

À

NORSK HYDRO BRASIL

Av. Gentil Bittencourt, 549

Belém – PA

A/C

CAROLINA VARKALA

Departamento de Suprimentos de Bauxita & Alumina

Referência: Segurança e estabilidade dos depósitos de resíduos sólidos – DRS1 e DRS2**Local:** Barcarena – PA

Prezada,

Apresentamos o relatório técnico de avaliação da densidade e teor de umidade ótima das camadas executadas no DRS2, em atendimento à letra “G” do Termo de Compromisso de Ajustamento de Conduta, celebrado entre a HYDRO, ALUNORTE e o Ministério Público do Estado do Pará (MPPA), Ministério Público Federal (MPF), o Estado do Pará e a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Estado do Pará. O DRS2 está localizado junto a produção da Alunorte, no município de Barcarena – PA.

À disposição para esclarecimentos julgados necessários,

Belo Horizonte, 03 de agosto de 2023

Atenciosamente,



Michel Fontes
DIRETOR
FONNTES GEOTÉCNICA

RELATÓRIO TÉCNICO DE AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA DAS CAMADAS EXECUTADAS NO DRS2

CLIENTE:



PROJETO:

**AUDITORIA DE SEGURANÇA E
ESTABILIDADE DOS DEPÓSITOS DE
RESÍDUOS SÓLIDOS DRS1 E DRS2**

BARCARENA – PA



Agosto/2023

SUMÁRIO

GLOSSÁRIO	1
1. INTRODUÇÃO	3
2. OBJETIVO.....	6
3. DADOS UTILIZADOS	8
4. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	8
5. APRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA	9
5.1 LOCALIZAÇÃO	11
5.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS	16
5.2.1 <i>Geologia Regional</i>	16
5.2.2 <i>Histórico de Investigações</i>	18
5.2.3 <i>Geologia Local</i>	19
5.3 PLATAFORMA DA PILHA DE RETOMADA DO RESÍDUO E CÉLULA DE CONTINGÊNCIA.....	20
5.4 CANAIS DE CONTORNO E BACIAS DE CONTROLE (BC 201 E BC 202)	20
5.5 DIQUE DE CONTORNO.....	22
5.6 DIQUE ENTRE CANAL DE CONTENÇÃO DE SEDIMENTOS E CANAL DE ADUÇÃO DAS BACIAS DE CONTROLE	22
5.7 DIQUE EXTERNO DO CANAL DE ADUÇÃO DAS BACIAS DE CONTROLE	22
5.8 DIQUE EXTERNO DAS BACIAS DE CONTROLE (BC 201 E BC 202)	22
5.9 DIQUE DE CONTENÇÃO DA ÁREA ÚMIDA (INFRAESTRUTURA INICIAL).....	22
5.10 DIQUE CENTRAL E FINGERS (INFRAESTRUTURA INICIAL)	23
5.11 SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO.....	23
5.12 DRENAGEM INTERNA DA PILHA	24
5.13 INSTRUMENTAÇÃO.....	26
5.14 SISTEMA EXTRAVASOR.....	27
5.15 GALERIA DE TRANSPOSIÇÃO DO CANAL DE ADUÇÃO	28
5.16 DRENAGEM SUPERFICIAL	28
5.17 PROJETO <i>AS BUILT</i>	28
6. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO	29
7. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO.....	30
7.1 DIRETRIZES ESTABELECIDAS EM PROJETO	30
7.2 VISITA TÉCNICA.....	36

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

7.3	VERIFICAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA	38
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
9.	REFERÊNCIAS	61

GLOSSÁRIO

- “As Built” – “Como Construído” – expressão para definir o projeto que descreve o estado imediatamente após a implantação de uma estrutura.
- “As Is” – “Como está” – expressão para definir o projeto que descreve o estado atual de uma estrutura
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- Alunorte – Alumina do Norte do Brasil S.A. – empresa brasileira formada a partir de acordo bilateral pelos governos do Brasil e do Japão em 1976. Empresa produtora de alumina, responsável pela operação e manutenção do DRS 1 e DRS 2, signatária do TAC 3.1 e subsidiária da Hydro.
- ANA – Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico
- BC – Bacias de Controle
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil
- DOE – Diário Oficial do Estado
- DRS 1 – Depósito de Resíduos Sólidos nº 1 de propriedade da ALUNORTE
- DRS 2 - Depósito de Resíduos Sólidos nº 2 de propriedade da ALUNORTE
- ETEI – Estação de Tratamento de Efluentes Industriais
- FONNTES – Fonntes geotécnica Ltda – Empresa vencedora do edital para contratação de auditoria independente para atendimento ao item 3.1, do TAC 3.1.
- Hydro – Norsk Hydro ASA – Empresa Norueguesa, que tem na produção de alumínio o seu principal negócio e signatária do TAC 3.1.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- MPF – Ministério Público Federal
- MPPA – Ministério Público do Estado do Pará
- MPSA – Mineração Paragominas
- MRN – Mineração Rio Norte

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2		

- NBR – Norma Brasileira
- NSPT – Número de golpes necessários para à cravação de amostrador de sondagem à percussão (spt), considerando apenas os 30 cm finais
- PA – Estado do Pará
- PEAD – Polietileno de alta densidade
- SEMAS – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará
- SPT - Ensaio de penetração padrão conforme a norma ABNT NBR 6484:2020.
- TAC 3.1 – item do Termo de Ajustamento de Conduta relativo à “Auditoria de segurança e estabilidade dos depósitos de resíduos sólidos”, assinado pela HYDRO, ALUNORTE, Ministério Público do Pará, Ministério Público Federal e Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará.
- UTM – Universal Transversa de Mercator (Sistema de projeção cartográfica)

1. INTRODUÇÃO

A Norsk Hydro (HYDRO) fundada em 1905 é uma empresa norueguesa com atuação em 40 países nos setores da mineração, industrial e de energia. O Brasil é a principal fonte de matéria-prima do alumínio da HYDRO, a bauxita, extraída em Paragominas e Trombetas (PA). A bauxita é refinada e convertida em alumina (óxido de alumínio) na Alunorte, localizada no município de Barcarena (PA), que é a maior refinaria de alumina do mundo fora da China. Este processo gera um resíduo que é lavado, filtrado e armazenado em depósitos de resíduos sólidos (DRS1 e DRS2), apresentados na Figura 1.1.

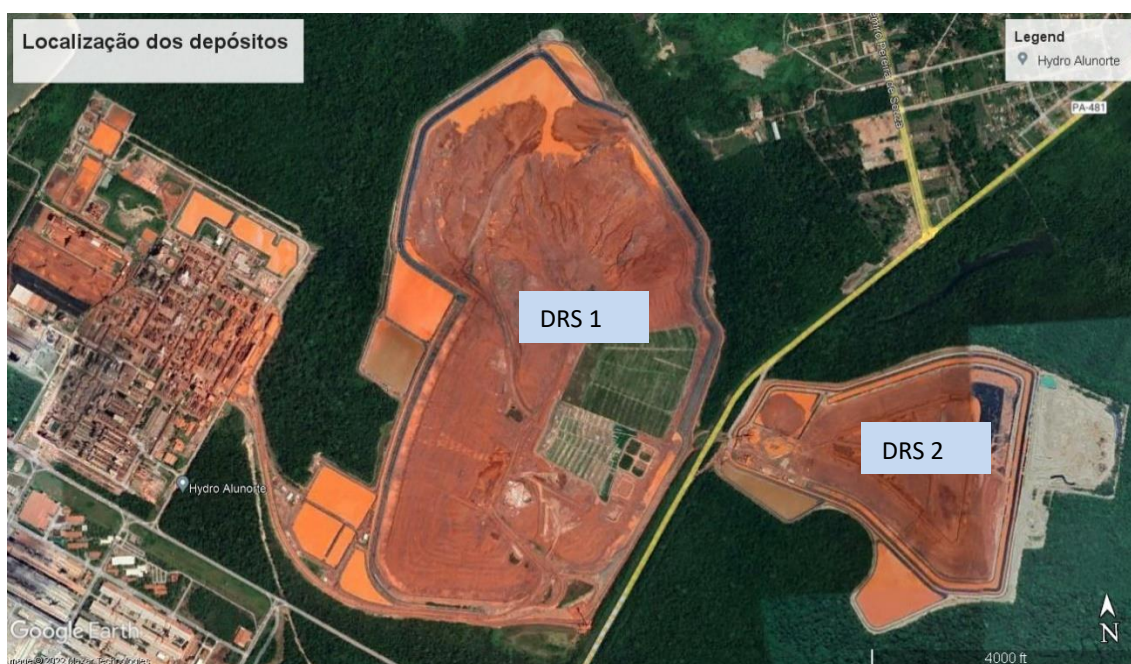


Figura 1.1 – Localização do empreendimento

Neste contexto, a Fonntes Geotécnica (FONNTES) foi contratada por meio do Edital de Contratação de Serviços de Auditoria de Segurança e Estabilidade dos Depósitos de Resíduos Sólidos DRS1 e DRS2. O objeto do contrato se trata da prestação do serviço de elaboração de auditoria da segurança e estabilidade dos depósitos de resíduos sólidos - DRS1 e DRS2, do termo de compromisso de ajustamento de conduta, Inquérito Civil -

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

IC nº 001/2018 - MP (SIMP nº000654 -710/2018) MPPA, Inquérito Civil nº 000980 - 040/2018 (Portaria no 12/2018) MPPA, Inquérito Civil no 1.23.000.000498/2018 - 98 MPF.

Os relatórios a serem elaborados pela FONNTES atenderão plenamente aos requisitos do Termo de Compromisso de Ajustamento de Conduta, celebrado entre a HYDRO, ALUNORTE e o Ministério Público do Estado do Pará (MPPA), Ministério Público Federal (MPF) e a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Estado do Pará, incluindo:

- a) Compatibilidade do projeto executivo dos depósitos (DRS1 e DRS2) com a sua efetiva execução;
- b) Compatibilidade dos Depósitos de Resíduos Sólidos (DRS1 e DRS2) com a Lei Nacional de Segurança de Barragens (Lei nº 12.334/2010);
- c) Aspectos estruturais Depósitos de Resíduos Sólidos (DRS1 e DRS2), a concepção geral do projeto, o arranjo e dimensionamento das estruturas, além de suas funcionalidades;
- d) Análise qualitativa de instrumentação com vistas a determinação da densidade de drenagem, a fim de aferir o comprometimento das águas superficiais e subterrâneas;
- e) Avaliação da compatibilidade da localização dos DRS com o projeto, obedecendo à legislação aplicável, às normas ambientais e aos critérios econômicos, geotécnicos, estruturais, sociais e de segurança e risco, mediante necessidade de segurança estrutural, bem como considerando a possibilidade de existência de drenagens naturais possivelmente afetadas, tais como mananciais e olhos d'água;
- f) Análise da viabilidade da concepção proposta, em termos operacionais e manutencionais, ou seja, se os processos de controle necessários à disposição dos rejeitos da forma concebida são compatíveis com a estrutura existente e

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

consequente produção dos rejeitos, levando em consideração as condições ambientais locais;

g) Verificação da densidade e teor de umidade ótimo (período chuvoso e período seco) e suas variações, envolvendo valor médio e desvio padrão durante a fase de testes;

- h) Revisão dos parâmetros geotécnicos de coesão e ângulo de atrito efetivo, a partir de ensaios de laboratório e de campo, e suas variações envolvendo valor médio e desvio padrão durante a fase de testes;
- i) Análise de estabilidade, através de parâmetros geotécnicos (programas-slope/W1 e ensaios – Laboratórios de Geotecnia), e estanqueidade. Determinação do Fator de segurança, seu valor médio e seu grau de confiabilidade, após o período de testes;
- j) Análise de estabilidade dos depósitos, utilizando-se como referência os fatores de segurança mínimos descritos na Norma ABNT NBR 13.028/2017, e Norma ABNT NBR 13029/2017
- k) Revisão do projeto e disposição de drenos, filtros, medidores de vazão e seus processos executivos.
- l) Revisão do Projeto de revestimento e monitoramento dos taludes;
- m) Verificação do teor de umidade do material que condicionará a decisão de lançá-lo na área úmida ou aplicá-lo na área seca e suas variações ao longo do período de testes;
- n) Interpretação dos resultados dos testes relativos à aplicação do material sobre as geomembranas;
- o) Interpretação dos ensaios destrutivos e não destrutivos para verificação da estanqueidade da Geomembrana;
- p) Análise e adequação da suficiência do Plano de Ação Emergencial, o qual deverá contemplar a identificação e análise das possíveis/situações de emergência; os procedimentos para identificação e notificação de mau funcionamento ou de condições potenciais de ruptura dos depósitos; os procedimentos preventivos e

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

corretivos a serem adotados em situações de emergência, com indicação do responsável pela ação; a estratégia e meio de divulgação e alerta para as comunidades potencialmente afetadas em situação de emergência, utilizando-se como referência a Instrução Normativa nº02/2018, publicada no DOE nº 33.554, de 07 de fevereiro de 2018 e conforme estabelecido no Art. 12 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010.

Nesse contexto, o presente relatório apresenta os estudos realizados para atendimento do item g), referido à verificação da densidade e teor de umidade ótima (período chuvoso e período seco) das camadas executadas no DRS2.

2. OBJETIVO

Em atendimento ao termo de compromisso de ajustamento de conduta, Inquérito Civil - IC nº 001/2018 - MP (SIMP nº000654 -710/2018) MPPA, Inquérito Civil nº 000980 - 040/2018 (Portaria no 12/2018) MPPA, Inquérito Civil no 1.23.000.000498/2018 - 98 MPF, o presente documento abordará o item **“g) verificação da densidade e teor de umidade ótimo (período chuvoso e período seco) e suas variações, envolvendo valor médio e desvio padrão durante a fase de testes”**, para o depósito de resíduos sólidos DRS2.

Ao se iniciar os serviços foram realizadas reuniões com o MPPA para alinhamento do escopo das letras do TAC 3.1. Essas reuniões ensejaram no envio de um ofício elaborado pela FONNTES com esclarecimentos do entendimento técnico das perguntas para adequado encadeamento das atividades. Posteriormente foi recebido o “de acordo” do MPPA para elaboração dos serviços seguindo o raciocínio apresentado no ofício, que passou a ser utilizado como referência para elaboração de todos os relatórios. Vale destacar que esse esclarecimento foi muito importante para o direcionamento dos

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2		

serviços, porque em alguns casos haviam perguntas com temas que teriam melhor abordagem em outras letras do TAC 3.1 ou ainda em outras cláusulas que não eram escopo do presente trabalho. Abaixo é reproduzido o extrato do ofício com a explicação do entendimento para resposta da pergunta **letra G)**, objeto desse relatório.

Compreendemos que a pergunta se concentra no controle tecnológico utilizado para garantir a qualidade da construção das estruturas, ou se o controle de compactação dos resíduos, especialmente para o DRS2.

Estando correto nosso entendimento, para o DRS2 será realizado um estudo estatístico com o banco de dados de controle tecnológico da construção. Essa avaliação corresponde a verificação dos ensaios de controle de compactação dos resíduos que estão sendo dispostos e compactados conforme critérios previamente estabelecidos em projeto. Eventuais desvios, se existirem, serão apontados, assim como as tratativas em termos de governança dada para que sejam sanados.

No caso do DRS1, por ter sido construído com rejeitos com filtro tambor, a estrutura não foi concebida de forma que os resíduos fossem compactados. Posteriormente, foi elaborado um projeto de fechamento. Nesse projeto é prevista uma cobertura dos rejeitos já dispostos, de maneira controlada (compactados com controle), para posterior recuperação ambiental. Para o DRS1 sugerimos a verificação dos ensaios de controle de campo para garantir os critérios de compactação de projeto para a camada de fechamento.

3. DADOS UTILIZADOS

Foi recebido um volume elevado de informações enviadas pela ALUNORTE à FONNTES. Os dados consultados efetivamente para avaliação nesse relatório são apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Documentos utilizados para elaboração desse relatório

CÓDIGO	TÍTULO DO DOCUMENTO	ELABORADO POR	DATA
RT-3540-54-G-1014 R02	Relatório Técnico do Projeto “As Is”	PIMENTA DE ÁVILA	29/07/21
OM-3541-54-G-282 R08	Manual de Operação – DRS2 – Fase 1	PIMENTA DE ÁVILA	05/03/21
RT-3541-54-G-451 R01	Considerações sobre o “Como construído” da estrutura inicial do DRS2 – Fase 1	PIMENTA DE ÁVILA	Set/2020
RT-3541-54-G-360 R01	“Como Construído” do sistema de disposição de resíduos DRS2 – Fase 1	PIMENTA DE ÁVILA	Jul/2018
-	Boletins de Controle de Compactação pelo Método de Hilf entre Jul/2017 e Fev/2018, no total de 317 arquivos PDF	MARK’S ENGENHARIA	Jul/2017 a Fev/2018
-	Boletins de Controle de Compactação pelo Método de Hilf entre Dez/2019 e Mai/2020, no total de 37 arquivos PDF	MARK’S ENGENHARIA	Dez/2019 a Mai/2020
-	Boletins de Controle de Compactação pelo Método de Hilf entre Jun/2019 e Fev/2022, no total de 248 arquivos PDF	MARK’S ENGENHARIA	Jun/2021 a Fev/2022
RT-3541-54-G-378	Relatório de probabilidade da razão de disposição de projeto	PIMENTA DE ÁVILA	Ago/ 2017

4. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

Durante a definição da estrutura dos documentos a serem produzidos para a auditoria foi estabelecido que todos os relatórios apresentariam capítulos básicos introdutórios, que pudessem contextualizar qualquer leitor, independentemente do acesso a outros

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2		

relatórios dessa auditoria. Por isso, optou-se por reproduzir em todos os documentos um conteúdo introdutório que permita ao leitor o entendimento básico da localização, geologia e fisiografia do projeto da estrutura em avaliação. Este conteúdo introdutório comum a todos os relatórios de cada letra específica do Termo de Ajustamento de Conduta (TAC 3.1) contempla os itens 1 a 5.

Nestes termos, o presente relatório foi organizado da seguinte forma:

- Introdução, contendo apresentação do documento e do TAC 3.1 que resultou no contrato para auditoria documental;
- Objetivos do presente documento, indicando a letra específica da TAC 3.1 que será atendida;
- Dados utilizados/consultados para o atendimento à letra específica da TAC 3.1;
- Explicações sobre a organização do documento;
- Apresentação da estrutura em estudo, nivelando o conhecimento básico do leitor sobre o tema;
- Metodologia de avaliação da letra relativa ao presente relatório;
- Desenvolvimento dos estudos relativos à letra do presente relatório;
- Considerações finais;
- Referências bibliográficas.

5. APRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA

O DRS2 foi projetado para armazenar resíduo da produção de alumina (lama vermelha) (gerado pela refinaria da ALUNORTE) depois de filtrado por filtros prensa. Na Figura 5.1 é apresentado o Layout da fase 1 (fase atual) do DRS2, o qual é constituído de:

- Reservatório de resíduo úmido;
- Reservatório de resíduo seco (com dique central e fingers);
- Plataforma da pilha de retomada;

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

- Célula de Contingência;
- Canal de contenção de sedimentos;
- Canal de adução das bacias de controle;
- Bacias de controle BC 201 e BC 202

A função de cada estrutura do DRS2 será detalhada mais adiante, neste mesmo capítulo.

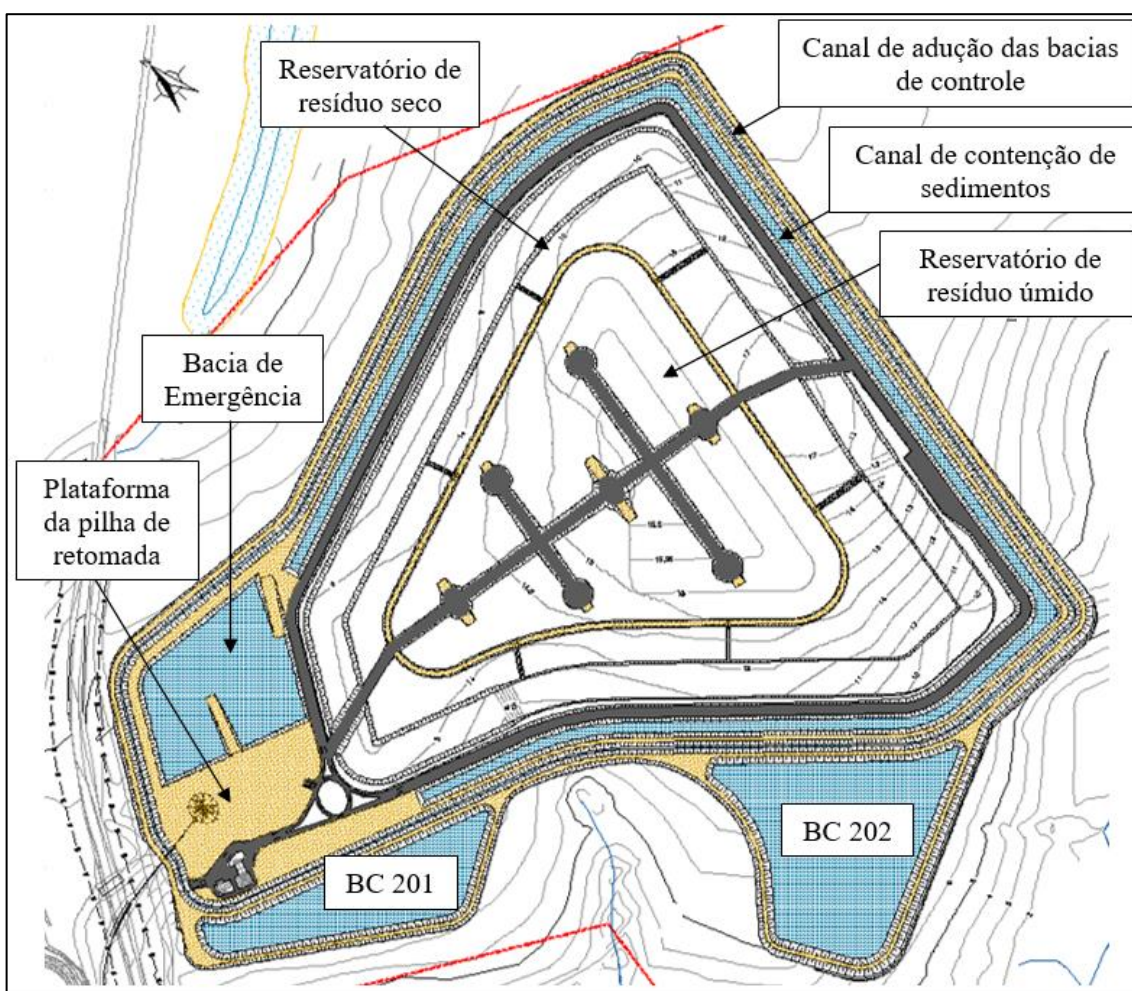


Figura 5.1 – Layout da fase 1 do DRS2 (MD-3541-54-G-096)

A seguir será apresentada a localização do depósito de resíduos sólidos DRS2 e em seguida o mesmo será caracterizado de acordo com o Memorial Descritivo do Projeto Detalhado do DRS2 Fase 01, documento MD-3541-54-G-096, elaborado pela Pimenta

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2		

de Ávila Consultoria, revisão 17 de setembro de 2015. Para caracterização da estrutura também é utilizado o relatório “As Built” do Projeto Detalhado do DRS2, elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria LTDA, documento RT-3541-54-G-360 R01, revisão 01 de julho de 2018. Ressalta-se aqui apenas o fato que a Fase 01 do DRS2 está em operação.

5.1 LOCALIZAÇÃO

Localizado no município de Barcarena, no estado do Pará, o sistema de disposição de resíduos pertencente à ALUNORTE é composto pelos Depósitos de Resíduos Sólidos DSR1 e DSR2 e situa-se em torno das coordenadas UTM/DATUM SIRGAS 2000 754.812m E 9.828.482m S.

Os depósitos se encontram a uma distância de, aproximadamente, 120 km da capital Belém, e o acesso se dá pela rodovia estadual PA-481. A planta industrial da ALUNORTE em Barcarena apresenta influência mundial na produção de alumina, colaborando para o desenvolvimento da região.

Logo a jusante dos depósitos DRS1 e DRS2 estão localizadas a bacia hidrográfica do rio Murucupi e diversas comunidades que direta ou indiretamente possuem influência do empreendimento.

A Figura 5.2 apresenta o mapa de localização do sistema de disposição de resíduos, indicando os Depósitos DRS1 e DRS2.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

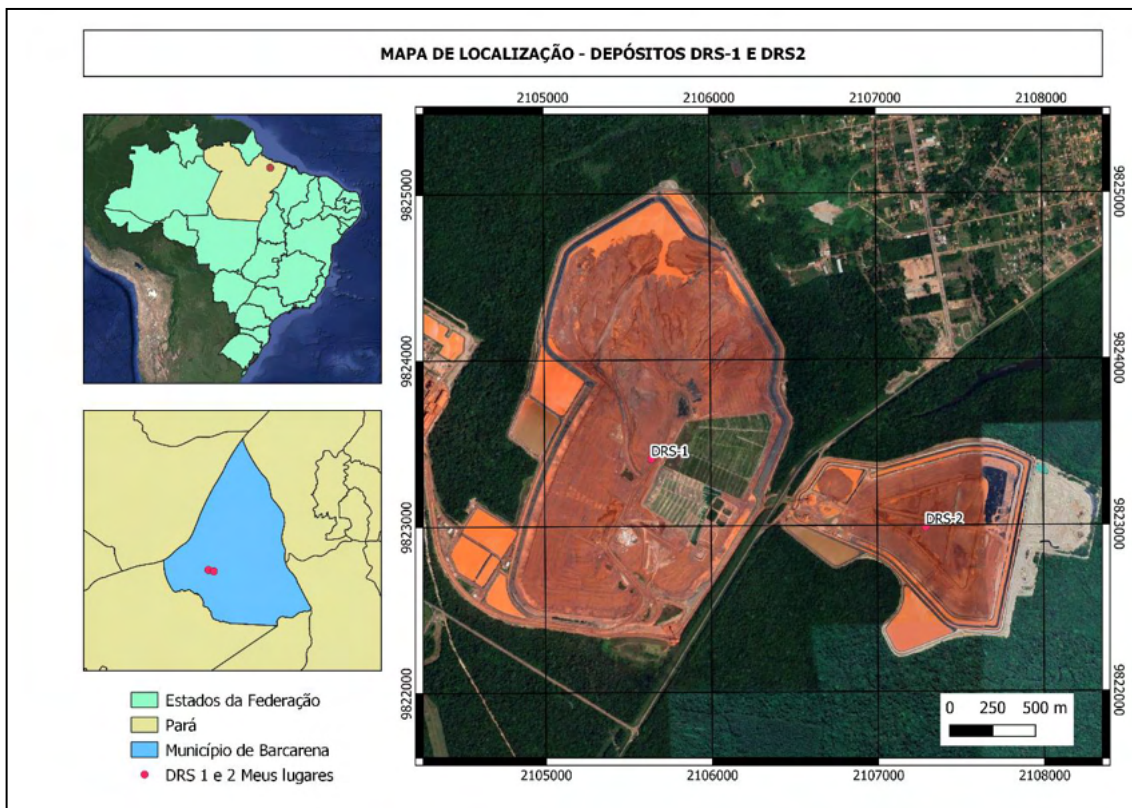


Figura 5.2 – Localização da Estrutura – DRS1 e DRS2

O município de Barcarena está localizado no bioma Amazônia, apresentando 1.310,34 km² de área (IBGE, 2021). Apresenta esgotamento sanitário adequado para 27,8% de seus habitantes (IBGE, 2010).

Segundo o levantamento censitário realizado pelo IBGE (2010), o município de Barcarena possui 99.859 habitantes, apresentando densidade demográfica de 76,21 habitantes por quilômetro quadrado. Conforme **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, identificam-se as comunidades Água Verde, Cabeceira Grande, Caravelas 1, Caravelas 2 Jardim das Palmeiras, Laranjal, Massarapó, Nazaré, Nestor Campos e Vila São Francisco.

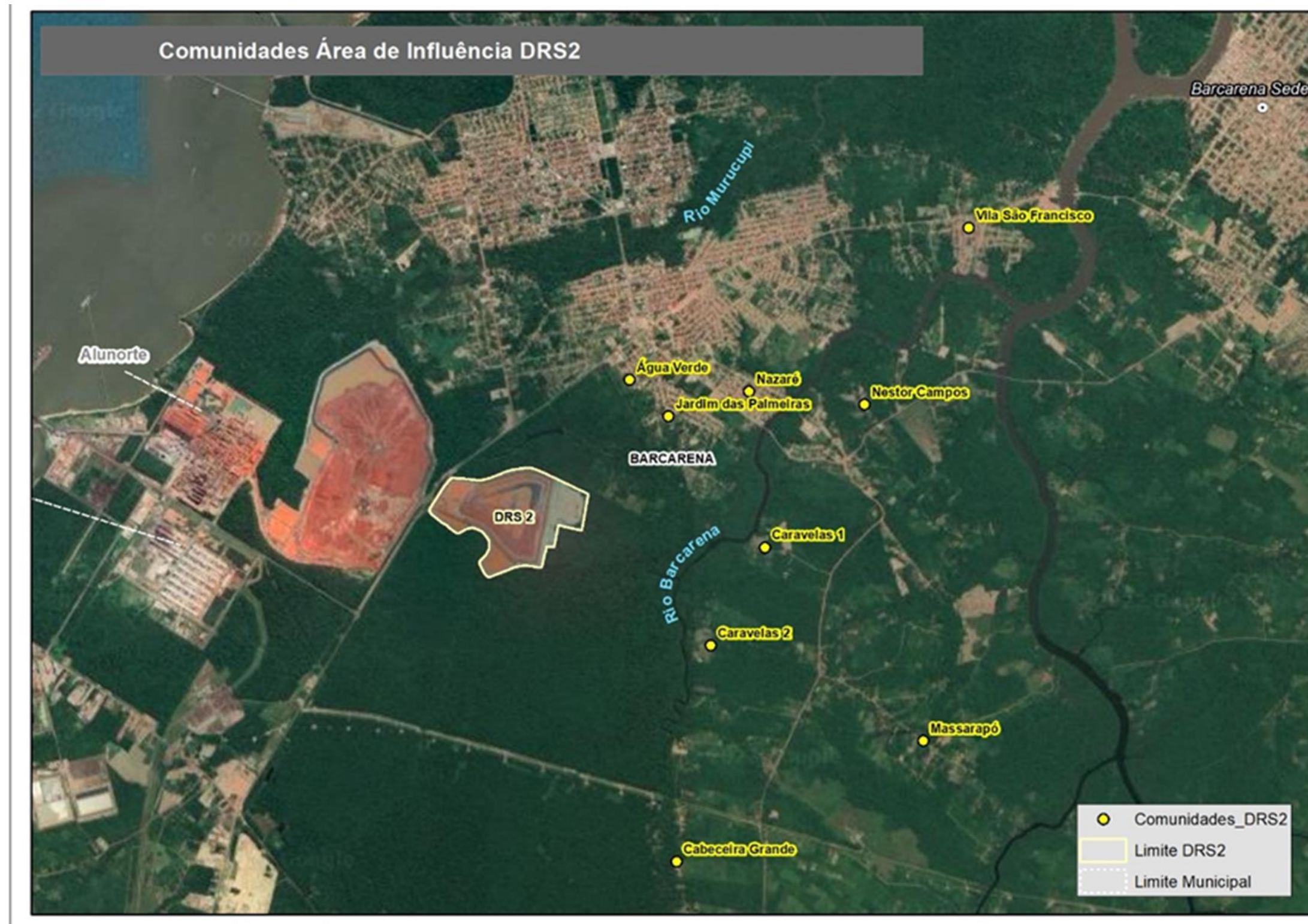


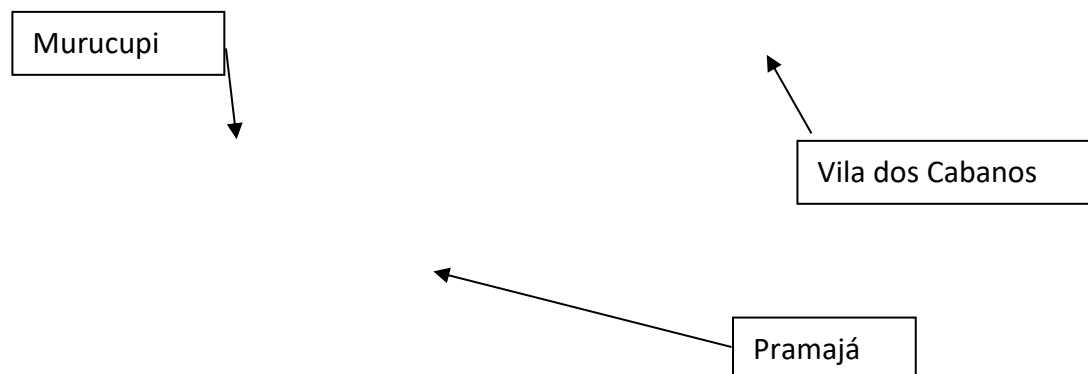
Figura 5.3 – Localização das comunidades próximas ao depósito DRS2 (Imagem fornecida pela equipe técnica da HYDRO/ALUNORTE)

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DA LOCALIZAÇÃO DO DRS2 COM O PROJETO

Conforme apresentado por IBGE (2020), no ano de 2020 o salário médio mensal era de 2,8 salários-mínimos, com 22,5% da população com emprego formal. A taxa de escolarização de crianças entre 6 e 14 anos foi de 97,3% (IBGE, 2010b)

Em relação à economia do município, o PIB per capita de 2019 foi de R\$ 43.063,73, sendo 71% oriundo de fontes externas (IBGE, 2019), o IDHM do município é de 0,662 (IBGE, 2010).

A Nota Técnica “Contextualização sobre o histórico de expansões dos depósitos de resíduos sólidos – DRS1 e DRS2” (documento DT-3542-54-G-001) apresenta o histórico de implementação e expansão do DRS1 e DRS2. Esse histórico é replicado aqui visando contextualizar o leitor (Figura 5.4).



AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DA LOCALIZAÇÃO DO DRS2 COM O PROJETO

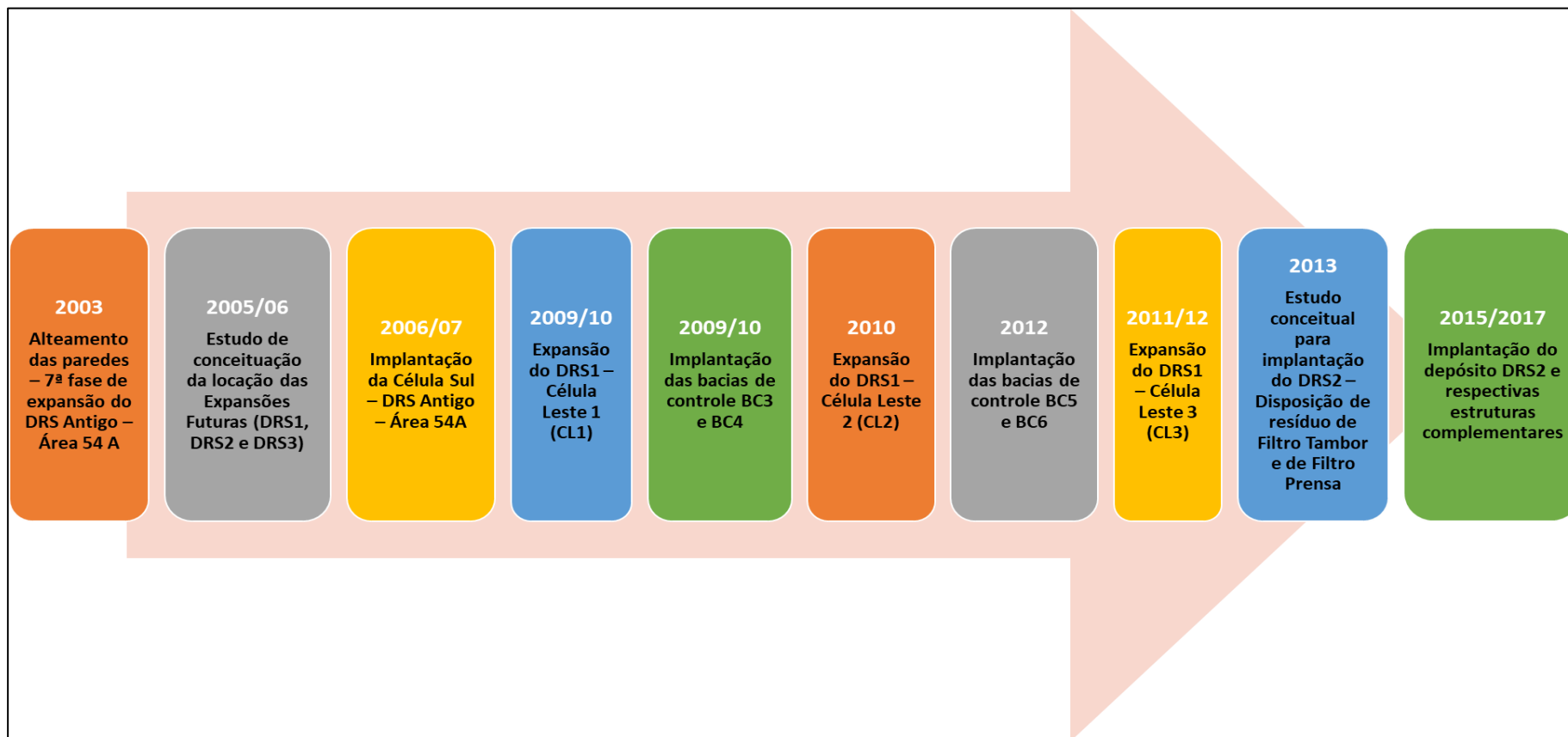


Figura 5.4 – Histórico de expansão do DRS1 e DRS2

A descrição das estruturas do DRS2 é apresentada a seguir a partir no Memorial Descritivo do Projeto (MD-3541-54-G-096) e Relatório “As Built” (RT-3541-54-G-360 R01_AN-561-RL-47252-00).

5.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS

5.2.1 Geologia Regional

A área de estudo encontra-se inserida no contexto dos sedimentos cenozóicos (< 65,5 milhões de anos) individualizados nas formações: Pirabas e Barreiras, bem como dos sedimentos quaternários (denominados de sedimentos pós Barreiras).

Conforme apresentado no Mapa Geológico do Estado do Pará, desenvolvido pela CPRM em 2008 (Figura 5.5), a estrutura DRS2 encontra-se sobre Sedimentos Pós-Barreiras.

Ocupando uma área de aproximadamente 12.000 m², que se estende à faixa litorânea entre as cidades de Bragança e Belém avançando para o interior do Pará, a Formação Pirabas ocorre sobreposta ao embasamento cristalino (Almaraz, 1977) e é caracterizada pela composição calcária e conteúdo fossilífero. A deposição se fez por evento transgressivo decorrente da subida do nível do mar em todo o planeta, durante o Mioceno (Haq *et al.* 1987). Sucedendo ao evento transgressivo que resultou na Formação Pirabas, ocorreu um evento de caráter regressivo o qual foi responsável pela sedimentação do Grupo Barreiras.

O Grupo Barreiras, também denominado por alguns autores de Formação Barreiras, aflora na costa brasileira, quase continuamente desde o Pará até o Rio de Janeiro. O grupo é constituído por sedimentos de origem continental pouco litificados, oriundos da ação do intemperismo e ciclos geológicos ocorridos no interior do continente após a abertura do Atlântico (Mabesoone e Castro, 1975). Os estratos apresentam variações verticais e laterais bem marcadas que variam em níveis arenosos, argilo arenosos,

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

conglomeráticos e ferruginosos. Os sedimentos quaternários Pós-Barreiras recobrem discordantemente essas seqüências.

Admite-se como Sedimentos Pós Barreiras os depósitos que recobrem de maneira discordante os estratos da Formação Barreiras. Tratam-se de areias consolidadas e semi-consolidadas de granulometria fina a média e coloração creme amarelada a branca, podendo conter clastos e frações de argila (Farias et al. 1992). Segundo Rosseti e Valeriano (2007) a evolução desses sedimentos está relacionada a um paleovale de idade quaternária alimentado pelo Rio Tocantins, quando esse corria para oeste do seu curso atual.

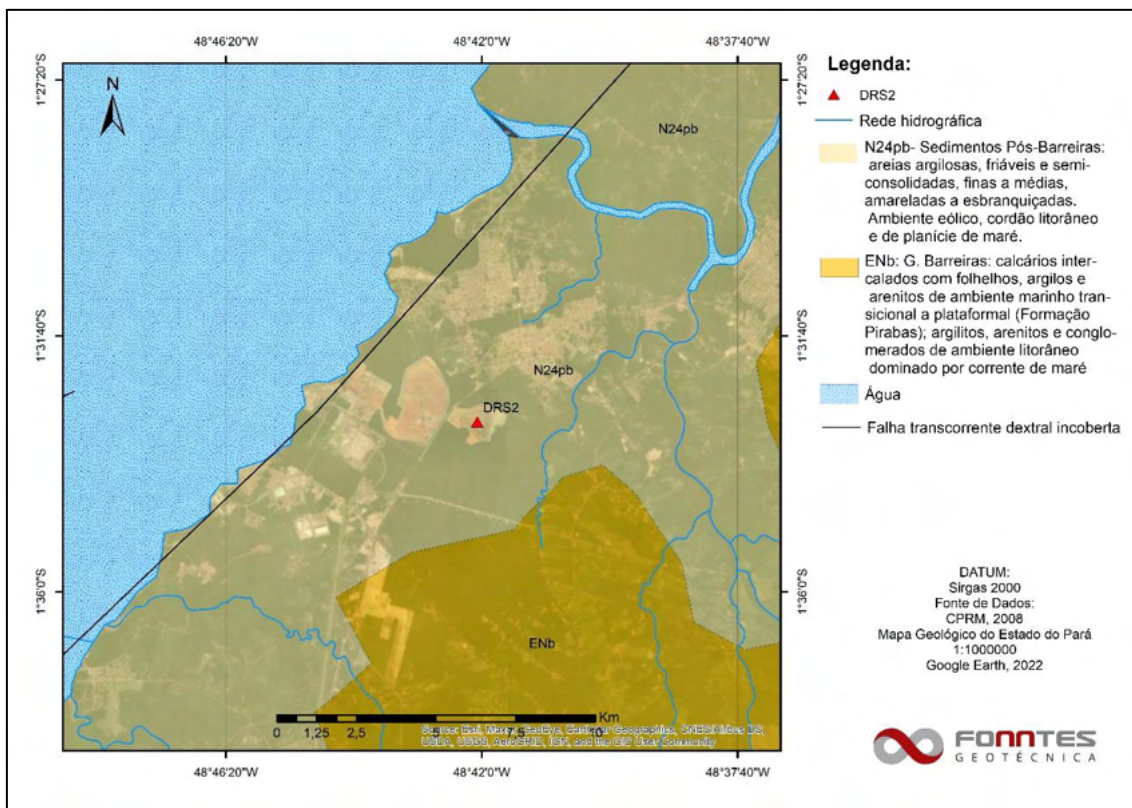


Figura 5.5 – Mapa geológico regional da estrutura DRS2

O relatório “As Is” RT-3540-54-G-1014 desenvolvido pela Pimenta de Ávila, apresenta as estruturas DRS1 e DRS2 inseridas sobre domínios da Formação/Grupo Barreiras. Levando em consideração o caráter regional do estudo, é natural que haja diferenças

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2		

entre os estudos, devido principalmente a escala de 1:1.000.000 (Figura 5.5), não sendo essas consideradas inconsistências.

5.2.2 Histórico de Investigações

Com base no estudo detalhado elaborado pela Pimenta de Ávila (RT-3541-54-G-095), a Tabela 5.1 apresenta uma síntese das investigações executadas na área de estudo.

Tabela 5.1 – Tabela resumo do histórico de investigação executada na área da estrutura DRS2

CAMPANHA	EMPRESA	ANO	DOCUMENTO
Estudos conceituais e de pré viabilidade do sistema de rejeitos	-	2002	desenhos AN-306-DS-8875 a 8882
Estudos de condição de fundação	-	2011	RT-3540-54-G-366-R01
Projeto Detalhado do Desvio da PA-481	Solotécnica Engenharia	2014	Relatório AN-681-RL-38211 e desenhos AN-681-DS-38176 a 38181
Condições de fundação do traçado do <i>pipe conveyor</i>	Sondacil	2014	Anexo 3 do relatório (RT-3541-54-G-095), fornecido pela empresa Hatch

De acordo com a empresa ALUNORTE, não houve premissas que justificassem a necessidade de execução de sondagens complementares na área próxima à estrutura DRS2, além daquelas executadas para fomentar o desenvolvimento do projeto.

É de conhecimento que a área de implantação não pode ser perfurada, uma vez que a estrutura é protegida por geomembrana e caso haja necessidade, as investigações deverão ser locadas próximo ao DRS2 em um contexto estratigráfico e geomorfológico semelhante. As investigações geológico-geotécnicas podem ocorrer durante toda a vida útil de uma estrutura, partindo de premissas tais como: necessidade de reavaliação da estratigrafia da fundação e/ou modificações no projeto.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2		

5.2.3 Geologia Local

Nesse subitem é apresentada uma síntese do estudo de geologia local desenvolvido no relatório “As Built” RT-3541-54-G-095 elaborado pela empresa Pimenta de Ávila.

A fundação da estrutura DRS2 pode ser dividida em 3 horizontes distintos, sendo eles: horizonte superior, horizonte intermediário e horizonte inferior.

O horizonte superior é caracterizado por siltes arenosos de coloração variada, e pode ser dividida em subhorizontes superior e inferior, sendo o primeiro constituído por siltes arenosos de compactidade fofa e NSPT menores que 5 golpes. O subhorizonte inferior apresenta características semelhantes ao superior (compactidade fofa e coloração amarelada), porém com valores de NSPT variando entre pouco a medianamente compacto, variando entre 5 a 16 golpes.

O horizonte intermediário é constituído por camada arenosa de coloração variada e NSPT com grande variação, desde 10 golpes até o impenetrável (areias mais finas). Apresenta granulometria variando de fina a grossa e camada com espessura de 5 a 18 metros.

Sotoposto ao horizonte intermediário, encontra-se o horizonte inferior, que se caracteriza por apresentar textura silto-arenosa a areno siltosa, coloração varada e compactidade rija a dura (NSPT variando entre 47 a 60 golpes).

A Figura 5.6 apresenta a seção típica da área de estudo.

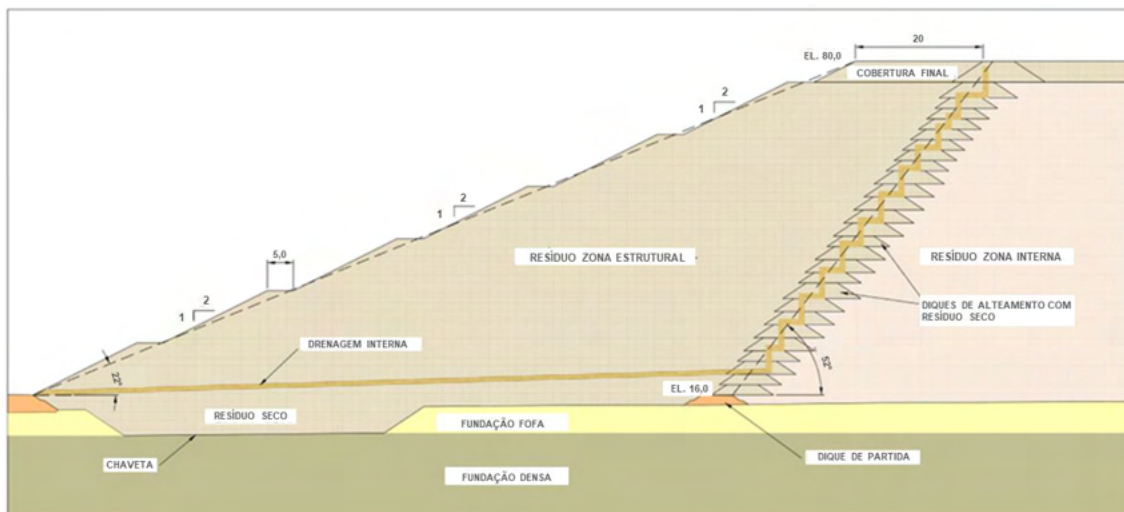


Figura 5.6 – Seção transversal típica do DRS2 (Fonte: RT-469137-54-G-0002)

5.3 PLATAFORMA DA PILHA DE RETOMADA DO RESÍDUO E CÉLULA DE CONTINGÊNCIA

A plataforma da pilha de retomada de resíduo para disposição no DRS2 foi projetada na El. 16,0 m, com área em planta de cerca de 49.900 m².

A Célula de Contingência foi projetada para receber resíduo em condições de umidade extremamente elevadas. Tendo em vista que elevada umidade impossibilitaria a sua disposição por meio de espalhamento com trator de esteiras. Foi prevista crista na El. 16,0 m e fundo com elevação variável em torno da EL. 11,0 m, área em planta de cerca de 48.500 m², taludes de montante com inclinação 1V:1,5H e volume de armazenamento de aproximadamente 199.483 m³ de resíduo “super úmido”.

5.4 CANAIS DE CONTORNO E BACIAS DE CONTROLE (BC 201 E BC 202)

O sistema de proteção e condução das águas pluviais do DRS2 é formado por dois canais de contorno associados a duas bacias de controle denominadas BC 201 e BC 202.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

Conforme memorial descritivo (MD-3541-54-G-096), em função dos estudos hidrogeológicos obtidos da área, foi definido que a cota de escavação do fundo das Bacias de Controle (BC 201 e BC 202) seria na El. 9,0 m.

O canal implantado adjacente ao reservatório de resíduos, denominado canal de contenção de sedimentos, apresenta cerca de 15m de largura da base, taludes com inclinação de 1V:1,5H, e fundo na elevação 11,0m. Tem como objetivo conter os sedimentos provenientes da drenagem da pilha, que porventura sejam carregados para o canal.

O segundo canal (canal de adução das bacias), adjacente ao canal de contenção de sedimentos, possui cerca de 3m de largura de base, taludes com inclinação de 1V:1,5H, e fundo na elevação 10,5m. Contorna toda a área do depósito e tem como objetivo receber os efluentes a partir do canal de contenção de sedimentos e conduzi-los até as bacias de controle BC 201 e BC 202, de onde o efluente é bombeado para a estação de tratamento.

O controle do fluxo de efluente do depósito para os canais e bacias é feito através de extravasores distribuídos ao longo dos diques de contorno.

A bacia de controle BC 201 tem uma área de cerca de 34.585 m² de fundo, taludes 1V:1,5H, crista na elevação 15,50 m e fundo na elevação 9,00 m. Possui um volume total de 258.129 m³. Já a BC 202 tem uma área de cerca de 65.301 m² de fundo, taludes 1V:1,5H, crista na elevação 15,50 m e fundo na elevação 9,00 m, perfazendo um volume total de 463.201 m³.

A partir das bacias de controle o efluente é bombeado para a estação de tratamento.

5.5 DIQUE DE CONTORNO

O dique de contorno do reservatório é utilizado como acesso de operação. Apresenta borda interna da crista na El. 16,0 m, largura da crista de 13,0 m, com inclinação para as duas laterais.

5.6 DIQUE ENTRE CANAL DE CONTENÇÃO DE SEDIMENTOS E CANAL DE ADUÇÃO DAS BACIAS DE CONTROLE

O dique entre canal de contenção de sedimentos e canal de adução das bacias de controle possui crista na El. 16,0, com 5,8 m de largura e inclinação para dentro do canal de contenção de sedimentos. Taludes de montante e jusante com inclinação de 1V:1,5H. Apresenta revestimento de laterita na crista.

5.7 DIQUE EXTERNO DO CANAL DE ADUÇÃO DAS BACIAS DE CONTROLE

O dique externo do canal de adução das bacias de controle possui crista na El. 15,5, com 7,8 m de largura e inclinação para dentro do canal. Taludes de montante e jusante com inclinação de 1V:1,5H. Apresenta revestimento de laterita na crista.

5.8 DIQUE EXTERNO DAS BACIAS DE CONTROLE (BC 201 E BC 202)

O dique externo das bacias de controle possui crista na El. 15,5, com 5,8 m de largura e inclinação para dentro das bacias. Taludes de montante e jusante com inclinação de 1V:1,5H.

5.9 DIQUE DE CONTENÇÃO DA ÁREA ÚMIDA (INFRAESTRUTURA INICIAL)

O dique de contenção da área úmida apresenta crista na EL. 16,0 m, com 5,9 m de largura e extensão de cerca de 2.038,37 m. Possui revestimento de laterita na crista, bem como 6 aberturas com 3m de largura na base que servem de extravasores.

5.10 DIQUE CENTRAL E FINGERS (INFRAESTRUTURA INICIAL)

Foram projetados dique central e fingers dentro da área destinada à disposição de resíduo úmido, para possibilitar o acesso de caminhões que levarão o resíduo a ser disposto nesta área. Os Fingers foram implantados nos bordos direito e esquerdo do dique central, sendo nomeados 1D e 1E e 2D e 2E. Na ponta dos fingers e em alguns pontos do dique central foram previstas áreas circulares para manobra dos caminhões, posicionamento e lançamento do resíduo para dentro do reservatório. Nestas áreas circulares, foram previstas rampas para a descida de tratores de esteira que promovem o espalhamento do resíduo.

O dique central possui cota de crista variável entre as EL. 16,0m e EL. 20,21 m, com 15,4 m de largura e extensão de cerca de 620,0 m. Os fingers possuem cota de crista variável entre a EL. 15,7m e EL. 19,8 m, com 15,4 m de largura e extensão total de cerca de 647,0 m. O revestimento na crista do dique central e fingers ficou a cargo da ALUNORTE e não é apresentado no memorial descritivo (MD-3541-54-G-096).

5.11 SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO

O DRS2 conta com um sistema simples de barreira impermeabilizante, constituído por geomembrana PEAD com espessura de 1,5 mm, nos taludes de montante e fundo do reservatório, canais, bacias, plataforma da pilha de retomada e na crista dos diques de contorno e dique de contenção da área úmida.

Para proteção da geomembrana quanto ao puncionamento por qualquer material pontiagudo que possa existir nas áreas de aterro e de terreno natural que ela cobrirá, nos taludes foi instalado, sob a geomembrana, geotêxtil não tecido de gramatura igual a 400g/m² e, no fundo do reservatório, das bacias e do canal de contenção de sedimentos, a geomembrana estará sobre uma camada de 7,0 cm de areia.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

Na crista do dique de contorno, que servirá de acesso ao reservatório do DRS2, onde haverá trânsito de veículos, como caminhões carregados de resíduo, foi aplicada geomembrana texturizada nas duas faces, que proporciona maior atrito na interface com o solo, e sobre ela uma camada de 1 m de solo sem pedregulhos, de forma a evitar que o tráfego promova danos à geomembrana. Sobre a camada de solo foi projetado a aplicação de asfalto. Durante a visita técnica esse último ainda não havia sido executado.

De acordo com o memorial descritivo, na crista do dique de contenção da área úmida a configuração é a mesma, exceto que a espessura da camada de solo sem pedregulhos sobre a impermeabilização seria de 0,75 m e logo acima uma camada de 0,25 m de espessura de laterita.

Na área da plataforma da pilha de retomada, também foi utilizada geomembrana texturizada nas duas faces, e sobre ela uma camada de 0,75 m de solo sem pedregulhos, com 0,25 m de laterita por cima, tendo sido delimitada pela ALUNORTE a área asfaltada.

Na área do reservatório do DRS2 onde será disposto o resíduo em período de estiagem também foi prevista a aplicação de geomembrana de 1,5 mm de espessura, texturizada nas duas faces.

Nos taludes de jusante do canal de contorno e bacias poderá ser aplicada geomembrana de 1,0 mm ou vegetação de grama em placa, a ser definido pela ALUNORTE.

5.12 DRENAGEM INTERNA DA PILHA

Segundo o memorial descritivo, o sistema de drenagem interna foi previsto ser implantado quando a pilha de resíduo atingir a elevação 16 m, ou seja, a borda do dique de contorno. Consiste em drenos transversais, espaçados de 10 m entre si, de seção

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

retangular de 0,60 m por 0,40 m de seixo rolado, envolto por geotêxtil e uma camada de 0,15 m de areia média. A função dos drenos é conduzir o fluxo de água interno da pilha, da área úmida até a crista do dique de contorno da área seca, com declividade de 2%, evitando assim a saturação da zona estrutural da pilha. A água proveniente dos drenos é coletada pela canaleta do dique de contorno, de onde segue o fluxo de efluentes até as bacias de controle.

A Figura 5.7 e Figura 5.8 ilustram a seção e detalhe típicos dos drenos.

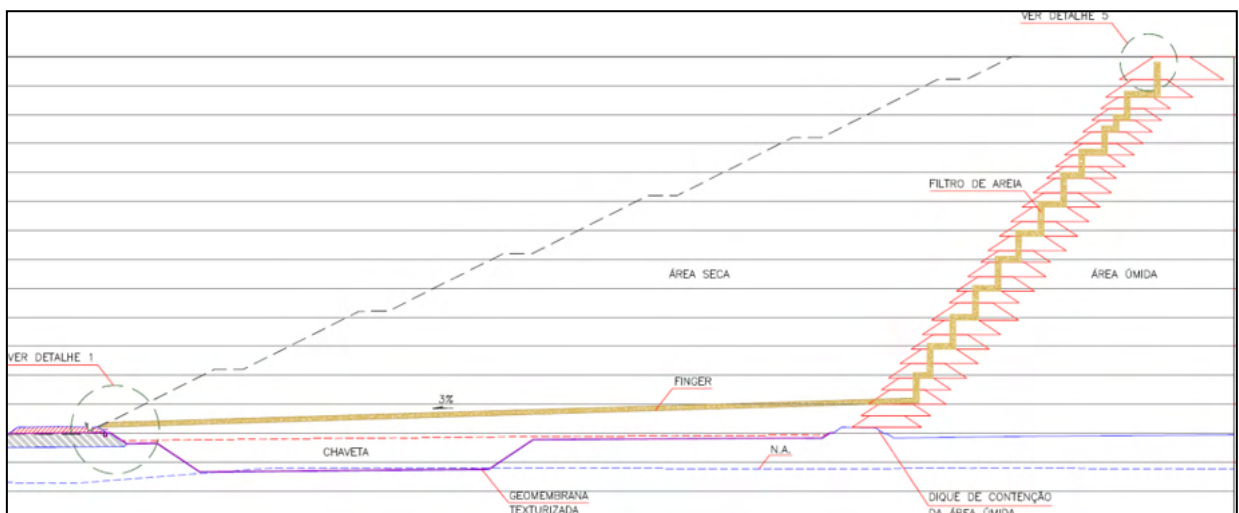


Figura 5.7 – Seção Típica – Drenagem interna da pilha (documento D1-3541-54-G-163)

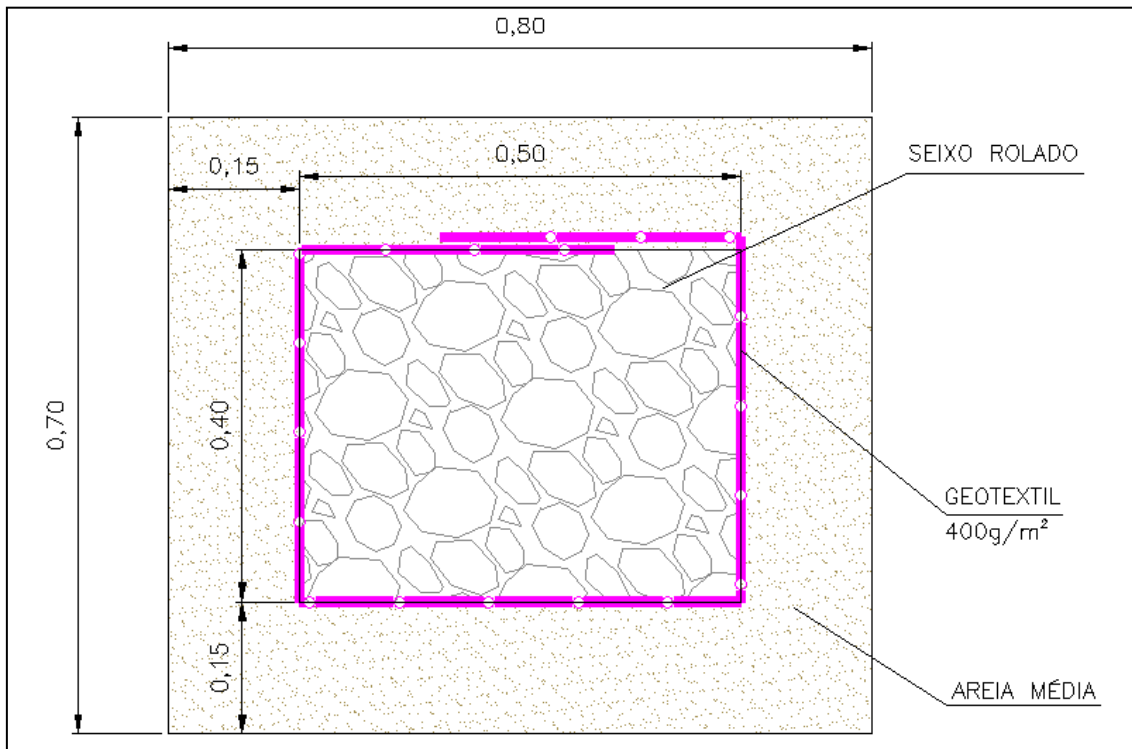


Figura 5.8 – Detalhe Típico – Drenos (D1-3541-54-G-163)

5.13 INSTRUMENTAÇÃO

Para permitir o monitoramento das condições geotécnicas da pilha de resíduo filtrado do DRS2, foi prevista a instalação de instrumentação geotécnica, a saber:

- 20 Inclinômetros: aplicável para medição de deslocamentos horizontais em profundidade;
- 07 Piezômetros Casagrande e 19 piezômetros elétricos de corda vibrante: medição da poropressão na fundação e no interior da pilha durante a construção da mesma;
- 10 Marcos superficiais: monitoramento dos deslocamentos horizontais e verticais na superfície.

5.14 SISTEMA EXTRAVASOR

O sistema de controle das águas no interior do DRS2, até a El. 16m (Fase 1) é desenvolvido de 2 maneiras distintas, a saber:

1. Por meio de sistema de bombeamento – corresponde ao controle das águas no interior do DRS2 abaixo da El. 14,0 m (elevação da soleira dos extravasores), ou seja, no trecho em que não é possível o escoamento das águas do interior do depósito pelos extravasores para os canais/bacias;
2. Por meio de extravasores – corresponde ao controle das águas no interior do DRS2 entre a El. 14,0 m a 16,0 m.

No DRS2 - Fase 1, foram projetados 22 extravasores em concreto armado no dique de contorno, com soleira na El. 14,00 m (planta de locação dos extravasores: D1-3541-54-C-039).

Entre o canal de contenção de sedimentos e o canal de adução foram implantados 4 extravasores tipo galeria, controlado por stop-logs

Entre o canal de adução e as bacias de controle existem 2 extravasores tipo galeria, controlado por stop-logs, localizados nos seguintes pontos:

- Canal de adução ligando à BC 201;
- Canal de adução ligando à BC 202;

Para facilitar a operação dos stop logs nos extravasores (soleira El. 14,00 m), foram projetados pórticos com dispositivo de içamento a serem instalados em cada extravasor.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

O controle do Nível de água na Célula de Contingência é feito por meio de bombeamento, abaixo da elevação 14 m, e por meio de extravasor em concreto dotado de stop logs entre as elevações 14 m e 16 m.

5.15 GALERIA DE TRANSPOSIÇÃO DO CANAL DE ADUÇÃO

Na região da entrada para o DRS2 de acordo com descritivos dos documentos consultados, foi implantada uma galeria em concreto com dimensões internas de 3,0 x 4,0m para transposição do canal de adução.

5.16 DRENAGEM SUPERFICIAL

Na concepção do sistema de drenagem superficial foram utilizadas canaletas retangulares em concreto, sendo designadas por CR (canaleta retangular), na área da plataforma, e por CRP (canaleta retangular periférica) no pé da pilha a ser construída.

A drenagem superficial periférica da pilha de resíduo desemboca nos extravasores (rápidos), enquanto a drenagem superficial da plataforma desemboca na Célula de Contingência ou no canal de adução, em função da localização do dispositivo de drenagem.

5.17 PROJETO AS BUILT

O relatório “As Built”/Como Construído elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria (RT-3541-54-G-360 R01, revisão 01 de julho de 2018) foi elaborado após a implementação da primeira fase do DRS2 e apresenta pequenas divergências entre o projeto e o que foi executado. Ressalta-se que até o presente momento, apenas a primeira fase do DRS2 foi implementada e está em fase de operação. Segundo o relatório “As Built” não foram identificados documentos que evidenciem as seguintes ações durante a execução do projeto:

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

- Escavação e remoção de material fofo, nas áreas que posteriormente receberam o aterro dos diques;
- Escavação e remoção de material fofo, na região da chaveta.
- Ensaios de caracterização de resistência do concreto moldado *in loco*, e atualização de cotas, medidas, etc., das estruturas de concreto dos extravasores;
- Execução de camada de geotêxtil e tapete de areia sob a geomembrana.

Entretanto, no documento “considerações sobre o ‘Como Construído’ da infraestrutura inicial do DRS2- Fase 1” (RT-3541-54-G-451 R01), é informado que as mudanças do projeto foram ajustes de execução por decorrência de necessidades identificadas durante a implantação, concluindo que “As obras executadas para a construção da estrutura inicial de disposição do DRS2 – Fase 1 atendem às exigências e premissas estabelecidas em projeto, tornando o depósito apto para disposição de resíduos”.

6. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

No início dos trabalhos foram realizadas reuniões com o MP-PA com objetivo de alinhamento sobre o entendimento do escopo das letras do TAC 3.1. Um ofício foi elaborado pela FONNTES e direcionado ao MP-PA (protocolo PR-PA-00011706/2022 em 16 de março de 2022) com o entendimento da metodologia para resposta técnica de cada uma das letras do TAC 3.1. O “de acordo” ao entendimento foi encaminhado pelo MP-PA pelo Ilmo. Procurador da República Dr. Ricardo Augusto Negrini no dia 04 de abril de 2022. A metodologia estabelecida para o atendimento da letra G), objeto desse relatório, e reproduzida a seguir.

Para a avaliação da densidade e do teor de umidade ótimo das camadas executadas no DRS2, nas Zonas Estrutural e Interna, foram consultados os procedimentos especificados

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

no Manual de Operação, elaborado pela PIMENTA DE AVILA, em 05/03/21, doc. OM-3541-54-G-282 R08. Também foi realizada a compilação e a avaliação dos Boletins de Controle de Compactação pelo Método de HILF do DRS2, referentes aos intervalos de julho/2017 a fevereiro/2018, dezembro/2019 a maio/2020 e junho/2021 a fevereiro/2022. Esses documentos dizem respeito aos ensaios de controle de qualidade da compactação das camadas de resíduos dos depósitos. Adicionalmente, os resultados de controle de compactação foram verificados com aqueles especificados pela projetista no manual de operação, quais sejam, 95% em relação ao ensaio Proctor Normal para Zona Estrutural e 90% em relação ao ensaio Proctor Normal para Zona Úmida.

7. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

7.1 DIRETRIZES ESTABELECIDAS EM PROJETO

Conforme indicado no Manual de Operação, elaborado pela PIMENTA DE AVILA, em 05/03/21, doc. OM-3541-54-G-282 R08, os resíduos são dispostos no depósito DRS2 em duas áreas distintas, em função das condições de densidade e umidade. Nos dias secos, os resíduos são dispostos na Zona Estrutural e, nos dias chuvosos, os resíduos são depositados na Zona Interna. Tais zonas foram indicadas na Figura 5.6.

De acordo com o documento, levando em consideração os dados estatísticos de pluviometria na região da Hydro/Alunorte (estação pluviométrica de referência Vila do Conde) e com base na experiência da projetista Pimenta de Ávila, o zoneamento da disposição no DRS2 foi estabelecido levando em consideração as seguintes faixas de precipitação diária (P):

- $P < 4 \text{ mm}$ – não afeta significativamente o teor de umidade final do resíduo. Portanto, 100% do resíduo pode ser lançado na Zona Estrutural do DRS2;

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

- $4 \text{ mm} < P < 10 \text{ mm}$ – 50% do resíduo não teria o teor de umidade significativamente afetado, apresentando condições de ser lançado na Zona Estrutural do DRS2. 50% dos resíduos teriam que ser depositados na Zona Interna do DRS2;
- $10 \text{ mm} < P < 25 \text{ mm}$ – afeta o teor de umidade final do resíduo. Portanto, 100% do resíduo deve ser lançado na Zona Interna do DRS2;
- $P > 25 \text{ mm}$ – afeta o teor de umidade final do resíduo. Portanto, 100% do resíduo deve ser lançado na Zona Interna do DRS2 ou temporariamente depositado na Célula de Emergência do DRS2.

Além disso, os resíduos deverão ser lançados na Zona Interna quando:

- Desvio de umidade do resíduo na frente de retomada das pilhas de transferência fora da faixa especificada (entre $w_{ót}-3\%$ e $w_{ót}+4\%$.);
- Problemas nos acessos em direção à Zona Estrutural, tais como, de trafegabilidade, visibilidade ou qualquer outro, que prejudique, ou impossibilite, o transporte do resíduo até a Zona Estrutural;
- Problemas de excesso de umidade do resíduo (Desvio de umidade $\geq 4\% w_{ót}$), trafegabilidade, visibilidade, ocorrência de chuva forte ou qualquer outro problema, a critério do supervisor de área, que prejudique, ou impossibilite, a disposição na Zona Estrutural.

Com base nas faixas de precipitação, o volume de produção de resíduo seco e resíduo úmido ocorra em função da precipitação diária. Uma vez que a zona estrutural do DRS2 só pode ser conformada com a produção de resíduo seco, foi elaborado o relatório de probabilidade da razão de disposição de projeto (doc. RT-3541-54-G-378, PIMENTA DE ÁVILA, 2017). Este relatório teve como objetivo identificar a probabilidade de geração de um volume de resíduo seco menor que o previsto em projeto.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

Neste estudo foi modelada por meio de Cadeias de Markov a probabilidade de ocorrência de chuva em dias seguidos ou isolados em cada mês do ano. Nos dias chuvosos, os quantis foram obtidos aleatoriamente por meio de distribuição Gama com 2 parâmetros usando como base os parâmetros de posição e escala obtidos individualmente para cada mês do ano hidrológico. Por fim, com base na precipitação de cada dia, foram feitas 10.000 simulações da operação do DRS2 por meio da metodologia matemática de Monte Carlo.

Neste estudo foram simulados três cenários, sendo o primeiro considerando toda a vida útil da fase 1 do DRS2, prevista em 10 anos (entre jul/2017 e jun/2027), o segundo cenário considera o mesmo período, porém os dois primeiros anos (2017 e 2018) são iguais aos anos de chuva mais intensos registrados na estação Vila do Conde, e o terceiro cenário considerando um ano qualquer, sem considerar anos anteriores para compensar falha na razão de projeto.

Ressalta-se que no referido estudo não foi avaliada a probabilidade de falha do critério estabelecido para a definição dos volumes diários de resíduo seco e úmido (critério das faixas de precipitação). Além disso, foram calculadas as probabilidades de falha da razão de disposição, mas não foram avaliadas as magnitudes dessas falhas.

O estudo pôde concluir que:

- ***“Ao considerar a premissa de que o volume de resíduo seco gerado é uma variável acumulativa (a geração de um volume menor em um ano pode ser compensada pelo excedente de volume de resíduo seco gerado no passado), a probabilidade de ocorrer VSECO, SIM < VSECO, PROJ é de 0,0241, ao final do ano de 2017, chegando a $1,05 \times 10^{-18}$ ao final de junho de 2027;***
- ***Ainda considerando a premissa de que o volume de resíduo seco gerado é uma variável acumulativa, a eventual geração de um volume menor de resíduo seco do que considerado em projeto, no início da operação do DRS2, pode provocar***

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

impactos que levem até mesmo anos para serem recuperados. Esse cenário pode ocorrer caso o início da operação do DRS2 coincida com um período de anos muito chuvosos. Nesse caso, a probabilidade de VSECO, SIM < VSECO, PROJ é de 0,352 no primeiro ano após a normalização do regime de chuvas, chegando a 2,23.10-13 ao final de agosto de 2027;

- ***No cenário que considera a independência entre o volume de resíduo disposto ano a ano, a probabilidade de VSECO, SIMULADO < VSECO, PROJETO, em um dado ano, é de 0,279%. Considerando a vida útil do DRS2 Fase 1 de 10 anos, e a possibilidade de falha da razão de projeto em um ou mais anos de operação, a probabilidade de VSECO, SIM < VSECO, PROJ, em um ou mais anos, é 2,75%.”***

O Manual de Operação (doc. OM-3541-54-G-282 R08) indica que as camadas de resíduo devem ser lançadas com espessura solta máxima de 0,30. A compactação deve ser realizada de modo sistemático, ordenado e contínuo, de modo a garantir, na zona estrutural, o grau de compactação de 95% em relação ao ensaio Proctor Normal e, na zona úmida, o grau de compactação de 90% em relação ao ensaio Proctor Normal.

Para auxiliar no controle de disposição dos resíduos, foi realizada a setorização do DRS2, com subdivisão de faixas e praças de lançamento. A Zona Estrutural foi dividida nos setores de 01 a 08, conforme Figura 7.1. Já a Zona Interna foi dividida nos setores 09 a 14, com pontos preferenciais para a disposição dos resíduos ao longo do dique central e *fingers* indicados em vermelho na Figura 7.2.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

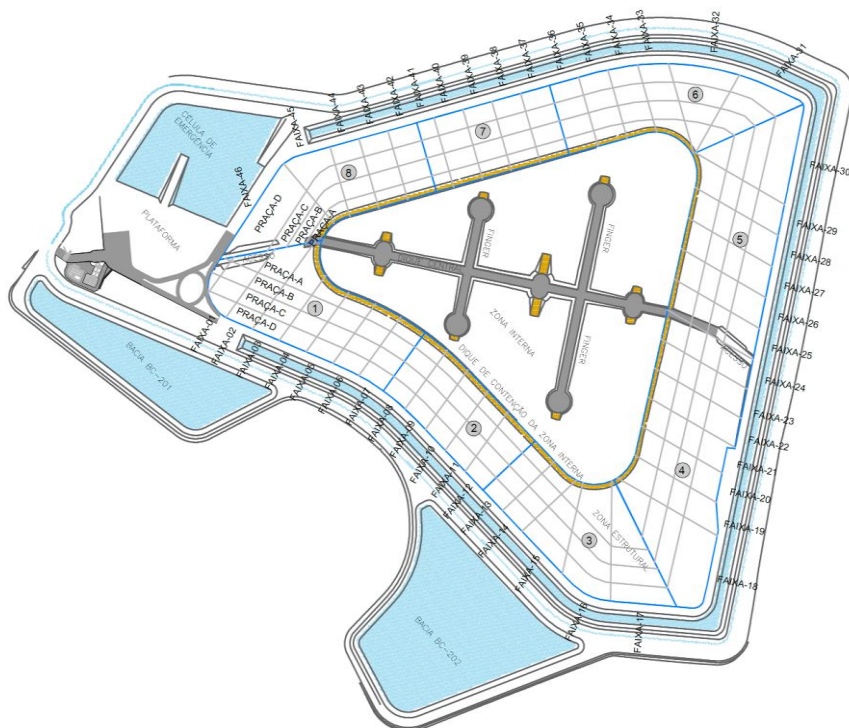


Figura 7.1 – Setorização da Zona Estrutural em faixas e praças (Fonte: OM-3541-54-G-282 R08)

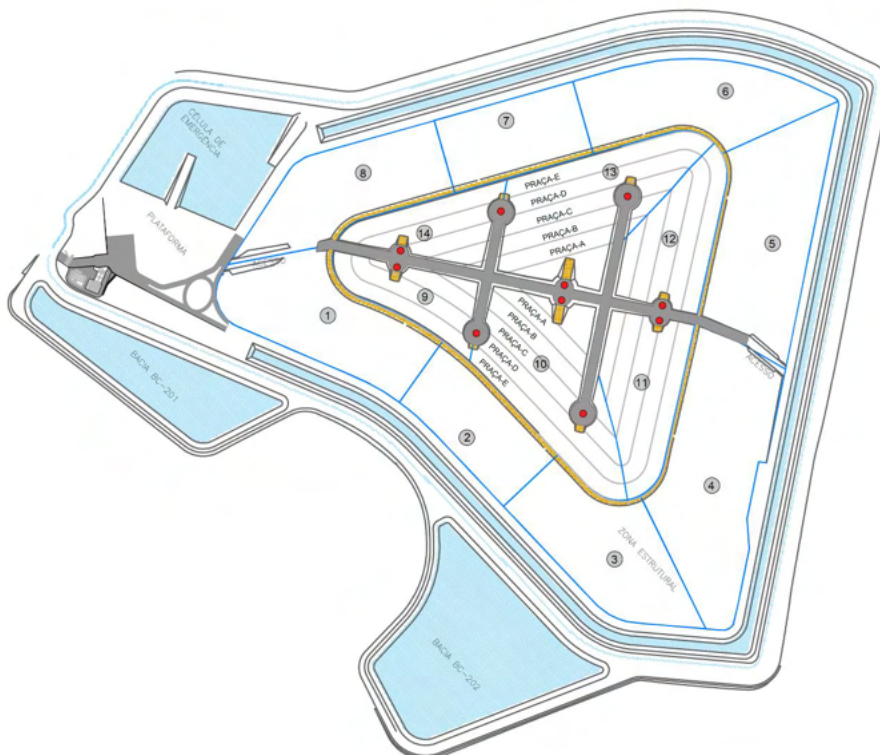


Figura 7.2 – Setorização da Zona Interna em faixas e praças (Fonte: OM-3541-54-G-282 R08)

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

De acordo com o Manual de Operação (doc. OM-3541-54-G-282 R08), o controle de compactação é realizado pelo método de “Hilf”, com execução Topo e Base, de modo a ensaiar toda a profundidade da camada compactada, e o controle de umidade é realizado com a retirada de cápsulas em todos os pontos de ensaios de compactação, registrando também a espessura da camada.

Na zona Estrutural, o controle de execução deve atender aos seguintes critérios:

- Espessura de material solto de 0,30 m;
- Grau de Compactação mínimo de 95% do Proctor Normal;
- Desvio de umidade do material entre $w_{ót}-3\%$ e $w_{ót}+4\%$.

Nesta zona, deve-se realizar pelo menos um ensaio para determinação do grau de compactação e o desvio de umidade para cada praça incorporando duas faixas, por camada compactada. Também se deve realizar ensaios nas junções entre zonas compactadas manualmente e por rolo, como nas proximidades dos instrumentos de monitoramento, e demais locais onde seja necessário, a critério do Supervisor de Área.

Na Zona Interna, o controle de execução é menos rigoroso e o critério para a rejeição das camadas dispostas é a trafegabilidade dos equipamentos envolvidos na disposição. Neste sentido, os resultados dos ensaios não são determinantes para a reprovação de camadas executadas. Nesta zona, deve-se realizado ao menos 1 ensaio de determinação do grau de compactação e desvio de umidade para cada setor, por camada compactada.

A estação chuvosa do município de Barcarena é compreendida entre os meses dezembro e junho, sendo que os meses em que são identificados maiores volumes precipitados se concentram entre janeiro e maio. À luz dessa informação, foi feita avaliação dos ensaios de controle tecnológico da compactação das camadas executadas no DRS2.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2		

7.2 VISITA TÉCNICA

Durante a visita realizada pela equipe técnica da FONNTES no dia 09/02/22 foi possível verificar em campo que o conceito projetado está sendo construído. Foi realizada visita técnica na zona interna, na zona estrutural e no centro de controle de frota, que gerencia em tempo real, através de geolocalização, a posição dos equipamentos em campo que realizam a operação de carregamento, espalhamento e compactação do resíduo. Cabe destacar que é uma operação complexa, pelos volumes de compactação envolvidos e a quantidade de equipamentos, entretanto, o fluxo dos serviços pareceu bem estruturado pela ALUNORTE e com uso de tecnologias de ponta para controle da frota. Durante a visita estava ocorrendo uma parada para manutenção e não foi possível ver de fato a operação em andamento, mas foi o suficiente para conhecer a estrutura disponível para operação do DRS2. Em análise táctil-visual da zona estruturante foi possível verificar qualitativamente que o resíduo após compactado adquire significativa resistência.

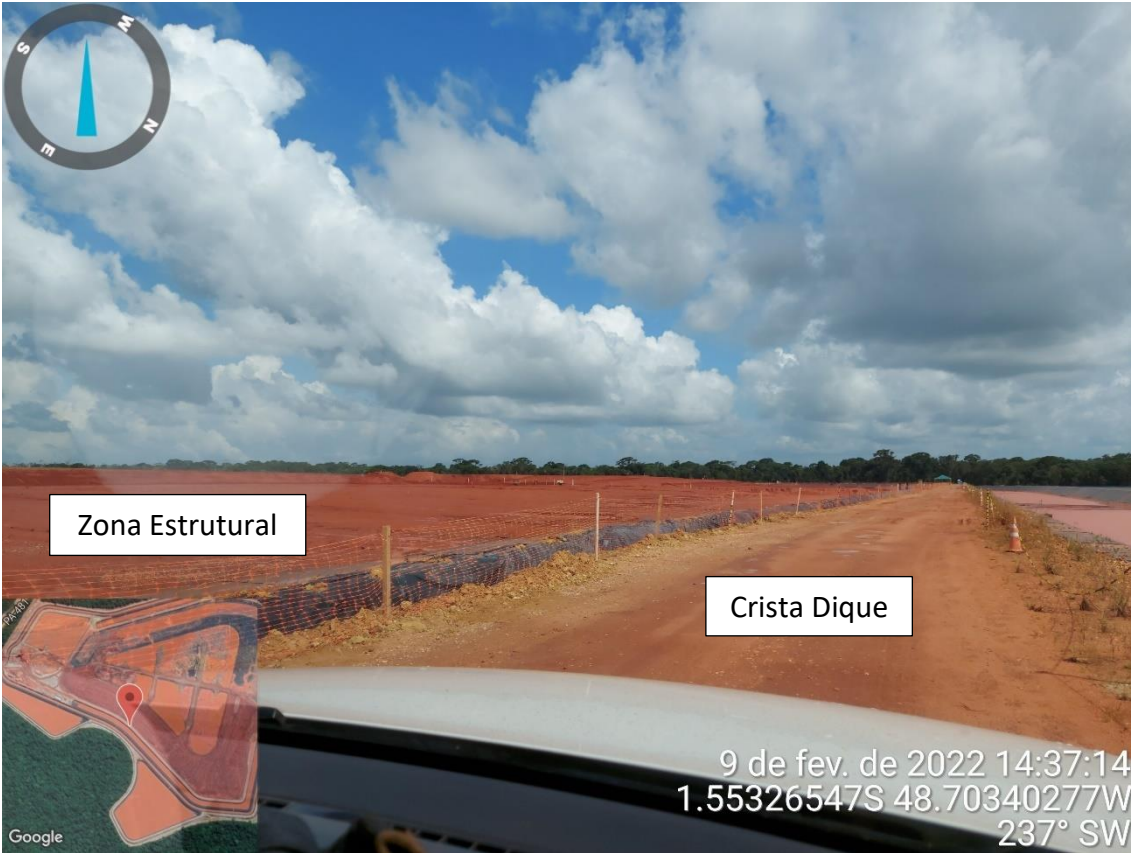


Figura 7.3 – Verificação da Zona Estrutural através de inspeção pela crista do Dique de Contorno.



Figura 7.4 – Verificação da Zona Interna através de inspeção pelo acesso interno no centro da estrutura.

7.3 VERIFICAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA

Previamente a instalação das unidades de filtro prensa foram realizados testes em escala piloto. Nessa fase preliminar foram realizadas avaliação para se determinar os ajustes técnicos necessários em termos industriais para que o resíduo filtrado tivesse a umidade ótima para compactação. Esses testes tiveram como resultado que o resíduo filtrado teria 78% de teor de sólidos. Assim, a usina disponibiliza o material nas condições ótima para compactação. Entretanto, devido ao regime de chuvas da região, foram estabelecidos os critérios de zoneamento e compactação comentados anteriormente pelo projetista, os quais são controlados em campo através de ensaios.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2		

Para a verificação da densidade e do teor de umidade ótima das camadas executadas do DRS2, nas Zonas Estrutural e Interna, foram avaliados os Boletins de Compactação pelo Método de Hilf, disponibilizados pela ALUNORTE, referentes aos intervalos de julho/2017 a fevereiro/2018, dezembro/2019 a maio/2020 e junho/2021 a fevereiro/2022.

A partir do Método de Hilf, obtém-se o grau de compactação da camada executada, que consiste na razão entre a massa específica *in situ* e a massa específica convertida máxima obtida em comparação com o ensaio Proctor Normal realizado com o mesmo material no laboratório. Desta forma, para simplificar a apresentação do estudo, a avaliação da “densidade” é realizada em função do grau de compactação, por ser o critério técnico para controle da qualidade do aterro. Quanto maior ao grau de compactação, maior será densidade do material compactado.

A seguir, na Figura 7.5, apresenta-se o gráfico com o resultado do grau de compactação dos 2.335 ensaios de compactação disponibilizados para a Zona Estrutural em função do tempo, no intervalo entre julho/2017 e fevereiro/2022. A Figura 7.6 a Figura 7.11 apresentam os gráficos com os resultados dos ensaios de grau de compactação para a Zona Estrutural de cada ano, separando os períodos de chuva e seca conforme a divisão indicada no item 7.1, com meses chuvosos entre janeiro e maio e meses secos no restante do ano. Já a Figura 7.12 apresenta o histograma de frequência do grau de compactação da Zona Estrutura no intervalo entre julho/2017 e fevereiro/2022.

Como pode ser observado o grau de compactação médio foi de 98,7% e desvio padrão foi de 2,95%. Apenas 1,5% das amostras ensaiadas apresentaram grau de compactação inferior ao valor mínimo especificado de 95% em relação ao ensaio Proctor Normal.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

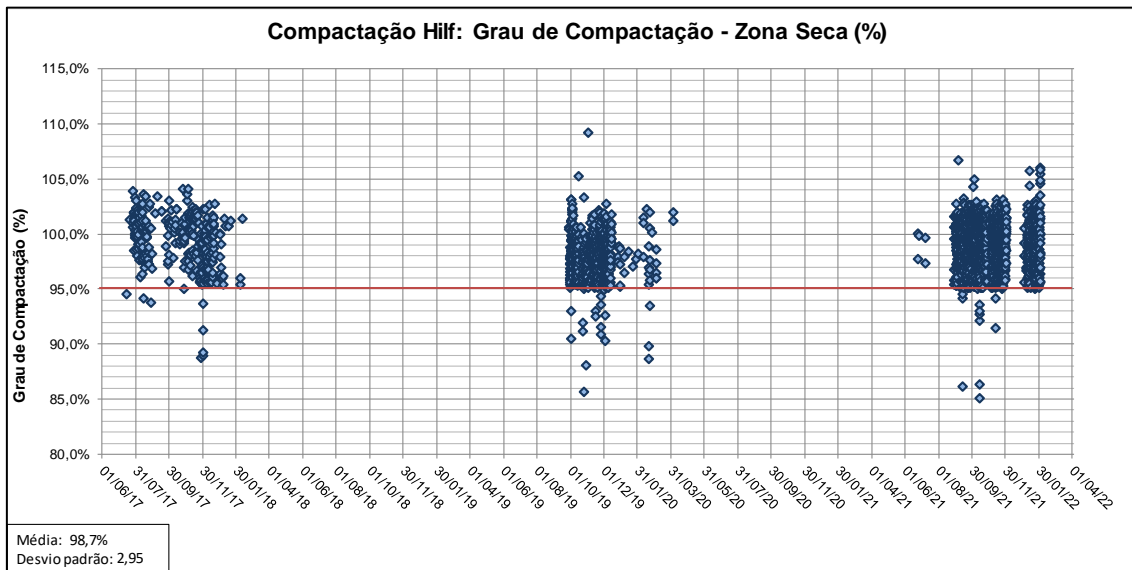


Figura 7.5 – Grau de Compactação pelo Método de Hilf – Zona Estrutural (%)

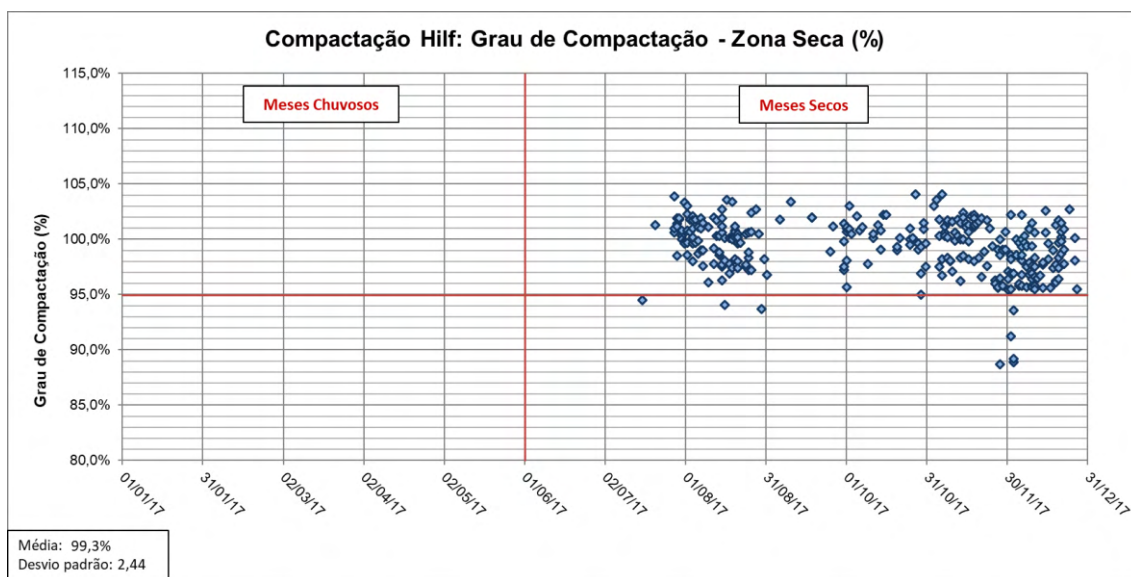


Figura 7.6 – Grau de Compactação pelo Método de Hilf realizados em 2017 – Zona Estrutural (%)

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

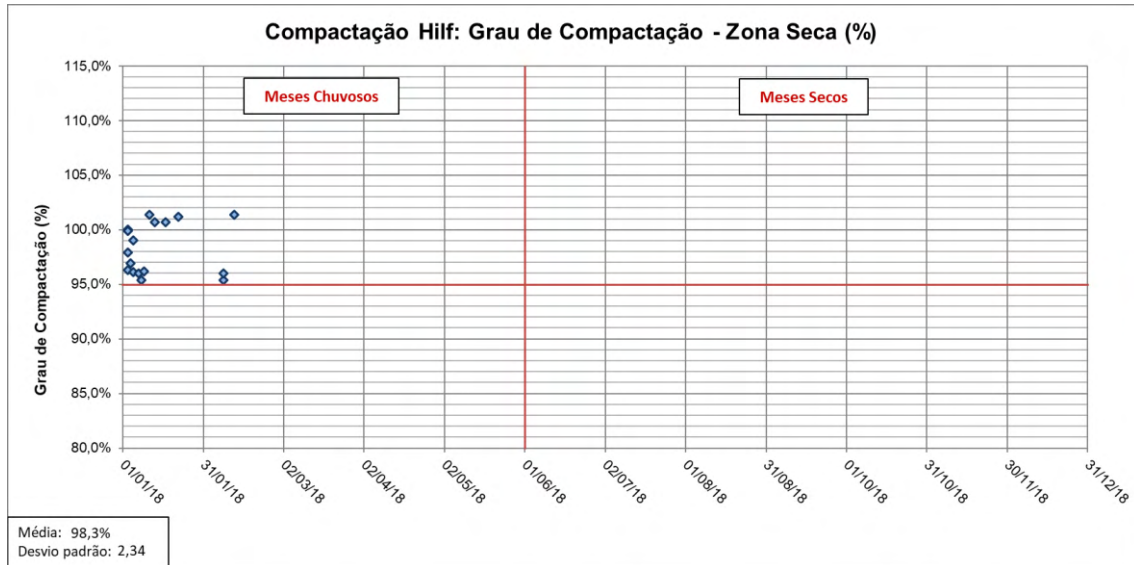


Figura 7.7 – Grau de Compactação pelo Método de Hilf realizados em 2018 – Zona Estrutural (%)

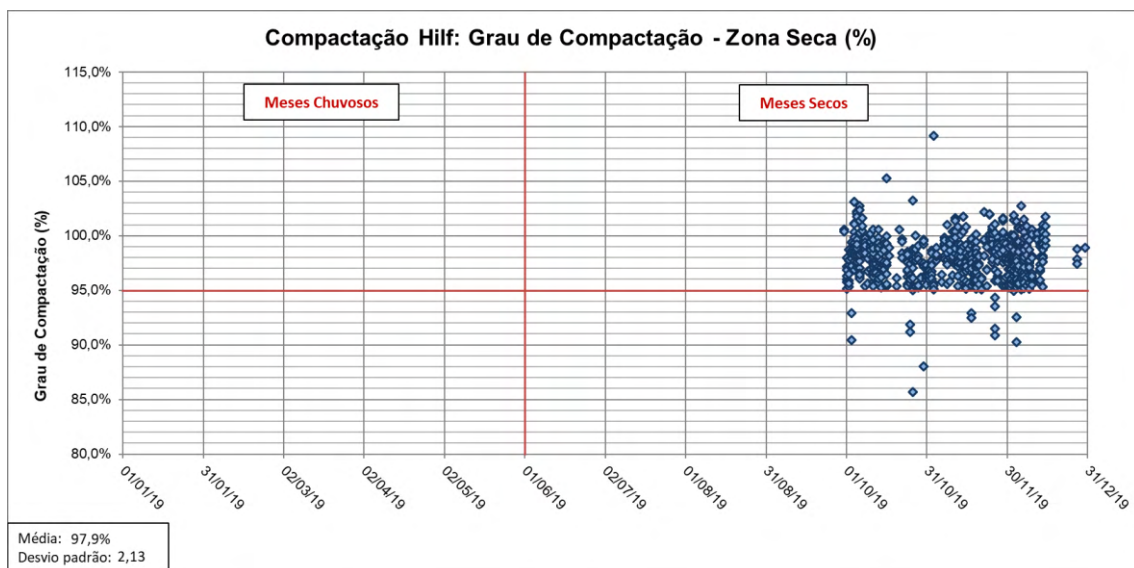


Figura 7.8 – Grau de Compactação pelo Método de Hilf realizados em 2019 – Zona Estrutural (%)

AValiação DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

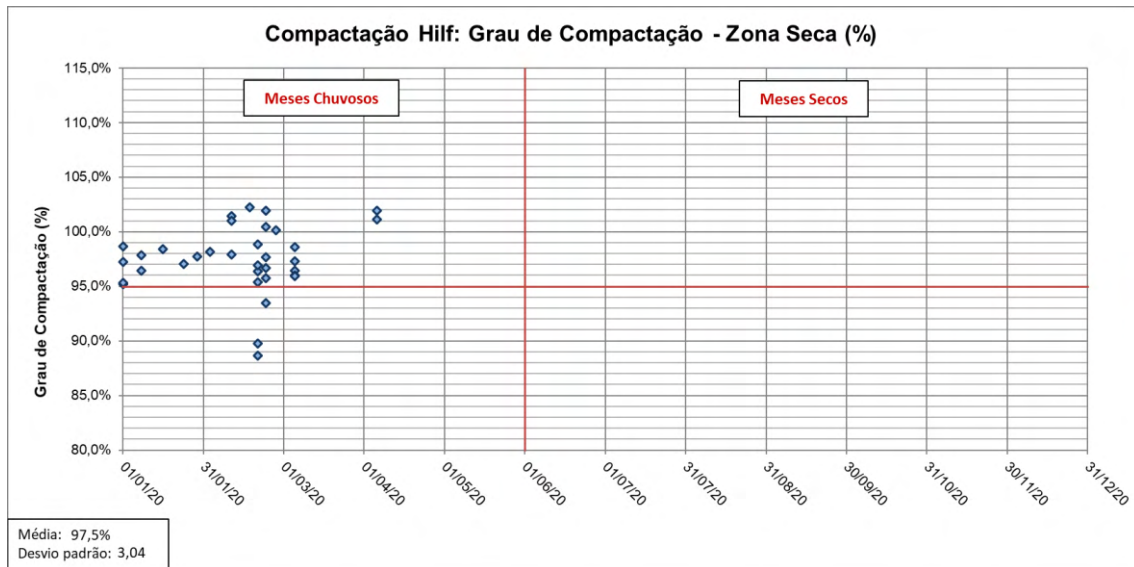


Figura 7.9 – Grau de Compactação pelo Método de Hilf realizados em 2020 – Zona Estrutural (%)

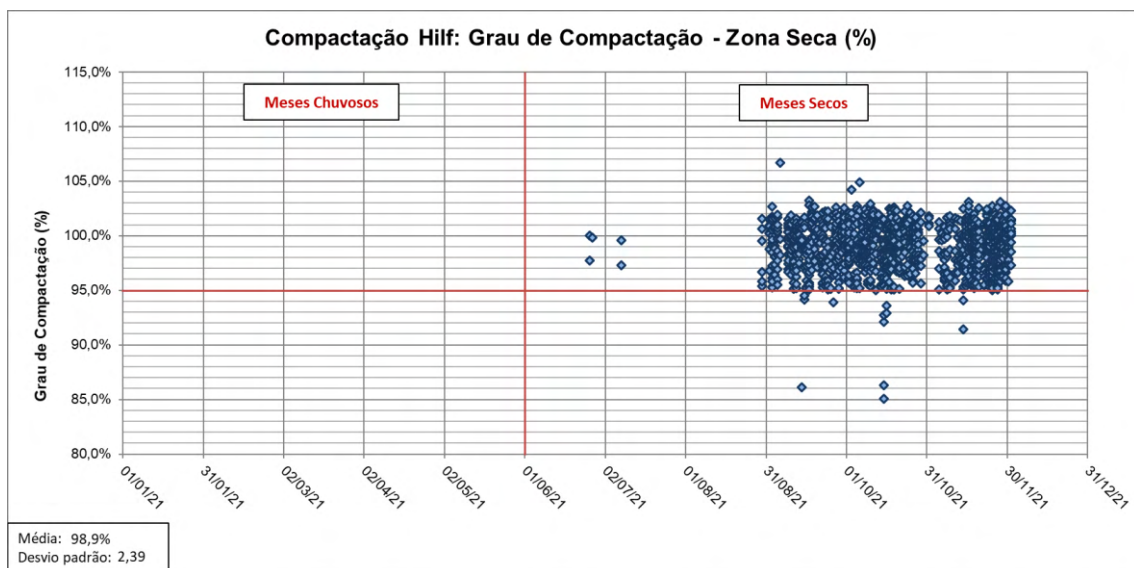


Figura 7.10 – Grau de Compactação pelo Método de Hilf realizados em 2021 – Zona Estrutural (%)

AValiação da Densidade e Teor de Umidade Ótima – DRS2

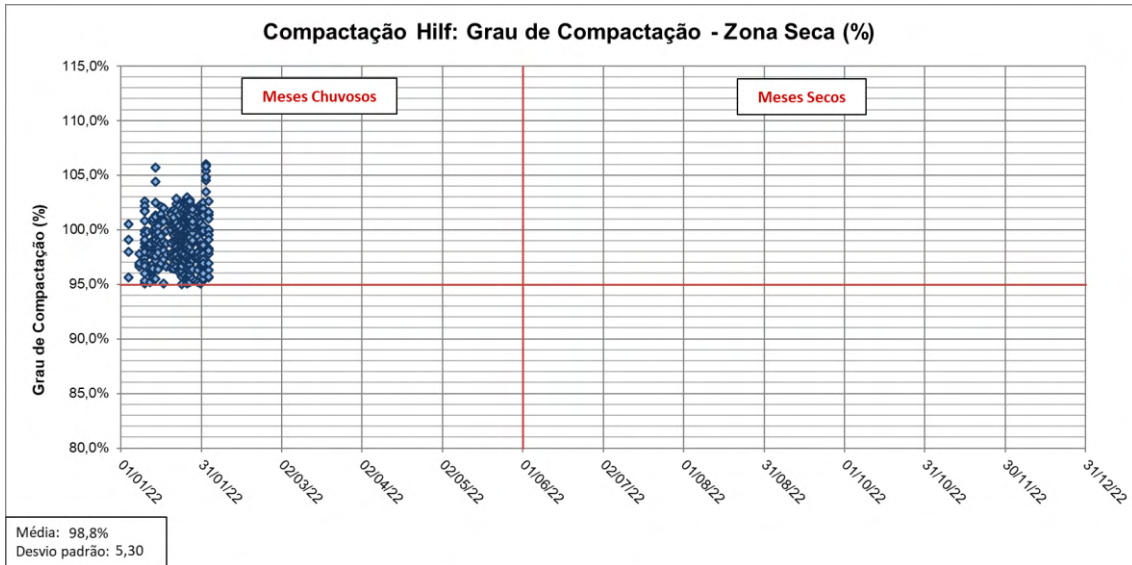


Figura 7.11 – Grau de Compactação pelo Método de Hilf realizados em 2022 – Zona Estrutural (%)

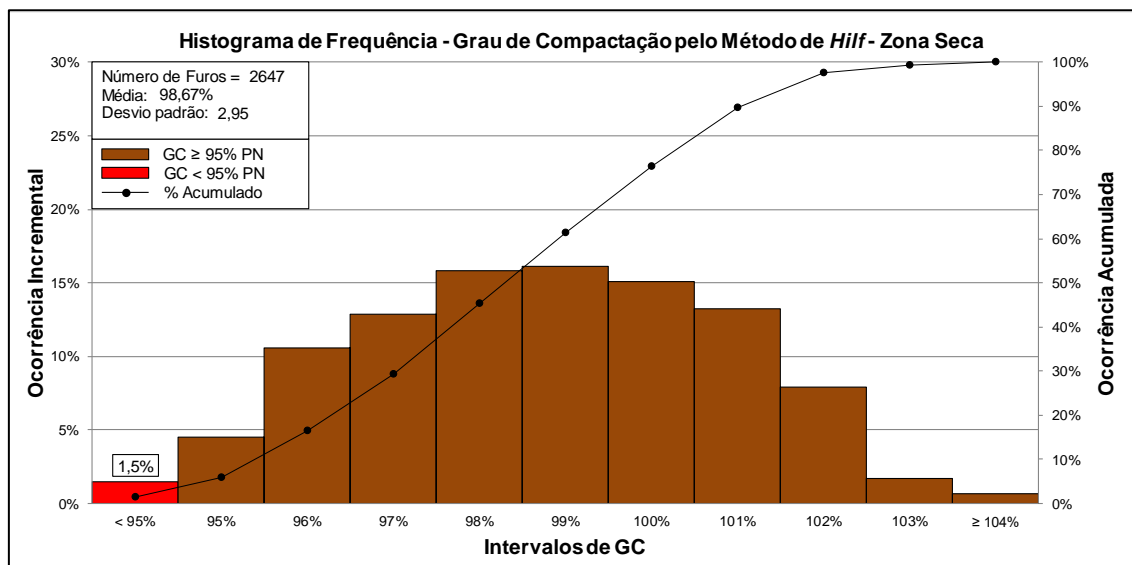


Figura 7.12 – Histograma de Frequência do Grau de Compactação – Zona Estrutural

Ao analisar os gráficos dos resultados dos ensaios de grau de compactação pelo Método de Hilf por ano, observa-se que, o lançamento e a compactação das camadas de resíduos foram realizados em intervalos espaçados em aproximadamente um ano, conforme as necessidades de operação da ALUNORTE. No entanto, os intervalos de lançamento e compactação não aparentam relação com os meses chuvosos e secos.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2		

Entre as diretrizes de projeto para lançamento de resíduos na Zona estrutural está a faixas de precipitação diária, na qual acima de 4 mm de chuva o resíduo deveria ser direcionado para a Zona Interna. No entanto, como uma alternativa para o lançamento do resíduo na Zona interna, a ALUNORTE possui um local para armazenamento temporário conhecida como Célula de Emergência, onde os resíduos podem ser depositados protegidos do tempo durante as precipitações, evitando o ganho de umidade nesse período e possibilitando o lançamento e a compactação dos resíduos posteriormente.

Vale ressaltar que nos gráficos (Figura 7.5 a Figura 7.11) são apresentados os resultados dos ensaios aprovados e reprovados. Quando uma camada não atinge o critério estabelecido em projeto, por procedimento padrão, essa camada é aberta novamente e todo o processo de compactação é refeito. Isso garante que 100% das camadas estejam compactadas de acordo com o critério de projeto.

De modo a exemplificar a recompactação de uma camada reprovada, apresenta-se na Figura 7.13 o Boletim do Controle de Compactação realizado nos Setores 6 e 7, na faixa 36, 37 e 38, no dia 16/10/21, que forneceu um grau de compactação de 93,3% em relação ao ensaio Proctor Normal. Consequentemente, foi preenchido o Relatório de Não conformidade de Terraplenagem (vide Figura 7.14), indicando a necessidade de refazer todo o processo de compactação para essa região. Após esse resservido, um novo ensaio de compactação foi realizado para verificação da qualidade do aterro, obtendo um grau de compactação de 97,6% do Proctor Normal (vide Figura 7.15).

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

		CONTROLE DE COMPACTAÇÃO MÉTODO DE HILF CONFORME NORMA (NBR-12102) (ABNT-1991)					
TRECHO: DRS 2 / - ZONA ESTRUTURAL SETORES 6 E 7				REGISTRO: 1680			
SUB TRECHO: FAIXA 36, 37, 38 PRAÇA C				DATA: 16/10/2021			
CAMADA LANÇADO: 25 cm ± 20,0 cm		LABORATORISTA: JAMYS MENDES		FISCAIS - SECULOS / HYDRO: AFONSO / RONAN			
MATERIAL: ARGILA VERMELHA		OPERADOR: ELVIS		ÁREA DE EMPRESTIMO: GRS / TORRE 04			
TURMA: D		PESO DA AMOSTRA (g): 2.500		SOQUETE (Lb): 5 03 26			
COMPACTAÇÃO CAMPO			COMPACTAÇÃO LABORATÓRIO				
Nº FUROS	3006	3007	ML	100	0		
NORTE	9828731,523	9828731,896	%	4,0	0,0		
ESTE	755811,397	755811,316	Nº CILINDRO	02	02		
COTA (m)	14,801	14,799	P.AMOSTRA	4395	4300		
Nº DO CILINDRO	6	34	P. CILINDRO	2470	2470		
PS SOLO + CIL. (g)	2700	2705	P. SOLO	1925	1830		
PS DO CIL. (g)	1018	1033	VOLUME	997	997		
PESO DO SOLO (g)	1682	1672	MASSA UMID.	1,931	1,836		
VOL. DO CIL. (cm³)	961	962	MASSA CONV.	1,857	1,836		
DENS. ESP. (g/cm³)	1,750	1,738					
GC (%)	93,6%	93,0%					
TOPO		BASE					
			TEOR DE UMIDADE DA CAMADA				
			CAPSULA N.º	9	58		
			SL UM.+TR(g)	100,03	90,55		
			SL SC +TR (g)	83,45	75,25		
			TR DA CAP.	13,39	12,30		
			ÁGUA	16,58	15,30		
			SOLO SECO	70,06	62,95		
			UMIDADE (%)	23,7%	24,3%		
			MÉDIA (%)	24,0%	27,1%		
			RESUMO DOS RESULTADOS				
			MÉDIA IN-SITU	1,744			
			M. ESPECÍF. DO LABOR. DO PONTO 0%(g/cm³)	1,836			
			MASSA ESPECÍFICA CONVERTIDA MÁXIMA(g/cm³)	1,870			
			EFICIÊNCIA DE COMPACTAÇÃO(%)	95,0			
			MÉDIA GRAU DE COMPACTAÇÃO (%)	93,3%			
			GRAU DE COMPACTAÇÃO MÍNIMO ESPECIFICADO (%)	95,0%			
			DESVIO DE UMIDADE EM RELAÇÃO À ÓTIMA (%)	3,1%			
			DESVIO DE UMIDADE ESPECIFICADO (%)	-3,0			
			DESVIO DE UMIDADE ESPECIFICADO (%)	4,0			
Observações: NÃO LIBERADO ABERTA À RNC 13 DEVIDO O MESMO NÃO ATINGI GC PERMITIDO 95%							
LABORATORISTA MARKS 		ENGENHARIA MARKS 		FISCAL LABORATÓRIO* 			
FISCAL HYDRO/ALUNORTE 		FISCAL HYDRO/ALUNORTE 		FISCAL HYDRO/ALUNORTE 			

Figura 7.13 – Boletim do Controle de Compactação do Ensaio Reprovado (MARK'S, 16/10/21)

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

		RELATÓRIO DE NÃO CONFORMIDADE [RNC] TERRAPLENAGEM	
Contrato Nº. 4600006175		Data da Emissão: 16/10/2021	RNC Nº. 13
Responsável Emissão da RNC: JAMYS DOS SANTOS MENDES		Garantia da Qualidade: Marcel Bertolin	
Descrição Não-Conformidade: ENSAIO REALIZADO NO DRS 2, SETOR 6 E 7 ZONA ESTRUTURAL FAIXAS 36 37 38 PRAÇA, NÃO ATINGIU O GRAU DE COMPACTAÇÃO PREVISTO EM PROJETO NUMERO DO RG: 1680 CG DE PROJETO: 95% PN GC REAL: FURO: 3006 GC CAMPO: 93,6% COORDENADAS: N:9828731,523 E:755811,397 C:14,801 FURO: 3007 GC CAMPO: 93,0% COORDENADAS: N:9828731,896 E:755811,316 C:14,799			
Assinaturas / Data			
Contratada		HYDRO ALUNORTE	
Responsável da Qualidade  MARK'S ENGENHARIA LTDA Jonilson Branco Assistente de Qualidade Mat: 5653	Garantia da Qualidade  MARK'S ENGENHARIA LTDA Marcelo Henrique da Silva Engenheiro Técnico CREA-PA 151020 Matrícula	Fiscalização  Séculos Serviços e Administração Ltda Afonso da Costa Ferreira Mat: 45256	 Pônan Araújo DRS Hydro Alunorte Mat: 45256
Contrato Nº. 4600006175		Data do Fechamento:	RNC Nº. 13
Responsável Fechamento da RNC: JAMYS DOS SANTOS MENDES		Garantia da Qualidade: Marcel Bertolin	
Ação Corretiva: FOI REALIZADO A RECOMPACTAÇÃO NUMERO DO RG:1685 GC DE PROJETO: 95% FURO: 3016 GC CAMPO: 98,2% COORDENADAS: N:9828729,509 E:755811,438 C:15,317 FURO: 3017 GC CAMPO: 97,0% COORDENADAS: N:9828729,616 E:755811,433 C:15,313			
Acompanhamento / Fiscalização: (Escrever de caneta)  Ramildo Junior DRS Hydro Alunorte 28/10/2021			
A Não-Conformidade foi eliminada: <input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não			
Se a Não-Conformidade não foi eliminada, outro formulário deve ser preenchido e seguir a mesma dinâmica estabelecida.			
Assinaturas / Data			
Contratada		HYDRO ALUNORTE	
Responsável da Qualidade  MARK'S ENGENHARIA LTDA Jonilson Branco Assistente de Qualidade Mat: 5653	Garantia da Qualidade  MARK'S ENGENHARIA LTDA Marcelo Henrique da Silva Engenheiro Técnico CREA-PA 151020 Matrícula	Fiscalização  Séculos Serviços e Administração Ltda Afonso da Costa Ferreira Mat: 45256	 Pônan Araújo DRS Hydro Alunorte Mat: 45256

Figura 7.14 – Relatório de Não conformidade de Terraplenagem (MARK'S, 16/10/21)

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

		CONTROLE DE COMPACTAÇÃO MÉTODO DE HILF CONFORME NORMA (NBR-12102) (ABNT-1991)			
TRECHO: DRS 2 / - ZONA ESTRUTURAL SETORES 6, 7		REGISTRO: 1685		DATA: 16/10/2021 HORA: 14:20	
SUB TRECHO: FAIXAS 36, 37 e 38 - PRAÇA C		LABORATORISTA: JAMYS MENDES		FISCAIS - SECULOS / HYDRO: AFONSO / RONAN	
CAMADA LANÇADO: 25 cm ± 20,0 cm		ÁREA DE EMPRESTIMO: GRS / TORRE 04		MATERIAL: ARGILA VERMELHA	
OPERADOR: ELVIS		TURMA: D		PESO DA AMOSTRA (g): 2.500	
SOQUETE (Lb): 5		Nº DE CAM.: 03		Nº GOLPES: 26	
COMPACTAÇÃO CAMPO			COMPACTAÇÃO LABORATÓRIO		
Nº FUROS	3016	3017	ML	100	0
NORTE	9828729,509	9828729,616	%	4,0	0,0
ESTE	755811,438	755811,433	Nº CILINDRO	02	02
COTA (m)	15,317	15,313	P.AMOSTRA	4422	4387
Nº DO CILINDRO	1	11	P. CILINDRO	2470	2470
PS SOLO + CIL. (g)	2791	2764	P. SOLO	1952	1917
PS DO CIL. (g)	958	953	VOLUME	997	997
PESO DO SOLO (g)	1833	1811	MASSA UMID.	1,958	1,923
VOL. DO CIL. (g)	955	955	MASSA CONV.	1,883	1,923
DENS. ESP. (g/cm³)	1,919	1,896			
GC (%)	98,2%	97,0%			
	TOPO	BASE			
TEOR DE UMIDADE DA CAMADA					
CAPSULA N.º	14	90	UMIDADE ÓTIMA		
SL UM + TR (g)	113,22	93,40			
SL SC + TR (g)	92,99	77,22			
TR DA CAP.	18,02	15,87			
ÁGUA	20,23	16,18			
SOLO SECO	74,97	61,35			
UMIDADE (%)	27,0%	26,4%			
MÉDIA (%)	26,7%		28,7%		
RESUMO DOS RESULTADOS					
MÉDIA IN-SITU	1,908				
M. ESPECÍF. DO LABOR. DO PONTO 0%(g/cm³)	1,923				
MASSA ESPECÍFICA CONVERTIDA MÁXIMA(g/cm³)	1,955				
EFICIÊNCIA DE COMPACTAÇÃO(%)	99,2				
MÉDIA GRAU DE COMPACTAÇÃO (%)	97,6%				
GRAU DE COMPACTAÇÃO MÍNIMO ESPECIFICADO (%)	95,0%				
DESVIO DE UMIDADE EM RELAÇÃO Á ÓTIMA (%)	2,0%				
DESVIO DE UMIDADE ESPECIFICADO (%)	-3,0				
DESVIO DE UMIDADE ESPECIFICADO (%)	4,0				
Observações: LIBERADO FECHADO A RNC Nº 13 Permitido Jurado DRS Helyse Almeida 28.10.2021					
LABORATORISTA MARKS	ENGENHARIA MARKS		FISCAL LABORATÓRIO	FISCAL HYDRO/AJUNDORE	
JAMYS 5009	 MARCELO HENRIQUE DA SILVA FILHO Engenheiro Titular CREA-PA 1519202121 Matrícula: 6376		Sécular Serviços e Administração Ltda Afonso da Costa Ferreira Mat.: 63256 Laboratorista	 Helyse Almeida Fiscal	

Figura 7.15 – Boletim do Controle de Compactação do Ensaio Aprovado (MARK'S, 16/10/21)

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2		

Na Figura 7.16, apresenta-se gráfico com o resultado do desvio da umidade em relação a umidade ótima dos 2.335 ensaios de compactação disponibilizados para a Zona Estrutural em função do tempo, no intervalo entre julho/2017 e fevereiro/2022. A Figura 7.17 a Figura 7.22 apresentam os gráficos com os resultados de desvio da umidade em relação a umidade ótima para a Zona Estrutural de cada ano, separando os períodos de chuva e seca conforme a divisão indicada no item 7.1, com meses chuvosos entre janeiro e maio e meses secos no restante do ano. Já a Figura 7.23 apresenta o histograma de frequência do desvio de umidade da Zona Estrutural.

Como pode ser observado a média do desvio da umidade foi igual a $w_{ót}+0,4\%$ e o desvio padrão foi de 1,39%. Apenas 0,5% das amostras ensaiadas apresentaram desvio de umidade abaixo de $w_{ót}-3,0\%$ e 0,2% das amostras apresentaram desvio de umidade acima de $w_{ót}+4,0\%$, definidos como os limites inferior e superior, respectivamente. Tais resultados confirmam a eficiência da ALUNORTE em direcionar os resíduos para a Zona interna durante as precipitações ou armazená-los em depósito protegidos do tempo, evitando o ganho de umidade nesse período e possibilitando o lançamento e a compactação dos resíduos posteriormente.

Conforme indicado no Manual de Operação, nos casos em que o desvio de umidade se encontra abaixo do que o limite inferior, a umidade deve ser corrigida previamente à compactação, com auxílio de caminhões pipa.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

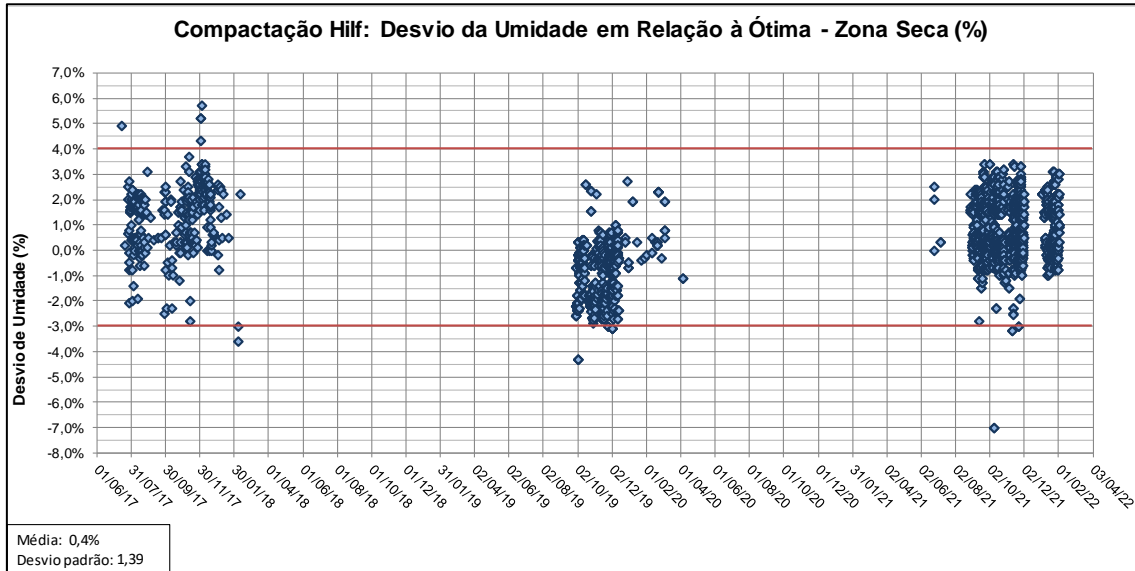


Figura 7.16 – Desvio da umidade em relação à Ótima – Zona Estrutural (%)

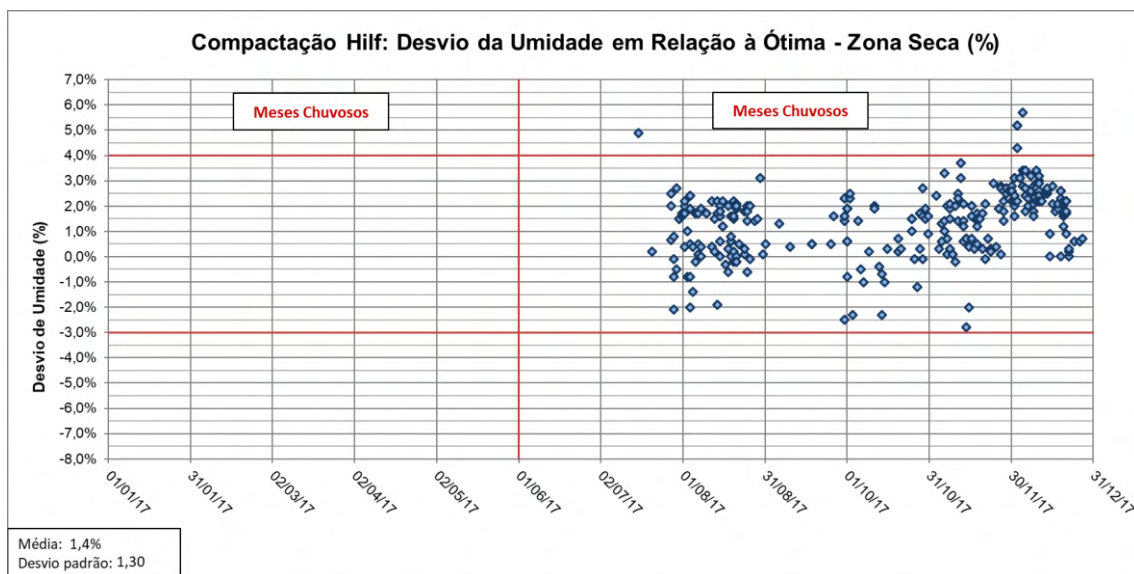


Figura 7.17 – Desvio da umidade em relação à Ótima dos ensaios de 2017 – Zona Estrutural (%)

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

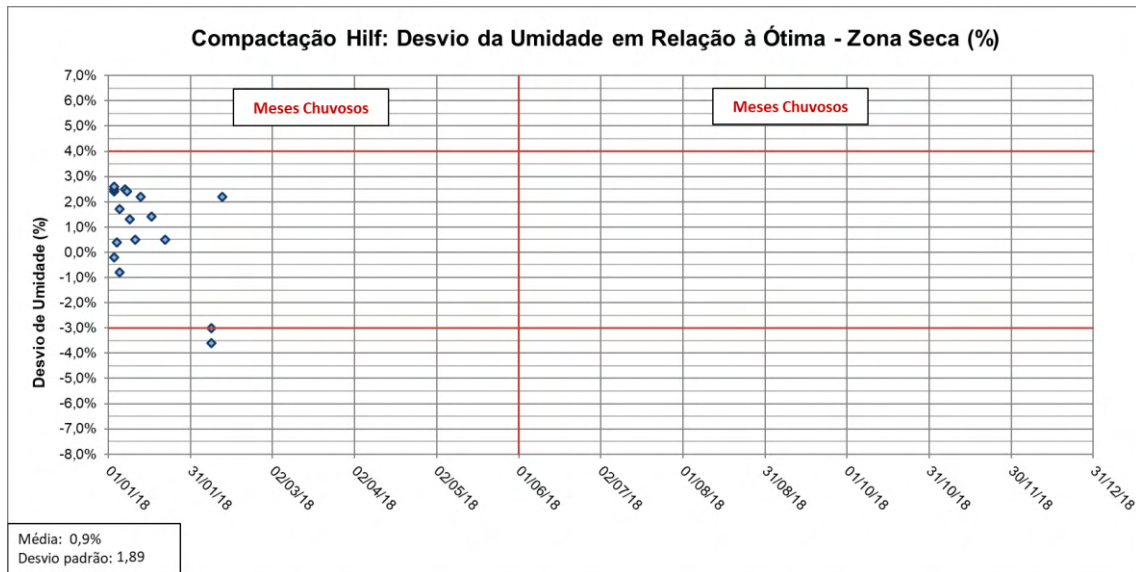


Figura 7.18 – Desvio da umidade em relação à Ótima dos ensaios de 2018 – Zona Estrutural (%)

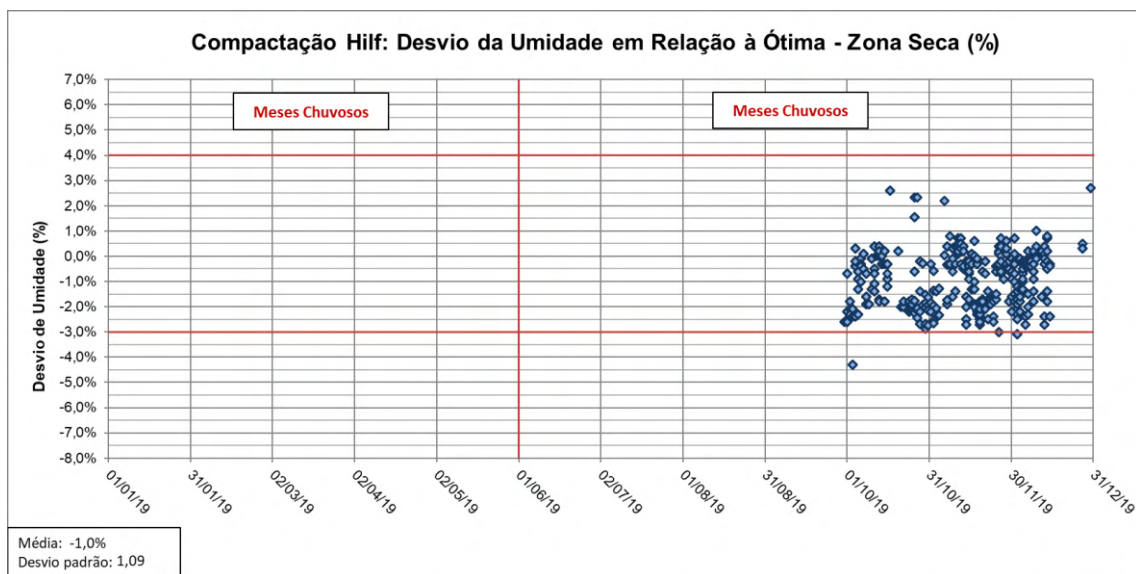


Figura 7.19 – Desvio da umidade em relação à Ótima dos ensaios de 2019 – Zona Estrutural (%)

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

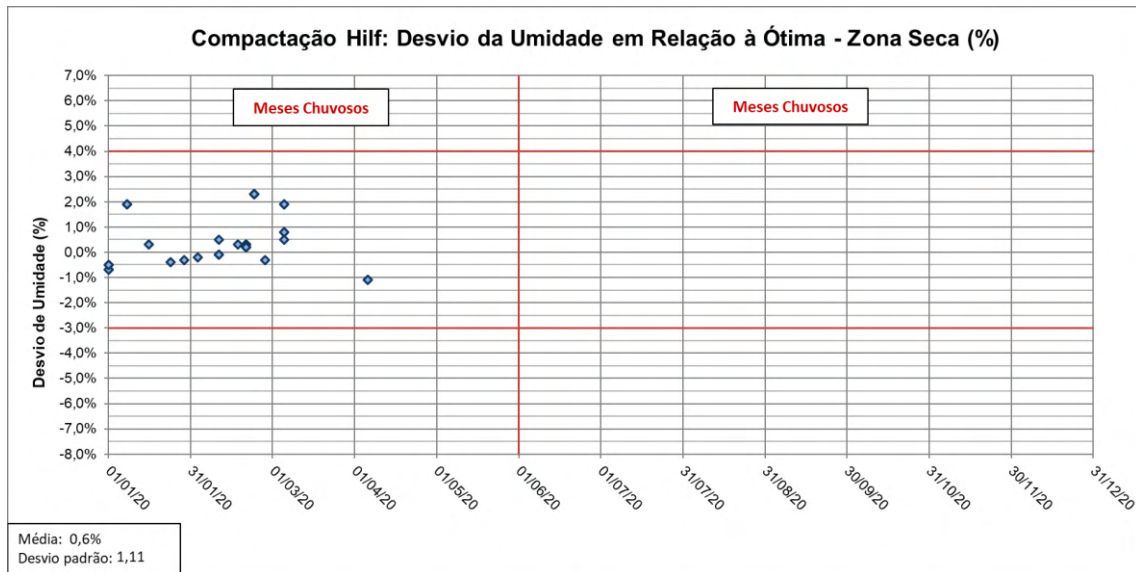


Figura 7.20 – Desvio da umidade em relação à Ótima dos ensaios de 2020 – Zona Estrutural (%)

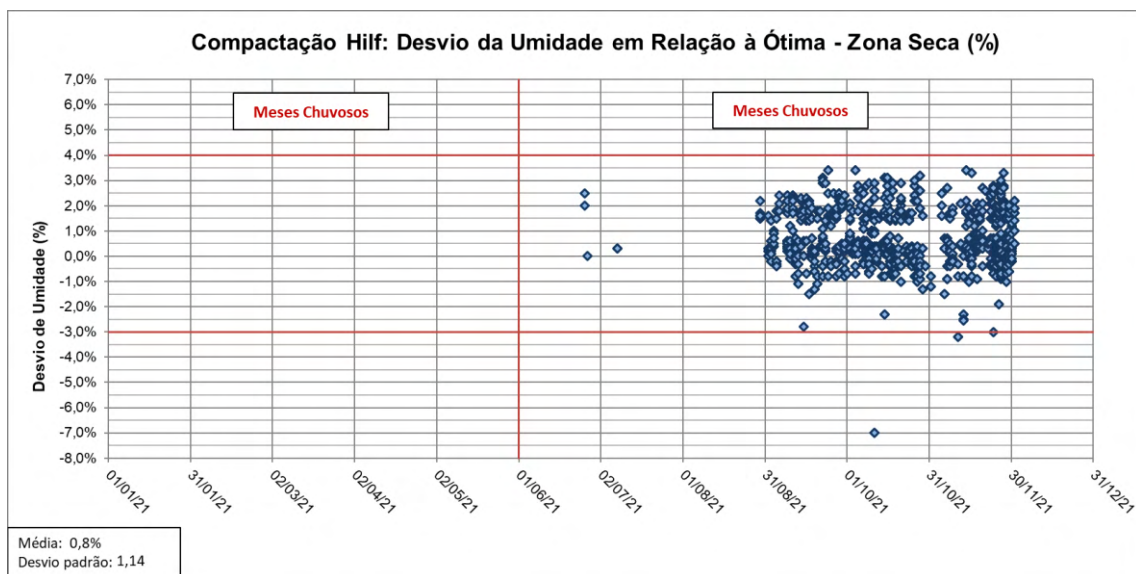


Figura 7.21 – Desvio da umidade em relação à Ótima dos ensaios de 2021 – Zona Estrutural (%)

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

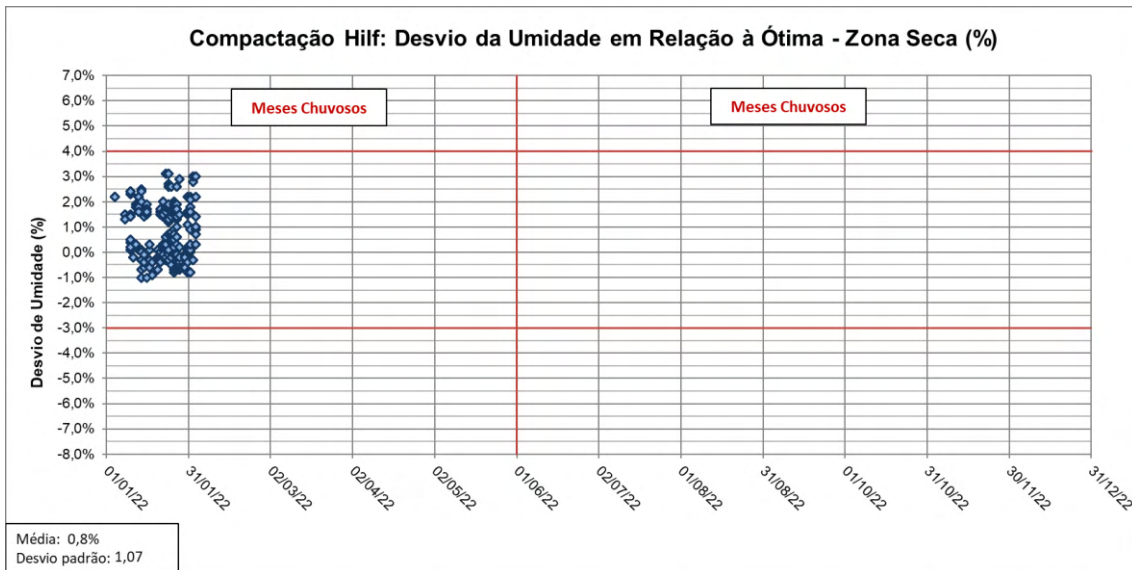


Figura 7.22 – Desvio da umidade em relação à Ótima dos ensaios de 2022 – Zona Estrutural (%)

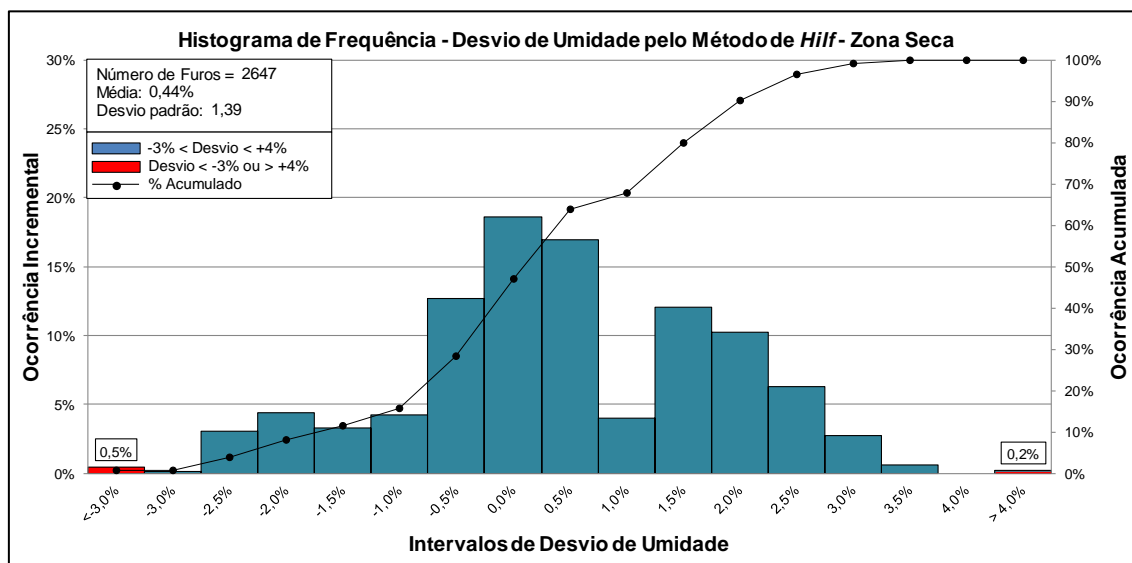


Figura 7.23 – Histograma de Frequência do Desvio da Umidade – Zona Estrutural

Na sequência, na Figura 7.24, apresenta-se gráfico com o resultado do grau de compactação dos 1.992 ensaios de compactação disponibilizados para a Zona Interna em função do tempo, no intervalo entre dezembro/2019 e fevereiro/2022. A Figura 7.25 à Figura 7.28 apresentam os gráficos com os resultados dos ensaios de grau de compactação para a Zona Estrutural de cada ano, separando os períodos de chuva e seca

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

conforme a divisão indicada no item 7.1, com meses chuvosos entre janeiro e maio e meses secos no restante do ano. Já a Figura 7.29 apresenta o histograma de frequência do grau de compactação da Zona Interna no intervalo entre dezembro/2019 e fevereiro/2022.

Como pode ser observado o grau de compactação médio foi de 98,6% e desvio padrão foi de 1,23%. Apenas uma amostra ensaiada apresentou grau de compactação inferior ao valor mínimo recomendado, de 90% em relação ao ensaio Proctor Normal. No entanto, vale ressaltar que a recomendação de grau de compactação mínimo de 90% é devido a trafegabilidade dos equipamentos envolvidos na disposição, não sendo determinantes para a reprovação da camada executada.

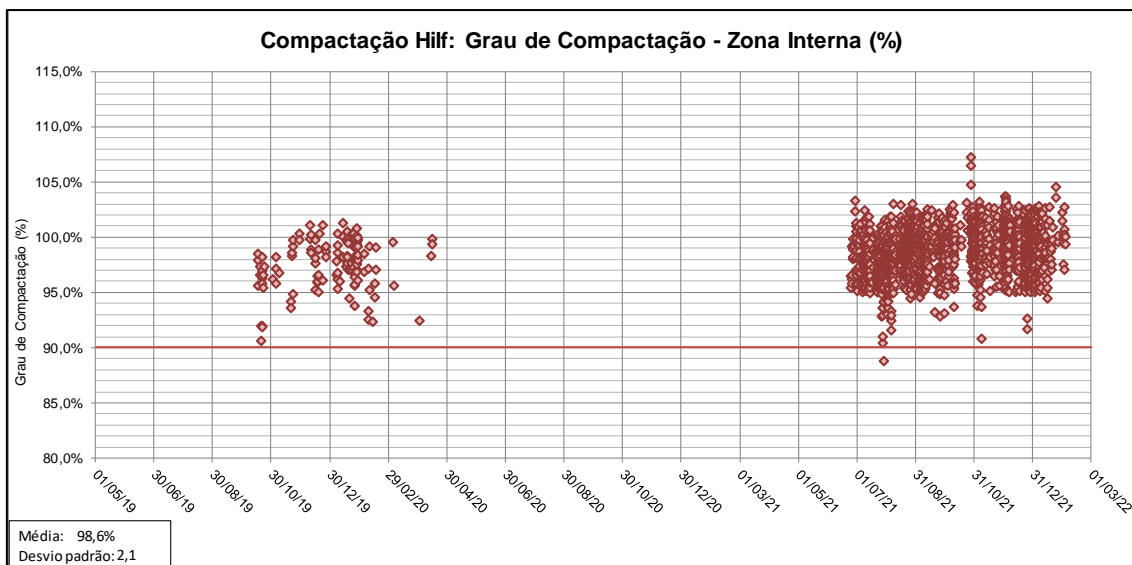


Figura 7.24 – Grau de Compactação pelo Método de HILF – Zona Interna (%)

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

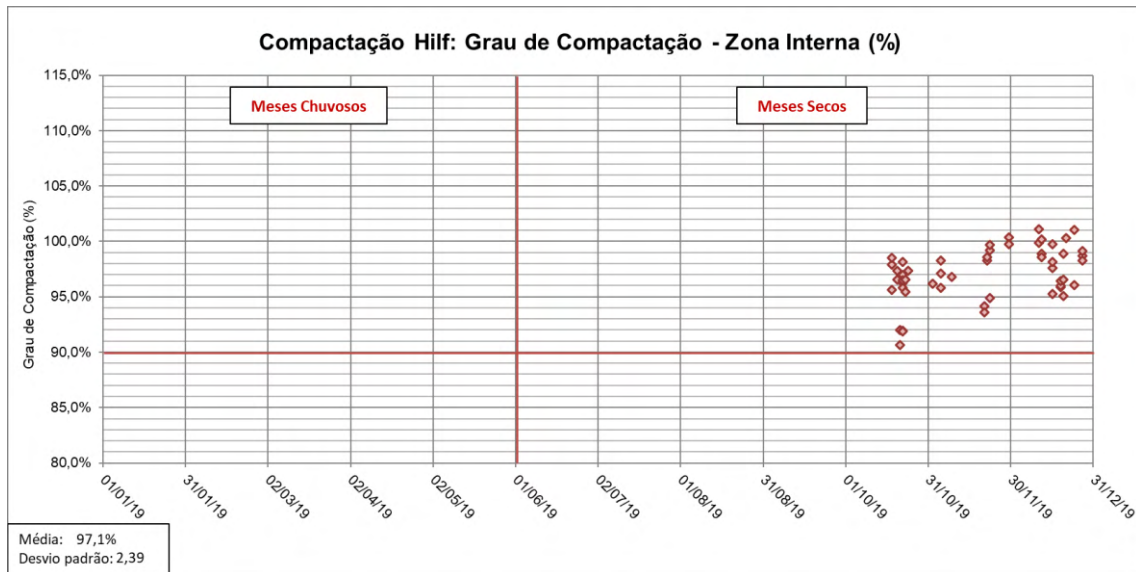


Figura 7.25 – Grau de Compactação pelo Método de HILF realizados em 2019 – Zona Interna (%)

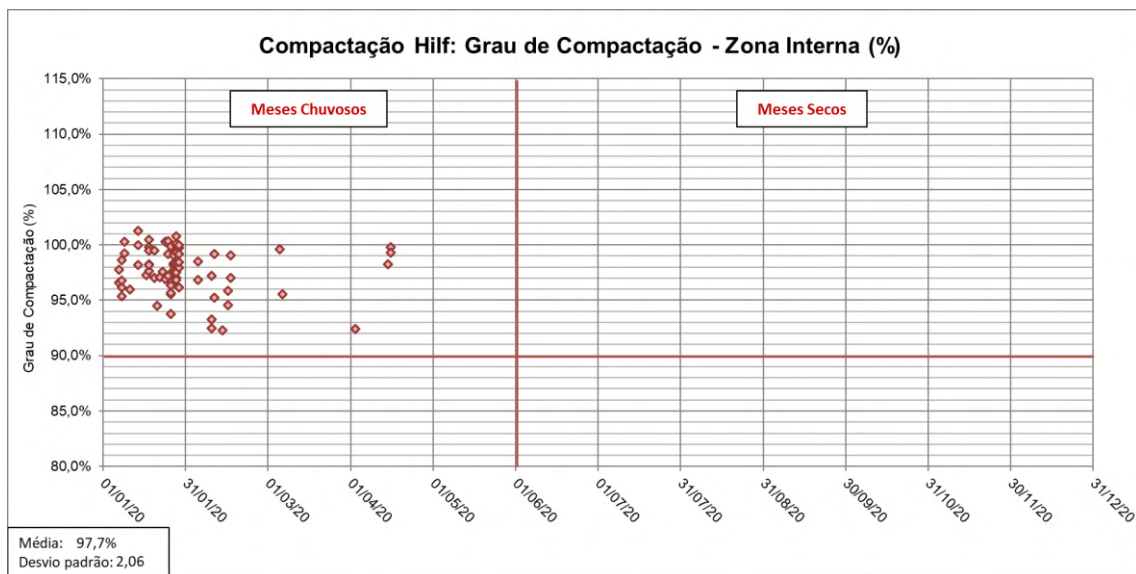


Figura 7.26 – Grau de Compactação pelo Método de HILF realizados em 2020 – Zona Interna (%)

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

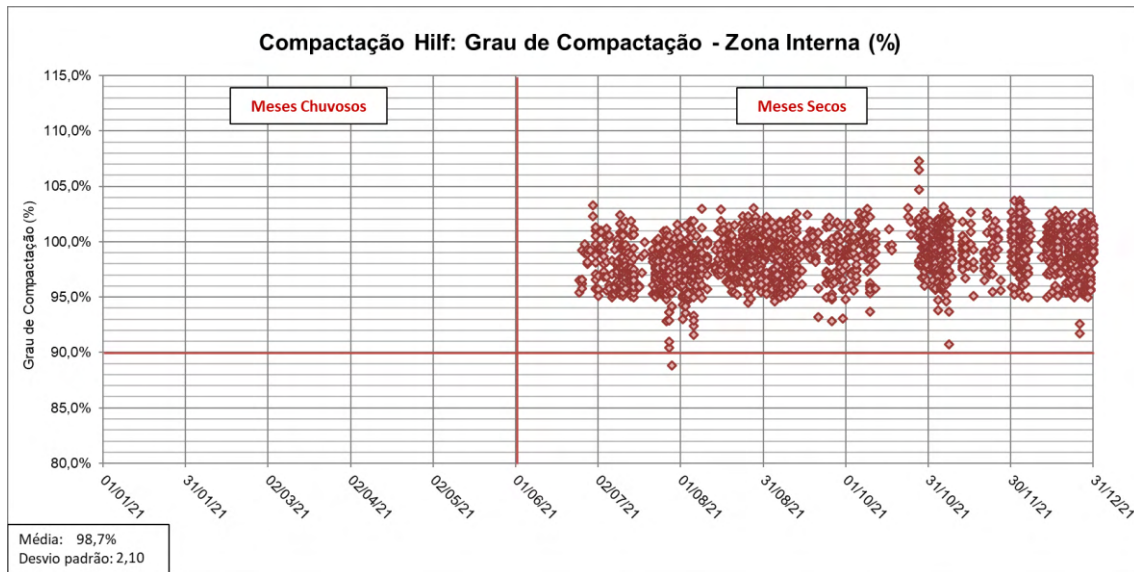


Figura 7.27 – Grau de Compactação pelo Método de HILF realizados em 2021 – Zona Interna (%)

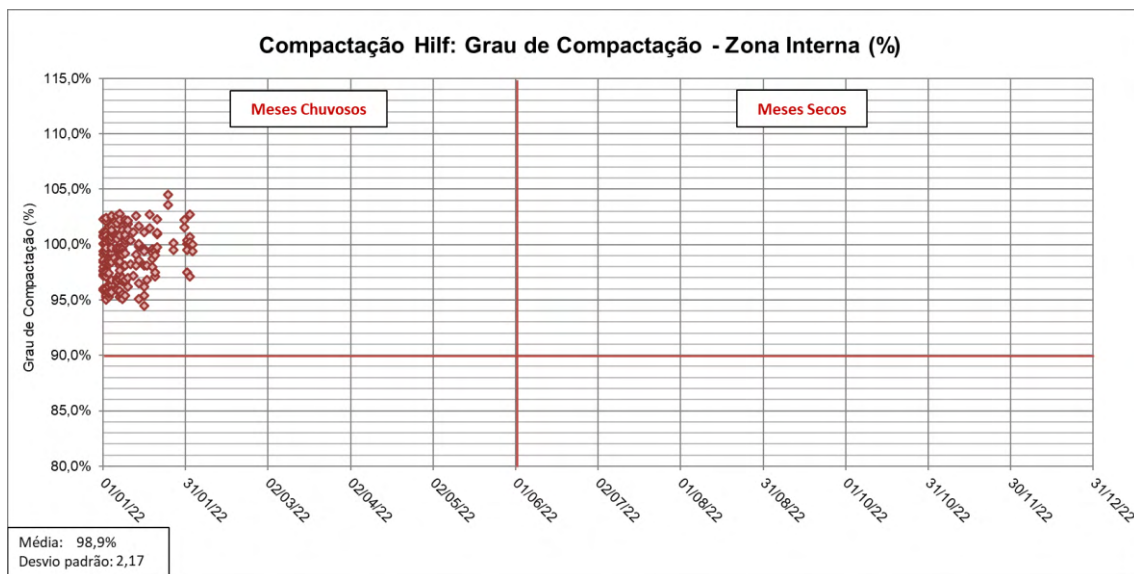


Figura 7.28 – Grau de Compactação pelo Método de HILF realizados em 2022 – Zona Interna (%)

Ao analisar os gráficos dos resultados dos ensaios de grau de compactação pelo Método de Hilf na Zona Interna por ano, observa-se que o lançamento e a compactação das camadas de resíduos foram realizados em períodos similares ao lançamento de resíduos na Zona Estrutural. Tal fato indica que as diretrizes de projeto para lançamento de resíduos na Zona Estrutural referentes às faixas de precipitação diária estão sendo

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

respeitadas e ocorre o direcionamento dos resíduos para a Zona Interna quando necessário.

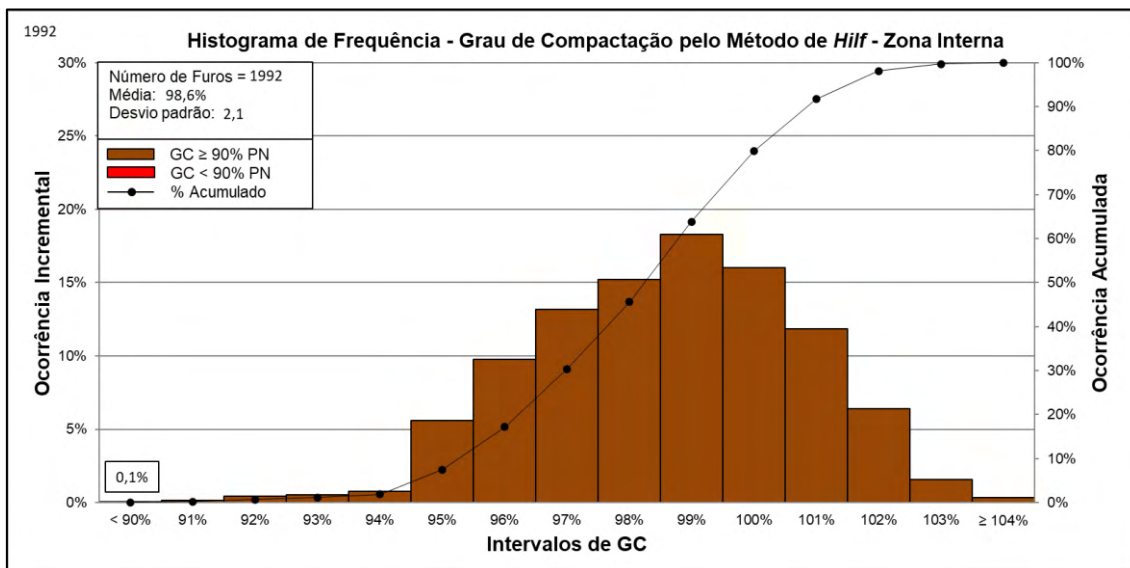


Figura 7.29 – Histograma de Compactação do Grau de Compactação – Zona Interna

Na Figura 7.30, apresenta-se gráfico com o resultado do desvio da umidade em relação a umidade ótima dos 1.992 ensaios de compactação disponibilizados para a Zona Interna em função do tempo, no intervalo entre dezembro/2019 e fevereiro/2022. A Figura 7.31 à Figura 7.34 apresentam os gráficos com os resultados de desvio da umidade em relação a umidade ótima para a Zona Interna de cada ano, separando os períodos de chuva e seca conforme a divisão indicada no item 7.1, com meses chuvosos entre janeiro e maio e meses secos no restante do ano.

Como pode ser verificado, a média do desvio da umidade foi igual a $w_{ót}+0,6\%$ e o desvio padrão foi de 1,26%. Ao analisar os gráficos dos desvios de umidade em relação à umidade ótima separados por ano e pela precipitação, não se verifica uma relação evidente entre os meses chuvosos e secos com os resultados dos desvios de umidade. A título de exemplo, observa-se que o furo 2241, realizado no dia 10/09/21, em um mês considerado seco, apresentou umidade 20% acima da umidade ótima e o furo 2461,

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

realizado no dia 25/10/21, em um mês também considerado seco, apresentou umidade 10% abaixo da umidade ótima. No entanto, vale lembrar que para a Zona Interna não foram definidos limites inferior e superior para o desvio de umidade, devendo-se adotar umidades que permitam a trabalhabilidade dos materiais e a obtenção dos graus de compactação requeridos.

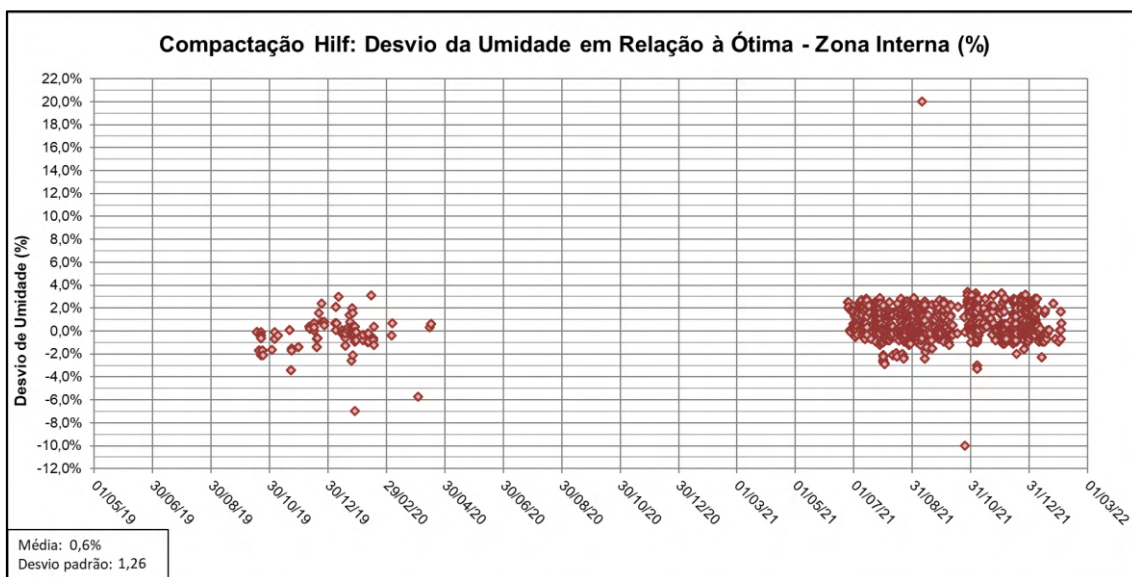


Figura 7.30 – Desvio da umidade em relação à Ótima – Zona Interna (%)

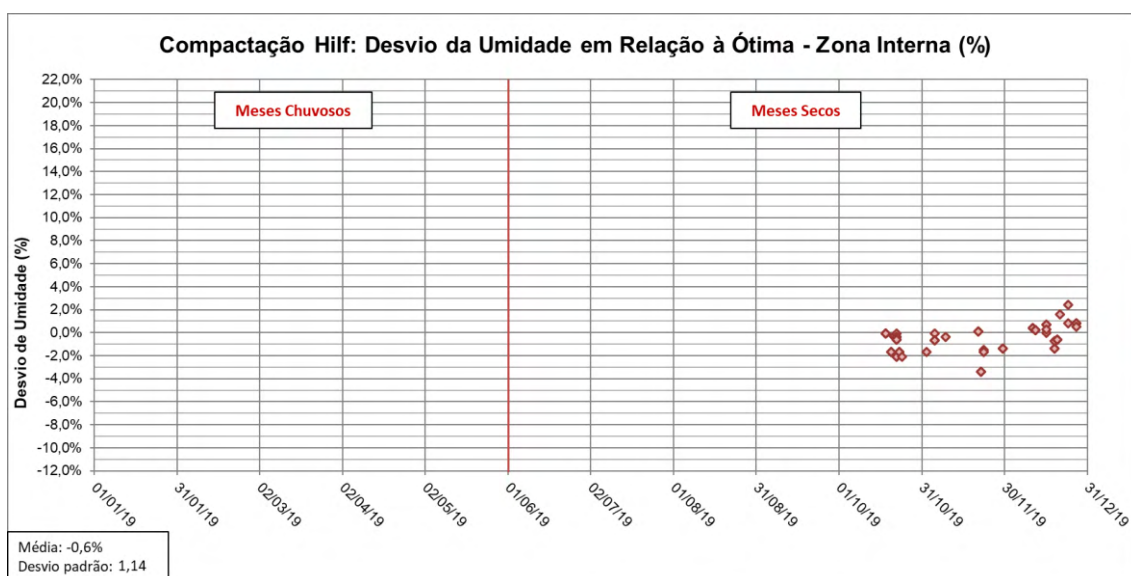


Figura 7.31 – Desvio da umidade em relação à Ótima dos ensaios de 2019 – Zona Interna (%)

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

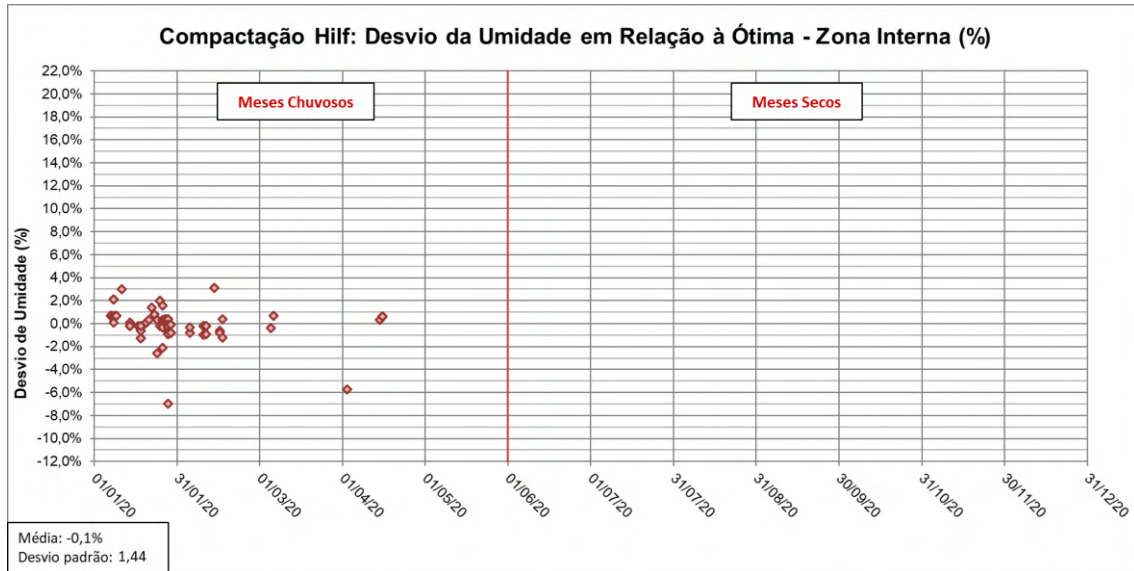


Figura 7.32 – Desvio da umidade em relação à Ótima dos ensaios de 2020 – Zona Interna (%)

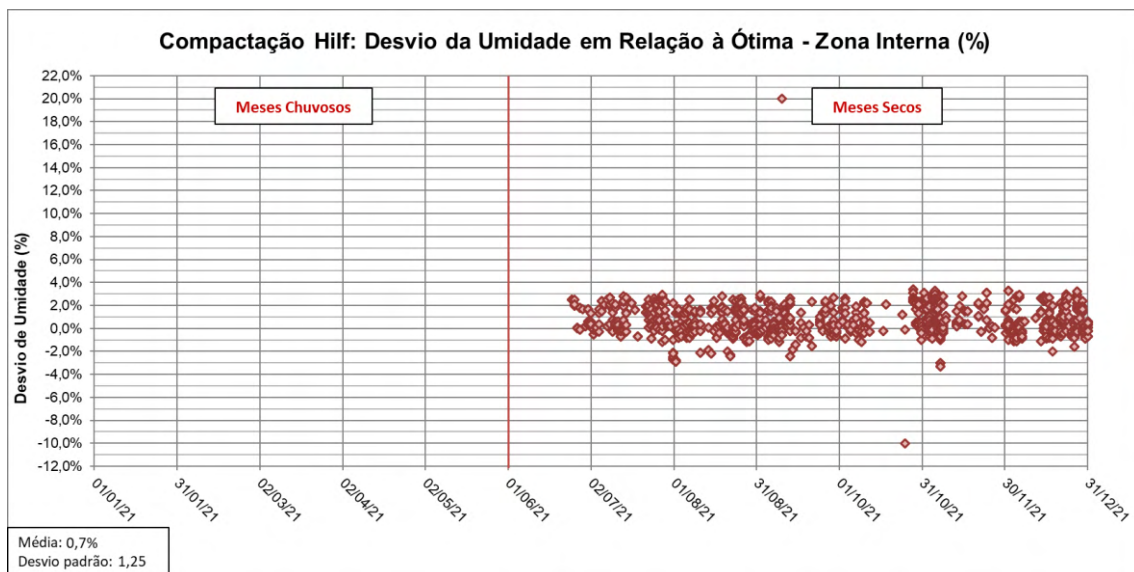


Figura 7.33 – Desvio da umidade em relação à Ótima dos ensaios de 2021 – Zona Interna (%)

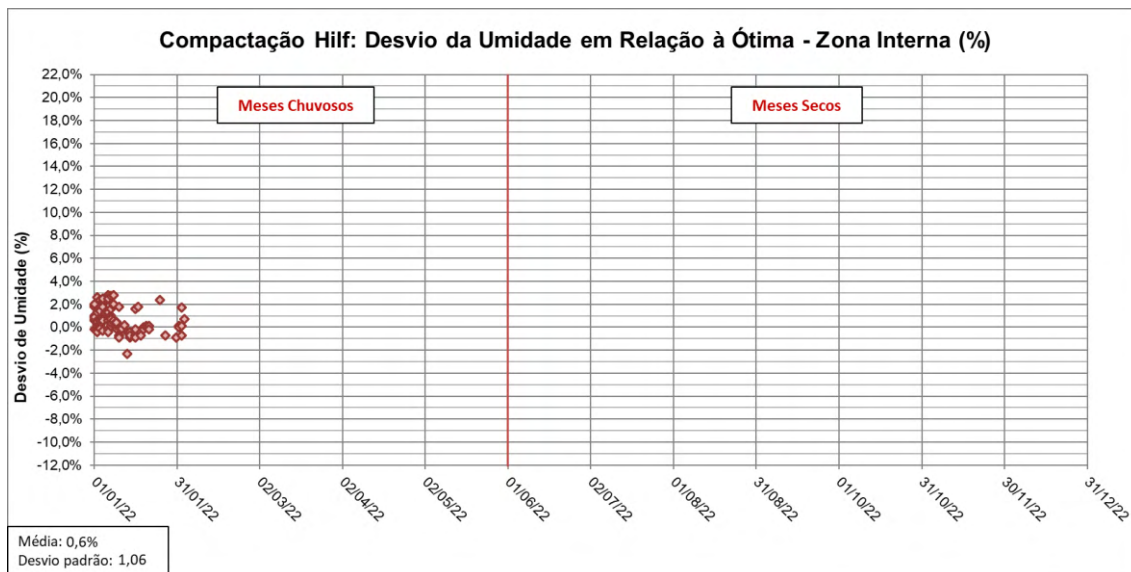
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2


Figura 7.34 – Desvio da umidade em relação à Ótima dos ensaios de 2022 – Zona Interna (%)

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na avaliação do Manual de Operação, elaborado pela PIMENTA DE AVILA, em 05/03/21, doc. OM-3541-54-G-282 R08, e dos Boletins de Controle de Compactação pelo Método de Hilf do DRS2, referentes aos intervalos de julho/2017 a fevereiro/2018, dezembro/2019 a maio/2020 e junho/2021 a fevereiro/2022, pode-se concluir que o controle tecnológico de compactação das camadas executadas nas Zonas Estrutural e Interna do DRS2 estão adequadas. Além disso, observou-se que a equipe técnica da ALUNORTE apresenta toda a documentação referente ao controle tecnológico de compactação devidamente arquivado em seu banco de dados.

Em relação às faixas de precipitação, foram definidas com base nos registros históricos e na experiência da projetista em projetos de disposição de resíduos em regiões com alto índice pluviométrico. Ainda sobre as faixas de precipitação, foi realizado estudo estatístico detalhado (RT-3541-54-G-378) visando identificar a probabilidade de falha da razão de disposição do material durante a operação do DRS2. A FONNTES entende que

AValiação DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

foram tomadas as medidas cabíveis visando aumentar a segurança de operação do depósito no que diz respeito à produção de resíduo seco e úmido, bem como na definição das faixas de precipitação para destinação dos resíduos.

No caso da Zona Estrutural, o grau de compactação médio obtido foi de 98,7%, ou seja, superior ao valor mínimo especificado de 95% em relação ao Ensaio Proctor Normal estabelecido em projeto. Além disso, nos ensaios em que foi identificado que o grau de compactação estava abaixo do valor mínimo especificado, a camada foi refeita e o ensaio de compactação repetido como condicionante da sua aprovação. Esse fato evidencia que há uma governança estabelecida no sentido de seguir os procedimentos de projeto.

Nesta Zona, a média do desvio da umidade foi igual a $w_{ót}+0,4\%$ e apenas 0,5% das amostras ensaiadas apresentaram desvio de umidade abaixo de $w_{ót}-3,0\%$ e 0,2% das amostras apresentaram desvio de umidade acima de $w_{ót}+4,0\%$, definidos como os limites inferior e superior, respectivamente. Em relação a esse aspecto é importante lembrar que o distanciamento da umidade no campo em relação a ótima significa que podem ser necessárias mais passadas do rolo compactador para se atingir o grau de compactação especificado. O critério de compactação ainda pode ser respeitado, porém com um maior custo econômico. Por isso, quanto menor o desvio da umidade de campo em relação a ótima mais otimizado e eficiente será o processo de compactação.

No caso da Zona Interna, o grau de compactação médio obtido nos ensaios de compactação foi de 98,6%, ou seja, superior ao valor mínimo recomendado de 90% do Proctor Normal. No entanto, o valor mínimo recomendado é devido a trafegabilidade dos equipamentos envolvidos na disposição, não sendo determinantes para a reprovação da camada executada. Nesta Zona, a média do desvio da umidade foi igual a $w_{ót}+0,6\%$.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

Conclusivamente, foi possível constatar através da documentação consultada que os critérios de projeto em relação a compactação, densidade e umidade, têm sido seguidos. Foram fornecidas evidencias que demonstraram que as camadas reprovadas (fora do especificado) foram refeitas para que ficassem dentro dos critérios especificados pelo projetista.

9. REFERÊNCIAS

- i. ALMARAZ, U.J.S. (1977). Aspectos Geoquímicos e Ambientais dos Calcários do Formação Pirabas, Pará. Tese de Doutorado, UFRS, 272 p.
- ii. FARIAS, E.S.; NASCIMENTO, F.S., FERREIRA, M.A.A. (1992). Estágio de Campo III: relatório final. Área Belém - Outeiro. Belém: Centro de Geociências. Universidade Federal do Pará. 247 p.
- iii. HAQ, B.V.; HARDENBOL, J.; VAIL, P.R. (1987). Chronology of Fluctuating Sea Levels Since the Triassic (250 million years ago to present). Science, 235 : 1156-1167 p.
- iv. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Barcarena/PA. População. 2010. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- v. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Barcarena/PA. Educação. 2010b. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- vi. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Barcarena/PA. Economia. 2019. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- vii. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Barcarena/PA. Trabalho e Rendimento. 2020. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- viii. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Barcarena/PA. Território e ambiente. 2021. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS2

- ix. MABESOONE, J. M. e CASTRO, C. (1975). Desenvolvimento Geomorfológico do Nordeste Brasileiro. Boletim do Núcleo Nordeste da SBG, Recife, v.3, p. 05- 35.
- x. ROSSETTI D.F. & VALERIANO M.M. 2007. Evolution of the lowest Amazon basin modeled from the integration of geological and SRTM topographic data. Catena, 70:253-265.



FONNTES
G E O T É C N I C A

WEBSITE

www.fonntesgeotecnica.com

TELEFONES

(31) 3582-9185

(31) 3582-9186

Endereço: Avenida Otacílio Negrão de Lima, 2837
– São Luiz (Pampulha).
Belo Horizonte / MG. CEP: 31365-450