

FG-2201-NHB-A-BA-RT12-02

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 Interpretação dos ensaios destrutivos e não destrutivos para verificação da estanqueidade da Geomembrana do DRS2, em atendimento à letra “O” 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



FONNTES
G E O T É C N I C A

FG-2201-NHB-A-BA-RT12-02

RELATÓRIO TÉCNICO DE AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS 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	9
5. APRESENTAÇÃO DO PROJETO DA ESTRUTURA	10
5.1 LOCALIZAÇÃO	12
5.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS	18
5.2.1 <i>Geologia Regional</i>	18
5.2.2 <i>Histórico de Investigações</i>	20
5.2.3 <i>Geologia Local</i>	21
5.3 PLATAFORMA DA PILHA DE RETOMADA DO RESÍDUO E CÉLULA DE CONTINGÊNCIA	22
5.4 CANAIS DE CONTORNO E BACIAS DE CONTROLE (BC 201 e BC 202)	23
5.5 DIQUE DE CONTORNO.....	25
5.6 DIQUE ENTRE CANAL DE CONTENÇÃO DE SEDIMENTOS E CANAL DE ADUÇÃO DAS BACIAS DE CONTROLE	25
5.7 DIQUE EXTERNO DO CANAL DE ADUÇÃO DAS BACIAS DE CONTROLE	26
5.8 DIQUE EXTERNO DAS BACIAS DE CONTROLE (BC 201 e BC 202)	26
5.9 DIQUE DE CONTENÇÃO DA ÁREA ÚMIDA (INFRAESTRUTURA INICIAL).....	27
5.10 DIQUE CENTRAL E FINGERS (INFRAESTRUTURA INICIAL).....	27
5.11 SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO.....	28
5.12 DRENAGEM INTERNA DA PILHA	30
5.13 INSTRUMENTAÇÃO	31
5.14 SISTEMA EXTRAVASOR	32
5.15 GALERIA DE TRANSPOSIÇÃO DO CANAL DE ADUÇÃO.....	33

AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2

5.16	DRENAGEM SUPERFICIAL	33
5.17	PROJETO <i>AS BUILT</i>	33
6.	METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO	34
7.	DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO.....	36
7.1	RELATÓRIOS DO DIÁRIO DE CAMPO	40
7.2	REGISTROS DE INSTALAÇÃO DE PAINEL DE GEOMEMBRANA E SPARK TEST	44
7.2.1	<i>As Built da instalação da geomembrana no DRS2.....</i>	<i>50</i>
7.3	REGISTROS DE TESTES DE PRESSURIZAÇÃO	52
7.4	REGISTROS DE TESTES DE VÁCUO	57
7.5	REGISTROS DOS TESTES DESTRUTIVOS COM CUNHA E COM EXTRUSÃO	61
8.	CONCLUSÕES	68
9.	REFERÊNCIAS	69

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
- ASTM – American Society for Testing and Materials. É um órgão estadunidense de normalização. A ASTM desenvolve e publica normas técnicas para uma ampla gama de materiais, produtos, sistemas e serviços.
- 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

AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2

- MPF – Ministério Público Federal
- MPPA – Ministério Público do Estado do Pará
- MPSA – Mineração Paragominas
- MRN – Mineração Rio Norte
- 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 de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará.
- UTM – Universal Transversa de Mercator (Sistema de projeção cartográfica)

1. INTRODUÇÃO

A Norsk Hydro ASA (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

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2		

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 - IC n° 001/2018 - MP (SIMP n°000654 -710/2018) MPPA, Inquérito Civil n° 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, 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, 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 n.º 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;

AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2

- 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 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;**

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2		

- 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 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 **O**), referido à interpretação dos ensaios destrutivos e não destrutivos para verificação da estanqueidade da Geomembrana.

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 **“o) Interpretação dos ensaios destrutivos e não destrutivos para verificação da estanqueidade da Geomembrana;”** para o depósito de rejeitos 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

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2		

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 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 O)**, objeto desse relatório.

Será avaliado, para o DRS01 e DRS02, os boletins de campo dos ensaios de atestaram a qualidade, integridade e estanqueidade da geomembrana durante a sua instalação. Se foram aplicadas as melhores práticas de engenharia e executados os ensaios de controle conforme critérios consagrados de engenharia e na frequência recomendada. O volume de ensaios realizados pode ser muito grande, por isso será realizada uma avaliação por amostragem, mês a mês do tempo de construção das estruturas, para fins de apresentação no relatório.

Serão verificados os ensaios de laboratório, conduzidos para avaliação da qualidade da geomembrana fornecida conforme critérios técnicos do catálogo do fabricante e do projeto. Será verificado se esses ensaios de laboratório resultaram na rejeição de algum lote de geomembrana devido suas características estarem incompatíveis com as recomendações de projeto, possivelmente relacionados a problemas fabris, se aplicável.

3. DADOS UTILIZADOS

Foi recebido um volume elevado de informações enviadas pela HYDRO 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 AVILA	29/07/21
D1-3541-54-G-102- R01	Planta geral da área do DRS2	PIMENTA DE ÁVILA CONSULTORIA LTDA	Nov/2015
D1-3541-54-G-104- R04	Layout - Planta	PIMENTA DE ÁVILA CONSULTORIA LTDA	Nov/2015
RT-3541-54-G-360 R01	“Como Construído” do sistema de disposição de resíduos DRS2 – Fase 1	PIMENTA DE ÁVILA CONSULTORIA LTDA	Jul/2018
ES-3541-54-G-100	Especificação técnica de recebimento, aceitação e instalação do sistema de impermeabilização do DRS2	PIMENTA DE ÁVILA CONSULTORIA LTDA	Jul/2015
-	DATABOOK do controle de qualidade na instalação de geomembrana no DRS2 área 54	TDM TECNOLOGIA DE MATERIAIS BRASIL LTDA	Abr/2017
MS: MSHYR0-54- 001-R00	As Built da implantação dos painéis de geomembrana sob o DRS2 (Código MS: MSHYR0-54- 001-R00), elaborado pela MS e Record Engenharia	MS & RECORD ENGENHARIA	S.D.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2		

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 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.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2		

5. APRESENTAÇÃO DO PROJETO 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;
- 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.

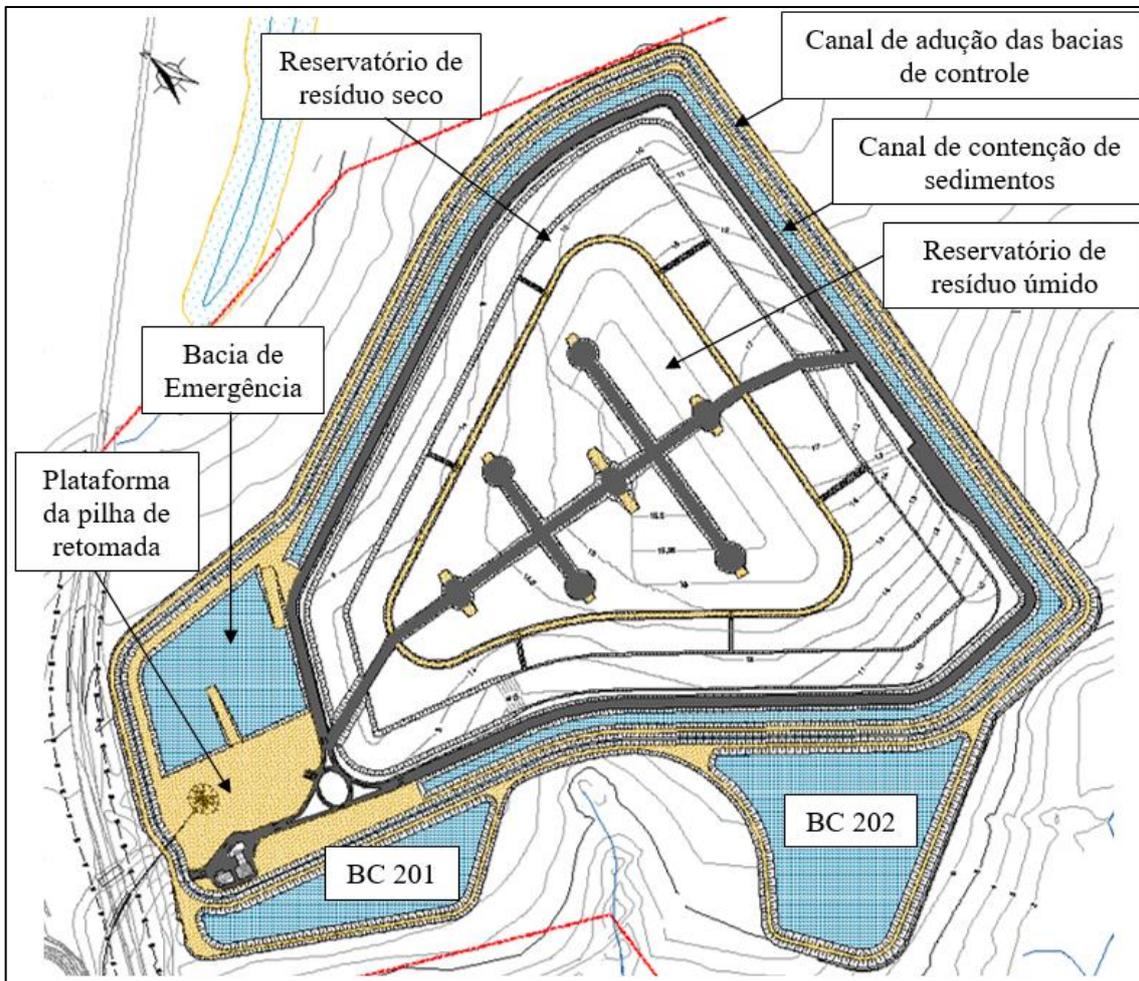


Figura 5.1 – Layout da fase 1 do DRS2 (MD-3541-54-G-096)

Neste item 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 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 que apenas a fase 01 do DRS2 foi executada até o momento.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2		

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 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.

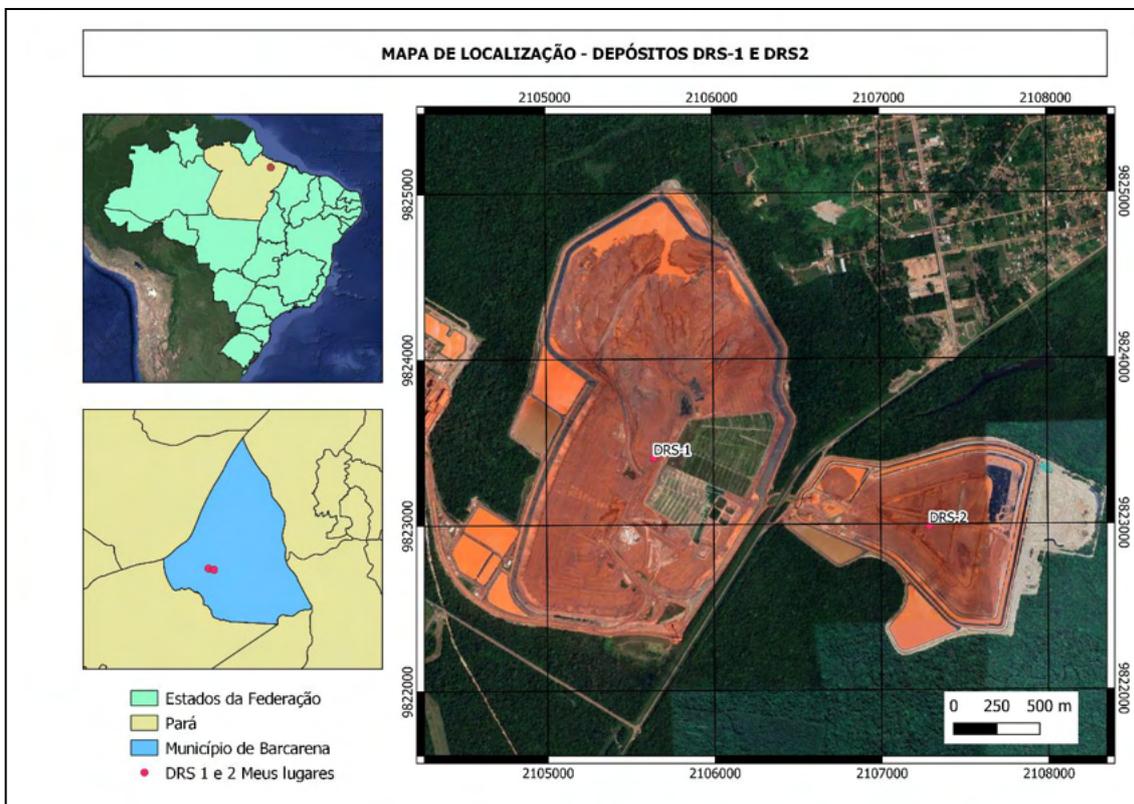


Figura 5.2 – Localização da Estrutura – DRS1 e DRS2

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).

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.

Segundo o levantamento censitário realizado pelo IBGE (2010), o município de Barcarena possui 99.859 habitantes, apresentando densidade demográfica de 76,21

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2		

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.

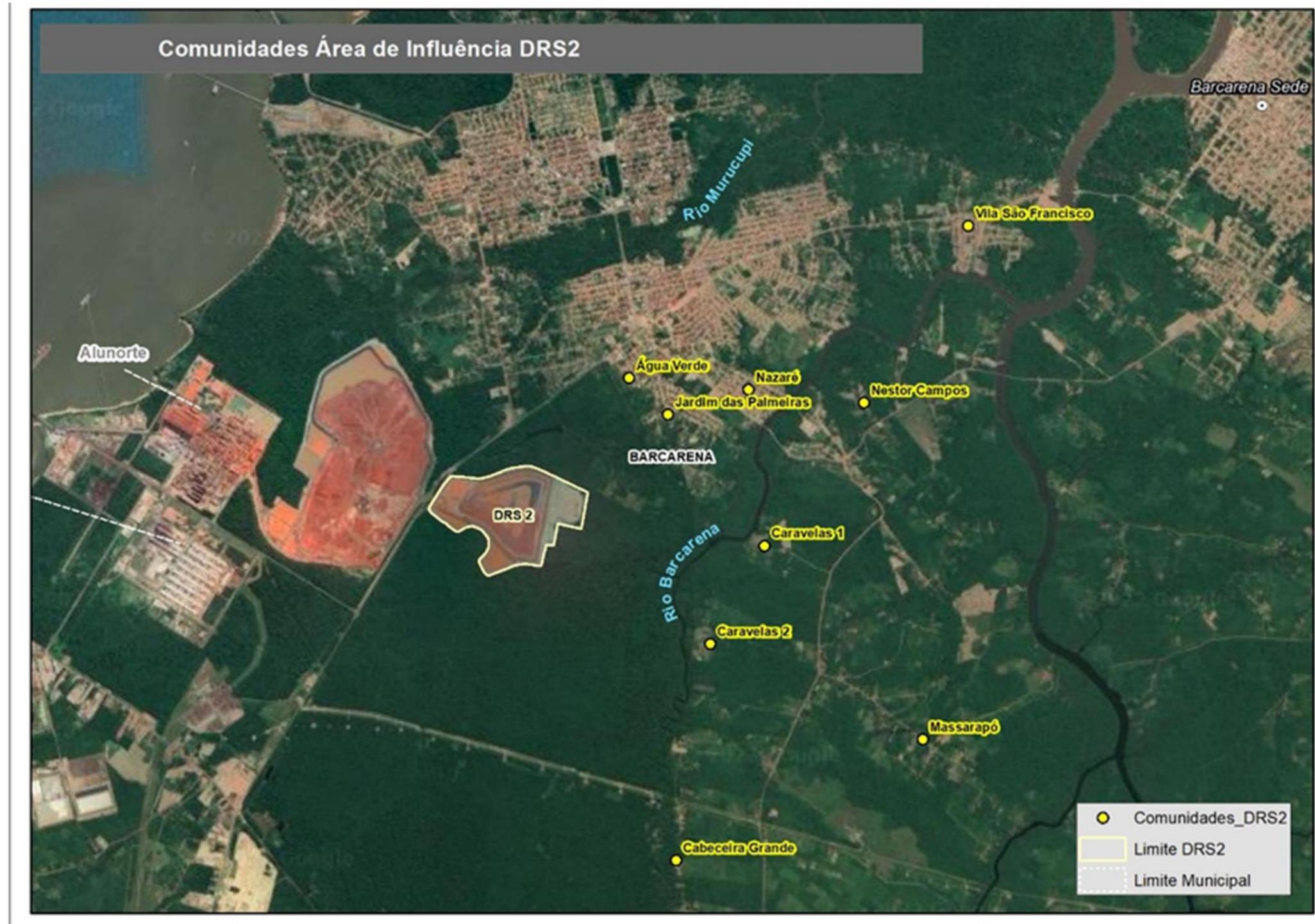


Figura 5.3 – Localização das comunidades próximas ao depósito DRS2 (Imagem fornecida pela equipe técnica da HYDRO/ALUNORTE)

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2		

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 implantação e expansão do DRS1 e DRS2. Esse histórico é replicado aqui visando contextualizar o leitor (Figura 5.4).

AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2



Figura 5.4 – Histórico de expansão do DRS1 e DRS2

A descrição das estruturas do DRS2 é apresentada a seguir com base 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 12000 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 DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2

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

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.

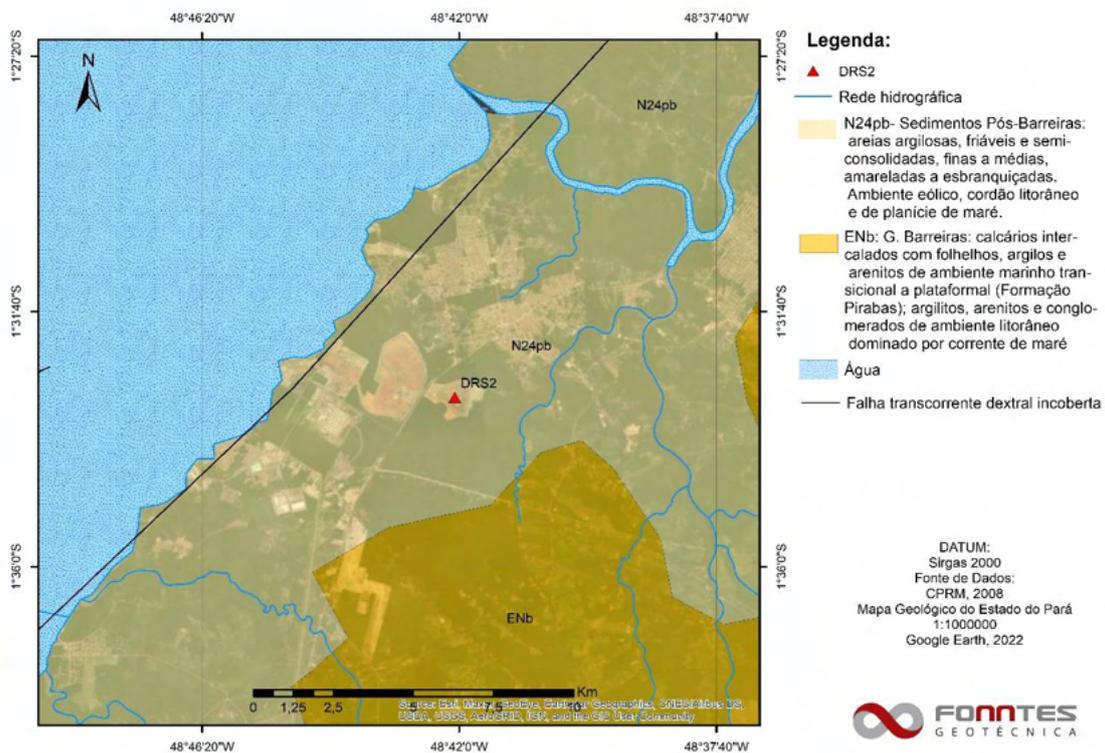


Figura 5.5 – Mapa geológico regional da estrutura DRS2

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, enquanto a Figura 5.5 indica que as duas estruturas estão inseridas sobre Sedimentos

AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2

Pós-Barreiras. Levando em consideração o caráter regional do estudo, é natural que haja diferenças 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 Hydro, não houve premissas que justificassem a necessidade de execução de sondagens complementares na área próxima à estrutura DRS2, além das executadas para fomentar a execução 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.

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.

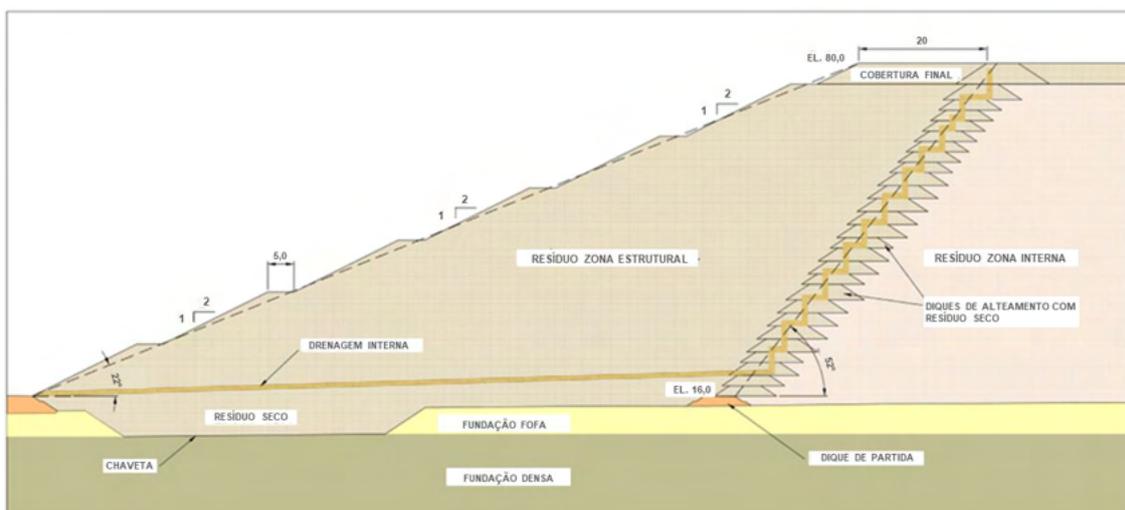


Figura 5.6 – Seção transversal típica do DRS2 (Fonte: RT-469137-54-G-0002)

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”. A Célula de Contingência é apresentada na Figura 5.7.

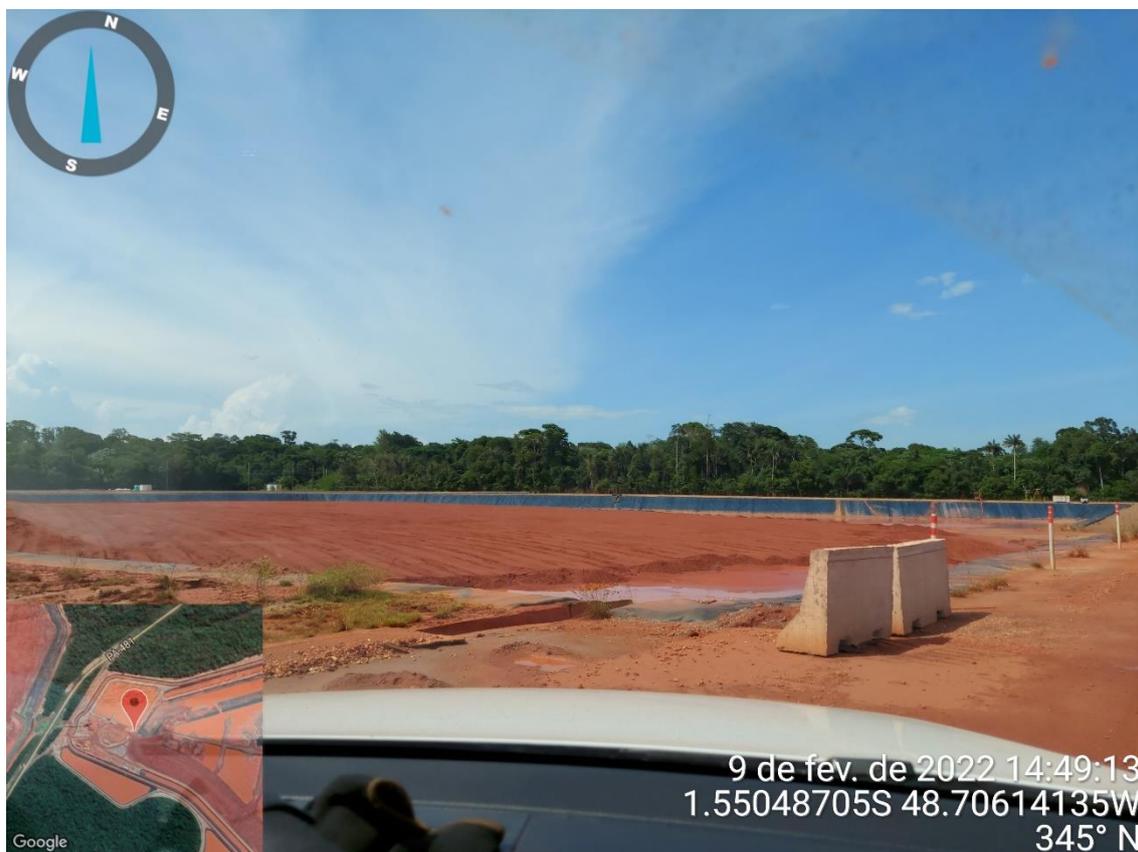


Figura 5.7 – Célula de Contingência

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.

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 (Figura 5.8). Tem como objetivo conter os sedimentos provenientes da drenagem da pilha, que porventura sejam carregados para o canal.



Figura 5.8 – Canal de contorno adjacente ao DRS2

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.

AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2

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. A Figura 5.9 indica a localização de cada um dos diques supracitados.



Figura 5.9 – Identificação do dique externo, dique entre canal de adução e canal de contenção de sedimentos e dique de contorno e acesso de operação.

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. 15,7 m e a 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).

Durante a visita técnica, foi possível identificar a conformação inicial do Dique central e fingers (infraestrutura inicial do DRS2), estando apresentada na Figura 5.10.



Figura 5.10 – Dique central e fingers – infraestrutura inicial do DRS2

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 DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO 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 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 5.11e Figura 5.12 ilustram a seção e detalhe típicos dos drenos.

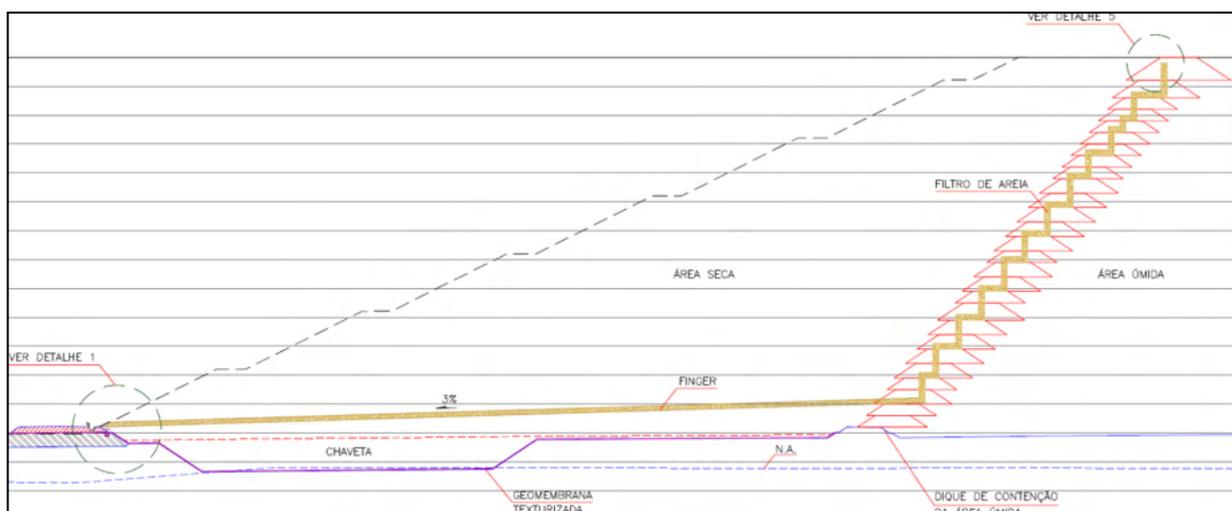


Figura 5.11 – Seção Típica – Drenagem interna da pilha (documento D1-3541-54-G-163)

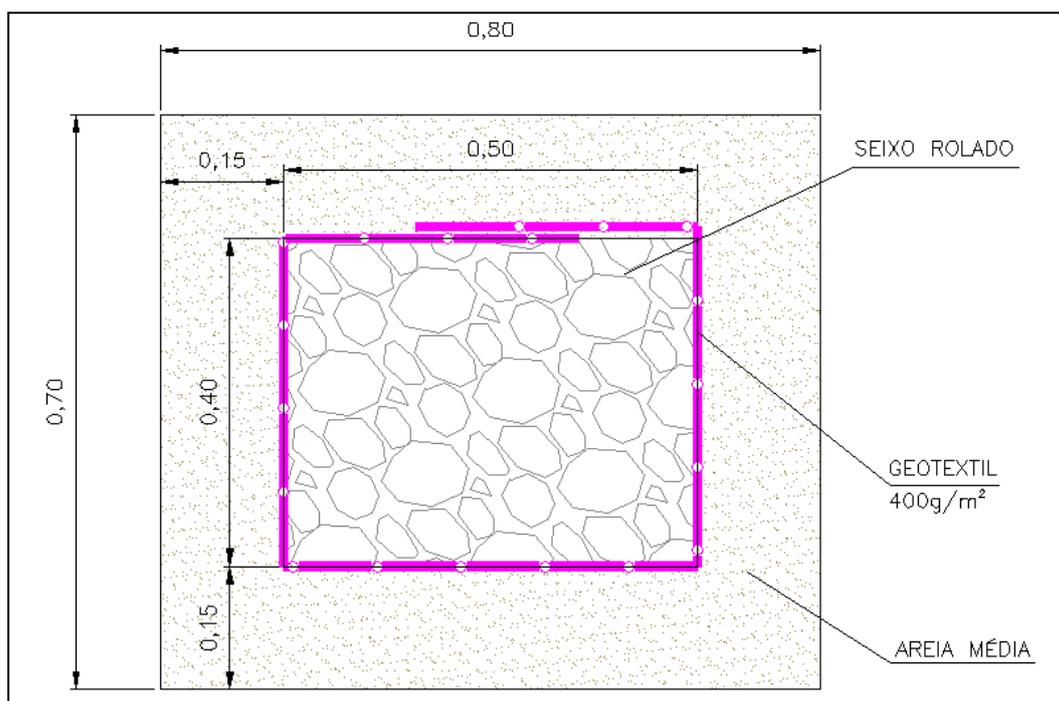


Figura 5.12 – Detalhe Típico – Drenos (D1-3541-54-G-163)

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 é prevista a implantação 4 extravasores tipo galeria, controlado por stop-logs

Entre o canal de adução e as bacias de controle foram previstos 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.

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 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 LTDA (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. Segundo o relatório *As Built* (documento RT-

AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2

3541-54-G-360 R01), não foram identificados documentos que evidenciem as seguintes ações durante a execução do projeto:

- 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.
- Ensaio 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 B), objeto desse relatório, é reproduzida a seguir.

AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2

Serão avaliados os documentos que atestaram a qualidade, integridade e estanqueidade da geomembrana durante a sua instalação no Depósito DRS2, assim como se foram aplicadas as melhores práticas de engenharia e executados os ensaios de controle conforme critérios consagrados e na frequência recomendada. Para tanto, neste relatório foram consultados os seguintes documentos:

- Relatórios diários de obra (realizada entre novembro de 2015 e março de 2017)
- Registros de instalação de painel de geomembrana (realizado entre junho e dezembro de 2016)
- Registros de ensaio de *spark test* (realizado entre dezembro de 2016 e março de 2017)
- Registros de testes de pressurização (realizados entre dezembro de 2015 e janeiro de 2017)
- Registro de testes de vácuo (realizados entre fevereiro de 2016 e março de 2017).
- Registros de testes destrutivos com cunha (realizados entre dezembro de 2015 e março de 2017)
- Registros de testes destrutivos com extrusão (realizados entre janeiro e julho de 2016)
- Documento As Built da implantação dos painéis de geomembrana sobre o DRS2 (Código MS: MSHYR0-54-001-R00), elaborado pela MS e Record Engenharia

O volume de registros disponíveis, ensaios realizados e boletins se mostra muito extenso, por este motivo, foi realizada uma avaliação por amostragem, mês a mês do tempo de construção das estruturas, para fins de apresentação nesse relatório.

AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2

Em relação aos ensaios de laboratório, será verificado se os mesmos resultaram na rejeição de algum lote de geomembrana devido seus resultados estarem incompatíveis com as recomendações de projeto, possivelmente relacionados a problemas fabris, se aplicável.

7. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

Conforme as especificações técnicas de recebimento, aceitação e instalação do sistema de impermeabilização do DRS2 (ES-3541-54-G-100), as geomembranas PEAD lisa e texturizada devem satisfazer as propriedades relacionadas respectivamente na Tabela 7.1 e Tabela 7.2, baseadas nas recomendação do documento “GM13”, elaborada pelo *Geosynthetic Research Institute (GRI)*, pertencente ao *Geosynthetic Institute (GSI)*.

Tabela 7.1 – Propriedades das Geomembranas PEAD Lisas.

PROPRIEDADE	VALORES		MÉTODO DE ENSAIO	FREQUÊNCIA MÍNIMA DOS ENSAIOS
1. Espessura mínima	1,0 mm	1,5 mm	ASTM D 5199	Por bobina
2. Densidade Mínima (g/cm³)	0,940	0,940	ASTM D 792 – Método B ou ASTM D 1505	90.000 kg
3. Propriedades Mínimas de Resistência à Tração – Ensaio Índice [Nota 1]:			ASTM D 6693 tipo IV	9.000 kg
3.1. Tensão de Escoamento	15 kN/m	22 kN/m		

AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2

PROPRIEDADE	VALORES		MÉTODO DE ENSAIO	FREQUÊNCIA MÍNIMA DOS ENSAIOS
3.2. Alongamento no Escoamento	12%	12%		
3.3. Tensão na Ruptura	27 kN/m	40 kN/m		
3.4. Alongamento na Ruptura	700%	700%		
4. Resistência ao Rasgo Mínima	125 N	187 N	ASTM D 1004	20.000 kg
5. Resistência ao Puncionamento Mínima	320 N	480 N	ASTM D 4833	20.000 kg
6. Fissuramento sob Tensão	≥ 400 hr	≥ 400 hr	ASTM D 5397 Appendix	Por lote de geomembrana fabricada
7. Teor Negro de Fumo	2% - 3%	2% - 3%	ASTM D 1603 ou ASTM D 4218	9.000 kg
8. Dispersão de Negro de Fumo	[Nota 2]	[Nota 2]	ASTM D 5596	20.000 kg
9. Tempo de Oxidação Indutiva (OIT) Standard (200°C, 1 atm O₂)	≥ 100 min.	≥ 100 min.	ASTM D 3895	90.000 kg
10. Envelhecimento no Forno a 85° C com OIT Standard: % retida a 90 dias [Nota 3]	≥ 55%	≥ 55%	ASTM D 5721 ASTM D 5885/3895	Por formulação
11. Resistência UV [Nota 4] com OIT Alta Pressão: % retida após 1600 horas	≥ 50%	≥ 50%	ASTM D7238 ASTM D 5885	Por formulação

AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2

PROPRIEDADE	VALORES		MÉTODO DE ENSAIO	FREQUÊNCIA MÍNIMA DOS ENSAIOS
12. Índice de Fluidez [Nota 5]	< 1,0 g/10 min.	< 1,0 g/10 min.	ASTM D 1238 190° C, 2,16 kg	-

Notas:

[Nota 1]: A média dos valores na direção da máquina (MD – Machine Direction) e na direção transversal à máquina (XMD – Cross Machine Direction) deve estar baseada em ensaios com 5 amostras em cada direção.

[Nota 2]: A Dispersão de Negro de Fumo para 10 amostras deverá apresentar: 9 amostras na categoria 1 ou na 2 e uma amostra na categoria 3.

[Nota 3]: É recomendável avaliar a porcentagem retida a 30 e a 60 dias, para comparação com a resposta da amostra a 90 dias.

[Nota 4]: A condição de ensaio deverá ser ciclos alternados de 20 horas de exposição aos raios UV à 75° C, seguidas de 4 horas de condensação à 60° C.

[Nota 5]: Propriedade da resina de PEAD usada na fabricação da geomembrana.

Tabela 7.2 – Propriedades das Geomembranas PEAD Texturizadas.

PROPRIEDADE	VALORES	MÉTODO DE ENSAIO	FREQUÊNCIA MÍNIMA DOS ENSAIOS
1. Espessura mínima	1,5 mm	ASTM D 5994	Por bobina
2. Altura mínima da textura [Notas 1 e 2]	0,40 mm [Nota 3]	ASTM D 7466	Cada duas bobinas
3. Densidade Mínima (g/cm³)	0,940	ASTM D 792 – Método B ou ASTM D 1505	90.000 kg
4. Propriedades Mínimas de Resistência à Tração – Ensaio Índice [Nota 4]:		ASTM D 6693 Tipo IV	9.000 kg
4.1. Tensão de Escoamento	22 kN/m		

AValiação DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2

4.2. Alongamento no Escoamento	12%		
4.3. Tensão na Ruptura	16 kN/m		
4.4. Alongamento na Ruptura	100%		
5. Resistência ao Rasgo Mínima	187 N	ASTM D 1004	20.000 kg
6. Resistência ao Puncionamento Mínima	400 N	ASTM D 4833	20.000 kg
7. Fissuramento sob Tensão	≥ 400h	ASTM D 5397 Appendix	Por lote de geomembrana fabricada
8. Teor Negro de Fumo	2% - 3%	ASTM D 1603 ou ASTM D 4218	9.000 kg
9. Dispersão de Negro de Fumo	[Nota 5]	ASTM D 5596	20.000 kg
10. Tempo de Oxidação Indutiva (OIT) Standard (200°C, 1 atm O₂)	≥ 100 min.	ASTM D 3895	90.000 kg
12. Envelhecimento no Forno a 85° C com OIT Standard: % retida a 90 dias [Nota 6]	≥ 55%	ASTM D 5721 ASTM D 3895	Por formulação
14. Resistência UV [Nota 7] com OIT Standard	NR	ASTM D7238 ASTM D 3895	Por formulação
15. Resistência UV com OIT Alta Pressão: % retida após 1600 horas [Nota 8]	≥ 50%	ASTM D7238 ASTM D 5885	Por formulação
15. Índice de Fluidez [Nota 9]	< 1,0 g/10 min.	ASTM D 1238 190° C, 2,16 kg	-

Notas:

[Nota 1]: De cada 10 leituras: 8 em cada 10 devem ser ≥ 0,35 mm, e a menor leitura individual deve ser ≥ 0,30 mm.

[Nota 2]: Para textura nas duas faces as medidas dos lados devem ser alternadas.

[Nota 3]: A altura mínima da textura deverá ser validada após a avaliação da estabilidade da pilha

AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2

com os resultados de ensaios de resistência de interface entre a geomembrana texturizada a ser utilizada e o material que será colocado sobre ela.

[Nota 4]: A média dos valores na direção da máquina (MD – Machine Direction) e na direção transversal à máquina (XMD – Cross Machine Direction) deve estar baseada em ensaios com 5 amostras em cada direção.

[Nota 5]: A Dispersão de Negro de Fumo para 10 amostras deverá apresentar: 9 amostras na categoria 1 ou na 2 e uma amostra na categoria 3.

[Nota 6]: É recomendável avaliar a porcentagem retida a 30 e a 60 dias, para comparação com a resposta da amostra a 90 dias.

[Nota 7]: A condição de ensaio deverá ser ciclos alternados de 20 horas de exposição aos raios UV à 75º C, seguidas de 4 horas de condensação à 60º C.

[Nota 8]: A resistência ao UV é baseada no valor da porcentagem retida, não considerando o valor original do OIT alta pressão

[Nota 9]: Propriedade da resina de PEAD usada na fabricação da geomembrana.

7.1 RELATÓRIOS DO DIÁRIO DE CAMPO

Os relatórios do diário de campo foram realizados entre os meses de novembro de 2015 e março de 2017. Os registros indicam que a fiscalização ocorreu por parte da empresa TDM Brasil e a instalação da geomembrana foi realizada pela empresa RECORD.

Como exemplo, apresenta-se a Figura 7.1, onde mostra as atividades realizadas no dia 01/07/2016. Na oportunidade foram aplicados 5.310 m² de geomembrana de 1,5 mm conforme especificado no projeto. Foram realizados 3 ensaios de qualificação sólida e 18 de registro de solda. Além de terem sido necessários 9 reparos por extrusão e 10 reparos por ar quente. Este dia foi utilizado como exemplo pois de acordo com o registro, “Devido a falha no teste de ar na solda entre os painéis 961 e 962, foi orientado (pela fiscalização) a remover toda a solda e refazer novamente devido o teste de pressurização não ter sido aprovado”. O relatório é assinado pelos responsáveis na HYDRO e pela TDM Brasil

Um segundo exemplo, a Figura 7.2 apresenta as atividades realizadas dia 04/01/2017. Na oportunidade foram realizados *spark tests* nas geomembranas implantadas na comporta do canal de adução e no canal de sedimentação do DRS2, nos painéis P-20 e

AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2

P-19. Foi identificado um furo no P-19 e logo em seguida o mesmo foi reparado. Também foram realizados reparos por extrusão nos painéis P-477 e P-476, bem como na união entre o P-476 e P-475. Às 15:15 as atividades foram interrompidas devido às condições meteorológicas.

Não foram identificados relatórios de diário de campo que indiquem comprometimento definitivo da estanqueidade, apenas reparos pontuais e comuns para o tipo de atividade.

AValiação DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2

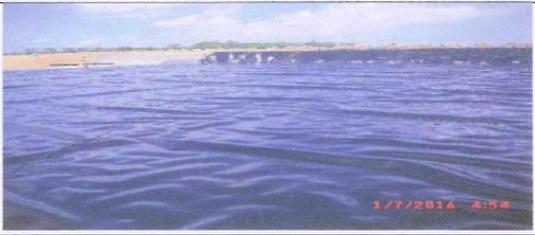
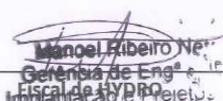
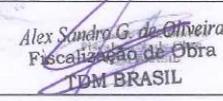
				Alunorte Alumina do Norte do Brasil S.A.		RELATORIO DIARIO DE CAMPO				Código: REG-VII-CTC-33 Revisão: 01			
CLIENTE: Hidro Alunorte Alumina do Norte do Brasil S.A.				PROJETO: FISCALIZAÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE NA INSTALAÇÃO DE GEOMEMBRANA NO DRS 2 - ÁREA 54				RDO Nº 063/2016					
RESUMO DA FISCALIZAÇÃO								Data: 01/07/2016					
Dia da Semana						Condições Meteorológicas				Fiscal: ALEX SANDRO			
2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	SAB	DOM		Manhã	Tarde	Noite	EX	Estrusora	1
			X				Bom	X	X		MS	Maq. Solda	2
Mão-de-obra		EMPRESAS / Record		PREVISTO REALIZADO		mm 0 0		Chuva		ST Tensiômetro 0		MA Manômetro 2	
		Engenheiro 1 0											
INSTALADORES	Supervisor/encarregado 2 1		RESUMO DE APLICAÇÃO		LIX Lixadeira 1		GE Gerador 2		CUP Cuponeira 1		GEOMEMBANA APLICADO ÁREA 5310,00 M2		
	Soldador 6 5												
	Ajudante 5 6												
	EFETIVO DA CONSTRUTORA MS												
CIVIL		Engenheiro 1		RESUMO DE TESTES		TESTE DE AR REALIZADO 35		TESTE DE VÁCUO 19		RESUMO DE REPAROS			
Supervisor/encarregado 2													
Ajudante 17													
REALIZAÇÃO DE ENSAIOS E REGISTROS				ENSAIO QUALIFICAÇÃO SOLDA 3				REPAROS POR EXTRUSÃO 9					
REGISTRO DE SOLDA 18				REPAROS POR AR QUENTE (Leister) 10									
Manhã e Tarde													
- Continuidade na realização dos testes de ar no area seca da Chaveta em uma solda de junção .													
- A MS iniciou os trabalhos posicionando as bobinas para o lançamento na area umida da chaveta, o instaladora optou lançar os paineis de 50 metros em acordo com a fiscalização, pois não possuia area liberada para lançar um bobina de 100mts													
- A primeira solda iniciou as 9 horas com maquina de cunha 37498 entre a união dos paineis 961 a 962 e ntre 962 e 963													
- Devido a folha no teste de ar no solda entre os paineis 961 e 962, foi orientado a remover toda solda e refazer n mente devido o teste de pressurização não ter sido aprovado.													
- As 15:30 pararam a disposição e deslocamento dos equipamentos para outra frente de serviço.													
													
Vista geral do lançamento da geomembrana na area umida e da execução da solda de termofusão													
OBSERVAÇÕES DA HYDRO ALUNORTE													
 Manoel Ribeiro Neto Gerente de Eng. e F. Instalação e Projeto						 Alex Sandra G. de Oliveira Fiscalização de Obra TDM BRASIL TDM - BRASIL							

Figura 7.1 – Relatório do diário de campo de 01/07/2016

AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2

				RELATORIO DIARIO DE CAMPO				Código: REG-VII-CTC-33 Revisão: 01							
CLIENTE: Hidro Alunorte Alumina do Norte do Brasil S.A.		PROJETO: FISCALIZAÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE NA INSTALAÇÃO DE GEOMEMBRANA NO DRS 2 - ÁREA 54								RDO Nº 234/2017					
RESUMO DA FISCALIZAÇÃO						Data: 04/01/2017									
Dia da Semana						Condições Meteorológicas		Fiscal: ALEX SANDRO							
2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	SAB	DOM	Bom	Manhã	Tarde	Noite	EX	Estrusora	2		
		X						X			MS	Maq. Solda	0		
Mão-de-obra		EMPRESA / Record		Chuva		mm				ST		Tensiômetro		1	
		PREVISTO	REALIZADO	mm	mm			MA		Manômetro		0			
INSTALADORES	Engenheiro		0	0	LIX		Lixadeira		1		GE		Gerador		1
	Supervisor/encarregado		0	1	LE		Leister		1		CUP		Cuponeira		1
	Soldador		0	2	RESUMO DE APLICAÇÃO										
	Ajudante		0	1	RESUMO DE APLICAÇÃO										
EFETIVO DA CONSTRUTORA MS						INSTALAÇÃO DE PAINEL ESPECIAL						0,00			
CIVIL	Engenheiro		0		RESUMO DE TESTES										
	Supervisor/encarregado		1		TESTE DE AR REALIZADO								0		
	Ajudante		2		TESTE DE VÁCUO								0		
REALIZAÇÃO DE ENSAIOS E REGISTROS						RESUMO DE REPAROS									
ENSAIO QUALIFICAÇÃO SOLDA			0		REPAROS POR EXTRUSÃO						4				
REGISTRO DE SOLDA			0		REPAROS POR AR QUENTE (Leister)						0				
Disponibilização da equipe de fiscalização, 2 para acompanhamento de liberação e realização de ensaios, 2 auxiliares, 1 coordenador e 1 adm.															
A fiscalização acompanha a liberação da máquina extrusora 0190 e 0134, uma às 09:15 e outra às 09:21															
As atividades concentraram-se na comporta do canal de adução e no canal de sedimentação															
A fiscalização acompanhou a realização do Spark Test na comporta do canal de adução nos painéis P-20 e P-19 às 09:00, onde foi identificado um furo no P-19, no qual foi reparado logo em seguida															
Houve a realização de três reparos por extrusão nos painéis P-477 e P-476, e na união do P-476 e P-475															
No Extravasor do canal de adução com a bacia de emergência, a instaladora/construtora seguiu com solda de extrusão no engelock no P-486															
Pela tarde, a instaladora/construtora deu continuidade na solda no engelock, no entanto as atividades deram uma pausa devido a chuva.															
Às 15:15 as atividades foram paralisadas devido ao mau tempo climático em campo.															
acompanhamento e realização do Spark Test na comporta						reparo por extrusão no extravasor									
OBSERVAÇÕES DA HYDRO ALUNORTE															
Fiscal de HYDRO Rogério Bichara						Alex Sandro G. de Oliveira Fiscalização de Obra TDM BRASIL TDM - BRASIL									

Figura 7.2 Relatório do diário de campo de 04/01/2017

7.2 REGISTROS DE INSTALAÇÃO DE PAINEL DE GEOMEMBRANA E SPARK TEST

Os registros de instalação de painel de geomembrana apresentam a data de lançamento, localização da instalação, comprimento e largura de cada painel. Essa atividade ocorreu entre os meses de junho e dezembro de 2016. Como se tratam de registros que não apresentam informações a respeito de qualidade, estanqueidade ou integridade do material, no presente relatório apresenta apenas um registro à título de ilustração. Na Figura 7.4 é apresentado o registro relativo aos painéis aplicados dia 13/08/2016 na Chaveta Q4 Sul do DRS2.

A instalação dos painéis de geomembrana foram sucedidas do Spark Test. O *Spark Test*, ou “Teste da faísca” tem como objetivo avaliar o isolamento e estanqueidade do material. Este teste faz uso de um instrumento que gera uma tensão elétrica elevada em um eletrodo que envolve o material a ser analisado (ver ilustração do teste na Figura 7.3). Caso o material apresente uma falha no isolamento (furos ou rasgos, ainda que pequenos), o circuito elétrico se fecha e produz uma faísca visível a olho nu. O que indica que este ponto não é estanque e precisa de reparos. Este teste foi realizado e registrado entre os meses de dezembro de 2016 e março de 2017.



Figura 7.3 - Teste de faísca elétrica ou Spark Test (Cortesia de M&GEO Engenharia de Projetos – figura apenas para ilustração do teste, não é um registro do DRS2)

Como exemplo dos registros dos testes realizados no DRS2, é apresentado o registro do *Spark Test* realizado dia 08/02/2017 (Figura 7.5). Foram realizados ensaios de *spark test* na chaveta e no canal de sedimentação, sendo que na oportunidade foram encontrados 6 furos. A seguir apresenta-se os comentários registrados pelos responsáveis pelo teste:

*“*Foram encontrados dois furos no emboque da comporta lado da chaveta no talude de acesso, um no painel 2502 e o outro no cap-123, mas logo em seguida foram feitos os reparos.*

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2		

**Foi encontrado um furo no emboque do extravasor no talude de acesso ao lado do canal de sedimentação, no painel 360, mas logo em seguida foi feito o reparo.*

**Foi identificado 3 furos no envelopamento da caixa, lado da chaveta no painel 2511, mas logo foi feito os reparos”*

Também é apresentado o registro dos *Spark Tests* realizados dia 20/12/2016 (Figura 7.6). Os painéis de geomembrana investigados nessa data se localizam no canal de adução e não foram identificados furos por meio dos testes. Entretanto, é indicado que “(os testes) foram um pouco prejudicados” devido às condições climáticas. O registro não detalha o que seria “um pouco prejudicados”.

Todos os *spark tests* são assinados pelo fiscal da obra e/ou pelo supervisor da TDM, empresa responsável pela fiscalização dos testes de qualidade e estanqueidade dos painéis de geomembrana. A FONNTES entende que os testes foram feitos dentro das boas práticas da engenharia, uma vez que para todos os furos identificados foi realizado o reparo do material, além de o serviço ter sido fiscalizado e todas as suas ocorrências devidamente registradas. De acordo com os registros de instalação dos painéis de geomembrana e dos *spark tests* realizados, é possível afirmar que o procedimento seguiu as normas aplicáveis e não há indícios de perda de qualidade ou estanqueidade da geomembrana utilizada.

AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2

		Registro de Ensaios de "Spark" Test							Código: REG-VII-CTC-53	
CLIENTE: Alunorte - Alumina do Norte do Brasil S.A.		Projeto: FISCALIZAÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE NA INSTALAÇÃO DE GEOMEMBRANA NO DRS 2 - ÁREA 54					REV.: 1		PÁGINA: 1/1	
Material: Geomembrana PAD 1.5mm							Data: 08-02-2017			
No. Painéis	Equipam. Spark Teste No.	Técnico (iniciais)	Hora Início (hh:mm)	Hora Final (hh:mm)	LOCAL	QUANT FURO	Comentários			
2502	0391	Sormario	09:16	09:21	Chaveta	01	Foram encontrados dois furos no			
CAP-123	0391	Sormario	09:22	09:25	chaveta	01	envelope da comporta lado da chaveta			
351	0391	Sormario	09:59	10:07	Sedimentação	0	no tanque de acesso, um no painel			
350	0391	Sormario	10:15	10:16	Sedimentação	0	2502 e o outro no cap-123, mas logo			
260	0391	Sormario	10:20	10:25	Sedimentação	01	em seguida foram feitos os reparos.			
361	0391	Sormario	10:25	10:26	Sedimentação	0	Foi encontrado um furor no enfe-			
2511	0391	Sormario	10:28	10:39	chaveta	03	lque do extravasou no tanque de ac-			
							sso lado do canal de sedimentação,			
							no painel 360, mas logo foi feito o reparo			
							Foi identificada 3 furros no envelope			
							mento da caixa lado da chaveta no,			
							painel 2511, mas logo foi feito os,			
							reparos.			


 ASSINATURA DO FISCAL

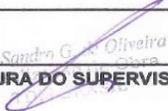

 ASSINATURA DO SUPERVISOR

Figura 7.5 – Registro dos ensaios de spark test realizados dia 08/02/2017 na chaveta e canal de sedimentação

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2		

7.2.1 *As Built* da instalação da geomembrana no DRS2

Após a implantação da camada de geomembrana, foi elaborado pela MS e Record Engenharia a paginação dos painéis aplicados sobre o DRS2 em nível de *As Built* (Documento MS: MSHYRO-54-001-R00). Trata-se de uma planta geral de impermeabilização contendo: localização e numeração dos painéis aplicados e dos reparos eventualmente necessários. A Figura 7.7 e Figura 7.8 ilustram a documento recebido.

Foi feita análise dos painéis conforme registros de instalação apresentados, tendo sido identificado conformidade com o local de instalação indicado em planta e nos documentos consultados. A FONNTES entende que os documentos retratam rigoroso controle de qualidade e registros da aplicação dos painéis e reparos conforme previstos em projeto e de acordo com as normas vigentes (NBR 16.199/2020).

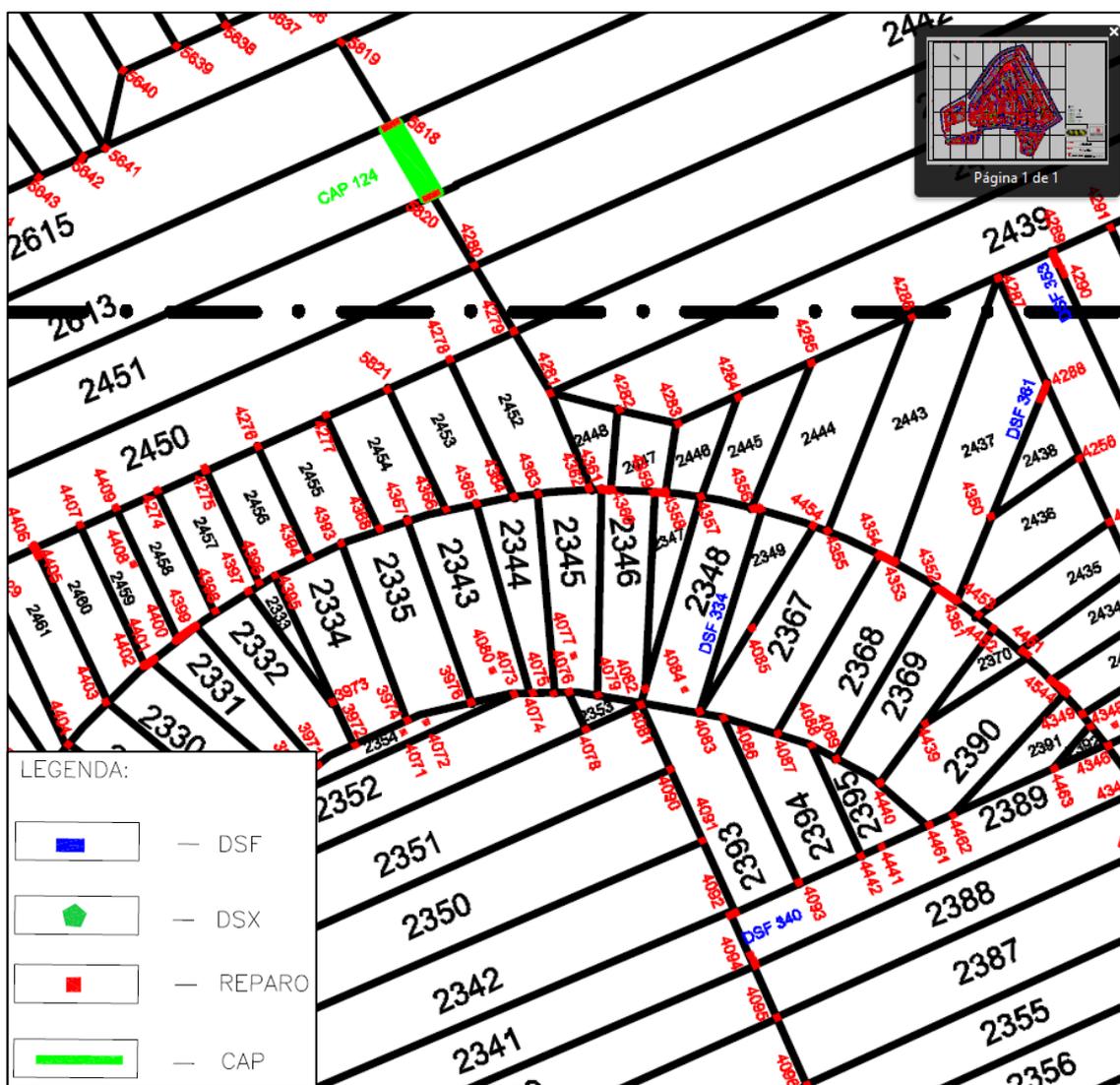


Figura 7.8 – Paginação dos painéis de geomembrana aplicados sobre o DRS2

7.3 REGISTROS DE TESTES DE PRESSURIZAÇÃO

O teste não destrutivo de pressurização é executado entre duas linhas de solda por cunha realizada na junção entre dois painéis de geomembrana. Utiliza-se um equipamento capaz de suprir e sustentar uma pressão elevada (entre 70 e 205 Kpa).

AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2

Em um dos extremos da linha de solda é colocado uma agulha conectada a um manômetro (ver ilustração do teste na Figura 7.9). Logo em seguida injeta-se ar até atingir a pressão indicada pelo fornecedor do material. Aguarda-se alguns minutos (2 a 5 minutos) para a pressão estabilizar. Em seguida é registrada a pressão atual e a pressão após alguns minutos (2 a 5 minutos) de acordo com recomendação do fabricante. A diferença de pressão deve estar dentro de uma faixa recomendada pelo fabricante para garantir que a solda tenha sido executada com a qualidade esperada.



Figura 7.9 – Exemplificação do teste de pressurização (cortesia de M&GEO Projetos de Engenharia)

Os testes de pressurização para a geomembrana do DRS2 foram realizados entre dezembro de 2015 e janeiro de 2017. Os registros apresentam a data de realização do teste, o manômetro utilizado, o número dos painéis de geomembrana cuja solda foi analisada, a hora inicial e final do teste, as pressões iniciais e finais do teste e se o mesmo foi aprovado ou não, além de observações quando pertinentes.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2		

Por meio dos testes, nota-se uma boa qualidade das soldas. Isto fica evidente uma vez que por exemplo entre os meses de dezembro/2015 e abril/2016 dentre mais de 400 soldas avaliadas, foram identificadas apenas 5 soldas reprovadas no teste de pressurização. Nas soldas reprovadas é indicado que foi realizado o reparo da solda. Essa proporção entre aprovados e reprovados se repete ou apresenta maior qualidade nos meses entre maio/2016 e janeiro/2017. Como exemplo são apresentados os registros da solda de 15/04/2016, com uma reprovação (Figura 7.10) e os registros da solda de 01/09/2016 (Figura 7.11).

AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2

TDM		REGISTRO DE TESTES PRESSURIZAÇÃO (ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS)						HYDRO		Código: REG-VII-CTC-24 Revisão: 01		
Projeto: FISCALIZAÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE NA INSTALAÇÃO DE GEOMEMBRANA NO DRS 2 - ÁREA 54												
Cliente: HIDRO - Alunorte - Alumina do Norte do Brasil S.A.												
ÁREA: <i>DIQUE CENTRAL</i>										DATA: <i>01-09-16</i>		
DESCRIÇÃO DO MATERIAL: <i>PEAD 2,5MM</i>												
Número da Prova	Painel No.	Data da Solda	Maquina de solda	Técnico Soldador	Localização (Área)	Manometro	Teste de pressão de ar [Duração 5 min.]		Aprovação		Fiscal	OBSERVAÇÃO
							Início HH:MM/ Pressão (psi) [≥ 35 psi]	Término HH:MM/ Pressão (psi) [Max. Queda Pressão] (2 psi)	A/R			
2975	1828 - 588	31-08-16	3798	JENILSON	DIQUE CENTRAL	12	14:21	35	14:23	34	A	<i>Ok</i>
2976	1823 - 588	31-08-16	3798	JENILSON		12	14:28	35	14:30	34	A	<i>Ok</i>
2977	1830 - 613	31-08-16	3798	JENILSON		24	14:35	35	14:37	34	A	<i>Ok</i>
2978	1857 - 604	31-08-16	3798	JENILSON		12	14:42	35	14:44	34	A	<i>Ok</i>
2979	1829 - 612	31-08-16	3798	JENILSON		24	14:45	35	14:47	35	A	<i>Ok</i>
2980	1830 - 1857	30-08-16	3798	JENILSON		12	14:53	35	14:55	35	A	<i>Ok</i>
2981	1830 - 604	31-08-16	3798	JENILSON		14	14:56	35	14:58	34	A	<i>Ok</i>
2982	1833 - 1857	30-08-16	3798	JENILSON		12	15:14	35	15:16	34	A	<i>Ok</i>
2983	1835 - 1876	30-08-16	3798	JENILSON		12	15:24	35	15:26	34	A	<i>Ok</i>
2984	1832 - 1857	30-08-16	3798	JENILSON		12	15:33	35	15:35	34	A	<i>Ok</i>
2985	1837 - 1876	30-08-16	3798	JENILSON		24	15:39	35	15:41	35	A	<i>Ok</i>
2986	1835 - 1857	30-08-16	3798	JENILSON		12	15:45	35	15:47	34	A	<i>Ok</i>
2987	1876 - 1834	30-08-16	3798	JENILSON		24	15:48	35	15:50	34	A	<i>Ok</i>
2988	1876 - 1877	30-08-16	3798	JENILSON		12	15:54	35	15:56	34	A	<i>Ok</i>
2989	1877 - 1857	30-08-16	3798	JENILSON		24	16:01	35	16:03	35	A	<i>Ok</i>
2990	1876 - 1877	30-08-16	3798	JENILSON		12	16:03	35	16:05	34	A	<i>Ok</i>
2991	1857 - 605	31-08-16	3798	JENILSON		24	16:12	35	16:14	34	A	<i>Ok</i>
2992	1858 - 605	31-08-16	3798	JENILSON	DIQUE CENTRAL	12	16:17	35	16:19	35	A	<i>Ok</i>

NOTA:

Chimão José Reis ASSINATURA DO FISCAL

[Assinatura] ASSINATURA DO SUPERVISOR

Legendas: *A = Aprovado, B = Reaprovado.

Figura 7.11 – Registros do teste de pressurização de 01/09/2016 entre os painéis 1828 e 1858 do DRS2

7.4 REGISTROS DE TESTES DE VÁCUO

Os testes não destrutivos de vácuo são aplicados nas soldas por extrusão entre dois painéis de geomembrana. Este teste consiste em aplicar ao longo do trecho soldado um recipiente transparente que provoque vácuo a uma pressão determinada pelo fabricante (ver ilustração do teste na Figura 7.12). A solda da geomembrana é umedecida com água e sabão. Quando é aplicada a pressão negativa, caso existirem falhas na solda se formarão bolhas sobre a mesma, indicando o local da falha. Este teste é realizado em casos específicos, como quando existe a interseção de três painéis de geomembrana, na soldagem de danos da geomembrana por translado ou objetos pontiagudos, etc.



Figura 7.12 - Teste de vácuo (cortesia M&GEO Projetos de Engenharia – figura apenas para ilustração do teste, não é um registro do DRS2)

Os testes de vácuo para a geomembrana do DRS2 foram realizados entre fevereiro de 2016 e março de 2017. Os registros apresentam a data de realização do teste, o vacuômetro utilizado, o número dos painéis de geomembrana cuja solda foi analisada,

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2		

o comprimento do trecho, o motivo de ter sido um trecho analisado pelo teste de vácuo, e se o mesmo foi aprovado ou não, além de observações quando pertinentes.

Por meio dos testes, nota-se uma boa qualidade das soldas. Isto fica evidente uma vez que por exemplo entre os meses de fevereiro/2016 e maio/2016 dentre mais de 1200 trechos de soldas avaliadas com o teste de vácuo, foram identificadas menos de 12 soldas reprovadas. Nas soldas reprovadas é indicado que foi realizado o reparo da solda. No mês de setembro de 2016, a proporção de soldas reprovadas foi menor que 5%, um pouco acima do identificado nos meses anteriores, entretanto é indicado claramente que as soldas reprovadas passaram por reparos, sendo indicada a data em que o reparo foi realizado. Como exemplo é apresentado o registro de controle de teste de vácuo realizado nos dias 01 e 02/09/2016.

Após a análise dos registros de controle de teste a vácuo, pode-se concluir que a geomembrana aplicada e suas soldas apresentam elevada qualidade e estanqueidade, de acordo com as melhores práticas da engenharia aplicadas mundialmente. A assertiva é reiterada uma vez que não foi identificada variação da qualidade das águas subterrâneas que poderiam sugerir contato entre os resíduos dos depósitos e os fluxos de água subterrânea, conforme detalhado nos relatórios FG-2201-NHB-A-BA-RT07-00 e FG-2201-NHB-A-BA-RT08-00.

Ainda, conforme documento “NOTA DE CONTROLE DE REALIZAÇÃO DE ENSAIOS”, elaborado pela TDM Brasil em julho de 2023, código (TDM-HYDRO-001-2023, TDM Brasil julho/2023), foi elaborado visando dirimir quaisquer dúvidas nos registros das soldas e reparos realizados. Segundo o documento, no que diz respeito ao projeto de impermeabilização do DRS2, é assegurada “a qualidade global do projeto, bem como a

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2		

estanqueidade e resistência necessárias para a sua efetivação, conforme preconizado pelo projetista e de acordo com as normas e especificações técnicas aplicáveis”.

AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2

REGISTRO DE CONTROLE DE TESTE VÁCUO											
		Projeto: FISCALIZAÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE NA INSTALAÇÃO DE GEOMEMBRANA NO DRS 2 - ÁREA 54 Cliente: HIDRO - Alunorte - Alumina do Norte do Brasil S.A.							Código: REG-VII-CTC-28 Revisão: 01		
ÁREA: <i>CHAVEIRA Bloco Central</i>								DATA: <i>03/09/16</i>			
DESCRIÇÃO DO MATERIAL: PEAD 1,50MM								VACUOMETRO Nº: <i>0280</i>			
								INSTALADORA: RECORD			
Nº de Prova	Data Solda	Hora Solda	Temperatura Máquina	Técnico Soldador	Painéis	Comprimento (m)	Motivo	CONTROLE DE QUALIDADE			Fiscal Responsável
								AP / RP	DATA	REPARAÇÃO	
<i>2788</i>	<i>01-09-16</i>	<i>16:23</i>	<i>260</i>	<i>EDUARDO</i>	<i>1801-437-436</i>	<i>1.40</i>	<i>Inter</i>	<i>AP</i>			<i>Victor OLiva</i>
<i>2789</i>	<i>02-09-16</i>	<i>08:29</i>	<i>260</i>	<i>NALCIDES.</i>	<i>1801-1802-437</i>	<i>1.40</i>	<i>Inter</i>	<i>AP</i>			<i>li</i>
<i>2790</i>	<i>02-09-16</i>	<i>08:35</i>	<i>260</i>	<i>NALCIDES.</i>	<i>1802-438-437</i>	<i>1.40</i>	<i>Inter</i>	<i>AP</i>			<i>li</i>
<i>2791</i>	<i>02-09-16</i>	<i>08:44</i>	<i>260</i>	<i>NALCIDES</i>	<i>1802-1803-438</i>	<i>1.40</i>	<i>Inter</i>	<i>AP</i>			<i>li</i>
<i>2792</i>	<i>02-09-16</i>	<i>08:49</i>	<i>260</i>	<i>NALCIDES</i>	<i>1803-439-438</i>	<i>1.40</i>	<i>Inter</i>	<i>RP</i>	<i>03/09/16</i>	<i>RP</i>	<i>li</i>
<i>2793</i>	<i>02-09-16</i>	<i>08:57</i>	<i>260</i>	<i>NALCIDES</i>	<i>439</i>	<i>2.80</i>	<i>Coete</i>	<i>AP</i>			<i>li</i>
<i>2794</i>	<i>02-09-16</i>	<i>09:01</i>	<i>260</i>	<i>NALCIDES</i>	<i>1803-1804-439</i>	<i>1.40</i>	<i>Inter</i>	<i>AP</i>			<i>li</i>
<i>2795</i>	<i>02-09-16</i>	<i>09:06</i>	<i>260</i>	<i>NALCIDES</i>	<i>1804-440-439</i>	<i>1.40</i>	<i>Inter</i>	<i>AP</i>			<i>li</i>
<i>2796</i>	<i>02-09-16</i>	<i>09:13</i>	<i>260</i>	<i>NALCIDES</i>	<i>1804-1805-440</i>	<i>1.40</i>	<i>Inter</i>	<i>RP</i>	<i>03/09/16</i>	<i>AP</i>	<i>li</i>
<i>2797</i>	<i>02-09-16</i>	<i>09:19</i>	<i>260</i>	<i>NALCIDES</i>	<i>1805-440</i>	<i>1.40</i>	<i>PAT</i>	<i>AP</i>			<i>li</i>
<i>2798</i>	<i>02-09-16</i>	<i>09:24</i>	<i>260</i>	<i>NALCIDES</i>	<i>1805-441-440</i>	<i>1.40</i>	<i>Inter.</i>	<i>AP</i>			<i>li</i>
<i>2799</i>	<i>02-09-16</i>	<i>09:29</i>	<i>260</i>	<i>NALCIDES</i>	<i>1805-1806-441</i>	<i>1.40</i>	<i>Inter</i>	<i>AP</i>			<i>li</i>
<i>2800</i>	<i>02-09-16</i>	<i>09:38</i>	<i>260</i>	<i>NALCIDES</i>	<i>1806-466-441</i>	<i>1.40</i>	<i>Inter</i>	<i>AP</i>			<i>li</i>
<i>2801</i>	<i>02-09-16</i>	<i>09:44</i>	<i>260</i>	<i>NALCIDES</i>	<i>1806-1807-466</i>	<i>1.40</i>	<i>Inter</i>	<i>AP</i>			<i>li</i>
<i>2802</i>	<i>02-09-16</i>	<i>09:50</i>	<i>260</i>	<i>NALCIDES</i>	<i>1807-467-466</i>	<i>1.40</i>	<i>Inter</i>	<i>AP</i>			<i>li</i>
<i>2803</i>	<i>02-09-16</i>	<i>09:59</i>	<i>260</i>	<i>NALCIDES</i>	<i>1807-1808-467</i>	<i>1.80</i>	<i>Inter</i>	<i>AP</i>			<i>li</i>
<i>2804</i>	<i>02-09-16</i>	<i>10:12</i>	<i>260</i>	<i>NALCIDES</i>	<i>1807-1808</i>	<i>4.80</i>	<i>Dsf 242</i>	<i>AP</i>			<i>Victor OLiva</i>
NOTA:											
LEGENDA:											
	Danos por Terceiros		Aprovado		Destrutivo Extrusão (DSX)		Patnada de Cunha (PAT)		Cordão - Solda		Danos por Equip. Pesados
	Cortes		Reprovado		Danos por Transferido		Quimadura de Máquina (MM)		Outros		
	Danos por Equip. Pesados		Interação de Painéis (INTEP)		Danos por objetos postergados		Destrutivo Termofusão (DSF)				
Uemerson Afonso ASSINATURA DO FISCAL						Victor Oliva ASSINATURA DO SUPERVISOR					

Figura 7.13 – registro de controle de teste de vácuo realizado nos dias 01 e 02/09/2016

7.5 REGISTROS DOS TESTES DESTRUTIVOS COM CUNHA E COM EXTRUSÃO

Os testes destrutivos são testes de resistência das soldas, podem ser testes por cisalhamento e descolamento, executados tanto em soltas do tipo cunha como do tipo extrusão. De acordo com a NBR 16.199/2020 é recomendado que seja realizado a cada 150 metros de solda. Durante a execução da camada de impermeabilização não estava publicada a NBR 16.199/2020, todavia, foi seguida como referência a norma ASTM D4437/99, que apresenta a descrição dos testes de descolamento e cisalhamento. A Tabela 7.3 apresenta a descrição dos ensaios em tradução livre da norma ASTM D4437/99 de cada um destes testes.

Tabela 7.3 – Descrição dos testes de descolamento e cisalhamento conforme ASTM D4437/99

TESTE	DESCRIÇÃO
Teste de descolamento	Seguir os métodos ASTM D413, método A ou métodos ASTM D816, método C. Utilizar um mínimo de 25,4mm de largura dos corpos de prova e um comprimento padrão de 25,4mm. Garras devem ser posicionadas a cada 13mm em ambos os lados da solda. Usar uma velocidade constante de 51mm/min durante o teste. O comprimento de sobreposição da solda deve ser igual ao existente no campo. O corpo de prova deve ser completamente apoiado sobre as garras.
Teste de cisalhamento	Seguir os métodos ASTM D816, método B, usando no mínimo 5 pinos de 25,4mm de largura para corpos de teste não reforçados. Para corpos de teste reforçados deve ser utilizado no mínimo 5 chapas de 51mm de largura, ambos com a solda no centro do corpo de prova e perpendiculares a linha de centro. As garras devem estar separadas por 51mm somada a largura da solda, sendo a solda posicionada entre as garras. Usar velocidade constante de 51 mm/min. A sobreposição das soldas deve ser fabricada em campo. O corpo de prova deve ser completamente apoiado sobre as garras.

De acordo com a Especificação Padrão GRI *Test Method* GM 19/2010, as propriedades mínimas requeridas para as soldas das geomembranas de PEAD lisas, seguindo o método de ensaio da ASTM D 6392, encontram-se detalhado na Tabela 7.4.

Tabela 7.4 – Propriedades das Soldas das Geomembranas de PEAD Lisas

Geomembranas de PEAD Lisas	Solda por Termofusão				Solda por Extrusão			
	Resistência ao Cisalhamento		Resistência ao Descolamento		Resistência ao Cisalhamento		Resistência ao Descolamento	
	N/25mm	lb/in	N/25mm	lb/in	N/25mm	lb/in	N/25mm	lb/in
Espessura 1,0 mm	≥350	≥80	≥263	≥60	≥350	≥80	≥225	≥52
Espessura 1,5 mm	≥525	≥120	≥398	≥91	≥525	≥120	≥340	≥78

Os testes destrutivos com cunha e extrusão para a geomembrana do DRS2 foram realizados entre dezembro de 2015 e março de 2017. Os registros apresentam a data de realização do teste, o tensiômetro utilizado, o número dos painéis de geomembrana cuja solda foi analisada, o percentual de descolamento interno e externo, o percentual de cisalhamento, se o mesmo foi aprovado ou não, além de observações quando pertinentes.

A maior parte dos registros consultados (95%) apresentou aprovação para os testes destrutivos realizados. Como exemplo é apresentada o registro dos testes destrutivos com cunha e extrusão realizados dia 23/04/2016 e 02/04/2016 (Figura 7.14 e Figura 7.15). Na oportunidade foi identificado que o tensiômetro apresentou falhas, sendo indicado no registro ora lavrado.

Tendo sido identificados registros de testes reprovados (Figura 7.16), foram consultados os diários de obra relativos ao dia e hora que foram registradas as reprovações (Figura

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2		

7.17). Nas amostras analisadas e exemplificadas nas figuras citadas, nota-se que a fiscalizadora solicitou e efetuou o reparo ou a substituição total dos painéis e soldas que foram reprovadas.

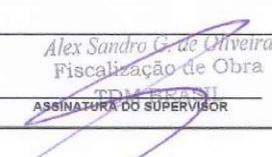
Pode-se concluir que os registros dos testes destrutivos apresentados, sugerem que a aplicação da geomembrana ocorreu com elevada qualidade, garantindo a estanqueidade e qualidade conforme projeto.

AValiação DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2

TDM		REGISTRO DE TESTES DESTRUTIVOS COM CUNHA						Codigo: REG-VII-CTC-22 Revisão: 02	
PROJETO:		DRS 2				DATA: 23-04-16			
CLIENTE:		ALVARO J. RECORD				TENSIOMETRO Nº: 7596			
EMPRESA INSTALADORA:		PEAD - S. M. M. LISA				VALORES MÍNIMOS: Descolamento: 91 lib/in Cisalhamento: 120 lib/in			
DESCRIÇÃO DO MATERIAL:		GRANIO ETÉRGENO							
ÁREA:									
Nº Destrutivo (DSF #)	23	DESCOLAMENTO EXTERNO MODO RESISTENCIA		DESCOLAMENTO INTERNO MODO RESISTENCIA		CISALHAMENTO MODO RESISTENCIA		APROVAÇÃO	OBSERVAÇÃO
		RESULTADO	% Descol	RESULTADO	% Descol	RESULTADO	% Along.		
Nº Maq.	0264	115	07%	116	07%	163	7100%	OK	
T*V:	420/30	133	07%	135	07%	166	7100%	OK	
Hora:	06:42	130	07%	134	07%	166	7100%	OK	
Técnico:	ALEX	129	07%	127	07%	159	7100%	OK	
Data:	07-04-16	127	07%	110	07%	160	7100%	OK	
Panel	207/240								
Nº Destrutivo (DSF #)	20	DESCOLAMENTO EXTERNO MODO RESISTENCIA		DESCOLAMENTO INTERNO MODO RESISTENCIA		CISALHAMENTO MODO RESISTENCIA		APROVAÇÃO	OBSERVAÇÃO
		RESULTADO	% Descol	RESULTADO	% Descol	RESULTADO	% Along.		
Nº Maq.	3798	111	07%	106	07%	150	7100%	OK	
T*V:	420/30	115	07%	103	07%	148	7100%	OK	
Hora:	09:25	109	07%	96	07%	184	7100%	OK	
Técnico:	EDUARDO	90	07%	98	07%	152	7100%	OK	
Data:	06-04-16	113	07%	90	07%	153	7100%	OK	
Panel	238/377								
Nº Destrutivo (DSF #)	25	DESCOLAMENTO EXTERNO MODO RESISTENCIA		DESCOLAMENTO INTERNO MODO RESISTENCIA		CISALHAMENTO MODO RESISTENCIA		APROVAÇÃO	OBSERVAÇÃO
		RESULTADO	% Descol	RESULTADO	% Descol	RESULTADO	% Along.		
Nº Maq.	0264								
T*V:	420/30								
Hora:	09:09								
Técnico:	ALEX								
Data:	07-04-16								
Panel	185/244								
Nº Destrutivo (DSF #)	29	DESCOLAMENTO EXTERNO MODO RESISTENCIA		DESCOLAMENTO INTERNO MODO RESISTENCIA		CISALHAMENTO MODO RESISTENCIA		APROVAÇÃO	OBSERVAÇÃO
		RESULTADO	% Descol	RESULTADO	% Descol	RESULTADO	% Along.		
Nº Maq.	3798	104	07%	111	07%	155	7100%	OK	
T*V:	420/30	116	07%	113	07%	163	7100%	OK	
Hora:	09:25	105	07%	97	07%	141	7100%	OK	
Técnico:	EDUARDO	101	07%	93	07%	147	7100%	OK	
Data:	10-04-16	112	07%	108	07%	144	7100%	OK	
Panel	283/288								
NOTA:									
									
FISCALIZAÇÃO					CLIENTE				

Figura 7.14 – Registro de testes destrutivos com cunha realizado dia 23/04/2016

AValiação DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2

TDM BRASIL		REGISTRO DE TESTES DESTRUTIVOS COM CUNHA						HYDRO		Código: REG-VII-CTC-25 Revisão: 01	
Projeto: FISCALIZAÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE NA INSTALAÇÃO DE GEOMEMBRANA NO DRS 2 - AREA 54		Cliente: Hidro Alunorte - Alumina do Norte do Brasil S.A.								DATA: 21-01-17	
Especificação (N/25 mm): Descolamento Cunha = 340, Cisalhamento Cunha = 525. Apenas 1 de 5 corpos de prova = 80%.										TENSIOMETRO Nº:	
Especificação (lb/Polegada), Descolamento Cunha = 91 (1 cp = 61), Cisalhamento Cunha = 120 (1 cp = 95). Obs.: Independente da força, a solda é reprovada se um cp descolar mais que 25% da área na ruptura										INSTALADORA: RECORD	
ÁREA: <u>AREA SECA.</u>		VALORES MÍNIMOS:						Descolamento: 91 lb/in		Cisalhamento: 120 lb/in	
DESCRIÇÃO DO MATERIAL: PEAD 1,50 MM											
Nº Destrutivo (DSF #)	11D	DESCOLAMENTO EXTERNO MODO RESISTENCIA			DESCOLAMENTO INTERNO MODO RESISTENCIA			CISALHAMENTO MODO RESISTENCIA		APROVAÇÃO	OBSERVAÇÃO
		RESULTADO	Cod	% Descol	RESULTADO	Cod	% Descol	RESULTADO	% Along.		
Painel	208/224	559	FTB	0	503	FTB	0	647	100	A	
Data:		506	FTB	0	488	FTB	0	720	100	A	
Nº Maq.		610	FTB	0	499	FTB	0	736	100	A	
Hora:		626	FTB	0	427	FTB	0	700	100	A	
Técnico:		529	FTB	0	503	FTB	0	700	100	A.	
T/V:											
Nº Destrutivo (DSF #)	11A1	DESCOLAMENTO EXTERNO MODO RESISTENCIA			DESCOLAMENTO INTERNO MODO RESISTENCIA			CISALHAMENTO MODO RESISTENCIA		APROVAÇÃO	OBSERVAÇÃO
		RESULTADO	Cod	% Descol	RESULTADO	Cod	% Descol	RESULTADO	% Along.		
Painel	221/228	219	NFTB	100						R	
Data:											
Nº Maq.											
Hora:											
Técnico											
T/V:											
Nº Destrutivo (DSF #)	11A2	DESCOLAMENTO EXTERNO MODO RESISTENCIA			DESCOLAMENTO INTERNO MODO RESISTENCIA			CISALHAMENTO MODO RESISTENCIA		APROVAÇÃO	OBSERVAÇÃO
		RESULTADO	Cod	% Descol	RESULTADO	Cod	% Descol	RESULTADO	% Along.		
Painel	222/227	526	NFTB	100							
Data:											
Nº Maq.											
Hora:											
Técnico											
T/V:											
Nº Destrutivo (DSF #)	11A3	DESCOLAMENTO EXTERNO MODO RESISTENCIA			DESCOLAMENTO INTERNO MODO RESISTENCIA			CISALHAMENTO MODO RESISTENCIA		APROVAÇÃO	OBSERVAÇÃO
		RESULTADO	Cod	% Descol	RESULTADO	Cod	% Descol	RESULTADO	% Along.		
Painel	223-226	459	NFTB	100							
Data:											
Nº Maq.											
Hora:											
Técnico											
T/V:											
NOTA:											
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: center;">  ASSINATURA DO FISCAL </div> <div style="text-align: center;">  Alex Sandro G. de Oliveira Fiscalização de Obra TDM BRASIL ASSINATURA DO SUPERVISOR </div> </div>											

* Códigos de Ruptura: FTB (ruptura no filme), NFTB (Não - FTB = ruptura na Solda).

Figura 7.16 – Registro de testes destrutivos com cunha e extrusão realizados dia 21/01/2017 (destaque para a reprovação do painel 221/228)

8. CONCLUSÕES

Foram disponibilizados pela HYDRO os registros de (i) instalação de painel de geomembrana; (ii) testes de pressurização; (iii) testes de vácuo; (iv) testes destrutivos com cunha; (v) testes destrutivos com extrusão. Por meio destes registros foi realizada uma amostragem dos relatórios referidos aos meses de aplicação da geomembrana, quais sejam, entre fevereiro de 2016 e março de 2017, e que representam o material aplicado sobre a área seca, área úmida, chaveta, Célula de Contingência, dique central, canal de adução e canal de sedimentação do DRS2, totalizando 153 arquivos, dos quais a maior parte foi consultado visando identificar falhas e ações corretivas durante a aplicação da geomembrana.

Após a análise dos registros disponíveis, foi possível concluir que os testes foram feitos sob supervisão constante, além de ter sido indicada cada anomalia ocorrida durante a atividade. Além de terem sido feitos os registros pertinentes da aplicação, verificação e reparos na geomembrana quando foram necessários. Dessa forma, é possível afirmar que a aplicação e verificação da integridade, qualidade e estanqueidade da geomembrana ocorreu dentro dos padrões de engenharia esperados.

Ainda, conforme documento “NOTA DE CONTROLE DE REALIZAÇÃO DE ENSAIOS”, elaborado pela TDM Brasil em julho de 2023, código (TDM-HYDRO-001-2023, TDM Brasil julho/2023), foi elaborado visando dirimir quaisquer dúvidas nos registros das soldas e reparos realizados. Segundo o documento, no que diz respeito ao projeto de impermeabilização do DRS2, é assegurada “a qualidade global do projeto, bem como a estanqueidade e resistência necessárias para a sua efetivação, conforme preconizado pelo projetista e de acordo com as normas e especificações técnicas aplicáveis”.

Dessa forma, pode-se concluir que os registros dos testes destrutivos apresentados, sugerem que a aplicação da geomembrana ocorreu com elevada qualidade, garantindo

a estanqueidade e qualidade conforme projeto e requisitos da norma de referência ASTM D4437/99. Também pode-se concluir que conforme os registros de controle de teste a vácuo e testes de pressurização (não destrutivos), a geomembrana aplicada e suas soldas apresentam elevada qualidade e estanqueidade, de acordo com as melhores práticas da engenharia aplicadas mundialmente.

Por se tratar de uma estrutura mais recente o DRS2 possui um histórico bem mais completo que o DRS1. Entretanto, esse registro não dispensa o controle tecnológico operacional através da instrumentação. Os INA's, PZ's e especialmente os poços ambientais é que vão atestar se de fato a geomembrana de PEAD instalada está cumprindo seu papel e garantindo a estanqueidade ao longo do tempo, para que os resíduos não tenham contato com as águas do meio ambiente.

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. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 16.199 – Geomembranas Termoplásticas
- iii. ASTM D 4437 (1999): “Standard Practice for Determining the Integrity of Field Seams Used in Joining Flexible Polymeric Sheet Geomembranes1” - American Society of Testing and Materials.
- iv. ASTM D 6693 (2001): “Standard Test Method for Determining Tensile Properties of Nonreinforced Polyethylene and Nonreinforced Flexible Polypropylene Geomembranes” - American Society of Testing and Materials.
- v. BRASIL, Lei 12.305 – Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, 2010.
- vi. BRASIL, Lei 12.651 – Código Florestal Brasileiro. Brasília, 2012.

AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS2

- vii. 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.
- viii. Geosynthetic Research Institute GRI (2005): “GRI Test Method GM 19 – Seam Strength and related Properties of Thermally Bonded Polyolefin Geomembranes” - Geosynthetic Institute, Folsom, PA, USA.
- ix. 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.
- x. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Barcarena/PA. População. 2010. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- xi. _____. Barcarena/PA. Educação. 2010b. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- xii. _____. Barcarena/PA. Economia. 2019. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- xiii. _____. Barcarena/PA. Trabalho e Rendimento. 2020. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- xiv. _____. Barcarena/PA. Território e ambiente. 2021. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- xv. MABESOONE, J. M. e CASTRO, C. (1975). Desenvolvimento Geomorfológico do Nordeste Brasileiro. Boletim do Núcleo Nordeste da SBG, Recife, v.3, p. 05- 35.
- xvi. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA Nº 237**, de 19 de dezembro de 1997.
- xvii. 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