (2022b)	Mechanical behavior of iron ore tailings under standard compression and extension triaxial stress paths	O estudo analisa o uso de pilhas secas para descarte de rejeitos de mineração, focando em diferentes trajetórias de tensões. Foram conduzidos testes triaxiais em rejeitos com cargas distintas, observando ângulos de atrito e estado crítico para cada situação. Foi verificado que o teor de finos afeta o comportamento volumétrico, mas não interfere na dilatação dos materiais.

(continua)

Referência	Título	Resumo
Consoli et al. (2022c)	Mechanical response of filtered and compacted iron ore tailings with different cementing agents: Focus on tailings-binder mixtures disposal by stacking.	Este estudo avalia o comportamento mecânico de rejeitos de minério de ferro cimentados com cimento Portland e um aglutinante alternativo, mostrando melhorias na resistência e durabilidade. A correlação entre os parâmetros mecânicos e a porosidade é investigada, indicando a possibilidade de prever o comportamento dessas misturas.
Agboola et al. (2020)	A review on the impact of mining operation: Monitoring, assessment and management	O texto aborda a gestão de resíduos, leis, controle ambiental, técnicas de mitigação e radioatividade nas minas, destacando a importância da supervisão estatal e civil para aplicação regulatória e prevenção.
Crystal et al. (2015)	Filter-pressed tailings facility design, construction, and operating guidelines	O artigo fornece diretrizes para a tomada de decisões no projeto, construção e operação de instalações de rejeitos filtrados, destacando a importância da caracterização do local, propriedades realistas dos rejeitos, considerações climáticas e sísmicas, e possíveis alterações nos rejeitos para otimização da compactação e resistência.

Fonte: Autora (2024)

2.3 Métodos de disposição de rejeito

A disposição de rejeitos pode ocorrer de várias maneiras, sendo a sua escolha de acordo com as características de cada sistema e os seus riscos associados, sendo algumas opções a disposição em barragens de rejeito, empilhamento drenado e preenchimento de cavas desativadas.

Gomes (2009b) descreve a disposição de rejeitos em quatro gerações, sendo a primeira referente ao descarte descontrolado, a segunda referente ao descarte contido, a terceira referente ao uso dos rejeitos nas construções das barragens e a quarta referente às descargas espessadas e filtradas.

A forma mais convencional de disposição no Brasil é em forma de polpa em estruturas de contenção denominadas como barragem. Atrelados à essa prática estão algumas desvantagens, como, por exemplo, impactos ambientais e os riscos geotécnicos associados. A NBR 13028 (ABNT, 2017) define barragem como sendo “qualquer estrutura que forme uma parede de contenção de rejeitos, para sedimentos e/ou para formação do reservatório de água”.

Após os desastres que envolvem rompimentos de barragens de mineração no Brasil tornou-se indispensável a necessidade de conhecimento do comportamento do rejeito. Dentre os desastres ocorridos, o rompimento da barragem B1 na mina Córrego do Feijão, localizada no município de Brumadinho, estado de Minas Gerais, ocorreu em 2019 resultando em 270 vítimas, das quais três delas ainda estão desaparecidas. A Barragem possuía 86 metros de altura e 720 metros de comprimento de crista e foi projetada para armazenamento de rejeito proveniente do processo de beneficiamento úmido do minério de ferro.

Estudos foram elaborados para avaliação do ocorrido, que pontuou um histórico de condições de instabilidade para a barragem B1, sendo eles: um projeto com taludes construídos à montante, deposição de rejeitos fracos próximos à crista da barragem, porções superiores do talude sobre rejeitos finos mais fracos, a falta de drenagem interna, alto teor de ferro resultando em rejeitos pesados e rígidos, além de chuvas regionais intensas (Robertson et al. 2019).

A disposição de rejeito em cavas exauridas é uma prática utilizada, principalmente pelas vantagens associadas. Dentre elas estão, segundo Lage (2001) a possibilidade de estabilização das paredes da cava através do empilhamento, o controle de geração de drenagem ácida, redução da lixiviação

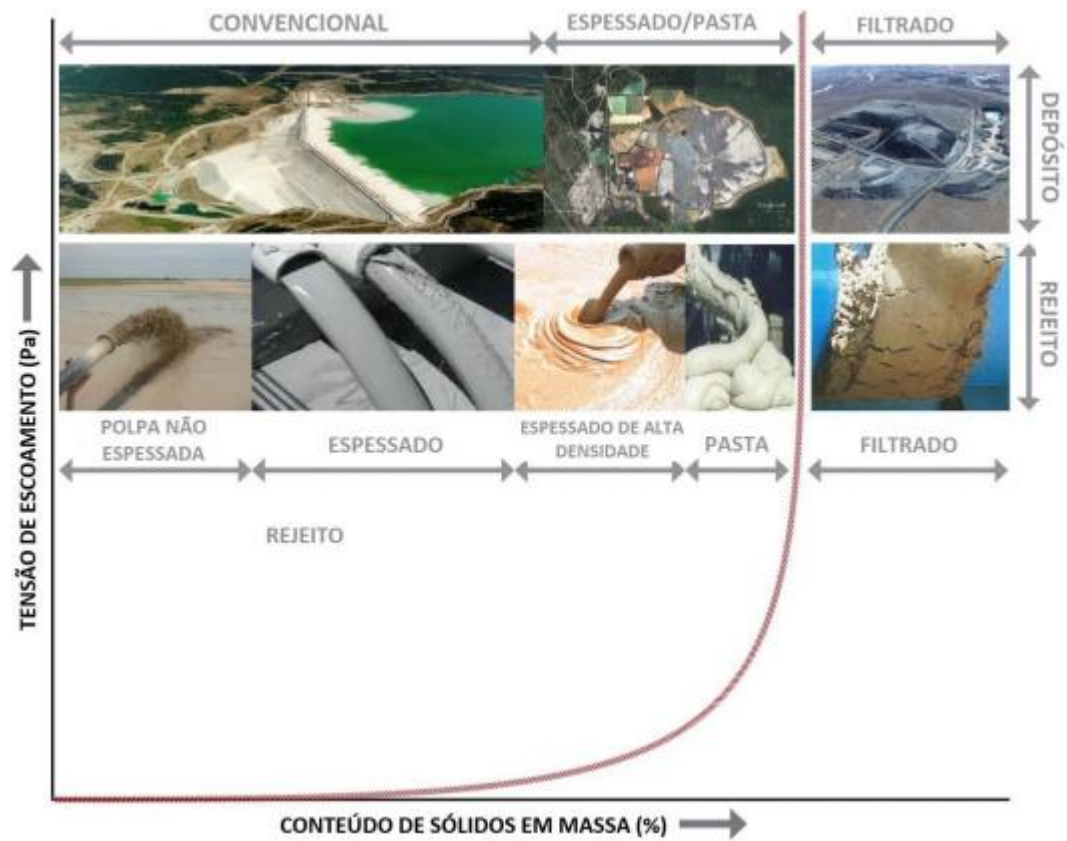
de metais pesados, prevenção de acidentes de barragens (pela redução de construção dessas estruturas) e a redução de custos com a manutenção. Vasconcelos (2008) evidencia que apesar da prática ser vantajosa, não são todas as cavas que estão aptas a receber este tipo de material, sendo necessário um estudo particular para cada situação.

Para Oliveira-Filho e Abrão (2015) o empilhamento de rejeitos tem características interessantes que favorecem a utilização deste método, sendo uma delas a possibilidade de utilizar o próprio rejeito na elevação da estrutura. Lara (2011) ressalta que para este método de disposição pode ser utilizado também o processo de espessamento com o objetivo de disposição final em pasta. Esta prática separa a fase líquida da fase sólida do material reduzindo a quantidade de água e podendo reutilizá-la em outros processos da mineração.

O método de disposição tem sido estudado sua melhor aplicação e mineradoras contam com a tecnologia para auxiliar nas estratégias adotadas. Essas tecnologias podem envolver equipamentos que consigam adequar as propriedades do material conforme o método de disposição escolhido.

A Figura 10 mostra os diferentes tipos de rejeitos relacionados com os aspectos e os tipos de depósitos, descritos por Mend (2007). De maneira geral, os rejeitos podem ser depositados de maneira convencional, espessado/ pasta ou filtrado. Em relação à aspectos, o material pode ser depositado em forma de polpa não espessada, espessado, espessado de alta densidade e em forma de pasta. A escolha deve ser coerente com o estado em que o rejeito é gerado, para que assim se obtenha êxito e segurança na disposição.

Figura 10 – Diferentes tipos de rejeitos, aspectos e tipos de depósitos



Fonte: MEND (2017)

2.3.1 Empilhamento de rejeito

As características geotécnicas dos rejeitos são em virtude de diversos fatores, dentre eles, estão o processo de beneficiamento e a regionalidade a qual o minério se encontra. Williams e O'Brien (2017) afirma que a granulometria e as variações mineralógicas da mina fazem com que cada rejeito se comporte de maneira única, interferindo na maneira operacional que esse rejeito deve ser empilhado, além do controle tecnológico durante esse processo.

Quanto à operacionalidade, não há diretrizes normatizadas de disposição de rejeito, sendo a NBR 13028 (ABNT, 2017a) mais voltada à projetos de disposição de rejeitos em barragens, estabelecendo algumas instruções quanto aos estudos necessários para execução destes projetos, premissas e critérios, além de geometria e instrumentação de controle.

A NBR 13029 (ABNT, 2017b) estabelece instruções geometrias básicas para o empilhamento de estéril, havendo a necessidade de conter no projeto critérios como, os taludes e bermas devem ser conformados para inclinações que garantam os fatores de segurança recomendados, as bermas devem ter larguras suficientes para atender às condições de drenagem e garantir o acesso dos equipamentos de manutenção com segurança e a seção crítica deve ter um ângulo geral da pilha a ponto que atenda os fatores de segurança mínimo estabelecidos.

A iniciativa do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), dos Princípios para o Investimento Responsável (PRI) e do Conselho Internacional de Mineração e Metais (ICMM) resultou no lançamento do Padrão Global da Indústria para a Gestão de Rejeitos (GISTM) em 05 de agosto de 2020. Este padrão, o primeiro de seu tipo no setor mineral, representa um marco global para a segurança das barragens de rejeito.

O princípio 15 do Padrão Global da Indústria para Gestão de Rejeitos (GISTM) propõe divulgar publicamente e oferecer acesso as informações sobre as estruturas de armazenamento de rejeitos para apoiar a prestação de contas e responsabilização pública. Evidenciando o compromisso do operador com a gestão segura de estruturas de armazenamento de rejeitos, a implementação da sua estrutura de governança de rejeitos, suas políticas, normas ou abordagens aplicáveis à organização como um todo para o projeto, construção, monitoramento e fechamento.

Crystal et al. (2018) relata que o transporte do rejeito pode ser feito através de caminhões ou correias transportadoras, sendo o fator consistência preponderante nesta escolha. Os mesmos autores afirmam que a distância média de transporte, a necessidade de remanejo dos materiais, a compactação e a locação dos equipamentos aumentam consideravelmente o custo deste método.

A disposição do rejeito em camadas, de espessuras necessariamente testadas é, segundo Crystal et al. (2018), um dos métodos operacionais necessários para um empilhamento seguro. Silva (2008) fala que quanto maior a camada, maior será o tempo de compactação, não atingindo graus homogêneos em todas elas.

De acordo com Vasconcelos (2021), o equipamento que realiza a compactação do rejeito na pilha deve ser necessariamente adequado ao tipo de material. Sendo que, ao ser aplicado energias diferentes na mesma camada, observa-se que, ao aumentar a energia, diminui-se o teor de umidade ótima e ocorre um aumento da densidade aparente seca máxima.

A resolução ANM nº 95 (BRASIL, 2022) destacou no inciso 2º do artigo 1º a necessidade de que todo empilhamento drenado, deve possuir estudo técnico produzido por profissional legalmente habilitado. Este documento deve estar disponível para fiscalização, devendo conter as informações de susceptibilidade à liquefação e sobre a maneira que essa disposição acontece.

Em seguida, é complementado que, para os empilhamentos drenados não susceptíveis à liquefação é necessário reavaliação periódica em intervalos de, até, 1 ano. E, caso seja constatada a susceptibilidade à liquefação, a estrutura ficará sujeita às obrigações previstas na resolução devendo ser cadastrada no Sistema Integrado de Gestão de Segurança de Barragens de Mineração – SIGBM.

Segundo Oliveira-Filho e Abrão (2015) o método de empilhamento drenado é apropriado apenas para rejeitos com um coeficiente de permeabilidade que permita um fluxo de drenagem puramente gravitacional e subvertical dentro do aterro, resultando em um depósito despressurizado em termos de poropressão. Assim, esse método não é adequado para rejeitos finos, mas é particularmente útil para rejeitos arenosos.

Conforme Oliveira-Filho e Abrão (2015), no método de empilhamento de rejeito, os rejeitos arenosos são acumulados em forma de pilha em áreas de meia encosta, ou em pequenos vales confinados (grotas) equipados com um sistema de drenagem interna, geralmente localizado na base do reservatório.

Para obter maior segurança no empilhamento de rejeito é necessário a execução de compactação que, segundo Massad (2010), a compactação é uma redução de índice de vazios por processos mecânicos, além de que, ela objetiva proporcionar uma homogeneização e melhorias nas propriedades do solo. A Tabela 3 consta os parâmetros de utilização dos equipamentos de compactação descrito por Massad (2010).

Tabela 3 – Parâmetros de utilização dos equipamentos de compactação

Tipo	Solo	Modo de compactar	Parâmetros dos equipamentos			
			e (m)	N	v (km/h)	P
Rolo pé de carneiro	Argila ou silte	De baixo para cima	20 a 25	8 a 10	≤ 4	2.000 a 3.000 KPa
Rolo pneumático	Finos	De cima para baixo	30 a 40	4 a 6	4 a 6	500 a 700 KPa
Rolo vibratório	Material granular	Vibração	60 a 100	2 a 4	≥ 8	50 a 100 KN

Notas: e= espessura da camada
N= número de passadas do rolo compactador
v= velocidade do equipamento
P= peso do rolo compactador

Fonte: Massad (2010)

A determinação da espessura de compactação precisa ser equivalente ao material que está sendo empilhado e o equipamento que está sendo utilizado. Para isso é comum a realização de aterros experimentais para a extração desses parâmetros. Segundo a publicação de Massad (2010) os aterros experimentais controlam a compactação, sendo possível adequar os equipamentos utilizados no aterro, a espessura da camada, o número de passadas e a velocidade do equipamento.

Tais parâmetros são comparados com o peso específico em projeto. As espessuras das camadas são proporcionais aos graus de compactação atingidos. Massad (2010) descreve a equação que determina o grau de compactação (Equação 6) e a umidade do material (Equação 7).

$$GC = \frac{\gamma_{dcampo}}{\gamma_{dmax}} \times 100\% \quad (6)$$

$$w_u = w - w_{opt} \quad (7)$$

Notas: γ_{dcampo} = densidade seca no campo
 γ_{dmax} = densidade seca máxima
w= teor de umidade do solo no ponto de controle
 w_{opt} = teor de umidade ótimo do solo

Muitos fatores são capazes de desencadear um mecanismo de liquefação, esses fatores incidem em comportamento ‘pós-pico”, ou seja, ultrapassam a resistência máxima do material, diminuindo a resistência para valores extremamente baixos, resultando em instabilizações, que transferem as tensões para os pontos adjacentes (Fonseca et al. 2022). Para a avaliação do potencial de liquefação do rejeito é necessário a execução de ensaios de campo e laboratório que possibilitam a identificação em uma linha que tem expressão no espaço de tensões de desvio versus a tensão média efetiva e no espaço de índice de vazios versus a tensão média efetiva (Figueiredo et al., 2016).

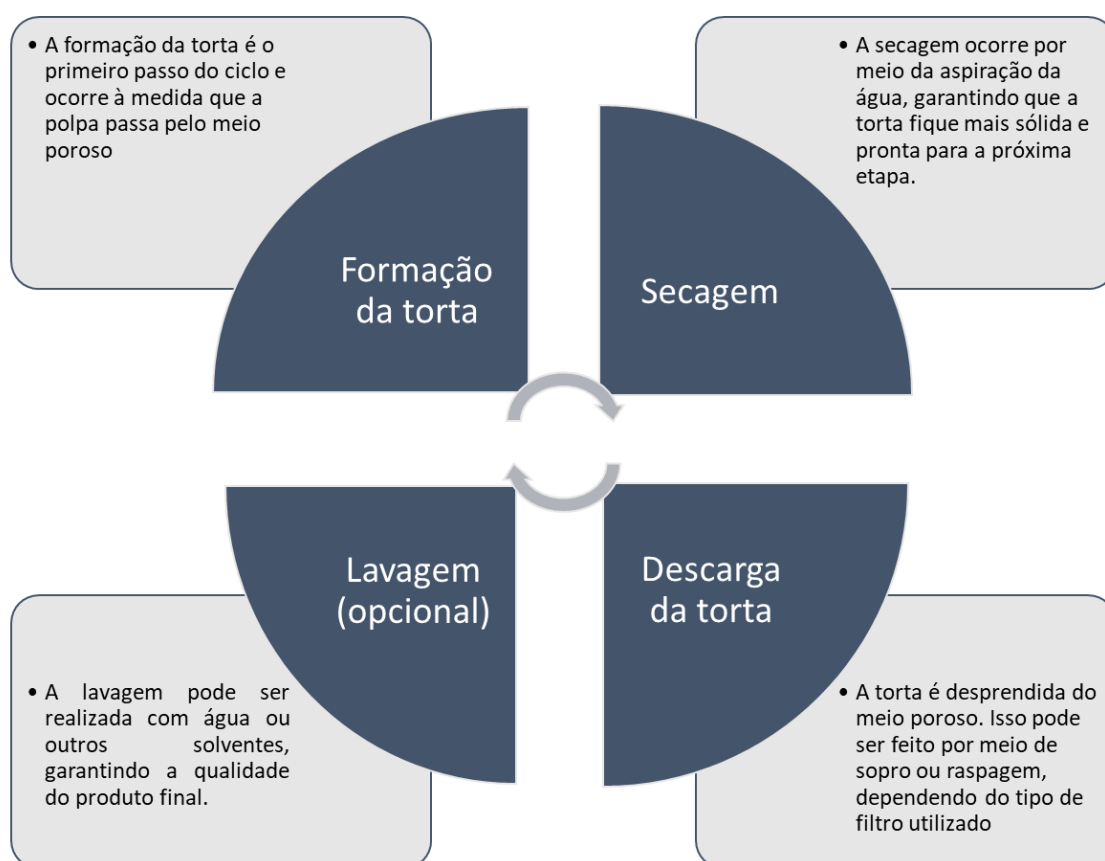
2.3.2 Rejeitos Filtrados

A filtragem de rejeitos envolve a separação de componentes sólidos e líquidos. Isso é realizado ao passar a polpa através de um meio filtrante, que tem a capacidade de reter partículas sólidas enquanto permite a passagem do líquido (Portes, 2013).

Os rejeitos filtrados são resultados de uma operação unitária essencial na indústria de mineração, cujo objetivo é separar partículas sólidas de uma polpa líquida. Esse processo ocorre ao passar a mistura através de um meio poroso, resultando em dois produtos distintos, a torta, em que as partículas sólidas são retidas pelo meio poroso, que consiste nas partículas minerais que foram separadas da solução líquida. E o filtrado em que é composto pelas substâncias dissolvidas ou suspensas que passaram com sucesso pelo filtro.

A filtração é um processo cíclico que envolve a formação, secagem, descarga e, se necessário, lavagem da torta. Essa operação é fundamental para a separação eficiente de sólidos e líquidos na indústria mineral. As etapas desse processo são descritas na Figura 11.

Figura 11 – Etapas do processo de filtração



Fonte: Autora (2024)

De acordo com Oliveira-Filho e Abrão (2015), a técnica de rejeitos filtrados envolve o espessamento dos rejeitos até atingir uma determinada consistência usando espessadores. Em seguida, os rejeitos são filtrados usando filtros a vácuo ou de pressão positiva. A água resultante das etapas de espessamento e filtração pode ser reutilizada no processamento do minério. A umidade do produto filtrado, conhecido como torta filtrante (*filter cake*), é um fator crucial para o manuseio subsequente desse material.

Na Figura 12 consta uma linha do tempo de com o histórico de acidentes de barragem e as publicações de instrumentos legais no Brasil (Silva, 2023). Nesta Figura pode-se observar de maneira cronológica o avanço em normas e portarias desenvolvidas após os rompimentos de barragens de mineração no Brasil em que pôde-se verificar a importância de padronizações no contexto de estruturas associadas ao rejeito.

Figura 12 – Linha do tempo com histórico de acidentes e publicações de instrumentos legais



Fonte: Silva (2023)

O método de filtragem do rejeito é muito utilizado pelas mineradoras, tendo como objetivo a disposição do material. Esta é uma prática iniciada pelas mineradoras no deserto do Atacama, em que é necessário a redução da perda de água por conta da falta desse recurso.

Guimarães (2011) verificou que a maior geração de rejeitos (dentre as usinas amostradas) são provenientes das etapas de flotação e deslamagem, sendo, para cada uma delas, equivalentes a aproximadamente 34%. Logo em seguida consta a porcentagem referente à etapa de concentração magnética, em aproximadamente 21%. Sendo concluído que o método de filtragem feita para que ocorra o empilhamento do rejeito se mostra eficiente e viável ao método tradicional de disposição. As análises granulométricas dos materiais disponíveis no Quadrilátero Ferrífero presentes nesse trabalho foram coletados das principais usinas de minério de ferro da área, que são: Alegria, Brucutu, Cauê, Conceição, Fábrica Nova/ Timbopeba, Pico e Vargem Grande (Guimarães, 2011).

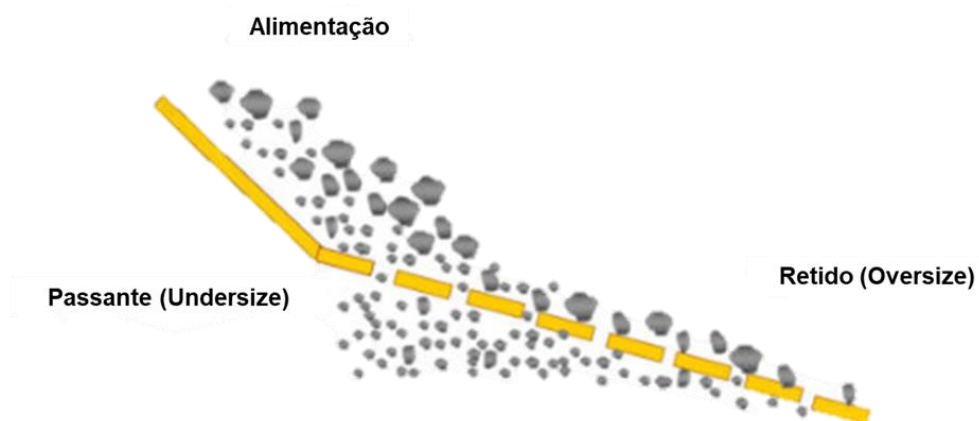
2.3.3 Rejeitos Peneirados

O peneiramento dos rejeitos de mineração é uma estratégia eficaz para otimizar o processamento de partículas finas e reduzir a quantidade de resíduos gerados pelas empresas mineradoras. Embora esses materiais finos e ultrafinos, resultantes do processo de beneficiamento, sejam frequentemente considerados como produtos sem valor comercial, eles possuem potencial econômico e ambiental significativo. O peneiramento dos rejeitos de mineração traz vantagens significativas tanto para o setor minerador quanto para o meio ambiente.

Ao adotar essa prática, observa-se os benefícios de redução do impacto ambiental, evitando a contaminação do solo com materiais poluentes, contribuindo para a preservação dos ecossistemas locais, gestão eficiente dos recursos permitindo a recuperação de partículas valiosas presentes nos rejeitos, maximizando o aproveitamento dos recursos naturais e boas práticas sustentáveis implementando o tratamento adequado dos rejeitos alinhada com as diretrizes ambientais, promovendo a sustentabilidade na indústria mineradora.

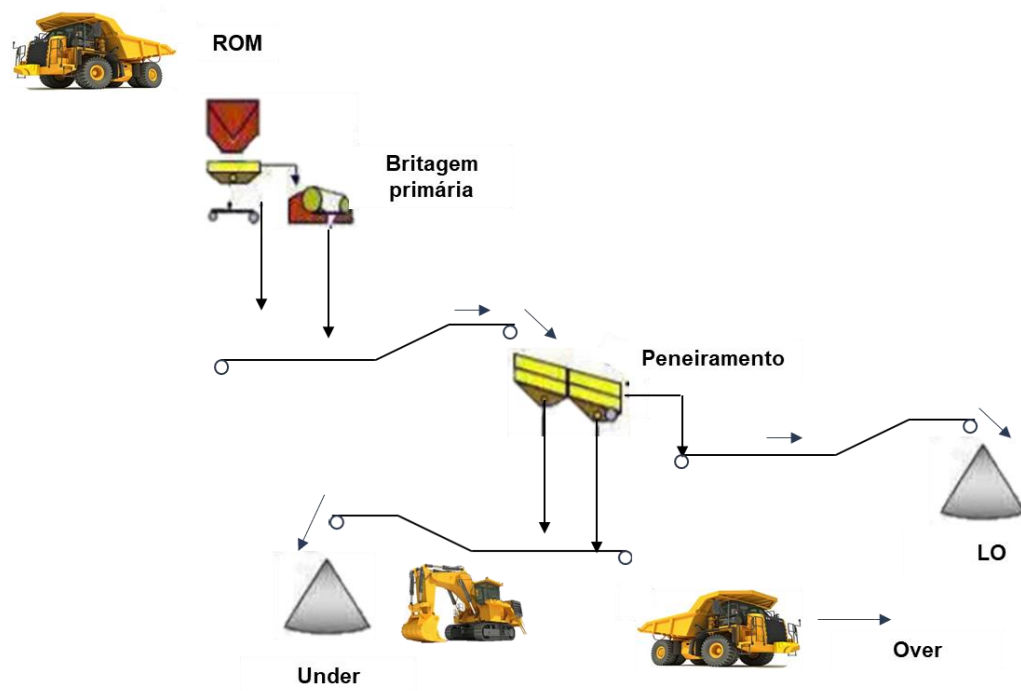
Esse processo não utiliza de incremento de água e todo o processo acontece à seco. Os materiais passantes na peneira são denominados como “undersize” e os materiais com granulometrias superiores às peneiras, ou seja, não passantes, são denominadas como “oversize”, conforme Figuras 13 e 14.

Figura 13 – Peneiramento do rejeito para adequação de granulometria



Fonte: Autora (2024)

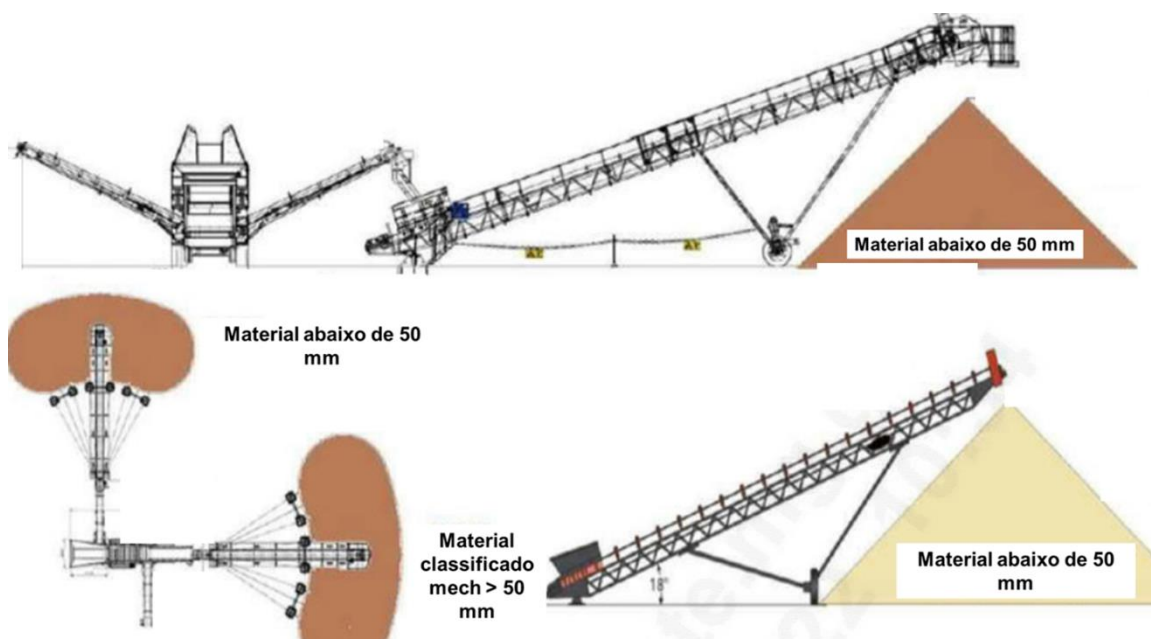
Figura 14 – Processo de Peneiramento do rejeito



Fonte: Autora (2024)

As peneiras, em sua maioria, são constituídas por alimentador, peneiras vibratórias e correias transportadoras para o empilhamento do material separado em oversize e undersize. O tamanho das aberturas das peneiras pode variar de acordo com os objetivos de cada processo. Na Figura 15 consta o fluxo de peneiramento do material.

Figura 15 – Formação de cones no processo de peneiramento do rejeito



Fonte: Autora (2024)

2.3.4 Controle tecnológico do empilhamento

De acordo com a publicação do United States Department of the Interior Bureau of Reclamation (1961), um controle eficaz vai além de medir e determinar a densidade seca e o teor de água de uma amostra de aterro compactado. É essencial que a compactação seja realizada com base nos dados de densidade seca máxima e no teor de água ideal.

A norma ABNT 12102 (ABNT, 2020) detalha o controle de compactação utilizando o método HILF (ensaio de cravação de cilindro). Este método se torna aplicável quando o controle de compactação está relacionado à energia normal de compactação. A norma também descreve o procedimento para a execução

deste ensaio. Os cálculos para determinação de grau de compactação e desvio de umidade ficam expressos nas equações (Figura 8 e Figura 9):

$$GC = \frac{\gamma_{dcampo}}{\gamma_{dmax}} \times 100\% \quad (8)$$

$$w_u = w - w_{opt} \quad (9)$$

GC: Grau de compactação no ponto do local de controle;

γ_{dcampo} = densidade seca no campo

γ_{dmax} = densidade seca máxima

w_u = Desvio de umidade;

w = Teor de umidade do solo compactado no aterro;

w_{opt} = Umidade ótima

Por falta de apoio normativo para esta prática de empilhamento de rejeito, as geometrias dessas estruturas devem ser elaboradas de maneira específica ao material de interesse, respeitando a área e geologia a qual será implantada e tendo sempre a drenagem como ponto de atenção em sua operação e após sua finalização.

O grau de compactação que o rejeito é submetido e a maneira como a compactação é executada interfere no comportamento do material e na segurança de seu empilhamento. Nesse sentido, este projeto de pesquisa está interessado em discutir o comportamento do rejeito empilhado, através de ensaios de campo e laboratório, relacionados com o grau de compactação a cada camada de disposição na pilha de rejeito.

A prática de rastreabilidade durante a operação e após a finalização da estrutura são fundamentais para que se tenha um histórico de informações e dados da estrutura operada. Para isso é imprescindível que haja projetos em níveis conceitual, básico e detalhado durante a operação e o avanço do conhecimento em nível *As Is*.

De modo geral, a rastreabilidade geotécnica em obras de terra é um agrupamento de informações desde os dados das áreas de empréstimo, passando pelos dados de laboratório obtidos durante a construção, assim como a liberação de camadas de empilhamento, garantindo confiabilidade dos dados

e permitindo que essas informações sejam acessíveis às áreas de interesse, possibilitando o conhecimento íntegro da estrutura. O gerenciamento dessas informações estão cada vez mais avançados possibilitando maior confiabilidade dos dados e evitando que tais informações não sejam perdidas durante o tempo.

2.4 Ensaios de laboratório

As campanhas de investigação associadas aos ensaios de laboratório desempenham um papel fundamental no aprofundamento do entendimento sobre as propriedades de uma estrutura. Elas nos proporcionam a oportunidade de identificar e entender as restrições geométricas inerentes a cada tipo de material, bem como as diretrizes operacionais correspondentes. Uma vez coletadas as amostras, podemos realizar testes laboratoriais padronizados. Esses testes, listados a seguir, nos permitem confirmar a eficácia do empilhamento. Além disso, eles abrem a possibilidade de implementar mudanças operacionais para aumentar a segurança da estrutura. Consta na Tabela 4 o resumo dos ensaios de laboratório executados.

Tabela 4 – Resumo dos ensaios de laboratório

Ensaio	Normatização	Metodologia de execução
Massa específica real dos grãos	ABNT NBR 6458 (2016)	Essa norma especifica o método para determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água dos grãos de pedregulho retidos na peneira de 4,8 mm. Este ensaio permite obter o parâmetro conhecido como Massa Específica Real dos grãos.
Determinação da massa específica aparente in situ, com emprego do cilindro de cravação	ABNT NBR 9813 (2016)	A determinação da massa específica aparente in situ através do cilindro de cravação é aplicável somente para solos coesivos de granulometria fina com consistência mole a média e isentos de pedregulhos. Esta norma estabelece diretrizes para medir a densidade do solo em condições específicas. Este parâmetro é uma medida da densidade total do solo, incluindo os espaços vazios e poros entre os grãos.

(continua)

Ensaio	Normatização	Metodologia de execução
Determinação do índice de vazios máximo em solos não coesivos	ABNT NBR 16840 (2020)	Essa norma especifica o método para determinar o índice de vazios máximo de solos granulares, não coesivos, contendo no máximo 12% (em massa) de material que passa na peneira de 0,075 mm. A NBR 16840 tem como objetivo avaliar a capacidade de vazios em solos granulares e é aplicável a solos não coesivos com características específicas.
Determinação do índice de vazios mínimo em solos não coesivos	ABNT NBR 16843 (2020)	A ABNT NBR 16840 tem como objetivo determinar o índice de vazios mínimo de solos granulares não coesivos, contendo no máximo 12% de material que passa na peneira #200 (com abertura de malha de 0,075 mm). Para executar o ensaio, é necessário considerar as normas relacionadas: ABNT NBR 6458, que define os grãos de pedregulho retidos na peneira 4,8mm, a ABNT NBR 7182, que estabelece o ensaio de compactação de solos, e as normas ABNT NBR NM ISSO 3310-1 e 2395 que estabelecem as peneiras dos ensaios com tela de tecido metálico e as peneiras de ensaio e ensaio de peneiramento, respectivamente.
Determinação do limite de liquidez e plasticidade	ABNT NBR 6459 (2016) e ABNT NBR 7180 (2016)	A ABNT NBR 6459 (2016) determina o limite de liquidez dos solos, sendo aplicável para avaliar a consistência e a plasticidade dos solos. Nesta é utilizado o aparelho de Casagrande para determinar o teor de umidade em que o solo passa do estado líquido para o estado plástico. A ABNT NBR 7180 especifica o método para a determinação do limite de plasticidade e o cálculo do índice de plasticidade dos solos
Análise granulométrica	ANBT NBR 7181 (2016)	Essa norma especifica o método para a análise granulométrica de solos, realizada por peneiramento ou por uma combinação de sedimentação e peneiramento. O ensaio envolve a separação das partículas do solo em diferentes diâmetros por meio de peneiras e é aplicável para avaliar a distribuição granulométrica dos solos.

(continua)

Ensaio	Normatização	Metodologia de execução
Ensaio de compactação	ABNT NBR 7182 (2016)	Essa norma especifica o método para determinar a relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca de solos quando compactados. O ensaio envolve a determinação do teor de umidade em que o solo passa do estado líquido para o estado plástico e é aplicável para avaliar a consistência e plasticidade dos solos.
Ensaio de adensamento unidimensional	NBR 16853 (2020)	Essa norma especifica o método de ensaio para determinação das propriedades de adensamento do solo, caracterizadas pela velocidade e magnitude das deformações, quando o solo é lateralmente confinado e axialmente carregado e drenado.
Ensaio de cisalhamento direto	ASTM D3080 (2011)	A norma ASTM D3080 especifica o método para o ensaio de cisalhamento direto de solos sob condições consolidadas e drenadas. O objetivo desse ensaio é determinar a resistência ao corte do solo. Ele envolve submeter uma amostra a uma tensão normal fixa e, em seguida, aplicar uma tensão cisalhante crescente até que ocorra a ruptura por cisalhamento. A norma fornece parâmetros essenciais, como coesão e ângulo de atrito.
Ensaio Triaxial CD (Adensado e Drenado)	ASTM D7181 (2020)	A norma ASTM D7181 especifica o método para o ensaio de cisalhamento direto de solos sob condições consolidadas e drenadas. O objetivo desse ensaio é determinar a resistência ao corte do solo. Ele envolve submeter uma amostra a uma tensão normal fixa e, em seguida, aplicar uma tensão cisalhante crescente até que ocorra a ruptura por cisalhamento. A norma fornece parâmetros essenciais, como coesão e ângulo de atrito.
Ensaio Triaxial CU (Adensado e Não Drenado)	ASTM D4767 (2020)	Essa norma especifica o método para o ensaio de cisalhamento direto de solos. O ensaio utiliza amostras saturadas de solo. O procedimento do ensaio envolve submeter a amostra em uma tensão normal fixa, aplicar uma tensão cisalhante crescente até que ocorra a ruptura por cisalhamento. A partir disso são determinados parâmetros de coesão e ângulo de atrito.

(continua)

Ensaio	Normatização	Metodologia de execução
Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante	ABNT NBR 13292 (2021)	A ABNT NBR 13292 é uma norma que trata da determinação do coeficiente de permeabilidade (ou coeficiente de condutividade hidráulica) à carga constante, com a água percolando pelo solo em regime de escoamento laminar. Essa norma se aplica a solos granulares, que contêm no máximo 10% (em massa) de material que passa na peneira de 0,075 mm.
Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável	ABNT NBR 14545 (2021)	A ABNT NBR 14545 especifica os métodos para determinação do coeficiente de permeabilidade à carga variável, com a água percolando pelo solo em regime de escoamento laminar. Essa norma é aplicável a solos argilosos.

Fonte: Autora (2024)

2.5 Ensaios de campo

Os ensaios geotécnicos realizados in situ são fundamentais para entender as propriedades e o comportamento do solo em seu estado natural. Esses testes são conduzidos diretamente no local de implantação da estrutura ou na área de interesse. Eles fornecem dados cruciais que auxiliam na tomada de decisões eficazes para a instalação segura e eficiente da estrutura. Dentre os ensaios de campo, os aplicados para este estudo de caso foram: sondagens a trado e mistas e *cone penetration test with poropressure measurements* (CPTu). Consta na Tabela 5 o resumo dos ensaios de laboratório executados.

Tabela 5 – Resumo dos ensaios de campo

Ensaio	Normatização	Metodologia de execução
SOLO – Sondagem de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio	ABNT NBR 6484 (2020)	Esta norma estabelece o método de execução de sondagens de simples reconhecimento de solos com SPT (Standard Penetration Test). A sondagem mista é uma técnica geotécnica que combina diferentes métodos de investigação para obter uma visão mais completa das características do solo. Nesse procedimento, são utilizadas sondas que incorporam elementos de sondagem rotativa (com trado ou broca) e sondagem a percussão (SPT - Standard Penetration Test).
		A sondagem rotativa permite coletar amostras contínuas do solo, revelando informações sobre sua composição, estratigrafia e resistência. Por outro lado, a sondagem a percussão avalia a resistência do solo por meio da penetração de uma haste padronizada.
		Ao combinar essas técnicas, a sondagem mista proporciona dados mais abrangentes, essenciais para projetos de fundações, contenções, estabilidade de taludes e outras aplicações geotécnicas. A interpretação conjunta dos resultados permite uma análise mais precisa e uma tomada de decisão embasada na realidade do subsolo.
		Os parâmetros que podem ser obtidos são: Tipos de solos (granulometria, e cor), espessura das camadas, índices de compactação/resistência dos solos, profundidade do lençol freático (se ocorrer), descrição litológica e os parâmetros geomecânicos das rochas, recuperação, grau de coerência, faturamento e alteração, rugosidade, inclinação, paredes e preenchimento das descontinuidades, qualidade da rocha RQD - Rock Quality Designation, tipo de rocha, grau de alteração, grau de fraturamento, grau de coerência, xistosidade, porcentagem de recuperação.

(continua)

Ensaio	Normatização	Metodologia de execução
Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas	ABNT NBR 9604 (2024)	A ABNT NBR 9604 especifica os requisitos para os procedimentos básicos na abertura de poço e trincheira, bem como os critérios para retirada de amostras deformadas e indeformadas de solo. Essa norma é relevante para avaliar a consistência e a plasticidade dos solos.
SOLO – Ensaio de penetração de cone in situ (CPT)	ABNT NBR 12069 (1991)	Os procedimentos para a execução do ensaio de penetração de cone são normatizados pela ABNT-NBR 12069/ 91 – Solo – Ensaio de penetração de cone in-situ (CPT). Os ensaios de cone e piezocone, representados pelas siglas CPT (Cone Penetration Test) e CPTU (Piezocone Penetration Test), são ferramentas amplamente reconhecidas internacionalmente para a caracterização geotécnica do solo em profundidade. O CPT (Cone Penetration Test) ocorre com a cravação de uma ponteira cônica a uma velocidade constante. Durante a penetração, registram-se a tensão de cravação da ponteira e o atrito lateral. O CPTU obtém os parâmetros medidos no CPT, com a incrementação da avaliação da poropressão gerada no solo.

Fonte: Autora (2024)

3.0 MATERIAIS E MÉTODOS

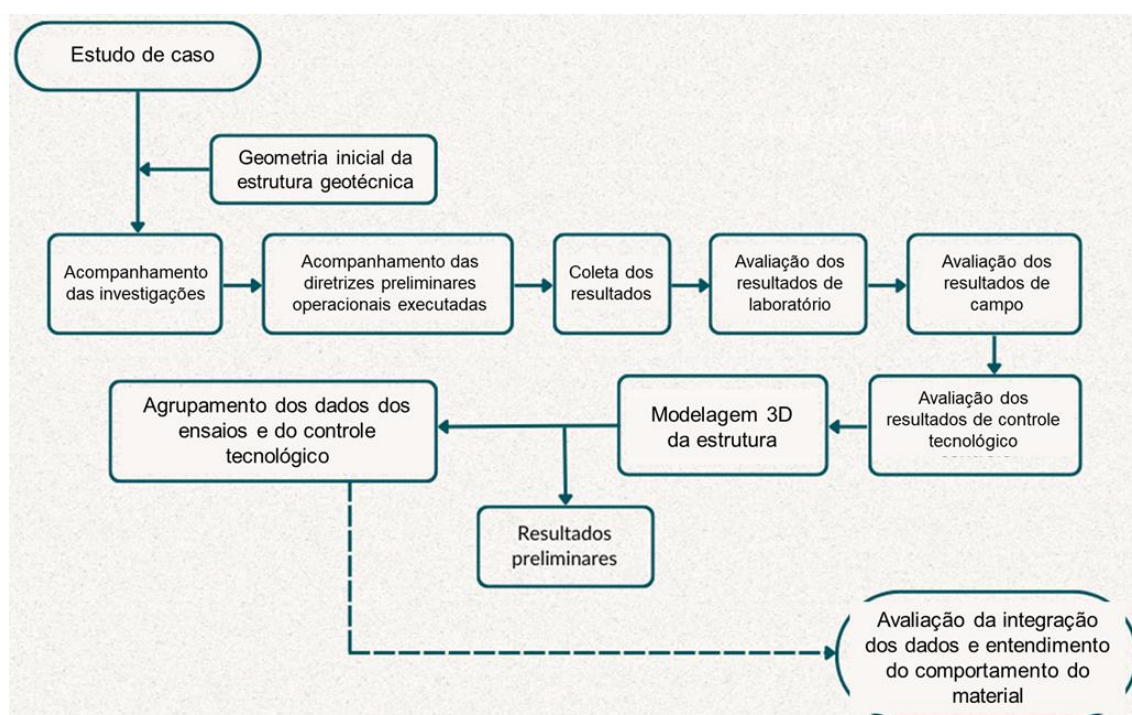
Neste trabalho, será conduzido um estudo de caso de natureza qualitativa-quantitativa, com foco na análise documental dos testes realizados na pilha de rejeitos seja através dos ensaios in situ e nos ensaios de laboratório executados.

A validação das diretrizes operacionais de empilhamento será realizada por meio de um estudo de campo, onde cada camada de disposição será analisada em conformidade com os resultados dos testes de campo e laboratório. Inicialmente, a rede de investigação na pilha existente e a operação de empilhamento serão monitoradas. Posteriormente, serão identificados os

bancos de dados para pesquisa e análise, passando por um processo de seleção dos artigos mais pertinentes e relevantes para o tema, facilitando uma revisão bibliográfica abrangente.

Após a execução dessas etapas, os resultados dos testes realizados na pilha serão coletados, fornecendo a base para uma análise e comparação desses resultados com cada camada de empilhamento. A análise integrada dos dados permitirá compreender o comportamento do material quando empilhado e submetido a diferentes diretrizes de empilhamento. Apresenta-se na Figura 16 o fluxograma metodológico da pesquisa.

Figura 16 – Fluxograma metodológico da pesquisa



Fonte: Autora (2024)

3.1 Estudo de caso

Na Figura 17 consta a linha do tempo da estrutura desde o ano de início da implantação (em 2021) até 2023 com a conclusão das investigações da segunda diretriz. Consta no **Anexo B** o relatório fotográfico do empilhamento do estudo de caso.

Figura 17 – Linha do tempo do empilhamento



Fonte: Autora (2024)

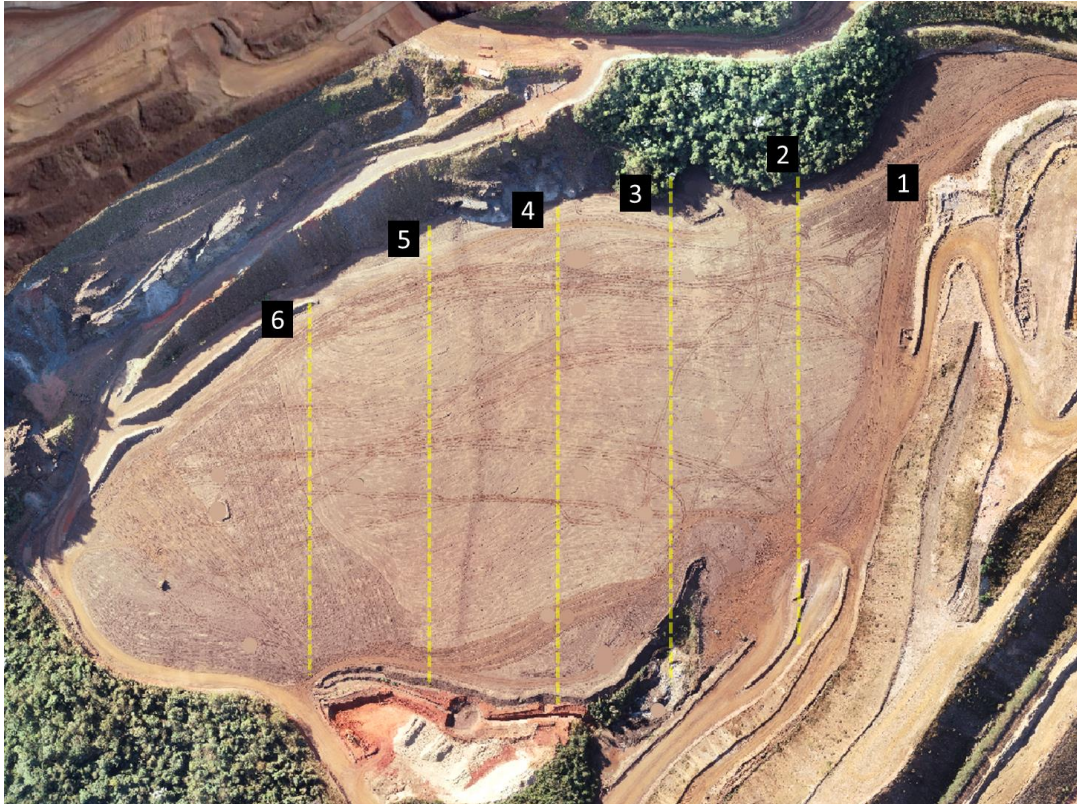
Para aprimorar a administração operacional e o controle tecnológico do empilhamento, a área de empilhamento foi estrategicamente dividida em setores. Estabelecemos um total de seis (6) setores distintos, cujas dimensões em metros quadrados (m²) estão detalhadas na Tabela 6. A Figura 18, por sua vez, apresenta uma representação gráfica da planta com a setorização claramente demarcada.

Tabela 6 – Áreas da divisão dos setores

Sector	Área (m²)
01	28.860,40
02	30.949,20
03	36.118,30
04	30.826,10
05	33.393,30
06	32.579,80
Total	192.727,10

Fonte: Autora (2024)

Figura 18 – Setorização da área do empilhamento



Fonte: Autora (2024)

Todo o rejeito do estudo de caso é peneirado de acordo com o Item 2.4 para adequação da granulometria do material, sendo o material passante, dito como undersize é destinado para empilhamento em uma cava exaurida, sendo maior parte da área confinada para pilha. O empilhamento do rejeito acontece com o preenchimento de uma cava já exaurida, a área da estrutura conta com, aproximadamente 180.000 m², sem taludes expostos, com uma capacidade, em volume já absorvida de em média 7.000.000 de toneladas (2.000.000 m³), conforme Figura 19.

Figura 19 – Imagem aérea da área de empilhamento

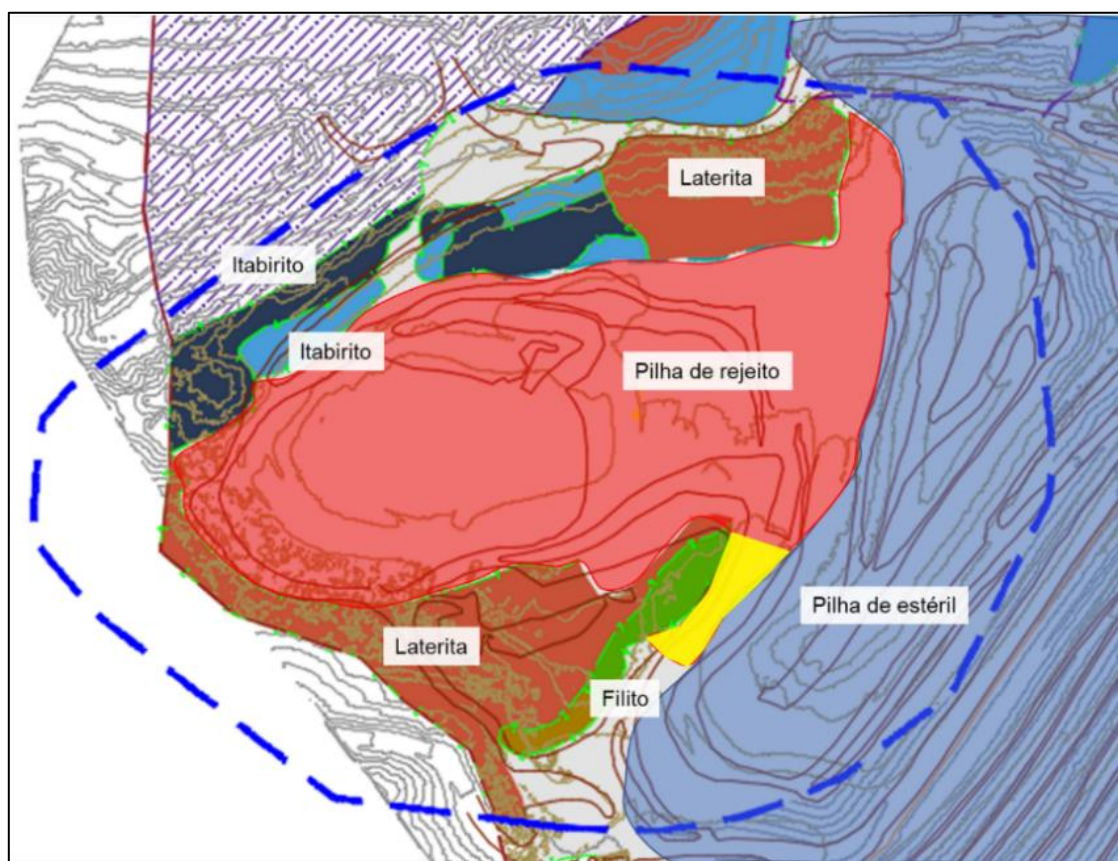


Fonte: Autora (2024)

A área de estudo está localizada na porção noroeste do Quadrilátero Ferrífero (QFe), situado sob os domínios estruturais da Serra do Curral. O QFe, por sua vez, encontra-se na porção sul do Cráton do São Francisco, uma unidade geotectônica de idade brasileira. Essa região é cercada por cinturões orogenéticos que convergem para o seu interior. (Almeida, 1977).

O Quadrilátero Ferrífero é caracterizado por uma distribuição quadrangular, resultado da estruturação do Supergrupo Minas. Esse supergrupo, preservado em quilhas, é circundado por domos de granitos e gnaisses-graníticos do embasamento Arqueano do Complexo Bonfim. (Alkmim e Marshak. 1998). Essa complexa interação geotectônica desempenha um papel fundamental na configuração geológica da área e influencia diretamente os processos geodinâmicos e a distribuição dos recursos minerais. A Geologia da área é composta por laterita, itabirito compacto, filito e uma pilha de estéril adjacente à área da pilha, conforme Figura 20.

Figura 20 – Área de geologia da pilha

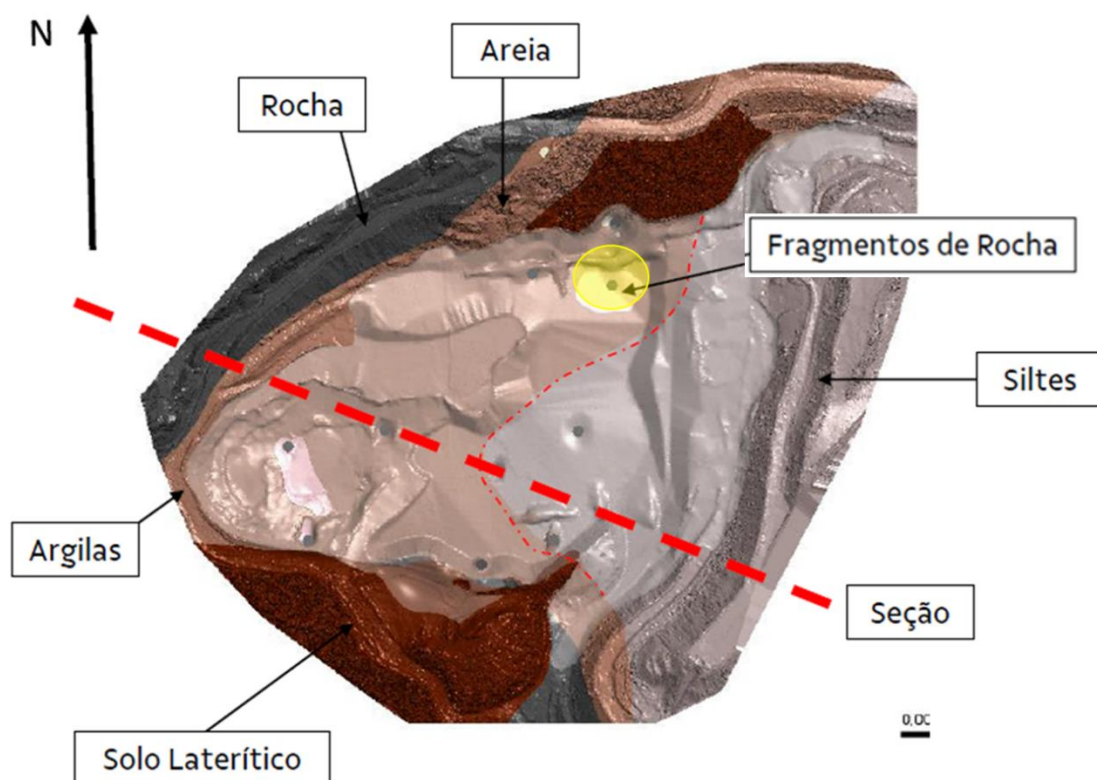


Fonte: Autora (2024)

A área de estudo passou por um refinamento meticuloso, baseado em algumas investigações diretas e, sobretudo, por meio de interpolações com as investigações indiretas realizadas de forma abrangente. A região de empilhamento é uma cava que, após ser esgotada, foi parcialmente preenchida por material estéril não compactado.

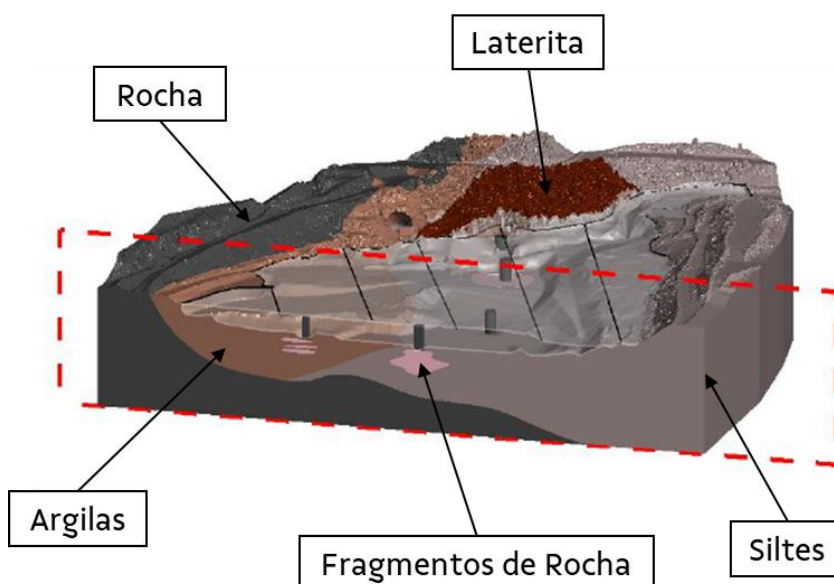
A maior parte deste material foi removida para acomodar os rejeitos, restando apenas 5% desse material na região central, ilustrado na Figura 20 como fragmentos de rocha. Os materiais mais argilosos estão localizados na porção leste. A Figura 21 destaca os principais materiais que compõem a fundação da pilha. A Figura 22 apresenta um corte representando a fundação.

Figura 21 – Principais materiais que compõem a fundação da pilha



Fonte: Autora (2024)

Figura 22 – Seção em que mostra a fundação da pilha



Fonte: Autora (2024)

Após o processo de peneiramento, conforme descrito no Item 2.4.2, o material se encontra com granulometria abaixo de 50 mm e apresenta, um teor de umidade de, aproximadamente 11% (informação será avaliada no Item 4.0), tendo sua variação dentro dos valores estipulado como umidade ótima, de acordo como avaliados no Item 4.0. Estando o material nesta umidade não é necessário ser realizado nenhum processo de filtragem.

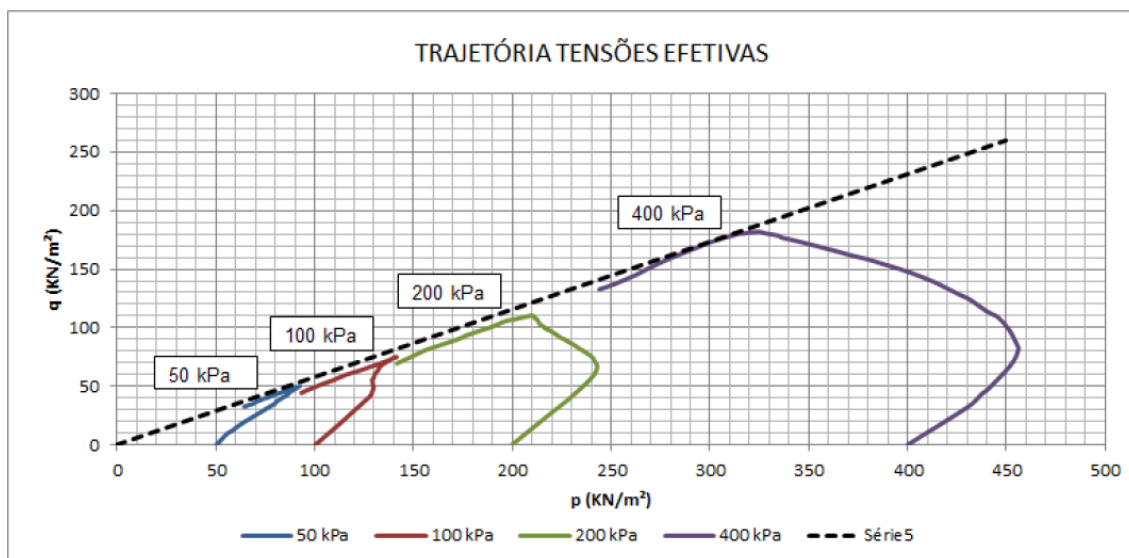
Caso a umidade esteja acima ou abaixo do valor ideal, é necessário fazer ajustes operacionais do material, umidificando com caminhão pipa, caso esteja abaixo, ou removendo a camada superficial com abertura e escarificação, caso esteja acima. Todo o ciclo operacional é descrito no Item 3.1.1. A distância média entre a área de peneiramento do rejeito até a área do empilhamento é de, aproximadamente, 6,23 quilômetros e acontece através de caminhões fora de estrada (capacidade de carregamento de, aproximadamente, 100 toneladas).

O empilhamento iniciou em 2021 com a execução de controle tecnológico para caracterização do material e dimensionamento dos equipamentos a serem utilizados.

A definição dos critérios iniciais estipulados na primeira diretriz operacional foi baseada em um estudo prévio com o mesmo material empilhado a partir de amostras deformadas retiradas. Foram realizados ensaios triaxiais em amostras deformadas e moldadas em laboratório com graus de compactação de 90% e 95% do Proctor Normal.

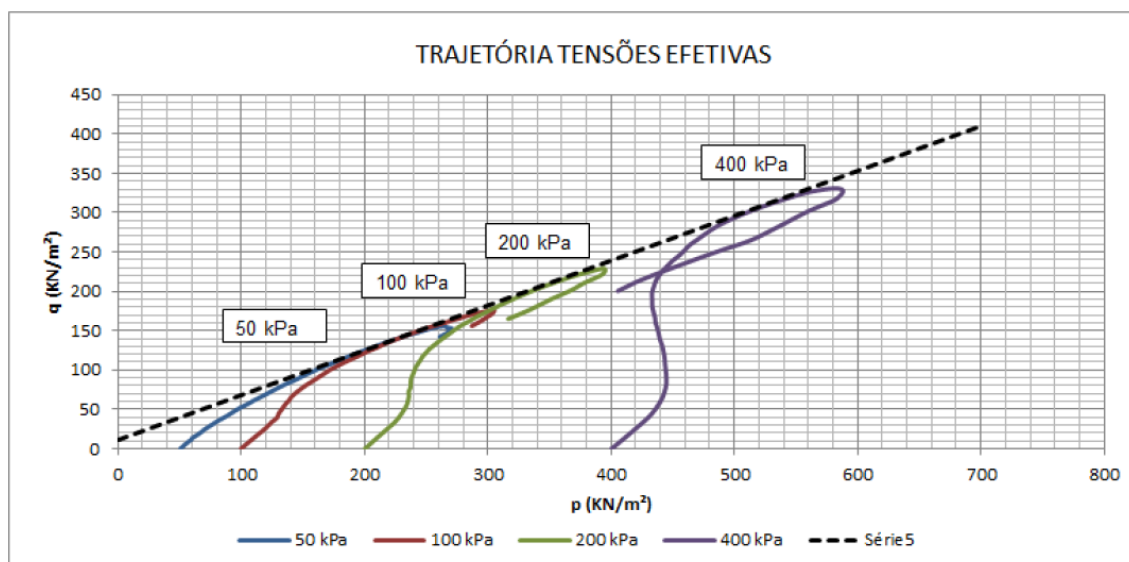
Os resultados mostraram que a amostra moldada com grau de compactação de 90% apresentou-se contrátil, enquanto a moldada com grau de compactação de 95% apresentou-se dilatante. A Figura 23 e a Figura 24 apresentam as trajetórias de tensões efetivas das amostras moldadas com grau de compactação de 90% e 95% respectivamente. Importante pontuação que os níveis de tensões em que as amostras foram submetidos (50, 100, 200 e 400 KPa) refletem um empilhamento de aproximadamente 20 metros, não sendo necessários ensaios com maiores tensões.

Figura 23 – Trajetória de tensões efetivas das amostras moldadas com grau de compactação de 90%.



Fonte: Autora (2024)

Figura 24 – Trajetória de tensões efetivas das amostras moldadas com grau de compactação de 95%.



Fonte: Autora (2024)

Dessa maneira, foram definidas as primeiras diretrizes quanto à altura da camada, grau de compactação, desvio de umidade e números de passadas necessários. As praças de empilhamento que seguiram a primeira diretriz foram

os setores 1, 2 e 3. Sendo assim, a Tabela 7 detalha os parâmetros da diretriz operacional 01 e a Tabela 8 descreve os equipamentos utilizados.

Tabela 7 – Diretriz operacional 01

Volume (ton)	Área (ha)	Altura camada (m)	Grau de compactação	Desvio de umidade	Números de passadas trator
4.083.400,8	≅19	0,80	95% a 104%	±2	8 a 10

Fonte: Autora (2024)

Tabela 8 – Equipamentos utilizados na diretriz operacional 01

Espalhamento	Compactação	Nivelamento	Umidificação	Escarificação
Trator de esteira	Trator de esteira	Motoniveladora	Caminhão pipa	Trator de esteira

Fonte: Autora (2024)

Em 2022 foi necessária a expansão do empilhamento e elaboração de um projeto conceitual para esta estrutura, assim sendo, foi realizado uma nova campanha de investigação para entendimento do comportamento do material após a disposição. A campanha contou com ensaios de sondagem mista, CPTu e poços de inspeção para realização de ensaios de laboratório (descritos no Item 3.1.3).

Com a avaliação dos ensaios foi verificada a necessidade de algumas alterações na diretriz operacional de empilhamento, Conforme Tabela 9 e os equipamentos utilizados constam na Tabela 10. As praças que seguiram a segunda diretriz foram as 4, 5 e 6.

Tabela 9 – Diretriz operacional 02

Volume (ton)	Área (ha)	Altura camada (m)	Grau de compactação	Desvio de umidade	Números de passadas rolo	de trator/
2.800.042,0	≅19	0,60	98% a 104%	±2	6 a 8	

Fonte: Autora (2024)

Tabela 10 – Equipamentos utilizados na diretriz operacional 02

Espalhamento	Compactação	Nivelamento	Umidificação	Escarificação
02	02	02	02	02
Trator de esteira	Rolo compactador	Motoniveladora	Caminhão pipa	Trator de esteira

Fonte: Autora (2024)

As características do rolo compactador constam no manual de operação, e está descrito abaixo:

O rolo compactador utilizado é do tipo 3411 da Hamm utilizado para compactar larguras de 2.140 mm com força centrífuga que varia de 144 a 246 kN. Possui rolo frontal de tambor liso que vibra em frequência de 30 a 40 Hertz e gera amplitude de 0,8 a 1,9 mm. O peso operacional máximo é de 12.830 kg. (AecWeb. Rolo Compactador Hamm 3411. AecWeb, 2024. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/produto/rolo-compactador-hamm-3411/23765>.)

Consta na Tabela 11 com as características técnicas de capacidade e desempenho do rolo. E na Tabela 12 consta as características do trator de esteira utilizado.

Tabela 11 – Capacidade x Desempenho do Rolo Compactador Hamm 3411

Rolo Compactador Hamm 3411	
Largura de compactação	2.140 mm
Força centrífuga do rolo	144 – 246 kN
Frequência vibratória	30 – 40 Hz
Espessura do tambor	25 mm
Amplitude vibratória	0,8 – 1,9 mm
Espessura do tambor	25 mm
Amplitude vibratória	0,8 – 1,9 mm

Fonte: AecWeb. Rolo Compactador Hamm 3411. AecWeb, 2024. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/produto/rolo-compactador-hamm-3411/23765>.

Tabela 12 – Ficha técnica do Trator de esteira (D10)

Trator de esteira D10	
Largura sobre os Munhões	3.759 mm
Peso Operacional	70.256 kg
Potência do Motor	449 kW
Vão livre sobre o solo	725 mm
Comprimento total com lâmina	7.750 mm

Fonte: CAT. Large Dozers D10. CAT, 2024. Disponível em:
https://www.cat.com/en_US/products/new/equipment/dozers/large-dozers/115080.html.

Todas as investigações referentes à primeira diretriz finalizaram em 2023 com o entendimento mais maduro do comportamento do rejeito nessa estrutura. E no mesmo ano foram executados novos ensaios para avaliação e comparação da eficácia das diretrizes operacionais.

3.1.1 Ciclo operacional de empilhamento

Os “modos operantes” de um empilhamento de rejeito deve ser particular às características e propriedades do material. Para este estudo de caso, o ciclo operacional de empilhamento inicia com a marcação topográfica da camada na praça previamente identificada, para isto, utiliza-se estacas de madeira marcadas com a cota a ser atingida para espalhamento.

Seguido disto ocorre o carregamento e transporte do rejeito através de caminhões fora de estrada e/ ou rodoviário de forma ordenada de acordo com o volume de rejeito peneirado.

As máquinas de transporte basculham o material nas praças pré-determinadas e sinalizadas pelo ATO juntamente com os supervisores de operação. Após o basculamento os materiais devem ser espalhados por trator de esteira (tipo D8, D10 ou similar) conforme as marcações topográficas, além disto, para auxiliar no nivelamento da camada pode-se utilizar uma motoniveladora.

Após os primeiros ensaios de compactação do material foi possível definir a umidade ótima do material e acompanhada sempre quando novas camadas de empilhamento forem sendo depositadas. A partir disso é feito o tratamento do material de acordo com a umidade em que ele se encontra.

Caso o material esteja muito úmido (seja por ocorrência de chuvas ou pelas condições de origem) deverá ser realizada a secagem do rejeito com o auxílio de equipamentos com grade através da abertura da camada até que o material esteja na condição adequada de compactação (aferido através de ensaios nas amostras in situ).

Por outro lado, caso o material esteja muito seco deverá ser realizada a umectação por meio de caminhões pipas para ajuste da umidade dos rejeitos. Ou ainda, caso o material já esteja na umidade ótima ou dentro dos limites de desvios de umidade, é possível continuar o ciclo operacional.

Depois de homogeneizar o material na umidade adequada para alcançar o grau de compactação desejado, a compactação do material é iniciada. Recomenda-se o uso de um rolo compactador nesta etapa para assegurar eficiência, uniformidade das camadas e energias de compactação em todos os pontos de empilhamento. No entanto, outros equipamentos podem ser avaliados, desde que sua eficácia para atingir os parâmetros construtivos seja confirmada por meio de aterros experimentais.

Para permitir a progressão do ciclo operacional, um controle tecnológico da área é realizado para medir o grau de compactação no topo, meio e base, além de verificar os desvios de umidade nos pontos pré-estabelecidos. Com os resultados de HILF obtidos em laboratório, o ATO responsável pela área avaliará os dados. Se estiverem em conformidade com a faixa estabelecida, a continuação do empilhamento para o ciclo da próxima camada será autorizada. Para assegurar uma drenagem eficaz da pilha durante o período chuvoso, as camadas serão empilhadas com inclinações transversais de 1,5%, evitando assim o acúmulo de água nas áreas de operação.

Ressalta-se que o empilhamento deve, necessariamente, acontecer pelo método ascendente em todas as camadas de disposição. A Figura 25 mostra o ciclo operacional de empilhamento de rejeito executado. Todo o fluxograma operacional deve ser seguido e os resultados dos ensaios de compactação são verificados para a aprovação e autorização da continuação do empilhamento. Caso os resultados não estejam aderentes, é necessário a realização do retrabalho do ciclo operacional.

A confirmação do grau de compactação das camadas de empilhamento e aferição dos parâmetros projetados aos parâmetros obtidos são realizados

utilizando ensaios do tipo HILF, normatizado através da norma ABNT NBR 12102/ 2020. Através dessa metodologia é possível a determinação do grau de compactação e desvio de umidade sem a necessidade de conhecimento prévio do desvio do teor de água do material no ponto em que está investigando.

Os pontos testados são marcados e georreferenciados, o que facilita a rastreabilidade geotécnica durante a operação na pilha. O ciclo operacional do empilhamento deve ser adaptado às características específicas de cada material empilhado. Isso é evidente na etapa de remoção da camada superficial após as chuvas para retomar o ciclo.

Essa etapa só é viável devido à granulometria do material, que permite uma baixa permeabilidade, mantendo condições favoráveis nas demais camadas do empilhamento.

Figura 25 – Ciclo operacional de empilhamento

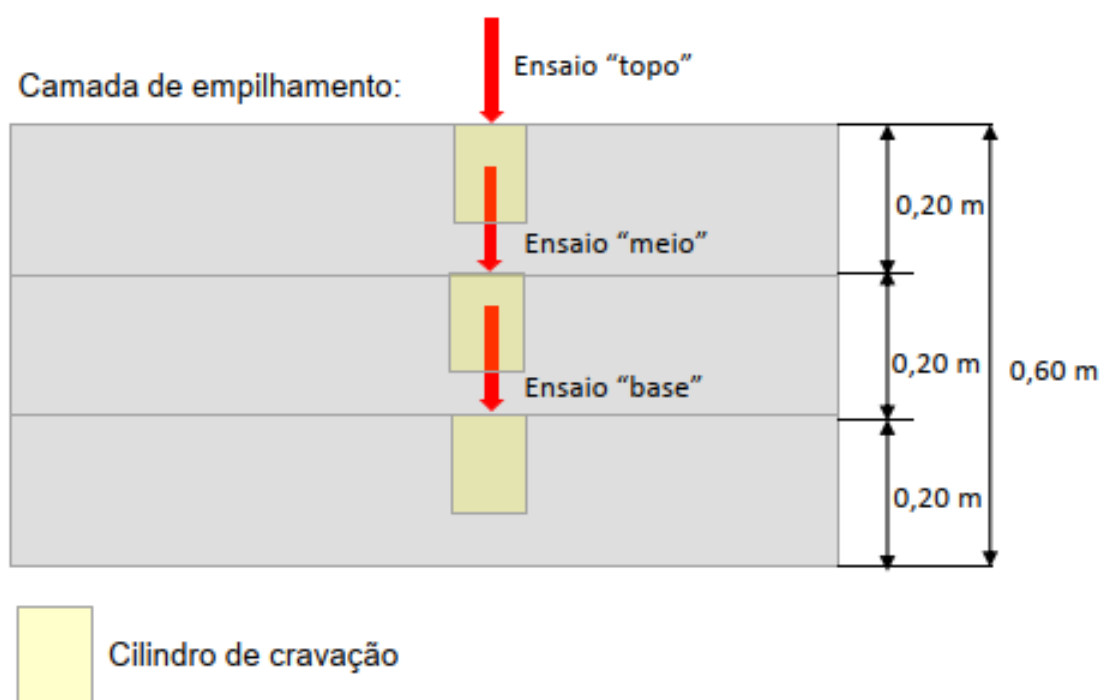


Fonte: Autora (2024)

*A compactação na primeira diretriz operacional é realizada através de Trator de esteira (D8 ou D10) e na segunda diretriz é realizada por Rolo compactador

Os testes de controle tecnológico de compactação, utilizando o método Hilf, são executados no topo, meio e base da camada de 80 centímetros durante a operação da primeira diretriz, e na camada de 60 centímetros durante a implementação da segunda diretriz, conforme ilustrado na Figura 26. As normas estabelecem que esses testes em campo não devem ser realizados sob condições de chuva.

Figura 26 – Metodologia dos ensaios de compactação (método HILF)



Fonte: Autora (2024)

As amostras são retiradas do campo e levadas para laboratório para verificação de densidades e umidades. Após o processo de homogeneização da amostra, peneiramento, repartição, e compactação são determinados a massa específica aparente úmida, o parâmetro z e a massa específica aparente úmida convertida. Sendo, então, os valores transferidos para uma planilha de determinação dos parâmetros. A Figura 28 consta o modelo expandido da ficha de ensaio HILF executado.

Figura 27 – Modelo expandido da ficha do ensaio Hilf

				CONTROLE DE COMPACTAÇÃO MÉTODO DE HILF				
CLIENTE:				OBRA:			ENSAIO:	
MATERIAL:				LABORATORISTA:			DATA	
LOCALIZAÇÃO DO ENSAIO								
AMARRAÇÃO TOPOGRÁFICA	N		E		H		LOCAL	
MASSA ESPECÍFICA APARENTE ÚMIDA "IN SITU" - δ_{uB} (NBR 9813)								
LOCAL DE CRAVAÇÃO DO CILINDRO				TOPO	MEIO	BASE		
CILINDRO	Nº							
PESO DO CILINDRO + AMOSTRA	(g)							
PESO DO CILINDRO	(g)							
PESO DO SOLO	(g)							
VOLUME DO CILINDRO	cm³							
DENSIDADE ÚMIDA	g/cm³							
DENSIDADE ÚMIDA MÉDIA	g/cm³							
				LABORATÓRIO	UNIDADE DO SOLO			
					DETERMINAÇÃO		I	II
					CÁPSULA Nº			
					PESO BRUTO ÚMIDO			
					PESO BRUTO SECO			
					PESO DA CÁPSULA			
					PESO DA ÁGUA			
					PESO DO SOLO SECO			
					UMIDADE (%)			
					ATERRO			
					UMIDADE - h_w			
					MASSA ESPECÍFICA ÚMIDA ATERRO - δ_{uB}			
					TOPO		MEIO	BASE
					MASSA ESPECÍFICA SECA ATERRO - $\delta_u^{máx}$			
					TOPO		MEIO	BASE
HILF								
PARÂMETRO - Z (Z_{m1})		TRAÇADO - D						
M.E.A. ÚMIDA CONVERTIDA LABORATÓRIO - $\delta_{uB}^{máx}$								
MASSA ESPECÍFICA SECA - $\delta_u^{máx}$								
UMIDADE ÓTIMA - h_{opt}		DESVIO UMIDADE - Δh						
GRAU DE COMPACTAÇÃO - GC								
TOPO		MEIO	BASE					
EFICIÊNCIA DO RÔD - EF								
TOPO		MEIO	BASE					
COMPACTAÇÃO								
CILINDRO Nº								
PARÂMETRO Z								
CILINDRO + AMOSTRA								
PESO DO CILINDRO								
PESO DO SOLO								
VOLUME DO CILINDRO								
MASSA ESPECÍFICA ÚMIDA								
MASSA ESPEC. CONVERTIDA								
TEOR DE UMIDADE								
MASSA ESPECÍFICA SECA								
OBSERVAÇÕES:								
LABORATORISTA		RESPONSÁVEL TÉCNICO		FISCALIZAÇÃO				

Fonte: Autora (2024) adaptado

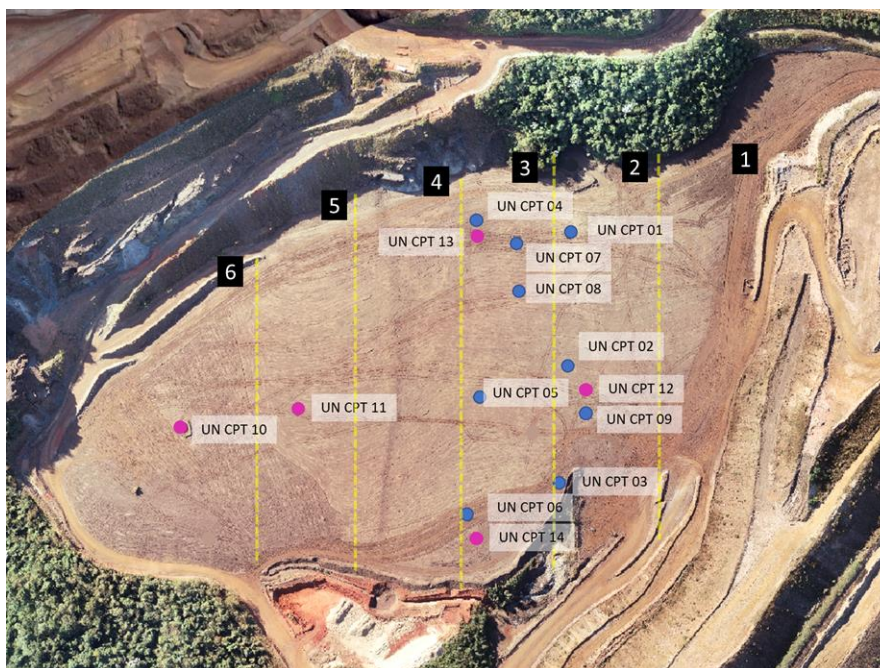
3.1.2 Malha de investigação

Em 2022 foi iniciada a campanha de investigação na estrutura com ensaios de Penetração de cone (CPTu) para entendimento do comportamento do material na primeira diretriz de empilhamento. Nesta primeira fase foram executados nove (9) ensaios tipo CPTu.

Após a avaliação dos dados desta primeira campanha foi verificado a possibilidade de melhorias na diretriz, o que, conforme descrito no Item 3.1, houve o aumento do grau de compactação mínimo de 95% para 98% e incremento de um rolo compactador para execução da compactação do material.

Após a finalização do empilhamento seguindo a primeira diretriz iniciou-se o empilhamento seguindo a segunda diretriz operacional, que em 2023 foram executados mais cinco (5) ensaios de CPTu para verificação do comportamento do material no que diz respeito à resistência de ponta e atrito lateral. A Figura 28 mostra a localização dos furos CPTUs executados, sendo os pontos em azul para as investigações da primeira diretriz e na cor magenta os CPTU's executados após a implantação da segunda diretriz. Consta nas duas Figuras a identificação dos limites dos setores de empilhamento.

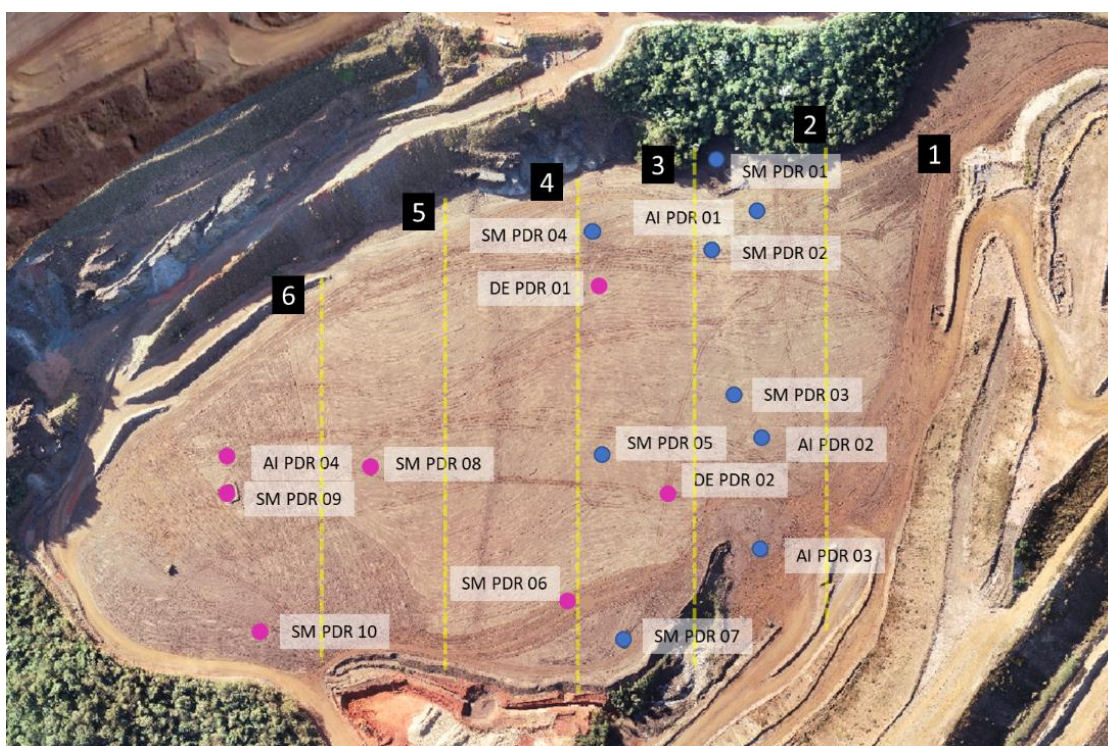
Figura 28 – Localização dos ensaios CPTU's



Fonte: Autora, 2024

A Figura 29 mostra as sondagens mistas executadas após a finalização da primeira diretriz operacional (na cor azul) totalizando cinco (5) e as sondagens mistas executadas após a segunda diretriz operacional (cor magenta) que totalizam quatro (4). Além dessas investigações, foram retiradas amostras deformadas e indeformadas.

Figura 29 – Localização das sondagens (SM), poços de inspeção (AI) e amostras tipo Denison (DE)



Fonte: Autora (2024)

Em geral, as investigações podem ser categorizadas com base no período em que foram realizadas, seguindo a primeira ou a segunda diretriz operacional, conforme descrito anteriormente neste item. A Tabela 13 apresenta detalhes das investigações, incluindo a identificação, a diretriz adotada, a profundidade e as observações pertinentes. A camada de rejeito possui, aproximadamente, 25 metros de profundidade, sendo ultrapassado para além da fundação nas sondagens executadas.

Tabela 13 – Lista das investigações realizadas na área do empilhamento

Identificação	Diretriz	Profundidade (m)	Observação
UN CPT 01	01	22,49	Paralisação por resistência de ponta
UN CPT 02	01	8,37	Paralisação por resistência de ponta
UN CPT 03	01	12,48	Paralisação por resistência de ponta
UN CPT 04	01	13,72	Paralisação por resistência de ponta
UN CPT 05	01	9,52	Paralisação por resistência de ponta
UN CPT 06	01	11,83	Paralisação por resistência de ponta
UN CPT 07	01	17,10	Paralisação por resistência de ponta
UN CPT 08	01	15,17	Paralisação por resistência de ponta
UN CPT 09	01	16,97	Paralisação por resistência de ponta
UN CPT 10	02	24,80	Paralisação por resistência de ponta
UN CPT 11	02	20,50	Paralisação por resistência de ponta
UN CPT 12	02	19,83	Paralisação por resistência de ponta
UN CPT 13	02	16,61	Paralisação por resistência de ponta
UN CPT 14	02	19,59	Paralisação por resistência de ponta
SM PDR 01	01	24,00	Paralisação na fundação
SM PDR 02	01	37,06	Paralisação na fundação
SM PDR 03	01	60,00	Paralisação na fundação
SM PDR 04	01	60,00	Paralisação na fundação
SM PDR 05	01	60,00	Paralisação na fundação
SM PDR 06	02	50,00	Paralisação na fundação
SM PDR 07	01	60,00	Paralisação na fundação
SM PDR 08	02	53,20	Paralisação na fundação
SM PDR 09	02	60,00	Paralisação na fundação
SM PDR 10	02	60,00	Paralisação na fundação
AI PDR 01	01	1,50	Rejeito
AI PDR 02	01	1,50	Rejeito
AI PDR 03	01	1,50	Rejeito
AI PDR 04	01	1,50	Rejeito
DE PDR 01	02	10 a 11	Rejeito
DE PDR 02	02	15 a 16	Rejeito

Fonte: Autora, 2024

Para caracterizar o rejeito disposto, as amostras foram submetidas aos ensaios de laboratório presentes na Tabela 14.

Tabela 14 – Ensaios de laboratório

ENSAIOS	NORMATIZAÇÃO
Granulometria Completa –	NBR 7181
Massa Específica Real dos Grãos –	ASTM D 854
Limites de Atterberg –	NBR 6459 e NBR 7180
Densidade Aparente - Método da Balança Hidrostática -	NBR 10838
Peso específico natural –	NBR 16867
Teor de Umidade Natural –	NBR 16097
Permeabilidade -	NBR 14545/ NBR 13292
Compactação Proctor Normal –	NBR 7182
Índice de Vazios máximo e mínimo –	NBR 12051-NBR 12004
Adensamento Oedométrico -	NBR 12007
Triaxial CIU - ASTM D4767 - sob as tensões confinantes 50, 100, 200, 400 e 800 KPa	ASTM D4767
Triaxial CID - ASTM D7181 - sob as tensões confinantes 50, 100, 200, 400 e 800 KPa	ASTM D4767

Fonte: Autora, 2024

4.0 RESULTADOS

4.1 Avaliação dos ensaios de campo

4.1.1 Sondagens Mistas

Dez sondagens mistas foram realizadas, das quais seis estão relacionadas à primeira diretriz e quatro à segunda. Os registros dessas sondagens podem ser encontrados no **Anexo A** desta dissertação.

As Figuras de 30 a 32 fornecem um resumo visual dos perfis em profundidades e os valores do Teste de Penetração Padrão (NSPT) correspondente. No eixo das ordenadas constam os valores de NSPT referentes à cada ensaio.

SMPDR01

Depth (m)	Unit	Value
0 - 1.25	REJETO SILTE ARENOSO	24.0
1.25 - 1.75	REJETO SILTE ARENOSO	18.0
1.75 - 2.25	REJETO SILTE ARENOSO	4.0
2.25 - 2.75	REJETO SILTE ARENOSO	21.0
2.75 - 3.25	REJETO SILTE ARENOSO	30.0
3.25 - 3.75	REJETO SILTE ARENOSO	47.72
3.75 - 4.25	AREIAS	11.25
4.25 - 4.75	AREIAS	34.0
4.75 - 5.25	AREIAS	33.0
5.25 - 5.75	AREIAS	23.0
5.75 - 6.25	AREIAS	30.0

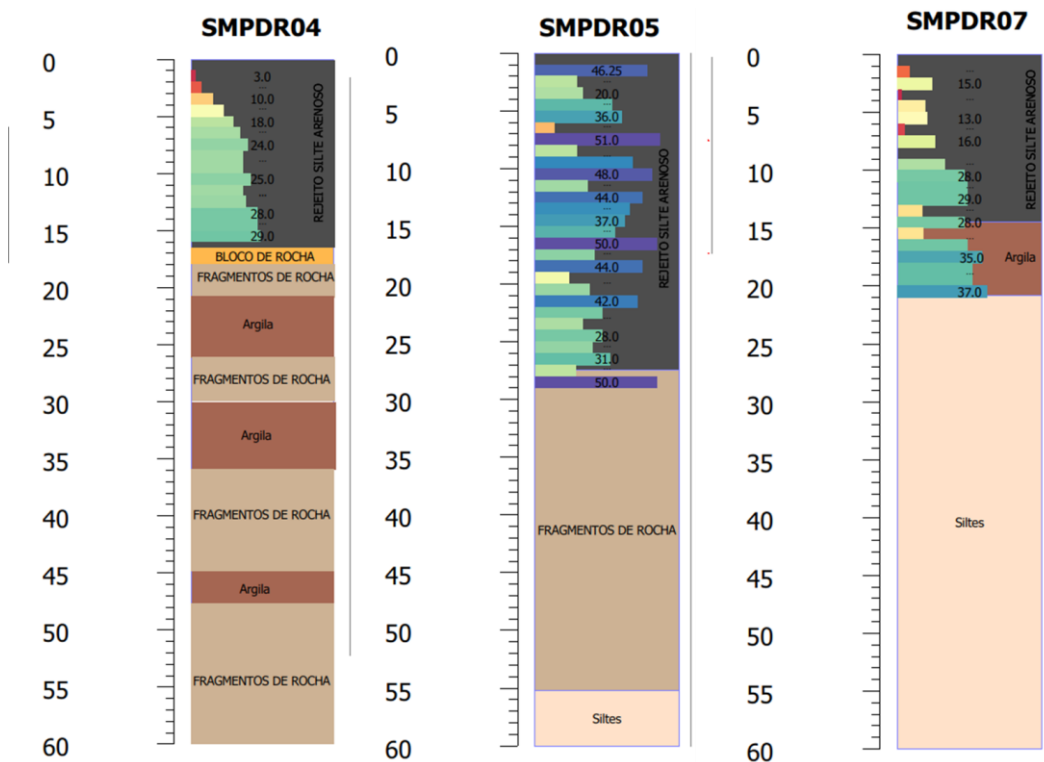
SMPDR02

Depth (m)	Unit	Value
0 - 1.25	REJETO SILTE ARENOSO	27.0
1.25 - 1.75	REJETO SILTE ARENOSO	18.0
1.75 - 2.25	REJETO SILTE ARENOSO	36.0
2.25 - 2.75	REJETO SILTE ARENOSO	59.0
2.75 - 3.25	REJETO SILTE ARENOSO	1.11
3.25 - 3.75	REJETO SILTE ARENOSO	3.53
3.75 - 4.25	REJETO SILTE ARENOSO	35.0
4.25 - 4.75	REJETO SILTE ARENOSO	50.0
4.75 - 5.25	REJETO SILTE ARENOSO	50.0
5.25 - 5.75	REJETO SILTE ARENOSO	50.0
5.75 - 6.25	FRAGMENTOS DE ROCHA	
6.25 - 35.0	BLOCO DE ROCHA	

SMPDR03

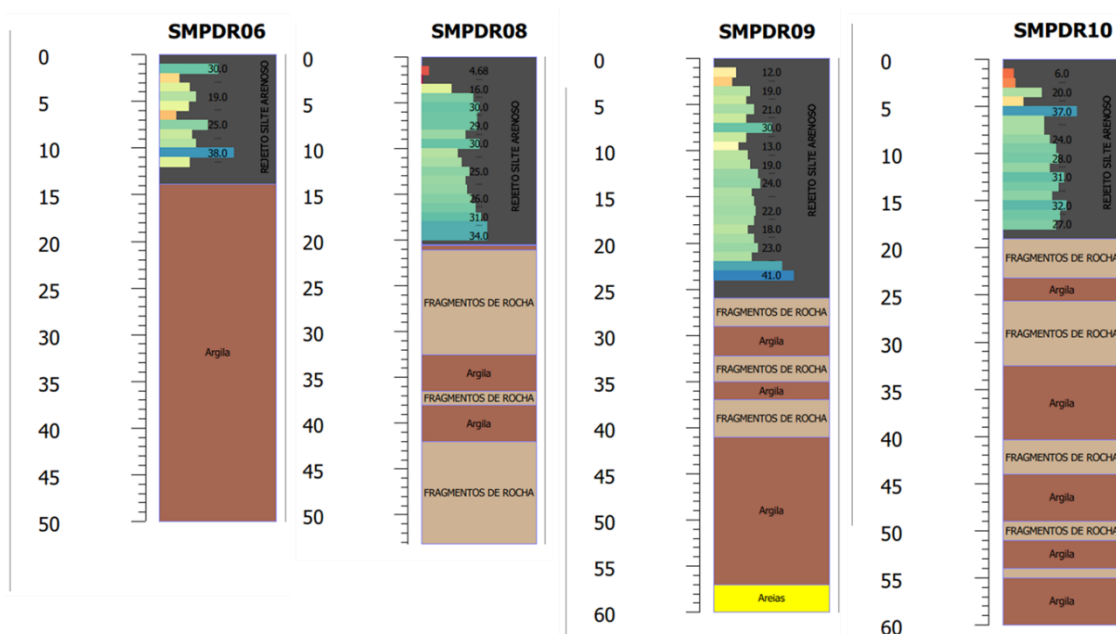
Depth (m)	Unit	Value
0 - 1.25	REJETO SILTE ARENOSO	29.0
1.25 - 1.75	REJETO SILTE ARENOSO	37.0
1.75 - 2.25	REJETO SILTE ARENOSO	41.0
2.25 - 2.75	REJETO SILTE ARENOSO	22.25
2.75 - 3.25	REJETO SILTE ARENOSO	36.0
3.25 - 3.75	REJETO SILTE ARENOSO	51.0
3.75 - 4.25	REJETO SILTE ARENOSO	48.0
4.25 - 4.75	REJETO SILTE ARENOSO	50.0
4.75 - 5.25	REJETO SILTE ARENOSO	50.0
5.25 - 35.0	Siltos	

Figura 31 – Perfis de sondagem SM PDR 04, SM PDR 05 e SM PDR 07



81

Figura 32 – Perfis de sondagem SM PDR 06, SM PDR 08, SM PDR 09 e SM PDR 10



Fonte: Autora (2024)

Nos ensaios de sondagem mista realizados, observou-se que a amostragem e a coleta dos valores de NSPT foram possíveis apenas na camada de rejeito, visto que esse é o material de interesse para conhecimento. Para o alcance da fundação, composta por fragmentos de rocha, blocos de rocha, argila, silte ou areia, a investigação prosseguiu utilizando o método destrutivo, para reconhecimento e confirmação da fundação da estrutura.

O rejeito aparece até a profundidade, aproximadamente, de 25 metros por toda a pilha e trata-se de uma camada silte arenosa com pouca argila (areia fina a grossa) marrom acinzentada, podendo ser observado através da avaliação tátil-visual. Há pedregulhos angulosos a subangulosos finos a grandes de mica e hematita. De acordo com os valores de Nspt obtidos e demonstrados no decorrer dessa avaliação, o rejeito apresenta-se mais compacto próximo da base, conforme valores de Nspt. Toda a caracterização do rejeito apresenta-se no Item 4.3.1.

Os blocos de rocha e fragmentos de rocha aparecem abaixo do rejeito são materiais de estéril anteriormente depositados na profundidade de 18,00m, tendo variações conforme a topografia primitiva. Apresenta textura silte arenosa com pouca argila e coloração variegada (marrom avermelhado e amarelo). Há

presença de pedregulhos angulosos a subangulosos finos a blocos de itabirito, quartzito, mica, laterita, filito e traços manganêsíferos. Este domínio é caracterização pela sua heterogeneidade e foi identificado como impenetrável pelo ensaio SPT.

O solo laterítico aparece próximo à borda sul da pilha, no furo SM PDR 06, abaixo da camada de rejeito. Trata-se de argila marrom alaranjado com pedregulhos angulosos a subangulosos de laterita, hematita e canga de até 4,00cm e em menor proporção quartzo.

Dentre os LOGs apresentados nas Figuras de 30 a 32 é possível observar que as sondagens realizadas nos setores da primeira diretriz apresentam maiores variações de valores de NSPT, visível pela variação de cores, exceto o furo SM PDR 04, que apresenta uma crescente uniforme em profundidade (relação profundidade versus valores de NSPT obtidos. As sondagens executadas na área da segunda diretriz apresentam menores variações, exceto pelo furo SM PDR 06, que é visível variações e menores valores de NSPT. Os valores de NSPT com menores variações refletem em uma maior uniformidade do empilhamento. Quando esses valores apresentam maiores variações e menores valores absolutos de NSPT significa que o empilhamento se encontra desuniforme naquele ponto avaliado. O que necessita de atenção na sua avaliação.

Os furos de sondagem referentes à primeira diretriz, que incluem os furos SM PDR 01, SM PDR 02, SM PDR 03, SM PDR 04, SM PDR 05 e SM PDR 07 possuem um valor de média de NSPT de 26,30 aproximadamente. Quando avaliadas as sondagens referentes à segunda diretriz, que incluem os furos SM PDR 06, SM PDR 08, SM PDR 09 e SM PDR 10, o valor de média de NSPT é de 23,75.

Um ponto de importante avaliação comparando as duas diretrizes é sobre o desvio padrão entre os valores de NSPT. O desvio padrão é uma métrica que reflete a variação em um conjunto de dados. Ele serve para mostrar o quão consistente são os dados em um conjunto. Se o desvio padrão for próximo de zero, isso indica que os dados são bastante consistentes ou homogêneos.

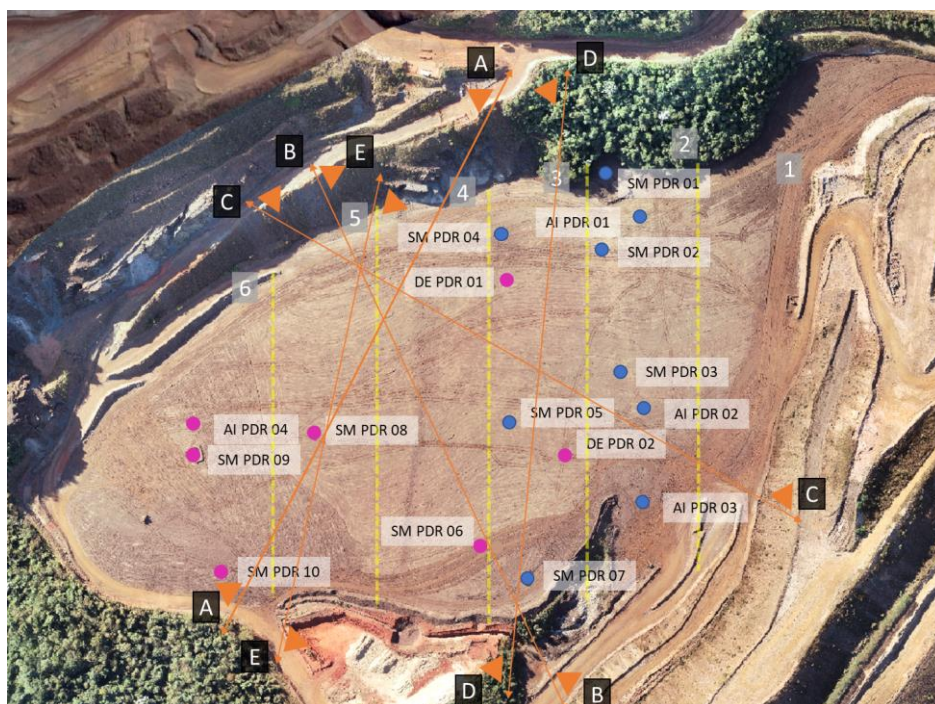
O valor de desvio padrão das sondagens da primeira diretriz é 6,41. E o desvio padrão dos valores de NSPT para a segunda diretriz é de 2,34. Isso reflete que, apesar de a primeira diretriz ter valores de NSPT, em média,

superiores, na grandeza de 2,55, a segunda diretriz proporcionou uma uniformidade de valores de NSPT, consequentemente, um empilhamento mais uniforme.

Esta situação é o primeiro indicativo de que o material depositado respeitando a segunda diretriz se comporta de maneira mais uniforme comparado com a primeira diretriz. Um fator relevante para esse fato se associa, em especial, com o equipamento de compactação utilizado para atingimento das compactações mínimas solicitadas para cada diretriz, corroborado com a espessura das camadas de empilhamento, em que teve uma diminuição de 20cm ao comparar a primeira com a segunda.

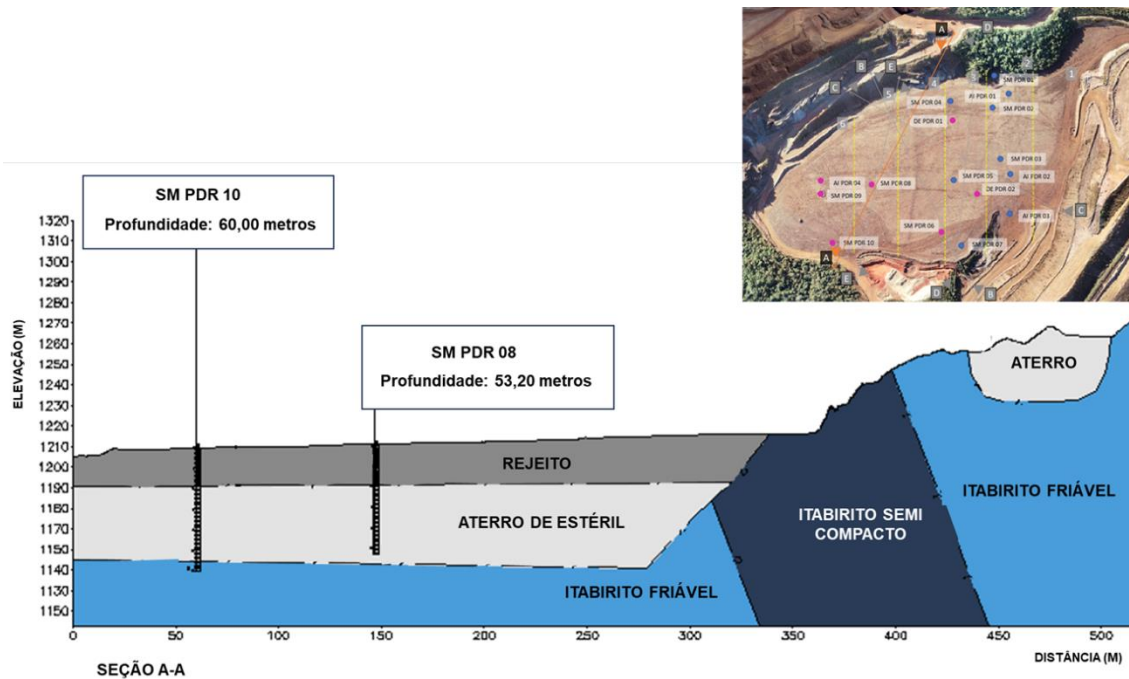
Quando há essa diminuição, o equipamento de compactação necessita depositar menos esforço e a distribuição de tensões apresentam-se mais uniformes do que quando se tem uma camada mais espessa. A Figura 33 mostra a localização das seções de análise das sondagens mistas executadas e as Figuras 34 a 38 constam as seções do empilhamento plotadas juntamente com as investigações (Sondagem mista e Ensaio de penetração de cone) realizadas. As seções mostram a profundidade do empilhamento e a fundação da estrutura.

Figura 33 – Localização das seções



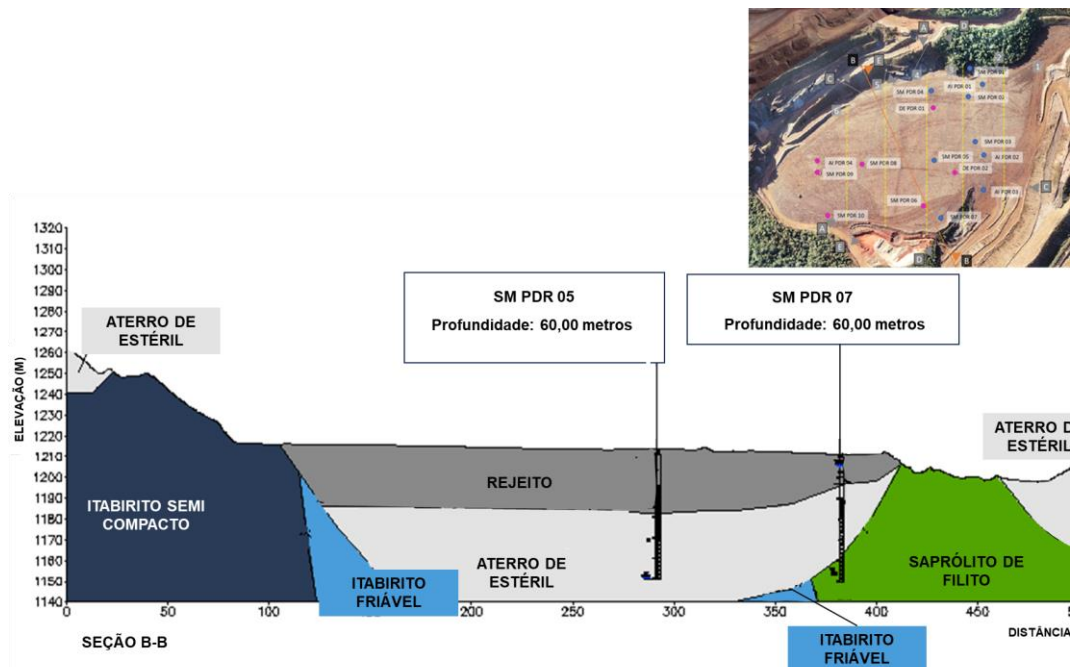
Fonte: Autora (2024)

Figura 34 – Seção A



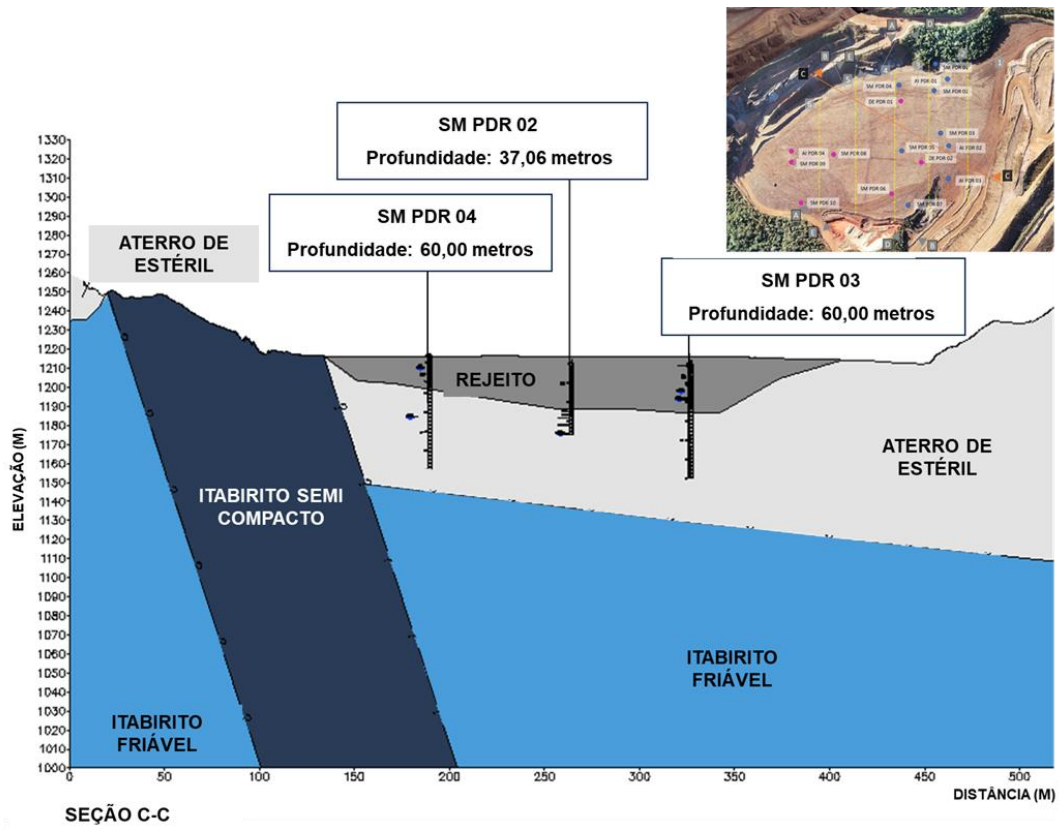
Fonte: Autora (2024) adaptado

Figura 35 – Seção B



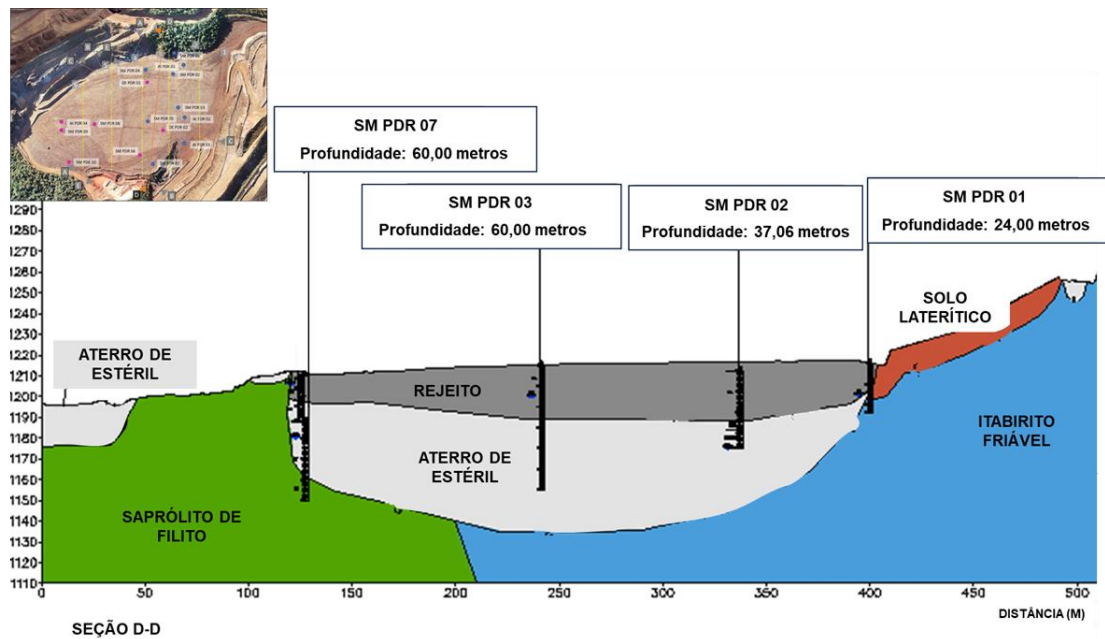
Fonte: Autora (2024) adaptado

Figura 36 – Seção C



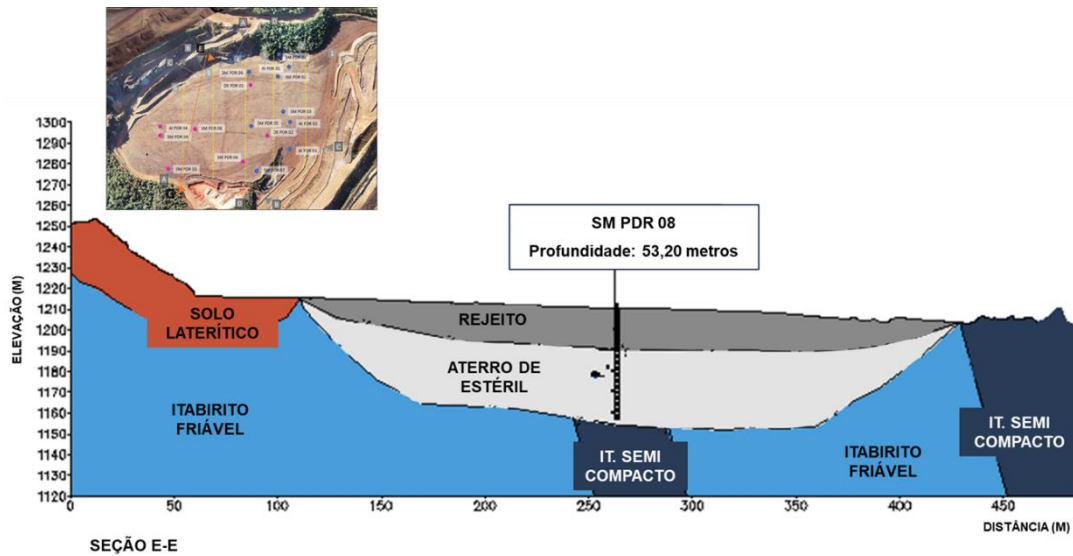
Fonte: Autora (2024) adaptado

Figura 37 – Seção D



Fonte: Autora (2024) adaptado

Figura 38 – Seção E



Fonte: Autora (2024) adaptado

4.1.2 Ensaio de penetração de cone in situ

Neste Item são avaliados os ensaios de CPTu executados na estrutura. A profundidade total contemplada foi de 228,98 metros, sendo 127,65 metros para os furos referentes à primeira diretriz e 101,33 metros para os furos referentes à segunda diretriz. Para o cálculo da resistência de ponta corrigida, foi utilizada uma razão de área de rede (a) igual a 0,78.

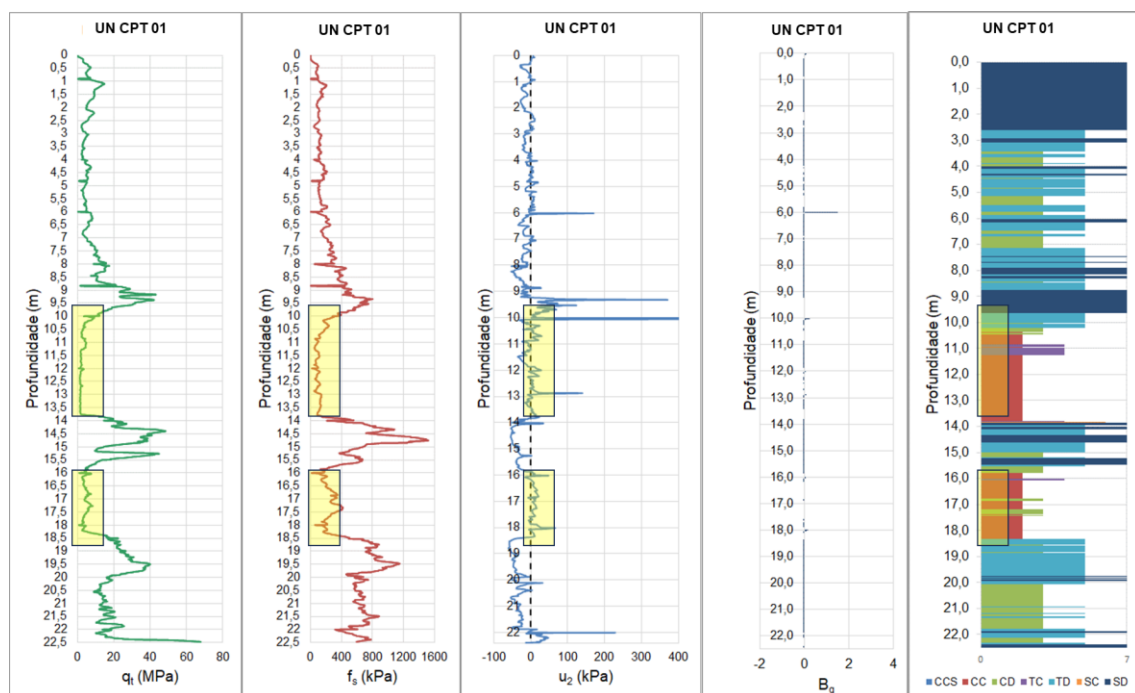
Para todos os furos a hidrostática foi considerada nula na região, visto que não há nível d'água na região da estrutura. Após analisado os gráficos de u2 foi possível verificar que não houve, durante a cravação, a geração de poropressão positiva, tendo o u2 se mantido na hidrostática nula ou, em determinadas regiões, negativo.

Esse comportamento também pode ser verificado nos gráficos de Bq que constam nas Figuras 53 até a Figura 61, corroborando com o N.A. nulo indicado nas investigações diretas. Os picos de u2 que ocorreram pontualmente em determinadas cravações podem ser atribuídos as camadas mais saturadas que porventura existiam durante a cravação quando a operação da camada aconteceu em período chuvoso.

Os testes realizados na área de empilhamento, conforme a primeira diretriz operacional, revelam uma variedade de comportamentos tanto para a resistência de ponta (q_c) quanto para o atrito lateral (f_s). Ambos os parâmetros exibem um padrão de resistência flutuante, aumentando e diminuindo sem um padrão definido durante a cravação. Esse comportamento pode ser atribuído às variações na compactação das camadas, sugerindo uma estratificação em relação ao perfil de resistência.

As Figuras 39 a 47 apresentam os resultados das cravações dos testes UN CPT 01 a UN CPT 09, ilustrando a argumentação mencionada anteriormente. Após os gráficos de q_c , f_s , U_2 e B_q , é apresentada a classificação dos materiais de acordo com a metodologia SBTn (Normalized Soil Behavior Type) definida por Robertson (2016), distribuídos ao longo da profundidade.

Figura 39 – Gráficos UN CPT 01

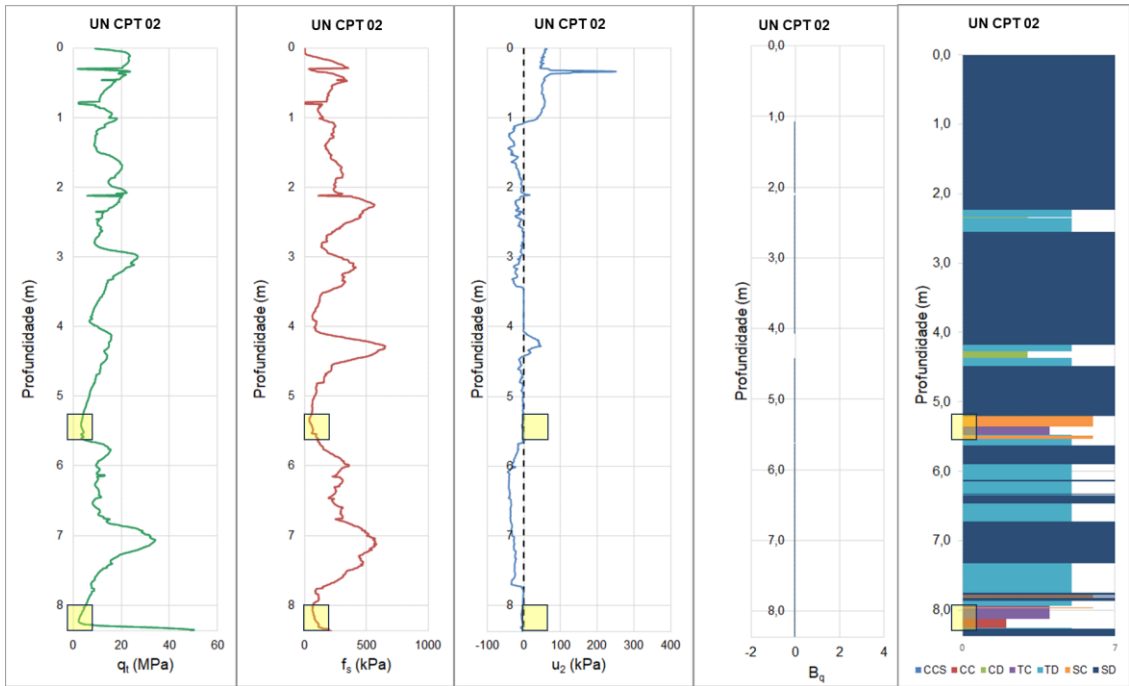


Fonte: Autora (2024) adaptado

O primeiro ensaio de CPTu executado foi possível associar o comportamento do material em profundidade. Em especial entre as profundidades de 9,50 metros e 14,00 metros e entre 16,00 e 18,00 metros a resistência de ponta apresentou-se como muito baixa, com pontos inferiores a

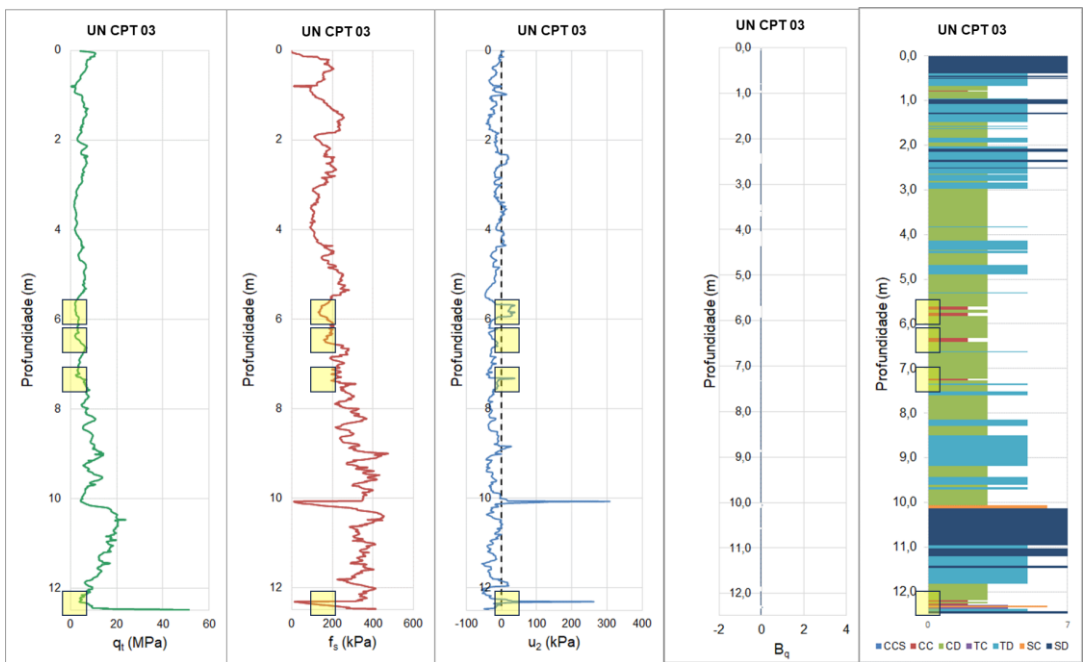
5MPa, quando observado valores nestas grandezas, observa-se que o gráfico de SBTn indica tendências de materiais contráteis.

Figura 40 – Gráficos UN CPT 02



Fonte: Autora (2024) adaptado

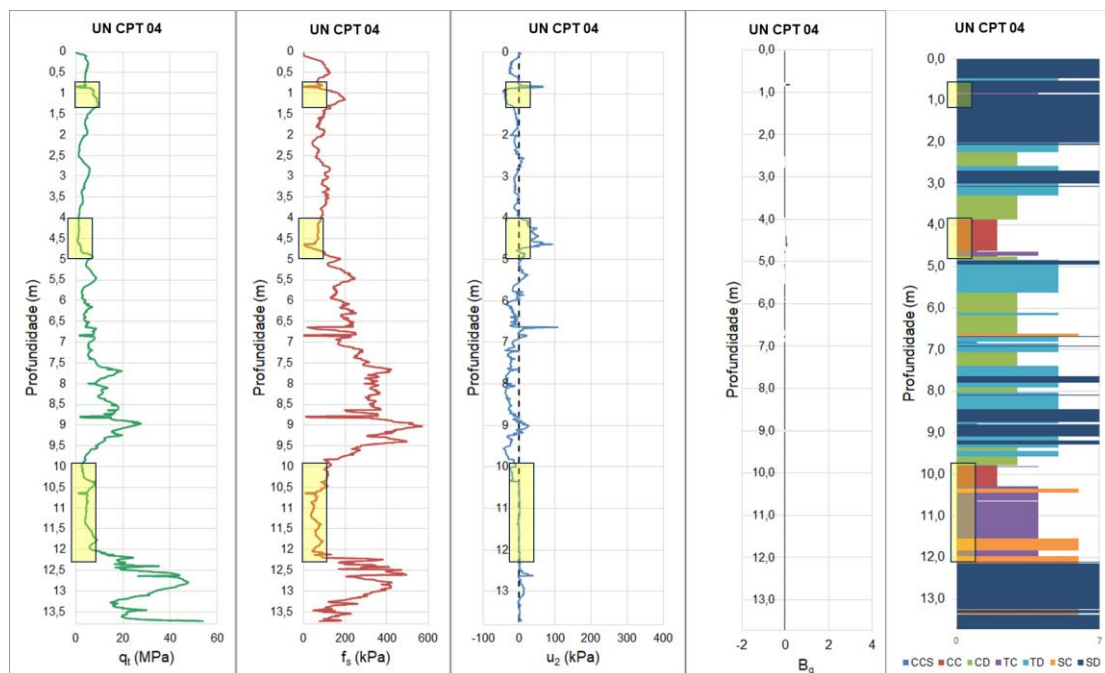
Figura 41 – Gráficos UN CPT 03



Fonte: Autora (2024) adaptado

O UN CPT 02 apresentou dois pontos em específico em que o material, segundo a classificação SBTn, apresentou-se como contrátil, e ao comparar com o gráfico de resistência de ponta, coincide com a camada em que a resistência de ponta menor que 5MPa. Na mesma linha, o UN CPT 03 apresentou poucos centímetros com o comportamento tendendo a ser contrátil, coincidindo com a resistência de ponta menor que 5MPa.

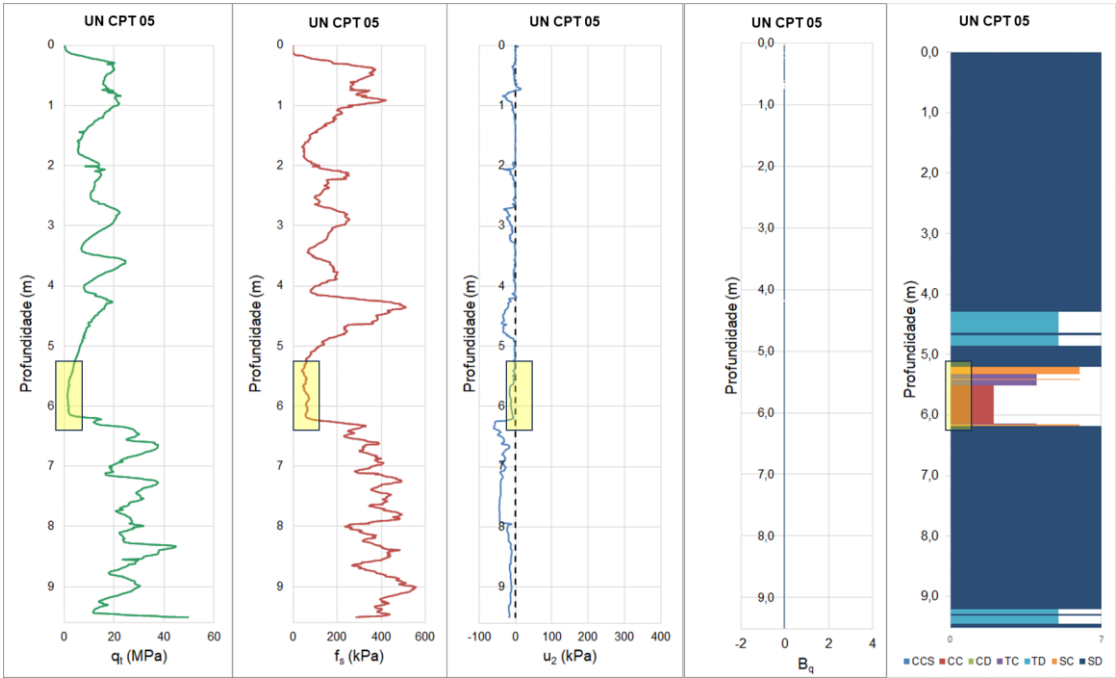
Figura 42 – Gráficos UN CPT 04



Fonte: Autora (2024) adaptado

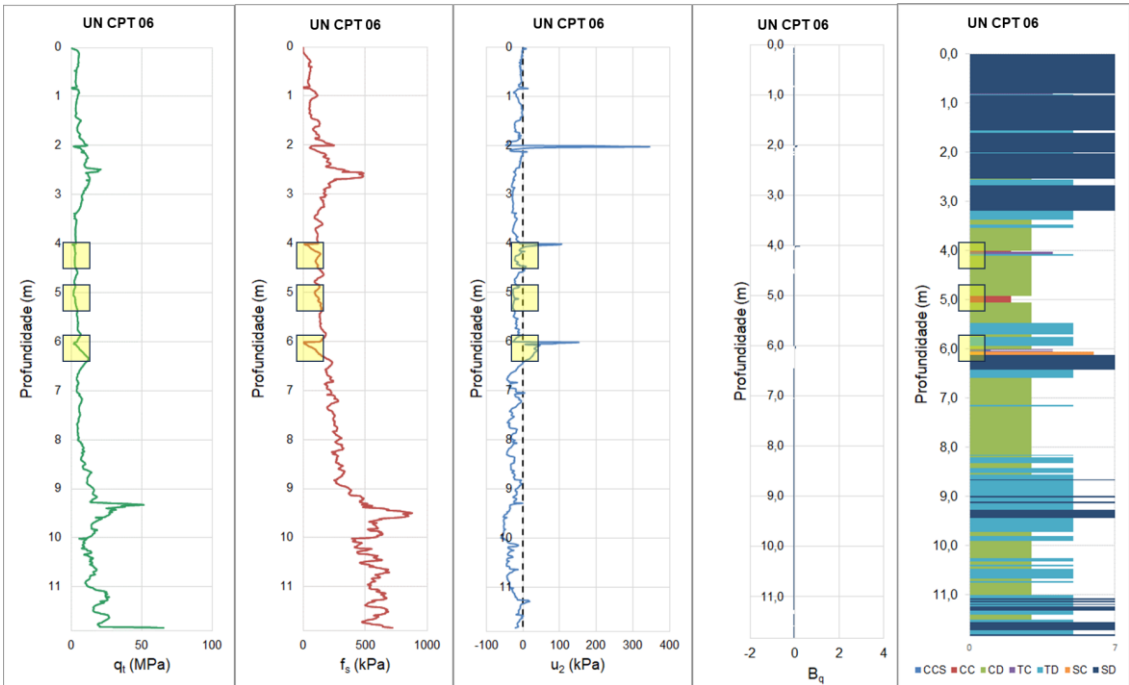
O UN CPT 04 apresentou camadas mais espessas em que, segundo a classificação SBTn, o material apresentava-se como contrátil, e ao comparar com o gráfico de resistência de ponta, coincide com a camada em que a resistência de ponta menor que 5MPa.

Figura 43 – Gráficos UN CPT 05



Fonte: Autora (2024) adaptado

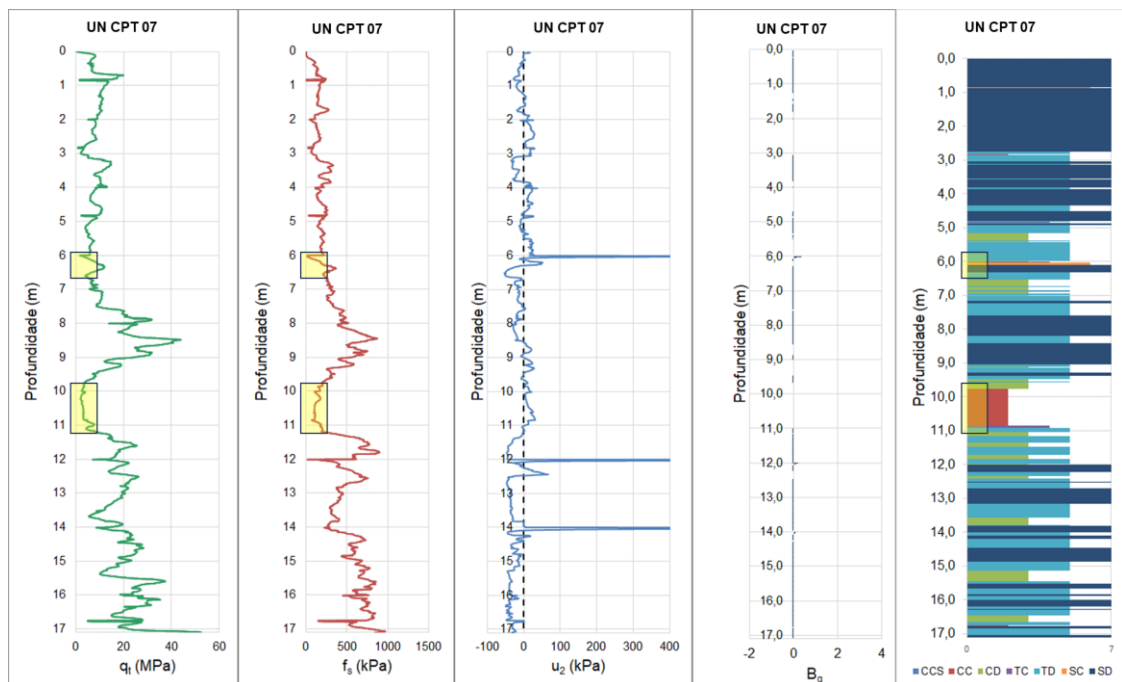
Figura 44 – Gráficos UN CPT 06



Fonte: Autora (2024) adaptado

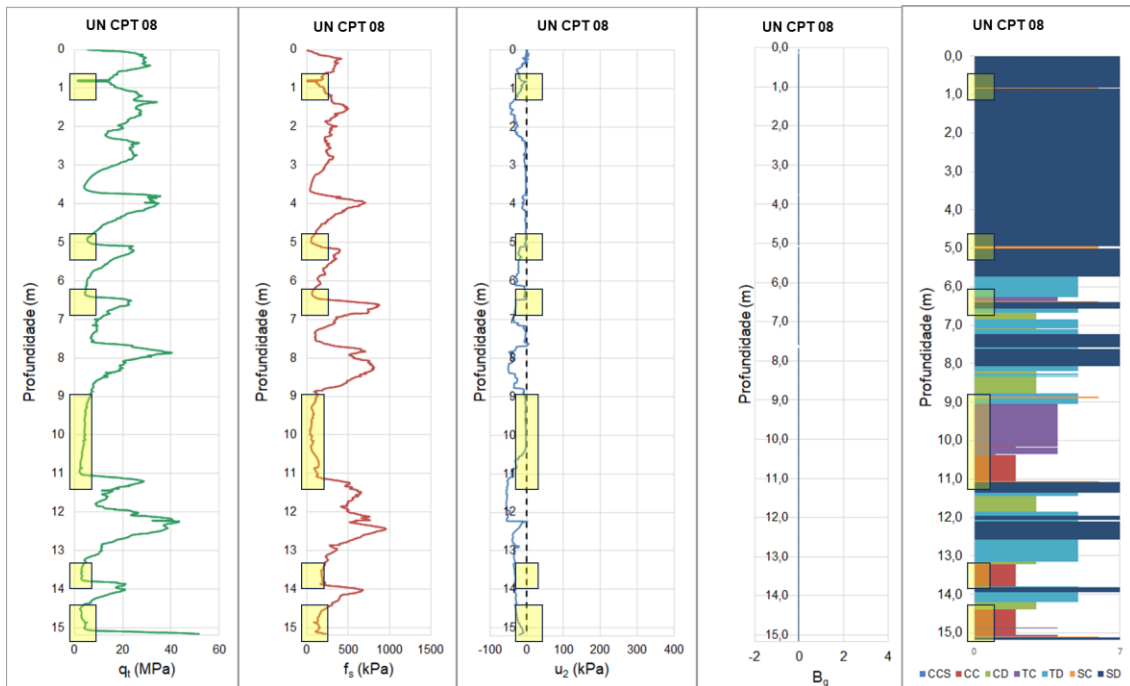
O UN CPT 05 apresentou uma camada em que, segundo a classificação SBTn, o material apresentava-se como contrátil, coincidindo com a camada em que a resistência de ponta menor que 5 MPa. O UN CPT 06 apresentou durante o perfil de empilhamento valores de resistência de ponta mais uniformes, havendo 3 pontos em que, segundo a classificação SBTn, o material apresentava-se como contrátil, equivalente a centímetros.

Figura 45 – Gráficos UN CPT 07



Fonte: Autora (2024) adaptado

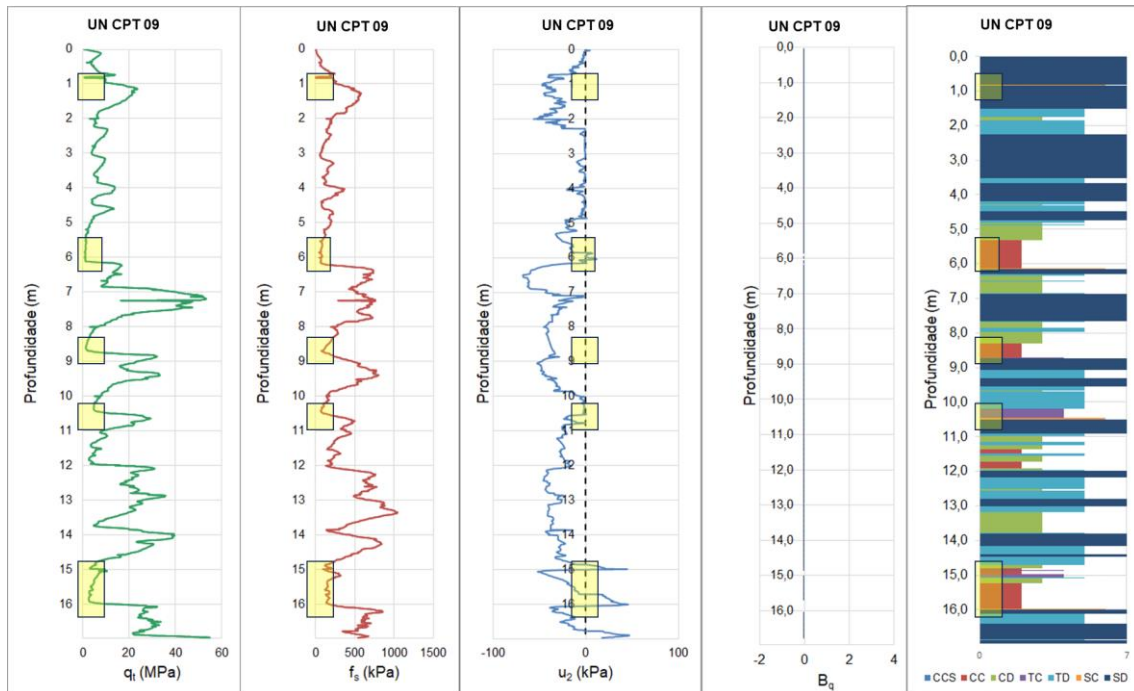
Figura 46 – Gráficos UN CPT 08



Fonte: Autora (2024) adaptado

O UN CPT 07 apresentou dos pontos em que, segundo a classificação SBTn, o material apresentava-se como contrátil, coincidindo com a camada em que a resistência de ponta menor que 5 MPa. O UN CPT 08 apresentou durante o perfil de empilhamento valores de resistência de ponta desuniformes, havendo 6 pontos em que, segundo a classificação SBTn, o material apresentava-se como contrátil.

Figura 47 – Gráficos UN CPT 09

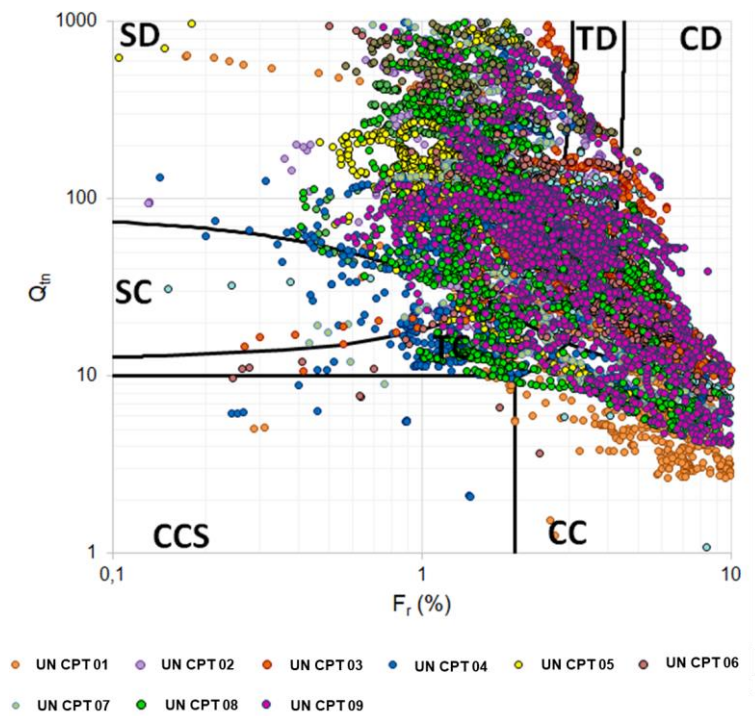


Fonte: Autora (2024) adaptado

Tal qual o UN CPT 08, o UN CPT 09 apresentou durante o perfil de empilhamento valores de resistência de ponta desuniformes, havendo 5 pontos em que, segundo a classificação SBTn, o material apresentava-se como contrátil. Os ensaios executados na primeira diretriz de empilhamento se apresentaram com picos de resistência de ponta atingindo valores acima de 30 Mpa e regiões em que chegaram a 5 MPa.

Essa discrepância e falta de linearidade é inicialmente associada aos equipamentos utilizados para compactação na primeira diretriz. Em que o trator de esteira não possibilita uniformidade operacional. A não linearidade pode resultar em camadas com baixa resistência e regiões mais frágeis do empilhamento. A Figura 48 apresenta o resultado da distribuição do comportamento do material segundo a classificação *Normalized Soil Behavior Type*, proposta por Robertson (2016).

Figura 48 – Resultado da distribuição do comportamento do material segundo a classificação Normalized Soil Behavior Type da primeira diretriz

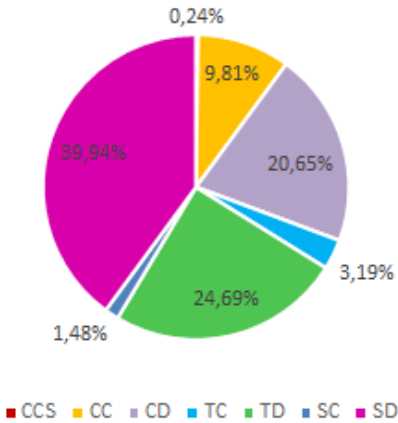


Fonte: Autora (2024)

A Figura 49 apresenta através de gráfico o resumo da classificação de SBTn, segundo Robertson (2016).

Figura 49 – Resumo da classificação SBTn da primeira diretriz

Classificação SBTn - Robertson (2016)



Fonte: Autora (2024)

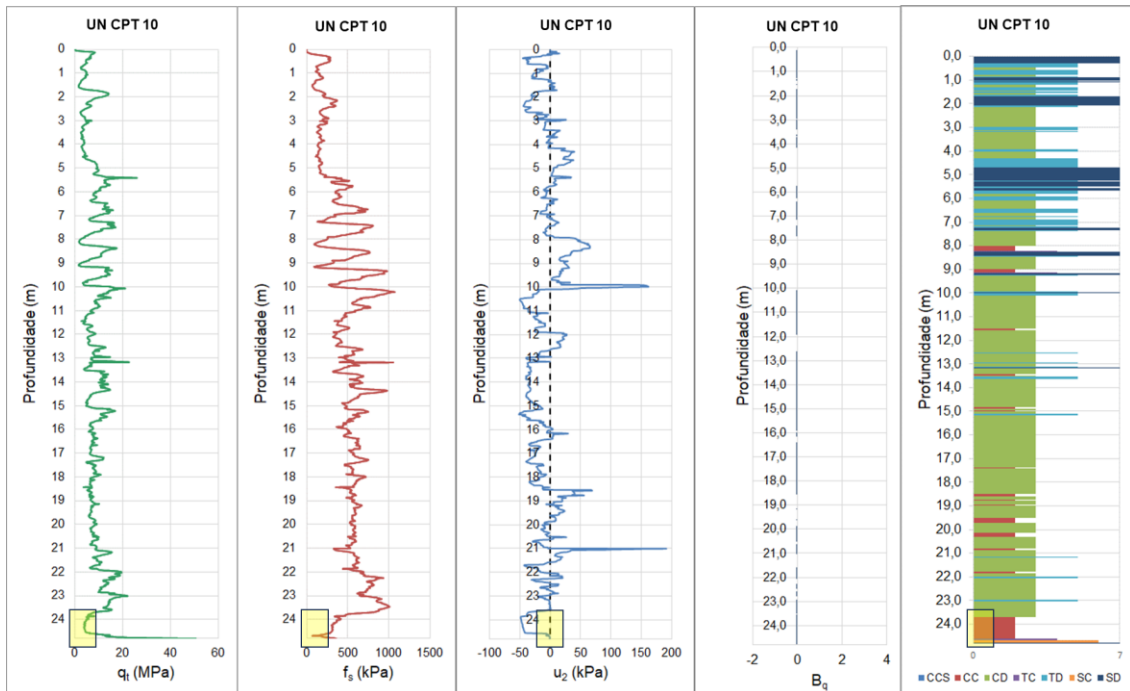
Observa-se que os materiais classificados de acordo com o sistema SBTn apresentam 30,69% das medições realizadas com comportamento de material fino (classes CCS, CC e CD), 27,89% de comportamento de materiais transicionais (TC e TD) e cerca de 41,42% de comportamento de granular. Importante ressaltar que a classificação SBTn classifica quanto ao comportamento do material e não quanto a granulometria. Neste sentido, 14,72% dos materiais foram classificados com comportamento contrátil. Esse comportamento corrobora com os resultados da cravação, os quais apresentam uma estratificação no perfil de resistência das camadas indicando uma necessidade de ajustes no controle de compactação inicialmente adotado.

A avaliação dos ensaios de penetração de cone colaboraram com o entendimento da necessidade de testagem de outros parâmetros, como, por exemplo, a associação com o controle tecnológico executados, para entendimento do comportamento do material quando submetido à outras condições operacionais.

Os testes executados na área de empilhamento, seguindo a segunda diretriz operacional, demonstraram um comportamento mais consistente em comparação com a primeira diretriz. Isso é evidente tanto na resistência de ponta (q_c) quanto no atrito lateral (f_s). A alteração observada no comportamento pode ser atribuída às modificações nas diretrizes, como o valor mínimo do Grau de compactação e o tipo de equipamento utilizado.

É fundamental destacar que, embora as mudanças sejam notáveis, o fator tempo tem um papel significativo. O tempo, neste contexto, refere-se literalmente ao período decorrido desde a conclusão da operação na área até a execução dos ensaios. Portanto, mesmo com as melhorias implementadas nas diretrizes operacionais, a maioria das resistências de ponta registra valores abaixo de 20MPa. As Figuras 50 a 54 apresentam os resultados das cravações dos testes UN CPT 10 a UN CPT 14, ilustrando os valores de q_c , f_s , U_2 , B_q e SBTn distribuídos ao longo da profundidade.

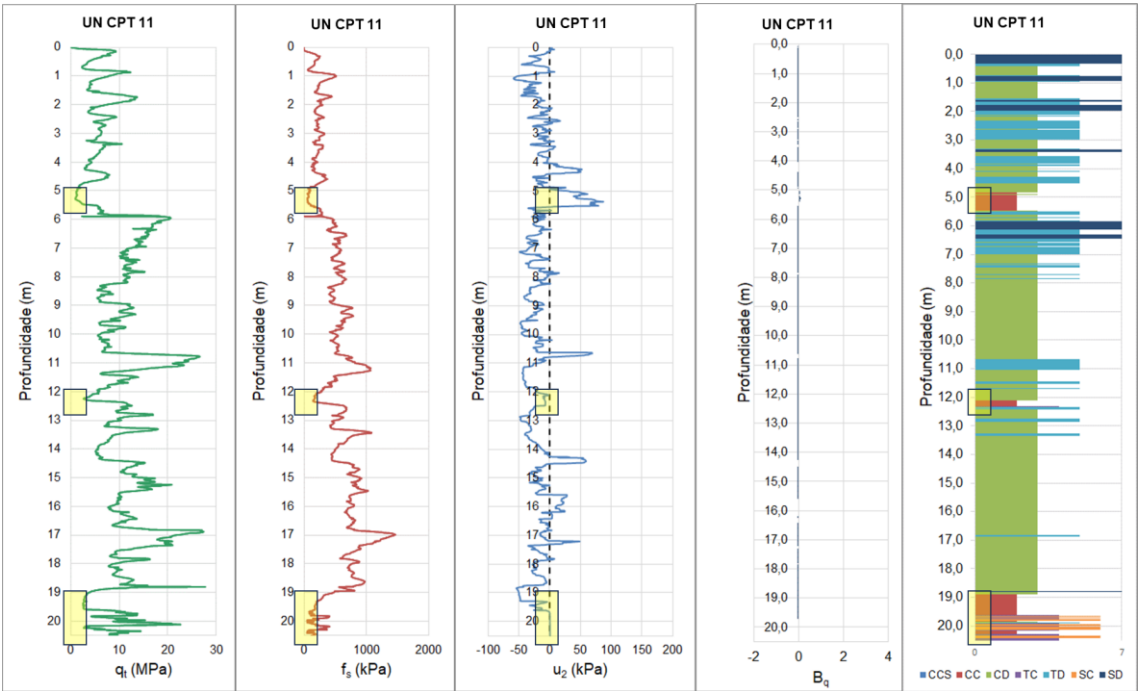
Figura 50 – Gráficos UN CPT 10



Fonte: Autora (2024) adaptado

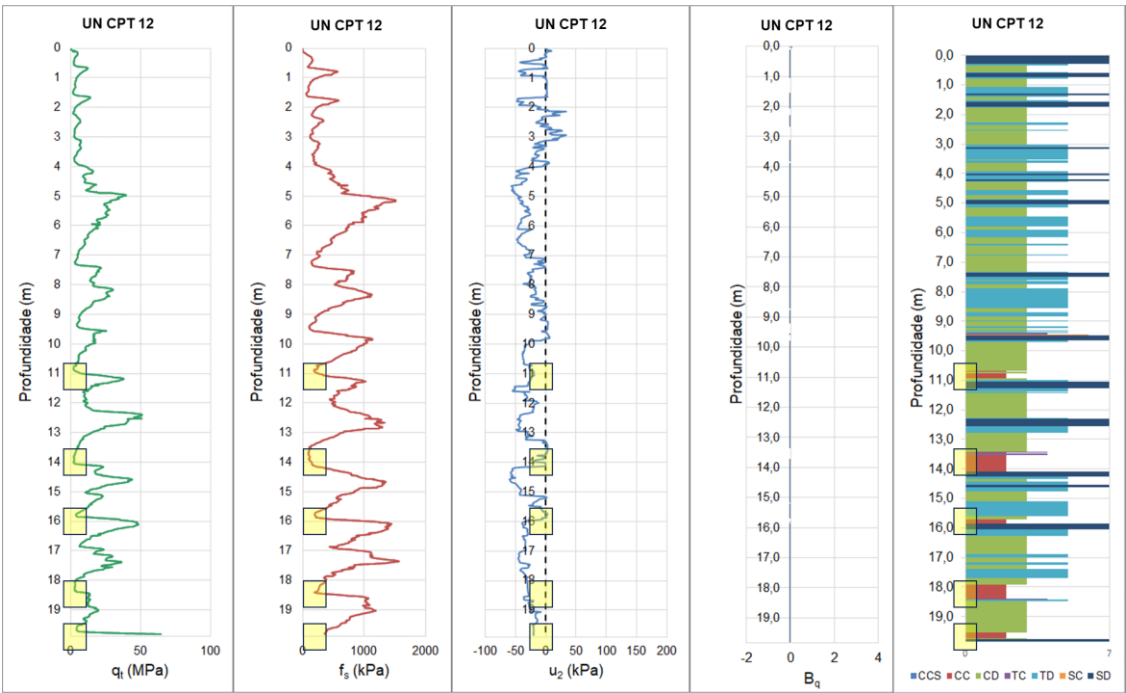
O UN CPT 10 apresentou após a profundidade de 10,00 metros uma maior uniformidade dos valores de resistência de ponta. Ainda assim, é possível verificar pela classificação de SBTn por Robertson (2016) que há alguns centímetros em que há a possibilidade de se comportar de maneira contrátil.

Figura 51 – Gráficos UN CPT 11



Fonte: Autora (2024) adaptado

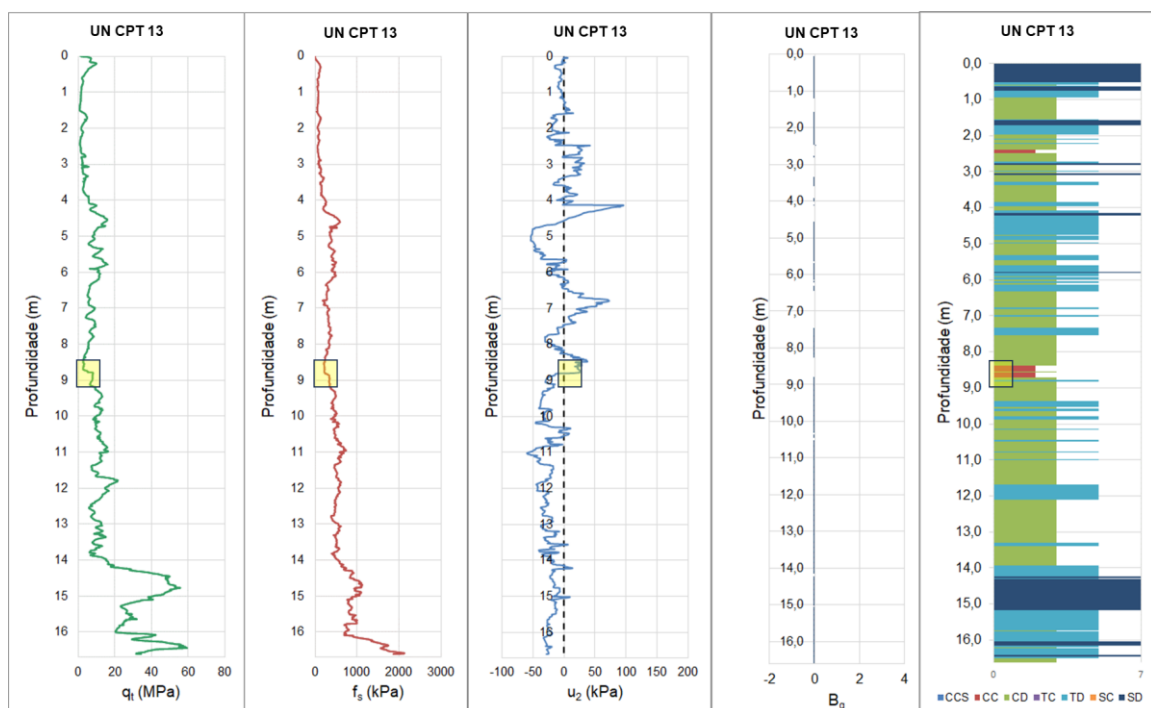
Figura 52 – Gráficos UN CPT 12



Fonte: Autora (2024) adaptado

O UN CPT 11 apresentou valores de resistência de ponta variados e com valores maiores que 10 MPa, havendo 3 pontos em que, segundo a classificação SBTn, o material apresentava-se como contrátil, equivalente a centímetros. O UN CPT 12 apresentou durante o perfil de empilhamento valores de resistência de ponta com maiores variações, havendo 5 pontos em que, segundo a classificação SBTn, o material apresentava-se como contrátil, equivalente a centímetros.

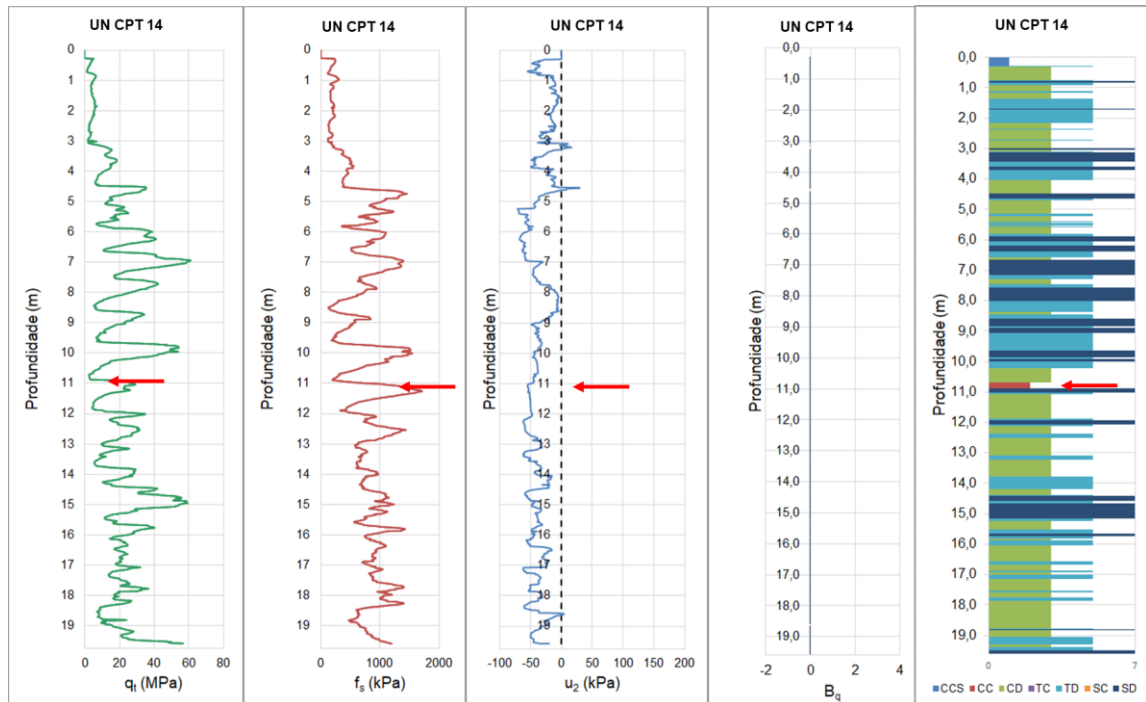
Figura 53 – Gráficos UN CPT 13



Fonte: Autora (2024) adaptado

O UN CPT 13 apresentou durante o perfil de empilhamento valores mais uniformes de resistência de ponta com menores variações, havendo 1 pontos em que, segundo a classificação SBTn, o material apresentava-se como contrátil, equivalente a centímetros.

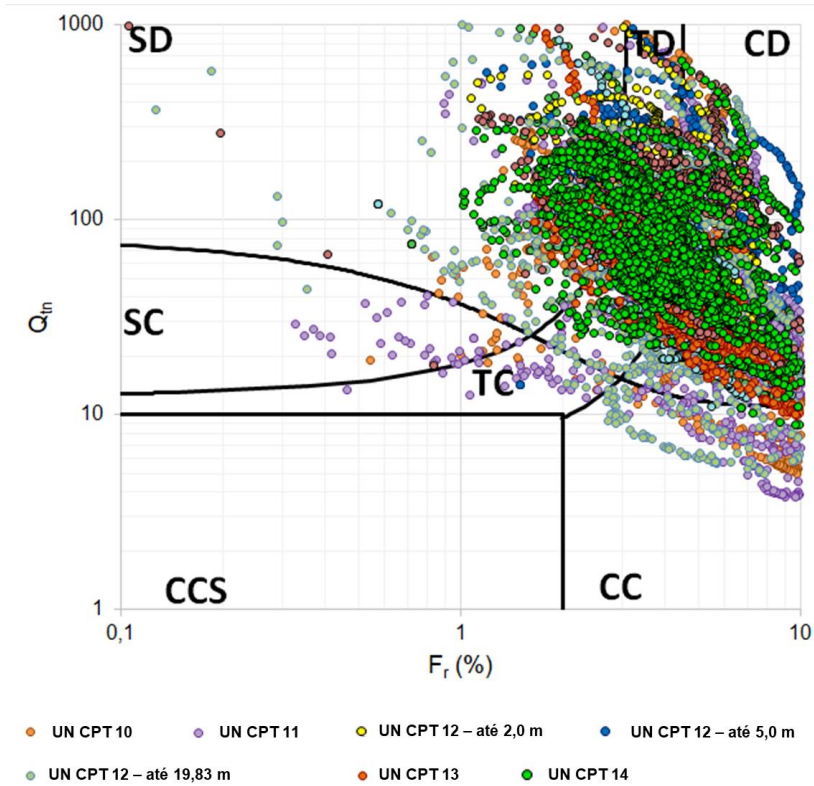
Figura 54 – Gráficos UN CPT 14



Fonte: Autora (2024) adaptado

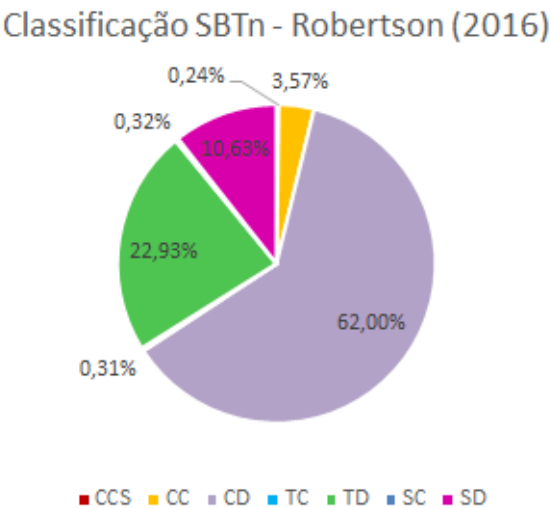
O UN CPT 14 apresentou durante o perfil de empilhamento valores de resistência de ponta com maiores variações, mas superiores a 20 MPa, havendo 1 ponto, equivalente à centímetros, em que, segundo a classificação SBTn, o material apresentava-se como contrátil. A Figura 55 apresenta o resultado da distribuição do comportamento do material no gráfico proposto por Robertson (2016) para a classificação *Normalized Soil Behavior Type*. A Figura 56 apresenta através de gráfico o resumo da classificação de SBTn, segundo Robertson (2016).

Figura 55 – Resultado da distribuição do comportamento do material segundo a classificação Normalized Soil Behavior Type da segunda diretriz



Fonte: Autora (2024) adaptado

Figura 56 – Resumo da classificação SBTn da segunda diretriz



Fonte: Autora (2024) adaptado

Observa-se que os materiais classificados de acordo com o sistema SBTn apresentam 65,81% das medições realizadas com comportamento de material

fino (classes CCS, CC e CD), 23,25% de comportamento de materiais transicionais (TC e TD) e cerca de 10,95% de comportamento de granular. Importante ressaltar que a classificação SBTn classifica quanto ao comportamento do material e não quanto a granulometria. Neste sentido, 4,44% dos materiais foram classificados com comportamento contrátil.

Ao comparar as duas diretrizes operacionais através dos resultados dos ensaios de CPTu é possível verificar que houve uma diminuição da porcentagem de materiais classificados como contráteis, segundo a classificação de SBTn de Robertson (2016). O valor passou de 14,72% para 4,44%. Essa redução mostra a melhora significativa entre a eficiência da segunda diretriz operacional quando comparada à primeira diretriz operacional.

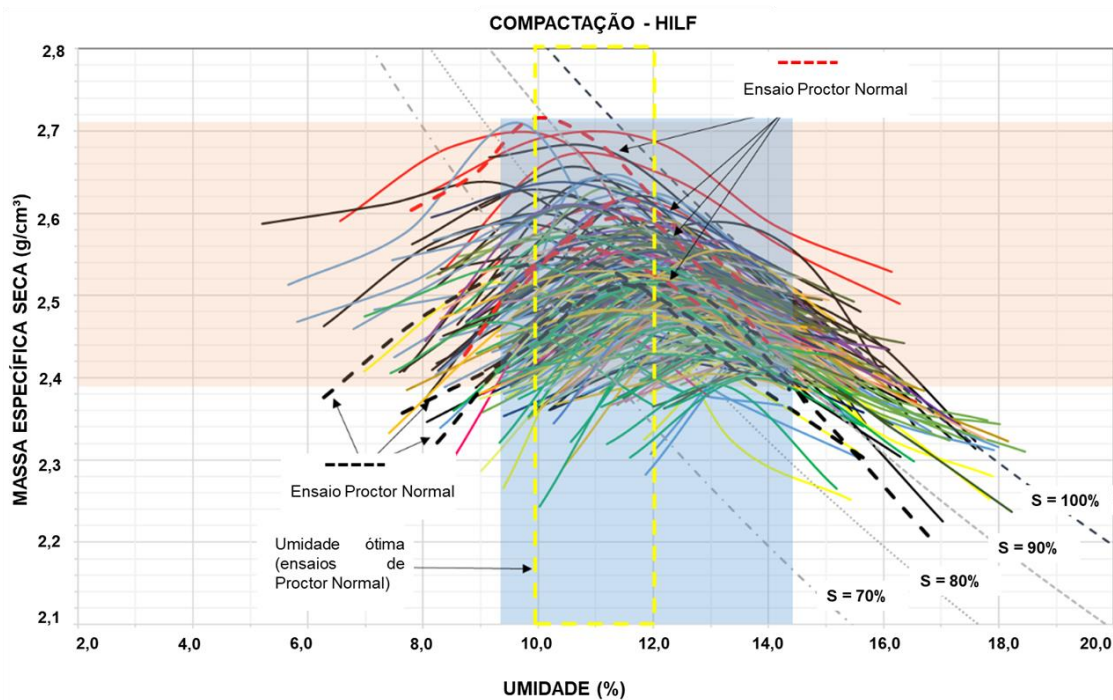
4.1.3 Controle Tecnológico - Ensaio de HILF

Todas as camadas de empilhamento, divididas por setores, foram testadas e analisadas de acordo com a diretriz operacional em vigor. Com base nos parâmetros definidos na segunda diretriz, foram compilados os resultados do controle tecnológico realizado pelo método HILF desde o início da implementação da segunda diretriz.

A Figura 57 ilustra as curvas de compactação, que são derivadas dos ensaios de Hilf, em conjunto com os ensaios de Proctor Normal. No gráfico, a faixa azul, no fundo da imagem, representa a variação da umidade ótima através dos ensaios Hilf, que está entre 9,6% e 14,2%.

Por outro lado, a faixa rosa demonstra a variação da densidade seca máxima, que varia entre 2,4 e 2,7. Além disso, a linha tracejada amarela indica a variação da umidade ótima nos ensaios de Proctor Normal, que se situa entre 10,0% e 12%. As curvas de compactação evidenciam a variabilidade do rejeito do estudo.

Figura 57 – Curvas de compactação derivadas dos ensaios de HILF



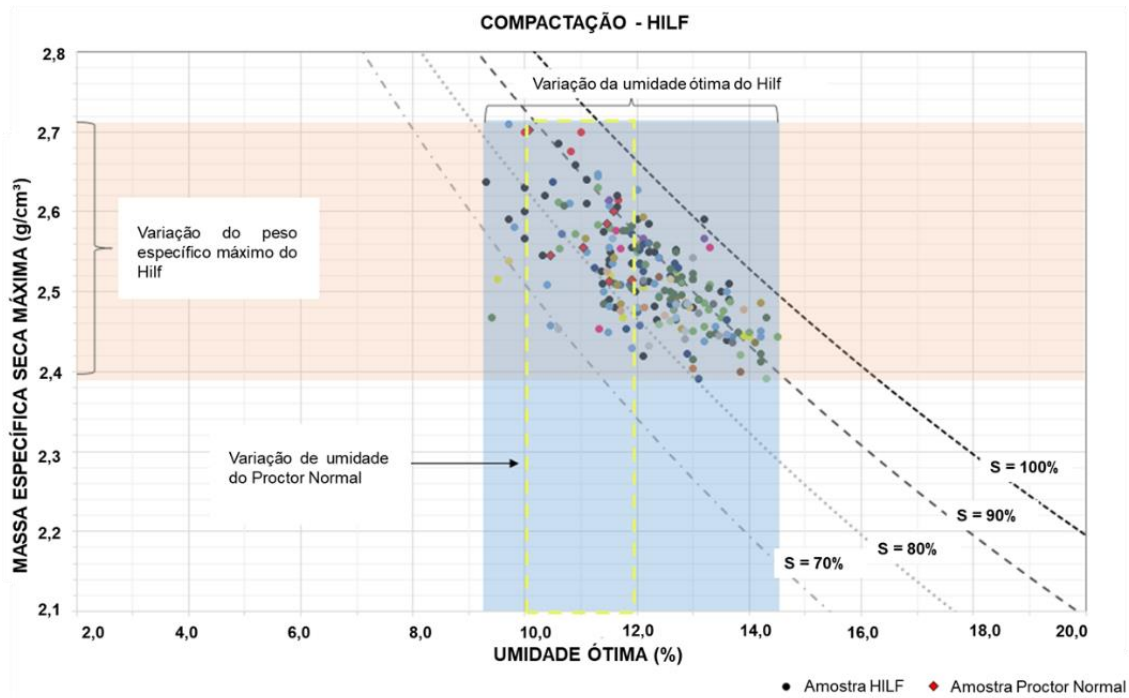
Fonte: Autora (2024) adaptado

A Figura 58 apresenta os pares de densidade seca máxima e umidade ótima, que são obtidos a partir das curvas de compactação, além das curvas de saturação. Neste gráfico, o destaque é a saturação do material. Nos ensaios de Proctor Normal, a saturação oscila entre as linhas de 70% e 90%.

Por outro lado, nos ensaios de HILF, a variação ocorre de 70% até camadas que se aproximam de 100%. Isso sugere não apenas a alta saturação de algumas camadas, mas também uma variação da saturação.

A saturação das camadas de empilhamento avaliadas tem um papel crucial em todos os ensaios executados, podendo iniciar o entendimento que quando o material encontra-se com elevadas porcentagens de saturações e umidades o material tende a ter camadas de menores resistência de ponta. O Item 4.4 avaliará de forma conjunta os dados.

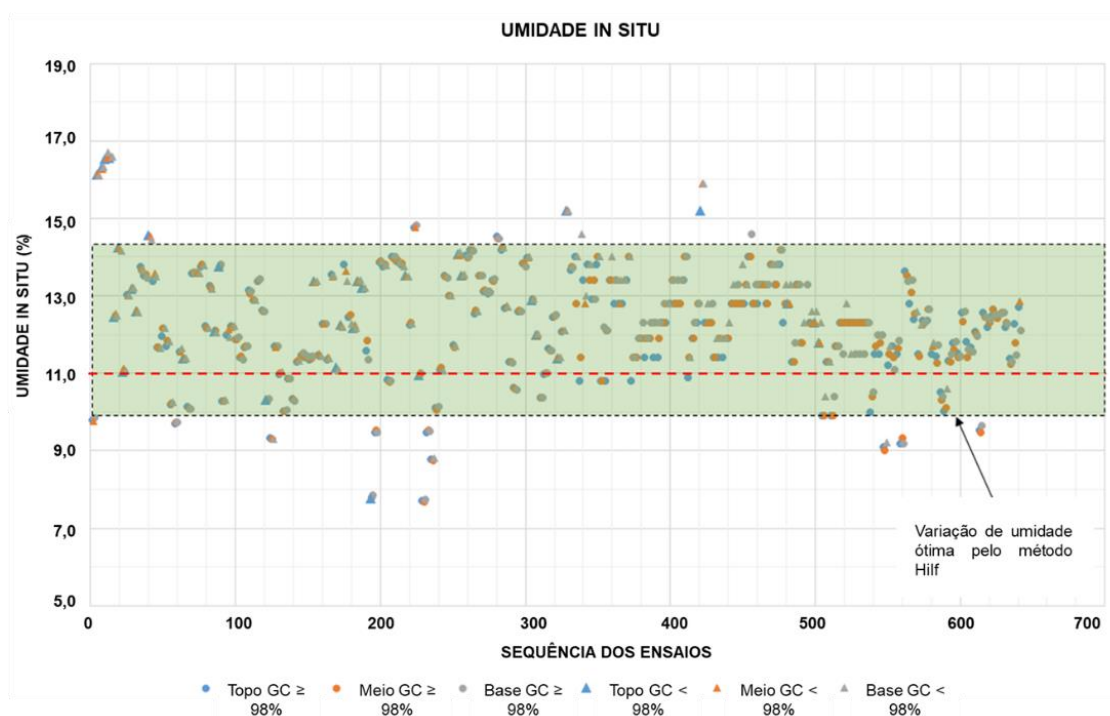
Figura 58 – Variação da umidade ótima obtidos pelo ensaio HILF



Fonte: Autora (2024)

No que se refere à umidade de campo, foi traçado uma sequência temporal dos ensaios a respectiva umidade de campo, conforme ilustrado na Figura 59. A faixa verde no gráfico representa a variação da umidade ótima (9,6% a 14,2%) em relação ao ensaio de HILF. Já a linha tracejada vermelha indica a média da umidade ótima em relação ao ensaio de Proctor Normal (11%). É importante destacar a significativa dispersão em relação à umidade de campo.

Figura 59 – Sequência temporal dos ensaios a respectiva umidade de campo



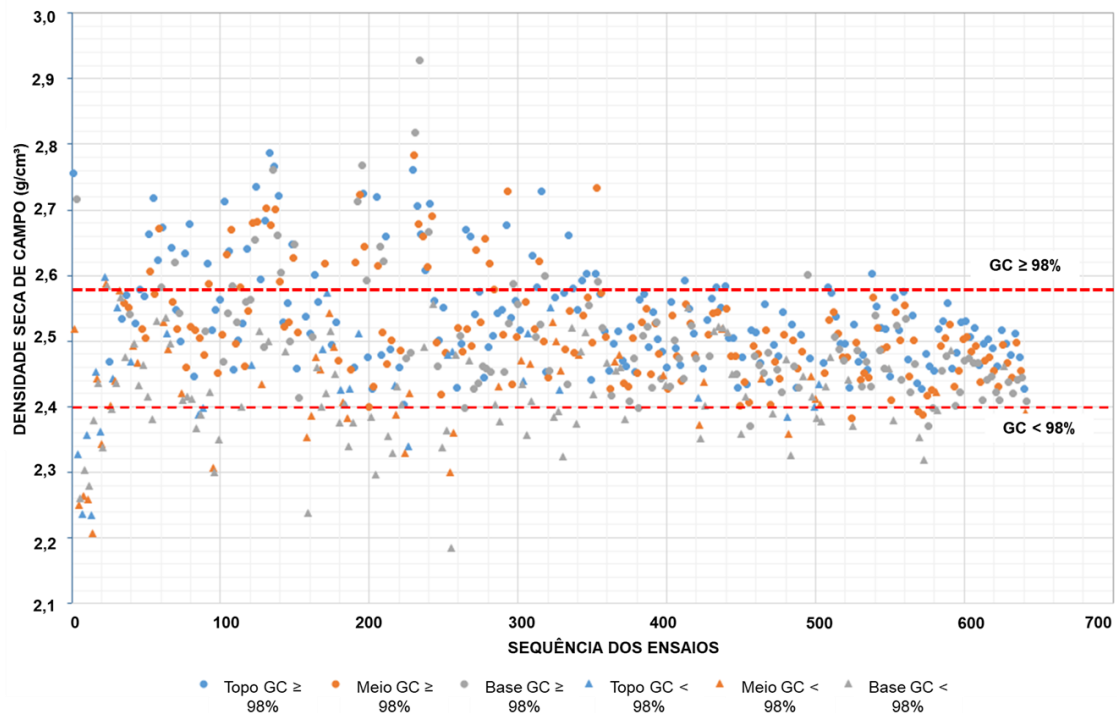
Fonte: Autora (2024)

O gráfico da Figura 59 indica que umidades muito elevadas, superiores a 15%, foram rejeitadas por não atingirem o grau de compactação mínimo de 98%. De acordo com os ensaios de Proctor Normal, camadas com essa umidade se encontram no ramo úmido, apresentando um alto grau de saturação. A saturação do material não reflete em boas condições do material, o que pode sugerir a trabalhabilidade do empilhamento quando o rejeito encontrava-se no ramo úmido.

Em relação à densidade de campo, sua dispersão também foi avaliada sequencialmente nos ensaios, conforme ilustrado na Figura 60. As variações das densidades secas de campo variaram de 2,18 g/cm³ a 2,92 g/cm³. Densidades abaixo de 2,4 g/cm³ foram rejeitadas, de acordo com o critério de grau de compactação mínimo de 98%.

Essa ampla variação das densidades secas de campo é corroborada pelo ensaio de CPTu, que apresenta uma estratificação das camadas, conforme demonstrado nos gráficos de resistência de ponta e atrito lateral em profundidade.

Figura 60 – Dispersão da densidade de campo em relação à sequencialmente nos ensaios



Fonte: Autora (2024)

Para o período especificado, avaliou-se o número acumulado de camadas reprovadas com base nos critérios mínimos de aceitação estabelecidos pela segunda diretriz operacional. As reprovações foram avaliadas em relação ao topo, meio e base das camadas. A Tabela 15 exibe o número de camadas avaliadas, destacando as que foram aprovadas e as que foram reprovadas.

Tabela 15 – Status das camadas avaliadas pelo método HILF

Camada	Quantidade aprovadas	Porcentagem aprovada (%)	Quantidade reprovadas	Porcentagem reprovada (%)
Topo	180	84,10	34	15,90
Meio	161	75,20	53	24,80
Base	113	52,80	101	47,20

Fonte: Autora (2024)

A tabela mostra que houve a reprovação de 47,20% dos ensaios executados, o que representa uma grande quantidade. Quando a base da camada tem maiores reprovações significa que a energia de compactação

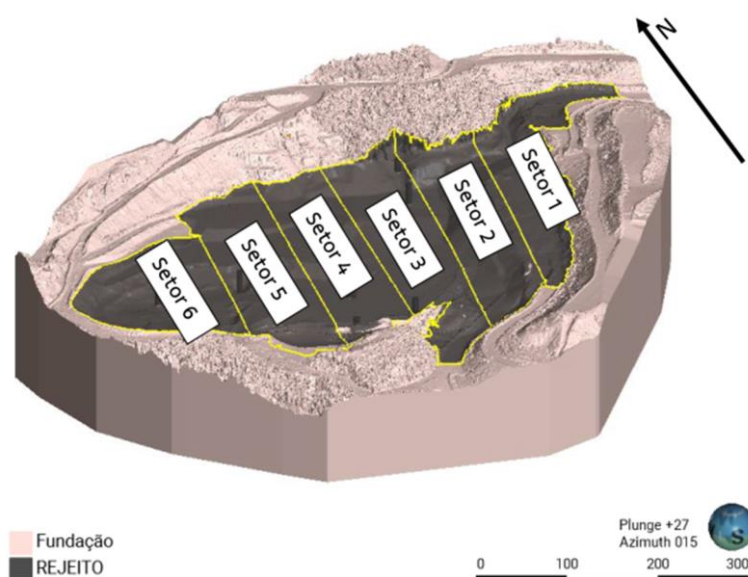
aplicada precisa ser calibrada para que haja a quantidade de grau de compactação mínimo de 98%.

4.2 Modelagem – discretização do empilhamento

Uma etapa importante para melhor entendimento do empilhamento foi a execução da modelagem dessa estrutura utilizando o Software Leapfrog (Seequent), que trabalha com interpretações e modelagens implícitas.

Para o início da modelagem é necessário separar a estrutura de rejeito da sua fundação, para isso é possível utilizar de topografias, geofísica e das sondagens realizadas, no intuito de existir uma topografia primitiva bem definida para dar continuidade à modelagem da pilha. A Figura 61 identifica a fundação e o rejeito.

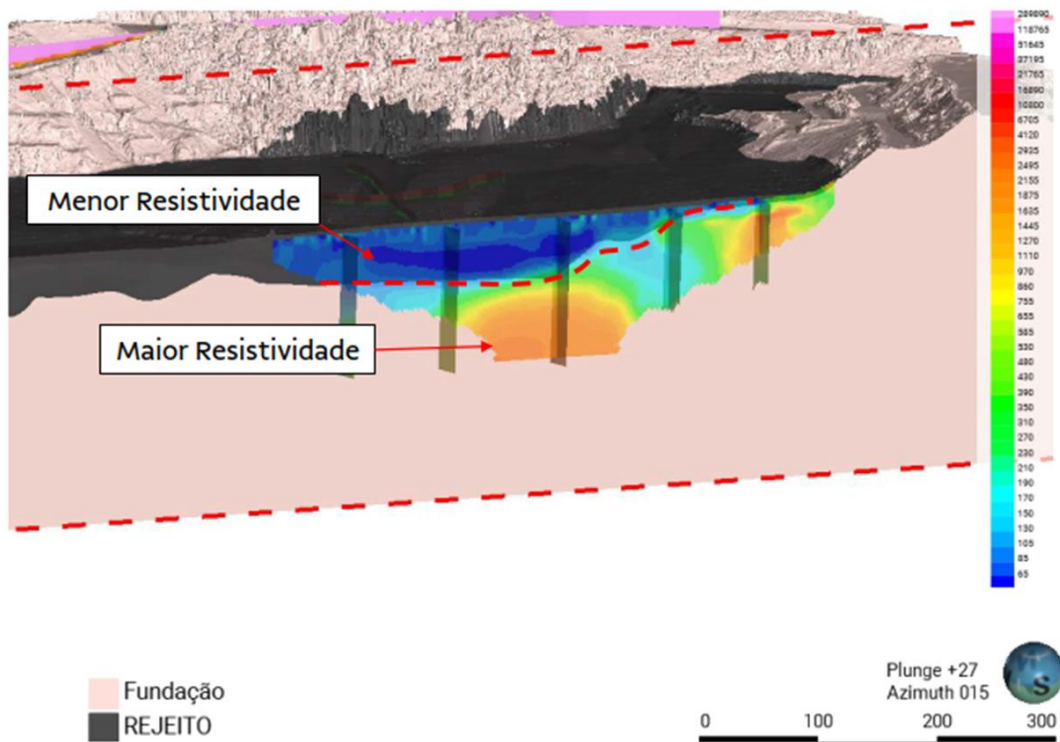
Figura 61 – Identificação da fundação e do rejeito



Fonte: Autora (2024)

Esses dados de topografia foram calibrados pela geofísica (através do método elétrico) executada na área da pilha, sendo possível verificar que respostas menos resistivas, com valores abaixo de 120 ohm.m aproximadamente, eram representativas do corpo do rejeito, e resistividades acima desse valor se tratava da fundação da estrutura, conforme identificado na Figura 62.

Figura 62 – Resistividade da fundação e do rejeito

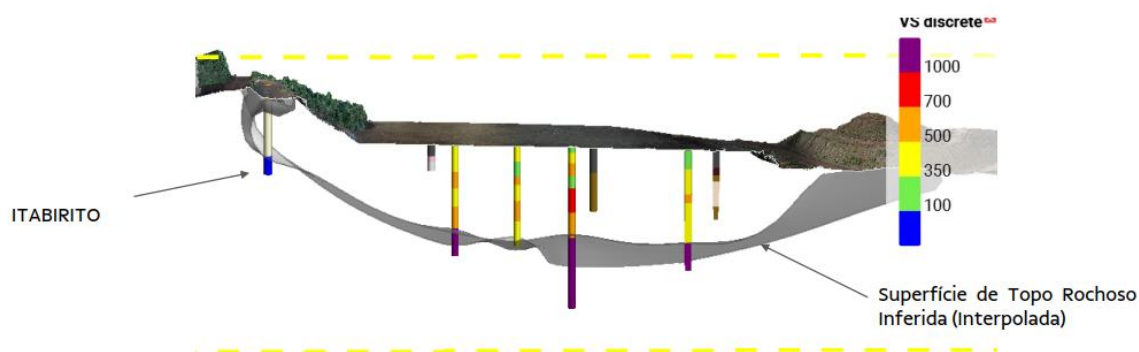


Fonte: Autora (2024)

Foi necessário detalhar os litotipos encontrados em profundidade na fundação, utilizando das informações contidas e descritas nas sondagens existentes. De forma geral, o banco de dados apresenta materiais como: Rejeito silto – arenoso, areias, siltes, argilas, blocos de rocha, fragmentos de rocha e itabirito.

Através do mapeamento geológico realizado é possível notar a presença de solo laterítico na porção sudoeste-sul da região e norte. Em algumas regiões, os dados de MasW apresentaram em subsuperfície valores de velocidade muito elevados (>1000 m/s), o que representa possivelmente a presença de rocha. A Figura 63 mostra a locação de algumas sondagens em uma seção da estrutura.

Figura 63 – Locação das sondagens na seção da pilha



Fonte: Autora (2024)

Após o refinamento e a compartimentação geomecânica dos materiais constituintes da pilha foram inseridos todas as sondagens mistas e ensaios de *piezocone* realizados em campo na área do empilhamento. O passo inicial foi a classificação dos materiais constituintes do aterro a partir da NBR 6484/2020 para areia e siltes arenosos e para argilas e siltes argilosos conforme Tabela 16.

Tabela 16 – Compacidade dos materiais conforme NBR 6484/2020

Solo	Índice de resistência à penetração	Designação
Areias e Siltes Arenosos	≥ 4	Fofa (o)
	5 a 8	Pouco compacta (o)
	9 a 18	Medianamente compacta (o)
	19 a 40	Compacta (o)
	≥ 40	Muito Compacta (o)
Argilas e Siltes Argilosos	≥ 2	Muito Mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média (o)
	11 a 19	Rija (o)
	≥ 19	Dura (o)

Fonte: NBR 6484 (ABNT, 2020)

Após a inserção dessas classificações os materiais foram considerados para a modelagem em resolução de triangulação de 0,5 m, para possibilidade de maiores detalhamentos das lentes de rejeito. A direção de alongamento das lentes fora determinada na direção Norte-Sul, para que reflita corretamente o

direcionamento dos setores de empilhamento. A partir disso foi possível gerar superfícies estatísticas univariadas para a proporção dos materiais descritos na Tabela 17.

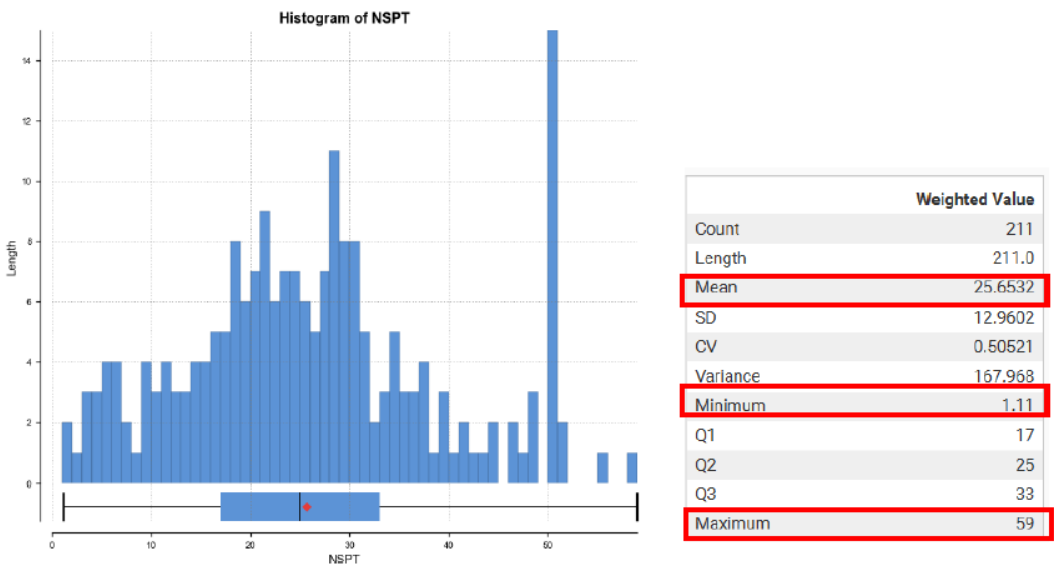
Tabela 17 – Compacidade dos materiais da pilha

Classificação	Proporção (Quantidade)
Silte Arenoso Fofo	4,30%
Silte Arenoso Pouco Compacto	4,80%
Silte Arenoso Medianamente Compacto	21,60%
Silte Arenoso Compacto	56,40%
Silte Arenoso Muito Compacto	12,90%

Fonte: Autora (2024)

De maneira complementar foi possível verificar o valor de nSPT médio para a população de amostras. Assim como evidenciado na Figura 64 o valor médio é de 25, enquadrado na classificação como “Silte Arenoso Compacto”.

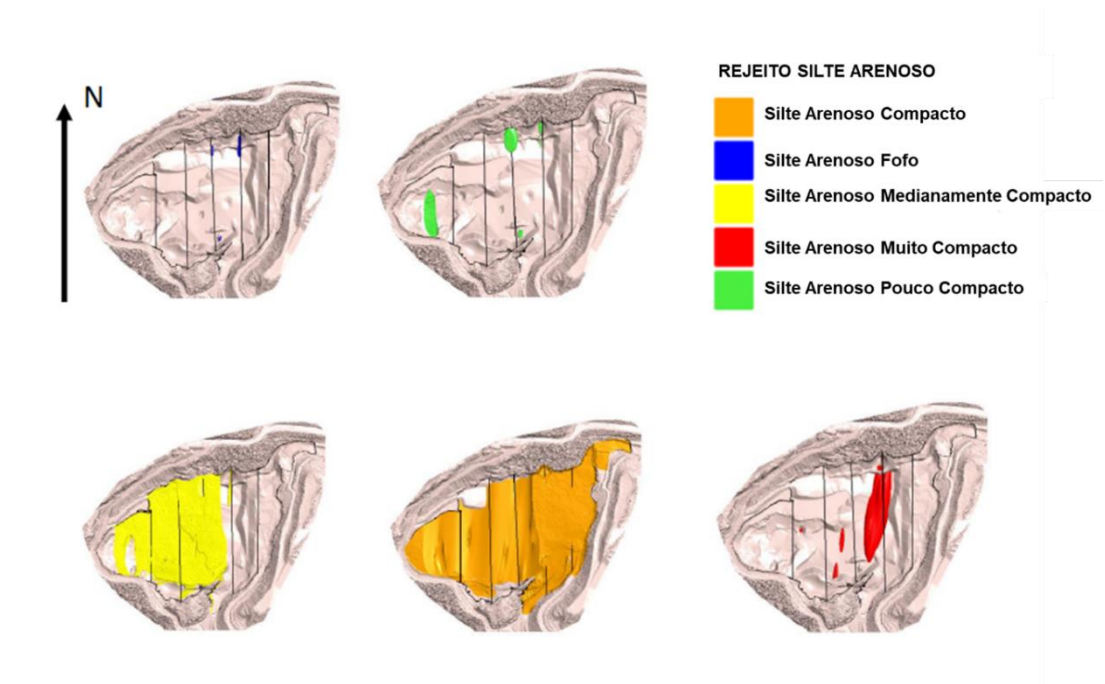
Figura 64 – Histograma de NSPT



Fonte: Autora (2024)

Em termos de volume, de caráter geoestatístico da interpolação, a Figura 65 mostra os pontos de concentração de cada classificação do material, constando na Tabela 18 os valores referentes à cada um deles.

Figura 65 – Compartimentação da área do empilhamento



Fonte: Autora (2024)

Tabela 18 – Proporção da compacidade dos materiais no empilhamento

Classificação	Proporção (Volume)
Silte Arenoso Fofo	0,20%
Silte Arenoso Pouco Compacto	1,60%
Silte Arenoso Medianamente Compacto	21,70%
Silte Arenoso Compacto	73,20%
Silte Arenoso Muito Compacto	12,90%

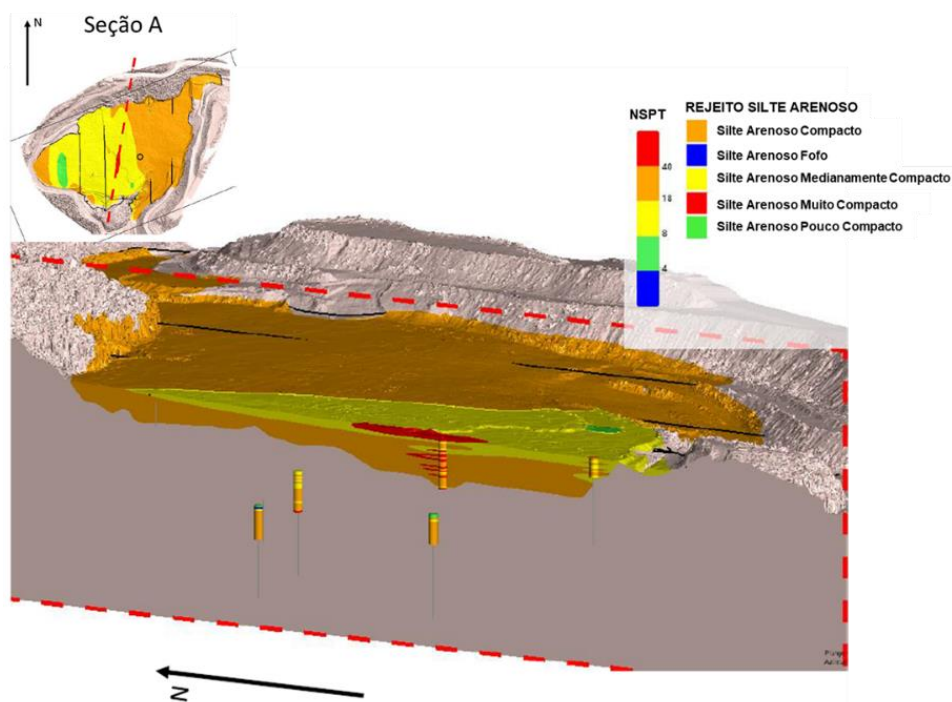
Fonte: Autora (2024)

Em termos da distribuição dos isovolumes estimados, pode-se observar que a presença de siltes arenosos fofos se dá de forma local, nas porções mais a norte, sul e pontualmente à oeste da área de estudo, uma vez que tal grau de compacidade se observa em amostras de escala métrica dos furos SM PDR 01 e SM PDR 07, SM PDR 01 e SM PDR 08 respectivamente.

A profundidade desses materiais fofos é de 10 metros, aproximadamente, o que reforça alguns pontos de fragilidade executados durante a primeira diretriz operacional, quando os graus de compactação tinham o valor mínimo de 95%. As camadas empilhadas na segunda diretriz apresentam-se, de forma geral,

como medianamente compactos e compactos. A Figura 66 mostra, em corte a distribuição de cores a partir das classificações. E acima da Figura 66 é possível verificar a localização do corte.

Figura 66 – Seção A da classificação dos materiais



Fonte: Autora (2024)

4.3 Avaliação dos ensaios de laboratório

Foram coletadas 6 amostras indeformadas. Dessas, 4 foram obtidas por meio de poços de investigação no rejeito. Além disso, 2 amostras foram coletadas no rejeito usando um amostrador Denison.

Foram realizados 5 ensaios triaxiais CIUsat (Adensado e Não drenado), 6 ensaios triaxiais do tipo CIDsat (Adensado e drenado) e 3 ensaios Proctor normal. Além disso, foram executados 6 ensaios de adensamento oedométrico e 6 ensaios de caracterização completa.

Os ensaios de caracterização completa abrangeram granulometria, Limites de Atterberg, massa específica real dos grãos, massa específica aparente e teor de umidade.

4.3.1 Caracterização Completa

Os ensaios de caracterização completa do rejeito nas amostras AI PDR 01, AI PDR 02, AI PDR 03, AI PDR 04, DE PDR 01 e DE PDR 02 constam na Tabela 19.

Tabela 19 – Caracterização completa das amostras indeformadas

Amostra	Massa esp dos sólidos (g/cm³)	Teor de umidade natural (%)	Massa específica aparente		Limites de Atterberg			Classificação
			Massa esp seca (g/cm³)	Massa esp úmida (g/cm³)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	
AI PDR 01	3,823	29,03	2,519	2,80	18	13	5	Argila de baixa plasticidade e compressibilidade (CL)
AI PDR 02	3,943	13,28	2,335	2,637	18	13	5	
AI PDR 03	3,930	25,78	2,427	2,730	18	13	5	
AI PDR 04	3,846	13,02	2,543	2,238	18	13	5	
DE PDR 01	3,935	12,26	2,631	2,959	16	12	4	Silte argiloso de baixa plasticidade e compressibilidade (CL-ML)
DE PDR 02	4,009	11,08	2,651	2,946	19	14	5	Argila baixa compressibilidade (CL)

Fonte: Autora (2024)

A granulometria do material pode ser verificada na Tabela 20. Os resultados de Caracterização, Proctor Normal e Permeabilidade do material pode ser verificada na Tabela 21.

Tabela 20 – Granulometria das amostras indeformadas

Amostra	Granulometria						Classificação
	Pedregulho (%)	Areia (%)			Silte (%)	Argila (%)	
		Grossa	Média	Fina			
AI PDR 01	6	4	4	26	48	12	Silte areno argiloso
AI PDR 02	4	3	4	29	49	11	
AI PDR 03	7	4	5	25	48	11	
AI PDR 04	4	4	6	25	49	12	
DE PDR 01	19	6	5	25	40	5	Silte areno pedregulhoso
DE PDR 02	6	2	6	26	48	12	Silte areno argiloso

Fonte: Autora (2024)

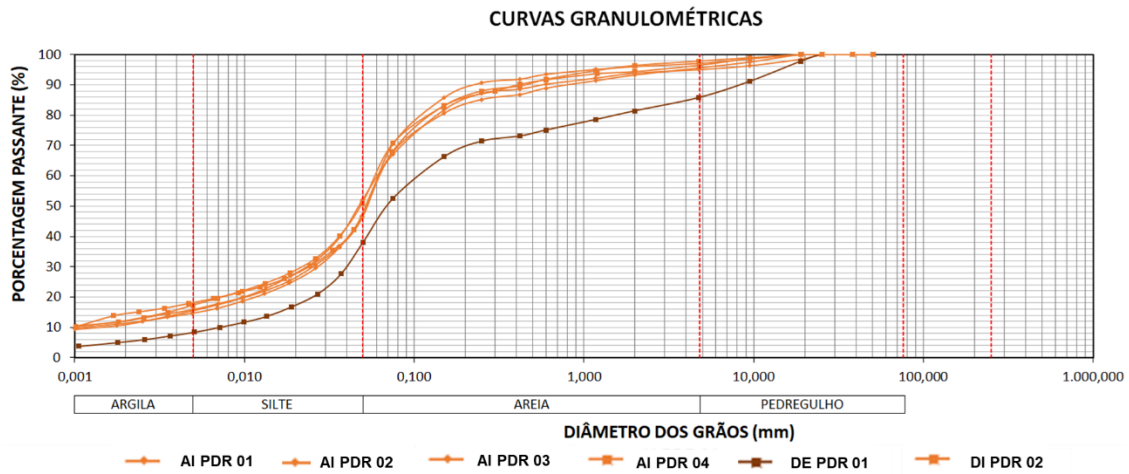
Tabela 21 – Caracterização, Proctor Normal e Permeabilidade das amostras indeformadas

Amostra	Índice de vazios		Compactação PN		Permeabilidade		Observação
	e _{máx}	e _{mín}	w _{opt} (%)	Densidade	k _{med} (cm/s)	k ₂₀ (cm/s)	
				máxima (g/cm³)			
AI PDR 01	1,06	0,73	11,50	2,513	1,41E-07	1,39E-07	
AI PDR 02	1,082	0,715	10,45	2,545	1,20E-07	1,19E-07	
AI PDR 03	1,057	0,728	11,90	2,515	2,63E-07	2,61E-07	
AI PDR 04	1,159	0,82	-	-	-	-	Quantidade de material insuficiente
DE PDR 01	-	-	-	-	-	-	Quantidade de material insuficiente
DE PDR 02	-	-	-	-	-	-	

Fonte: Autora (2024)

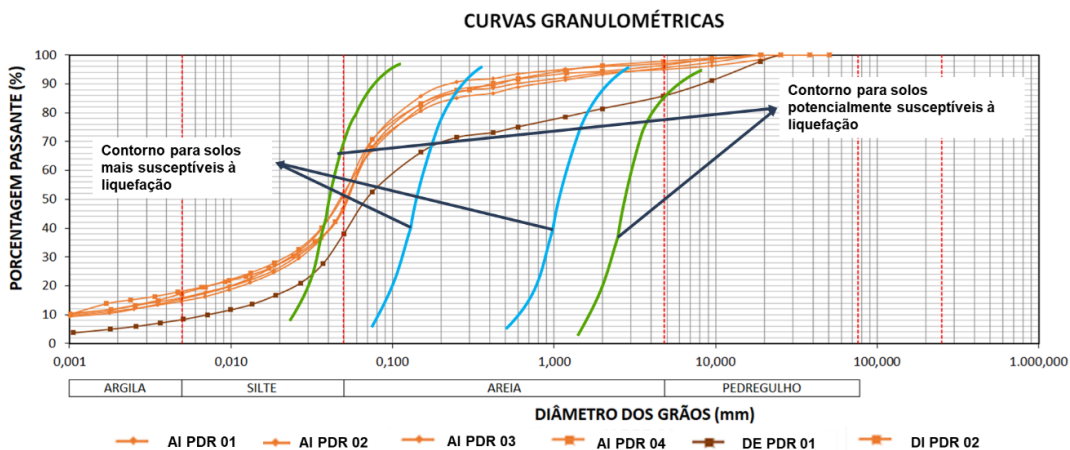
A curva granulométrica das amostras está na Figura 67. E na Figura 68 é plotado os contornos de susceptibilidade a liquefação apresentados por Terzaghi et al (1996).

Figura 67 – Curva granulométrica



Fonte: Autora (2024)

Figura 68 – Curva granulométrica com os contornos para os solos



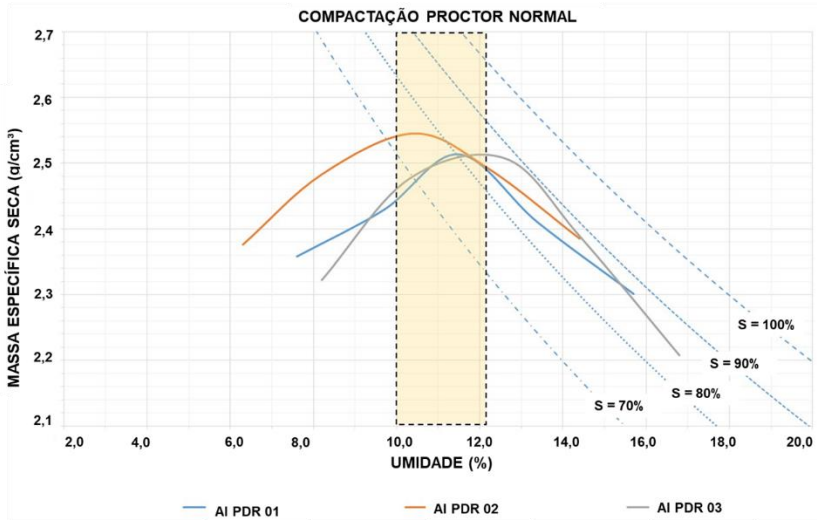
Fonte: Autora (2024)

A distribuição granulométrica do material, por estar parcialmente dentro dos contornos estabelecidos em potencialmente suscetíveis e mais suscetíveis sugere um estudo mais profundo do comportamento deste rejeito através de ensaios de laboratório e ensaios in situ.

Os ensaios de proctor normal foram realizados em 3 (três) blocos coletados nos poços de inspeção, referente as amostras AI PDR 01, AI PDR 02 e AI PDR 03. A Figura 69 ilustra a curva de compactação, que foi construída com base em três amostras do ensaio proctor normal. As curvas de saturação foram

delineadas considerando o valor médio da densidade real dos grãos. Neste caso, a densidade real dos grãos (G_s) é igual a 3,92 g/cm³.

Figura 69 – Curva de compactação – Proctor Normal



Fonte: Autora (2024)

Os valores obtidos para a umidade ótima e densidade máxima seca por ensaio são apresentados na Tabela 22.

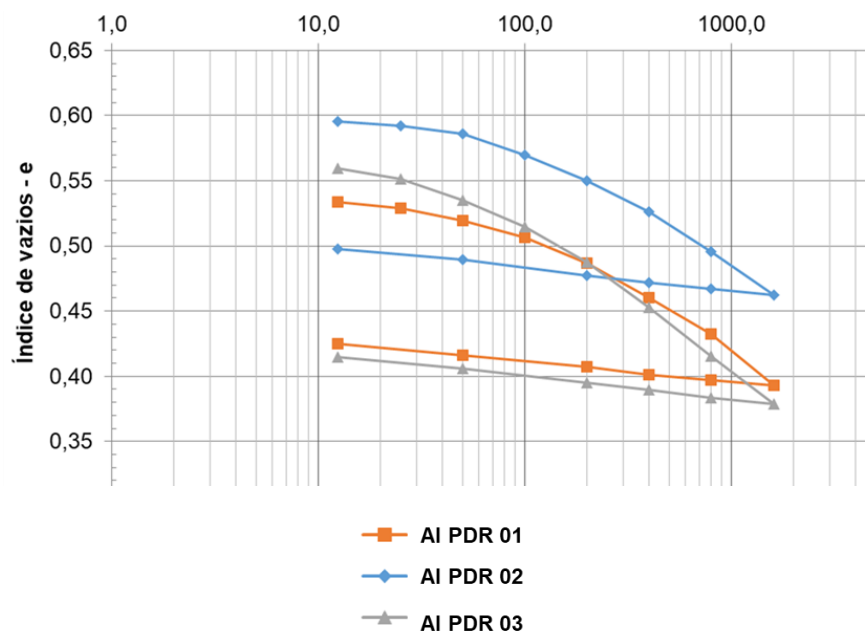
Tabela 22 – Umidade ótima e densidade máxima seca

Amostra	$\gamma_{d,max}$ (g/cm ³)	w_{opt} (%)
AI PDR 01	2,513	11,50
AI PDR 02	2,545	10,45
AI PDR 03	2,515	11,90

Fonte: Autora (2024)

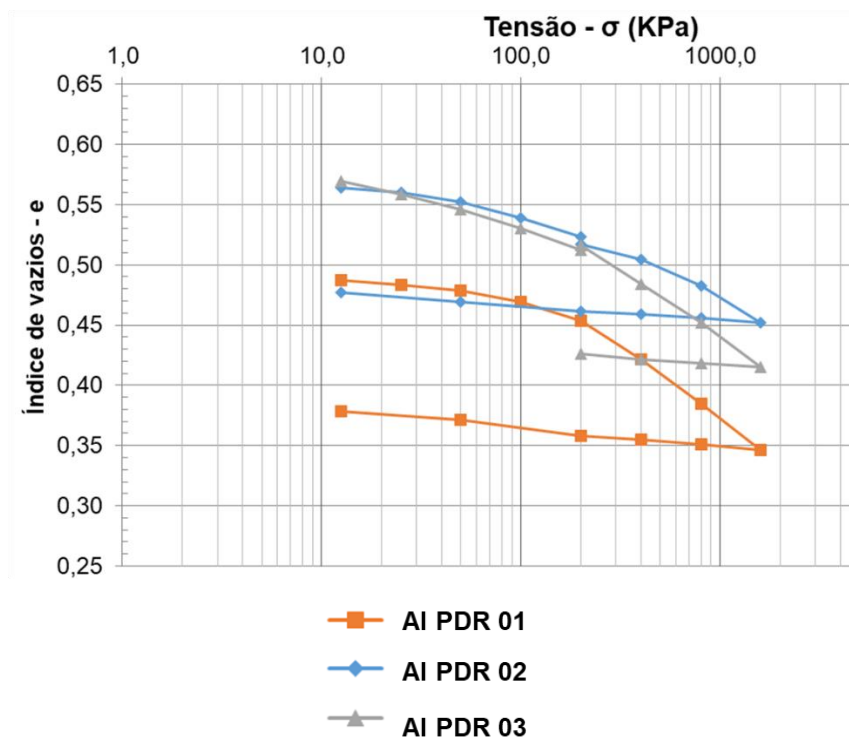
Foram realizados ensaios de adensamento em três amostras de rejeito da campanha (AI PDR 01, AI PDR 02 e AI PDR 03). O objetivo era verificar as propriedades compressíveis dos materiais e determinar a tensão de pré-adensamento. Além dos ensaios de adensamento comuns, foram realizados ensaios de adensamento com inundação em 200KPa para verificar a colapsibilidade. Este valor de inundação simula uma condição em um cenário desfavorável. Os resultados dos ensaios realizados com inundação a 200KPa podem ser visualizados na Figura 70 e Figura 71.

Figura 70 – Resultado dos ensaios de adensamento oedométrico inundado



Fonte: Autora (2024)

Figura 71 – Resultado dos ensaios de adensamento oedométrico inundado em 200KPa



Fonte: Autora (2024)

Conforme ilustrado no gráfico da Figura 84, não se observa colapso nas amostras inundadas em 200KPa. Com base no gráfico acima, foi determinado o coeficiente de compressão (C_c), o índice de vazios de pré-adensamento e a tensão de pré-adensamento de cada amostra, utilizando o método de Pacheco Silva. Esses resultados nos permitiram classificar os materiais em termos de sua compressibilidade, seguindo a classificação proposta por Coduto (2001). Os resultados dos ensaios realizados no rejeito, bem como a classificação correspondente, estão detalhados na Tabela 23 e Tabela 24.

Tabela 23 – Umidade ótima e densidade máxima seca das amostras AI PDR 01, 02 e 03

Caracterização Adensamento Oedométrico						
Amostra	Tensão de pré-adensamento (KPa)	Índice de vazios inicial (e)	coeficiente de compressão (C_c)	coeficiente de recompressão (C_r)	Classificação da compressibilidade do solo - coduto, 2001	
					$C_c/(1+e_0)$	Classificação
AI PDR 01	250	0,541	0,131	0,009	0,0850	Levemente Compressível
AI PDR 02	160	0,602	0,112	0,006	0,0699	Levemente Compressível
AI PDR 03	86	0,565	0,123	0,016	0,0786	Levemente Compressível

Fonte: Autora (2024)

Tabela 24 – Umidade ótima e densidade máxima seca das amostras AI PDR 01, 02 e 03

Caracterização Adensamento Oedométrico – 200 KPa						
Amostra	Tensão de pré-adensamento (KPa)	Índice de vazios inicial (e)	coeficiente de compressão (C_c)	coeficiente de recompressão (C_r)	Classificação da compressibilidade do solo - coduto, 2001	
					$C_c/(1+e_0)$	Classificação
AI PDR 01	185	0,5	0,129	0,006	0,0860	Levemente Compressível

(continua)

Caracterização Adensamento Oedométrico – 200 KPa						
Amostra	Tensão de pré-adensamento (KPa)	Índice de vazios inicial (e)	coeficiente de compressão (Cc)	coeficiente de recompressão (Cr)	Classificação da compressibilidade do solo - coduto, 2001	
					Cc/(1+e ₀)	Classificação
AI PDR 02	210	0,575	0,101	0,008	0,0641	Levemente Compressível
AI PDR 03	162	0,54	0,124	0,015	0,0805	Levemente Compressível

Fonte: Autora (2024)

4.3.2 Ensaios triaxiais

Em relação aos ensaios de resistência mencionados, foram realizados 5 (cinco) ensaios CIU no rejeito compactado. Estes ensaios correspondem a 4 (quatro) amostras coletadas no poço de inspeção (AI PDR 01, AI PDR 02, AI PDR 03 e AI PDR 04) e 1 (uma) amostra obtida através do método Denison (DI PDR 02). As tensões de confinamento utilizadas foram as seguintes: 50 KPa, 100 KPa, 200 KPa, 400 KPa e 800 KPa.

Nota-se, a partir dos dados apresentados, um grau de saturação inicial dos corpos de prova ensaiados maior que 80%, chegando em alguns corpos de provas a maior que 90%. Essas informações constam nas Tabelas 25 até a Tabela 29 e os gráficos referentes aos resultados constam na Figura 72 até a Figura 77.

Tabela 25 – Resumo dos principais dados do ensaio AI PDR 01

σ_3 (KPa)	$\gamma_{d,0}$ (g/cm ³)	w ₀ (%)	e ₀	e _r	GC (%)	S ₀ (%)	B
50	2,52	11,08	0,518	0,504	100,4	82,2	0,98
100	2,61	9,89	0,469	0,433	103,7	81,1	0,96
200	2,60	11,0	0,472	0,434	103,5	89,9	0,98
400	2,51	11,0	0,527	0,485	99,8	80,0	0,97
800	2,57	11,1	0,490	0,412	102,3	86,8	0,96

Fonte: Autora (2024)

Tabela 26 – Resumo dos principais dados do ensaio AI PDR 02

σ_3 (KPa)	$\gamma_{d,0}$ (g/cm ³)	w_0 (%)	e_0	e_f	GC (%)	S_0 (%)	B
50	2,46	13,76	0,607	0,587	96,6	89,8	0,97
100	2,43	13,68	0,627	0,607	95,4	86,6	0,98
200	2,46	13,81	0,609	0,575	96,5	89,9	0,96
400	2,44	13,57	0,619	0,563	95,9	86,9	0,96
800	2,42	13,67	0,633	0,558	95,1	85,7	0,97

Fonte: Autora (2024)

Tabela 27 – Resumo dos principais dados do ensaio AI PDR 03

σ_3 (KPa)	$\gamma_{d,0}$ (g/cm ³)	w_0 (%)	e_0	e_f	GC (%)	S_0 (%)	B
50	2,59	12,78	0,518	0,508	102,9	96,9	0,97
100	2,44	12,53	0,608	0,576	97,2	81,1	0,98
200	2,49	12,12	0,579	0,536	99,0	82,3	0,97
400	2,54	12,37	0,545	0,473	101,1	89,1	0,97
800	2,61	12,55	0,507	0,417	103,7	97,2	0,97

Fonte: Autora (2024)

Tabela 28 – Resumo dos principais dados do ensaio AI PDR 04

σ_3 (KPa)	$\gamma_{d,0}$ (g/cm ³)	w_0 (%)	e_0	e_f	S_0 (%)	B
50	2,45	13,29	0,572	0,558	89,9	0,96
100	2,48	13,50	0,555	0,519	94,1	0,98
200	2,44	13,51	0,586	0,525	89,7	0,96
400	2,48	13,84	0,556	0,491	96,3	0,98
800	2,50	12,76	0,541	0,446	91,1	0,97

Fonte: Autora (2024)

Tabela 29 – Resumo dos principais dados do ensaio DE PDR 02

σ_3 (KPa)	$\gamma_{d,0}$ (g/cm ³)	w_0 (%)	e_0	e_f	S_0 (%)	B
50	2,69	12,29	0,494	0,477	100,3	0,95
100	2,63	11,40	0,526	0,501	87,3	0,95
200	2,61	11,45	0,540	0,508	85,5	0,96

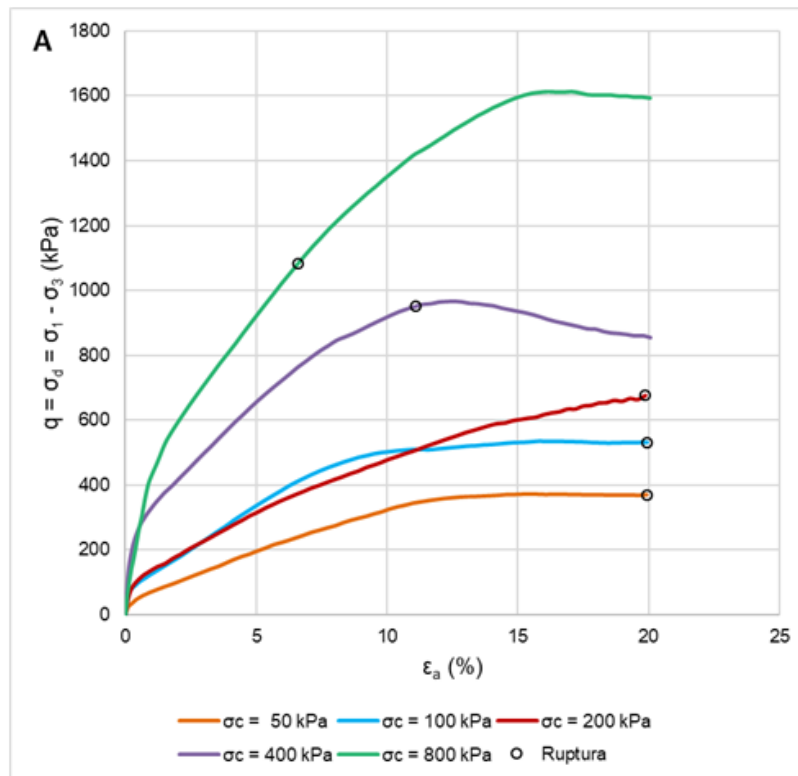
(continua)

σ_3 (KPa)	$\gamma_{d,0}$ (g/cm ³)	w_0 (%)	e_0	e_f	S_0 (%)	B
400	2,64	11,50	0,521	0,456	89,0	0,96
800	2,50	11,58	0,608	0,511	76,9	0,95

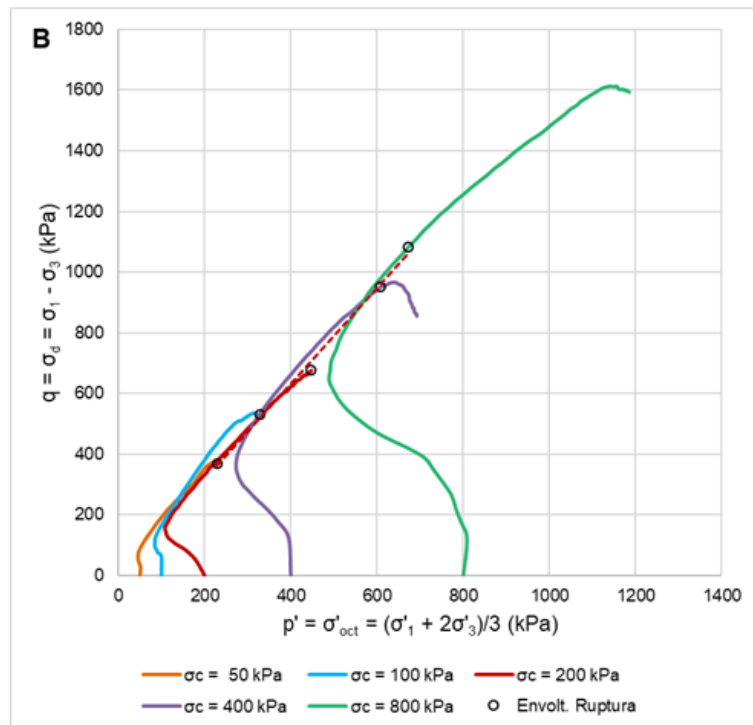
Fonte: Autora (2024)

Figura 72 – Gráficos CIU AI PDR 01

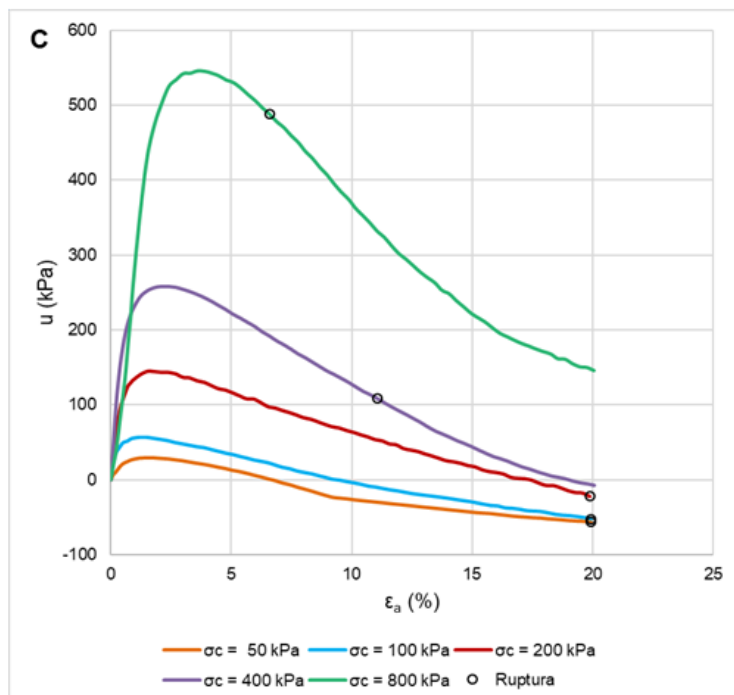
AI PDR 01 - Tensão desviadora x deformação axial



AI PDR 01 - Caminho de Tensões (p'xq)



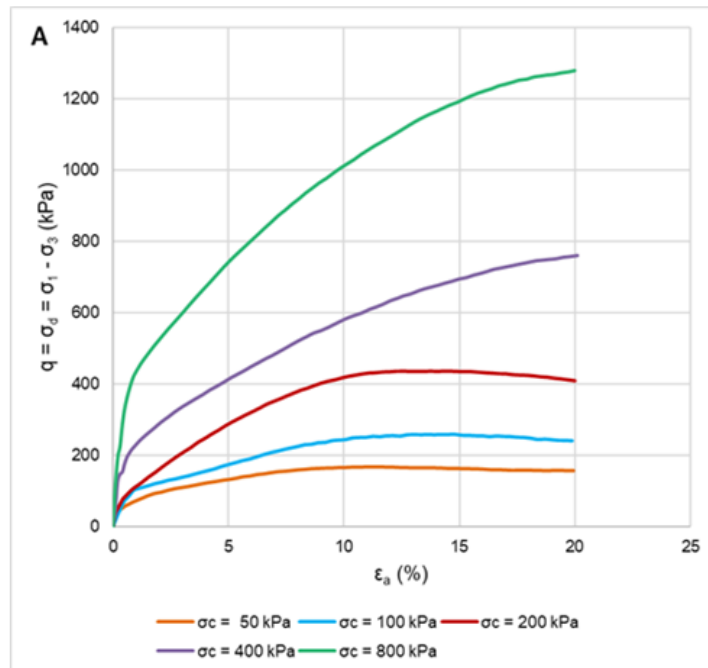
AI PDR 01 - Poropressões x deformação axial



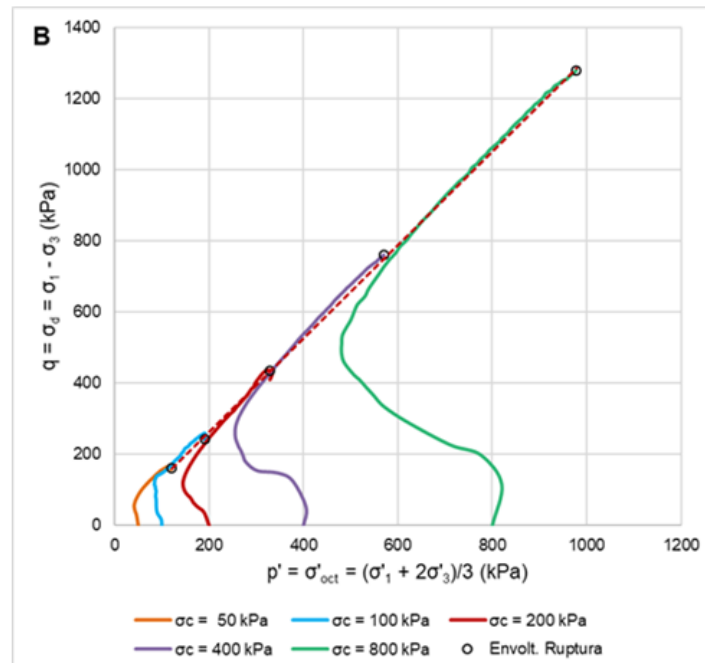
Fonte: Autora (2024)

Figura 73 – Gráficos CIU AI PDR 02

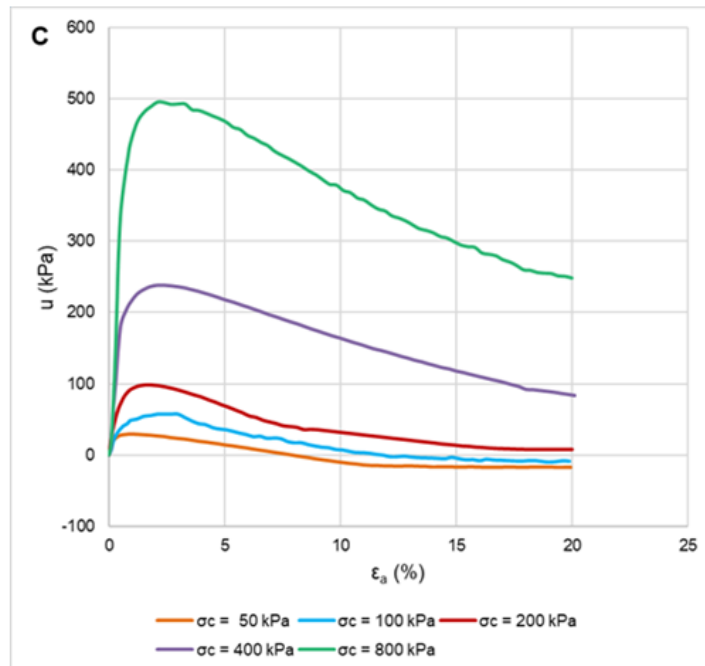
AI PDR 02 - Tensão desviadora x deformação axial



AI PDR 02 - Caminho de Tensões (p'xq)



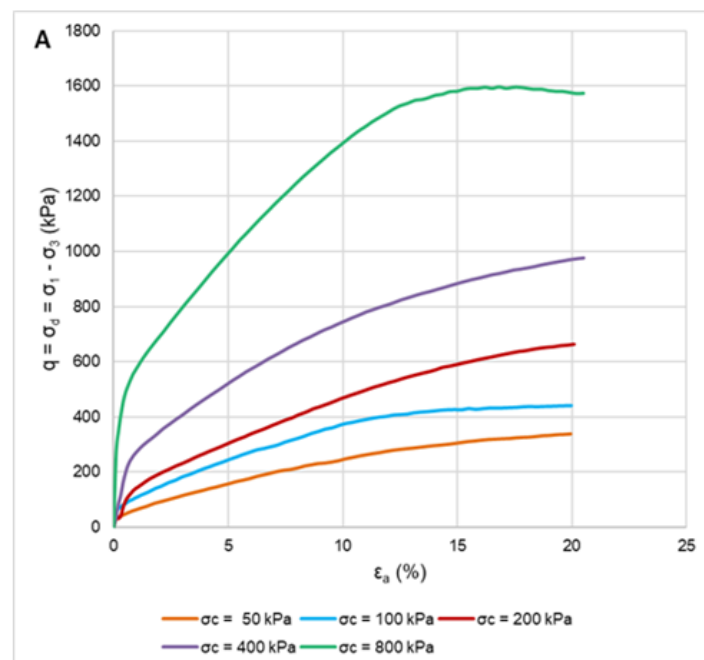
AI PDR 02 - Poropressões x deformação axial



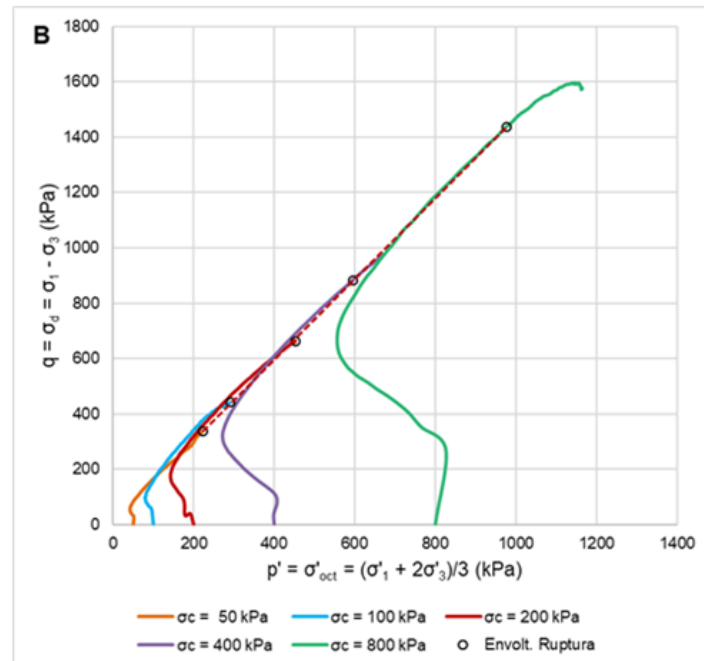
Fonte: Autora (2023)

Figura 74 – Gráficos CIU AI PDR 03

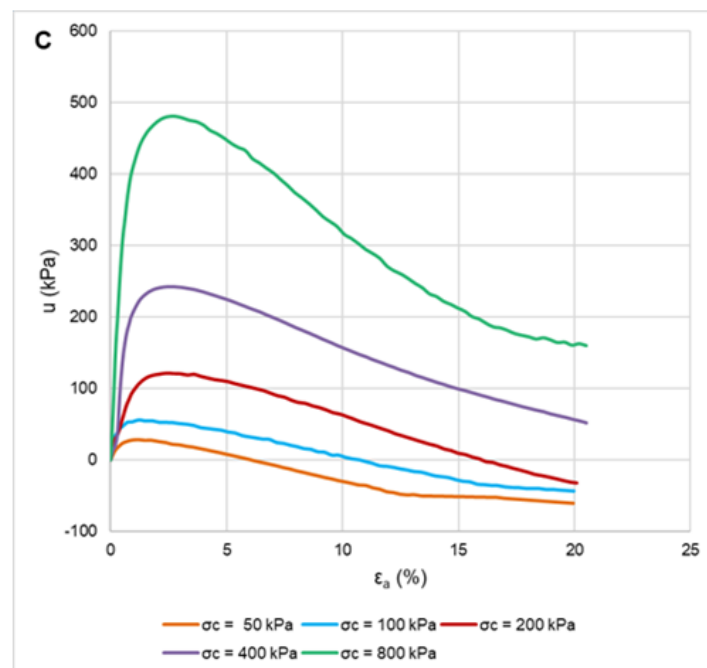
AI PDR 03 - Tensão desviadora x deformação axial



AI PDR 03 - Caminho de Tensões (p'xq)



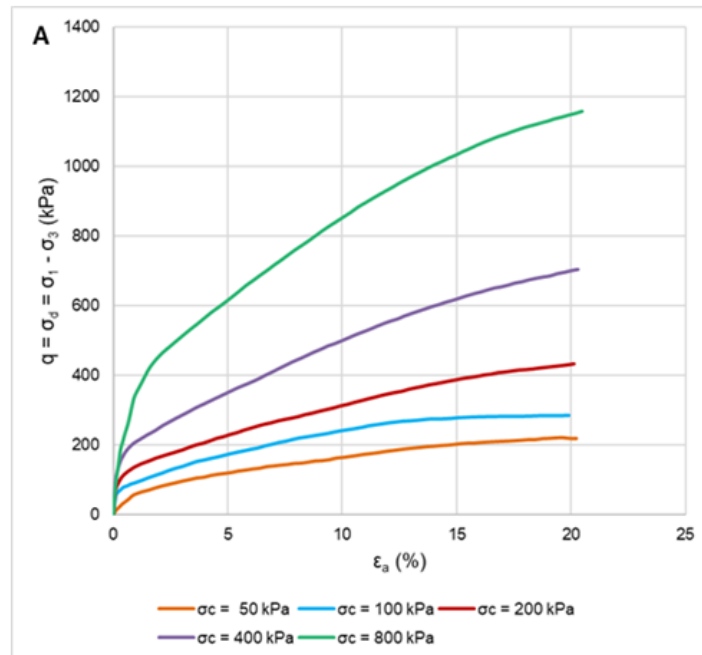
AI PDR 03 - Poropressões x deformação axial



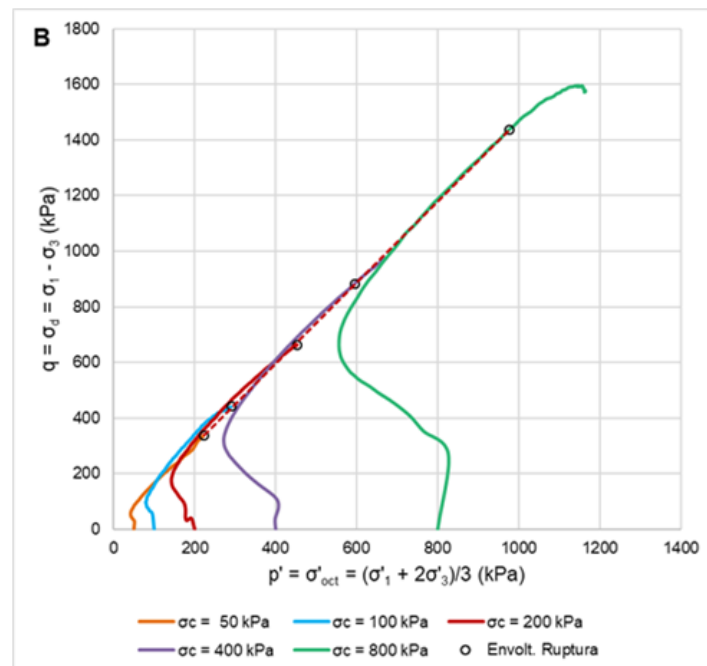
Fonte: Autora (2024)

Figura 75 – Gráficos CIU AI PDR 04

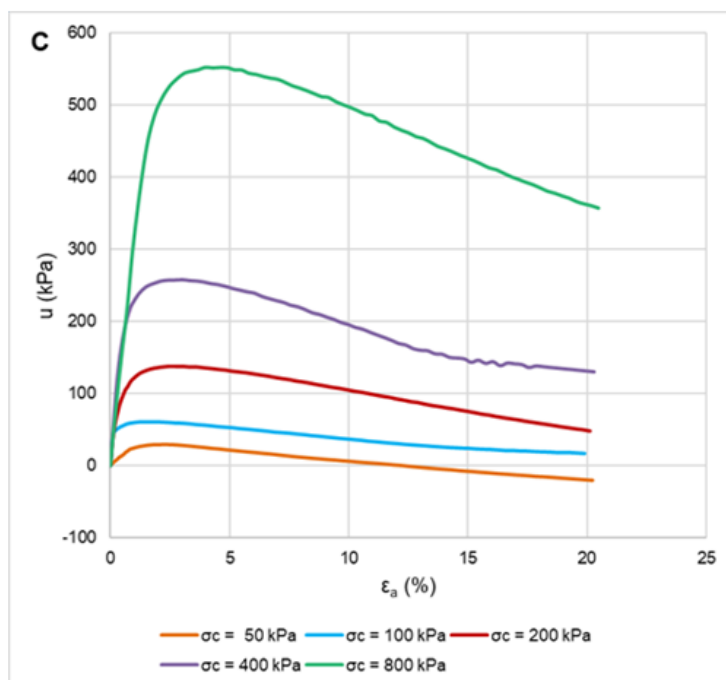
AI PDR 04 - Tensão desviadora x deformação axial



AI PDR 03 - Caminho de Tensões (p' x q)



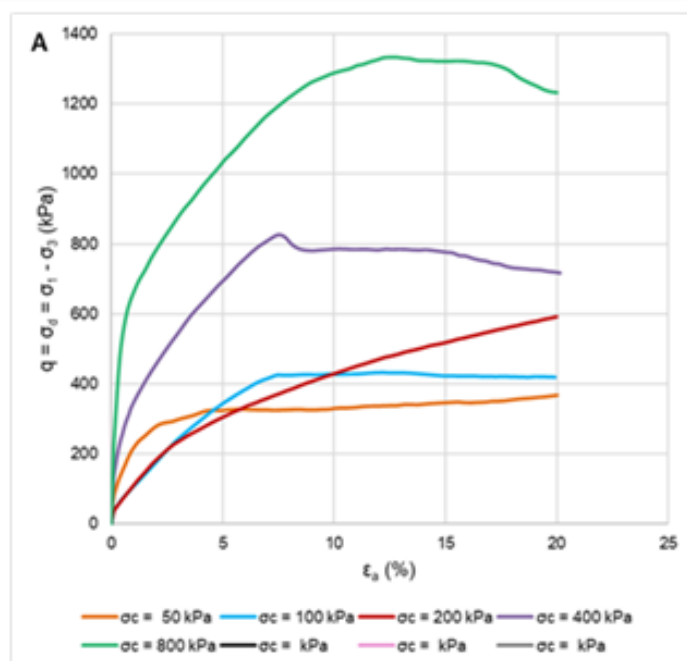
AI PDR 04 - Poropressões x deformação axial



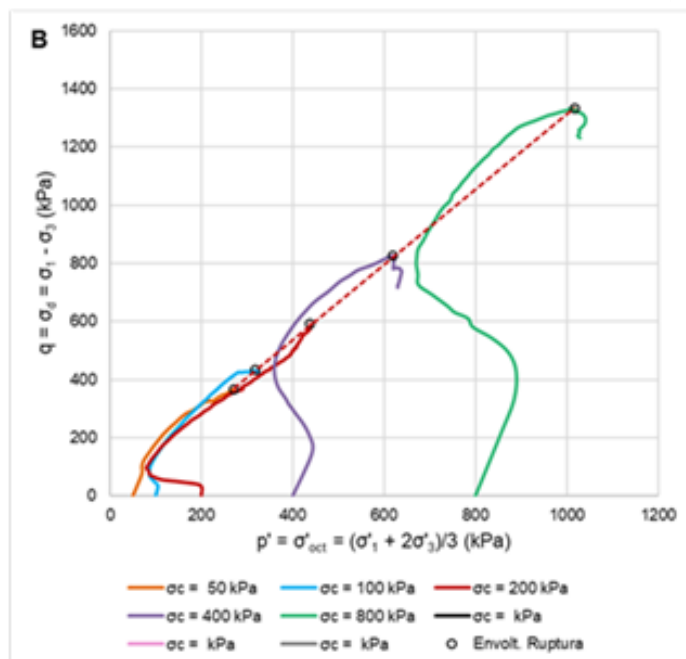
Fonte: Autora (2024)

Figura 76 – Gráficos CIU DE PDR 02

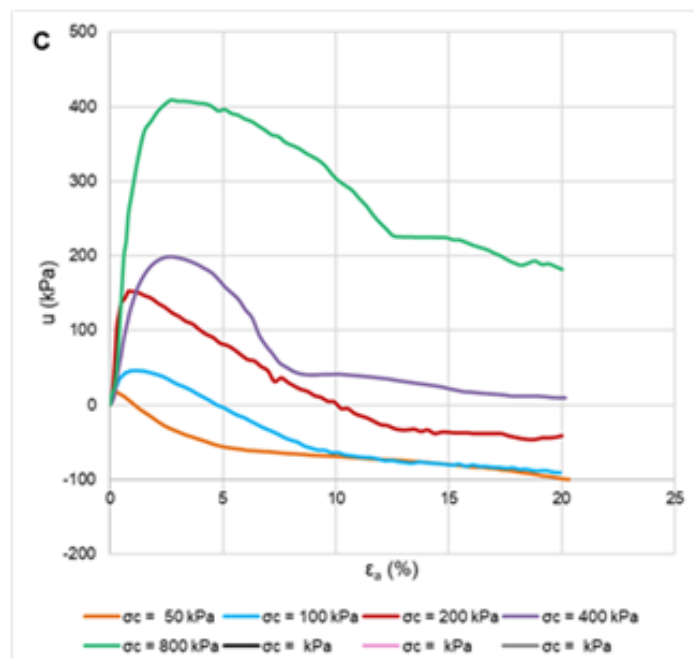
DE PDR 02 - Tensão desviadora x deformação axial



DE PDR 02 - Caminho de Tensões (p'xq)



DE PDR 02 - Poropressões x deformação axial



Fonte: Autora (2024)

Para tensões de até 200 KPa, que são consideradas baixas, os gráficos p'-q geralmente exibem curvas com comportamento dilatante. Isso ocorre sem a geração de poropressão ou com a geração de poropressão que é totalmente dissipada. No entanto, a tensão de 200KPa apresentou um comportamento instável, alternando entre contração e dilatação. Para tensões superiores a 200

KPa, os corpos de prova mostraram um comportamento contrátil e o excesso de poropressão gerado não foi completamente dissipado.

Casagrande (1975) demonstrou que solos muito fofos tendem a reduzir de volume durante o cisalhamento drenado. Por outro lado, solos inicialmente densos, sob as mesmas condições de carregamento, tendem a sofrer aumento do índice de vazios até atingir o estado crítico, no qual não há mais variação volumétrica com deformações axiais.

Durante carregamentos não drenados, solos contráteis tendem a gerar excesso de poropressão positiva, o que reduz a tensão efetiva e, conseqüentemente, a resistência ao cisalhamento. Por outro lado, solos que exibem comportamento dilatante geram excesso de poropressões negativas durante a fase de cisalhamento. Vale ressaltar que, embora a maioria dos solos com comportamento dilatante apresente uma fase inicial de contração, esse comportamento é observado posteriormente. A Tabela 30 apresenta o resumo dos parâmetros de resistência encontrados para os ensaios CIU.

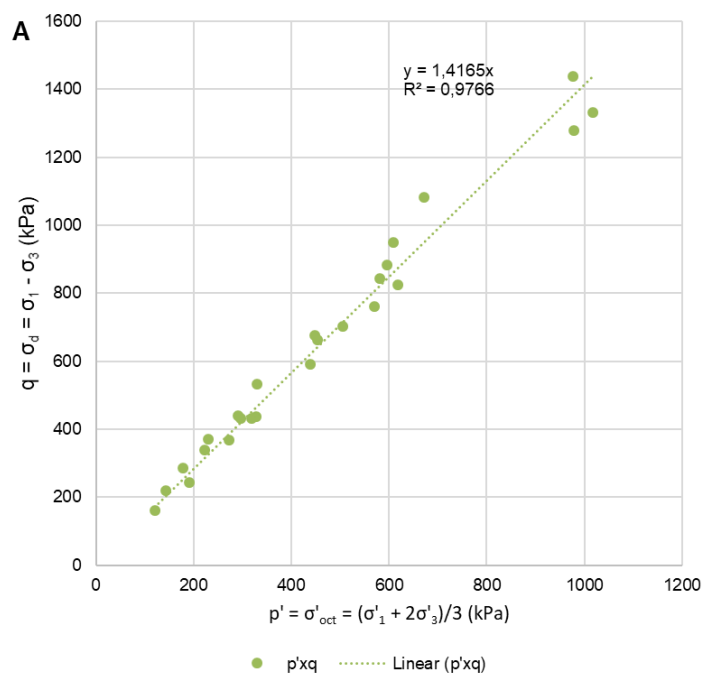
Tabela 30 – Resumo dos parâmetros de resistência CIU

Ensaio triaxial – CIU					
Amostra	Parâmetros de resistência		Parâmetro não-drenado	Regressão linear	
	c' (KPa)	ϕ' (°)		c' (KPa)	ϕ' (°)
AI PDR 01	0	38,62	0,31	0	34,96
AI PDR 02	0	32,64	0,47	0	34,96
AI PDR 03	0	36,34	0,47	0	34,96
AI PDR 04	0	35,54	0,28	0	34,96
DE PDR 01	-	-	-	0	34,96
DE PDR 02	0	32,85	0,43	0	34,96

Fonte: Autora (2024)

Em relação à definição dos parâmetros, foi realizado uma regressão linear com base em todos os resultados. Isso foi feito para obter o melhor ajuste e determinar os parâmetros de resistência. Esses parâmetros são apresentados na Figura 77.

Figura 77 – Parâmetros obtidos nos ensaios CIU a partir da regressão linear



Fonte: Autora (2024)

Foram realizados 6 ensaios de resistência triaxiais do tipo CIDsat (Adensado e drenado) no rejeito compactado. Estes ensaios foram realizados em amostras indeformadas, das quais 4 foram retiradas de poços de inspeção (AI PDR 01, AI PDR 02, AI PDR 03 e AI PDR 04) e 2 foram obtidas com o amostrador Denison (DE PDR 01 E DE PDR 02).

As tensões de confinamento aplicadas aos corpos de prova foram: 50 KPa, 100 KPa, 200 KPa, 400 KPa e 800 KPa. No entanto, para a amostra DE PDR 02, devido à falta de material, os ensaios foram realizados nas tensões de 100 KPa, 200 KPa, 400 KPa e 800 KPa, excluindo a tensão de 50 KPa. Assim como os corpos de provas ensaiados no CIU, nota-se, a partir dos dados apresentados, um grau de saturação inicial dos corpos de prova ensaiados maior que 80%, chegando em alguns corpos de provas a maior que 90%. Os dados constam na Tabela 31 até a Tabela 36 e os gráficos referentes à esses dados constam Figura 78 até a Figura 834.

Tabela 31 – Resumo dos principais dados do ensaio AI PDR 01

σ_3 (KPa)	$\gamma_{d,0}$ (g/cm ³)	w_0 (%)	e_0	e_r	GC (%)	S_0 (%)	B
50	2,46	10,74	0,562	0,564	97,8	73,4	0,962
100	2,63	11,31	0,460	0,465	104,6	94,4	0,963
200	2,54	11,27	0,513	0,474	101,0	84,3	0,954
400	2,55	11,42	0,503	0,438	101,6	87,2	0,958
800	2,55	11,32	0,505	0,427	101,5	86,1	0,966

Fonte: Autora (2024)

Tabela 32 – Resumo dos principais dados do ensaio AI PDR 02

σ_3 (KPa)	$\gamma_{d,0}$ (g/cm ³)	w_0 (%)	e_0	e_r	GC (%)	S_0 (%)	B
50	2,40	13,53	0,643	0,652	95,5	82,9	0,959
100	2,34	13,13	0,686	0,663	93,1	75,5	0,966
200	2,39	13,50	0,650	0,603	95,1	81,9	0,958
400	2,46	12,83	0,601	0,518	98,0	84,2	0,964
800	2,34	13,24	0,687	0,544	93,0	76,0	0,968

Fonte: Autora (2024)

Tabela 33 – Resumo dos principais dados do ensaio AI PDR 03

σ_3 (KPa)	$\gamma_{d,0}$ (g/cm ³)	w_0 (%)	e_0	e_r	GC (%)	S_0 (%)	B
50	2,56	14,51	0,535	0,568	101,8	106,6	0,956
100	2,59	14,12	0,519	0,500	102,9	106,9	0,961
200	2,56	12,95	0,535	0,482	101,8	95,0	0,965
400	2,58	12,38	0,521	0,454	102,8	93,5	0,966
800	2,59	11,85	0,520	0,410	102,8	89,5	0,957

Fonte: Autora (2024)

Tabela 34 – Resumo dos principais dados do ensaio AI PDR 04

σ_3 (KPa)	$\gamma_{d,0}$ (g/cm ³)	w ₀ (%)	e ₀	e _f	S ₀ (%)	B
50	2,52	12,61	0,529	0,522	91,8	0,95
100	2,45	12,59	0,572	0,534	84,7	0,95
200	2,52	12,62	0,529	0,467	91,7	0,95
400	2,42	12,39	0,588	0,504	81,0	0,95
800	2,52	12,02	0,529	0,424	87,4	0,95

Fonte: Autora (2024)

Tabela 35 – Resumo dos principais dados do ensaio DE PDR 01

σ_3 (KPa)	$\gamma_{d,0}$ (g/cm ³)	w ₀ (%)	e ₀	e _f	S ₀ (%)	B
50	2,60	13,35	0,513	0,521	102,4	0,963
100	2,70	12,60	0,457	0,465	108,4	0,957
200	2,49	14,70	0,582	0,551	99,4	0,961
400	2,72	11,79	0,448	0,394	103,7	0,953
800	2,68	11,04	0,467	0,385	92,9	0,952

Fonte: Autora (2024)

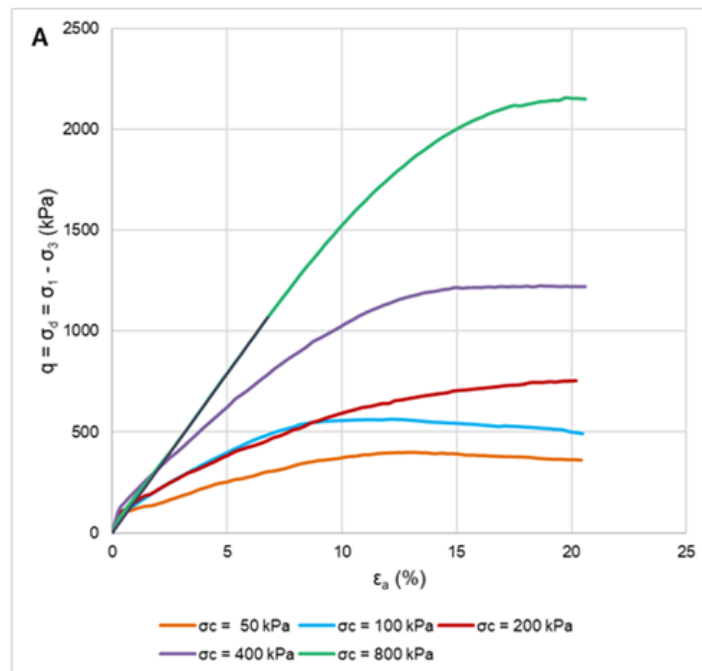
Tabela 36 – Resumo dos principais dados do ensaio DE PDR 02

σ_3 (KPa)	$\gamma_{d,0}$ (g/cm ³)	w ₀ (%)	e ₀	e _f	S ₀ (%)	B
100	2,31	16,66	0,733	0,732	91,2	0,962
200	2,27	16,62	0,768	0,677	86,8	0,952
400	2,33	16,19	0,724	0,598	89,6	0,951
800	2,34	16,09	0,717	0,548	90,0	0,962

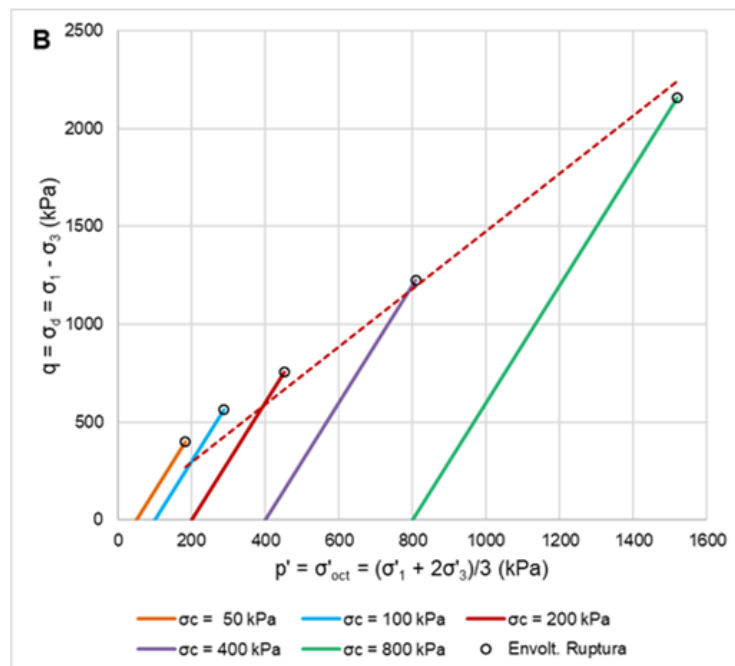
Fonte: Autora (2024)

Figura 78 – Gráficos CIDsat AI PDR 01

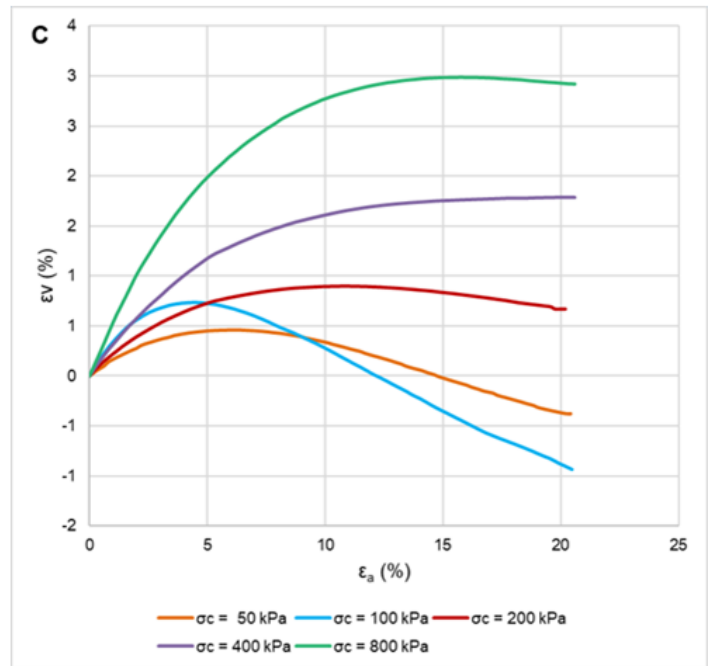
AI PDR 01 - Tensão desviadora x deformação axial



AI PDR 01 - Caminho de Tensões (p' x q)



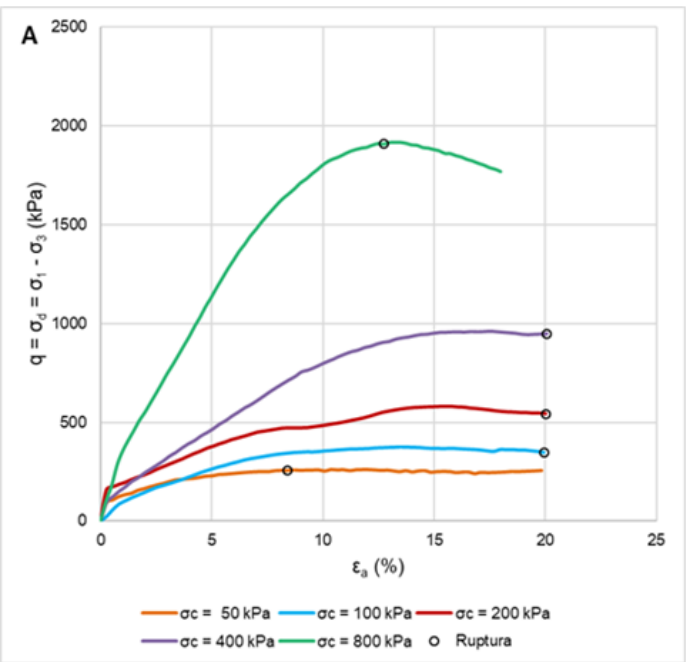
AI PDR 01 - Deformação volumétrica x deformação axial



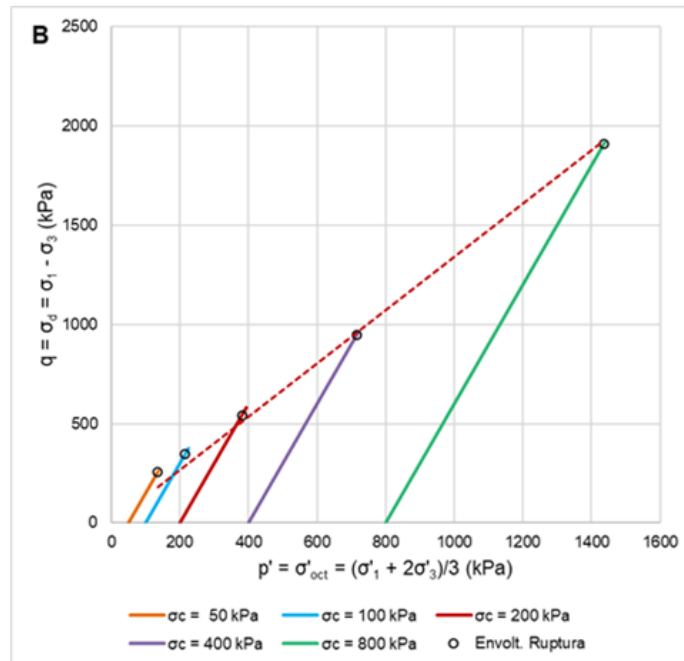
Fonte: Autora (2024)

Figura 79 – Gráficos CIDsat AI PDR 02

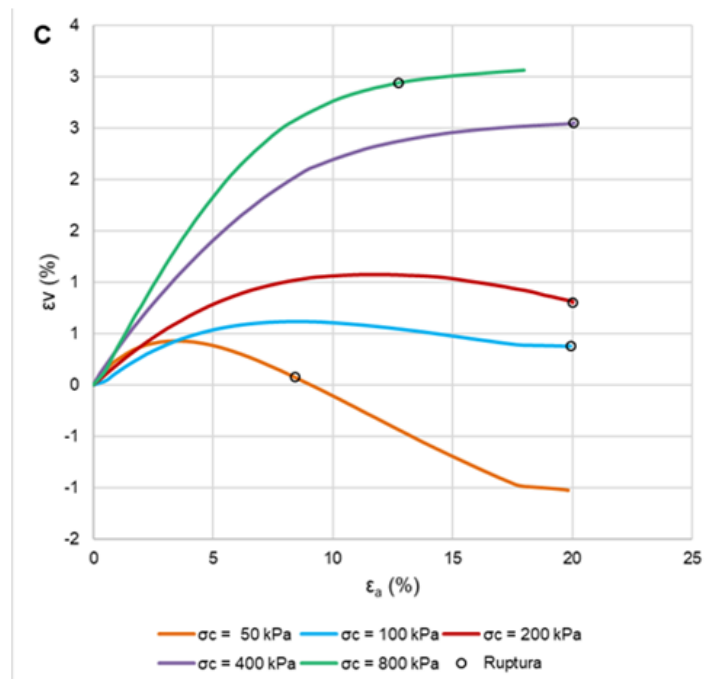
AI PDR 02 - Tensão desviadora x deformação axial



AI PDR 02 - Caminho de Tensões (p' x q)



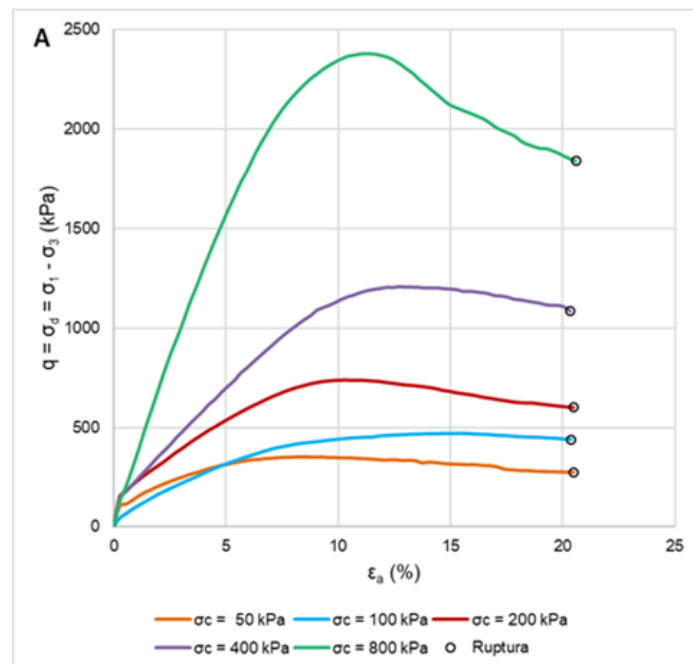
AI PDR 02 - Deformação volumétrica x deformação axial



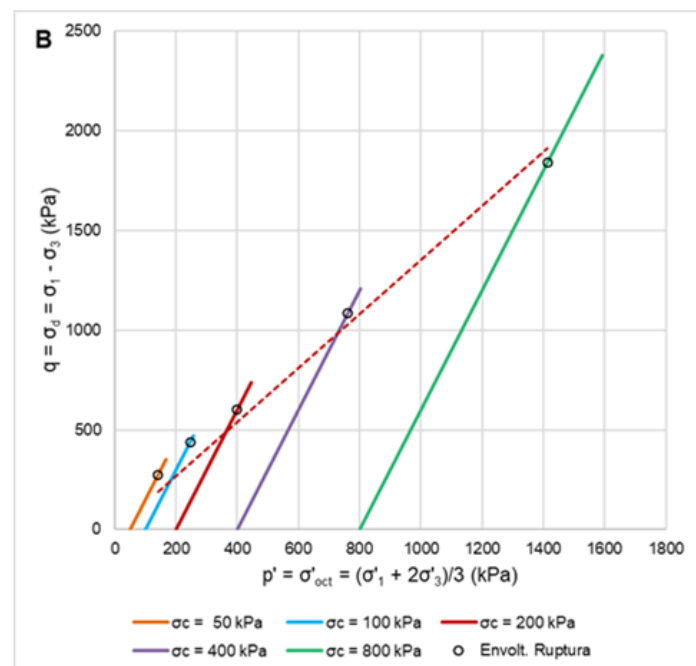
Fonte: Autora (2024)

Figura 80 – Gráficos CIDsat AI PDR 03

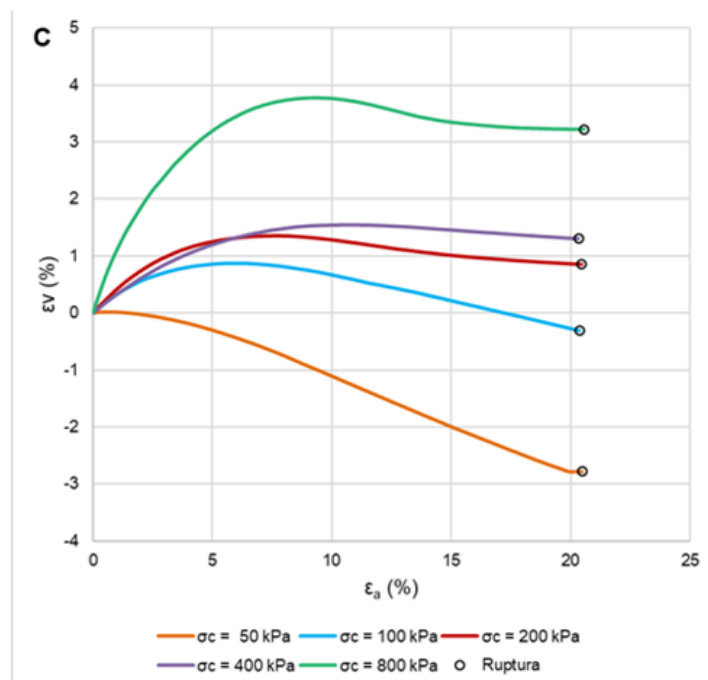
AI PDR 03 - Tensão desviadora x deformação axial



AI PDR 03 - Caminho de Tensões (p' x q)



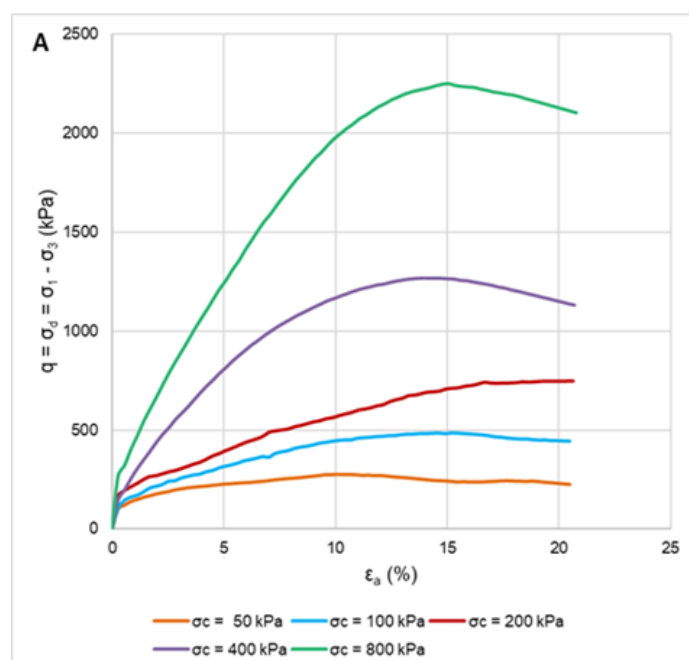
AI PDR 03 - Deformação volumétrica x deformação axial



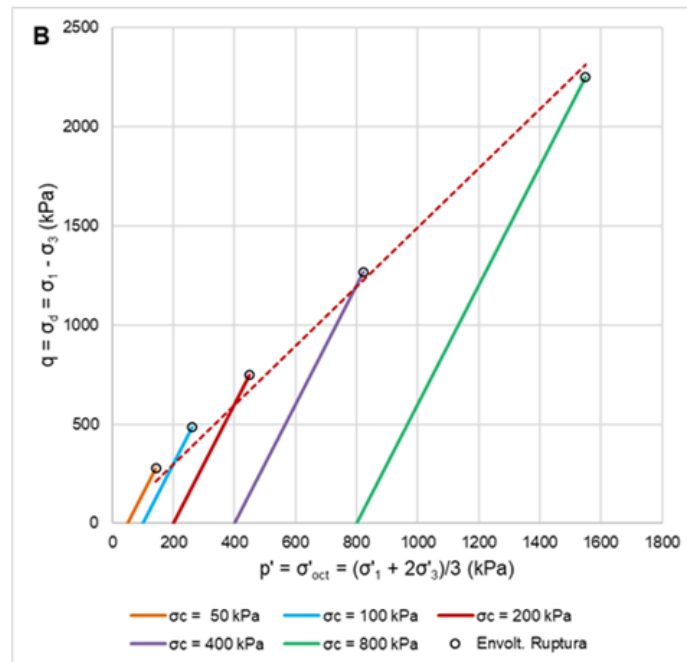
Fonte: Autora (2024)

Figura 81 – Gráficos CIDsat AI PDR 04

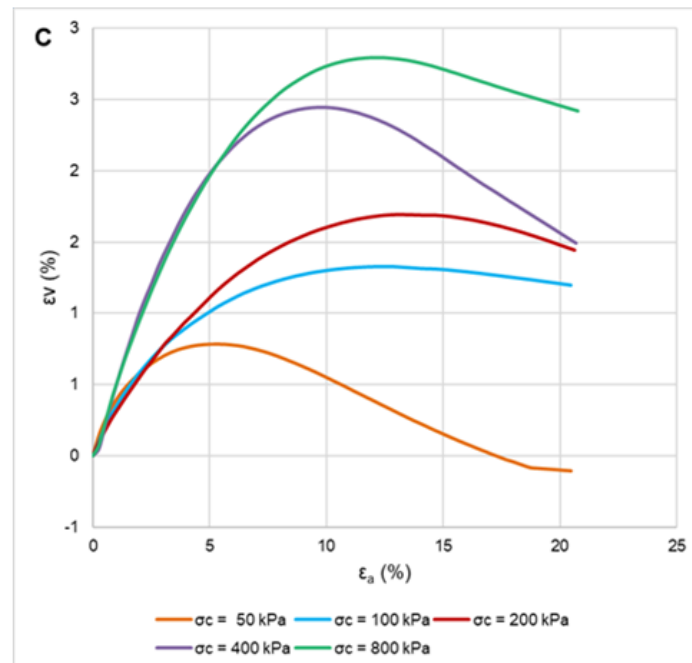
AI PDR 04 - Tensão desviadora x deformação axial



AI PDR 04 - Caminho de Tensões (p'xq)



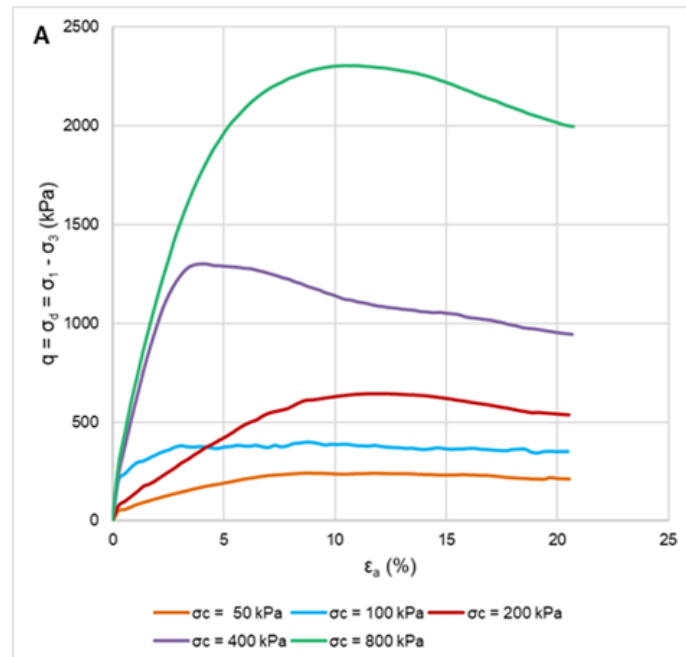
AI PDR 04 - Deformação volumétrica x deformação axial



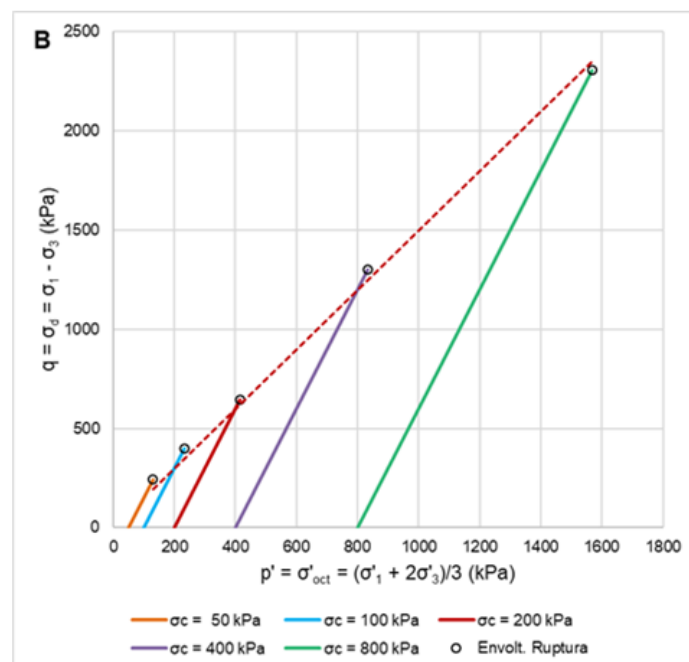
Fonte: Autora (2024)

Figura 82 – Gráficos CIDsat DE PDR 01

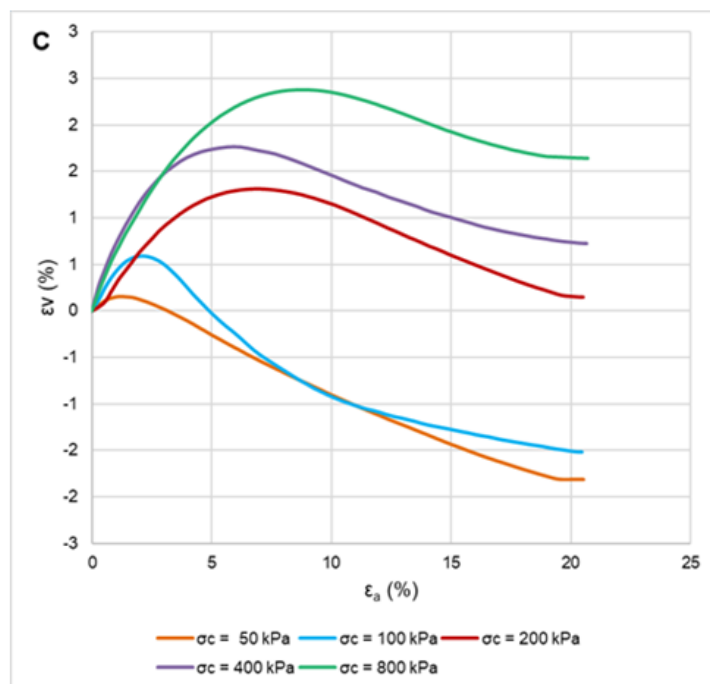
DE PDR 01 - Tensão desviadora x deformação axial



DE PDR 01 - Caminho de Tensões (p' x q)



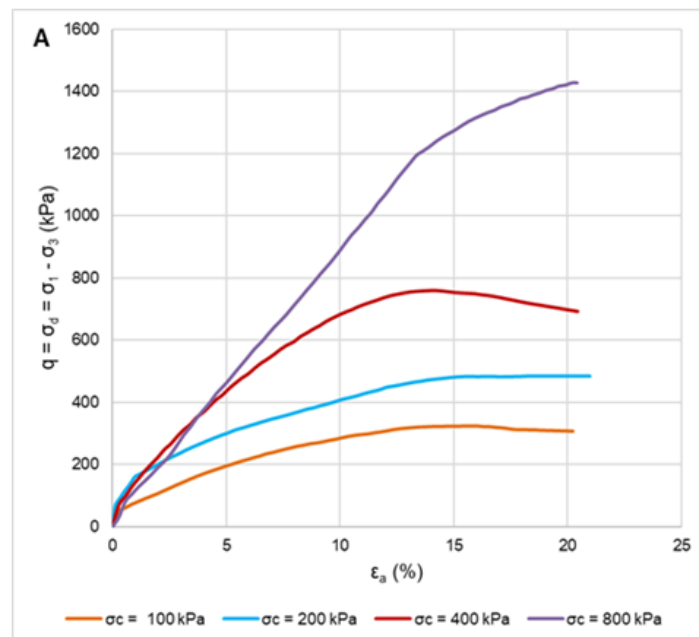
DE PDR 01 - Deformação volumétrica x deformação axial



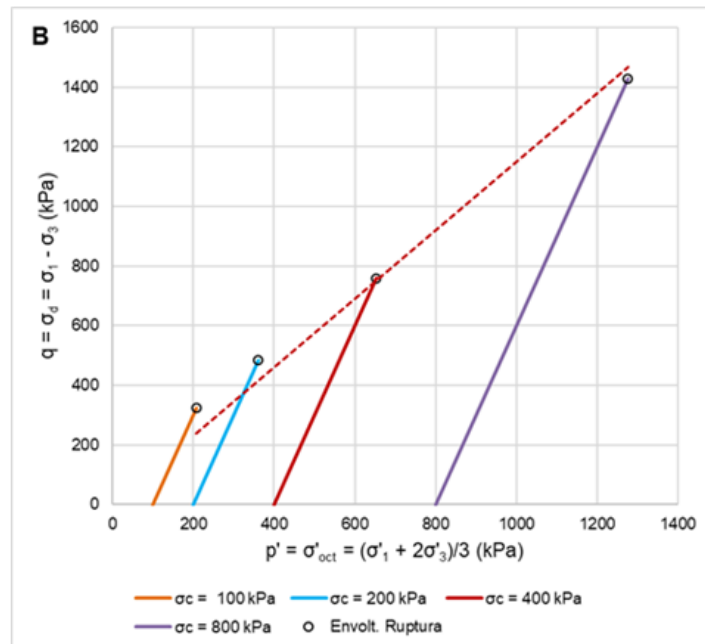
Fonte: Autora (2024)

Figura 83 – Gráficos CIDsat DE PDR 02

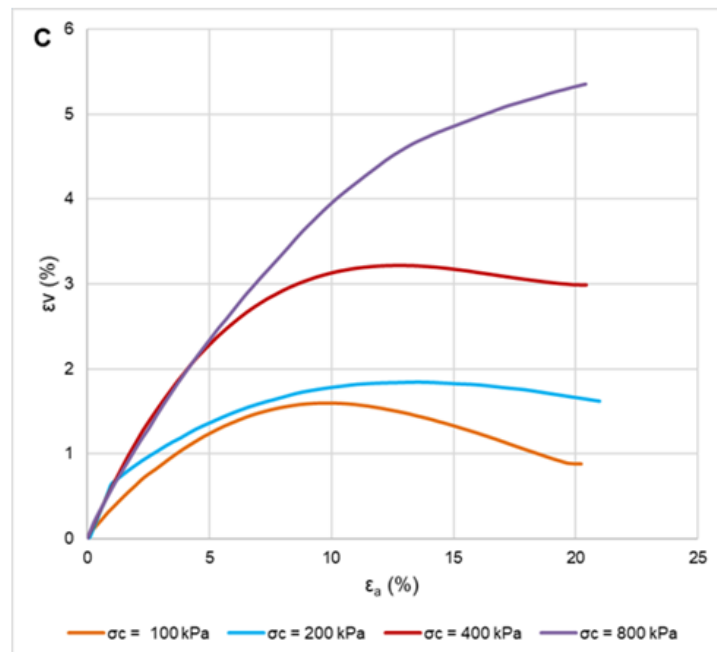
DE PDR 02 - Tensão desviadora x deformação axial



DE PDR 02 - Caminho de Tensões (p'xq)



DE PDR 02 - Deformação volumétrica x deformação axial

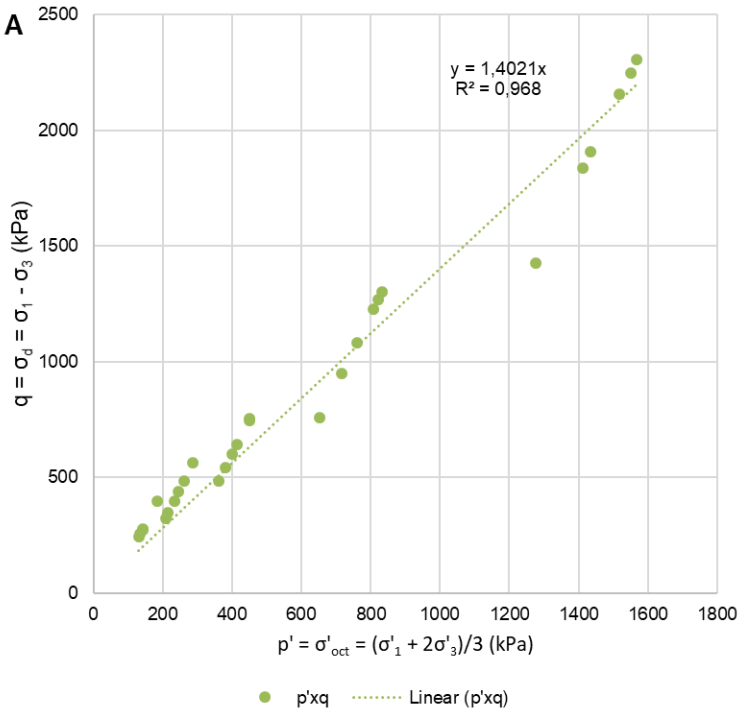


Fonte: Autora (2024)

Para tensões de até 100 KPa os gráficos de deformação volumétrica (ϵ_v) versus deformação axial (ϵ_a) exibem curvas com comportamento dilatante, indicando uma expansão durante o cisalhamento. A tensão de 100 KPa apresentou um comportamento instável, alternando entre contração e dilatação.

Para tensões superiores a 200 KPa, os corpos de prova mostraram um comportamento contrátil, indicando uma contração durante o cisalhamento. Isso é evidenciado no gráfico de deformação volumétrica (ϵ_v) versus deformação axial (ϵ_a). Em relação à definição dos parâmetros, realizamos uma regressão linear com base em todos os resultados. Isso foi feito para obter o melhor ajuste e determinar os parâmetros de resistência. Esses parâmetros são apresentados na Figura 84.

Figura 84 – Parâmetros obtidos nos ensaios CID a partir da regressão linear



Fonte: Autora (2024)

A Tabela 37 apresenta o resumo dos parâmetros de resistência encontrados nos ensaios triaxiais CID para o rejeito compactado.

Tabela 37 – Resumo dos parâmetros de resistência CID

Ensaio triaxial – CID					
Amostra	Parâmetros de resistência		Parâmetro não-drenado	Regressão linear	
	c' (KPa)	φ' (°)		c' (KPa)	φ' (°)
AI PDR 01	0	36,32	0,31	0	34,63
AI PDR 02	0	33,23	0,47	0	34,63

(continua)

Amostra	Parâmetros de resistência		Parâmetro não-drenado	Regressão linear	
	c' (KPa)	ϕ' (°)		c' (KPa)	ϕ' (°)
AI PDR 03	0	33,49	0,47	0	34,63
AI PDR 04	0	36,71	0,28	0	34,63
DE PDR 01	-	36,82	-	0	34,63
DE PDR 02	0	28,82	0,43	0	94,63

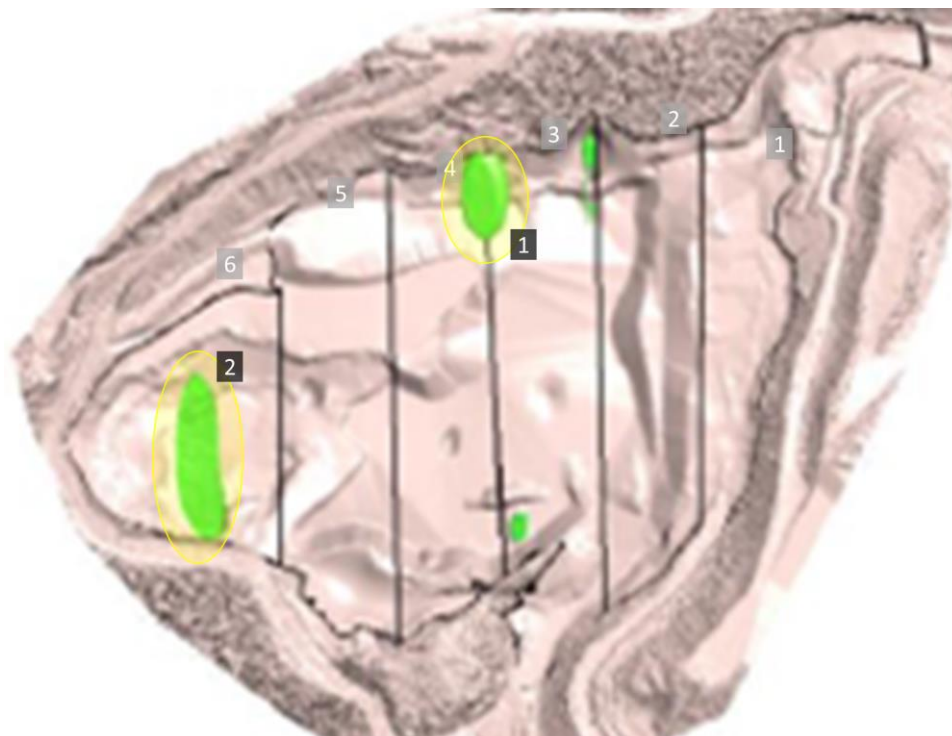
Fonte: Autora (2024)

4.4 Classificação e análise conjunta dos dados

4.4.1 Integração dos dados

Após a análise de todos os dados, ressalta-se a necessidade de avaliar pontos específicos para a integração dos dados. Na modelagem, a partir da integração das investigações, foi identificado regiões que sugerem um material classificado como pouco compacto, com o valor de NSPT variando entre 5 e 8, a uma profundidade aproximada de 10 metros para a região 1 e de 5 metros para a região 2, conforme indicado na Figura 85.

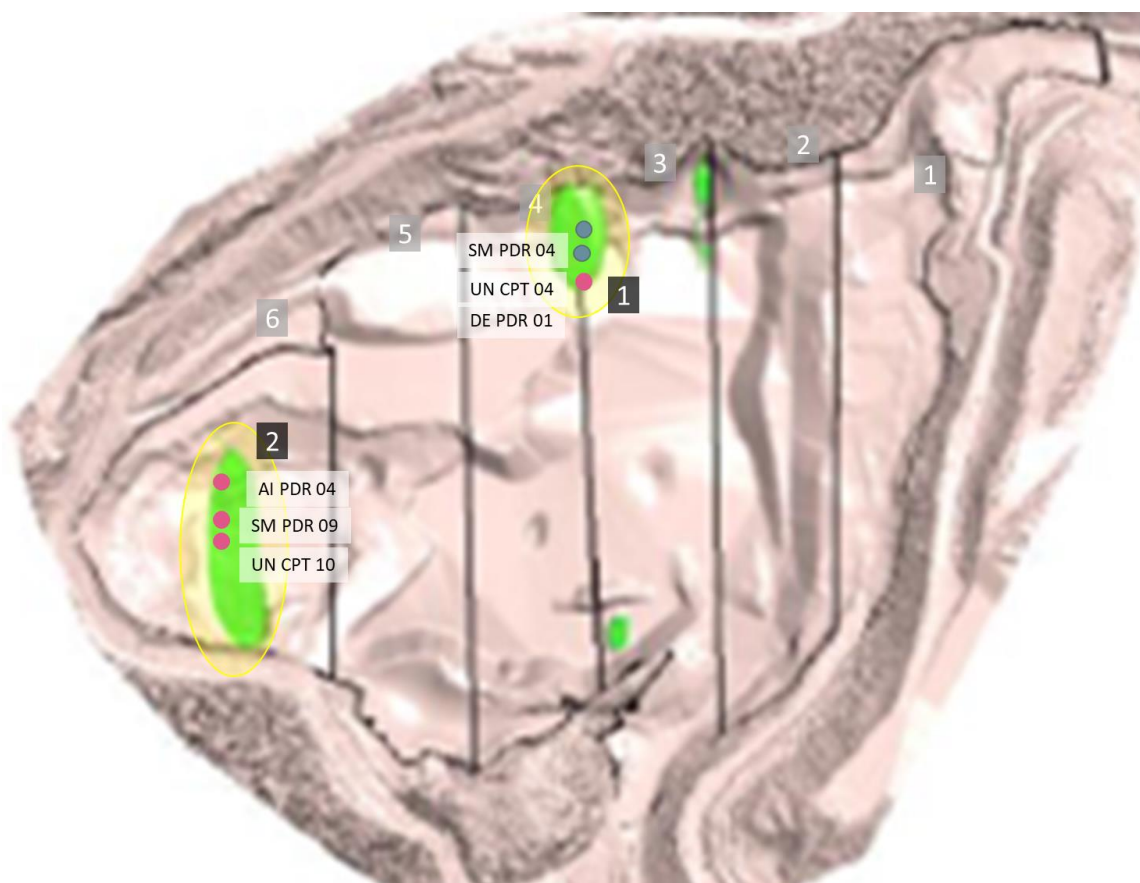
Figura 85 – Parâmetros obtidos nos ensaios CID a partir da regressão linear



Fonte: Autora (2024)

Quando locado as investigações realizadas, para as duas regiões indicadas têm-se o SM PDR 04, UN CPT 04 e DE PDR 01 (região 1) e o AI PDR 04, SM PDR 09 e o UN CPT 10 (região 2), conforme Figura 86.

Figura 86 – Parâmetros obtidos nos ensaios CID a partir da regressão linear

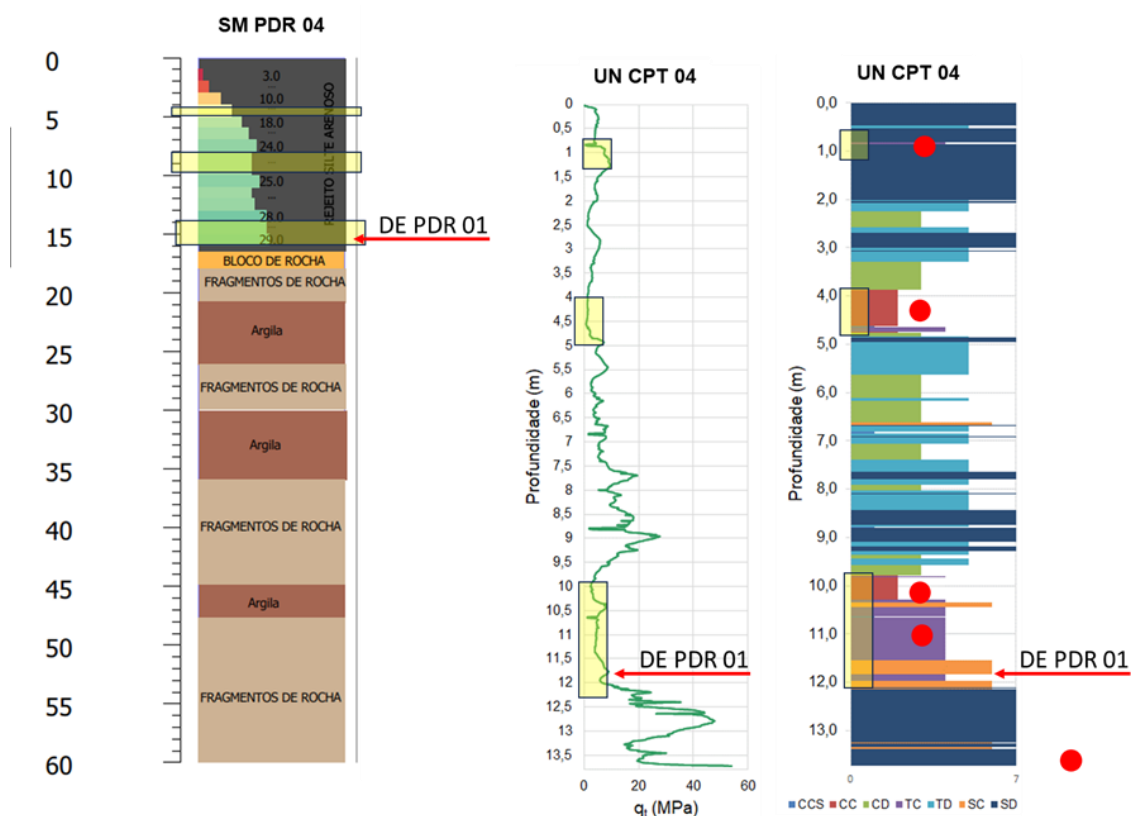


Fonte: Autora (2024)

Referente à região 1, a Figura 87 apresenta o LOG de sondagem do furo SM PDR 04. Além disso, a localização do UN CPT 04 é indicada na cota em que foi realizado, utilizando a cota da sondagem como referência.

Uma seta em vermelho indica o ponto em que a amostra denison foi retirada. E o círculo em vermelho indica os pontos de ensaio HILF coletados que incorporarão a análise das informações.

Figura 87 – Parâmetros obtidos nos ensaios CID a partir da regressão linear



Fonte: Autora (2024)

A sondagem mista SM PDR 04 foi executada 8 meses depois da execução do CPTu UN CPT 04. O furo SM PDR 04 apresenta uma média de NSPT de 19,60, o que indicaria que o material se comporta de maneira compacta. Já o CPTu, a resistência de ponta apresenta seus valores menores que 20, a maior parte menor que 10 e alguns pontos mais específicos que encontram-se menores que 5.

Nos pontos identificados por um retângulo amarelo, segundo a classificação de Robertson (2016) o material apresentou-se, aproximadamente na profundidade de 1 metro como TC, entre 4 e 5 metros como CC e entre 10 e 12 metros como CC, SC e TC. Todas essas camadas são observadas pontualmente dentro de todo o perfil analisado.

Nessas camadas, a sondagem indicou na profundidade de 1 metro NSPT de 14, entre a camada de 4 e 5 valor de 22 e entre a camada de 10 e 12 os valores de 28, 28 e 29 respectivamente. Dessa maneira vê-se a necessidade de avaliação dos demais dados disponíveis para entendimento. A amostra DE PDR

01 foi retirada entre a profundidade de 11 e 12 metros, com valores que indicavam a possibilidade de material contrátil. Essa região, conforme identificado no LOG de sondagem, trata-se da transição do rejeito para a fundação, com a presença de blocos de rocha.

Tal fato dificultou a retirada de amostra, e devido à quantidade de material, não foi possível executar ensaios CIU. O descrito neste parágrafo é evidenciado na caracterização por granulometria desse material, que apresentou classificação de Silte areno pedregulhoso, tendo 19% de porcentagem de pedregulho.

Para o ensaio executado tipo CID sat, para esta amostra, as tensões de confinamento aplicadas aos corpos de prova foram: 50, 100 KPa, 200 KPa, 400 KPa e 800 KPa. Através da Tabela 38 de resumo dos principais dados é possível verificar que a saturação do material encontra-se em 92,9 quando submetido a 800 KPa de tensão e chegou a 108,4% quando submetido a 100 KPa de tensão.

Tabela 38 – Resumo dos principais dados do ensaio DE PDR 01

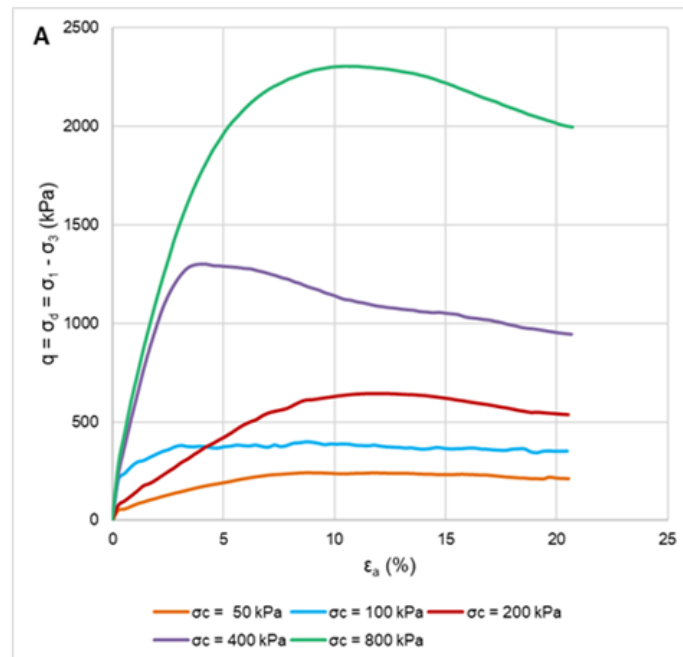
σ_3 (KPa)	$\gamma_{d,0}$ (g/cm ³)	w ₀ (%)	e ₀	e _f	S ₀ (%)	B
50	2,60	13,35	0,513	0,521	102,4	0,963
100	2,70	12,60	0,457	0,465	108,4	0,957
200	2,49	14,70	0,582	0,551	99,4	0,961
400	2,72	11,79	0,448	0,394	103,7	0,953
800	2,68	11,04	0,467	0,385	92,9	0,952

Fonte: Autora (2024)

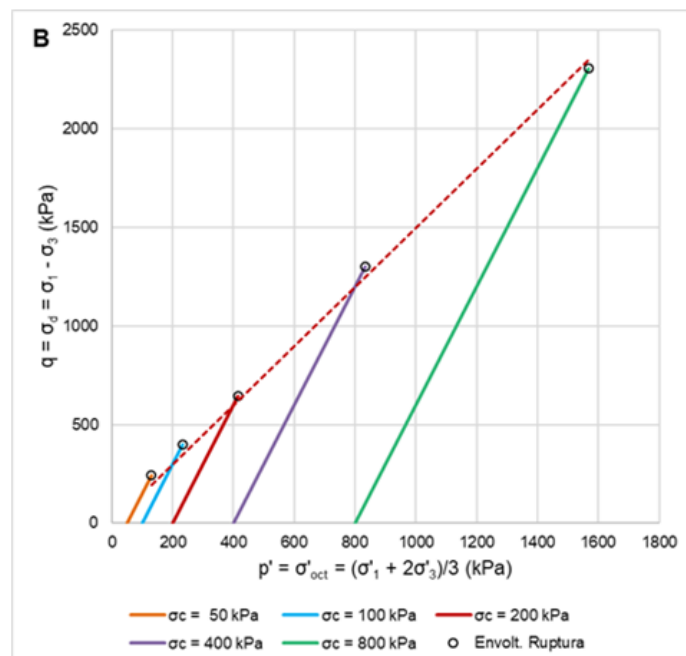
Os gráficos constam na Figura 88.

Figura 88 – Gráficos CID DE PDR 01

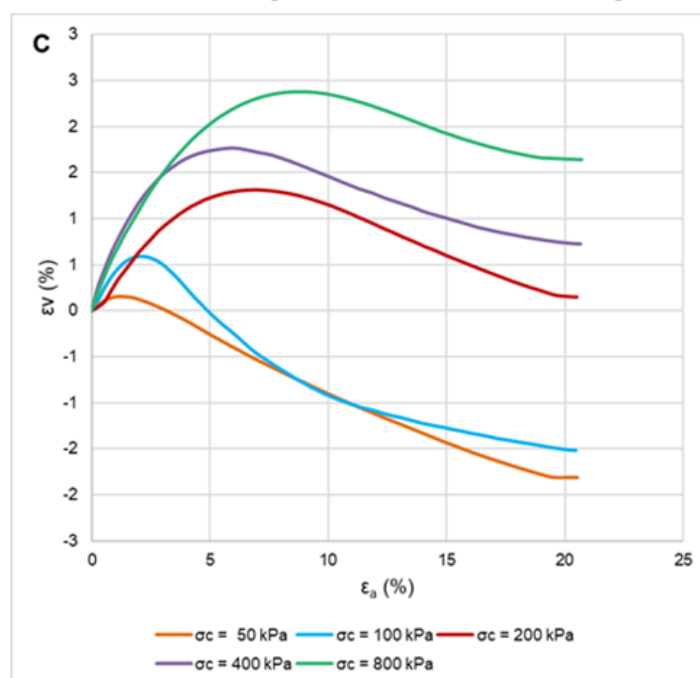
DE PDR 01 - Tensão desviadora x deformação axial



DE PDR 01 - Caminho de Tensões (p' x q)



DE PDR 01 - Deformação volumétrica x deformação axial



Fonte: Autora (2024)

A tensão de 100 KPa apresentou um comportamento instável, alternando entre contração e dilatação. Sobre o ponto de saturação, é importante a comparação com o ensaio HILF executado na região. No ponto indicado a 1 metro de profundidade, o ensaio HILF indicou um desvio de umidade de 1,8, 2,5 e 2,5, respectivamente, o que indica a necessidade de reprovação da camada.

Tendo o teor de umidade alcançando o valor de 15,2%, inevitavelmente o grau de compactação esteve em topo, meio e base com valores de 96,90, 95,90 e 95,10% respectivamente. Essa camada foi reprovada, havendo a necessidade de cumprimento do ciclo operacional e quando retestada para continuação do empilhamento apresentou um desvio de umidade de 1,6, 2,0 e 2,0 para os pontos de topo, meio e base amostrada e grau de compactação de 99, 98,5 e 98% respectivamente.

Apesar de grau de compactação e desvios de umidade dentro do delimitado na diretriz vigente, vê-se a influência da umidade no comportamento do material. Para as três áreas em amarelo verificadas no método HILF, os valores de umidade encontravam-se com valores nessa proporção, como mostra a Tabela 39.

Tabela 39 – Resultados dos pontos pelo método HILF

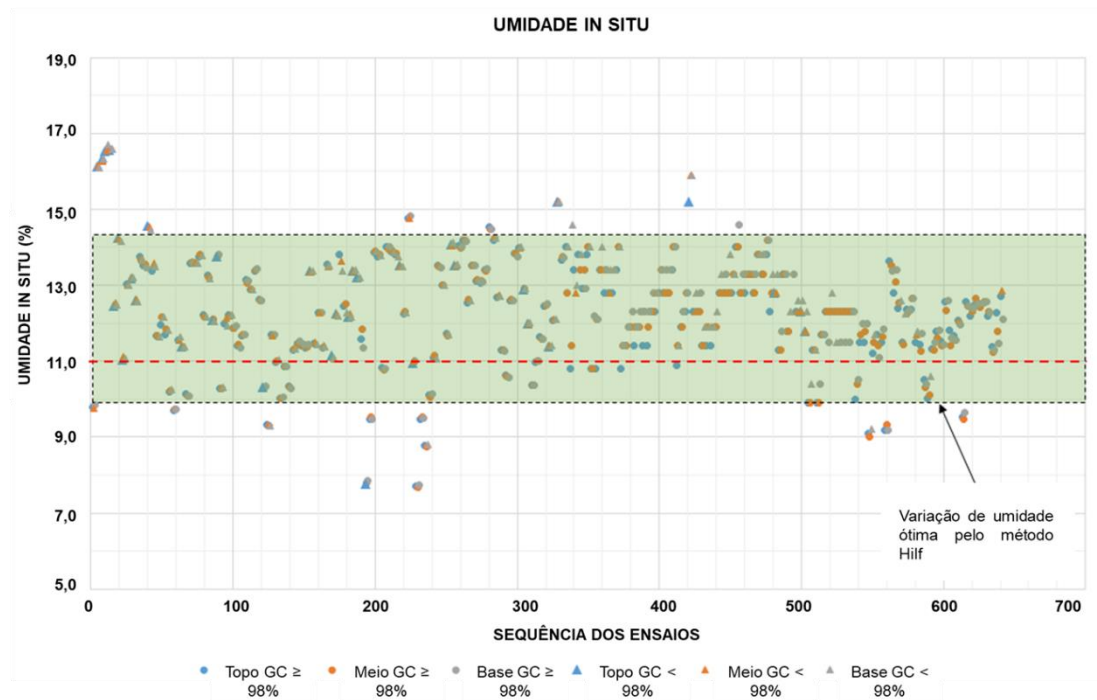
Ponto		Topo	Meio	Base
01 (1 metro)	GC%	99,00%	98,50%	98,00%
	Desvio de umidade	1,6	2,0	2,0
02 (4 metros)	GC%	99,00%	97,60%	96,00%
	Desvio de umidade	2,0	2,0	2,0
03 (10 metros)	GC%	98,60%	97,20%	96,50%
	Desvio de umidade	2,0	2,0	2,0
04 (11 metros)	GC%	96,50%	95,90%	95,00%
	Desvio de umidade	2,0	2,0	2,0

Fonte: Autora (2024)

As amostras HILF coletadas em 4, 10 e 11 metros seguiam a primeira diretriz de empilhamento e o ponto 01, há 1 metro seguia a segunda diretriz de empilhamento. Por mais que a sondagem mista aponte valores indicando que o material se comporte de maneira compacta, a umidade tem uma importância muito grande quando é avaliado o comportamento do material, e se este se encontra dentro do range dilatante ou contrátil.

No Item 4.1.3 é verificado os dados quanto ao controle tecnológico em que indica que, quando as amostras se encontram excedendo 14% ou menor que 10% as amostras tendem a ter valores de graus de compactação menores que 98%. Conforme Figura 89.

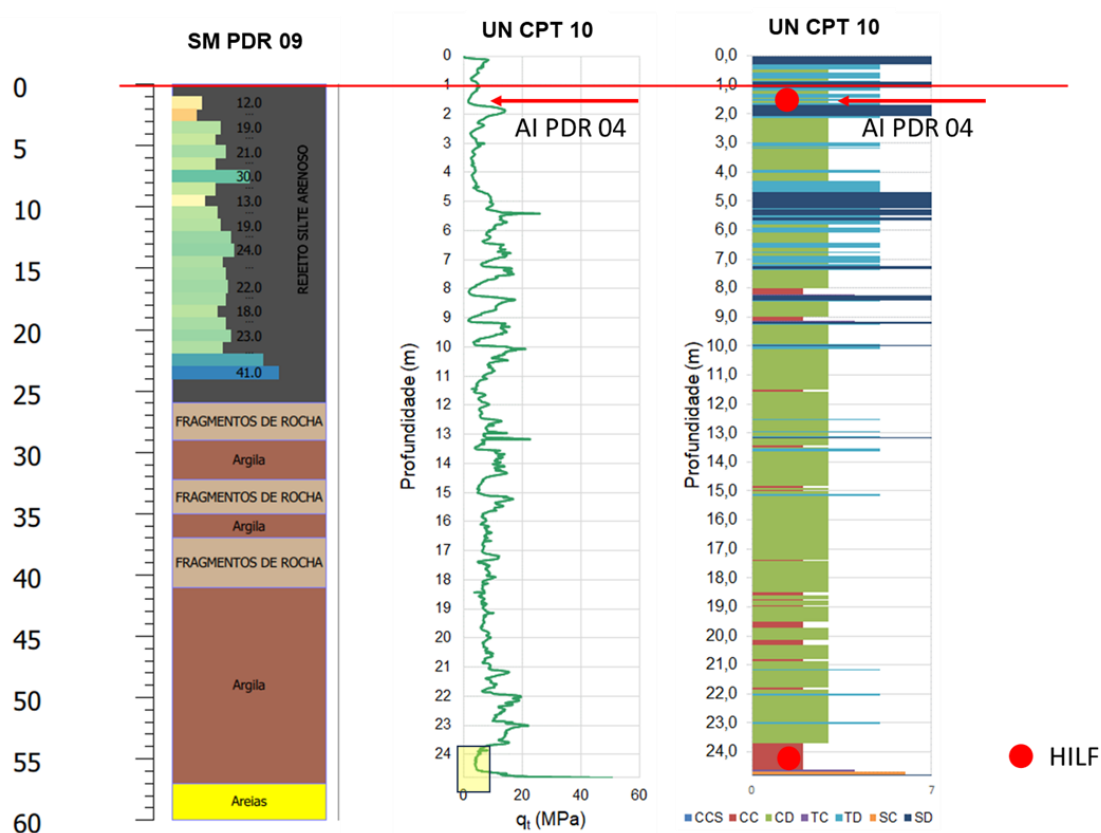
Figura 89 – Gráficos Umidade in situ versus sequência de ensaios



Fonte: Autora (2024)

Referente à região 2, a Figura 91 apresenta o LOG de sondagem do furo SM PDR 09. Além disso, a localização do UN CPT 10 é indicada na cota em que foi realizado, utilizando esta cota como referência para a sondagem. Uma seta em vermelho indica o ponto em que a amostra indeformada foi retirada. E o círculo em vermelho indica os pontos de ensaio HILF coletados que incorporarão a análise das informações.

Figura 90 – Gráficos de sondagem mista SM PDR 09 e ensaio de penetração de cone UN CPT 10



Fonte: Autora (2024)

O ensaio de *Cone Penetration* foi executado 2 meses depois da execução da sondagem mista SM PDR 09. O furo de sondagem apresenta uma média de NSPT de 20,95, o que indicaria que o material se comporta de maneira compacta. O perfil desse furo se apresenta mais uniforme no que diz respeito aos valores de NSPT. Já o CPTu, a resistência de ponta apresenta valores variáveis entre 5 e 10 metros, valores menores que 7 MPa entre 0 e 5 metros e menores variações, mas com valores de resistência de ponta próximos de 10 MPa a partir de 10 metros.

No ponto identificado por um retângulo amarelo, segundo a classificação de Robertson(2016) o material apresentou-se, aproximadamente na profundidade de 24 metro como CC. Em outros pontos muito específicos entre 8 e 15 metros é possível verificar alguns centímetros de interpretação como CC.

Esses pontos específicos, que são centímetros dentro do perfil, são os pontos em que houve resistência de ponta menores que 5 MPa.

A amostra AI PDR 01 foi retirada entre a profundidade de 1,5 e 2 metros, com valores que indicavam um material com comportamento dilatante. Para essa amostra foram executados ensaios de caracterização e triaxiais. A granulometria desse material indica um material Silte areno argiloso. Os ensaios triaxiais iniciam-se pelo ensaio CIU com as tensões de confinamento utilizadas foram as seguintes: 50 KPa, 100 KPa, 200 KPa, 400 KPa e 800 KPa. Consta na Tabela 40 o resumo das informações.

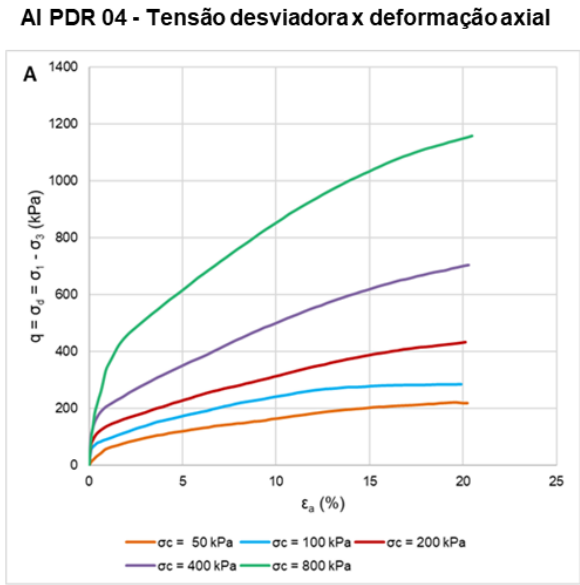
Tabela 40 – Resumo dos dados dos ensaios na amostra AI PDR 04

σ_3 (KPa)	$\gamma_{d,0}$ (g/cm ³)	w ₀ (%)	e ₀	e _f	S ₀ (%)	B
50	2,45	13,29	0,572	0,558	89,9	0,96
100	2,48	13,50	0,555	0,519	94,1	0,98
200	2,44	13,51	0,586	0,525	89,7	0,96
400	2,48	13,84	0,556	0,491	96,3	0,98
800	2,50	12,76	0,541	0,446	91,1	0,97

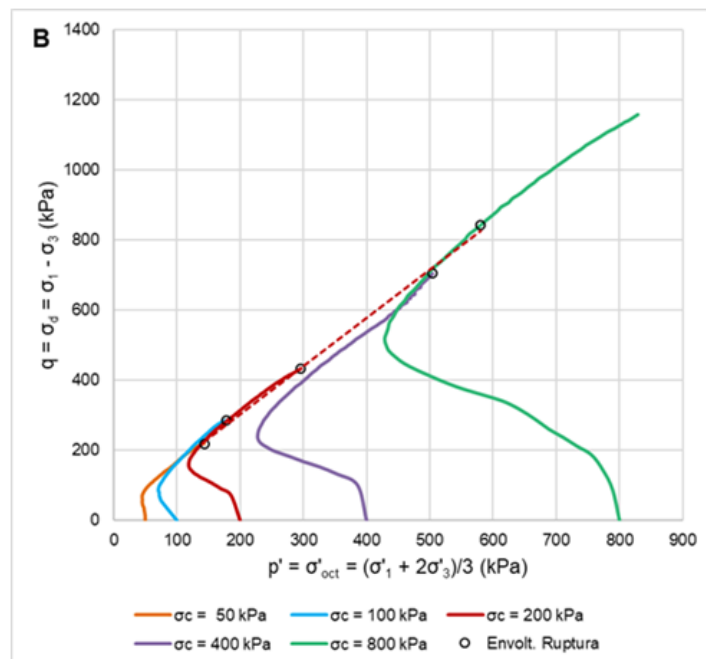
Fonte: Autora (2024)

A Figura 91 mostra os gráficos dessa amostra.

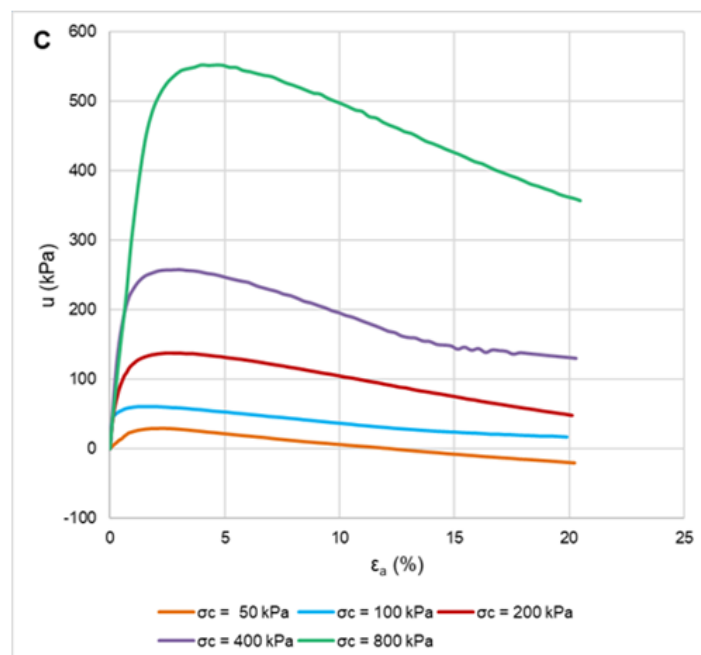
Figura 91 – Gráficos CIU da amostra AI PDR 04



AI PDR 04 - Caminho de Tensões (p' x q)



AI PDR 04 - Poropressões x deformação axial



Fonte: Autora (2024)

Para tensões de até 200 kPa, que são consideradas baixas, os gráficos p' - q geralmente exibem curvas com comportamento dilatante. Isso ocorre sem a geração de poropressão ou com a geração de poropressão que é totalmente dissipada.

No entanto, a tensão de 200KPa apresentou um comportamento instável, alternando entre contração e dilatação. Para tensões superiores a 200KPa, os corpos de prova mostraram um comportamento contrátil e o excesso de poropressão gerado não foi completamente dissipado

Para o ensaio executado tipo CID sat, para esta amostra, as tensões de confinamento aplicadas aos corpos de prova foram: 50KPa, 100KPa, 200KPa, 400KPa e 800KPa. Através da Tabela 39 de resumo dos principais dados é possível verificar que a saturação do material encontra-se em 81,0 quando submetido a 400KPa de tensão e chegou a 91,8% quando submetido a 50KPa de tensão.

Diferentemente da primeira região avaliada, os valores de saturação da segunda região encontram-se em proporções menores, o que evidencia novamente a importância da umidade e saturação quando se é avaliado o comportamento do rejeito. A Tabela 41 mostra o resumo dos dados dos ensaios na amostra AI PDR 04.

Tabela 41 – Resumo dos dados dos ensaios na amostra AI PDR 04

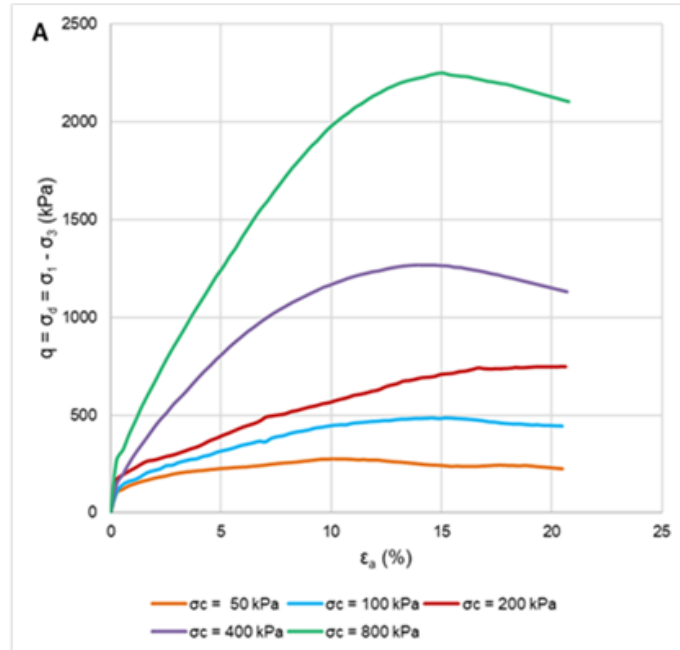
σ_3 (KPa)	$\gamma_{d,0}$ (g/cm ³)	w ₀ (%)	e ₀	e _f	S ₀ (%)	B
50	2,52	12,61	0,529	0,522	91,8	0,95
100	2,45	12,59	0,572	0,534	84,7	0,95
200	2,52	12,62	0,529	0,467	91,7	0,95
400	2,42	12,39	0,588	0,504	81,0	0,95
800	2,52	12,02	0,529	0,424	87,4	0,95

Fonte: Autora (2024)

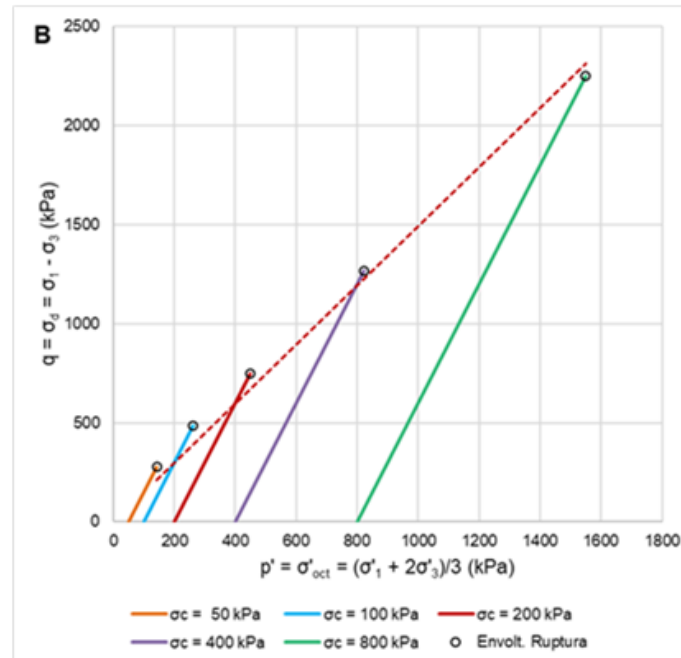
Os gráficos constam na Figura 92.

Figura 92 – Gráficos da amostra AI PDR 04

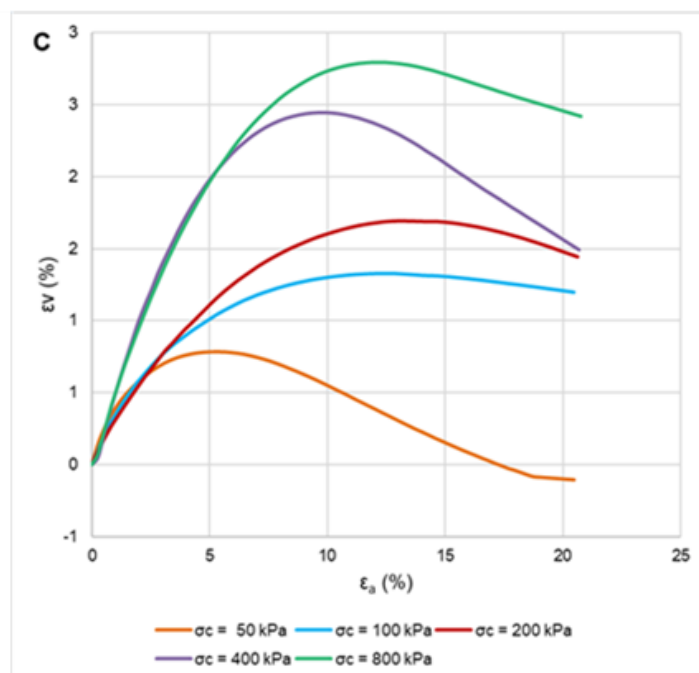
AI PDR 04 - Tensão desviadora x deformação axial



AI PDR 04 - Caminho de Tensões (p' x q)



AI PDR 04 - Deformação volumétrica x deformação axial



Fonte: Autora (2024)

Os gráficos referentes à esta tensão apresenta-se mais estável ao comparado com a primeira região. Sobre o ponto de saturação, é importante a comparação com o ensaio HILF executado na região. No ponto indicado a 1 metro de profundidade, o ensaio HILF indicou um desvio de umidade de -0,5, 0 e 1, respectivamente, o que indica que a camada, em relação à umidade encontra-se aprovada.

Tendo o teor de umidade alcançado o valor de 12,0%. O grau de compactação esteve em topo, meio e base com valores de 99,90, 99,40 e 98,90% respectivamente. Para a área em amarelo verificadas no método HILF, os valores de umidade encontravam-se com valores apresentados na Tabela 42.

Tabela 42 – Resultados de umidade e grau de compactação no ponto analisado

Ponto		Topo	Meio	Base
01 (24 metro)	GC%	98,30%	96,90%	95,10%
	Desvio de umidade	1,0	1,2	2,0

Fonte: Autora (2024)

As amostras HILF coletadas em 24,00 metros seguiam a primeira diretriz de empilhamento. Os valores de saturação das amostras quando submetidos aos ensaios triaxiais e a umidade das amostras quando realizados os ensaios tipo HILF são fundamentais quando buscado entender o comportamento desses materiais.

5.0 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Neste capítulo conclusivo, são apresentadas as inferências extraídas dos resultados obtidos através dos ensaios realizados para este estudo de caso. Uma análise técnica detalhada dos dados de todas as investigações realizadas no empilhamento de rejeitos foi conduzida. Esta avaliação permitiu compreender a necessidade de integrar os dados para uma compreensão mais completa.

A análise das sondagens mistas revelou valores médios de NSPT superiores a 20. Os furos se apresentam de duas maneiras, de acordo com as diretrizes de empilhamento seguidas. A primeira diretriz mostra valores de NSPT com um desvio padrão que indica uma falta de uniformidade nos dados, com variações significativas de valores. No entanto, ao examinar as sondagens mistas realizadas nos setores da segunda diretriz, observa-se um valor de desvio padrão menor, indicando menores variações de NSPT e camadas de empilhamento mais uniformes.

A caracterização completa do material permitiu uma avaliação especial da curva granulométrica do rejeito, destacando a necessidade de um estudo mais aprofundado dos outros dados obtidos através dos ensaios realizados.

As investigações de penetração de cone (CPTu) refletem a mesma mudança de comportamento quando comparadas às duas diretrizes. Houve uma melhora significativa na porcentagem de classificação de SBTn descrita por Robertson (2016), sendo 14,72% quando o empilhamento seguia a primeira diretriz para 4,44% quando o empilhamento passou a seguir a segunda diretriz.

O histórico de controle tecnológico realizado através do método HILF permitiu entender a importância da umidade em todo o comprimento do empilhamento. Com esta avaliação, é possível verificar que quando as umidades são superiores a 15%, as camadas foram rejeitadas por não atingirem o grau de compactação mínimo de 98%. O desvio de umidade é um fator preponderante.

Portanto, ao avaliar e integrar os dados, observou-se que os pontos em que os ensaios de CPTu se classificavam como contráteis eram os pontos em que o desvio de umidade dos ensaios indicava o valor de 2. Um ponto importante para futuros estudos é a diminuição do desvio de umidade, para que este ponto levantado seja verificado.

A modelagem 3D da estrutura foi o ponto chave para a visualização ampla do empilhamento, possibilitando a avaliação de áreas identificadas como frágeis, que se comportavam como pouco compactas. Essa área foi exatamente a área em que os dados foram integrados e as informações analisadas conjuntamente. Sugere-se para estudos futuros a comparação dos ensaios nas outras áreas avaliadas, para a verificação das informações tratadas.

Os ensaios triaxiais realizados possibilitaram o entendimento de que as amostras indeformadas retiradas apresentam seus gráficos de CIU e CID conforme esperado. Quando submetido a baixas tensões, observa-se a tendência de comportamento dilatante, tendendo para uma curva contrátil, mas quando há uma contínua aplicação tensões maiores, o material volta a se comportar de maneira dilatante.

Assim, foram identificadas as diretrizes de empilhamento executadas neste estudo de caso, analisados os resultados de campo e laboratório realizados na pilha deste material existente, verificado o comportamento do material a partir das metodologias de avaliação de susceptibilidade à liquefação e associadas as investigações a partir dos pontos de coleta.

Após o cumprimento dos objetivos, pode-se afirmar que as condições de empilhamento, determinadas por meio dos parâmetros das diretrizes operacionais, influenciam na suscetibilidade à liquefação do material.

A altura da camada do aterro, o equipamento utilizado para cada etapa da operação e as características do material influenciam diretamente nos resultados dos ensaios de campo e laboratório realizados.

A primeira diretriz, em que se aplicou uma altura de camada de 80 cm e um trator de esteira como equipamento de compactação, apresentou resultados não uniformes de compactação e resistência de ponta na espessura do aterro, comparado com a segunda diretriz, em que foi utilizada uma altura de camada de 60 cm e um rolo compactador como equipamento específico de compactação.

Tais resultados possibilitam a verificação da eficiência dessas diretrizes, em termos de comportamento dilatante, bem como o mapeamento de zonas frágeis para cada metodologia utilizada através da modelagem da estrutura com a integração dos dados.

Por fim, mesmo em se tratando do mesmo material, as diretrizes são únicas em função das condições de contorno da pilha. Pode-se dizer que é impossível que duas estruturas com o mesmo rejeito tenham uma única diretriz operacional, pois estarão em locais distintos e, portanto, terão condições de contorno distintas. Tal fato reforça a individualidade de cada estrutura e a real necessidade de estudá-las e estabelecer critérios individuais e não replicáveis.

Para estudos futuros, recomenda-se a aplicação de diferentes metodologias para avaliar o comportamento do rejeito. Posteriormente, deve-se realizar uma comparação direta entre o índice de vazios e o comportamento do material. Com base nesses dados, é possível determinar a curva do estado crítico e definir a altura máxima de empilhamento segura, evitando o risco de liquefação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13028:** Mineração – Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e/ou reservação de água - Requisitos. Rio de Janeiro, 2017a. 16p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13029:** Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril, em pilha, em mineração. Rio de Janeiro, 2017b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12102:** Solo — Controle de compactação pelo método de Hilf. Rio de Janeiro, 2020. 21p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6458:** Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9813:** Solo — Determinação da massa específica aparente in situ, com emprego de cilindro de cravação. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16840:** Solo — Determinação do índice de vazios máximo de solos não coesivos. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16843:** Solo — Determinação do índice de vazios mínimo de solos não coesivos. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6459:** Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7180:** Solo — Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7181:** Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7182:** Solo — Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9604:** Solo — Abertura de poço ou trincheira de inspeção, com retirada de amostras deformadas e indeformadas — Procedimento. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16853:** Solo — Ensaio de adensamento unidimensional. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13292**: Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14545**: Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6484**: Solo — Sondagem de simples reconhecimento com SPT — Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12069**: Solo - Ensaio de penetração de cone in situ (CPT) - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM D3080_D3080M-23**: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. American Society, 2023.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM D7181-20**: Standard Test Method for Consolidated Drained Triaxial Compression Test for Soils. American Society, 2020.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM D4767-11R20**: Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils. American Society, 2020.

AGBOOLA, O., BABATUNDE, D. E., FAYOMI, O. S. I., et al (2020): **A review on the impact of mining operation: Monitoring, assessment and management**. Results in Engineering. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2020.100181>.

ALKMIM, F.F. & Marshak, S. (1998): **Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero**. Precambrian Research. v. 90. p. 29-58.

ALMEIDA, F.F.M. (1977): **O Cráton do São Francisco**. Ver. Bras. Geoc. v. 7. p. 349-364.

ATKINSON, J. H. E BRANSBY (1978): **An Introduction to Critical State Soil Mechanics**. U. K

BOCCAMINO, G. D. (2017). **Desenvolvimento de geometria para empilhamento de rejeitos desaguados de minério de ferro - Estudo de caso para os rejeitos gerados na Instalação de Tratamento de Minérios Itabiríticos (ITM-I) em operação na Mina do Pico**. Curso de Pós-graduação em Geotecnia. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). **Resolução nº 95, de 7 de fevereiro de 2022**. Dispõe sobre segurança de barragens de mineração. Disponível

em:

<<https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=16/02/2022&jornal=515&pagina=49>>. Acesso em 02 de jun. 2022.

Casagrande, A. (1975). **Liquefaction and cyclic deformation of sands: A critical review**. In Proceedings of the Fifth Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. pp. 79–133.

CHAVES, L. R. DA (2023). **Tailings dry stacking: retroanalysis of an experimental stack**. 2023.Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2023.

CONSOLI, N. C., VOGT, J. C. AND SILVA, J. P. S et al (2022a): **Behaviour of Compacted Filtered Iron Ore Tailings–Portland Cement Blends: New Brazilian Trend for Tailings Disposal by Stacking**. Appl Sci 12:836. <https://doi.org/10.3390/app12020836>.

CONSOLI, N. C., SILVA, J. P. S., WAGNER, A. C. et al (2023a): **Critical state analysis of two compacted filtered iron ore tailings with different gradings and mineralogy at different stages of treatment**. <https://doi.org/10.1007/s11440-023-01963-9>.

CONSOLI, N. C., SILVA, J. P. S., DELGADO, B. G. et al (2023b): **Dry stacking of iron ore tailings: possible particle breakage during compaction**. <https://doi.org/10.1680/jgeen.22.00216>.

CONSOLI, N. C., SILVA, J. P. S., WAGNER, A. C. et al (2023c): **Evaluation of Strength Parameters for Application in Cemented Iron Ore Tailings Stacks**. <https://doi.org/10.1007/s40098-023-00712-9>

CONSOLI, N. C., SILVA, J. P. S., WAGNER, A. C. et al (2022b): **Mechanical behavior of iron ore tailings under standard compression and extension triaxial stress paths**. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2022.11.013>

CONSOLI, N. C., SILVA, J. P. S., BASTOS, C. et al (2022c): **Mechanical response of filtered and compacted iron ore tailings with different cementing agents: Focus on tailings-binder mixtures disposal by stacking**. Construction and Building Materials. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128770>.

CONSOLI, N. C., MARQUES, S. F. V., FILHO, C. S. H. et al (2023d): **Response of Artificially Cemented Iron Ore Tailings for Dry Stacking Disposal over a Wide Range of Stresses**. <https://doi.org/10.1007/s40098-023-00711-w>

CRYSTAL, C., CALDWELL, J. A. (2015): **Filter-pressed tailings facility design, construction, and operating guidelines**. <https://doi.org/10.14288/1.0320844>

CRYSTAL, C., HORE, C., AND EZAMA, I. (2018): **Filter-pressed dry stacking: design considerations based on practical experience**. In: Proceedings of Tailings and Mine Waste.

DANIEL, D.E. (1983). **Geotechnical practice for waste disposal**. Springer New York, NY, 683 p.

DAVIES, M. (2011). **Filtered Dry Stacked Tailings – The Fundamentals. Proceedings Tailings and Mine Waste**. Doi: <https://doi.org/10.14288/1.0107683>.

DORR, J.V.N. (1969): **Physiographic stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil**. Washington, DNPM/USGS/ 109p.

FEAR, C.E., and Robertson, P.K. (1995): **Estimating the undrained strength of sand: a theoretical framework**. Canadian Geotechnical Journal. doi:10.1139/t95-082

FIGUEIREDO, J. R., COELHO, D., RAMOS, C., SOARES, M., AND FONSECA, A. V. (2016): **Avaliação da Variabilidade da Linha de Estados Críticos de Rejeitos de Minério de Ouro em Distintas Fases de Disposição e Preparadas em Laboratório**. XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Belo Horizonte, Minas Gerais.

FONSECA, A. V., CORDEIRO, D., MOLINA-GÓMES, F., BESENZON, D., FONSECA, A., AND FERREIRA, C. (2022): **The mechanics of iron tailings from laboratory tests on reconstituted samples collected in post-mortem Dam I in Brumadinho**. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 45 (2).

GOMES, M.A. (2009a). **Caracterização tecnológica no aproveitamento do rejeito de minério de ferro**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil. 220 p.

GOMES, M.F.M. (2009b). **Metodologia de análise hierárquica aplicada para escolha do sistema de disposição de subproduto da mineração com ênfase nos rejeitos de minério de ferro**. Dissertação de Mestrado, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil. 193 p.

GUIMARÃES, N. C. (2011). **Filtragem de rejeitos de minério de ferro visando sua disposição em pilhas**. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais.

IBRAM – MINERAÇÃO DO BRASIL. (2024): **Mineração em números**. Acesso em <https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2024/02/mineracao-em-numero-2023.pdf>.

Ishihara, K. (1985): **Stability of natural deposits during earthquakes**. In **Proceedings of the 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering**. pp. 321–376.

JUNIOR, M.P.S. (2021). **Avaliação da Susceptibilidade à Liquefação de um Rejeito Silto-Arenoso com Base em Ensaio CPTu**. Dissertação de Mestrado, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil. 109 p.

KLOHN CRIPPEN BERGER (2017). **Study of Tailings Management Technologies**, MEND report 2.50.1

LAGE, E. R. (2001). **Utilização de método de corte e enchimento no fechamento de uma mina à céu aberto: proposta de metodologia para o caso da mina de Alegria 3, 4 e 5 da Samarco Mineração S/A**. Ouro Preto: Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto.

LARA, A. F. M. de. (2011). **Espessamento e transporte de pasta mineral**. Universidade Federal de Minas Gerais –Departamento de Engenharia de Minas, Belo Horizonte – Minas Gerais. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-9C6GGR>>. Acesso em: 20 de mar. 2023.

Large Dozers D10. CATERPILLAR, 2023. Disponível em: https://www.cat.com/en_US/products/new/equipment/dozers/largedozers/115080.html. Acesso: 01, setembro de 2023

LIMA, R, M, F. (2007): **Ouro Preto: Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mineral**. Disciplina de Caracterização Mineralógica e Tecnológica de Minérios da Universidade Federal de Ouro Preto. Notas de aula.

LUPO, J. AND HALL, J. (2010). **Dry stack tailings – design considerations. Proceedings Tailings and Mine Waste**. Published by Francis & Taylor Group, London

MAGALHÃES, D. F. **Análise de estabilidade geotécnica de pilha de fosfogesso**. 2023. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá, 2023.

MACHADO, W.G.F. (2007). **Monitoramento de barragens de contenção de rejeitos da mineração**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 155 p.

MASSAD, F. (2010). **Obras de terra: Curso básico de geotecnia**. São Paulo, Brasil: Oficina de textos

MEND – Mine Environment Neutral Drainage Project (2017). MEND Report 2.50.1 **Study of Tailings Management Technologies**. Klohn Crippen Berger. The Mining Association of Canada (MAC), Canadá.

MENDES, M.B. (2008). **Comportamento geotécnico de uma barragem de rejeito de minério de ferro alteada para montante**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Estruturas e Geotécnica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 189 p.

MILONAS, J.G. (2006). **Análise do processo de reconstituição de amostras para caracterização do comportamento de barragens de rejeito de minério de ferro em aterro hidráulico**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 146 p.

NICHOLSON, P. G. (2015). **Soil Improvement and Ground Modification Methods.**, 1st ed. Massachusetts. Elsevier Inc.

OLIVEIRA-FILHO, W. L., AND ABRÃO, P. (2015): **Disposição de rejeitos de mineração. Geotecnia Ambiental.** Rio de Janeiro, Brasil: Elsevier.

OLSON, S.M. (2001): **Liquefaction Analysis of Level and Sloping Ground Using Field Case Histories and Penetration Resistance.**

OLSON, S.M., and Stark, T.D. (2003): **Yield strength ratio and liquefaction analysis of slopes and embankments.** Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. doi:10.1061/(ASCE)1090-0241(2003)129:8(727)

PICKENS, G.A. (1980). **Alternative Compaction Specifications for Non-uniform Fill Materials.** New Zealand Conferences on Geomechanics - 3rd Australia - New Zealand Conference on Geomechanics, v.1, pp. 1-231, 1-235.

PINTO, C.S. (1971). **Sobre as Especificações de Compactação dos Solos.** VII Seminário Nacional de Grandes Barragens, Proceedings, Rio de Janeiro, Brazil.

PORTES, A. M. C. (2013): **Avaliação da disposição de rejeitos de minério de ferro nas consistências polpa e torta.** Doi: <http://hdl.handle.net/1843/BUOS-9CPHGY>

ROBERTSON, P.K. (2010): **Evaluation of Flow Liquefaction and Liquefied Strength Using the Cone Penetration Test.** Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. doi:10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000286.

ROBERTSON, P.K. (2016): **Cone penetration test (CPT)-based soil behaviour type (SBT) classification system — An update.** Canadian Geotechnical Journal. doi:10.1139/cgj-2016-0044.

ROBERTSON, P.K. (2017): **Evaluation of flow liquefaction: influence of high stresses.** In Proceedings of the 3rd International Conference on Performance Based Design (PBD-III).

ROBERTSON, P. K., DE MELO, L., WILLIAMS, D. J., AND WARD WILSON, G. (2019): **Report of the expert panel on the technical causes of the failure of Feijão Dam I,** Disponível em: <<http://www.b1technicalinvestigation.com>> Acesso em 2 de jun. 2022.

Robertson, P.K., and Wride, C.E. (1998): **Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test.** Canadian Geotechnical Journal. doi:10.1139/t99-102.

Rolo Compactador Hamm 3411. AECweb, 2023. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/produto/rolo-compactador-hamm-3411/23765>. Acesso: 01, setembro de 2023

Rosenqvist, I.Th. (1953): **Considerations on the Sensitivity of Norwegian Quick-Clays**. Geotechnique, 3, 195-200. <http://dx.doi.org/10.1680/geot.1953.3.5.195>
Acesso: 10, janeiro de 2024.

RUSSO, F. M. **Comportamento de barragens de rejeito construídas por aterro hidráulico: caracterização laboratorial e simulação numérica do processo construtivo**. 2007. 98 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SANDRONI, S. S., & GUIDICINI, G. (2022): **Barragens de Terra e Enrocamentos**. São Paulo, Brasil: Oficina de Textos.

SILVA, G. (2023): **Desenvolvimento e aplicação de uma proposta metodológica de requisitos objetivos para a avaliação do plano de ação de emergência para barragens de mineração**. 20 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá, 2023.

SILVA, L. R. (2008): **Compactação do Solo**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) – Universidade São Francisco. Itatiba, São Paulo, Brasil.

Sladen, J.A., D'Hollander, R.D., and Krahn, J. (1985): **The liquefaction of sands, a collapse surface approach**. Canadian Geotechnical Journal. doi:<https://doi.org/10.1139/t85-076>.

SOARES, J.A.T. **Segurança de barragens a partir de controles operacionais estatísticos**. 2022. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá, 2022.

SOUZA, M. C. R. DE, OLIVEIRA, A. K. S., WAGNER, A. C. DE et al (2023): **Disposição de rejeito por empilhamento como alternativa para Barragens de montante: uma revisão de literatura**. <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.6.23.XII-019>.

SOUZA, L.A.E. **Avaliação geotécnica da estabilidade de uma barragem de rejeitos por métodos probabilísticos e determinísticos**. 2023. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá, 2022.

SOMASUNDARAN, P. (1980). **Principles of Flocculation, Dispersion, and Selective Flocculation**. In: SOMASUNDARAN, P. Fine particles processing, v. II, c.48, p.948

Terzaghi, K., Peck, R.B., and Mesri, G. (1996): Terzaghi, K. Peck R. - **Soil Mechanics in Engineering Practice**.

Tsuchida, H. (1970): **Prediction and countermeans against the liquefaction in sanddeposits**. «stract of the Seminar in the Port and Harbor Research Institute.

Turner RM, Davey J, Clarke MJ, Thompson SG, Higgins JP. (2012) **Predicting the extent of heterogeneity in meta-analysis, using empirical data from the Cochrane**

Database of Systematic Reviews. Int J Epidemiol. doi: 10.1093/ije/dys041. Epub 2012 Mar 29. PMID: 22461129; PMCID: PMC3396310.

United States Department of the Interior Bureau of Reclamation (1961): **U.S BUREAU OF RECLAMATION.** Disponível em: https://www.oregonencyclopedia.org/articles/u_s_bureau_of_reclamation/

VASCONCELOS, G. C. (2021). **Construção de Aterros Compactados com Rejeito de Mineração Filtrado.** Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil.

VASCONCELOS, F. (2008). **Workshop Cavas de Mina: uso para disposição de resíduos. Avaliação do impacto ambiental causado pela disposição de resíduos sólidos em cavas.** Golder Associates.

WILLIAMS, R. Z., AND O'BRIEN, S. (2017): **Filtered tailings adds value in cost competitive industries.** Proceedings of the 20th International Seminar on Paste and Thickened Tailings, University of Science and Technology Beijing.

WOLFF, A. P. (2009). **Caracterização de rejeitos de minério de ferro de minas da Vale.** 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

XU, R. (2002). **Particle characterization: Light scattering methods.** Particle Technology, 13. Kluwer Academic Publishers.

ANEXO A

RELATÓRIOS DE SONDAÇÃO MISTAS

São apresentados neste anexo os dez (10) boletins de sondagens mistas que subsidiaram este estudo de caso.

SM PDR 01

Ø Amostrador	Ext.: 50,8 mm	Altura de queda: 75 cm	Peso: 65 kgf	Revestimento: 13.50 m	Ensaio de Avanço por Circulação de Água			
	Int.: 34,9 mm				Início	10 min	20 min	30 min
Ø Revestimento: 114.5 mm		Escala vertical: 1:100		Nível d'água: Ausente	-	-	-	-
		Sistema: Manual		14.98 m				

Perfuração: ☒ CR:RS Cravação/Rotativa ☐ Cravação

N.A.	Rev. / Perf. (m)	Ensaio SPT			Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Alteração	Coerência	Fraturamento	Cota (m)	Resistência à Penetração × Profundidade						Prof. (m)	Classificação do Material	
		1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª					1ª + 2ª	2ª + 3ª	Recuperação	RQD					
Inicial: Ausente	RS						-	-	-	0	0	10	20	30	40	50	0.00	PILHA DE ESTÉRIL, ARGILO ARENO SILTOSO, MARROM, POUCO COMPACTA, COM PRESENÇA DE PEDRISCOS	
		4/15	4/15	4/16	8	8/31	-	-	-	1	74						1.215.00		
		7/15	10/15	14/15	17	24	-	-	-	2	96						2.00	PILHA DE ESTÉRIL, ARGILO ARENO SILTOSO, MARROM, COMPACTO A MEDIANAMENTE COMPACTO, COM PRESENÇA DE PEDRISCOS.	
		7/15	9/15	11/16	16	20/31	-	-	-	3	95								
		5/15	7/15	11/15	12	18	-	-	-	4	44								
		3/15	4/18	5/15	7/33	9/33	-	-	-	5	100						5.00		
		PM/54	2/15	-	PM/54	2/15	-	-	-	6	42							6.69	AMOSTRA NÃO RECUPERADA
		PM/44	1/6	-	PM/44	1/6	-	-	-	7	0						7.00		
		6/15	10/15	11/15	16	21	-	-	-	8	60							PILHA DE ESTÉRIL, ARGILO ARENO SILTOSO, MARROM, COMPACTA, COM PRESENÇA DE PEDRISCOS.	
		5/15	14/15	12/16	19	26/31	-	-	-	9	51								
		10/15	15/15	-	25	15/15	-	-	-	10	93								
		10/15	12/15	14/15	22	26	-	-	-	11	45								
		16/15	14/15	20/15	30	34	-	-	-	12	15								
		3/15	9/15	26/7	12	35/22	-	-	-	13	0								
		4/17	3/13	4/20	7	7/33	-	-	-	14	79								
		9/15	7/15	5/17	16	12/32	-	-	-	15	0								
		2/15	4/16	5/14	6/31	9	-	-	-	16	0							15.47	AMOSTRA NÃO RECUPERADA
							-	-	-	17	69							16.00	

RQD (%): 0 a 24 - Muito pobre (MP) 25 a 49 - Pobre (P) 50 a 74 - Regular (R) 75 a 89 - Boa (B) 90 a 100 - Excelente (E)		Alteração: A1 - São A2 - Pouco alterada A3 - Medianamente alterada A4 - Muito alterada A5 - Extremamente		Coerência: C1 - Muito coerente C2 - Coerente C3 - Medianamente coerente C4 - Pouco coerente C5 - Incoerente		Fraturamento: F1 - Pouco fraturada F2 - Medianamente fraturada F3 - Muito fraturada F4 - Extremamente fraturada F5 - Em fragmentos		Rotativa Ø Furo: HQ Inclinação: 90°	
---	--	--	--	---	--	--	--	--	--

Perfuração: CR:RS-Cravação/Rotativa																			
N.A.	Rev. / Perf. (m)	Ensaio SPT			Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Alteração	Coerência	Fratramento	Cota (m)	Resistência à Penetração × Profundidade						Prof. (m)	Classificação do Material	
		1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª					1ª + 2ª	2ª + 3ª	Recuperação	RQD					
											0	10	20	30	40	50			0
Inicial: Ausente	RS	6/15	14/15	20/15	20	34	-	-	-	17			19.00	PILHA DE ESTÉRIL, ARENO SILTE ARGILOSO, MARROM AMARELADO, MEDIANAMENTE COMPACTO A COMPACTO COM PRESENÇA DE PEDRISCOS.					
		5/16	12/15	17/14	17/31	29/29	-	-	-	18					69				
		13/15	14/15	19/15	27	33	-	-	-	19					58				
		13/15	15/15	15/15	28	30	-	-	-	20					84				
		6/15	10/15	13/15	16	23	-	-	-	21									
		9/15	13/15	15/15	22	28	-	-	-	22					36				
		12/15	14/15	16/15	26	30	-	-	-	23									
							-	-	-	24									
										25									
										26									
										27									
										28									
										29									
										30									
										31									
										32									
										33									
										34									
RQD (%): 0 a 24 - Muito pobre (MP) 25 a 49 - Pobre (P) 50 a 74 - Regular (R) 75 a 89 - Boa (B) 90 a 100 - Excelente (E)					Alteração: A1 - São A2 - Pouco alterada A3 - Medianamente alterada A4 - Muito alterada A5 - Extremamente					Coerência: C1 - Muito coerente C2 - Coerente C3 - Medianamente coerente C4 - Pouco coerente C5 - Incoerente					Fratramento: F1 - Pouco fraturada F2 - Medianamente fraturada F3 - Muito fraturada F4 - Extremamente fraturada F5 - Em fragmentos			Rotativa Ø Furo: HQ Inclinação: 90°	

Perfuração: CR:RS-Cravação/Rotativa																	
Amostra	Perfuração	Profundidade (m)			Golpes 15 cm			Golpes 30 cm		Manobra (cm)	Recuperação (%)	RQD (%)	Alteração	Coerência	Fratramento	Profundidade Camada (m)	Classificação do Material
		Inicial	1ª + 2ª	2ª + 3ª	1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª								
01	RS	0.00	—	—	—	—	—	—	—	100	74	—	—	—	—	0.00	PILHA DE ESTÉRIL, ARGILO ARENO SILTOSO, MARROM, POUCO COMPACTA, COM PRESENÇA DE PEDRISCOS
02	CR	1.00	1.30	1.46	$\frac{4}{15}$	$\frac{4}{15}$	$\frac{4}{16}$	8	$\frac{8}{31}$	—	—	—	—	—	—		
03	RS	1.46	—	—	—	—	—	—	—	54	96	—	—	—	—		
04	CR	2.00	2.30	2.45	$\frac{7}{15}$	$\frac{10}{15}$	$\frac{14}{15}$	17	24	—	—	—	—	—	—	2.00	PILHA DE ESTÉRIL, ARGILO ARENO SILTOSO, MARROM, COMPACTO A MEDIANAMENTE COMPACTO, COM PRESENÇA DE PEDRISCOS.
05	RS	2.45	—	—	—	—	—	—	—	55	95	—	—	—	—		
06	CR	3.00	3.30	3.46	$\frac{7}{15}$	$\frac{9}{15}$	$\frac{11}{16}$	16	$\frac{20}{31}$	—	—	—	—	—	—		
07	RS	3.46	—	—	—	—	—	—	—	54	44	—	—	—	—		
08	CR	4.00	4.30	4.45	$\frac{5}{15}$	$\frac{7}{15}$	$\frac{11}{15}$	12	18	—	—	—	—	—	—		
09	RS	4.45	—	—	—	—	—	—	—	55	100	—	—	—	—	5.00	PILHA DE ESTÉRIL, ARGILO ARENO SILTOSO, MARROM, FOFA A POUCO COMPACTA, COM PRESENÇA DE PEDRISCOS.
10	CR	5.00	5.33	5.48	$\frac{3}{15}$	$\frac{4}{18}$	$\frac{5}{15}$	$\frac{7}{33}$	$\frac{9}{33}$	—	—	—	—	—	—		
11	RS	5.48	—	—	—	—	—	—	—	52	42	—	—	—	—		
12	CR	6.00	6.54	6.54	PM	$\frac{2}{15}$	—	PM	$\frac{2}{15}$	—	—	—	—	—	—	6.69	AMOSTRA NÃO RECUPERADA
13	RS	6.69	—	—	—	—	—	—	—	31	0	—	—	—	—		
14	CR	7.00	7.44	7.44	PM	$\frac{1}{6}$	—	PM	$\frac{1}{6}$	—	—	—	—	—	—	7.00	PILHA DE ESTÉRIL, ARGILO ARENO SILTOSO, MARROM, COMPACTA, COM PRESENÇA DE PEDRISCOS.
15	RS	7.50	—	—	—	—	—	—	—	50	60	—	—	—	—		
16	CR	8.00	8.30	8.45	$\frac{6}{15}$	$\frac{10}{15}$	$\frac{11}{15}$	16	21	—	—	—	—	—	—		
17	RS	8.45	—	—	—	—	—	—	—	55	51	—	—	—	—		
18	CR	9.00	9.30	9.46	$\frac{5}{15}$	$\frac{14}{15}$	$\frac{12}{16}$	19	$\frac{26}{31}$	—	—	—	—	—	—		
19	RS	9.46	—	—	—	—	—	—	—	54	93	—	—	—	—		
20	CR	10.00	10.30	10.30	$\frac{10}{15}$	$\frac{15}{15}$	—	25	$\frac{15}{15}$	—	—	—	—	—	—		
21	RS	10.45	—	—	—	—	—	—	—	55	45	—	—	—	—		
22	CR	11.00	11.30	11.45	$\frac{10}{15}$	$\frac{12}{15}$	$\frac{14}{15}$	22	26	—	—	—	—	—	—		
23	RS	11.45	—	—	—	—	—	—	—	55	15	—	—	—	—		
24	CR	12.00	12.30	12.45	$\frac{16}{15}$	$\frac{14}{15}$	$\frac{20}{15}$	30	34	—	—	—	—	—	—	12.45	AMOSTRA NÃO RECUPERADA
25	RS	12.45	—	—	—	—	—	—	—	55	0	—	—	—	—		
26	CR	13.00	13.30	13.37	$\frac{3}{15}$	$\frac{9}{15}$	$\frac{26}{7}$	12	$\frac{35}{22}$	—	—	—	—	—	—	13.00	PILHA DE ESTÉRIL, ARENO SILTE ARGILOSO, MARROM ACINZENTADO, MUITO COMPACTO COM PRESENÇA DE PEDRISCOS.
27	RS	13.37	—	—	—	—	—	—	—	63	79	—	—	—	—	13.37	BLOCO DE ITABIRITO
RQD (%):					Alteração:					Coerência:					Fratramento:		
0 a 24 - Muito pobre (MP)					A1 - São					C1 - Muito coerente					F1 - Pouco fraturada		
25 a 49 - Pobre (P)					A2 - Pouco alterada					C2 - Coerente					F2 - Medianamente fraturada		
50 a 74 - Regular (R)					A3 - Medianamente alterada					C3 - Medianamente coerente					F3 - Muito fraturada		
75 a 89 - Boa (B)					A4 - Muito alterada					C4 - Pouco coerente					F4 - Extremamente fraturada		
90 a 100 - Excelente (E)					A5 - Extremamente					C5 - Incoerente					F5 - Em fragmentos		

Perfuração: CR:RS-Cravação/Rotativa																	
Amostra	Perfuração	Profundidade (m)			Golpes 15 cm			Golpes 30 cm		Manobra (cm)	Recuperação (%)	RQD (%)	Alteração	Coerência	Fratramento	Profundidade Camada (m)	Classificação do Material
		Inicial	1ª + 2ª	2ª + 3ª	1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª								
28	CR	14.00	14.30	14.50	4 17	3 13	4 20	7	7 33	-	-	-	-	-	-	14.00	PILHA DE ESTÉRIL, ARENO SILTE ARGILOSO, MARROM ACINZENTADO, POUCO COMPACTO COM PRESENÇA DE PEDRISCOS.
29	RS	14.50	-	-	-	-	-	-	-	50	0	-	-	-	-	14.50	AMOSTRA NÃO RECUPERADA
30	CR	15.00	15.30	15.47	9 15	7 15	5 17	16	12 32	-	-	-	-	-	-	15.00	PILHA DE ESTÉRIL, ARENO SILTE ARGILOSO, MARROM AMARELADO, MEDIANAMENTE COMPACTO A COMPACTO COM PRESENÇA DE PEDRISCOS.
31	RS	15.47	-	-	-	-	-	-	-	53	0	-	-	-	-	15.47	AMOSTRA NÃO RECUPERADA
32	CR	16.00	16.31	16.45	2 15	4 16	5 14	6 31	9	-	-	-	-	-	-	16.00	PILHA DE ESTÉRIL, ARENO SILTE ARGILOSO, MARROM AMARELADO, MEDIANAMENTE COMPACTO A COMPACTO COM PRESENÇA DE PEDRISCOS.
33	RS	16.45	-	-	-	-	-	-	-	55	69	-	-	-	-		
34	CR	17.00	17.30	17.45	6 15	14 15	20 15	20	34	-	-	-	-	-	-		
35	RS	17.45	-	-	-	-	-	-	-	55	69	-	-	-	-		
36	CR	18.00	18.31	18.45	5 16	12 15	17 14	17 31	29 29	-	-	-	-	-	-		
37	RS	18.45	-	-	-	-	-	-	-	55	58	-	-	-	-	19.00	PILHA DE ESTÉRIL, ARENO SILTE ARGILOSO, MARROM AVERMELHADO, COMPACTO COM PRESENÇA DE PEDRISCOS.
38	CR	19.00	19.30	19.45	13 15	14 15	19 15	27	33	-	-	-	-	-	-		
39	RS	19.45	-	-	-	-	-	-	-	55	84	-	-	-	-		
40	CR	20.00	20.30	20.45	13 15	15 15	15 15	28	30	-	-	-	-	-	-	20.45	AMOSTRA NÃO RECUPERADA
41	RS	20.45	-	-	-	-	-	-	-	55	0	-	-	-	-		
42	CR	21.00	21.30	21.45	6 15	10 15	13 15	16	23	-	-	-	-	-	-	21.00	PILHA DE ESTÉRIL, ARENO SILTE ARGILOSO, MARROM AVERMELHADO, COMPACTO COM PRESENÇA DE PEDRISCOS.
43	RS	21.45	-	-	-	-	-	-	-	55	36	-	-	-	-		
44	CR	22.00	22.30	22.45	9 15	13 15	15 15	22	28	-	-	-	-	-	-	22.45	AMOSTRA NÃO RECUPERADA
45	RS	22.45	-	-	-	-	-	-	-	55	0	-	-	-	-		
46	CR	23.00	23.30	23.45	12 15	14 15	16 15	26	30	-	-	-	-	-	-	23.00	PILHA DE ESTÉRIL, ARENO SILTE ARGILOSO, MARROM AVERMELHADO, COMPACTO COM PRESENÇA DE PEDRISCOS.
47	RS	23.45	-	-	-	-	-	-	-	55	0	-	-	-	-	23.45	AMOSTRA NÃO RECUPERADA
																24.00	LIMITE DE SONDAGEM
Obs.: Limite da sondagem conforme solicitação da contratante. Procedimento realizado segundo a norma NBR 6484:2020 - Furo finalizado a pedido da contratante.																	
RQD (%): 0 a 24 - Muito pobre (MP) 25 a 49 - Pobre (P) 50 a 74 - Regular (R) 75 a 89 - Boa (B) 90 a 100 - Excelente (E)					Alteração: A1 - São A2 - Pouco alterada A3 - Medianamente alterada A4 - Muito alterada A5 - Extremamente					Coerência: C1 - Muito coerente C2 - Coerente C3 - Medianamente coerente C4 - Pouco coerente C5 - Incoerente					Fratramento: F1 - Pouco fraturada F2 - Medianamente fraturada F3 - Muito fraturada F4 - Extremamente fraturada F5 - Em fragmentos		

SM PDR 02																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Ø Amostrador Ext.: 50,8 mm Int.: 34,9 mm			Altura de queda: 75 cm Peso: 65 kgf Escala vertical: 1:100 Sistema: Manual			Revestimento: 0.00 m Nível d'água: Ausente			Ensaio de Avanço por Circulação de Água																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
									Início	10 min	20 min	30 min																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Ø Revestimento: 101.4 mm			Perfuração: CR/RR/RS			Cravação/Rotativa			-				-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
N.A.	Rev. / Perf. (m)	Ensaio SPT			Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Alteração	Coerência	Fratramento	Cota (m)	Resistência à Penetração × Profundidade						Prof. (m)	Classificação do Material [05]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
		1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª					1ª + 2ª	2ª + 3ª	Recuperação	RQD																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Ausente RS <table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></</td></tr></table>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						</
	</																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					

N.A.	Rev. / Perf. (m)	Ensaio SPT			Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Alteração	Coerência	Fratramento	Cota (m)	Resistência à Penetração × Profundidade						Prof. (m)	Classificação do Material [05]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
											1ª + 2ª		2ª + 3ª		Recuperação				RQD																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
		1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª					0	10	20	30	40	50			0	20	40	60	80	100 (%)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Ausente	RS	5	11	15	16	26	-	-	-	1,195.00	17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															

N.A.		Rev. / Perf. (m)	Ensaio SPT			Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Alteração	Coerência	Fraturamento	Cota (m)	Resistência à Penetração × Profundidade						Prof. (m)	Classificação do Material [05]	
			1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª					1ª + 2ª	2ª + 3ª	Recuperação	RQD					
Ausente		RS	37.06					-	-	-	34	0	10	20	30	40	50	37.06	BLOCO DE ROCHA	
											0	20	40	60	80	100 (%)				
											35									
											36									
											37									
											38									
											39									
											40									
											41									
											42									
											43									
											44									
											45									
											46									
											47									
											48									
											49									
											50									
											51									
RQD (%): 0 a 24 - Muito pobre (MP) 25 a 49 - Pobre (P) 50 a 74 - Regular (R) 75 a 89 - Boa (B) 90 a 100 - Excelente (E)						Alteração: A1 - São A2 - Pouco alterada A3 - Medianamente alterada A4 - Muito alterada A5 - Extremamente					Coerência: C1 - Muito coerente C2 - Coerente C3 - Medianamente coerente C4 - Pouco coerente C5 - Incoerente					Fraturamento: F1 - Pouco fraturada F2 - Medianamente fraturada F3 - Muito fraturada F4 - Extremamente fraturada F5 - Em fragmentos			Rotativa Ø Furo: HQ Inclinação: 90°	

Amostra	Perfuração	Profundidade (m)			Golpes 15 cm			Golpes 30 cm		Manobra (cm)	Recuperação (%)	RQD (%)	Alteração	Coerência	Fratramento	Profundidade Camada (m)	Classificação do Material [05]
		Inicial	1ª + 2ª	2ª + 3ª	1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª								
01	RS	0.00	–	–	–	–	–	–	–	100	34	–	–	–	–	0.00	REJEITO, ARGILO ARENO SILTOSO, MARROM, RIJO A MUITO RIJO, DE BAIXA PLASTICIDADE E PRESENÇA DE PEDRISCOS
02	CR	1.00	1.30	1.45	$\frac{6}{16}$	$\frac{10}{14}$	$\frac{17}{15}$	16	$\frac{27}{29}$	–	–	–	–	–	–		
03	RS	1.45	–	–	–	–	–	–	–	55	98	–	–	–	–		
04	CR	2.00	2.30	2.45	$\frac{3}{15}$	$\frac{9}{15}$	$\frac{6}{15}$	12	15	–	–	–	–	–	–		
05	RS	2.45	–	–	–	–	–	–	–	55	100	–	–	–	–		
06	CR	3.00	3.30	3.45	$\frac{5}{15}$	$\frac{7}{15}$	$\frac{11}{15}$	12	18	–	–	–	–	–	–		
07	RS	3.45	–	–	–	–	–	–	–	55	69	–	–	–	–		
08	CR	4.00	4.30	4.45	$\frac{4}{15}$	$\frac{6}{15}$	$\frac{7}{15}$	10	13	–	–	–	–	–	–		
09	RS	4.45	–	–	–	–	–	–	–	55	58	–	–	–	–		
10	CR	5.00	5.30	5.45	$\frac{5}{15}$	$\frac{7}{15}$	$\frac{7}{15}$	12	14	–	–	–	–	–	–		
11	RS	5.45	–	–	–	–	–	–	–	55	76	–	–	–	–		
12	CR	6.00	6.30	6.45	$\frac{10}{15}$	$\frac{18}{15}$	$\frac{18}{15}$	28	36	–	–	–	–	–	–	6.00	REJEITO, ARGILO ARENO SILTOSO, MARROM, MUITO RIJO A DURO, DE BAIXA PLASTICIDADE E PRESENÇA DE PEDRISCOS.
13	RS	6.45	–	–	–	–	–	–	–	55	95	–	–	–	–		
14	CR	7.00	7.30	7.45	$\frac{4}{15}$	$\frac{11}{15}$	$\frac{15}{15}$	15	26	–	–	–	–	–	–		
15	RS	7.45	–	–	–	–	–	–	–	55	76	–	–	–	–		
16	CR	8.00	8.30	8.45	$\frac{13}{15}$	$\frac{18}{15}$	$\frac{21}{15}$	31	39	–	–	–	–	–	–		
17	RS	8.45	–	–	–	–	–	–	–	55	84	–	–	–	–		
18	CR	9.00	9.30	9.45	$\frac{12}{15}$	$\frac{29}{15}$	$\frac{30}{15}$	41	59	–	–	–	–	–	–		
19	RS	9.45	–	–	–	–	–	–	–	55	100	–	–	–	–	10.00	AMOSTRA NÃO RECUPERADA
20	RS	10.00	–	–	–	–	–	–	–	100	0	–	–	–	–		
21	RS	11.00	–	–	–	–	–	–	–	100	0	–	–	–	–		
22	RS	12.00	–	–	–	–	–	–	–	100	0	–	–	–	–		
23	RS	13.00	–	–	–	–	–	–	–	100	0	–	–	–	–		
24	RS	14.00	–	–	–	–	–	–	–	100	0	–	–	–	–		
25	RS	15.00	–	–	–	–	–	–	–	100	0	–	–	–	–		
26	CR	16.00	16.30	16.46	$\frac{8}{15}$	$\frac{9}{15}$	$\frac{5}{16}$	17	$\frac{14}{31}$	–	–	–	–	–	–	16.00	REJEITO, ARGILO ARENO SILTOSO, MARROM, MUITO RIJO A DURO, DE BAIXA PLASTICIDADE E PRESENÇA DE PEDRISCOS.
27	RS	16.46	–	–	–	–	–	–	–	54	59	–	–	–	–		
28	CR	17.00	17.30	17.45	$\frac{5}{15}$	$\frac{11}{15}$	$\frac{15}{15}$	16	26	–	–	–	–	–	–		
29	RS	17.45	–	–	–	–	–	–	–	55	33	–	–	–	–		
RQD (%): 0 a 24 - Muito pobre (MP) 25 a 49 - Pobre (P) 50 a 74 - Regular (R) 75 a 89 - Boa (B) 90 a 100 - Excelente (E)					Alteração: A1 - São A2 - Pouco alterada A3 - Medianamente alterada A4 - Muito alterada A5 - Extremamente					Coerência: C1 - Muito coerente C2 - Coerente C3 - Medianamente coerente C4 - Pouco coerente C5 - Incoerente					Fratramento: F1 - Pouco fraturada F2 - Medianamente fraturada F3 - Muito fraturada F4 - Extremamente fraturada F5 - Em fragmentos		

Amostra	Perfuração	Profundidade (m)			Golpes 15 cm			Golpes 30 cm		Manobra (cm)	Recuperação (%)	RQD (%)	Alteração	Coerência	Fratramento	Profundidade Camada (m)	Classificação do Material [05]
		Inicial	1ª + 2ª	2ª + 3ª	1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª								
30	CR	18.00	18.28	18.28	8 15	40 13	-	48 28	40 13	-	-	-	-	-	-	18.00	REJEITO, ARGILLO ARENO SILTOSO, MARROM, DURO, DE BAIXA PLASTICIDADE E PRESENÇA DE PEDRISCOS.
31	RS	18.28	-	-	-	-	-	-	-	72	28	-	-	-	-		
32	CR	19.00	19.13	-	46 13	-	-	46 13	-	-	-	-	-	-	-		
33	RS	19.13	-	-	-	-	-	-	-	87	31	-	-	-	-		
34	CR	20.00	20.30	20.45	11 15	24 15	26 15	35	50	-	-	-	-	-	-		
35	RS	20.45	-	-	-	-	-	-	-	55	22	-	-	-	-		
36	CR	21.00	21.30	21.42	12 15	23 15	40 12	35	63 27	-	-	-	-	-	-		
37	RS	21.42	-	-	-	-	-	-	-	38	0	-	-	-	-	21.42	AMOSTRA NÃO RECUPERADA
38	CR	22.00	22.24	22.24	25 15	40 9	-	65 24	40 9	-	-	-	-	-	-	22.00	REJEITO, ARGILLO ARENO SILTOSO, MARROM, DURO, DE BAIXA PLASTICIDADE.
39	RS	22.24	-	-	-	-	-	-	-	76	0	-	-	-	-	22.24	AMOSTRA NÃO RECUPERADA
40	CR	23.00	23.30	23.30	22 15	40 15	-	62	40 15	-	-	-	-	-	-	23.00	REJEITO, ARGILLO ARENO SILTOSO, MARROM, DURO, COM PRESENÇA DE PEDRISCOS.
41	RS	23.30	-	-	-	-	-	-	-	70	0	-	-	-	-	23.30	AMOSTRA NÃO RECUPERADA
42	CR	24.00	24.14	-	40 14	-	-	40 14	-	-	-	-	-	-	-	24.00	FRAGMENTOS DE ROCHA.
43	RS	24.14	-	-	-	-	-	-	-	86	0	-	-	-	-	25.00	AMOSTRA NÃO RECUPERADA
44	RR	25.00	-	-	-	-	-	-	-	100	0	0	-	-	-		
45	CR	26.00	26.30	26.30	6 15	40 15	-	46	40 15	-	-	-	-	-	-	26.00	FRAGMENTOS DE ROCHA.
46	RR	26.30	-	-	-	-	-	-	-	70	0	0	-	-	-	26.30	AMOSTRA NÃO RECUPERADA
47	CR	27.00	27.07	27.07	12 7	5 0	-	17 7	5 0	-	-	-	-	-	-		
48	RS	27.07	-	-	-	-	-	-	-	93	0	-	-	-	-	27.07	FRAGMENTOS DE ROCHA
49	CR	28.00	28.01	-	5 1	-	-	5 1	-	-	-	-	-	-	-		
50	RR	28.01	-	-	-	-	-	-	-	58	0	0	-	-	-	28.01	AMOSTRA NÃO RECUPERADA
RQD (%): 0 a 24 - Muito pobre (MP) 25 a 49 - Pobre (P) 50 a 74 - Regular (R) 75 a 89 - Boa (B) 90 a 100 - Excelente (E)					Alteração: A1 - São A2 - Pouco alterada A3 - Medianamente alterada A4 - Muito alterada A5 - Extremamente					Coerência: C1 - Muito coerente C2 - Coerente C3 - Medianamente coerente C4 - Pouco coerente C5 - Incoerente					Fratramento: F1 - Pouco fraturada F2 - Medianamente fraturada F3 - Muito fraturada F4 - Extremamente fraturada F5 - Em fragmentos		

Amostra	Perfuração	Profundidade (m)			Golpes 15 cm			Golpes 30 cm		Manobra (cm)	Recuperação (%)	RQD (%)	Alteração	Coerência	Fraturamento	Profundidade Camada (m)	Classificação do Material [05]
		Inicial	1ª + 2ª	2ª + 3ª	1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª								
51	RS	28.59	—	—	—	—	—	—	—	21	0	—	—	—	—	28.59	BLOCO DE ROCHA
52	RS	28.84	—	—	—	—	—	—	—	16	0	—	—	—	—		
53	RS	29.00	—	—	—	—	—	—	—	60	0	—	—	—	—		
54	RS	29.60	—	—	—	—	—	—	—	137	0	—	—	—	—		
55	RS	30.97	—	—	—	—	—	—	—	103	0	—	—	—	—		
56	RS	32.00	—	—	—	—	—	—	—	120	0	—	—	—	—		
57	RS	33.20	—	—	—	—	—	—	—	102	0	—	—	—	—		
58	RS	34.22	—	—	—	—	—	—	—	78	0	—	—	—	—		
59	RS	35.00	—	—	—	—	—	—	—	150	0	—	—	—	—		
60	RS	36.50	—	—	—	—	—	—	—	56	0	—	—	—	—		
																37.06	LIMITE DE SONDAGEM

Obs.: Paralisada por definição do contratante ou seu preposto (5.2.4.1/6.2.4.1 NBR 6484:2020).

RQD (%):

0 a 24 - Muito pobre (MP)
25 a 49 - Pobre (P)
50 a 74 - Regular (R)
75 a 89 - Boa (B)
90 a 100 - Excelente (E)

Alteração:

A1 - São
A2 - Pouco alterada
A3 - Medianamente alterada
A4 - Muito alterada
A5 - Extremamente

Coerência:

C1 - Muito coerente
C2 - Coerente
C3 - Medianamente coerente
C4 - Pouco coerente
C5 - Incoerente

Fraturamento:

F1 - Pouco fraturada
F2 - Medianamente fraturada
F3 - Muito fraturada
F4 - Extremamente fraturada
F5 - Em fragmentos

SM PDR 03																	
Ø Amostrador		Ext.: 50,8 mm		Altura de queda: 75 cm		Revestimento:		60,00 m		Ensaio de Avanço por Circulação de Água							
		Int.: 34,9 mm		Peso: 65 kgf						Início		10 min		20 min		30 min	
Ø Revestimento:		63,5 mm		Escala vertical: 1:100		Nível d'água:		Ausente		-		-		-		-	
Perfuração: CR:RS-Cravação/Rotativa																	
N.A.	Rev. / Perf. (m)	Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Compacidade / Consistência	Alteração	Consistência	Fraturamento	Resistência à Penetração × Profundidade						Prof. (m)	Classificação do Material		
		1ª + 2ª	2ª + 3ª					1ª + 2ª		2ª + 3ª		Recuperação	RQD				
								0	10	20	30					40	50
								0	20	40	60	80	100 (%)				
Inicial: Ausente	1,00	29	29	-				0						0,00	Silte arenoso com pouca argila (areia fina a grossa), com pedregulhos angulosos a subangulosos, ocasionalmente subarredondados, de composição variada (quartzito, itabirito e hematita com ocorrência de magnetita e especularita), milimétricos a centimétricas, variando de 2mm a 4cm. Localmente encontram-se fragmentos de raízes e cristais finos de muscovita. Seco o material apresenta leve brilho especular e tendência a formar torrões dificilmente quebráveis em amostra de mão. REJEITO		
		10/31	18	-				1									
		29	37	-				2									
		12	14	-				3									
		15	16	-				4									
		33	41	-				5									
		11	27	-				6									
		25	23/31	-				7									
		10/31	15	-				8									
		27	22/32	-				9									
		43	51	-				10									
		55/26	30/11	-				11									
		23	36	-				12									
		24	28	-				13									
		39	48	-				14									
Compacidade/Consistência		1		2		3		4		5		6					
Arenas ou siltes arenosos		F-Fofa		PC-Pouco compacta		MdC-Medianamente compacta		C-Compacta		MC-Muito compacta		—					
Argilas ou siltes argilosos		MM-Muito mole		M-Mole		Md-Média		R-Rija		MR-Muito rija		D-Dura					
RQD (%):		Alteração:		Consistência:		Fraturamento:		Rotativa									
0 a 24 - Muito pobre (MP)		A0 - São		C0 - Muito consistente		F0 - Ocasionalmente fraturada		Ø Furo: HQ									
25 a 49 - Pobre (P)		A1 - Pouco alterada		C1 - Consistente		F1 - Pouco fraturada		Inclinação: 90°									
50 a 74 - Regular (R)		A2 - Medianamente alterada		C2 - Medianamente consistente		F2 - Medianamente fraturada											
75 a 89 - Boa (B)		A3 - Muito alterada		C3 - Pouco consistente		F3 - Muito fraturada											
90 a 100 - Excelente (E)		A4 - Extremamente alterada		C4 - Sem consistência		F4 - Extremamente fraturada											

N.A.	Rev. / Perf. (m)	Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Compacidade /Consistência	Alteração	Consistência	Fraturamento	Cota (m)	Resistência à Penetração × Profundidade					Prof. (m)	Classificação do Material
									1ª + 2ª	2ª + 3ª	Recuperação	RQD			
		1ª + 2ª	2ª + 3ª						0 0	10 20	20 40	30 60	40 80		
Inicial: Ausente Final: 16,00 m CR		56/27	30/12	-				16							Silte arenoso com pouca argila (areia fina a grossa), com pedregulhos angulosos a subangulosos, ocasionalmente subarredondados, de composição variada (quartzito, itabirito e hematita com ocorrência de magnetita e especularita), milimétricos a centimétricas, variando de 2mm a 4cm. Localmente encontram-se fragmentos de raízes e cristais finos de muscovita. Seco o material apresenta leve brilho especular e tendência a formar torrões dificilmente quebráveis em amostra de mão. REJEITO
		31	54/28	-				17							
		50/25	30/10	-				18							
		32	54/26	-				19							
		30/14	-	-				20							
		47/29	30/14	-				21							
				-	-	-		22							
				-	-	-		23							
				-	-	-		24							
				-	-	-		25							
				-	-	-		26							
				-	-	-		27							
				-	-	-		28							
				-	-	-		29							
				-	-	-		30							
				-	-	-		31							
Compacidade/Consistência		1		2		3		4		5		6			
Arenas ou siltes arenosos		F-Fofa		PC-Pouco compacta		MdC-Medianamente compacta		C-Compacta		MC-Muito compacta		—			
Argilas ou siltes argilosos		MM-Muito mole		M-Mole		Md-Média		R-Rija		MR-Muito rija		D-Dura			
RQD (%):		Alteração:		Consistência:		Fraturamento:		Rotativa							
0 a 24 - Muito pobre (MP)		A0 - São		C0 - Muito consistente		F0 - Ocasionalmente fraturada		Ø Furo: HQ							
25 a 49 - Pobre (P)		A1 - Pouco alterada		C1 - Consistente		F1 - Pouco fraturada		Inclinação: 90°							
50 a 74 - Regular (R)		A2 - Medianamente alterada		C2 - Medianamente consistente		F2 - Medianamente fraturada									
75 a 89 - Boa (B)		A3 - Muito alterada		C3 - Pouco consistente		F3 - Muito fraturada									
90 a 100 - Excelente (E)		A4 - Extremamente alterada		C4 - Sem consistência		F4 - Extremamente fraturada									

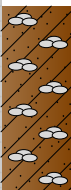
N.A.	Rev. / Perf. (m)	Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Compacidade /Consistência	Alteração	Consistência	Fraturamento	Cota (m)	Resistência à Penetração × Profundidade						Prof. (m)	Classificação do Material
		1ª + 2ª	2ª + 3ª						1ª + 2ª	2ª + 3ª	Recuperação	RQD				
		0 0	10 20						20 40	30 60	40 80	50 100 (%)				
Inicial: Ausente (07/11/2022 08:00)																
CR																

N.A.	Rev. / Perf. (m)	Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Compacidade /Consistência	Alteração	Consistência	Fratramento	Cota (m)	Resistência à Penetração × Profundidade						Prof. (m)	Classificação do Material		
		1ª + 2ª	2ª + 3ª						Recuperação	RQD	0	10	20	30			40	50
		0 20 40 60 80 100 (%)																
Inicial: Ausente (07/11/2022 08:00)																		
	CR																	
															</			

SM PDR 04															
Ø Amostrador		Ext.: 50,8 mm		Altura de queda: 75 cm		Revestimento:		27,00 m		Coordenadas					
		Int.: 34,9 mm		Peso: 65 kgf				0,00 m		Norte:					
Ø Revestimento:		63,5 mm		Escala vertical: 1:100		Nível d'água:		40,32 m		Este:		Fuso: 23S		Datum: SIRGAS2000	
		Sistema: Manual													
Perfuração: CR:RS-Cravação/Rotativa															
Cravação															
Revestimento															
N.A.	Rev. / Perf. (m)	Ensaio SPT			Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Resistência à Penetração × Profundidade						Prof. (m)	Classificação do Material	
		1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª	Recuperação	RQD					

Perfuração: CR:RS-Cravação/Rotativa														
N.A.	Rev. / Perf. (m)	Ensaio SPT			Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Resistência à Penetração × Profundidade						Prof. (m)	Classificação do Material
							1ª + 2ª		2ª + 3ª		Recuperação			
		1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª	0	10	20	30	40	50		
	Ø						0	20	40	60	80	100 (%)		
							17						17,00	COLETA DE AMOSTRA INDEFORMADA DO TIPO DENISON. AMOSTRA NÃO RECUPERADA. BLOCO DE ITABIRITO.
													17,45	
							18						18,00	
														AMOSTRA NÃO RECUPERADA.
							19						19,50	PEDREGULHOS DE ITABIRITO.
							20							
														REJEITO DE ARGILA ARENOSA, PRESENÇA DE PEDREGULHOS, CINZA AMARELADO.
							21							
													21,50	
							22							REJEITO DE ARGILA ARENOSA, PRESENÇA DE PEDREGULHOS, CINZA AMARELADO.
							23							
							24							
							25							PEDREGULHOS DE ITABIRITO.
							26							
							27							
							28							REJEITO DE ARGILA ARENOSA, PRESENÇA DE PEDREGULHOS, MARROM ACINZENTADO.
							29							
														REJEITO DE ARGILA ARENOSA, PRESENÇA DE PEDREGULHOS, MARROM CLARO.
							30							
							31							
							32							
							33							
							34							
RQD (%):		Alteração:				Coerência:				Fraturamento:		Inclinação: 90°		
0 a 24 - Muito pobre (MP)		A1 - São				C1 - Muito coerente				F1 - Pouco fraturada		Ø		
25 a 49 - Pobre (P)		A2 - Pouco alterada				C2 - Coerente				F2 - Medianamente fraturada		De (m)		
50 a 74 - Regular (R)		A3 - Medianamente alterada				C3 - Medianamente coerente				F3 - Muito fraturada		Até (m)		
75 a 89 - Boa (B)		A4 - Muito alterada				C4 - Pouco coerente				F4 - Extremamente fraturada		HQ		
90 a 100 - Excelente (E)		A5 - Extremamente				C5 - Incoerente				F5 - Em fragmentos		NQ		
												0,00		
												36,50		
												60,00		

Perfuração: **CR:RS** Cravação/Rotativa  Cravação  Revestimento

N.A.	Rev. / Perf. (m)	Ensaio SPT	Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Resistência à Penetração × Profundidade						Prof. (m)	Classificação do Material									
			1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª	1ª + 2ª													
								0	10	20			30	40	50						
													0	20	40	60	80	100 (%)			
Final: 40,32 m	HQ												34	67					REJEITO DE ARGILA ARENOSA, PRESENÇA DE PEDREGULHOS, MARROM CLARO.		
													35	51							
	NQ												36						AMOSTRA NÃO RECUPERADA.		
													37	0							
													38	3					PEDREGULHOS DE ITABIRITO.		
													39	7							
													40	0					AMOSTRA NÃO RECUPERADA.		
													41	3							
														42	6					PEDREGULHOS DE ITABIRITO.	
														43	0						
														44	6					PEDREGULHOS DE ITABIRITO.	
														45	3						
														46	33					REJEITO DE ARGILA ARENOSA, PRESENÇA DE PEDREGULHOS, MARROM.	
														47	25						
														48	40					PEDREGULHOS DE ITABIRITO.	
														49	42						
														50							
														51							
RQD (%):				Alteração:				Coerência:				Fraturamento:				Inclinação: 90°					
0 a 24 - Muito pobre (MP)				A1 - São				C1 - Muito coerente				F1 - Pouco fraturada				Ø	De (m)	Até (m)			
25 a 49 - Pobre (P)				A2 - Pouco alterada				C2 - Coerente				F2 - Medianamente fraturada				HQ	0,00	36,50			
50 a 74 - Regular (R)				A3 - Medianamente alterada				C3 - Medianamente coerente				F3 - Muito fraturada				NQ	36,50	60,00			
75 a 89 - Boa (B)				A4 - Muito alterada				C4 - Pouco coerente				F4 - Extremamente fraturada									
90 a 100 - Excelente (E)				A5 - Extremamente				C5 - Incoerente				F5 - Em fragmentos									

Perfuração: CR:RS-Cravação/Rotativa													Revestimento																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
N.A.	Rev. / Perf. (m)	Ensaio SPT			Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Resistência à Penetração × Profundidade					Prof. (m)	Classificação do Material																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
							1ª + 2ª	2ª + 3ª	Recuperação		RQD																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª	0	10	20	30	40			50	0	20	40	60	80	100 (%)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	Ø																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				</

Amostra	Perfuração	Diâmetro	Profundidade (m)			Golpes 15 cm			Golpes 30 cm		Manobra (cm)	Recuperação (%)	RQD (%)	Alteração	Coerência	Fraturamento	Profundidade Camada (m)	Classificação do Material											
			Inicial	1ª + 2ª	Final 2ª + 3ª	1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª																			
01	RS	HQ	0,00	–	1,00	–	–	–	–	–	100	64	–	–	–	–	0,00	REJEITO ARGILA ARENOSA, MOLE A MÉDIA, MARROM ESCURO.											
02	CR		1,00	1,28	1,45	$\frac{3}{15}$	$\frac{1}{13}$	$\frac{2}{17}$	$\frac{4}{28}$	3	–	–	–	–	–	–													
03	RS	HQ	1,45	–	2,00	–	–	–	–	–	55	95	–	–	–	–													
04	CR		2,00	2,32	2,47	$\frac{1}{15}$	$\frac{2}{17}$	$\frac{3}{15}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{5}{32}$	–	–	–	–	–	–													
05	RS	HQ	2,47	–	3,00	–	–	–	–	–	53	100	–	–	–	–													
06	CR		3,00	3,30	3,45	$\frac{3}{15}$	$\frac{4}{15}$	$\frac{6}{15}$	7	10	–	–	–	–	–	–													
07	RS	HQ	3,45	–	4,00	–	–	–	–	–	55	100	–	–	–	–													
08	CR		4,00	4,30	4,45	$\frac{5}{15}$	$\frac{7}{15}$	$\frac{7}{15}$	12	14	–	–	–	–	–	–	4,00	REJEITO ARGILA ARENOSA, RIJA A MUITO RIJA, MARROM ESCURO.											
09	RS	HQ	4,45	–	5,00	–	–	–	–	–	55	100	–	–	–	–													
10	CR		5,00	5,30	5,45	$\frac{7}{15}$	$\frac{8}{15}$	$\frac{10}{15}$	15	18	–	–	–	–	–	–													
11	RS	HQ	5,45	–	6,00	–	–	–	–	–	55	100	–	–	–	–													
12	CR		6,00	6,30	6,45	$\frac{9}{15}$	$\frac{10}{15}$	$\frac{11}{15}$	19	21	–	–	–	–	–	–													
13	RS	HQ	6,45	–	7,00	–	–	–	–	–	55	100	–	–	–	–													
14	CR		7,00	7,30	7,45	$\frac{10}{15}$	$\frac{12}{15}$	$\frac{12}{15}$	22	24	–	–	–	–	–	–													
15	RS	HQ	7,45	–	8,00	–	–	–	–	–	55	73	–	–	–	–													
16	CR		8,00	8,30	8,45	$\frac{11}{15}$	$\frac{11}{15}$	$\frac{11}{15}$	22	22	–	–	–	–	–	–													
17	RS	HQ	8,45	–	9,00	–	–	–	–	–	55	100	–	–	–	–													
18	CR		9,00	9,30	9,45	$\frac{9}{15}$	$\frac{10}{15}$	$\frac{12}{15}$	19	22	–	–	–	–	–	–													
19	RS	HQ	9,45	–	10,00	–	–	–	–	–	55	69	–	–	–	–													
20	CR		10,00	10,30	10,45	$\frac{8}{15}$	$\frac{12}{15}$	$\frac{13}{15}$	20	25	–	–	–	–	–	–													
21	RS	HQ	10,45	–	11,00	–	–	–	–	–	55	100	–	–	–	–													
22	CR		11,00	11,30	11,45	$\frac{9}{15}$	$\frac{10}{15}$	$\frac{12}{15}$	19	22	–	–	–	–	–	–													
23	RS	HQ	11,45	–	12,00	–	–	–	–	–	55	60	–	–	–	–													
24	CR		12,00	12,30	12,45	$\frac{10}{15}$	$\frac{12}{15}$	$\frac{11}{15}$	22	23	–	–	–	–	–	–													
25	RS	HQ	12,45	–	13,00	–	–	–	–	–	55	100	–	–	–	–													
26	CR		13,00	13,30	13,45	$\frac{8}{15}$	$\frac{12}{15}$	$\frac{16}{15}$	20	28	–	–	–	–	–	–													
27	RS	HQ	13,45	–	14,00	–	–	–	–	–	55	55	–	–	–	–													
RQD (%): 0 a 24 - Muito pobre (MP) 25 a 49 - Pobre (P) 50 a 74 - Regular (R) 75 a 89 - Boa (B) 90 a 100 - Excelente (E)			Alteração: A1 - Sã A2 - Pouco alterada A3 - Medianamente alterada A4 - Muito alterada A5 - Extremamente						Coerência: C1 - Muito coerente C2 - Coerente C3 - Medianamente coerente C4 - Pouco coerente C5 - Incoerente						Fraturamento: F1 - Pouco fraturada F2 - Medianamente fraturada F3 - Muito fraturada F4 - Extremamente fraturada F5 - Em fragmentos			Inclinação: 90° <table><tr><td>Ø</td><td>De (m)</td><td>Até (m)</td></tr><tr><td>HQ</td><td>0,00</td><td>36,50</td></tr><tr><td>NQ</td><td>36,50</td><td>60,00</td></tr></table>			Ø	De (m)	Até (m)	HQ	0,00	36,50	NQ	36,50	60,00
Ø	De (m)	Até (m)																											
HQ	0,00	36,50																											
NQ	36,50	60,00																											

Amostra	Perfuração	Diâmetro	Profundidade (m)			Golpes 15 cm			Golpes 30 cm		Manobra (cm)	Recuperação (%)	RQD (%)	Alteração	Coerência	Fratramento	Profundidade Camada (m)	Classificação do Material
			Inicial	1ª + 2ª	Final 2ª + 3ª	1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª								
28	CR		14,00	14,30	14,45	9 15	11 15	17 15	20	28	-	-	-	-	-	-	4,00	REJEITO ARGILA ARENOSA, RIJA A MUITO RIJA, MARROM ESCURO.
29	RS	HQ	14,45	-	15,00	-	-	-	-	-	55	56	-	-	-	-		
30	CR		15,00	15,30	15,45	9 15	14 15	15 15	23	29	-	-	-	-	-	-		
31	RS	HQ	15,45	-	16,00	-	-	-	-	-	55	100	-	-	-	-		
32	RS	HQ	16,00	-	17,00	-	-	-	-	-	100	94	-	-	-	-	16,00	COLETA DE AMOSTRA INDEFORMADA DO TIPO DENISON.
33	RS	HQ	17,00	-	17,45	-	-	-	-	-	45	0	-	-	-	-	17,00	AMOSTRA NÃO RECUPERADA.
34	RS	HQ	17,45	-	18,00	-	-	-	-	-	55	56	-	-	-	-	17,45	BLOCO DE ITABIRITO.
35	RS	HQ	18,00	-	19,50	-	-	-	-	-	150	0	-	-	-	-	18,00	AMOSTRA NÃO RECUPERADA.
36	RS	HQ	19,50	-	20,50	-	-	-	-	-	100	7	-	-	-	-	19,50	PEDREGULHOS DE ITABIRITO.
37	RS	HQ	20,50	-	21,50	-	-	-	-	-	100	7	-	-	-	-		
38	RS	HQ	21,50	-	22,50	-	-	-	-	-	100	47	-	-	-	-	21,50	REJEITO DE ARGILA ARENOSA, PRESENÇA DE PEDREGULHOS, CINZA AMARELADO.
39	RS	HQ	22,50	-	23,50	-	-	-	-	-	100	62	-	-	-	-		
40	RS	HQ	23,50	-	24,50	-	-	-	-	-	100	31	-	-	-	-		
41	RS	HQ	24,50	-	25,50	-	-	-	-	-	100	37	-	-	-	-		
42	RS	HQ	25,50	-	26,50	-	-	-	-	-	100	37	-	-	-	-	26,50	PEDREGULHOS DE ITABIRITO.
43	RS	HQ	26,50	-	27,50	-	-	-	-	-	100	75	-	-	-	-		
44	RS	HQ	27,50	-	28,50	-	-	-	-	-	100	47	-	-	-	-		
45	RS	HQ	28,50	-	29,50	-	-	-	-	-	100	55	-	-	-	-		
46	RS	HQ	29,50	-	30,50	-	-	-	-	-	100	38	-	-	-	-	30,50	REJEITO DE ARGILA ARENOSA, PRESENÇA DE PEDREGULHOS, MARROM ACINZENTADO.
47	RS	HQ	30,50	-	31,50	-	-	-	-	-	100	28	-	-	-	-		
48	RS	HQ	31,50	-	32,50	-	-	-	-	-	100	25	-	-	-	-		
49	RS	HQ	32,50	-	33,50	-	-	-	-	-	100	23	-	-	-	-	33,50	REJEITO DE ARGILA ARENOSA, PRESENÇA DE PEDREGULHOS, MARROM CLARO.
50	RS	HQ	33,50	-	35,00	-	-	-	-	-	150	67	-	-	-	-		
51	RS	HQ	35,00	-	36,50	-	-	-	-	-	150	51	-	-	-	-	36,50	AMOSTRA NÃO RECUPERADA.
52	RS	NQ	36,50	-	37,50	-	-	-	-	-	100	0	-	-	-	-	37,50	PEDREGULHOS DE ITABIRITO.
53	RS	NQ	37,50	-	38,50	-	-	-	-	-	100	3	-	-	-	-	39,50	AMOSTRA NÃO RECUPERADA.
54	RS	NQ	38,50	-	39,50	-	-	-	-	-	100	7	-	-	-	-		
55	RS	NQ	39,50	-	40,50	-	-	-	-	-	100	0	-	-	-	-	40,50	PEDREGULHOS DE ITABIRITO.
56	RS	NQ	40,50	-	41,50	-	-	-	-	-	100	3	-	-	-	-		
57	RS	NQ	41,50	-	42,50	-	-	-	-	-	100	6	-	-	-	-	42,50	AMOSTRA NÃO RECUPERADA.
58	RS	NQ	42,50	-	43,50	-	-	-	-	-	100	0	-	-	-	-	43,50	PEDREGULHOS DE ITABIRITO.
59	RS	NQ	43,50	-	44,50	-	-	-	-	-	100	6	-	-	-	-		
60	RS	NQ	44,50	-	45,50	-	-	-	-	-	100	3	-	-	-	-	45,50	REJEITO DE ARGILA ARENOSA, PRESENÇA DE PEDREGULHOS, MARROM.
61	RS	NQ	45,50	-	47,00	-	-	-	-	-	150	33	-	-	-	-		
62	RS	NQ	47,00	-	48,50	-	-	-	-	-	150	25	-	-	-	-		
RQD (%):			Alteração:			Coerência:			Fratramento:			Inclinação: 90°						
0 a 24 - Muito pobre (MP)			A1 - São			C1 - Muito coerente			F1 - Pouco fraturada			Ø			De (m) Até (m)			
25 a 49 - Pobre (P)			A2 - Pouco alterada			C2 - Coerente			F2 - Medianamente fraturada			HQ			0,00 36,50			
50 a 74 - Regular (R)			A3 - Medianamente alterada			C3 - Medianamente coerente			F3 - Muito fraturada			NQ			36,50 60,00			
75 a 89 - Boa (B)			A4 - Muito alterada			C4 - Pouco coerente			F4 - Extremamente fraturada									
90 a 100 - Excelente (E)			A5 - Extremamente			C5 - Incoerente			F5 - Em fragmentos									

Amostra	Perfuração	Diâmetro	Profundidade (m)			Golpes 15 cm			Golpes 30 cm		Manobra (cm)	Recuperação (%)	RQD (%)	Alteração	Coerência	Fraturamento	Profundidade Camada (m)	Classificação do Material
			Inicial	1ª + 2ª	Final 2ª + 3ª	1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª								
63	RS	NQ	48,50	–	50,00	–	–	–	–	–	150	40	–	–	–	–	48,50	PEDREGULHOS DE ITABIRITO.
64	RS	NQ	50,00	–	51,50	–	–	–	–	–	150	42	–	–	–	–	48,50	PEDREGULHOS DE ITABIRITO.
65	RS	NQ	51,50	–	53,00	–	–	–	–	–	150	20	–	–	–	–		
66	RS	NQ	53,00	–	54,50	–	–	–	–	–	150	25	–	–	–	–		
67	RS	NQ	54,50	–	56,00	–	–	–	–	–	150	27	–	–	–	–		
68	RS	NQ	56,00	–	57,50	–	–	–	–	–	150	0	–	–	–	–	56,00	AMOSTRA NÃO RECUPERADA.
69	RS	NQ	57,50	–	59,00	–	–	–	–	–	150	0	–	–	–	–		
70	RS	NQ	59,00	–	60,00	–	–	–	–	–	100	0	–	–	–	–		
60,00																	LIMITE DE SONDAGEM	
Obs.: Limite da sondagem conforme solicitação da contratante. Procedimento realizado segundo a norma NBR 6484:2020 - Furo finalizado a pedido da contratante.																		
</																		

SM PDR 05

Ø Amostrador		Ext.: 50,8 mm	Altura de queda: 75 cm		Cota da boca do furo:1,209.633 m		Ensaio de Avanço por Circulação de Água								
Int.: 34,9 mm		Peso: 65 kgf	Escala vertical: 1:100		Revestimento: 0.00 m		Início 10 min 20 min 30 min								
Ø Revestimento: 63.5 mm		Sistema: Manual	Nível d'água: Ausente				- - - -								
Ø Trado: 762 mm		Perfuração: CR-Cravação TC-Trado Concha CR-Cravação		Coordenadas: N 7,777,154.249 m; E 593,963.451 m; F 23S; SIRGAS2000											
N.A.	Rev. / Perf. (m)	Ensaio SPT		Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Cota (m)		Resistência à Penetração × Profundidade				Prof. (m)	Classificação do Material [01]		
		1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª		1ª + 2ª 2ª + 3ª							
Ausente	TC						0						0.00	REJEITO, ARGILO ARENO SILTOSO, MARROM, DURO, DE BAIXA PLASTICIDADE, COM PRESENÇA DE PEDRISCOS. REJEITO, ARGILO ARENO SILTOSO, MARROM, RIJO A MUITO RIJO, DE BAIXA PLASTICIDADE, COM PRESENÇA DE PEDRISCOS. REJEITO, ARGILO ARENO SILTOSO, MARROM, RIJO A DURO, DE BAIXA PLASTICIDADE, COM PRESENÇA DE PEDRISCOS. REJEITO, ARGILO ARENO SILTOSO, MARROM, MUITO RIJO A DURO, DE BAIXA PLASTICIDADE, COM PRESENÇA DE PEDRISCOS. REJEITO, ARGILO ARENO SILTOSO, MARROM, MÉDIO, DE BAIXA PLASTICIDADE, COM PRESENÇA DE PEDRISCOS. REJEITO, ARGILO ARENO SILTOSO, MARROM, RIJO A DURO, DE BAIXA PLASTICIDADE, COM PRESENÇA DE PEDRISCOS. REJEITO, ARGILO ARENO SILTOSO, MARROM, RIJO, DE BAIXA PLASTICIDADE, COM PRESENÇA DE PEDRISCOS. REJEITO, ARGILO ARENO SILTOSO, MARROM, MUITO RIJO A DURO, DE BAIXA PLASTICIDADE, COM PRESENÇA DE PEDRISCOS. REJEITO, ARGILO ARENO SILTOSO, MARROM, RIJO A DURO, DE BAIXA PLASTICIDADE, COM PRESENÇA DE PEDRISCOS. Silte argiloarenoso (areia fina a grossa) exibindo também pedregulhos milimétricos a centimétricos subangulosos de quartzo, itabirito e de solo residual de xisto, bem como resquícios vegetais. Cor marrom escura. REJEITO	
	CR	13	24	13	37	37/24	1						1.39		
	CR	5	8	10	13	18	2						2		
	CR	6	9	11	15	20	3						3		
	CR	3	8	24	11	32	4						3.45		
	CR	7	13	23	20	36	5						4.45		
	CR	3	4	5	7	9	6						5.45		
	CR	9	28	23	37	51	7						6.45		
	CR	7	8	10	15	18	8						7.45		
	CR	10	19	21	29	40	9						8.45		
	CR	9	10	38	19	48	10						9.45		
	CR	9	10	12	19	22	11						10.45		
	CR	14	21	23	35	44	12						12		
	CR	16	19	23	35	42	13						13		
	CR	10	13	26	23	39	14						14		
	CR	11	15	26	24	39	15						15		
	CR	15	13	27	30	37	16						16		
	CR	14	15	21	31	33	17						17		
	CR	15	16	17			18						18		
	CR	15	16	17			19						19		
CR	15	16	17			20						20			

Perfuração: CR:RS-Cravação/Rotativa

N.A.	Rev. / Perf. (m)	Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Compacidade /Consistência	Alteração	Consistência	Fraturamento	Cota (m)	Resistência à Penetração × Profundidade						Prof. (m)	Classificação do Material [06 Caixas de testemunho]
		1ª + 2ª	2ª + 3ª						1ª + 2ª	2ª + 3ª	Recuperação	RQD				
									0 0	10 20	20 40	30 60	40 80	50 100 (%)		
Inicial: Ausente		46/28	30/13	D				1.195,00							Silte argiloarenoso (areia fina a grossa) exibindo também pedregulhos milimétricos a centimétricos subangulosos de quartzo, itabirito e de solo residual de xisto, bem como resquícios vegetais. Cor marrom escura. REJEITO Pedregulhos de itabirito coerente de dimensão centimétrica a decimétrica, ocorrendo trechos siltoarenosos de forma dispersa de com marrom a amarelo, destacando trechos entre 34,00 e 37,00m e 45,50 e 48,50m. Cor cinza escura. ATERRO	
		25	25	MR				17								
		35	44	D				18								
		17	15/31	R				19								
		22	23	MR				20								
		28	42	D				21								
		27	28	MR				22								
	RS	29	21/31	MR				23								
		20	28	MR				24								
		23	24	MR				25								
		24	31	D				26								
		11/31	18/31	R	-	-	-	27								
		33/23	30/8	MC				28								
		31	31	C				29								
		27	35	C				30								
							31									
Compacidade/Consistência				1		2		3		4		5		6		
Areias ou siltes arenosos				F-Fofa		PC-Pouco compacta		MdC-Medianamente compacta		C-Compacta		MC-Muito compacta		—		
Argilas ou siltes argilosos				MM-Muito mole		M-Mole		Md-Média		R-Rija		MR-Muito rija		D-Dura		
RQD (%):				Alteração:		Consistência:		Fraturamento:		Rotativa						
0 a 24 - Muito pobre (MP)				A0 - São		C0 - Muito consistente		F0 - Ocasionalmente fraturada		Ø Furo: HQ						
25 a 49 - Pobre (P)				A1 - Pouco alterada		C1 - Consistente		F1 - Pouco fraturada		Inclinação: 90°						
50 a 74 - Regular (R)				A2 - Medianamente alterada		C2 - Medianamente consistente		F2 - Medianamente fraturada								
75 a 89 - Boa (B)				A3 - Muito alterada		C3 - Pouco consistente		F3 - Muito fraturada								
90 a 100 - Excelente (E)				A4 - Extremamente alterada		C4 - Sem consistência		F4 - Extremamente fraturada								

Perfuração: CR:RS-Cravação/Rotativa

N.A.	Rev. / Perf. (m)	Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Compacidade /Consistência	Alteração	Consistência	Fraturamento	Cota (m)	Resistência à Penetração × Profundidade						Prof. (m)	Classificação do Material [06 Caixas de testemunho]		
									1ª + 2ª		2ª + 3ª		Recuperação				RQD	
		0	10						20	30	40	50	0	20			40	60
Inicial: Ausente		51/26	30/11	MC				31								Pedregulhos de itabirito coerente de dimensão centimétrica a decimétrica, ocorrendo trechos siltoarenosos de forma dispersa de com marrom a amarelo, destacando trechos entre 34,00 e 37,00m e 45,50 e 48,50m. Cor cinza escura. ATERRO		
		28	38	C				32										
		19	29	C				33										
		35	32	C				34										
		27	45/29	MC				35										
		44	51	MC				36										
		30/9	—	MC				37										
		30/11	—	MC				38										
	RS	30/9	—	MC				39										
		5/0	—	MC				40										
					—	—	—	41	24									
					—	—	—	42	29									
								43	33						45,50			
								44										
								45	17									
								46	23									
Compacidade/Consistência				1		2		3		4		5		6				
Areias ou siltes arenosos				F-Fofa		PC-Pouco compacta		MdC-Medianamente compacta		C-Compacta		MC-Muito compacta		—				
Argilas ou siltes argilosos				MM-Muito mole		M-Mole		Md-Média		R-Rija		MR-Muito rija		D-Dura				
RQD (%):				Alteração:		Consistência:		Fraturamento:		Rotativa								
0 a 24 - Muito pobre (MP)				A0 - Sã		C0 - Muito consistente		F0 - Ocasionalmente fraturada		Ø Furo: HQ								
25 a 49 - Pobre (P)				A1 - Pouco alterada		C1 - Consistente		F1 - Pouco fraturada		Inclinação: 90°								
50 a 74 - Regular (R)				A2 - Medianamente alterada		C2 - Medianamente consistente		F2 - Medianamente fraturada										
75 a 89 - Boa (B)				A3 - Muito alterada		C3 - Pouco consistente		F3 - Muito fraturada										
90 a 100 - Excelente (E)				A4 - Extremamente alterada		C4 - Sem consistência		F4 - Extremamente fraturada										

N.A.	Rev. / Perf. (m)	Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Compacidade /Consistência	Alteração	Consistência	Fraturamento	Cota (m)	Resistência à Penetração × Profundidade						Prof. (m)	Classificação do Material [06 Caixas de testemunho]	
									$\frac{1^a + 2^a}{2}$	$\frac{2^a + 3^a}{2}$	Recuperação	RQD					
									0 0	10 20	20 40	30 60	40 80	50 100 (%)			
Inicial: Ausente					-	-	-	47	23					48,50	Pedregulhos de itabirito coerente de dimensão centimétrica a decimétrica, ocorrendo trechos siltoarenosos de forma dispersa de com marrom a amarelo, destacando trechos entre 34,00 e 37,00m e 45,50 e 48,50m. Cor cinza escura. ATERRO		
	RS				-	-	-	48	17								
					-	-	-	49	23						Silte arenoargiloso (areia fina a média) exibindo pedregulhos centimétricos de itabirito e canga laterítica. Cor marrom avermelhada. ATERRO		
					-	-	-	50									
					-	-	-	51	18						LIMITE DE SONDAAGEM: 60,00 m Obs.: LIMITE DA SONDAAGEM ESPECÍFICADO PELO CLIENTE		
					-	-	-	52	27								
					-	-	-	53							LIMITE DA SONDAAGEM ESPECÍFICADO PELO CLIENTE		
					-	-	-	54	83								
					-	-	-	55	40					55,20	LIMITE DA SONDAAGEM ESPECÍFICADO PELO CLIENTE		
					-	-	-	56									
					-	-	-	57	22						LIMITE DA SONDAAGEM ESPECÍFICADO PELO CLIENTE		
					-	-	-	58	79								
					-	-	-	59	30						LIMITE DA SONDAAGEM ESPECÍFICADO PELO CLIENTE		
					-	-	-	60									
								61							LIMITE DA SONDAAGEM ESPECÍFICADO PELO CLIENTE		
								62									
Compacidade/Consistência				1		2		3		4		5		6			
Areias ou siltes arenosos				F-Fofa		PC-Pouco compacta		MdC-Medianamente compacta		C-Compacta		MC-Muito compacta		—			
Argilas ou siltes argilosos				MM-Muito mole		M-Mole		Md-Média		R-Rija		MR-Muito rija		D-Dura			
RQD (%): 0 a 24 - Muito pobre (MP) 25 a 49 - Pobre (P) 50 a 74 - Regular (R) 75 a 89 - Boa (B) 90 a 100 - Excelente (E)				Alteração: A0 - São A1 - Pouco alterada A2 - Medianamente alterada A3 - Muito alterada A4 - Extremamente alterada		Consistência: C0 - Muito consistente C1 - Consistente C2 - Medianamente consistente C3 - Pouco consistente C4 - Sem consistência		Fraturamento: F0 - Ocasionalmente fraturada F1 - Pouco fraturada F2 - Medianamente fraturada F3 - Muito fraturada F4 - Extremamente fraturada		Rotativa Ø Furo: HQ Inclinação: 90°							

SM PDR 06																
Ø Amostrador		Ext.: 50,8 mm Int.: 34,9 mm		Altura de queda: 75 cm Peso: 65 kgf Escala vertical: 1:100 Sistema: Mecanizado		Cota da boca do furo: 1.210,76 m Revestimento: 0,00 m Nível d'água: 21,50 m 21,30 m		Ensaio de Avanço por Circulação de Água								
Ø Revestimento: 63,5 mm								Início	10 min	20 min	30 min					
								—	—	—	—					
Perfuração: CR:RS-Cravação/Rotativa																
N.A.	Rev. / Perf. (m)	Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Compacidade /Consistência	Alteração	Coerência	Fraturamento	Cota (m)	Resistência à Penetração × Profundidade						Prof. (m)	Classificação do Material [11 CAIXAS DE TESTEMUNHO]
		1ª + 2ª	2ª + 3ª						1ª + 2ª	2ª + 3ª	Recuperação	RQD				
									0	10	20	30	40	50		
									0	20	40	60	80	100 (%)		
	1,00	23	30	C				1.210,00	0							0,00
		11	11/31	MdC				1								
		13	16	MdC				2								
		18	19	C				3								
		12	15/29	MdC				4								
		8	9/29	MdC				5								
		17	25	C				6								
	gr	14	17	MdC				7								
		14	19	C				8								
		31	38	C				9								
		12	16	MdC				10								
		16	27	C				11								
		33	46	MC	—	—	—	12								
		21	27	MR				13								
		6	6	Md				14								
								15								
Compacidade/Consistência				1		2		3		4		5		6		
Areias ou siltes arenosos				F-Fofa		PC-Pouco compacta		MdC-Medianamente compacta		C-Compacta		MC-Muito compacta		—		
Argilas ou siltes argilosos				MM-Muito mole		M-Mole		Md-Média		R-Rija		MR-Muito rija		D-Dura		
RQD (%):				Alteração:		Coerência:		Fraturamento:		Rotativa						
0 a 24 - Muito pobre (MP)				A1 - São		C1 - Coerente		F1 - Ocasionalmente fraturada		Ø Furo: HQ						
25 a 49 - Pobre (P)				A2 - Pouco alterada		C2 - Medianamente coerente		F2 - Pouco fraturada		Inclinação: 90°						
50 a 74 - Regular (R)				A3 - Medianamente alterada		C3 - Pouco coerente		F3 - Medianamente fraturada								
75 a 89 - Boa (B)				A4 - Muito alterada		C4 - Incoerente		F4 - Muito fraturada								
90 a 100 - Excelente (E)				A5 - Extremamente alterada				F5 - Extremamente fraturada								

Perfuração: CR:RS-Cravação/Rotativa

N.A.	Rev. / Perf. (m)	Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Compacidade /Consistência	Alteração	Coerência	Fraturamento	Cota (m)	Resistência à Penetração × Profundidade						Prof. (m)	Classificação do Material [11 CAIXAS DE TESTEMUNHO]	
		1ª + 2ª	2ª + 3ª						1ª + 2ª		2ª + 3ª		Recuperação				RQD
									0	10	20	30	40	50			0
Iniciat: 21,50 m (27/02/2023 08:45) Final: 21,30 m (28/02/2023 08:35)																	
		4	5	M				1.195,00	16							Argila arenosa (fina a média) exibindo hematita e magnetita na fração areia, formato subarredondado a arredondada, bem como pedregulhos com até 2cm de canga laterítica. Destaque para trecho entre 45,50 e 50,00 com pedregulhos subangulosos de itabirito lateritizado de cor cinza escura. Cor marrom avermelhada. COLÚVIO	
		8	9	Md				17									
		9	12	R				18									
		25	26	MR				19									
		27	33	D				20									
		30	39	D				21									
		42	53/29	D				22									
CR		37	53/28	D				23									
		45	55	D				24									
		35	50	D				25									
		37	43	D	-	-	-	26									
					-	-	-	27									
					-	-	-	28									
					-	-	-	29									
					-	-	-	30									
					-	-	-	31									
Compacidade/Consistência				1		2		3		4		5		6			
Areias ou siltes arenosos				F-Fofa		PC-Pouco compacta		MdC-Medianamente compacta		C-Compacta		MC-Muito compacta		—			
Argilas ou siltes argilosos				MM-Muito mole		M-Mole		Md-Média		R-Rija		MR-Muito rija		D-Dura			
RQD (%):				Alteração:		Coerência:		Fraturamento:		Rotativa							
0 a 24 - Muito pobre (MP)				A1 - São		C1 - Coerente		F1 - Ocasionalmente fraturada		Ø Furo: HQ							
25 a 49 - Pobre (P)				A2 - Pouco alterada		C2 - Medianamente coerente		F2 - Pouco fraturada		Inclinação: 90°							
50 a 74 - Regular (R)				A3 - Medianamente alterada		C3 - Pouco coerente		F3 - Medianamente fraturada									
75 a 89 - Boa (B)				A4 - Muito alterada		C4 - Incoerente		F4 - Muito fraturada									
90 a 100 - Excelente (E)				A5 - Extremamente alterada				F5 - Extremamente fraturada									

Perfuração: CR:RS-Cravação/Rotativa

N.A.	Rev. / Perf. (m)	Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Compacidade /Consistência	Alteração	Coerência	Fraturamento	Cota (m)	Resistência à Penetração × Profundidade						Prof. (m)	Classificação do Material [11 CAIXAS DE TESTEMUNHO]
		<u>1ª + 2ª</u>							<u>2ª + 3ª</u>		Recuperação	RQD				
		0 0	10 20						20 40	30 60			40 80	50 100 (%)		
CR					-	-	-	31	100							Argila arenosa (fina a média) exibindo hematita e magnetita na fração areia, formato subarredondado a arredondada, bem como pedregulhos com até 2cm de canga laterítica. Destaque para trecho entre 45,50 e 50,00 com pedregulhos subangulosos de itabirito lateritizado de cor cinza escura. Cor marrom avermelhada. COLÚVIO
				-	-	-	32	70								
				-	-	-	33	67								
				-	-	-	34	100								
				-	-	-	35	77								
				-	-	-	36	90								
				-	-	-	37	87								
				-	-	-	38	70								
				-	-	-	39	85								
				-	-	-	40	67								
				-	-	-	41	47								
				-	-	-	42									
				-	-	-	43									
				-	-	-	44									
				-	-	-	45									
				-	-	-	46									
Compacidade/Consistência				1		2		3		4		5		6		
Areias ou siltes arenosos				F-Fofa		PC-Pouco compacta		MdC-Medianamente compacta		C-Compacta		MC-Muito compacta		—		
Argilas ou siltes argilosos				MM-Muito mole		M-Mole		Md-Média		R-Rija		MR-Muito rija		D-Dura		
RQD (%):				Alteração:		Coerência:		Fraturamento:		Rotativa						
0 a 24 - Muito pobre (MP)				A1 - São		C1 - Coerente		F1 - Ocasionalmente fraturada		Ø Furo: HQ						
25 a 49 - Pobre (P)				A2 - Pouco alterada		C2 - Medianamente coerente		F2 - Pouco fraturada		Inclinação: 90°						
50 a 74 - Regular (R)				A3 - Medianamente alterada		C3 - Pouco coerente		F3 - Medianamente fraturada								
75 a 89 - Boa (B)				A4 - Muito alterada		C4 - Incoerente		F4 - Muito fraturada								
90 a 100 - Excelente (E)				A5 - Extremamente alterada				F5 - Extremamente fraturada								

Perfuração: CR:RS-Cravação/Rotativa

N.A.	Rev. / Perf. (m)	Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Compacidade /Consistência	Alteração	Coerência	Fraturamento	Cota (m)	Resistência à Penetração × Profundidade						Prof. (m)	Classificação do Material [11 CAIXAS DE TESTEMUNHO]
		1ª + 2ª	2ª + 3ª						0	10	20	30	40	50		
									0	20	40	60	80	100 (%)		
	CR	50,00			-	-	-	47	47	67			50,00	Argila arenosa (fina a média) exibindo hematita e magnetita na fração areia, formato subarredondado a arredondada, bem como pedregulhos com até 2cm de canga laterítica. Destaque para trecho entre 45,50 e 50,00 com pedregulhos subangulosos de itabirito lateritizado de cor cinza escura. Cor marrom avermelhada. COLÚVIO		
					-	-	-	48						LIMITE DE SONDAGEM: 50,00 m		
					-	-	-	49	15					Obs.:		
								50						LIMITE DA SONDAGEM		
								51						ESPECÍFICADO PELO		
								52						CLIENTE/ATO.		
								53								
								54								
								55						EM 27/02 O NA INTERNO		
								56						DAS HASTES FOI DE		
								57						21,50M, PORÉM HOUVE		
								58						ARTESIANISMO NA PARTE		
								59						EXTERNA DAS MESMAS.		
								60								
								61						NÃO FOI POSSÍVEL MEDIR		
								62						O NA 24H POIS O		
														FERRAMENTAL		
														TRANCADO NO FIM DA		
														CAMPANHA IMPEDIU QUE		
														A COLETA FOSSE FEITA.		
Compacidade/Consistência				1		2		3		4		5		6		
Areias ou siltes arenosos				F-Fofa		PC-Pouco compacta		MdC-Medianamente compacta		C-Compacta		MC-Muito compacta		—		
Argilas ou siltes argilosos				MM-Muito mole		M-Mole		Md-Média		R-Rija		MR-Muito rija		D-Dura		
RQD (%):				Alteração:		Coerência:		Fraturamento:		Rotativa						
0 a 24 - Muito pobre (MP)				A1 - São		C1 - Coerente		F1 - Ocasionalmente fraturada		Ø Furo: HQ						
25 a 49 - Pobre (P)				A2 - Pouco alterada		C2 - Medianamente coerente		F2 - Pouco fraturada		Inclinação: 90°						
50 a 74 - Regular (R)				A3 - Medianamente alterada		C3 - Pouco coerente		F3 - Medianamente fraturada								
75 a 89 - Boa (B)				A4 - Muito alterada		C4 - Incoerente		F4 - Muito fraturada								
90 a 100 - Excelente (E)				A5 - Extremamente alterada				F5 - Extremamente fraturada								

SM PDR 07

Ø Amostrador	Ext.: 50,8 mm Int.: 34,9 mm	Altura de queda: 75 cm Peso: 65 kgf	Cota da boca do furo: 1,208.60 m Revestimento: 12.00 m	Ensaio de Avanço por Circulação de Água			
Ø Revestimento:	73.2 mm	Escala vertical: 1:100	Nível d'água: 1.90 m	Início	10 min	20 min	30 min
Ø Trado:	76.2 mm	Sistema: Manual	2.04 m	20.72 m	4.0 cm	2.0 cm	1.0 cm

Perfuração: CA-Circulação de Água TC-Trado Concha Cravação

N.A.	Rev. / Perf. (m)	Ensaio SPT			Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Cota (m)	Resistência à Penetração × Profundidade						Prof. (m)	Classificação do Material [02]	
		1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª		1ª + 2ª 2ª + 3ª								
Inicial: 1.90 m	1.90														0.00	REJEITO, ARGILO ARENO SILTOSO, MARROM, MÉDIO A RIJO, DE BAIXA PLASTICIDADE E PRESENÇA DE PEDRISCOS.
															1	
															2	
															3	
															4	REJEITO, ARGILO ARENO SILTOSO, MARROM, MÉDIO A RIJO, DE BAIXA PLASTICIDADE E PRESENÇA DE PEDRISCOS.
															5	
															6	
															7	REJEITO, ARGILO ARENO SILTOSO, MARROM, MOLE, DE BAIXA PLASTICIDADE E PRESENÇA DE PEDRISCOS.
															8	
															9	
															10	REJEITO, ARGILO ARENO SILTOSO, MARROM, RIJO A MUITO RIJO, DE BAIXA PLASTICIDADE E PRESENÇA DE PEDRISCOS.
															11	
															12	
															13	
															14	
															15	
															16	
															17	
															18	
															19	
															20	
															21	
															22	
															23	
															24	
															25	
															26	
													27			
													28			
													29			
													30			
													31			
													32			
													33			
													34			
													35			
													36			
													37			
													38			
													39			
													40			
													41			
													42			
													43			
													44			
													45			
													46			
													47			
													48			
													49			
													50			
													51			
													52			
													53			
													54			
													55			
													56			
													57			
													58			
													59			
													60			
													61			
													62			
													63			
													64			
													65			
													66			
													67			
													68			
													69			
													70			
													71			
													72			
													73			
													74			
													75			
													76			
													77			
													78			
													79			
													80			
													81			
													82			
													83			
													84			
													85			
													86			
													87			
													88			
													89			
													90			
													91			
													92			
													93			
													94			
													95			
													96			
													97			
													98			
													99			
													100			
													101			
													102			
													103			
													104			
													105			
													106			
													107			
													108			
													109			
													110			
													111			
													112			
													113			
													114			
													115			
													116			
													117			
													118			
													119			
													120			
													121			
													122			
													123			
													124			
													125			
													126			
													127			
													128			
													129			
													130			
													131			
													132			
													133			
													134			
													135			
													136			
													137			
													138			
													139			
													140			
													141			
													142			
													143			
													144			
													145			
													146			
													147			
													148			
													149			
													150			
													151			
													152			
													153			
													154			
													155			
													156			
													157			
													158			
													159			
													160			
													161			
													162			
													163			
													164			
													165			
													166			
													167			
													168			
													169			
													170			
													171			
													172			
													173			
													174			
													175			
													176			
													177			
													178			
													179			
													180			
													181			
													182			
													183			
													184			
													185			
													186			

Perfuração: CR:RS-Cravação/Rotativa

N.A.	Rev. / Perf. (m)	Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Compacidade /Consistência	Alteração	Consistência	Fraturamento	Cota (m)	Resistência à Penetração × Profundidade						Prof. (m)	Classificação do Material		
									1ª + 2ª		2ª + 3ª		Recuperação				RQD	
		0	10						20	30	40	50	0	20			40	60
Final: 29,05 m (23/11/2022 08:30)															20,00	Silte argiloso com pedregulhos finos de quartzo e hematita, angulosos a subangulosos, variando de 2mm a 1cm. Com cor marrom avermelhada. COLÚVIO		
		34	50	D														
		26	42	D														
		46/28	30/13	D														
		30	49/29	D														
		22/31	32	D														
		20	28	MR												26,00	Silte arenoso (areia fina à grossa) com pedregulhos angulosos a subangulosos de laterita e canga com até 4cm, e em menor proporção quartzo. Com cor variegada transicional, de marrom avermelhado a marrom amarelado, havendo trechos com maior proporção de areia na composição. SOLO RESIDUAL MADURO	
		27	33	C														
		29	38	C														
		30	42	MC														
		31	39	C	-	-	-											
					-	-	-											
Compacidade/Consistência		1		2		3		4		5		6						
Areias ou siltes arenosos		F-Fofa		PC-Pouco compacta		MdC-Medianamente compacta		C-Compacta		MC-Muito compacta		—						
Argilas ou siltes argilosos		MM-Muito mole		M-Mole		Md-Média		R-Rija		MR-Muito rija		D-Dura						
RQD (%):		Alteração:		Consistência:		Fraturamento:		Rotativa										
0 a 24 - Muito pobre (MP)		A0 - Sã		C0 - Muito consistente		F0 - Ocasionalmente fraturada		Ø Furo: HQ										
25 a 49 - Pobre (P)		A1 - Pouco alterada		C1 - Consistente		F1 - Pouco fraturada		Inclinação: 90°										
50 a 74 - Regular (R)		A2 - Medianamente alterada		C2 - Medianamente consistente		F2 - Medianamente fraturada												
75 a 89 - Boa (B)		A3 - Muito alterada		C3 - Pouco consistente		F3 - Muito fraturada												
90 a 100 - Excelente (E)		A4 - Extremamente alterada		C4 - Sem consistência		F4 - Extremamente fraturada												

Perfuração: CR:RS-Cravação/Rotativa

N.A.	Rev. / Perf. (m)	Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Compacidade /Consistência	Alteração	Consistência	Fraturamento	Cota (m)	Resistência à Penetração × Profundidade						Prof. (m)	Classificação do Material
		<u>1ª + 2ª</u>							<u>2ª + 3ª</u>		<u>Recuperação</u>	<u>RQD</u>				
		0 0	10 20						20 40	30 60	40 80	50 100 (%)				
RS						-	-	31	72							Silte arenoso (areia fina à grossa) com pedregulhos angulosos a subangulosos de laterita e canga com até 4cm, e em menor proporção quartzo. Com cor variegada transicional, de marrom avermelhado a marrom amarelado, havendo trechos com maior proporção de areia na composição. SOLO RESIDUAL MADURO
					-	-	32	46								
					-	-	33									
					-	-	34	77								
					-	-	35	100								
					-	-	36									
					-	-	37	32								
					-	-	38	17								
					-	-	39									
					-	-	40	47								
					-	-	41	75								
					-	-	42									
					-	-	43	39								
					-	-	44									
					-	-	45	27								
					-	-	46	45								
Compacidade/Consistência				1		2		3		4		5		6		
Areias ou siltes arenosos				F-Fofa		PC-Pouco compacta		MdC-Medianamente compacta		C-Compacta		MC-Muito compacta		—		
Argilas ou siltes argilosos				MM-Muito mole		M-Mole		Md-Média		R-Rija		MR-Muito rija		D-Dura		
RQD (%):				Alteração:		Consistência:		Fraturamento:		Rotativa		Ø Furo: HQ Inclinação: 90°				
0 a 24 - Muito pobre (MP)				A0 - Sã		C0 - Muito consistente		F0 - Ocasionalmente fraturada								
25 a 49 - Pobre (P)				A1 - Pouco alterada		C1 - Consistente		F1 - Pouco fraturada								
50 a 74 - Regular (R)				A2 - Medianamente alterada		C2 - Medianamente consistente		F2 - Medianamente fraturada								
75 a 89 - Boa (B)				A3 - Muito alterada		C3 - Pouco consistente		F3 - Muito fraturada								
90 a 100 - Excelente (E)				A4 - Extremamente alterada		C4 - Sem consistência		F4 - Extremamente fraturada								

Perfuração: CR:RS-Cravação/Rotativa

N.A.	Rev. / Perf. (m)	Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Compacidade /Consistência	Alteração	Consistência	Fraturamento	Cota (m)	Resistência à Penetração × Profundidade						Prof. (m)	Classificação do Material
		1ª + 2ª	2ª + 3ª						Recuperação		RQD					
									0	10		20	30	40		
									0	20	40	60	80	100 (%)		
RS	60,00				-	-	-	47	45							

SM PDR 08																				
Ø Amostrador		Ext.: 50,8 mm		Altura de queda: 75 cm		Revestimento:		18,00 m		Coordenadas										
		Int.: 34,9 mm		Peso: 65 kgf						Norte:										
		Ø Revestimento: 63,5 mm		Escala vertical: 1:100						Este:										
				Sistema: Manual		Nível d'água:		0,00 m		Fuso: 23S		Datum: SIRGAS2000								
Perfuração: ☒ CR:RS-Cravação/Rotativa ☐ Cravação ☐ Revestimento																				
N.A.	Rev. / Perf. (m)	Ensaio SPT			Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Resistência à Penetração × Profundidade						Prof. (m)	Classificação do Material						
							1ª + 2ª		2ª + 3ª		Recuperação				RQD					
		1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª	0	10	20	30	40	50			0	20	40	60	80	100 (%)
0,00 m	CR:RS HQ						0												0,00	REJEITO ARGILA ARENO SILTOSA, MARROM ESCURO.
							1												1,00	REJEITO ARGILA ARENO SILTOSA, MUITO MOLE A MOLE, MARROM ESCURO.
							2												2,55	AMOSTRA NÃO RECUPERADA.
							3												3,00	
							4													REJEITO ARGILA ARENO SILTOSA, RIJA A MUITO RIJA, MARROM ESCURO.
							5													
							6													
							7													
							8													
							9													
							10													
							11													
							12													
							13													
							14													
							15													
							16													
					17															
RQD (%):		Alteração:		Coerência:		Fraturamento:		Inclinação: 90°												
0 a 24 - Muito pobre (MP)		A1 - São		C1 - Muito coerente		F1 - Pouco fraturada		Ø		De (m)		Até (m)								
25 a 49 - Pobre (P)		A2 - Pouco alterada		C2 - Coerente		F2 - Medianamente fraturada		HQ		0,00		29,00								
50 a 74 - Regular (R)		A3 - Medianamente alterada		C3 - Medianamente coerente		F3 - Muito fraturada		NQ		29,00		53,20								
75 a 89 - Boa (B)		A4 - Muito alterada		C4 - Pouco coerente		F4 - Extremamente fraturada														
90 a 100 - Excelente (E)		A5 - Extremamente		C5 - Incoerente		F5 - Em fragmentos														

Perfuração: CR:RS-Cravação/Rotativa																								
N.A.	Rev. / Perf. (m)	Ensaio SPT			Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Resistência à Penetração × Profundidade						Prof. (m)	Classificação do Material										
		1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª																		
							0	10	20	30	40	50												
							0	20	40	60	80	100 (%)												
CR:RS	HQ	12	14	17	26	31	17							17,00	REJEITO ARGILA ARENO SILTOSA, DURA, MARROM ESCURO.									
		15	15	15			18							100										
		15	16	18	31	34	19						89											
		15	15	15																				
		14	16	18	30	34	20	35					100	20,00		REJEITO ARGILA ARENO SILTOSA, PRESENÇA DE PEDREGULHOS, MARROM ESCURO. PEDREGULHOS DE ITABIRITO. REJEITO ARGILA SILTO ARENOSA, AREIA FINA, PRESENÇA DE PEDREGULHOS, MARROM CLARO.								
		15	15	15			21	80					66	20,50										
		15	15	15			22	5						21,10										
		15	15	15			23	5																
		24	21				24									PEDREGULHOS DE ITABIRITO.								
		25	31				25																	
		26	57				26																	
		27	33				27																	
		28	32				28																	
		29	24				29	42																
		30					30																	
		31					31								AMOSTRA NÃO RECUPERADA.									
		32					32																	
33	15				33																			
34	22				34								32,50	REJEITO ARGILA SILTO ARENOSA, AREIA FINA, PRESENÇA DE PEDREGULHOS, MARROM CLARO.										
RQD (%):					Alteração:					Coerência:					Fraturamento:			Inclinação: 90°						
0 a 24 - Muito pobre (MP)					A1 - São					C1 - Muito coerente					F1 - Pouco fraturada			Ø			De (m)		Até (m)	
25 a 49 - Pobre (P)					A2 - Pouco alterada					C2 - Coerente					F2 - Medianamente fraturada			HQ			0,00		29,00	
50 a 74 - Regular (R)					A3 - Medianamente alterada					C3 - Medianamente coerente					F3 - Muito fraturada			NQ			29,00		53,20	
75 a 89 - Boa (B)					A4 - Muito alterada					C4 - Pouco coerente					F4 - Extremamente fraturada									
90 a 100 - Excelente (E)					A5 - Extremamente					C5 - Incoerente					F5 - Em fragmentos									

Perfuração: CR:RS-Cravação/Rotativa															Revestimento														
N.A.	Rev. / Perf. (m)	Ensaio SPT			Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Resistência à Penetração × Profundidade										Prof. (m)	Classificação do Material											
		1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª	1ª + 2ª		2ª + 3ª		Recuperação		RQD																
							0	10	20	30	40	50	0	20	40	60			80	100 (%)									
CR:RS	NQ						34	22							34,50	REJEITO ARGILA SILTO ARENOSA, AREIA FINA, PRESENÇA DE PEDREGULHOS, MARROM CLARO. REJEITO ARGILA SILTO ARENOSA, GRÃOS DE AREIA FINO, MARROM AMARELADO.													
							35	35																					
							36	56							36,50														
							37	18							37,00	PEDREGULHOS DE ITABIRITO.													
							38	0								AMOSTRA NÃO RECUPERADA.													
							39	19							38,00	REJEITO ARGILA ARENO SILTOSA, PRESENÇA DE PEDREGULHOS, MARROM CLARO.													
							40	33																					
							41	8																					
							42	78							42,00	PEDREGULHOS DE ITABIRITO.													
							43	13							42,60														
							44	0								AMOSTRA NÃO RECUPERADA.													
							45	22							43,60	PEDREGULHOS DE ITABIRITO.													
							46	0							44,60	AMOSTRA NÃO RECUPERADA.													
							47	11							46,10	PEDREGULHOS DE ITABIRITO.													
							48	25																					
							49	25																					
							50	29																					
							51	19																					
RQD (%):					Alteração:					Coerência:					Fraturamento:					Inclinação: 90°									
0 a 24 - Muito pobre (MP)					A1 - São					C1 - Muito coerente					F1 - Pouco fraturada					Ø	De (m)	Até (m)							
25 a 49 - Pobre (P)					A2 - Pouco alterada					C2 - Coerente					F2 - Medianamente fraturada					HQ	0,00	29,00							
50 a 74 - Regular (R)					A3 - Medianamente alterada					C3 - Medianamente coerente					F3 - Muito fraturada					NQ	29,00	53,20							
75 a 89 - Boa (B)					A4 - Muito alterada					C4 - Pouco coerente					F4 - Extremamente fraturada														
90 a 100 - Excelente (E)					A5 - Extremamente					C5 - Incoerente					F5 - Em fragmentos														

Perfuração: CR:RS - Cravação/Rotativa Cravação Revestimento																														
N.A.	Rev. / Perf. (m)	Ensaio SPT			Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Resistência à Penetração × Profundidade						Prof. (m)	Classificação do Material																
		1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª	1ª + 2ª		2ª + 3ª		Recuperação	RQD																		
							0	10	20	30					40	50														
							0	20	40	60	80	100 (%)																		
	CR:RS						51	19							PEDREGULHOS DE ITABIRITO. LIMITE DE SONDAGEM <u>Obs.:</u> Limite da sondagem conforme solicitação da contratante. Procedimento realizado segundo a norma NBR 6484:2020 - Furo finalizado a pedido da contratante.															
	NQ						52					100																		
	53,20						53	41						53,20																
							54																							
							55																							
							56																							
							57																							
							58																							
							59																							
							60																							
							61																							
							62																							
							63																							
							64																							
							65																							
							66																							
							67																							
							68																							
RQD (%): 0 a 24 - Muito pobre (MP) 25 a 49 - Pobre (P) 50 a 74 - Regular (R) 75 a 89 - Boa (B) 90 a 100 - Excelente (E)						Alteração: A1 - São A2 - Pouco alterada A3 - Medianamente alterada A4 - Muito alterada A5 - Extremamente					Coerência: C1 - Muito coerente C2 - Coerente C3 - Medianamente coerente C4 - Pouco coerente C5 - Incoerente					Fratramento: F1 - Pouco fraturada F2 - Medianamente fraturada F3 - Muito fraturada F4 - Extremamente fraturada F5 - Em fragmentos			Inclinação: 90° <table><tr><th>Ø</th><th>De (m)</th><th>Até (m)</th></tr><tr><td>HQ</td><td>0,00</td><td>29,00</td></tr><tr><td>NQ</td><td>29,00</td><td>53,20</td></tr></table>			Ø	De (m)	Até (m)	HQ	0,00	29,00	NQ	29,00	53,20
Ø	De (m)	Até (m)																												
HQ	0,00	29,00																												
NQ	29,00	53,20																												

Perfuração: CR:RS-Cravação/Rotativa																						
Amostra	Perfuração	Diâmetro	Profundidade (m)			Golpes 15 cm			Golpes 30 cm		Manobra (cm)	Recuperação (%)	RQD (%)	Alteração	Coerência	Fraturamento	Profundidade Camada (m)	Classificação do Material				
			Inicial	1ª + 2ª	Final 2ª + 3ª	1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª												
01	RS	HQ	0,00	–	1,00	–	–	–	–	–	100	100	–	–	–	–	0,00	REJEITO ARGILA ARENO SILTOSA, MARROM ESCURO.				
02	CR		1,00	1,35	1,50	$\frac{2}{18}$	$\frac{2}{17}$	$\frac{3}{15}$	$\frac{4}{35}$	$\frac{5}{32}$	–	–	–	–	–	–	1,00	REJEITO ARGILA ARENO SILTOSA, MUITO MOLE A MOLE, MARROM ESCURO.				
03	RS	HQ	1,50	–	2,00	–	–	–	–	–	50	100	–	–	–	–						
04	CR		2,00	2,40	2,55	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{15}$	$\frac{2}{40}$	$\frac{2}{35}$	–	–	–	–	–	–						
05	RS	HQ	2,55	–	3,00	–	–	–	–	–	45	0	–	–	–	–	2,55	AMOSTRA NÃO RECUPERADA.				
06	CR		3,00	3,30	3,45	$\frac{5}{15}$	$\frac{5}{15}$	$\frac{11}{15}$	10	16	–	–	–	–	–	–	3,00	REJEITO ARGILA ARENO SILTOSA, RIJA A MUITO RIJA, MARROM ESCURO.				
07	RS	HQ	3,45	–	4,00	–	–	–	–	–	55	55	–	–	–	–						
08	CR		4,00	4,30	4,45	$\frac{8}{15}$	$\frac{13}{15}$	$\frac{14}{15}$	21	27	–	–	–	–	–	–						
09	RS	HQ	4,45	–	5,00	–	–	–	–	–	55	100	–	–	–	–						
10	CR		5,00	5,30	5,45	$\frac{9}{15}$	$\frac{14}{15}$	$\frac{16}{15}$	23	30	–	–	–	–	–	–						
11	RS	HQ	5,45	–	6,00	–	–	–	–	–	55	100	–	–	–	–						
12	CR		6,00	6,30	6,45	$\frac{9}{15}$	$\frac{13}{15}$	$\frac{16}{15}$	22	29	–	–	–	–	–	–						
13	RS	HQ	6,45	–	7,00	–	–	–	–	–	55	100	–	–	–	–						
14	CR		7,00	7,30	7,45	$\frac{10}{15}$	$\frac{13}{15}$	$\frac{16}{15}$	23	29	–	–	–	–	–	–						
15	RS	HQ	7,45	–	8,00	–	–	–	–	–	55	100	–	–	–	–						
16	CR		8,00	8,30	8,45	$\frac{4}{15}$	$\frac{8}{15}$	$\frac{15}{15}$	12	23	–	–	–	–	–	–						
17	RS	HQ	8,45	–	9,00	–	–	–	–	–	55	55	–	–	–	–						
18	CR		9,00	9,30	9,45	$\frac{6}{15}$	$\frac{12}{15}$	$\frac{18}{15}$	18	30	–	–	–	–	–	–						
19	RS	HQ	9,45	–	10,00	–	–	–	–	–	55	49	–	–	–	–						
20	CR		10,00	10,30	10,45	$\frac{5}{15}$	$\frac{7}{15}$	$\frac{12}{15}$	12	19	–	–	–	–	–	–						
21	RS	HQ	10,45	–	11,00	–	–	–	–	–	55	82	–	–	–	–						
22	CR		11,00	11,30	11,45	$\frac{6}{15}$	$\frac{8}{15}$	$\frac{13}{15}$	14	21	–	–	–	–	–	–						
23	RS	HQ	11,45	–	12,00	–	–	–	–	–	55	100	–	–	–	–						
24	CR		12,00	12,30	12,45	$\frac{8}{15}$	$\frac{12}{15}$	$\frac{13}{15}$	20	25	–	–	–	–	–	–						
25	RS	HQ	12,45	–	13,00	–	–	–	–	–	55	55	–	–	–	–						
26	CR		13,00	13,30	13,45	$\frac{9}{15}$	$\frac{11}{15}$	$\frac{12}{15}$	20	23	–	–	–	–	–	–						
27	RS	HQ	13,45	–	14,00	–	–	–	–	–	55	36	–	–	–	–						
RQD (%):			Alteração:			Coerência:			Fraturamento:			Inclinação: 90°										
0 a 24 - Muito pobre (MP)			A1 - São			C1 - Muito coerente			F1 - Pouco fraturada			Ø			De (m)					Até (m)		
25 a 49 - Pobre (P)			A2 - Pouco alterada			C2 - Coerente			F2 - Medianamente fraturada			HQ			0,00					29,00		
50 a 74 - Regular (R)			A3 - Medianamente alterada			C3 - Medianamente coerente			F3 - Muito fraturada			NQ			29,00					53,20		
75 a 89 - Boa (B)			A4 - Muito alterada			C4 - Pouco coerente			F4 - Extremamente fraturada													
90 a 100 - Excelente (E)			A5 - Extremamente			C5 - Incoerente			F5 - Em fragmentos													

Perfuração: CR:RS-Cravação/Rotativa																		
Amostra	Perfuração	Diâmetro	Profundidade (m)			Golpes 15 cm			Golpes 30 cm		Manobra (cm)	Recuperação (%)	RQD (%)	Alteração	Coerência	Fraturamento	Profundidade Camada (m)	Classificação do Material
			Inicial	1ª + 2ª	Final 2ª + 3ª	1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª								
28	CR		14,00	14,30	14,45	8 15	11 15	13 15	19	24	—	—	—	—	—	—	3,00	REJEITO ARGILA ARENO SILTOSA, RIJA A MUITO RIJA, MARROM ESCURO.
29	RS	HQ	14,45	—	15,00	—	—	—	—	—	55	45	—	—	—	—		
30	CR		15,00	15,30	15,45	9 15	12 15	14 15	21	26	—	—	—	—	—	—		
31	RS	HQ	15,45	—	16,00	—	—	—	—	—	55	100	—	—	—	—		
32	CR		16,00	16,30	16,45	10 15	13 15	15 15	23	28	—	—	—	—	—	—		
33	RS	HQ	16,45	—	17,00	—	—	—	—	—	55	100	—	—	—	—		
34	CR		17,00	17,30	17,45	12 15	14 15	17 15	26	31	—	—	—	—	—	—	17,00	REJEITO ARGILA ARENO SILTOSA, DURA, MARROM ESCURO.
35	RS	HQ	17,45	—	18,00	—	—	—	—	—	55	100	—	—	—	—		
36	CR		18,00	18,30	18,45	15 15	16 15	18 15	31	34	—	—	—	—	—	—		
37	RS	HQ	18,45	—	19,00	—	—	—	—	—	55	89	—	—	—	—		
38	CR		19,00	19,30	19,45	14 15	16 15	18 15	30	34	—	—	—	—	—	—		
39	RS	HQ	19,45	—	20,00	—	—	—	—	—	55	35	—	—	—	—		
40	RS	HQ	20,00	—	20,50	—	—	—	—	—	50	100	—	—	—	—	20,00	REJEITO ARGILA ARENO SILTOSA, PRESENÇA DE PEDREGULHOS, MARROM ESCURO.
41	RS	HQ	20,50	—	20,60	—	—	—	—	—	10	100	—	—	—	—	20,50	PEDREGULHOS DE ITABIRITO.
42	RS	HQ	20,60	—	21,10	—	—	—	—	—	50	80	—	—	—	—	20,60	REJEITO ARGILA SILTO ARENOSA, AREIA FINA, PRESENÇA DE PEDREGULHOS, MARROM CLARO.
43	RS	HQ	21,10	—	21,87	—	—	—	—	—	77	66	—	—	—	—	21,10	PEDREGULHOS DE ITABIRITO.
44	RS	HQ	21,87	—	22,87	—	—	—	—	—	100	5	—	—	—	—		
45	RS	HQ	22,87	—	23,87	—	—	—	—	—	100	5	—	—	—	—		
46	RS	HQ	23,87	—	24,87	—	—	—	—	—	100	21	—	—	—	—		
47	RS	HQ	24,87	—	25,87	—	—	—	—	—	100	31	—	—	—	—		
48	RS	HQ	25,87	—	26,87	—	—	—	—	—	100	57	—	—	—	—		
49	RS	HQ	26,87	—	27,87	—	—	—	—	—	100	33	—	—	—	—		
50	RS	HQ	27,87	—	28,50	—	—	—	—	—	63	32	—	—	—	—		
51	RS	HQ	28,50	—	29,00	—	—	—	—	—	50	24	—	—	—	—		
52	RS	NQ	29,00	—	29,50	—	—	—	—	—	50	42	—	—	—	—		
53	RS	NQ	29,50	—	31,00	—	—	—	—	—	150	0	—	—	—	—		
54	RS	NQ	31,00	—	31,50	—	—	—	—	—	50	0	—	—	—	—		
55	RS	NQ	31,50	—	32,50	—	—	—	—	—	100	0	—	—	—	—		
56	RS	NQ	32,50	—	33,50	—	—	—	—	—	100	15	—	—	—	—	32,50	REJEITO ARGILA SILTO ARENOSA, AREIA FINA, PRESENÇA DE PEDREGULHOS, MARROM CLARO.
57	RS	NQ	33,50	—	34,50	—	—	—	—	—	100	22	—	—	—	—		
RQD (%):			Alteração:			Coerência:			Fraturamento:			Inclinação: 90°						
0 a 24 - Muito pobre (MP)																		
25 a 49 - Pobre (P)																		
50 a 74 - Regular (R)																		
75 a 89 - Boa (B)																		
90 a 100 - Excelente (E)																		
			A1 - São			C1 - Muito coerente			F1 - Pouco fraturada			Ø						
			A2 - Pouco alterada			C2 - Coerente			F2 - Medianamente fraturada			HQ						
			A3 - Medianamente alterada			C3 - Medianamente coerente			F3 - Muito fraturada			0,00						
			A4 - Muito alterada			C4 - Pouco coerente			F4 - Extremamente fraturada			29,00						
			A5 - Extremamente			C5 - Incoerente			F5 - Em fragmentos			53,20						

Perfuração: CR:RS-Cravação/Rotativa

Amostra	Perfuração	Diâmetro	Profundidade (m)			Golpes 15 cm			Golpes 30 cm		Manobra (cm)	Recuperação (%)	RQD (%)	Alteração	Coerência	Fraturamento	Profundidade Camada (m)	Classificação do Material
			Inicial	1ª + 2ª	Final 2ª + 3ª	1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª								
58	RS	NQ	34,50	—	35,50	—	—	—	—	—	100	35	—	—	—	—	34,50	REJEITO ARGILA SILTO ARENOSA, GRÃOS DE AREIA FINO, MARROM AMARELADO.
59	RS	NQ	35,50	—	36,50	—	—	—	—	—	100	56	—	—	—	—		
60	RS	NQ	36,50	—	37,00	—	—	—	—	—	50	18	—	—	—	—	36,50	PEDREGULHOS DE ITABIRITO.
61	RS	NQ	37,00	—	38,00	—	—	—	—	—	100	0	—	—	—	—	37,00	AMOSTRA NÃO RECUPERADA.
62	RS	NQ	38,00	—	39,50	—	—	—	—	—	150	19	—	—	—	—	38,00	REJEITO ARGILA ARENO SILTOSA, PRESENÇA DE PEDREGULHOS, MARROM CLARO.
63	RS	NQ	39,50	—	40,50	—	—	—	—	—	100	33	—	—	—	—		
64	RS	NQ	40,50	—	41,50	—	—	—	—	—	100	8	—	—	—	—		
65	RS	NQ	41,50	—	42,00	—	—	—	—	—	50	78	—	—	—	—		
66	RS	NQ	42,00	—	42,60	—	—	—	—	—	60	13	—	—	—	—	42,00	PEDREGULHOS DE ITABIRITO.
67	RS	NQ	42,60	—	43,60	—	—	—	—	—	100	0	—	—	—	—	42,60	AMOSTRA NÃO RECUPERADA.
68	RS	NQ	43,60	—	44,60	—	—	—	—	—	100	22	—	—	—	—	43,60	PEDREGULHOS DE ITABIRITO.
69	RS	NQ	44,60	—	46,10	—	—	—	—	—	150	0	—	—	—	—	44,60	AMOSTRA NÃO RECUPERADA.
70	RS	NQ	46,10	—	47,60	—	—	—	—	—	150	11	—	—	—	—	46,10	PEDREGULHOS DE ITABIRITO.
71	RS	NQ	47,60	—	48,00	—	—	—	—	—	40	25	—	—	—	—		
72	RS	NQ	48,00	—	49,00	—	—	—	—	—	100	25	—	—	—	—		
73	RS	NQ	49,00	—	50,20	—	—	—	—	—	120	29	—	—	—	—		
74	RS	NQ	50,20	—	51,50	—	—	—	—	—	130	19	—	—	—	—		
75	RS	NQ	51,50	—	52,20	—	—	—	—	—	70	100	—	—	—	—		
76	RS	NQ	52,20	—	53,20	—	—	—	—	—	100	41	—	—	—	—		
53,20																	LIMITE DE SONDAGEM	

Obs.: Limite da sondagem conforme solicitação da contratante. Procedimento realizado segundo a norma NBR 6484:2020 - Furo finalizado a pedido da contratante.

RQD (%): 0 a 24 - Muito pobre (MP) 25 a 49 - Pobre (P) 50 a 74 - Regular (R) 75 a 89 - Boa (B) 90 a 100 - Excelente (E)	Alteração: A1 - São A2 - Pouco alterada A3 - Medianamente alterada A4 - Muito alterada A5 - Extremamente	Coerência: C1 - Muito coerente C2 - Coerente C3 - Medianamente coerente C4 - Pouco coerente C5 - Incoerente	Fraturamento: F1 - Pouco fraturada F2 - Medianamente fraturada F3 - Muito fraturada F4 - Extremamente fraturada F5 - Em fragmentos	Inclinação: 90°		
				Ø	De (m)	Até (m)
				HQ	0,00	29,00
				NQ	29,00	53,20

SM PDR 09															
Ø Amostrador Ø Revestimento:		Ext.: 50,8 mm Int.: 34,9 mm		Altura de queda: 75 cm Peso: 65 kgf Escala vertical: 1:100 Sistema: Manual		Revestimento: 24,00 m Nível d'água: 0,00 m		Coordenadas							
								Norte:							
								Este:							
								Fuso: 23S		Datum: SIRGAS2000					
Perfuração: CR:RS Cravação/Rotativa ☒ Cravação ☐ Revestimento ☐															
N.A.	Rev. / Perf. (m)	Ensaio SPT			Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Resistência à Penetração × Profundidade						Prof. (m)	Classificação do Material	
		1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª	1ª + 2ª 2ª + 3ª Recuperação RQD								
							0	10	20	30	40	50			100 (%)
	0,00 m														REJEITO ARGILA ARENO SILTOSO, MÉDIA A RIJA, MARROM ESCURO.
															REJEITO ARGILA ARENO SILTOSO, RIJA A MUITO RIJA, MARROM ESCURO.
															AMOSTRA NÃO RECUPERADA.
															REJEITO ARGILA ARENO SILTOSO, RIJA A MUITO RIJA, MARROM ESCURO.

Perfuração: CR:RS-Cravação/Rotativa															Revestimento							
N.A.	Rev. / Perf. (m)	Ensaio SPT			Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Resistência à Penetração × Profundidade						Prof. (m)	Classificação do Material								
		1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª	1ª + 2ª		2ª + 3ª		Recuperação	RQD										
							0	10	20	30					40	50						
							0	20	40	60	80	100 (%)										
CR:RS	NQ						34	15							BLOCO DE ITABIRITO E PEDREGULHOS.							
							35		40				35,00	REJEITO ARGILA ARENO SILTOSO, MARROM AMARELADO.								
							36		30													
							37		35				37,00									
							38	4						PEDREGULHOS DE ITABIRITO.								
							39	10					39,20									
							40	0						AMOSTRA NÃO RECUPERADA.								
							41	10					40,00	PEDREGULHOS DE ITABIRITO.								
							42	5					41,00									
							43		27													
							44	15						REJEITO ARGILA ARENO SILTOSO, MARROM AMARELADO.								
							45	13														
							46		30				46,00									
							47		20					REJEITO ARGILA ARENOSA, MARROM ESCURO.								
							48	12														
							49	10					49,00									
							50	0						AMOSTRA NÃO RECUPERADA.								
							51	0					51,00									
		RQD (%):					Alteração:					Coerência:					Fraturamento:			Inclinação: 90°		
		0 a 24 - Muito pobre (MP)					A1 - São					C1 - Muito coerente					F1 - Pouco fraturada			Ø		
25 a 49 - Pobre (P)					A2 - Pouco alterada					C2 - Coerente					F2 - Medianamente fraturada			HQ			0,00	32,80
50 a 74 - Regular (R)					A3 - Medianamente alterada					C3 - Medianamente coerente					F3 - Muito fraturada			NQ			32,80	60,00
75 a 89 - Boa (B)					A4 - Muito alterada					C4 - Pouco coerente					F4 - Extremamente fraturada							
90 a 100 - Excelente (E)					A5 - Extremamente					C5 - Incoerente					F5 - Em fragmentos							

Perfuração: CR:RS-Cravação/Rotativa																			
Amostra	Perfuração	Diâmetro	Profundidade (m)			Golpes 15 cm			Golpes 30 cm		Manobra (cm)	Recuperação (%)	RQD (%)	Alteração	Coerência	Fratramento	Profundidade Camada (m)	Classificação do Material	
			Inicial	1ª + 2ª	Final 2ª + 3ª	1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª									
01	RS	HQ	0,00	—	1,00	—	—	—	—	—	100	55	—	—	—	—	0,00	REJEITO ARGILA ARENO SILTOSO, MÉDIA A RIJA, MARROM ESCURO.	
02	CR		1,00	1,30	1,45	$\frac{3}{15}$	$\frac{5}{15}$	$\frac{7}{15}$	8	12	—	—	—	—	—	—			
03	RS	HQ	1,45	—	2,00	—	—	—	—	—	55	100	—	—	—	—			
04	CR		2,00	2,30	2,45	$\frac{2}{15}$	$\frac{3}{15}$	$\frac{7}{15}$	5	10	—	—	—	—	—	—			
05	RS	HQ	2,45	—	3,00	—	—	—	—	—	55	100	—	—	—	—			
06	CR		3,00	3,30	3,45	$\frac{4}{15}$	$\frac{10}{15}$	$\frac{9}{15}$	14	19	—	—	—	—	—	—			
07	RS	HQ	3,45	—	4,00	—	—	—	—	—	55	100	—	—	—	—			
08	CR		4,00	4,30	4,45	$\frac{6}{15}$	$\frac{8}{15}$	$\frac{9}{15}$	14	17	—	—	—	—	—	—			
09	RS	HQ	4,45	—	5,00	—	—	—	—	—	55	100	—	—	—	—			
10	CR		5,00	5,30	5,45	$\frac{6}{15}$	$\frac{9}{15}$	$\frac{12}{15}$	15	21	—	—	—	—	—	—	5,00	REJEITO ARGILA ARENO SILTOSO, RIJA A MUITO RIJA, MARROM ESCURO.	
11	RS	HQ	5,45	—	6,00	—	—	—	—	—	55	55	—	—	—	—			
12	CR		6,00	6,30	6,45	$\frac{7}{15}$	$\frac{8}{15}$	$\frac{9}{15}$	15	17	—	—	—	—	—	—			
13	RS	HQ	6,45	—	7,00	—	—	—	—	—	55	0	—	—	—	—	6,45	AMOSTRA NÃO RECUPERADA.	
14	CR		7,00	7,30	7,45	$\frac{8}{15}$	$\frac{11}{15}$	$\frac{19}{15}$	19	30	—	—	—	—	—	—	7,00	REJEITO ARGILA ARENO SILTOSO, RIJA A MUITO RIJA, MARROM ESCURO.	
15	RS	HQ	7,45	—	8,00	—	—	—	—	—	55	100	—	—	—	—			
16	CR		8,00	8,30	8,45	$\frac{6}{15}$	$\frac{7}{15}$	$\frac{10}{15}$	13	17	—	—	—	—	—	—			
17	RS	HQ	8,45	—	9,00	—	—	—	—	—	55	100	—	—	—	—			
18	CR		9,00	9,30	9,45	$\frac{4}{15}$	$\frac{5}{15}$	$\frac{8}{15}$	9	13	—	—	—	—	—	—			
19	RS	HQ	9,45	—	10,00	—	—	—	—	—	55	100	—	—	—	—			
20	CR		10,00	10,30	10,45	$\frac{4}{15}$	$\frac{8}{15}$	$\frac{10}{15}$	12	18	—	—	—	—	—	—			
21	RS	HQ	10,45	—	11,00	—	—	—	—	—	55	82	—	—	—	—			
22	CR		11,00	11,30	11,45	$\frac{5}{15}$	$\frac{8}{15}$	$\frac{11}{15}$	13	19	—	—	—	—	—	—			
23	RS	HQ	11,45	—	12,00	—	—	—	—	—	55	73	—	—	—	—			
24	CR		12,00	12,30	12,45	$\frac{6}{15}$	$\frac{10}{15}$	$\frac{13}{15}$	16	23	—	—	—	—	—	—			
25	RS	HQ	12,45	—	13,00	—	—	—	—	—	55	82	—	—	—	—			
26	CR		13,00	13,30	13,45	$\frac{10}{15}$	$\frac{11}{15}$	$\frac{13}{15}$	21	24	—	—	—	—	—	—			
27	RS	HQ	13,45	—	14,00	—	—	—	—	—	55	73	—	—	—	—			
RQD (%):			Alteração:			Coerência:			Fratramento:			Inclinação: 90°							
0 a 24 - Muito pobre (MP)			A1 - São			C1 - Muito coerente			F1 - Pouco fraturada			$\varnothing$			De (m)		Até (m)		
25 a 49 - Pobre (P)			A2 - Pouco alterada			C2 - Coerente			F2 - Medianamente fraturada			HQ			0,00		32,80		
50 a 74 - Regular (R)			A3 - Medianamente alterada			C3 - Medianamente coerente			F3 - Muito fraturada			NQ			32,80		60,00		
75 a 89 - Boa (B)			A4 - Muito alterada			C4 - Pouco coerente			F4 - Extremamente fraturada										
90 a 100 - Excelente (E)			A5 - Extremamente			C5 - Incoerente			F5 - Em fragmentos										

Perfuração: CR:RS-Cravação/Rotativa																				
Amostra	Perfuração	Diâmetro	Profundidade (m)			Golpes 15 cm			Golpes 30 cm		Manobra (cm)	Recuperação (%)	RQD (%)	Alteração	Coerência	Fraturamento	Profundidade Camada (m)	Classificação do Material		
			Inicial	1ª + 2ª	Final 2ª + 3ª	1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª										
28	CR		14,00	14,30	14,45	$\frac{11}{15}$	$\frac{8}{15}$	$\frac{12}{15}$	19	20	–	–	–	–	–	–	7,00	REJEITO ARGILA ARENO SILTOSO, RIJA A MUITO RIJA, MARROM ESCURO.		
29	RS	HQ	14,45	–	15,00	–	–	–	–	–	55	64	–	–	–	–				
30	CR		15,00	15,30	15,45	$\frac{10}{15}$	$\frac{11}{15}$	$\frac{10}{15}$	21	21	–	–	–	–	–	–				
31	RS	HQ	15,45	–	16,00	–	–	–	–	–	55	100	–	–	–	–				
32	CR		16,00	16,30	16,45	$\frac{8}{15}$	$\frac{13}{15}$	$\frac{9}{15}$	21	22	–	–	–	–	–	–				
33	RS	HQ	16,45	–	17,00	–	–	–	–	–	55	82	–	–	–	–				
34	CR		17,00	17,30	17,45	$\frac{7}{15}$	$\frac{10}{15}$	$\frac{11}{15}$	17	21	–	–	–	–	–	–				
35	RS	HQ	17,45	–	18,00	–	–	–	–	–	55	100	–	–	–	–				
36	CR		18,00	18,30	18,45	$\frac{4}{15}$	$\frac{7}{15}$	$\frac{11}{15}$	11	18	–	–	–	–	–	–				
37	RS	HQ	18,45	–	19,00	–	–	–	–	–	55	100	–	–	–	–				
38	CR		19,00	19,30	19,45	$\frac{7}{15}$	$\frac{9}{15}$	$\frac{12}{15}$	16	21	–	–	–	–	–	–				
39	RS	HQ	19,45	–	20,00	–	–	–	–	–	55	100	–	–	–	–				
40	CR		20,00	20,30	20,45	$\frac{11}{15}$	$\frac{11}{15}$	$\frac{12}{15}$	22	23	–	–	–	–	–	–				
41	RS	HQ	20,45	–	21,00	–	–	–	–	–	55	100	–	–	–	–				
42	CR		21,00	21,30	21,45	$\frac{9}{15}$	$\frac{9}{15}$	$\frac{11}{15}$	18	20	–	–	–	–	–	–				
43	RS	HQ	21,45	–	22,00	–	–	–	–	–	55	100	–	–	–	–				
44	CR		22,00	22,30	22,45	$\frac{11}{15}$	$\frac{18}{15}$	$\frac{17}{15}$	29	35	–	–	–	–	–	–	22,00	REJEITO ARGILA ARENO SILTOSO, DURO, MARROM ESCURO.		
45	RS	HQ	22,45	–	23,00	–	–	–	–	–	55	100	–	–	–	–				
46	CR		23,00	23,30	23,45	$\frac{12}{15}$	$\frac{20}{15}$	$\frac{21}{15}$	32	41	–	–	–	–	–	–				
47	RS	HQ	23,45	–	24,00	–	–	–	–	–	55	64	–	–	–	–	23,45	REJEITO ARGILA ARENO SILTOSO, MARROM ESCURO.		
48	RS	HQ	24,00	–	25,00	–	–	–	–	–	100	35	–	–	–	–				
49	RS	HQ	25,00	–	26,00	–	–	–	–	–	100	40	–	–	–	–	25,00	REJEITO ARGILA ARENO SILTOSA, PRESENÇA DE PEDREGULHOS, MARROM ESCURO.		
50	RS	HQ	26,00	–	27,00	–	–	–	–	–	100	30	–	–	–	–	26,00	BLOCO DE ITABIRITO E PEDREGULHOS.		
51	RS	HQ	27,00	–	28,00	–	–	–	–	–	100	20	–	–	–	–				
52	RS	HQ	28,00	–	29,00	–	–	–	–	–	100	15	–	–	–	–				
53	RS	HQ	29,00	–	30,00	–	–	–	–	–	100	30	–	–	–	–	29,00	REJEITO ARGILA ARENO SILTOSA, PRESENÇA DE PEDREGULHOS, MARROM AMARELADO.		
54	RS	HQ	30,00	–	31,00	–	–	–	–	–	100	25	–	–	–	–				
55	RS	HQ	31,00	–	31,40	–	–	–	–	–	40	100	–	–	–	–				
56	RS	HQ	31,40	–	32,20	–	–	–	–	–	80	100	–	–	–	–				
RQD (%):			Alteração:			Coerência:			Fraturamento:			Inclinação: 90°								
0 a 24 - Muito pobre (MP)			A1 - São			C1 - Muito coerente			F1 - Pouco fraturada			Ø De (m)Até (m)								
25 a 49 - Pobre (P)			A2 - Pouco alterada			C2 - Coerente			F2 - Medianamente fraturada			HQ0,0032,80								
50 a 74 - Regular (R)			A3 - Medianamente alterada			C3 - Medianamente coerente			F3 - Muito fraturada			NQ32,8060,00								
75 a 89 - Boa (B)			A4 - Muito alterada			C4 - Pouco coerente			F4 - Extremamente fraturada											
90 a 100 - Excelente (E)			A5 - Extremamente			C5 - Incoerente			F5 - Em fragmentos											

Perfuração: CR:RS-Cravação/Rotativa																							
Amostra	Perfuração	Diâmetro	Profundidade (m)			Golpes 15 cm			Golpes 30 cm		Manobra (cm)	Recuperação (%)	RQD (%)	Alteração	Coerência	Fratramento	Profundidade Camada (m)	Classificação do Material					
			Inicial	1ª + 2ª	Final 2ª + 3ª	1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª													
57	RS	HQ	32,20	–	32,50	–	–	–	–	–	30	43	–	–	–	–	32,20	BLOCO DE ITABIRITO E PEDREGULHOS.					
58	RS	HQ	32,50	–	32,80	–	–	–	–	–	30	53	–	–	–	–	32,20	BLOCO DE ITABIRITO E PEDREGULHOS.					
59	RS	NQ	32,80	–	33,20	–	–	–	–	–	40	55	–	–	–	–							
60	RS	NQ	33,20	–	33,50	–	–	–	–	–	30	73	–	–	–	–							
61	RS	NQ	33,50	–	34,00	–	–	–	–	–	50	50	–	–	–	–							
62	RS	NQ	34,00	–	35,00	–	–	–	–	–	100	15	–	–	–	–							
63	RS	NQ	35,00	–	35,50	–	–	–	–	–	50	40	–	–	–	–	35,00	REJEITO ARGILA ARENO SILTOSO, MARROM AMARELADO.					
64	RS	NQ	35,50	–	36,00	–	–	–	–	–	50	30	–	–	–	–							
65	RS	NQ	36,00	–	37,00	–	–	–	–	–	100	35	–	–	–	–							
66	RS	NQ	37,00	–	38,20	–	–	–	–	–	120	4	–	–	–	–	37,00	PEDREGULHOS DE ITABIRITO.					
67	RS	NQ	38,20	–	39,20	–	–	–	–	–	100	10	–	–	–	–	39,20	AMOSTRA NÃO RECUPERADA.					
68	RS	NQ	39,20	–	40,00	–	–	–	–	–	80	0	–	–	–	–							
69	RS	NQ	40,00	–	41,00	–	–	–	–	–	100	10	–	–	–	–							
70	RS	NQ	41,00	–	42,00	–	–	–	–	–	100	5	–	–	–	–	40,00	PEDREGULHOS DE ITABIRITO.					
71	RS	NQ	42,00	–	43,00	–	–	–	–	–	100	27	–	–	–	–	41,00	REJEITO ARGILA ARENO SILTOSO, MARROM AMARELADO.					
72	RS	NQ	43,00	–	44,00	–	–	–	–	–	100	15	–	–	–	–							
73	RS	NQ	44,00	–	45,00	–	–	–	–	–	100	13	–	–	–	–							
74	RS	NQ	45,00	–	46,00	–	–	–	–	–	100	30	–	–	–	–							
75	RS	NQ	46,00	–	47,00	–	–	–	–	–	100	20	–	–	–	–							
76	RS	NQ	47,00	–	48,00	–	–	–	–	–	100	12	–	–	–	–	46,00	REJEITO ARGILA ARENOSA, MARROM ESCURO.					
77	RS	NQ	48,00	–	49,00	–	–	–	–	–	100	10	–	–	–	–	49,00	AMOSTRA NÃO RECUPERADA.					
78	RS	NQ	49,00	–	50,00	–	–	–	–	–	100	0	–	–	–	–							
79	RS	NQ	50,00	–	51,00	–	–	–	–	–	100	0	–	–	–	–							
80	RS	NQ	51,00	–	52,00	–	–	–	–	–	100	10	–	–	–	–	51,00	REJEITO ARGILA ARENOSA, MARROM ESCURO.					
81	RS	NQ	52,00	–	53,00	–	–	–	–	–	100	20	–	–	–	–							
82	RS	NQ	53,00	–	54,00	–	–	–	–	–	100	17	–	–	–	–							
83	RS	NQ	54,00	–	55,00	–	–	–	–	–	100	17	–	–	–	–							
84	RS	NQ	55,00	–	56,00	–	–	–	–	–	100	30	–	–	–	–							
85	RS	NQ	56,00	–	57,00	–	–	–	–	–	100	20	–	–	–	–							
86	RS	NQ	57,00	–	57,50	–	–	–	–	–	50	54	–	–	–	–	57,00	ATERRO ARENO ARGILOSA, CINZA AMARRONZADO.					
87	RS	NQ	57,50	–	58,50	–	–	–	–	–	100	26	–	–	–	–							
88	RS	NQ	58,50	–	59,00	–	–	–	–	–	50	56	–	–	–	–							
89	RS	NQ	59,00	–	60,00	–	–	–	–	–	100	25	–	–	–	–	59,00	ATERRO ARENO ARGILOSA, MARROM COM PORÇÕES ESBRAQUIÇADAS.					
																	60,00	LIMITE DE SONDAGEM					
Obs.: Limite da sondagem conforme solicitação da contratante. Procedimento realizado segundo a norma NBR 6484:2020 - Furo finalizado a pedido da contratante.																							
RQD (%): 0 a 24 - Muito pobre (MP) 25 a 49 - Pobre (P) 50 a 74 - Regular (R) 75 a 89 - Boa (B) 90 a 100 - Excelente (E)			Alteração: A1 - Sã A2 - Pouco alterada A3 - Medianamente alterada A4 - Muito alterada A5 - Extremamente			Coerência: C1 - Muito coerente C2 - Coerente C3 - Medianamente coerente C4 - Pouco coerente C5 - Incoerente			Fratramento: F1 - Pouco fraturada F2 - Medianamente fraturada F3 - Muito fraturada F4 - Extremamente fraturada F5 - Em fragmentos			Inclinação: 90° <table><tr><td>Ø</td><td>De (m)</td><td>Até (m)</td></tr><tr><td>HQ</td><td>0,00</td><td>32,80</td></tr><tr><td>NQ</td><td>32,80</td><td>60,00</td></tr></table>			Ø	De (m)	Até (m)	HQ	0,00	32,80	NQ	32,80	60,00
Ø	De (m)	Até (m)																					
HQ	0,00	32,80																					
NQ	32,80	60,00																					

[illegible]

Perfuração: CR:RS-Cravação/Rotativa															Cravação															Revestimento																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
N.A.	Rev. / Perf. (m)	Ensaio SPT			Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Resistência à Penetração × Profundidade										Prof. (m)	Classificação do Material [9]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
							1ª + 2ª		2ª + 3ª		Recuperação		RQD																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
		0	10	20	30	40	50	0	10	20	30	40	50	0	10	20					30	40	50	100 (%)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
		1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				

Perfuração: CR:RS-Cravação/Rotativa Cravação Revestimento																																
N.A.	Rev. / Perf. (m)	Ensaio SPT			Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Resistência à Penetração × Profundidade					Prof. (m)	Classificação do Material [9]																			
		1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª	1ª + 2ª		2ª + 3ª		Recuperação			RQD																		
							0	10	20	30					40	50																
							0	20	40	60	80	100 (%)																				
N.A.	CR:RS	NQ					51	60						51,00	REJEITO ARGILA SILTE ARENOSO, AREIA FINA, MARROM CLARO.																	
							52	35						52,00		REJEITO ARGILA ARENO SILTOSA, MARROM CLARO.																
							53	20							54,00		PEDREGULHOS DE ITABIRITO.															
							54	10																								
							55	25							55,00	REJEITO ARGILA ARENO SILTOSA, AREIA FINA, COR AMARELO.																
							56	30																								
							57	30																								
							58	25																								
							59	0							59,00		AMOSTRA NÃO RECUPERADA.															
							60								60,00	LIMITE DE SONDAGEM Obs.: Limite da sondagem conforme solicitação da contratante. Procedimento realizado segundo a norma NBR 6484:2020 - Furo finalizado a pedido da contratante.																
							61																									
							62																									
							63																									
							64																									
							65																									
							66																									
							67																									
68																																
RQD (%): 0 a 24 - Muito pobre (MP) 25 a 49 - Pobre (P) 50 a 74 - Regular (R) 75 a 89 - Boa (B) 90 a 100 - Excelente (E)						Alteração: A1 - São A2 - Pouco alterada A3 - Medianamente alterada A4 - Muito alterada A5 - Extremamente					Coerência: C1 - Muito coerente C2 - Coerente C3 - Medianamente coerente C4 - Pouco coerente C5 - Incoerente					Fraturamento: F1 - Pouco fraturada F2 - Medianamente fraturada F3 - Muito fraturada F4 - Extremamente fraturada F5 - Em fragmentos					Inclinação: 90° <table><tr><th>Ø</th><th>De (m)</th><th>Até (m)</th></tr><tr><td>HQ</td><td>0,00</td><td>30,50</td></tr><tr><td>NQ</td><td>30,50</td><td>60,00</td></tr></table>			Ø	De (m)	Até (m)	HQ	0,00	30,50	NQ	30,50	60,00
Ø	De (m)	Até (m)																														
HQ	0,00	30,50																														
NQ	30,50	60,00																														

Perfuração: CR:RS-Cravação/Rotativa																													
Amostra	Perfuração	Diâmetro	Profundidade (m)			Golpes 15 cm			Golpes 30 cm		Manobra (cm)	Recuperação (%)	RQD (%)	Alteração	Coerência	Fraturamento	Profundidade Camada (m)	Classificação do Material [9]											
			Inicial	1ª + 2ª	Final 2ª + 3ª	1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª																			
01	RS	HQ	0,00	–	1,00	–	–	–	–	–	100	64	–	–	–	–	0,00	REJEITO, ARGILA ARENO SILTOSA, MÉDIA, MARROM ESCURO.											
02	CR		1,00	1,30	1,45	$\frac{2}{15}$	$\frac{3}{15}$	$\frac{3}{15}$	5	6	–	–	–	–	–	–													
03	RS	HQ	1,45	–	2,00	–	–	–	–	–	55	100	–	–	–	–													
04	CR		2,00	2,30	2,45	$\frac{2}{15}$	$\frac{3}{15}$	$\frac{4}{15}$	5	7	–	–	–	–	–	–													
05	RS	HQ	2,45	–	3,00	–	–	–	–	–	55	100	–	–	–	–													
06	CR		3,00	3,30	3,45	$\frac{6}{15}$	$\frac{9}{15}$	$\frac{11}{15}$	15	20	–	–	–	–	–	–	3,00	REJEITO, ARGILA ARENO SILTOSA, RIJA A MUITO RIJA, MARROM ESCURO.											
07	RS	HQ	3,45	–	4,00	–	–	–	–	–	55	100	–	–	–	–													
08	CR		4,00	4,30	4,45	$\frac{4}{15}$	$\frac{5}{15}$	$\frac{6}{15}$	9	11	–	–	–	–	–	–													
09	RS	HQ	4,45	–	5,00	–	–	–	–	–	55	100	–	–	–	–													
10	CR		5,00	5,30	5,45	$\frac{7}{15}$	$\frac{10}{15}$	$\frac{27}{15}$	17	37	–	–	–	–	–	–	5,00	REJEITO, ARGILA ARENO SILTOSA, MUITO RIJA A DURA, MARROM ESCURO.											
11	RS	HQ	5,45	–	6,00	–	–	–	–	–	55	64	–	–	–	–													
12	CR		6,00	6,30	6,45	$\frac{6}{15}$	$\frac{11}{15}$	$\frac{10}{15}$	17	21	–	–	–	–	–	–													
13	RS	HQ	6,45	–	7,00	–	–	–	–	–	55	55	–	–	–	–													
14	CR		7,00	7,30	7,45	$\frac{7}{15}$	$\frac{10}{15}$	$\frac{11}{15}$	17	21	–	–	–	–	–	–													
15	RS	HQ	7,45	–	8,00	–	–	–	–	–	55	55	–	–	–	–													
16	CR		8,00	8,30	8,45	$\frac{6}{15}$	$\frac{11}{15}$	$\frac{13}{15}$	17	24	–	–	–	–	–	–													
17	RS	HQ	8,45	–	9,00	–	–	–	–	–	55	91	–	–	–	–													
18	CR		9,00	9,30	9,45	$\frac{5}{15}$	$\frac{15}{15}$	$\frac{12}{15}$	20	27	–	–	–	–	–	–													
19	RS	HQ	9,45	–	10,00	–	–	–	–	–	55	100	–	–	–	–													
20	CR		10,00	10,30	10,45	$\frac{7}{15}$	$\frac{12}{15}$	$\frac{16}{15}$	19	28	–	–	–	–	–	–													
21	RS	HQ	10,45	–	11,00	–	–	–	–	–	55	100	–	–	–	–													
22	CR		11,00	11,30	11,45	$\frac{6}{15}$	$\frac{9}{15}$	$\frac{15}{15}$	15	24	–	–	–	–	–	–													
23	RS	HQ	11,45	–	12,00	–	–	–	–	–	55	91	–	–	–	–													
24	CR		12,00	12,30	12,45	$\frac{9}{15}$	$\frac{13}{15}$	$\frac{18}{15}$	22	31	–	–	–	–	–	–													
25	RS	HQ	12,45	–	13,00	–	–	–	–	–	55	100	–	–	–	–													
26	CR		13,00	13,30	13,45	$\frac{10}{15}$	$\frac{15}{15}$	$\frac{13}{15}$	25	28	–	–	–	–	–	–													
27	RS	HQ	13,45	–	14,00	–	–	–	–	–	55	55	–	–	–	–													
RQD (%): 0 a 24 - Muito pobre (MP) 25 a 49 - Pobre (P) 50 a 74 - Regular (R) 75 a 89 - Boa (B) 90 a 100 - Excelente (E)					Alteração: A1 - São A2 - Pouco alterada A3 - Medianamente alterada A4 - Muito alterada A5 - Extremamente					Coerência: C1 - Muito coerente C2 - Coerente C3 - Medianamente coerente C4 - Pouco coerente C5 - Incoerente					Fraturamento: F1 - Pouco fraturada F2 - Medianamente fraturada F3 - Muito fraturada F4 - Extremamente fraturada F5 - Em fragmentos			Inclinação: 90° <table><tr><td>Ø</td><td>De (m)</td><td>Até (m)</td></tr><tr><td>HQ</td><td>0,00</td><td>30,50</td></tr><tr><td>NQ</td><td>30,50</td><td>60,00</td></tr></table>			Ø	De (m)	Até (m)	HQ	0,00	30,50	NQ	30,50	60,00
Ø	De (m)	Até (m)																											
HQ	0,00	30,50																											
NQ	30,50	60,00																											

Perfuração: CR:RS-Cravação/Rotativa																		
Amostra	Perfuração	Diâmetro	Profundidade (m)			Golpes 15 cm			Golpes 30 cm		Manobra (cm)	Recuperação (%)	RQD (%)	Alteração	Coerência	Fraturamento	Profundidade Camada (m)	Classificação do Material [9]
			Inicial	1ª + 2ª	Final 2ª + 3ª	1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª								
28	CR		14,00	14,30	14,45	13 15	12 15	13 15	25	25	–	–	–	–	–	–	5,00	REJEITO, ARGILA ARENO SILTOSA, MUITO RIJA A DURA, MARROM ESCURO.
29	RS	HQ	14,45	–	15,00	–	–	–	–	–	55	55	–	–	–	–		
30	CR		15,00	15,30	15,45	13 15	16 15	16 15	29	32	–	–	–	–	–	–		
31	RS	HQ	15,45	–	16,00	–	–	–	–	–	55	55	–	–	–	–		
32	CR		16,00	16,30	16,45	10 15	12 15	17 15	22	29	–	–	–	–	–	–		
33	RS	HQ	16,45	–	17,00	–	–	–	–	–	55	64	–	–	–	–		
34	CR		17,00	17,30	17,45	12 15	16 15	11 15	28	27	–	–	–	–	–	–		
35	RS	HQ	17,45	–	18,00	–	–	–	–	–	55	55	–	–	–	–		
36	CR		18,00	18,08	–	20 8	–	–	20 8	–	–	–	–	–	–	–	18,00	REJEITO ARGILA ARENO SILTOSA, PRSENÇA DE PEDREGULHOS DE ITABIRITO, MARROM ESCURO ACINZENTADO.
37	RS	HQ	18,08	–	19,00	–	–	–	–	–	92	65	–	–	–	–		
38	RS	HQ	19,00	–	19,30	–	–	–	–	–	30	100	–	–	–	–	19,00	BLOCOS DE ITABIRITO.
39	RS	HQ	19,30	–	19,70	–	–	–	–	–	40	100	–	–	–	–		
40	RS	HQ	19,70	–	20,70	–	–	–	–	–	100	65	–	–	–	–	20,70	PEDREGULHOS DE ITABIRITO.
41	RS	HQ	20,70	–	21,70	–	–	–	–	–	100	35	–	–	–	–		
42	RS	HQ	21,70	–	23,20	–	–	–	–	–	150	75	–	–	–	–	23,20	REJEITO ARGILA ARENOS SILTOSA, MARROM CLARO COM PRESENÇA DE PEDREGULHOS.
43	RS	HQ	23,20	–	23,90	–	–	–	–	–	70	43	–	–	–	–		
44	RS	HQ	23,90	–	24,60	–	–	–	–	–	70	43	–	–	–	–	24,60	AMOSTRA NÃO RECUPERADA.
45	RS	HQ	24,60	–	25,00	–	–	–	–	–	40	0	–	–	–	–		
46	RS	HQ	25,00	–	25,60	–	–	–	–	–	60	0	–	–	–	–	25,60	PEDREGULHOS DE ITABIRITO.
47	RS	HQ	25,60	–	26,20	–	–	–	–	–	60	8	–	–	–	–		
48	RS	HQ	26,20	–	27,00	–	–	–	–	–	80	12	–	–	–	–		
49	RS	HQ	27,00	–	28,00	–	–	–	–	–	100	25	–	–	–	–		
50	RS	HQ	28,00	–	29,00	–	–	–	–	–	100	20	–	–	–	–		
51	RS	HQ	29,00	–	30,00	–	–	–	–	–	100	10	–	–	–	–		
52	RS	HQ	30,00	–	30,50	–	–	–	–	–	50	70	–	–	–	–		
53	RS	NQ	30,50	–	31,50	–	–	–	–	–	100	65	–	–	–	–		
54	RS	NQ	31,50	–	32,50	–	–	–	–	–	100	80	–	–	–	–	32,50	REJEITO ARGILA SILTO ARENOSA,, AREIA FINA, PRESENÇA DE PEDREGULHOS E COLORAÇÃO MARROM CLARO.
55	RS	NQ	32,50	–	34,00	–	–	–	–	–	150	57	–	–	–	–		
56	RS	NQ	34,00	–	35,00	–	–	–	–	–	100	45	–	–	–	–		
57	RS	NQ	35,00	–	36,00	–	–	–	–	–	100	55	–	–	–	–		
58	RS	NQ	36,00	–	37,00	–	–	–	–	–	100	90	–	–	–	–		
59	RS	NQ	37,00	–	38,40	–	–	–	–	–	140	14	–	–	–	–		
60	RS	NQ	38,40	–	39,40	–	–	–	–	–	100	26	–	–	–	–		
61	RS	NQ	39,40	–	40,10	–	–	–	–	–	70	14	–	–	–	–		
RQD (%):			Alteração:			Coerência:			Fraturamento:			Inclinação: 90°						
0 a 24 - Muito pobre (MP)			A1 - São			C1 - Muito coerente			F1 - Pouco fraturada			Ø						
25 a 49 - Pobre (P)			A2 - Pouco alterada			C2 - Coerente			F2 - Medianamente fraturada			De (m)						
50 a 74 - Regular (R)			A3 - Medianamente alterada			C3 - Medianamente coerente			F3 - Muito fraturada			Até (m)						
75 a 89 - Boa (B)			A4 - Muito alterada			C4 - Pouco coerente			F4 - Extremamente fraturada			HQ						
90 a 100 - Excelente (E)			A5 - Extremamente			C5 - Incoerente			F5 - Em fragmentos			NQ						

ANEXO B

RELATÓRIOS FOTOGRÁFICO

São apresentados neste anexo o relatório fotográfico realizado do acompanhamento do empilhamento de rejeito realizado neste estudo de caso.

RELATÓRIO FOTOGRÁFICO

A Figura B1 até a Figura B13 mostram o registro fotográfico de algumas etapas do empilhamento desde o ano de 2021.

Figura B1 – Início do empilhamento – primeira diretriz operacional



Fonte: Autora (2024)

Figura B2 – Espalhamento do material – primeira diretriz operacional



Fonte: Autora (2024)

Figura B3 – Marcação topográfica – primeira diretriz operacional



Fonte: Autora (2024)

Figura B4 – Controle da altura da camada



Fonte: Autora (2024)

Figura B5 – Controle tecnológico



Fonte: Autora (2024)

Figura B6 – Compactação – Segunda diretriz operacional



Fonte: Autora (2024)

Figura B7 – Nivelamento – Segunda diretriz operacional



Fonte: Autora (2024)

Figura B8 – Área de empilhamento – Segunda diretriz operacional



Fonte: Autora (2024)

Figura B9 – Compactação – Segunda diretriz operacional



Fonte: Autora (2024)

Figura B10 – Etapa operacional – transporte de material



Fonte: Autora (2024)

Figura B11 – Etapa operacional – espalhamento de material



Fonte: Autora (2024)

Figura B12 – Etapa operacional – compactação de material



Fonte: Autora (2024)

Figura B13 – Etapa operacioonal – controle tecnológico



Fonte: Autora (2024)